

## PRESENTACIÓN

La presente publicación está dirigida a los usuarios de la información geodésica que genera el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y que se encuentran comprendidos dentro de las diversas unidades que integran los servicios Nacionales de Información Estadística y Geografía en la Administración Pública Federal, Gobiernos de las Entidades Federativas y los Sectores Social y Privado.

Dentro de las diversas acciones en lo que respecta a geografía se encuentran las de implantar los mecanismos que permitan el conocimiento de las normas, especificaciones y metodologías que se emplean para la elaboración de los diversos productos de información geográfica y el establecimiento de los marcos de especificaciones correspondientes, que sean de observancia general para todas las unidades productoras que se encuentran dentro de la Administración Pública.

La actividad geográfica y su forma clásica de expresión a través de productos cartográficos requiere del conocimiento preciso de la forma y dimensiones del espacio físico en que se ubica la información, lo que constituye así un insumo básico para el desarrollo de la misma, razón por la que se creó un Subcomité de Geodesia, el cual ha venido trabajando en la formulación de las Normas Especificaciones y Metodologías en la materia.

Este documento integra en conjunto las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicados en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 1985 y sus reformas publicadas en el mismo Diario el 27 de abril de 1998 en donde en el ARTÍCULO PRIMERO Se reforman los puntos I.5, I.6, V.2, XI, XI.1, XI.2, XI.2.1, XI.2.2, XI.2.3 y XI.2.4 ; en el ARTÍCULO SEGUNDO Se adicionan los puntos VIII.5, VIII.6, VIII.7, VIII.7.1, VIII.7.2, VIII.7.3, VIII.7.4, XI.1.8, XI.2.5, XI.2.6, XI.2.7, XI.8, XI.8.1, XI.8.2, XI.8.2.1, XI.8.2.2, XI.8.2.3, XI.8.2.4, XI.8.2.5, XI.8.2.6, XI.8.2.7, XI.8.2.8, XI.8.2.9, XI.8.3, XI.8.3.1 y XI.8.4, Se eliminan los puntos XI.1.5, XI.7, XI.7.1, XI.7.2, XI.7.3, XI.7.4, XI.7.5, XI.7.6, XI.7.6.1, XI.7.6.2, XI.7.6.3, XI.7.6.4, XI.7.7, XI.7.8, XI.7.9, XI.7.10, XI.7.11, XI.7.12, XI.7.13, XI.7.14, XI.7.15, XI.7.16, XI.7.17, XI.7.18, XI.7.19, XI.7.20, XI.7.21, XI.7.22, XI.7.23, XI.7.24, XI.7.25, XI.7.26, XI.7.27, XI.7.28, XI.7.29, XI.7.30, XI.7.31, XI.7.32, XI.7.33 y XI.7.34; los puntos que se ubicaban posteriormente a los eliminados o que se adicionan con este ACUERDO, cambian su numeración recorriéndola para conservar continuidad en la misma.

Las primeras se emitieron considerando:

- Que la información geográfica constituye un insumo básico para el desenvolvimiento de las actividades que se lleven a cabo en el proceso de planeación y así mismo, apoya la definición de las orientaciones y políticas de los programas nacionales de mediano plazo, regionales;
- Que para este propósito en la integración y funcionamiento del Sistema Nacional de Información Geográfica, se hace necesario uniformar los levantamientos geodésicos sean éstos, horizontales, verticales o gravimétricos, con el objeto de incrementar y mantener la red geodésica nacional; y que así mismo sirvan de apoyo a los trabajos cartográficos;
- Que al dar uniformidad y comparabilidad a los levantamientos geodésicos, que realizan las distintas unidades que integran el sistema mencionado, se contribuye a evitar el gasto público, obteniendo por otra parte, información geográfica confiable y oportuna que sea de utilidad general y que apoye la toma de decisiones en los distintos niveles de gobierno;
- Que el Comité Técnico Consultivo de Información Geográfica, opinó favorablemente las presentes normas, las cuales serán las mínimas que deberán observarse en todos los levantamientos geodésicos que realicen las distintas unidades de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, que integran el Sistema Nacional de Información Geográfica.

Y su reforma y adición considerando:

- Que el desarrollo de la cartografía formal y grandes proyectos de ingeniería, requieren un marco de referencia que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos, detalles y obras de interés.
- Que el desarrollo tecnológico de nuestra época, con nuevos instrumentos, tecnologías de medición y análisis computacional, ha obligado a evolucionar la concepción de la Geodesia y de los resultados que de ella se esperan.
- Que la Geodesia ha superado en mucho su base geométrica inicial y se desenvuelve hoy en día en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales, y ha pasado de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad.
- Que las técnicas de medición contemporáneas se inscriben ahora en un entorno dinámico-espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos en comparación de los métodos tradicionales, en particular el Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.), que en la década de los noventa ha venido a revolucionar la tecnología de medición geodésica sustituyendo ventajosamente a los métodos de posicionamiento astronómico, triangulación, poligonación y doppler, aplicados hasta fechas recientes para conformar la Red Geodésica Nacional.
- Que los modernos equipos de medición disponibles en la actualidad, tales como distanciómetros electromagnéticos y de posicionamiento vía satélite han superado en por lo menos un orden de magnitud la precisión del Datum Norteamericano de 1927 o NAD27, definido en las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas el 1º de abril de 1985 en el Diario Oficial de la Federación,
- Que con objeto de no degradar la calidad de los levantamientos realizados con las nuevas tecnologías anteriormente mencionadas, cada vez de mayor aplicación en nuestro país, y aprovechar al máximo la potencialidad de estos equipos.
- Que existen en la actualidad mejores alternativas tecnológicas, de acuerdo a los instrumentos de medición disponibles en el mercado, para ser utilizadas como Sistema Geodésico de Referencia.
- Que ante la nueva tecnología y conceptos modernos de Geodesia, la red geodésica nacional, en su parte correspondiente a posicionamiento horizontal, presenta defectos de consistencia interna resultantes de circunstancias diversas, que a su vez pueden dar origen a problemas técnicos y jurídicos de diversa índole. Por lo que obliga en términos de desarrollo a la adopción de un nuevo Sistema Geodésico de Referencia, compatible con la moderna tecnología.

## **PROPÓSITO Y ALCANCE**

El propósito de estas Normas técnicas de Geodesia consiste en establecer el Marco Jurídico Normativo que contenga las características esenciales e indispensables para que un levantamiento geodésico dado, cualquiera que sea su origen, objetivo y metodologías empleadas, pueda ubicarse dentro del Sistema Nacional de Información y específicamente, dentro del Subsistema de Información Geodésica. El marco está dirigido y será obligatorio para todas aquellas dependencias y entidades de la Administración Pública federal que emprenda o contraten trabajos geodésicos, y se expiden con fundamento, en lo dispuesto en los artículos 31 fracción XIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 11 párrafo tercero, 13, 16 fracción I, 17 fracción VII , 19 y 30 fracción I de la Ley de Información Estadística y Geográfica; 54 fracción II, 55 fracciones I y VIII y 59 de su Reglamento; 99, 100 fracción II inciso c, 101 fracción 1 y 102 fracción I del Reglamento interior de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Estas Normas tiene el propósito de establecer el conjunto de especificaciones básicas para evaluar trabajos geodésicos existentes, fundamentalmente por lo que respecta a normas de exactitud y precisión, tomando en cuenta metodologías empleadas, existencia de registros, interconexión con sistemas existentes, permanencia de marcas y su recuperación, y utilidad de dichos trabajos. En segundo lugar, fijar las bases generales que normen la ejecución de trabajos geodésicos a nivel nacional.

# NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS

## I ASPECTOS GENERALES

**I.1** El presente Marco de Especificaciones Mínimas para Geodesia tiene el propósito de servir como referencia normativa para la evaluación de trabajos y levantamientos geodésicos existentes, así como para regular lo que se hagan en el futuro y darles un carácter uniforme a los Levantamientos Geodésicos que se efectúen dentro del Territorio Nacional.

**I.2** Para que un levantamiento sea considerado como geodésico deberá tomar en cuenta los efectos de curvatura terrestre y ejecutarse con instrumental y procedimientos que permitan una precisión interna compatible con las especificaciones de exactitud que en este documento se consignan, de modo que cada punto del levantamiento quede inequívocamente determinado por los parámetros que le correspondan, de acuerdo con el tipo de levantamiento y con respecto a un determinado sistema de referencia, como se especifica en los puntos siguientes.

**I.3** Para los efectos de estas Normas mínimas, se consideran los siguientes tipos de levantamientos geodésicos:

**I.3.1** Levantamientos Geodésicos Horizontales; son aquellos que comprenden una serie de medidas efectuadas en el campo, cuyo propósito final consiste en determinar las coordenadas geográficas (geodésicas) horizontales de puntos situados sobre la superficie terrestre.

**I.3.2** Levantamientos Geodésicos Verticales; comprenderán todas aquellas operaciones de campo dirigidas a determinar la distancia vertical que existe entre puntos situados sobre la superficie terrestre y un cierto nivel de referencia.

**I.3.3** Levantamientos Gravimétricos; aquellos que comprenden la medida de valores absolutos o relativos del valor de la gravedad sobre puntos situados en la superficie terrestre, cuyo propósito consiste fundamentalmente en determinar el campo gravimétrico existente y su relación e influencia con los tipos de levantamiento geodésico horizontal y vertical.

**I.4** La ejecución de los anteriores tipos de levantamientos no es exclusiva; un mismo punto de la superficie terrestre puede ser objeto de los tres tipos, en tanto cumpla con las características requeridas a que se hace referencia más adelante.

**I.5** Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 1992 con datos de la época 1988.0 y que se denomina ITRF92 Epoca 1988.0 que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para México.

**I.6** Para los efectos del punto anterior, las Coordenadas Cartesianas ITRF92 Epoca 1988.0 se deben transformar a coordenadas geodésicas curvilíneas (latitud, longitud y altura elipsoidal) en el elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80) que es definido por los siguientes parámetros:

Semieje Mayor	a	6 378 137 m
Velocidad Angular	$\omega$	7 292 115x10 <sup>-11</sup> rad/seg
Constante Gravitacional Geocéntrica	GM	3 986 005x10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /seg <sup>2</sup>
Factor dinámico de la Tierra	J <sub>2</sub>	108 263x10 <sup>-8</sup>

## Constantes geométricas derivadas

Semieje menor	b	6 356 752.314 1 m
Excentricidad líneal	E	521 854.009 7 m
Radio polar	c	6 399 593.625 9 m
Primera excentricidad al cuadrado	e <sup>2</sup>	0.006 694 380 022 90
Segunda excentricidad al cuadrado	e' <sup>2</sup>	0.006 739 496 775 48
Achatamiento	f	0.003 352 810 681 18
Recíproco del achatamiento	f -1	298.257 222 101
Cuadrante meridiano	Q	10 001 965.729 3 m
Radio medio	R1	6 371 008.771 4 m
Radio de la esfera de la misma superficie	R2	6 371 007.181 0 m
Radio de la esfera del mismo volumen	R3	6 371 000.790 0 m

**I.7** En lo que respecta a las alturas, todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico vertical, deberá estar referido a un Dátum o nivel de referencia vertical obtenido mediante la realización de una serie de observaciones mareográficas que cubran un período no menor de seis meses en forma continua, o por un término de acuerdo con el orden de exactitud establecido.

**I.8** Por lo que se refiere a la gravedad, todo punto perteneciente a un levantamiento gravimétrico de propósitos geodésicos deberá estar referido a la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN-71), de la cual México forma parte.

**I.9** Se define como Red Geodésica Nacional al conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura geográficas, así como el campo gravimétrico asociado, con relación a un sistema de referencia dado.

**I.10** Para efectos prácticos, se consideran los siguientes tipos de redes geodésicas: la Red Geodésica Horizontal, la Red Geodésica Vertical y la Red Gravimétrica.

**I.11** Todo levantamiento geodésico deberá formar parte de la Red Geodésica Nacional, dentro de la modalidad que corresponda, de acuerdo con las normas de exactitud aquí descritas.

## II ETAPAS DE LOS LEVANTAMIENTOS

**II.1** Todo levantamiento geodésico deberá hacerse siguiendo una secuencia operativa que en el orden indicado contemple las siguientes etapas:

- a) Diseño y pre-análisis
- b) Reconocimiento y monumentación
- c) Observaciones y cálculos de campo
- d) Cálculos de gabinete (y ajuste en su caso)
- e) Evaluación
- f) Memoria de los trabajos

**II.1.1** La etapa de diseño consistirá en el establecimiento de las condiciones geométricas, técnicas, económicas y de factibilidad que permitan la elaboración de un anteproyecto para realizar un levantamiento dado, destinado a satisfacer una determinada necesidad. Esta etapa está íntimamente ligada con el pre-análisis, el cual deberá tomar en cuenta factores ligados con la exactitud requerida, disponibilidad de equipo, materiales, personal y demás facilidades, o sus requerimientos, incluyendo la consideración de factores ambientales previstos, de modo que sea posible hacer un diseño óptimo y establecer las normas y procedimientos específicos del levantamiento con arreglo a las normas contenidas en este documento o a las que se requieran en casos específicos o especiales.

Debido al grado de complejidad envuelto en el manejo de los diversos factores, lo que puede conducir al planteamiento de varias soluciones, y a que en todo se requiere de un proceso de análisis, no es práctico ni posible dar especificaciones en relación con esta etapa. Esto será objeto de lineamientos generales y metodologías recomendadas que serán publicadas en su oportunidad, razón por la cual el tema no volverá a ser tratado en este documento.

**II.1.2** El reconocimiento y la monumentación consistirán en operaciones de campo destinadas a verificar sobre el terreno las características definidas por el diseño y a establecer las condiciones y modalidades no previstas por el mismo. Las operaciones que en este punto se indican deben desembocar necesariamente en la elaboración del proyecto definitivo. Por otra parte, esta etapa contempla el establecimiento físico de las marcas o monumentos del caso en los puntos pre-establecidos, de acuerdo con las normas generales que para tal caso se indican en este documento.

**II.1.3** Las operaciones de campo estarán constituidas por el conjunto de observaciones que se realizan directamente sobre el terreno para la medida de las cantidades físicas y geométricas requeridas por el proyecto, de acuerdo con las normas aplicables. Los cálculos y comprobaciones de campo se considerarán como parte integral de las observaciones, deberán hacerse inmediatamente al final de las mismas y tendrán como propósito verificar la adherencia de los trabajos a las normas establecidas.

**II.1.4** Los cálculos de gabinete procederán inmediatamente a la etapa anterior y estarán constituidos por todas aquellas operaciones que en forma ordenada y sistemática, calculan las correcciones y reducciones a las cantidades observadas y determinan los parámetros de interés mediante el empleo de criterios y fórmulas apropiadas que garanticen la exactitud requerida. El ajuste o compensación deberá seguir, cuando sea aplicable, al cálculo de gabinete. En este documento no se tratará esta etapa, en consideración a la alta variedad de métodos a los que se puede recurrir. En su oportunidad se prepararán y publicarán lineamientos y metodologías recomendados.

**II.1.5** La evaluación consistirá en llevar a cabo un análisis en detalle de los resultados del cálculo y ajuste, con el fin de juzgar la bondad del levantamiento y retroalimentar el diseño. Por las mismas consideraciones que se hicieron al final del punto II.1.1, no se tratarán en este documento especificaciones sobre la etapa de evaluación.

**II.1.6** Al final de cada trabajo se deberá elaborar una memoria que contenga los datos relevantes del levantamiento, incluyendo antecedentes, justificación y propósito, criterios de diseño, personal, instrumental y equipo usados, normas, especificaciones y metodologías particulares empleadas, relación de los trabajos de campo con mención de las circunstancias que puedan haber influido en el desarrollo de los trabajos, información gráfica que muestre su ubicación, descripciones definitivas de los puntos, resultados de los cálculos y ajustes en forma de listados de parámetros finales y comentarios según los resultados de la evaluación

**II.1.7** En relación con el punto anterior, se deberá remitir una copia de la memoria al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, con fines de evaluación externa, incorporación, de ser el caso, al Subsistema Nacional de Información Geodésica y con propósitos de difusión dentro de la Administración Pública.

### **III RECONOCIMIENTO**

**III.1** Para realizar el reconocimiento, se deberá contar con una brigada cuyas responsabilidades serán:

- a) Seleccionar en el terreno los sitios adecuados para el establecimiento de las marcas permanentes.
- b) Comprobar las condiciones de observación en cada sitio y especificar, en su caso, las plataformas elevadas de observación.
- c) Establecer los monumentos o marcas permanentes (excepto cuando se pueda contar con una brigada específica de monumentación), de acuerdo con las normas indicadas en el capítulo IV.
- d) Elaborar los croquis, descripciones e itinerarios preliminares de los puntos. El jefe de la brigada de reconocimiento deberá elaborar un croquis general orientado de cada punto y redactar una descripción preliminar que contenga como mínimo la designación del punto, e información sobre las características geográficas locales del sitio y del paisaje circundante, haciendo énfasis sobre los aspectos de ubicación regional y direcciones para llegar al sitio. Deberá asimismo contener las condiciones previstas para las observaciones, especificaciones (en su caso) para la monumentación y/o plataformas de observación, o descripción de las marcas establecidas.
- e) Recabar todo tipo de información que pueda afectar el desarrollo de los trabajos de observación.
- f) Concretar el proyecto definitivo para el levantamiento de campo, con base en los puntos (a) a (e) anteriores.

**III.2** En relación con los puntos III.1 (a) y III.1 (b), el reconocimiento deberá tender a asegurar las condiciones óptimas para las observaciones de campo, mediante la selección de sitios apropiados para la visibilidad, estabilidad y buenas condiciones de operación del instrumental requerido, de acuerdo con el tipo de levantamiento.

**III.3** Cuando se requiera, y particularmente en el caso de levantamientos geodésicos horizontales, la brigada de reconocimiento deberá especificar la altura y características de las plataformas de observación necesarias.

### **IV MONUMENTACION**

El establecimiento físico de las marcas o monumentos puede ser ejecutado por las brigadas de reconocimiento, o en su defecto, por una brigada específica de monumentación, siguiendo las normas generales que se indican a continuación:

**IV.1** Todo punto de la red geodésica deberá estar permanentemente marcado en el terreno mediante el establecimiento de monumentos construidos, de tal modo que se asegure razonablemente su permanencia y estabilidad.

**IV.2** En relación con la permanencia de los monumentos, se deberá ejercer el criterio de construirlos con la solidez que las circunstancias locales aconsejen en función de las posibilidades de pérdida o destrucción, para lo cual se deberá prever el recurso de ocultarlos y de construir sub-monumentos y marcas de referencia, con características similares, que permitan la recuperación inequívoca del monumento principal.

**IV.3** Respecto a la estabilidad de los monumentos, se deberán tomar en cuenta para su establecimiento las características geológicas locales, del suelo y las condiciones ambientales prevalentes, a fin de asegurar una razonable permanencia en posición a lo largo del tiempo.

**IV.4** Se aceptarán como monumentos los tipos de marca metálica empotrada en roca sana, monumentos de concreto, preferiblemente reforzados, de forma tronco-piramidal o tronco cónica, tal que resulte difícil su extracción del terreno, llevándolos a una profundidad tal que descansen sobre el lecho firme del subsuelo y en el caso de levantamientos horizontales, de modo que contengan una marca subterránea alineada verticalmente con la marca de la cara superior. Se aceptarán también como monumentos los construidos sobre terrenos poco firmes de espesores apreciables, cuando sea posible integrar un elemento metálico en forma de tubo o varilla que atravesando verticalmente la formación pueda hacerse llegar hasta el lecho firme del terreno.

**IV.5** Todo monumento que pertenezca a la red geodésica horizontal y los más importantes de las redes vertical y gravimétrica (Bancos de nivel mareográficos, Bancos de Liga entre líneas, o estaciones base de gravedad) deberán contar además con un mínimo de tres marcas de referencia situadas a distancias cortas convenientes rodeando el monumento principal y ligado a él por distancia, dirección y diferencia de altura.

**IV.6** Todo monumento deberá llevar en su parte superior una inscripción que lo identifique, preferiblemente mediante una placa metálica grabada empotrada en el material. La inscripción deberá contener al menos indicación del organismo que estableció el monumento, fecha, tipo de levantamiento, designación y un punto en el centro que señale el sitio preciso en que se hacen las medidas.

**IV.7** La brigada de monumentación tendrá como tarea adicional la construcción de las plataformas de observación requeridas, de acuerdo con lo que especifique la brigada de reconocimiento.

**IV.8** Toda la plataforma de observación distinta a los tripiés normales deberá construirse de acuerdo con las especificaciones que se indiquen y ser de un diseño tal que asegure la estabilidad en el espacio de los instrumentos empleados para las mediciones. Como regla general, se deberán utilizar materiales livianos, resistentes e indeformables, firmemente empotrados en el terreno y de modo que al construir la plataforma se asegure que no habrá contacto directo entre el observador y la misma.

## **V OBSERVACIONES DE CAMPO**

Las brigadas de observación deberán seguir estrictamente los lineamientos especificados en el proyecto definitivo y no apartarse de él, excepto en los casos en que exista una autorización expresa de autoridad superior.

**V.1** El instrumental destinado a las observaciones de campo será especificado en el proyecto definitivo y las brigadas de observación cuidarán que su transporte, cuidado, manejo y condiciones de operación sean observadas de acuerdo con las indicaciones del fabricante y la práctica normal seguida en estos casos.

**V.2** Los instrumentos que se empleen deberán cumplir con los requisitos generales que se indiquen según el tipo de levantamiento y el grado de exactitud requerido. Los instrumentos básicos serán, para levantamientos geodésicos horizontales, teodolitos geodésicos con resolución menor a 1.0" y distanciómetros electrónicos con precisiones menores a 2.0 cm., más un cierto número de partes por millón de la distancia medida; para levantamientos horizontales que incluyen la dimensión vertical, sistemas de rastreo de satélites para la medición del efecto doppler, medición de diferencias de fase y medición de pseudodistancias, y en el caso del método inercial, los sistemas disponibles con la capacidad requerida para cumplir con estas normas; para levantamientos geodésicos verticales, niveles montados, con una sensibilidad menor a 0.50", que en el caso de primer orden tengan una calidad óptica tal que permita la repetibilidad de lecturas dentro de 0.2 mm sobre una mira geodésica a una distancia de 50 m en condiciones atmosféricas normales; y para levantamientos gravimétricos, instrumentos con una resolución de lectura menor a 0.1 mgal.

**V.3** Con los instrumentos básicos indicados existen otros, así como equipo auxiliar, cuyo uso es complementario, ya sea como parte integral del instrumental o para la medida de cantidades específicas asociadas al levantamiento, entre las que se cuentan los diversos tipos de señales, tripiés, miras, psicrómetros, termómetros, niveles auxiliares, y otros, cuyas características deben ser compatibles con el instrumental básico y el tipo de levantamiento.

**V.4** Todo instrumento, antes de dar principio y al final de medidas deberá ser verificado y ajustado para asegurar que se han conservado las relaciones geométricas entre los diversos componentes y las condiciones de operación durante el período de medición. Para esto se deberán observar los lineamientos especificados al respecto en el manual del fabricante.

**V.5** Los instrumentos asimismo requerirán de un mantenimiento periódico de acuerdo con lo especificado por el fabricante, el cual deberá ser estrictamente observado, llevando un registro permanente de dicho mantenimiento.

**V.6** Las observaciones se harán durante el tiempo y en los períodos que se especifiquen para cada caso, evitando las medidas en condiciones ambientales extremas y en todo caso no más allá de los límites de operación especificados por el fabricante para los instrumentos.

**V.7** Será responsabilidad de las brigadas de observación la elaboración de las descripciones definitivas cuando se ocupen los puntos por primera vez, y de las notas de recuperación en las visitas posteriores, de acuerdo con los lineamientos que se especifican a continuación.

## **VI DESCRIPCION DE PUNTOS**

Todo punto que pertenezca a la red geodésica deberá contar con una descripción escrita, la cual será elaborada por la brigada de observación que ocupe el punto por la primera vez y que sustituirá a la descripción preliminar elaborada durante la etapa de reconocimiento.

**VI.1** La descripción definitiva deberá contener toda la información que permita localizar inequívocamente el punto y llegar a él con toda seguridad y sin mayores dificultades, siguiendo las direcciones indicadas.

**VI.2** La descripción deberá contener en lugar preponderante la designación del punto, fecha de establecimiento, estado y municipio, organismo responsable y levantamiento específico al que pertenece.

**VI.3** La descripción del punto deberá estructurarse de modo que se vaya de lo general a lo particular para efectos de ubicación, principiando por el nivel de entidad federativa, hasta llegar al de lugar identificado por la designación regional que le corresponda, sin dejar de hacer mención de las características geográficas regionales y locales y de los accidentes geográficos y culturales de importancia que se encuentren en la vecindad.

**VI.4** La descripción deberá contener asimismo una relación completa y concisa del itinerario para llegar al punto, especificando el sitio preciso de partida, que deberá ser bien conocido y las distancias y tiempos de recorrido, con mención del tipo de transporte y de las vías de comunicación empleadas y su estado, incluyendo referencias a sitios poblados o accidentes geográficos que se vayan encontrando a lo largo de la ruta.

**VI.5** Se deberán describir las marcas, tanto la principal como las de referencia, cuando existan, indicando el carácter de los monumentos, las inscripciones que contengan y las medidas locales que se hayan hecho entre las marcas de referencia y el punto principal.

**VI.6** Se agregará la información relacionada con las condiciones encontradas para la observación, tales como las de intervisibilidad y necesidad de uso de plataformas elevadas (en su caso), así como datos complementarios, de interés para la supervivencia de las brigadas en relación con servicios, aprovisionamiento y otras facilidades, incluyendo los nombres de personas que puedan actuar como guías, en caso necesario.

**VI.7** La descripción deberá contener un espacio reservado a la anotación de las coordenadas o parámetros que correspondan según el tipo de levantamiento, incluyendo los valores de exactitud alcanzados. Esta información se incorporará después de que se complete la etapa de evaluación final.

**VI.8** Se deberá agregar un croquis general de localización orientado al norte en el que se marquen claramente todos aquellos aspectos de información conducentes a la localización del punto y que muestren gráficamente los detalles más importantes consignados en el texto.

**VI.9** En visitas posteriores al punto, se deberá elaborar una nota de recuperación que indique si hay acuerdo o no con los términos de la descripción. En este último caso, se deberán hacer las modificaciones pertinentes a fin de actualizar la descripción. De especial importancia será verificar el estado en que se encuentran los monumentos, a fin de proceder, en su caso, a su reinstalación o reconstrucción.

## **VII CALCULOS DE CAMPO**

Los cálculos de campo están ligados a la necesidad de ir verificando el acuerdo de los valores observados con las normas de precisión establecidas. Toda desviación deberá ser corregida de inmediato, hasta lograr el acuerdo deseado.

**VII.1** Los cálculos de campo se referirán básicamente a la comprobación de lecturas, de tolerancias angulares en las medidas de direcciones horizontales y ángulos verticales, comprobación de cierres de triángulos, verificación de tolerancias en distancias medidas, cierres de secciones de nivelación geométrica o de secciones gravimétricas, incluyendo los cálculos preliminares de direcciones asociados con observaciones astronómicas.

**VII.2** Ningún punto podrá ser abandonado por la brigada de observación en tanto no se hayan hecho a satisfacción las comprobaciones que le correspondan en relación con las observaciones efectuadas.

## **VIII LIGAS**

**VIII.1** Todo levantamiento deberá iniciarse y terminar en puntos de parámetros conocidos, previamente determinados en otros levantamientos del mismo tipo, cuyo orden de exactitud sea igual o mayor al que se propone para el levantamiento en ejecución.

**VIII.2** La conexión se establecerá haciendo observaciones sobre los parámetros característicos del caso; ángulos y distancias en levantamientos geodésicos horizontales, diferencias de elevación en el caso de levantamientos geodésicos verticales y diferencias de gravedad cuando se trate de levantamientos gravimétricos.

**VIII.3** La liga deberá hacerse con los procedimientos de observación correspondientes al orden de exactitud del levantamiento que actualmente se esté efectuando.

**VIII.4** Se pondrá especial atención en verificar que la posición espacial de los monumentos utilizados para la liga no haya sufrido cambios, para lo cual se deberán observar las especificaciones que para cada tipo de levantamiento se consignan en este documento.

**VIII.5** La conexión al marco de referencia ITRF92 Epoca 1988.0 se podrá establecer de dos maneras, con equipo tradicional como se indica en los puntos VIII.1 al VIII.4 (Normado del 1 de abril de 1985) y con equipo G.P.S. como se indica en el punto VIII.7.

**VIII.6** Con propósitos de clasificación los levantamientos geodésicos con el sistema, de posicionamiento global, se deberán efectuar de acuerdo a lo dispuesto en los estándares de precisión geométrica tabla VIII.1.

**TABLA VIII.1.- ESTÁNDARES DE PRECISIÓN GEOMÉTRICA**

<b>ESTANDARES GEOMETRICOS DE PRECISION</b>	<b>AA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>1°</b>	<b>C 2°</b>	<b>3°</b>
<b>Número mínimo de estaciones de control de la Red Geodésica Horizontal que se deben ligar:</b>	4					
AA	2	3				
A	2	2	3			
B						
C	1	1	1	2		
1°	1	1	1	1	2	
2°	1	1	1	1	1	1
3°						
Ligas a la Red Geodésica Vertical	5	4	3	2	op	op
Número mínimo de estaciones de monitoreo continuo (RGNA) o Fiducial <sup>1</sup>	4	3	2	op	op	op
Localización de las estaciones de control (número de cuadrantes)	2	2	2	1	na	na
Separación entre estaciones (km)						
Entre estaciones existentes fuera del área de proyecto y el límite del área del mismo	3000	500	400	5d	na	na
Entre estaciones existentes y el centro del proyecto a no más de	100d	10d	7d	d/5	na	na

d distancia máxima en kilómetros (km) entre el centro del área de proyecto y cualquier estación de este.

op opcional.

na no aplicable.

1 RGNA. Red Geodésica Nacional Activa.

Fiducial. Estación de orden AA establecida por medio de observaciones VLBI, SLR o G.P.S.

En el caso del número mínimo de estaciones de liga el orden superior invalida al inferior; esto es, en el caso de una estación de orden B se requiere hacer la liga a 3 estaciones de orden B o 2 de orden A, o 2 de orden AA.

**VIII.7** Las ligas con respecto al Marco de Referencia ITRF92 Epoca 1988.0, utilizando equipo G.P.S., se establecerán de dos maneras: mediante el método diferencial de la red geodésica nacional activa o haciendo observaciones simultáneas desde vértices ya establecidos con valores ITRF92 Epoca 1988.0.

**VIII.7.1** Para ligar los trabajos desde vértices ya establecidos con valores ITRF92 Epoca 1988.0, los usuarios deberán colocar un receptor G.P.S. en el vértice más conveniente de acuerdo a las necesidades de su proyecto y otro u otros receptores en los vértices a establecer, diseñado de acuerdo a lo indicado en la tabla VIII.1 Después de calcular los vectores, se deberán ajustar las figuras del proyecto con los valores ITRF92 Epoca 1988.0 del vértice en donde se ubicó el o los receptores base.

**VIII.7.2** Ligas a la Red Geodésica Nacional Activa. A fin de homogeneizar los trabajos geodésicos y reducir tiempos y costos de los proyectos llevados a cabo con metodología G.P.S. se establece que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática opere y controle una red de estaciones de monitoreo continuo de datos G.P.S., denominada Red Geodésica Nacional Activa, que consiste en una estructura

básica de referencia geodésica, integrada inicialmente por 14 estaciones de rastreo permanente de información satelitar G.P.S. que registran datos los 365 días del año durante al menos 23 horas diarias, con un intervalo de registro a cada 15 segundos. Se presenta como una alternativa para que usuarios públicos y privados, que realicen sus proyectos geodésicos o topográficos con tecnología G.P.S. los liguen mediante levantamientos diferenciales al marco geodésico de referencia ITRF92 Epoca 1988.0.

Estas estaciones cuentan con valores de coordenadas de orden A, y garantiza la cobertura de la totalidad de la superficie continental del país.

## **CUADRO DE ESTACIONES**

### **UBICACION**

Colima, Colima  
Culiacán, Sinaloa  
Chetumal, Quintana Roo  
Chihuahua, Chihuahua  
Monterrey, Nuevo León  
Hermosillo, Sonora  
Aguascalientes, Aguascalientes  
La Paz, Baja California Sur  
Mérida, Yucatán  
Mexicali, Baja California  
Oaxaca, Oaxaca  
Tampico, Tamaulipas  
Toluca, México  
Villahermosa, Tabasco

**VIII.7.3** El servicio de la Red Geodésica Nacional Activa. El rastreo permanente de estas 14 estaciones tienen como finalidad el servir como referencia para el establecimiento de otras estaciones o subredes mediante la diferenciación de las observaciones del usuario con respecto a una o más estaciones.

– La solicitud de Información y obtención de datos satelitares, podrá realizarse en los Centros de Información y Ventas del INEGI.

**VIII.7.4** Lineamientos para la utilización del servicio de la Red Geodésica Nacional Activa.

- Puede utilizarse la marca del equipo G.P.S. que más convenga al usuario y utilizar el software correspondiente para el cálculo y ajuste de los vectores, con la condición de que el software tenga la opción de leer archivos RINEX.
- Los horarios de medida serán establecidos por el usuario considerando su programa de trabajo y la hora de descarga de la información en las estaciones fijas.
- Para el procesamiento de los vectores G.P.S. se podrán utilizar datos de una o más estaciones fijas. Si se decide usar sólo una, se recomienda hacerlo con la más cercana.
- Si sólo se cuenta con un receptor, se recomienda utilizar datos de por lo menos dos estaciones fijas, lo que permitirá realizar adecuadamente el ajuste de los vectores G.P.S.
- Cuando se cuente con equipos de una sola frecuencia, sólo se podrán realizar ligas a alguna estación fija, si el área de trabajo se encuentra a menos de 40 km.
- Los datos de observación que se soliciten de la estación fija, deben coincidir en hora, día, semana y año con los del receptor utilizado por el usuario y procesar combinadamente.

## **IX MEDIDA DE ANGULOS HORIZONTALES**

La medición de ángulos horizontales en levantamientos geodésicos se efectuará de acuerdo con las normas generales siguientes:

**IX.1** Se deberán utilizar teodolitos geodésicos de precisión con capacidad de lectura de 0."2 a 1.0 segundo de arco, de acuerdo con el orden de exactitud requerido y métodos de observación que aseguren el control de los errores sistemáticos causados por desajustes menores en los componentes del instrumento.

**IX.2** Todo teodolito deberá sujetarse a las pruebas que correspondan y ajustarse debidamente en el campo, previo al inicio de las medidas y al final de las mismas si se sospecha que durante el período de su realización pudo ocurrir algún cambio. No se deberá hacer ningún ajuste mientras se está midiendo.

**IX.3** Los desajustes mayores que se presenten en cualquier instrumento y que de cualquier modo no puedan ser eliminados en el campo, causarán el retiro del aparato del proyecto y su envío a quien corresponda para las correcciones del caso.

**IX.4** En cuanto a mantenimiento, se deberá observar lo indicado en el punto V.5 de estas especificaciones.

**IX.5** Los teodolitos deberán montarse sobre plataformas rígidas de observación, estar protegidos de factores ambientales adversos, ajustarse, centrarse, nivelarse y dejarlos que se adapten, por un tiempo razonable, a las condiciones del medio, antes de principiar con las medidas.

**IX.6** Para efectuar las observaciones se deberá seguir el método de direcciones de Bessel, haciendo el número de series especificado para cada orden de exactitud.

Solamente en caso de que se pueda demostrar una comparabilidad razonable en cuanto a tiempo, eficiencia y resultados, se podrá usar algún otro método de observación.

**IX.7** Las observaciones se harán durante el período de oscuridad nocturna, excepto en los casos de levantamiento de segundo orden, clase II, y menor, las que podrán hacerse durante el período de iluminación diurna.

**IX.8** Las señales que se utilicen para la observación deberán proporcionar una imagen perfectamente definida en el campo del antejo, para lo cual deberán utilizarse lámparas geodésicas de diseño apropiado cuando las observaciones sean nocturnas. Para observaciones diurnas podrán utilizarse heliotropos, y en distancias cortas, señales de diseño apropiado en cuanto a tamaño, forma y combinación de colores.

**IX.9** A fin de propiciar la comunicación entre puntos del levantamiento, se deberá contar por lo menos con un sistema que a base de un código predefinido y el uso de las señales luminosas que se mencionan en el párrafo anterior, permita la transmisión de mensajes entre brigadas vecinas.

**IX.10** De las observaciones que se hagan se deberá llevar un registro completo y ordenado en libretas de campo en las que se anoten directamente los valores observados, sin borrones o enmendaduras. Toda corrección deberá hacerse mediante una raya inclinada que cruce la cifra afectada, escribiendo el valor correcto encima del corregido. Las libretas deberán rotularse debidamente con los datos pertinentes del levantamiento y conservarse con todo cuidado, considerando que constituyen un documento informativo básico del levantamiento.

## **X MEDIDAS DE DISTANCIA**

**X.1** Para la medición de distancias se utilizarán distanciómetros electrónicos que utilicen radiación electromagnética, del tipo electro-óptico, de microondas, o infrarrojos.

**X.2** Queda a discreción de la unidad organizativa interesada el empleo de cintas o alambres de invar para la medida de distancias, pero por razones de costo y tiempo no se recomienda su uso. En este sentido, su consideración queda restringida a levantamientos con propósitos de investigación, líneas de calibración para distanciómetros electrónicos, medida de distancias menores que 250 metros y levantamientos anteriores a estas normas, asociados con la medida de bases geodésicas.

**X.3** La selección del tipo de distanciómetro electrónico que se utilice deberá hacerse en consideración a su capacidad y características, y en función de las exactitudes requeridas por el orden del levantamiento.

**X.4** Los distanciómetros que se empleen deberán tener una precisión comprendida dentro de 0.5 a 2.0 cm para la parte constante del error, más una parte variable comprendida dentro de 2 a 5 partes por millón de la distancia medida, expresadas en centímetros.

**X.5** Todo distanciómetro que se use en el proyecto deberá estar previamente calibrado, por lo menos con respecto a una distancia conocida con la mayor exactitud y la calibración deberá hacerse por lo menos cada seis meses o cuando se sospeche que ha ocurrido algún cambio en el instrumento, siguiendo los procedimientos normales recomendados para esta clase de instrumentos.

**X.6** La operación, cuidado y manejo de los distanciómetros electrónicos se deberá hacer siempre de acuerdo con lo especificado por el fabricante. Previo a las operaciones de medida, se deberán hacer las pruebas de funcionamiento recomendadas por el mismo, las que de no ser satisfactorias, causarán el retiro del instrumento del proyecto y su envío a quien corresponda para los efectos del caso.

**X.7** El distanciómetro deberá montarse sobre la plataforma de observación, centrarse sobre el punto, nivelarse y sujetarlo a los procedimientos de verificación rutinarios, dejándolo por el tiempo recomendado por el fabricante para que se adapte a las condiciones del medio, antes de iniciar las operaciones de medida.

**X.8** Sólo en el caso de líneas muy inclinadas y para obtener una señal óptima se podrá desnivelar el instrumento, en cuyo caso, se deberá medir el desplazamiento horizontal del centro eléctrico y registrarlo.

**X.9** Solamente para efectos de comprobación especificada de las medidas, se permitirá el desplazamiento longitudinal del instrumento en la dirección de la línea, en cantidades de 20 a 40 cm, para lo cual deberá medirse y registrarse dicho desplazamiento.

**X.10** Toda medida que se haga en un punto deberá estar necesariamente vinculada a una medida en sentido contrario efectuada en el otro extremo de la línea, cuando se usen instrumentos de función intercambiable. Con instrumental electro-óptico, o infrarrojo, las distancias deberán ser medidas el número de veces que sea necesario para garantizar la exactitud requerida.

**X.11** Asociadas con toda medida de distancia deberán hacerse determinaciones complementarias de las condiciones ambientales prevalecientes durante la medida; en cada extremo, al principio y final de la medida, a la sombra y al mismo nivel del instrumento, para lo cual se requiere medir la temperatura, presión atmosférica y humedad relativa con termómetros, barómetros y psicrómetros precisos y calibrados, todo con el propósito de aplicar las correcciones requeridas por factores meteorológicos.

**X.12** Los instrumentos auxiliares a que hace referencia el párrafo anterior deberán calibrarse en laboratorio por lo menos cada seis meses.

**X.13** Se deberá medir la altura del instrumento sobre el punto y registrarla, así como la del otro instrumento o reflectores en el otro extremo de la línea.

**X.14** Para efectos de las reducciones correspondientes, se deberán hacer observaciones en cada extremo orientadas a la determinación de las elevaciones o diferencias de elevación, utilizando métodos de nivelación geométrica o de nivelación trigonométrica, de acuerdo con los lineamientos que para tales medidas se dan en otras partes de este documento.

**X.15** De las medidas que se hagan se deberá llevar un registro completo y ordenado en formularios diseñados para ello en los que se hagan las anotaciones pertinentes, siguiendo los lineamientos que en cuanto a forma de anotación, correcciones y cuidado se expresan en el punto IX.10.

## **XI LEVANTAMIENTOS GEODESICOS HORIZONTALES**

Se define como levantamiento geodésico al conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinado a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el terreno convenientemente elegidos y demarcados con respecto al Sistema ITRF92 Epoca 1988.0, que se define en los puntos 1.5 y 1.6 de estas normas.

**XI.1** Para levantamientos geodésicos se podrán utilizar los métodos que se enlistan a continuación o sus combinaciones. La selección de cualquiera de ellos cuando sea posible optar entre dos o más, deberá estar ligada a las consideraciones económicas y a su capacidad relativa para producir los resultados esperados, los que deben formar parte de los criterios contemplados en el preanálisis y diseño del anteproyecto:

- Triangulación
  - Trilateración
  - Triangulateración
  - Poligonación
  - Método Astronómico
  - Método Inercial
- Técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global

Para efectos comparativos e independientemente de las definiciones que se dan en forma específica para cada método en las partes conducentes de este documento se dan las siguientes descripciones básicas:

### **XI.1.1 Triangulación.**

Constituye el método clásico y universalmente conocido para el desarrollo de los levantamientos geodésicos horizontales, mediante un procedimiento que determina las longitudes de los lados de un sistema de triángulos interconectados, con base en la medida de algunos lados y de todos los ángulos, excepto por lo previsto en el punto XI.3.3.

### **XI.1.2 Trilateración.**

En este método la situación se invierte, para medir directamente los lados y de ahí derivar los valores angulares, excepto que para efectos de control de dirección se requiere la medida de algunos ángulos.

### **XI.1.3 Triangulateración.**

Este método combina los dos anteriores mediante la medida directa de ángulos y distancias; permite una mayor elasticidad en el diseño y proporciona mayor rigidez y confiabilidad a los levantamientos.

#### **XI.1.4 Poligonación.**

Consiste en la medida directa de ángulos y distancias entre puntos consecutivos que forman una línea poligonal continua.

#### **XI.1.6 Método Astronómico.**

Consiste en la observación de la posición angular de objetos relativamente fijos sobre la esfera celeste cuyas coordenadas se conocen en el tiempo. El método se aplica para la determinación de coordenadas astronómicas puntuales y mayormente para el control en dirección de otros métodos de levantamiento, como se especifica en las partes conducentes de este documento.

#### **XI.1.7 Método Inercial.**

El método se fundamenta en la medida de variaciones de aceleración referidas a tres ejes que se estabilizan mediante giroscopios, conjunto montado sobre una plataforma móvil. Las variaciones se traducen en desplazamientos que referidos a una cierta posición de origen, producen las coordenadas geodésicas requeridas. El método ofrece las ventajas de poder determinar además otros parámetros geodésicos, utilización en todo tiempo y ser de alto rendimiento, pero habrá que considerar su costo inicial y capacidad real para producir resultados exactos. Debido a esto último y a que el método está todavía en la etapa introductoria, no se darán por ahora normas y especificaciones en este documento, debiendo observarse las indicadas por los fabricantes de los instrumentos.

#### **XI.1.8 Técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global.**

Este método consiste en recibir la señal electromagnética emitida por los satélites de la constelación NAVSTAR que conforman el Sistema de Posicionamiento Global para determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre. Dada la complejidad, el tamaño y dinámica de cambio de las normas para este tipo de levantamientos se tratarán a detalle en un documento por separado, dándose en éste los lineamientos mínimos.

**XI.2** Con propósitos de clasificación de los levantamientos geodésicos se establecen los siguientes órdenes y clases de exactitud relativa, asociados con valores de esta última que es posible obtener entre puntos ligados directamente, con un nivel de confianza del 95% y en tanto se observen las normas del caso:

<b>ORDEN</b>	<b>CLASE</b>	<b>EXACTITUD RELATIVA</b>
AA	UNICA	1:100 000 000
A	UNICA	1:10 000 000
B	UNICA	1:1 000 000
C		
PRIMERO	UNICA	1:100 000
SEGUNDO	I	1:50 000
	II	1:20 000
TERCERO	I	1:10 000
	II	1:5 000

En los órdenes AA, A, B, se aplican básicamente las técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global y el orden C sigue vigente para los levantamientos geodésicos clásicos por los métodos tradicionales, siendo posible la aplicación de técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global en este orden.

### **XI.2.1 ORDEN AA**

Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden estarán destinados a estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre y de efectos geodinámicos y en general cualquier trabajo que requiera una exactitud de una parte en 100'000,000.

### **XI.2.2 ORDEN A**

Deberá aplicarse para aquellos trabajos encaminados a establecer el sistema geodésico de referencia nacional básico, a levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza terrestre, así como cualquier levantamiento que requiera una precisión de 1:10'000,000.

### **XI.2.3 ORDEN B**

Se destinarán a levantamientos de densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectados necesariamente a la red básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como de geodinámica. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica básica y ajustarse junto con ella, dando como resultado una exactitud no menor a 1:1,000,000.

### **XI.2.4 ORDEN C PRIMERO**

Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos importantes de ingeniería, con fines de investigación científica, y en general a cualquier trabajo que requiera una exactitud no menor a 1:100,000, y debiéndose ligar a la red geodésica básica o a su densificación.

### **XI.2.5 ORDEN C SEGUNDO, CLASE 1**

Se deberán aplicar en la densificación en las áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados en zonas de alto desarrollo y valor del suelo, en el levantamiento y trazo de límites administrativos y en general para todo proyecto que requiera de una exactitud no menor que una parte en 50,000.

### **XI.2.6 ORDEN C SEGUNDO, CLASE II**

Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos horizontales en áreas que no tienen un alto índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo; en levantamientos para apoyo cartográfico y de procesos fotogramétricos, en el establecimiento de control geodésico a lo largo de costas, ríos navegables, entre vías de comunicación importantes, en fraccionamientos y parcelamientos, en áreas de alto valor del suelo, en construcción y en todo trabajo que requiera una exactitud no menor que una parte en 20,000.

### **XI.2.7 ORDEN C TERCERO, CLASE I Y II**

Se deberá destinar al control geodésico horizontal de áreas de valor medio a bajo del suelo, a proyectos locales de desarrollo, levantamientos topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería en levantamientos de áreas rurales y, en general, para todo tipo de trabajo que requiera exactitudes de una o dos partes en 10,000, según las necesidades.

## **XI.3. TRIANGULACIÓN**

Se entenderá por triangulación el método de levantamiento geodésico horizontal consistente en un conjunto de figuras conformadas por triángulos interconectados y traslapados que forman una cadena o cubren un área específica, en donde se han medido algunos lados y los ángulos en los vértices, con el propósito último de determinar las coordenadas de dichos vértices.

**XI.3.1** Durante las etapas de reconocimiento o de observaciones de campo se podrá modificar el diseño previo del anteproyecto de triangulación, sólo si sirve para mejorar significativamente el condicionamiento geométrico o para resolver problemas de visibilidad no previstos. De ocurrir alguna modificación, deberá justificarse y consignarse en la memoria de los trabajos.

**XI.3.2** En el caso de medidas de bases geodésicas, se deberán hacer con distanciómetros electrónicos y con la frecuencia que se especifica en función del valor acumulativo de las fuerzas o rigideces de figura.

**XI.3.3** No se deberá dejar ninguna línea sin observar, excepto por condiciones adversas de visibilidad, siempre y cuando el valor de fuerza o rigidez de figura pueda mantenerse dentro de los límites especificados. En caso contrario deberá resolverse el problema por rediseño de las figuras, establecimiento de vértices excéntricos o uso de plataformas de observación elevadas.

**XI.3.4** Por condicionamiento geométrico se entenderá un esquema en que los vértices vecinos estén situados unos de otros a distancias relativamente uniformes dentro de un rango de unos 3 km en el caso de levantamientos urbanos, hasta 50 km y más en levantamientos extensivos, según el orden de exactitud, formando figuras igualmente regulares en las que su fuerza o rigidez se mantenga dentro de los límites especificados y de modo que la dirección del sistema sea sensiblemente uniforme, sin cambios bruscos. Deberá vigilarse que la relación entre el lado más largo y el más corto no exceda de 2.5.

**XI.3.5** Para el análisis de figuras, tanto en la fase de diseño como en la de cálculo, se deberá emplear la siguiente expresión:

$$R = \frac{D - C}{D} \sum (D_A^2 + D_A D_B + D_B^2)$$

**XI.3.6** En la expresión anterior R es la fuerza o rigidez de figura, D es el número de nuevas direcciones observadas, C es el número de condiciones geométricas por satisfacer y  $D_A$  y  $D_B$  son las diferencias tabulares para un segundo de arco, en unidades del sexto lugar decimal, de los logaritmos de los senos de los ángulos de distancia de avance.

**XI.3.7** No se deberán emplear figuras representadas por triángulos aislados; toda figura deberá estar conformada por una serie de triángulos interconectados de modo que se produzcan un número suficiente de observaciones redundantes que permita la rigidez y confiabilidad de la solución.

**XI.3.8** Las cadenas de triangulación se integrarán con figuras como las siguientes:

Cuadriláteros con dos diagonales, triángulos con punto central, o la combinación de estas dos figuras. En el caso de triangulaciones para cubrimiento en área, en adición a las anteriores, se podrán emplear otros tipos de figura.

**XI.3.9** En el análisis de cadenas de triangulación se deberá determinar la sumatoria entre bases geodésicas de las rigideces de figura individuales y comprobar su acuerdo con los límites especificados en la tabla XI.1. En caso de que se rebasen dichos límites, deberá especificarse en el proyecto la medida de una o más bases geodésicas, a distancias apropiadas a lo largo de la cadena.

En el análisis de cada figura deberán considerarse solamente las dos primeras R, cuyos valores sean los menores de todos los posibles; el valor de la distancia de propagación a la siguiente figura será el determinado a través de la R mínima o R1. Los valores máximos indicados en la tabla (XI.1) sólo deberán aplicarse cuando por condiciones físicas del terreno sea imposible ajustarse a los valores deseables.

**TABLA XI.1.-** ESPECIFICACIONES PARA RIGIDEZ DE FIGURAS EN TRIANGULACIÓN

		1 <sup>ER</sup>	2 <sup>O</sup> ORDEN		3 <sup>ER</sup> ORDEN	
		ORDEN	CLASE I	CLASE II	CLASE I	CLASE II
		SUMA DE		R1 ENTRE BASES		
DESEABLE MÁXIMA		20	60	80	100	125
		25	80	120	130	175
F I G U R A A I S L A D A						
R1	DESEABLE	5	10	15	25	25
	MÁXIMA	10	25	25	40	50
R2	DESEABLE	10	30	70	80	120
	MÁXIMA	15	60	100	120	170

**XI.3.10** La conexión de la triangulación a levantamientos previos para efectos de comprobación de las ligas en escala y azimut se hará siempre y de modo que se pueda asegurar que tanto las coordenadas de partida, como las de cierre se han conservado prácticamente inalteradas. De no ser esta la situación, deberán tomarse las providencias necesarias para corregir mediante reobservaciones completas, o el establecimiento de una, o las dos bases geodésicas.

**XI.3.11** Se considerará satisfactoria la conexión cuando la verificación de distancias acuse una discrepancia cuya magnitud esté dentro del mismo orden de exactitud que corresponda a la nueva triangulación y cuando las discrepancias angulares no sean mayores que 3" en triangulaciones de primero y segundo orden clase I, 5" para segundo orden clase II y tercer orden clase I, y 10" para triangulaciones de tercer orden, clase II. Estas especificaciones son igualmente aplicables al caso de trilateraciones y triangulateraciones.

**XI.3.12** Cuando tengan que medirse bases geodésicas, los procedimientos deberán ajustarse estrictamente a los especificados para tal caso en la medida de distancias utilizando distanciómetros electrónicos, de modo que se aseguren las precisiones requeridas para cada orden y clase de la triangulación, de acuerdo con lo que se especifica en la tabla XI.2.

**TABLA XI.2.-** ESPECIFICACIÓN DE PRECISIÓN PARA MEDIDA DE BASES GEODÉSICAS

	PRIMER	SEGUNDO ORDEN		TERCER ORDEN	
	ORDEN	CLASE I	CLASE II	CLASE I	CLASE II
ERROR MEDIO CUADRÁTICO DEL PROMEDIO	1:1,000,000	1:900,000	1:800,000	1:500,000	1:250,000

**XI.3.13** Las observaciones de ángulos horizontales se harán por series, comprendiendo cada serie un conjunto de posiciones cuyo número se especifica para cada orden de exactitud de las triangulaciones. Las lecturas correspondientes a la estación inicial para cada posición en la serie deberán estar uniformemente repartidas a lo largo del círculo horizontal.

**XI.3.14** En los casos en que sea practicable y para efectos de liga de trabajos locales, se deberá establecer a una distancia apropiada una marca azimutal ligada al monumento principal del vértice por distancias y dirección, con especificaciones mínimas de tercer orden, clase II.

**XI.3.15** El espaciamiento entre cadenas de triangulación de primer orden no deberá ser mayor que 100 km y la distancia entre puntos principales del levantamiento no deberá ser menor que 15 km y estar comprendida dentro de 3 a 8 km para levantamientos en áreas metropolitanas, o de acuerdo con las necesidades en levantamientos de propósitos específicos.

**XI.3.16** Para las triangulaciones de segundo orden, clase I, el espaciamiento entre cadenas estará gobernado por el de los levantamientos en los cuales se apoya, procurando que en la etapa de diseño, cuando no se trate de levantamientos de propósitos específicos, se obtenga un óptimo en la densificación de la red geodésica horizontal, así como en la preparación del marco para la densificación con levantamientos de orden menor.

**XI.3.17** Para este mismo orden y clase se deberá dar un espaciamiento entre puntos principales contiguos no menor que 10 km, de uno a tres kilómetros para levantamientos en áreas metropolitanas, o de acuerdo con las necesidades en levantamientos de propósitos específicos.

**XI.3.18** Para triangulaciones de segundo orden, clase II, la distancia entre puntos principales vecinos rara vez deberá exceder de 5 km.

**XI.3.19** En el caso de triangulaciones de tercer orden, el espaciamiento entre puntos principales vecinos estará gobernado por las necesidades de cada proyecto, permitiéndose llegar a una relación excepcional de 5 a 1 entre las distancias de los lados más largo y más corto comprendidos en el levantamiento, en tanto se conserven los valores especificados de rigidez de figura.

**XI.3.20** En relación con la medida de ángulos horizontales en triangulación, en la tabla (XI.3) se indica el número de posiciones por observar en cada serie, para cada orden y clase de levantamiento, el tipo de instrumento por emplear y los límites de rechazo aplicables al valor observado de cada posición con respecto al promedio aritmético de todas las posiciones.

**TABLA XI.3.-** ESPECIFICACIONES PARA OBSERVACIÓN DE ÁNGULOS HORIZONTALES EN TRIANGULACIÓN

ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN	TIPO DE INSTRUMENTO	NUMERO DE POSICIONES	LÍMITE DE RECHAZO
PRIMERO	0".2	16	± 4"
SEGUNDO, CLASE I*	0".2	16	± 4"
SEGUNDO, CLASE II	0".2	8	± 5"
	1".0	12	± 5"
TERCERO, CLASE I	1".0	4	± 5"
TERCERO, CLASE II	1".0	2	± 5"

\*El análisis de errores, tomados en conjunto, requiere que para Segundo orden clase I la especificación para observaciones angulares sea la misma que para primer orden.

**XI.3.21** En la tabla anterior, es opcional el tipo de instrumento por usar para el caso de segundo orden, clase II, pero deberá observarse el número de posiciones indicado. Se verificará, en todos los casos, que el total de posiciones observadas quede dentro de los límites especificados. Si una o más posiciones están fuera de límite, deberán rechazarse y reobservarse de inmediato en la misma posición del círculo en que estén ubicadas, calculando un nuevo promedio y efectuando el examen nuevamente, hasta que se logre que todas las posiciones queden dentro de los límite.

**XI.3.22** Como parte de las comprobaciones de campo, se deberá hacer la prueba de cierre angular de triángulos, la que deberá complementarse en gabinete con las verificaciones de lados y de ser necesario, con el desarrollo de ecuaciones laterales.

**XI.3.23** El cierre de cada triángulo se calculará como la suma de 180 grados y el exceso esférico, menos la suma de los ángulos observados. El exceso esférico podrá calcularse con la expresión:

$$E_E = 206265 \left( \frac{A}{R^2} \right)$$

En la que  $E_E$  es el exceso esférico en segundos de arco, A es el área del triángulo y R es el radio terrestre en el sitio considerado. A y R deben estar en las mismas unidades.

**XI.3.24** En la tabla (XI.4) se especifica para cada orden y clase de la triangulación el cierre permisible promedio angular de los triángulos, así como los máximos aceptables para cada triángulo, los cuales podrán ocurrir muy ocasionalmente, pero nunca de modo que se exceda el cierre promedio. Por cierre promedio se entenderá el promedio aritmético de los cierres de los triángulos, tomados en valor absoluto figura por figura y acumulativo a lo largo de la cadena.

**TABLA XI.4.-** ESPECIFICACIONES PARA CIERRES DE TRIÁNGULOS

ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN	CIERRE PROMEDIO ANGULAR	CIERRE TRIANGULAR MÁXIMO
PRIMERO	1".0	3".0
SEGUNDO, CLASE I	1".2	3".0
SEGUNDO, CLASE II	2".0	5".0
TERCERO, CLASE I	3".0	5".0
TERCERO, CLASE II	5".0	10".0

**XI.3.25** Se deberá comprobar que las longitudes de los lados comunes de los triángulos contenidos en las figuras, calculadas por rutas diferentes, estén dentro de los límite que se especifican a continuación:

**XI.3.26** Para un cuadrilátero o triángulo con punto central, la relación de las longitudes de los lados comunes determinados a través de las dos primeras R, no debe diferir de la unidad en más de  $(2.105 \times 10^{-6} \cot. A)K$ , en donde A es el más pequeño de los ángulos empleados en el cálculo y K es un factor que depende del orden de la triangulación, con los siguientes valores:

- 1.5 Para primer orden,
- 1.5 a 2.0 Para segundo orden, clase I.
- 2.0 a 4.0 Para segundo orden, clase II.
- 4.0 Para tercer orden, clase I y
- 10.0 a 12.0 Para tercer orden, clase II

**XI.3.27** Para figuras distintas, la verificación de lados se hará sustituyendo en la expresión del punto anterior el factor K por  $0.4 n C$ , en donde n es el número total de triángulos contenidos en la figura y C es otro factor, dependiente también del orden de la triangulación, con los siguientes valores:

- 1.0 Para primer orden
- 1.25 Para segundo orden, clase I,
- 2.0 Para segundo orden, clase II,
- 2.5 Para tercer orden, clase I, y
- 7.5 Para tercer orden, clase II.

**XI.3.28** Se deberán hacer también las pruebas de ecuación lateral a fin de verificar el acuerdo con los límites que se especifican en la tabla (XI.5), referidos a los valores máximos permisibles de la corrección angular promedio que se puede aplicar a las direcciones observadas, para asegurar que cualquier lado, calculado por cualquier ruta, tiene razonablemente el mismo valor. En caso de que la prueba no resulte satisfactoria, se deberán desarrollar ecuaciones laterales en otros polos de la figura a fin de localizar el vértice con error, y elaborar el programa de reobservaciones.

**TABLA XI.5.- VALORES DE LA CORRECCIÓN ANGULAR MÁXIMA A LAS DIRECCIONES OBSERVADAS POR APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN LATERAL.**

ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN	MÁXIMO PERMISIBLE DE LA CORRECCIÓN
PRIMERO	0".3
SEGUNDO, CLASE I	0".4
SEGUNDO, CLASE II	0".6
TERCERO, CLASE I	0".8
TERCERO, CLASE II	2".0

**XI.3.29** Para todos los órdenes de la triangulación y con el propósito de controlar la acumulación de errores angulares sistemáticos, se deberán observar azimutes astronómicos a intervalos regulares como se especifica más adelante.

**XI.3.30** En los casos de las triangulaciones más exactas (primero y segundo orden, clase I), se deberán hacer además observaciones de longitud astronómica.

**XI.3.31** Las observaciones de longitud astronómica asociadas con los controles azimutales deberán hacerse con especificaciones de primer orden en latitudes de 24° o más y con especificaciones de segundo orden en latitudes menores. Dichas especificaciones deberán ser consultadas en la parte conducente de estas normas que se refieren a observaciones astronómicas.

**XI.3.32** En la tabla (XI.6) se indican los espaciamientos para observaciones azimutales, el número de posiciones angulares requeridas y su repetibilidad, así como la especificación para el error medio cuadrático del promedio, para cada orden y clase de la triangulación. Estas especificaciones son igualmente aplicables al caso de trilateración geodésica.

**TABLA XI.6.- ESPECIFICACIONES PARA CONTROL AZIMUTAL DE TRIANGULACIONES Y TRILATERACIONES GEODÉSICAS**

CONCEPTO	ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN				
	1°	2° CI	2° C II	3° CI	3° C II
ESPACIAMIENTO ENTRE FIGURAS	6 A 8	6 A 10	8 A 10	10 A 12	12 A 15
NÚMERO DE POSICIONES POR SERIE	16	16	16	8	4
NÚMERO DE NOCHES DE OBSERVACIÓN	2	2	1	1	1
ERROR MEDIO CUADRÁTICO DEL PROMEDIO	0".45	0".45	0".60	0".80	3".0

**XI.3.33** En los aspectos particulares referidos a las observaciones se deberán seguir los lineamientos expresados en la parte de estas normas que tratan de las especificaciones para el método astronómico.

**XI.3.34** Cuando se midan bases geodésicas se deberán determinar las elevaciones de los extremos por nivelación geométrica con una exactitud comparable a la del orden de la triangulación.

Quando por razones de acceso lejano no sea posible el uso de nivelación geométrica, las determinaciones se harán por nivelación trigonométrica debidamente ligadas a bancos de nivel de elevación conocida.

**XI.3.35** El procedimiento normal para determinar las elevaciones de los otros puntos de la triangulación deberá ser por nivelación trigonométrica, la que se ejecutará de acuerdo con las normas prescritas.

**XI.3.36** Los puntos de elevación trigonométrica se deberán ligar a bancos de nivelación geométrica, con el espaciamiento entre figuras que se indica en la Tabla (XI.7), en la cual se especifican además el número de determinaciones por juego de ángulos verticales, la tolerancia con respecto al promedio de estas determinaciones y la discrepancia permisible entre medidas recíprocas. Estas especificaciones son igualmente aplicables al caso de trilateraciones y poligonales.

**TABLA XI.7.-** ESPECIFICACIONES PARA NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA EN TRIANGULACIÓN, TRILATERACIONES Y POLIGONALES.

CONCEPTO	ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN				
	1°	2° CI	2° C II	3° CI	3° C II
NO. DE FIGURAS ENTRE ELEVACIONES CONOCIDAS	4 A 6	6 A 8	8 A 10	10 A 15	15 A 20
DETERMINACIONES POR JUEGO	4	4	3	3	3
TOLERANCIA ENTRE DETERMINACIONES	± 3"	± 3"	± 3"	± 5"	± 5"
TOLERANCIA ENTRE MEDIDAS RECÍPROCAS	10"	10"	10"	10"	20"

**XI.3.37** Cuando la liga se haga por procedimientos trigonométricos, la discrepancia entre la elevación determinada y la conocida no deberá ser mayor que  $T=0.3 (D)^{1/2}$ , en donde T está dada en metros y D es la distancia en kilómetros. Si la liga es por nivelación geométrica, el orden de la nivelación que se corra deberá ser por lo menos de tercero.

**XI.3.38** Para el cálculo del cierre en distancia de las triangulaciones, las distancias se calcularán a través de la RI hasta el lado terminal conocido, con el cual se hará la comparación del caso. Estas distancias serán igualmente las que se utilicen para el cálculo de las coordenadas horizontales.

**XI.3.39** Los valores de cierre en distancia y posición geográfica, una vez que han sido satisfechas las condiciones geométricas del caso, no deben exceder, para el orden de exactitud propuesto, las correspondientes a las indicadas en el punto XI.2 de estas especificaciones.

**XI.3.40** En cuanto al cierre en azimut, se considerará satisfactorio en tanto no exceda de 4 segundos de arco en triangulaciones de primero y segundo orden clase I, 10 segundos para segundo orden clase II y 20 segundos de arco en tercer orden, en sus dos clases.

#### **XI.4. TRILATERACION.**

Se entenderá como trilateración al método de levantamiento geodésico horizontal consistente en un conjunto de figuras, conformadas por triángulos interconectados en los que se miden las distancias y algunos ángulos, formando una cadena o cubriendo un área específica, con el propósito último de determinar las coordenadas de los vértices de los triángulos.

**XI.4.1** No se deberá modificar el diseño durante las etapas de reconocimiento o de observaciones de campo. Si por alguna razón se hace necesario introducir algún cambio, éste deberá ser debidamente autorizado, justificarse y consignarse en la memoria de los trabajos.

**XI.4.2** En la trilateración, el control de la escala estará dado por la medida de distancia de todos los lados que conformen las figuras, utilizando distanciómetros electrónicos compatibles con las exactitudes requeridas.

El control en dirección estará dado por las conexiones que se hagan con la red geodésica horizontal, por las mediciones angulares horizontales, cuando se requieran y por la medida de azimutes, con la frecuencia y otras especificaciones que se indicaron en el punto XI.3.32 de estas normas.

**XI.4.3** Se debe ejercer el mayor cuidado por mantener la regularidad de las figuras, ya que para satisfacer los requisitos de exactitud se depende en mucho del condicionamiento geométrico y de la cantidad de observaciones redundantes presentes.

**XI.4.4** En sistemas de trilateración, la cantidad de observaciones redundantes debe ser por lo menos del 60%.

**XI.4.5** No se deberán usar triángulos simples a lo largo de una cadena de trilateración, excepto cuando se vayan a hacer ligas a puntos de otros levantamientos a lo largo del recorrido, se observen azimutes durante el desarrollo y nunca para trilateraciones de orden superior al tercero.

**XI.4.6** En proyectos de trilateración, la figura básica deberá ser un hexágono regular o un doble cuadrilátero con todos los lados y diagonales medidos. Se podrán utilizar cuadriláteros con dos diagonales, aproximadamente cuadrados, en los que los ángulos envueltos no sean menores que 30°.

**XI.4.7** En el caso de las figuras básicas y para trilateraciones de primero y segundo orden, clase I, no se deberán incluir ángulos mayores que 25°, a menos que en la medida de distancia se pueda asegurar una exactitud de por lo menos un 50 por ciento superior a la especificada para el orden de que se trate, pero nunca se incluirán ángulos menores que 20°.

**XI.4.8** En el caso de trilateraciones de segundo orden clase II y tercer orden clase I, el ángulo mínimo permisible será de 20°, en tanto que el límite será de 15° para trilateraciones de tercer orden, clase II.

**XI.4.9** En las trilateraciones, el control de posición por coordenadas estará dado por las conexiones a levantamientos geodésicos horizontales existentes y por la observación de valores de latitud y longitud astronómicas en los sitios que determine el diseño.

**XI.4.10** Las conexiones a los levantamientos geodésicos existentes para efectos de comprobación de las ligas del caso, se harán de acuerdo con las especificaciones indicadas en el punto XI.3.11 de estas normas.

**XI.4.11** Las determinaciones de distancia se harán de acuerdo con las normas generales indicadas en el capítulo X de este documento que se refiere a las medidas de distancia.

**XI.4.12** El control de la dirección que se indica en el punto XI.4.3 se deberá hacer mediante la observación directa del azimut astronómico en los sitios especificados, propagando el azimut geodésico a lo largo del sistema, empleando los ángulos calculados y preferiblemente con ángulos observados independientemente, a lo largo de una línea poligonal que forme parte de la trilateración, elegida de modo que forme una trayectoria continua y lo más directa posible entre azimutes de control. Esto último es mandatorio en el caso de trilateraciones de primero y segundo orden, clase I.

**XI.4.13** Las observaciones angulares a que hace referencia el punto anterior se harán de acuerdo con las especificaciones indicadas para triangulación, en el punto XI.3.20 de estas normas.

**XI.4.14** En los casos en que sea practicable, y para efectos de liga de trabajos locales, se deberá establecer a una distancia apropiada, en vértices seleccionados para tal efecto, una marca azimutal ligada a ellos por distancia y dirección, con especificaciones mínimas de tercer orden, clase II.

**XI.4.15** Las elevaciones de todos los vértices de trilateración se determinarán mayormente mediante nivelación trigonométrica, debiéndose ejercer mayor cuidado en la realización de las observaciones y establecer las ligas indicadas a nivelación geométrica.

**XI.4.16** Para efectos del diseño de los levantamientos por trilateración, deberán considerarse el alcance y exactitud aportados por los sistemas de medida electrónica de distancias, lo que permitirá diseños en los que dichas distancias estén comprendidas dentro de un rango de unos 0.25 km en el caso de levantamientos urbanos, hasta 50 km y más en levantamientos extensivos, según el orden del levantamientos.

**XI.4.17** El espaciamiento entre cadenas de trilateración de primer orden no deberá exceder de 100 km y la distancia entre vértices principales vecinos no deberá ser menor que 10 km, o de 3 km en levantamientos de áreas urbanas.

**XI.4.18** El espaciamiento entre cadenas de trilateración del segundo orden, clase I, estará gobernado por el de los levantamientos en los cuales se apoya, procurando que en la etapa de diseño, cuando no se trate de levantamientos de propósitos específicos, se obtengan un óptimo en la densificación de la red geodésica horizontal, así como en la preparación para la densificación con levantamientos de menor orden.

**XI.4.19** Para este mismo orden y tipo de trilateraciones, la distancia entre puntos principales vecinos no deberá ser menor que 10 km, o que un kilómetro en levantamientos urbanos o de propósitos específicos.

**XI.4.20** Para las trilateraciones de segundo orden, clase II, el espaciamiento entre puntos principales contiguos no deberá ser menor que 5 km. Para levantamientos de propósitos específicos dentro de este orden, el límite inferior de las distancias podrá ser de hasta 500 metros.

**XI.4.21** El espaciamiento entre puntos principales vecinos de trilateraciones de tercer orden no deberá ser menor que 500 y 250 metros para las clases I y II, respectivamente.

**XI.4.22** Para la determinación de distancias se deberán hacer por lo menos dos grupos de medidas con una diferencia mínima de cuatro horas entre grupo y grupo, siguiendo los lineamientos indicados en el puntos X.10 de estas normas.

**XI.4.23** El error medio cuadrático del promedio en la medida de distancia no deberá rebasar los valores indicados en la tabla (XI.8), aplicables a medidas corregidas por cada fuente conocida de error sistemático.

**TABLA XI.8.-** ESPECIFICACIONES PARA MEDIDA DE DISTANCIA EN TRILATERACIÓN

ORDEN DE LA TRILATERACIÓN	ERROR MEDIO CUADRÁTICO DEL PROMEDIO
PRIMERO	1:1,000,000
SEGUNDO, CLASE I	1:750,000
SEGUNDO, CLASE II	1:450,000
TERCERO, CLASE I	1:250,000
TERCERO, CLASE II	1:150,000

**XI.4.25** La tolerancia entre dos medidas pertenecientes a un grupo se calculará mediante la expresión.

$$T = \pm(a + bS)$$

En la que S es la distancia medida y  $a$  y  $b$  son parámetros instrumentales proporcionados por el fabricante.

**XI.4.26** Para efectos de los controles astronómicos, incluyendo latitud y longitud astronómicos, se adoptarán los lineamientos indicados en los puntos XI.3.29 a XI.3.32 de estas normas, aplicables al caso de trilateración.

**XI.4.27** Siempre que se mida cualquier distancia dentro de un sistema de trilateración, se deberá determinar la elevación de los puntos extremos, tanto para determinar esta coordenada, como para reducir las distancias observadas a la horizontal y al nivel del mar.

**XI.4.28** En tanto sea practicable, las elevaciones deberán determinarse por nivelación geométrica con una exactitud compatible con la de la trilateración. Cuando por razones de acceso lejano u otras circunstancias no sea posible el uso de nivelación geométrica, las determinaciones se harán por nivelación trigonométrica ligada a bancos de nivel, con el mismo espaciamiento entre figuras que se especifica para triangulación geodésica, procurando mantenerse en los espaciamientos menores.

**XI.4.29** En cuanto al número de determinaciones de ángulos verticales por juego, las tolerancias entre determinaciones y entre medidas recíprocas, se deberán observar las especificaciones dadas en la tabla XI.7 de estas normas, excepto que para los dos primeros órdenes se aumenta en uno el número de determinaciones por juego.

**XI.4.30** Cuando la liga entre puntos trigonométricos y bancos de nivelación geométrica se haga por procedimientos trigonométricos, la discrepancia entre la elevación determinada y la conocida no deberá ser mayor que  $T=0.2 (D)^{1/2}$ , en donde T está dada en metros y D es la distancia en kilómetros. Si la liga es por nivelación geométrica, se aplicarán especificaciones de tercer orden por lo menos.

**XI.4.31** Para efectos de determinar los cierres en distancia, posición y azimut de las trilateraciones, se observarán las indicaciones dadas para el caso de triangulación geodésica en los puntos XI.3.38 a XI.3.40 de estas normas.

## **XI.5. TRIANGULATERACION**

Se define como triangulateración al método de levantamiento geodésico horizontal que combina los métodos de triangulación y trilateración mediante la medida directa, tanto de ángulos como distancias; permite más elasticidad en el diseño y mejorar la rigidez, proporcionando resultados satisfactorios con una mayor exactitud al mismo costo o una mayor velocidad de avance, con exactitud dentro de normas.

**XI.5.1** Durante las etapas de reconocimiento y de observaciones de campo será posible modificar el diseño previo, solamente si sirve para mejorar significativamente el condicionamiento geométrico o para resolver problemas de visibilidad no previstos. De ocurrir alguna modificación, deberá justificarse y consignarse en la memoria de los trabajos.

**XI.5.2** Las medidas de ángulos y distancias se harán con el instrumental especificado para los casos de triangulación y trilateración.

**XI.5.3** Para un mayor control de la exactitud en la dirección y mantener dentro de límites aceptables la propagación de los errores angulares, deberán hacerse, con la frecuencia que en estas normas se especifique, observaciones astronómicas de azimut, de acuerdo con las normas que se refieren a este tipo de observaciones.

**XI.5.4** El espaciamiento entre cadenas de triangulateración de primer orden, no deberá exceder de 100 km y la distancia entre vértices principales vecinos no deberá ser menor que 10 km o de 3 km en levantamientos de áreas urbanas.

**XI.5.5** El espaciamiento entre cadenas de triangulateración de menor orden estará gobernado por el de los levantamientos en los cuales se apoyan, siguiendo los lineamientos generales que para el mismo fin se expresaron en el caso de triangulación y trilateración. El espaciamiento correspondiente entre puntos principales vecinos de segundo orden, clase I, será de 6 a 10 km y en los demás casos se definirá en el diseño de acuerdo con las necesidades del proyecto.

**XI.5.6** El diseño mínimo es el de cadenas o cubrimientos en áreas, conformadas por triángulos simples en los que se miden todos los ángulos y lados.

**XI.5.7** La conexión de la triangulateración a levantamientos previos para efectos de comprobación de las ligas correspondientes deberá ajustarse a las especificaciones del caso. Las especificaciones de verificación angular y de distancia serán las mismas indicadas en el punto XI.3.11 de estas normas.

**XI.5.8** Para la determinación de distancias en triangulateraciones de los dos primeros órdenes de exactitud, se deberán hacer al menos dos grupos de medidas con una diferencia mínima de cuatro horas entre grupo y grupo, estando constituido cada grupo por dos medidas independientes observadas en sentidos contrarios, como se especifica en el punto X.10 de estas normas. En triangulateraciones de tercer orden el mínimo es de un grupo.

**XI.5.9** La tolerancia en las medidas de un grupo en el momento de efectuarse, será la misma indicada para el caso de trilateración geodésica en el punto XI.4.25.

**XI.5.10** El error medio cuadrático del promedio en la medida de distancias no deberá exceder los valores indicados en la tabla (XI.9), aplicables a medidas corregidas por factores meteorológicos. Esta tabla es igualmente aplicable al caso de poligonales.

**TABLA XI.9.-** ESPECIFICACIONES PARA MEDIDA DE DISTANCIAS EN TRIANGULATERACIÓN Y POLIGONALES

ORDEN DE TRIANGULACION	ERROR MEDIO CUADRATICO DEL PROMEDIO
PRIMERO	1:600,000
SEGUNDO, CLASE I	1:300,000
SEGUNDO, CLASE II	1:120,000
TERCERO, CLASE I	1:60,000
TERCERO, CLASE II	1:30,000

**XI.5.11** El control de la dirección de las triangulaciones estará dado por las conexiones que se hagan a la red geodésica horizontal y por la determinación de azimutes, con la frecuencia y otras especificaciones que se indican en la tabla (XI.10).

**TABLA XI.10.-** ESPECIFICACIONES PARA CONTROL AZIMUTAL DE TRIANGULACIÓN GEODÉSICA

	ORDEN DE LA TRIANGULACION				
	1°	2° C I	2° C II	3° C I	3° C II
ESPACIAMIENTO ENTRE FIGURAS	12 TRIANGULOS	6 A 8	6 A 10	10 A 12	12 A 15
NÚMERO DE POSICIONES POR SERIE	16	16	16	8	4
NÚMERO DE NOCHES DE OBSERVACIÓN	2	2	1	1	1
ERROR MEDIO CUADRÁTICO DEL PROMEDIO	0".45	0".45	0".45	0".75	3".00

**XI.5.12** Las especificaciones generales para la observación de ángulos horizontales se dan en la tabla XI.11, donde se indica el tipo de instrumento, el número de posiciones por observar en cada serie y los límites de rechazo aplicables al valor observado de cada posición con respecto al promedio aritmético de todas las posiciones. Las observaciones deberán de hacerse de noche en el caso del primero y segundo orden, clase I y serán de día o de noche, dependiendo de qué período represente las mejores condiciones ambientales, en el caso de los demás órdenes, debiéndose cumplir además, con las especificaciones indicadas en el punto XI.3.21 de estas normas.

**TABLA XI.11.-** ESPECIFICACIONES PARA OBSERVACIÓN DE ÁNGULOS HORIZONTALES EN TRIANGULACIÓN Y POLIGONALES

ORDEN DE LA TRIANGULACIÓN	TIPO DE INSTRUMENTO	NÚMERO DE POSICIONES	LÍMITE DE RECHAZO
PRIMERO	0".2	16	± 4"
SEGUNDO, CLASE I	0".2	8	± 4"
	1".0	12	± 5"
SEGUNDO, CLASE II	0".2	6	± 4"
	1".0	8	± 5"
TERCERO, CLASE I	1".0	4	± 5"
TERCERO, CLASE II	1".0	2	± 5"

**XI.5.13** En las triangulaciones y como parte las comprobaciones de campo se deberán hacer las pruebas de cierre angular de triángulos y cuadriláteros, tomando en cuenta el exceso esférico, que se calculará según se indica en el punto XI.3.23 de estas normas. En la tabla XI.12 se especifica para cada orden y clase de la triangulación los cierres permisibles.

**TABLA XI.12.-** ESPECIFICACIONES PARA CIERRE ANGULAR DE FIGURAS EN TRIANGULATERACIÓN

CONCEPTO	ORDEN DE LA TRIANGULACION				
	1º	2º C I	2º C II	3º C I	3º C II
ERROR DE CIERRE DE UN TRIÁNGULO	± 1".5	± 1".5	± 3"	± 5".0	± 10".0
ERROR DE CIERRE PROMEDIO DE LOS TRIÁNGULOS	± 1".0	± 1".0	± 1".5	± 3".0	± 5".0
ERROR DE CIERRE DE UN CUADRILÁTERO	± 1".5	± 1".5	± 3".0	± 5".0	± 10".0
ERROR DE CIERRE PROMEDIO DE LOS CUADRILÁTEROS	± 1".0	± 1".0	± 1".5	± 3".0	± 5".0

**XI.5.14** En los casos en que sea practicable y para efectos de liga de trabajos locales, se deberá establecer a una distancia apropiada, en vértices seleccionados para tal efecto, una marca azimutal, ligada a ellos por distancia y dirección, con especificaciones mínimas de tercer orden, clase II.

**XI.5.15** En la medida en que sea practicable, las elevaciones deberán determinarse por nivelación geométrica, con una exactitud compatible con la de la triangulateración. Cuando por razones de acceso lejano u otras circunstancias no sea posible el uso de nivelación geométrica, las determinaciones se harán por nivelación trigonométrica ligada a bancos de nivel con el espaciamiento que se especifica en la tabla (XI.13). En la misma tabla se indican el número de determinaciones por juego de ángulos y las tolerancias para cada determinación con respecto su promedio y entre observaciones recíprocas.

**TABLA XI.13.-** ESPECIFICACIONES PARA NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA EN TRIANGULATERACIONES

	ORDEN DE LA TRIANGULATERACION				
	1º	2º C I	2º C II	3º C I	3º C II
NÚMERO DE FIGURAS ENTRE ELEVACIONES CONOCIDAS	4 A 6 VÉRTICES	4 A 6 VÉRTICES	8 A 10 FIGURAS	10 A 15 FIGURAS	15 A 20 FIGURAS
NÚMERO DE DETERMINACIONES POR JUEGO	4	4	4	2	2
TOLERANCIA ENTRE DETERMINACIONES	± 3"	± 3"	± 3"	± 5"	± 5"
TOLERANCIA ENTRE MEDIDAS RECÍPROCAS	± 10"	± 10"	± 10"	± 10"	± 20"

**XI.5.16** Cuando la liga entre puntos trigonométricos y bancos de nivelación geométrica se haga por procedimientos trigonométricos, la discrepancia entre la elevación determinada y la conocida no deberá ser mayor que la especificada para la misma situación en el caso de trilateración (punto XI.4.30). Si la liga es por nivelación geométrica, se aplicarán especificaciones de tercer orden por lo menos.

**XI.5.17** Para efectos de los controles astronómicos, incluyendo latitud y longitud astronómicas, se adoptarán los lineamientos indicados en los puntos XI.3.29 a XI.3.31, aplicables al caso de triangulateración.

**XI.5.18** Para determinar los cierres en distancia, posición y azimut de las triangulaciones, se deberán observar las indicaciones dadas para el caso de triangulación geodésica en los puntos XI.3.38 a XI.3.40 de estas normas.

## **XI.6. POLIGONACION**

Se define como poligonación al método de levantamiento geodésico horizontal consistente en un conjunto de líneas conectadas por sus extremos en forma sucesiva, conformando una línea quebrada en la que se miden todas las distancias y se observan todos los ángulos, con el propósito último de determinar las coordenadas de los puntos que constituyen los extremos de cada línea. El método ofrece las ventajas de una mayor flexibilidad, cubrimiento relativamente rápido y economía, pero su rigidez relativa es menor que la de los levantamientos tratados hasta ahora.

**XI.6.1** Durante las etapas de reconocimiento o de observaciones de campo, se podrá modificar el diseño previo del anteproyecto de poligonación, solamente si sirve para mejorar significativamente el condicionamiento geométrico o para resolver problemas de visibilidad no previstos. De ocurrir cualquier cambio, se deberá justificar debidamente y consignar en la memoria de los trabajos.

**XI.6.2** Todas las líneas y ángulos deberán ser medidos, sin omitir ninguno.

**XI.6.3** En la poligonación, el control de la escala estará dado por la medida de distancia de todos los lados que conforman el sistema, utilizando distanciómetros electrónicos compatibles con las exactitudes requeridas.

**XI.6.4** El control en dirección estará dado por las observaciones angulares horizontales, por las conexiones que se hagan con la red geodésica horizontal y por la medida de azimutes, con la frecuencia y otras especificaciones que se dan en estas normas.

**XI.6.5** En las poligonales, el control de posición por coordenadas estará dado por las conexiones que se hagan a levantamientos geodésicos horizontales existentes y por la observación de valores de latitud y longitud astronómica en los sitios que determine el diseño.

**XI.6.6** Por condicionamiento geométrico de las poligonales se entenderá un esquema en el que se formen polígonos relativamente regulares (poligonales cerradas), o líneas poligonales sensiblemente rectas, con lados de longitud uniforme (poligonales abiertas).

**XI.6.7** En el caso de poligonales abiertas relativamente extensas, de más de 400 Km de extensión entre vértices de coordenadas conocidas, el alineamiento debe ser tal que no se presenten ángulos de deflexión en los vértices, mayores que  $20^\circ$ . Si esta norma es imposible de cumplir en algún vértice, se deberá propiciar una conexión a algún levantamiento geodésico horizontal vecino, de igual o mayor orden de exactitud.

**XI.6.8** Para el caso de poligonales menos extensas se permiten mayores ángulos de deflexión, especialmente por lo que respecta al diseño de poligonales cerradas.

**XI.6.9** En los casos en que por necesidades del proyecto sea necesario introducir cambios bruscos en la dirección de poligonales abiertas, se deberán hacer observaciones de azimut en los puntos en que ocurren dichos cambios.

**XI.6.10** Para efectos prácticos se considera como sección azimutal de la poligonal al tramo de la misma comprendida dentro de los vértices en los que se hagan observaciones de azimut.

**XI.6.11** El espaciamiento entre poligonales de primer orden no deberá ser mayor que 100 km, con lados cuya distancia esté comprendida dentro de 10 y 15 km. En poligonales de este orden en áreas urbanas la distancia mínima de los lados no deberá ser menor de 3 km.

**XI.6.12** El espaciamiento entre poligonales de orden menor que el primero, estará gobernado por las necesidades del proyecto, tomando en cuenta los requerimientos de densificación.

**XI.6.13** Las longitudes de los lados de poligonales de segundo orden, clase I, no deberán ser menores que 4 km. Para levantamientos en áreas urbanas las distancias de los lados no deberán ser menores que 300 metros.

**XI.6.14** Las longitudes de los lados de poligonales de segundo orden, clase II, no deberán ser menores que 2 km; para levantamientos en áreas urbanas las distancias de los dos lados no deberán ser menores que 200 metros.

**XI.6.15** Para tercer orden, en sus dos clases, las distancias de los lados se definirán de acuerdo con las necesidades del proyecto y en el caso de levantamientos urbanos, no deberán ser menores que 100 metros.

**XI.6.16** Para efectos de conexión y comprobación de las ligas a levantamientos existentes, se considerará que éstas son satisfactorias cuando la verificación de distancias acuse una discrepancia cuya magnitud esté dentro del mismo orden de exactitud que corresponda a la poligonal objeto del levantamiento y cuando las discrepancias angulares no sean mayores que 4" en poligonales de primero y segundo orden clase I, 5" para segundo orden clase II y tercer orden clase I, y 10" para poligonales de tercer orden, clase II.

**XI.6.17** En los casos en que sea practicable y para efectos de liga de trabajos locales, se deberá establecer a una distancia apropiada una marca azimutal ligada al monumento principal del vértice por distancia y dirección, con especificaciones mínimas de tercer orden clase II.

**XI.6.18** En relación con la medida de ángulos horizontales en poligonales, en la tabla (XI.11) se indica el número de posiciones por observar en cada serie, para cada orden y clase de levantamiento, el tipo de instrumento por emplear y los límites de rechazo aplicables al valor observado de cada posición con respecto al promedio aritmético de todas las posiciones, debiéndose cumplir además, con las especificaciones indicadas en el punto XI.3.21 de estas normas.

**XI.6.19** Se deberán verificar los cierres angulares entre secciones azimutales conforme a las especificaciones que se indican en la tabla (XI.14).

**TABLA XI.14.-** ESPECIFICACIONES DE CIERRE ANGULAR ENTRE SECCIONES AZIMUTALES DE POLIGONALES.  
(N = NÚMERO DE ESTACIONES).

ORDEN DE LA POLIGONAL	TOLERANCIA DE CIERRE ANGULAR	
	NORMAL	EN LAS AREAS URBANAS
PRIMERO	1."0 POR ESTACIÓN, Ó $2''\sqrt{N}$	1."0 POR ESTACIÓN, Ó $2''\sqrt{N}$
SEGUNDO, CLASE I	1."5 POR ESTACIÓN, Ó $3''\sqrt{N}$	2."0 POR ESTACIÓN, Ó $3''\sqrt{N}$
SEGUNDO, CLASE II	2."0 POR ESTACIÓN, Ó $6''\sqrt{N}$	4."0 POR ESTACIÓN, Ó $8''\sqrt{N}$
TERCERO, CLASE I	3."0 POR ESTACIÓN, Ó $10''\sqrt{N}$	6."0 POR ESTACIÓN, Ó $15''\sqrt{N}$
TERCERO, CLASE II	8."0 POR ESTACIÓN, Ó $30''\sqrt{N}$	8."0 POR ESTACIÓN, Ó $30''\sqrt{N}$

**XI.6.20** Las determinaciones de distancia se harán de acuerdo con las normas generales indicadas en el capítulo X de este documento que se refiere a la medida de distancias. Se deberán hacer por lo menos dos grupos de medidas en el caso de primero y segundo orden, y un grupo cuando se trate de tercer orden. Cada grupo deberá constar de dos medidas independientes, tomadas en sentido contrario, siguiendo en todo caso los lineamientos indicados en el punto X.10 de estas normas.

**XI.6.21** La tolerancia entre dos medidas pertenecientes a un mismo grupo se calculará de acuerdo con la expresión que se indica en el punto XI.4.25 de estas normas.

**XI.6.22** El error medio cuadrático del promedio en la medida de distancia no deberá exceder los valores indicados en la tabla (XI.9).

**XI.6.23** Para efectos de los controles astronómicos, incluyendo latitud y longitud astronómicas, se adoptarán los lineamientos indicados en los puntos XI.3.29 a XI.3.32 de estas normas aplicables al caso de poligonación.

**XI.6.24** En la tabla (XI.15) se indican los espaciamentos para la observación de azimutes el número de posiciones angulares requerido su repetibilidad, así como la especificación para el error medio cuadrático del promedio, para cada orden y clase de las poligonales.

**TABLA XI.15.- ESPECIFICACIONES PARA CONTROL AZIMUTAL DE POLIGONALES GEODÉSICAS**

CONCEPTO	ORDEN DE LA POLIGONAL				
	1º	2º C I	2º C II	3º C I	3º C II
NÚMERO DE LADOS ENTRE SECCIONES AZIMUTALES	5 A 6	10 A 12	15 A 20	20 A 25	30 A 40
NÚMERO DE POSICIONES POR SERIE	16	16	12	8	4
NÚMERO DE NOCHES DE OBSERVACIÓN	2	2	1	1	1
ERROR MEDIO CUADRÁTICO DEL PROMEDIO	0".45	0".45	1".5	3".0	8".0

**XI.6.25** Se deberá determinar la elevación de todos los puntos de la poligonal, tanto para conocer esta coordenada, como para reducir las distancias observadas a la horizontal y al nivel del mar.

**XI.6.26** En tanto sea practicable, las elevaciones deberán determinarse por nivelación geométrica, con una exactitud compatible con la de la poligonal. Cuando por razones de acceso lejano u otras circunstancias no sea posible el uso de nivelación geométrica, las determinaciones se harán por nivelación trigonométrica ligada a bancos de nivel, con el espaciamento y otras especificaciones que se indican en la tabla XI.7, excepto que en el espaciamento deberá ser entre vértices de la poligonal.

**XI.6.27** Cuando la liga entre puntos trigonométricos y bancos de nivelación geométrica se haga por procedimientos trigonométricos, la discrepancia entre la elevación determinada y la conocida no deberá ser mayor que la indicada en el punto XI.4.30 de estas normas. Si la liga es por nivelación geométrica, se aplicarán especificaciones de tercer orden por lo menos.

**XI.6.28** Para efectos de determinar los cierres en posición final referidos a la discrepancia lineal entre coordenadas, después del ajuste azimutal, dichas discrepancias no deberán ser mayores en valor relativo que las correspondientes al orden de exactitud de la poligonal, o bien, podrán verificarse contra lo que se especifica en la tabla XI.16.

**TABLA XI.16-** ESPECIFICACIONES DE CIERRE EN POSICIÓN PARA POLIGONALES GEODÉSICAS, DESPUÉS DEL AJUSTE AZIMUTAL. K = DESARROLLO DE LA POLIGONAL, EN KILÓMETROS.

ORDEN DE LA POLIGONAL	TOLERANCIA DE CIERRE (EN METROS)
PRIMERO	$0.04\sqrt{K}$
SEGUNDO, CLASE I	$0.08\sqrt{K}$
SEGUNDO, CLASE II	$0.20\sqrt{K}$
TERCERO, CLASE I	$0.40\sqrt{K}$
TERCERO, CLASE II	$0.80\sqrt{K}$

## XI.7 METODO ASTRONOMICICO

Para efectos de definición se entenderá como método astronómico al conjunto de operaciones de campo y gabinete destinado a obtener las coordenadas astronómicas y/o la dirección entre puntos situados sobre la superficie terrestre, mediante la observación de la posición angular de objetos relativamente fijos sobre la esfera celeste cuyas coordenadas se conocen en el tiempo. El método deberá aplicarse para la determinación de la coordenadas astronómicas de latitud y longitud, con propósitos de control de las correspondientes coordenadas geodésicas obtenidas por otros métodos de levantamiento, para investigaciones relacionadas con el Dátum local y su establecimiento, para el control de la dirección de otros levantamientos y para la definición de las desviaciones de la vertical.

**XI.7.1** Por su propia naturaleza, debe considerarse al astronómico como un método de apoyo a otros levantamientos y no estrictamente como un método de levantamiento que pueda utilizarse con fines de cubrimiento extensivo, por lo que dentro de los diversos métodos de levantamiento geodésico horizontal su función primordial es de control azimutal.

**XI.7.2** En adición a las observaciones angulares requeridas, toda determinación astronómica normalmente incluye la hora de observación de cada lectura angular que se haga a los objetos celestes, para lo cual se deberá contar con un sistema de control del tiempo que permita resolverlo con una aproximación mejor que 0.1 segundo.

**XI.7.3** Para efectos de los anterior deberá contar con cronómetros de tiempo sideral, de marcha tal que las variaciones en velocidad no excedan de 0.001 segundo por minuto. Se podrán usar cronómetros que registren otro tipo de tiempo en tanto sus variaciones sean relativamente constantes dentro del límite especificado.

**XI.7.4** Para observaciones de latitud y longitud astronómicas en los mayores órdenes de exactitud, se deberá contar con un cronógrafo conectado al cronómetro y a los instrumentos de medición, que permita el registro gráfico del tiempo.

**XI.7.5** Antes de principiar la sesión de observaciones y al final de las mismas, se deberá hacer una comparación de los cronómetros empleados, con respecto a las señales horarias transmitidas por una estación emisora controlada por el Bureau de L'heure, con el propósito de determinar la marcha de los mismos y las correcciones que por tiempo deban aplicarse a las observaciones.

**XI.7.6** Para efectos de lo anterior, se deberá contar con un receptor de radio de onda corta y los amplificadores y filtros necesarios, como parte del equipo para observaciones astronómicas.

**XI.7.7** El instrumental usado para las observaciones angulares será básicamente de tipo de teodolitos de precisión con una capacidad de lectura comprendida entre  $0''.1$  y  $0''.2$ , equipados con niveles montados o colgantes de alta sensibilidad, y del tipo Horrebow. Para observaciones de latitud y longitud se requerirá que los instrumentos estén equipados con un micrómetro ocular. Para estas mismas observaciones, cuando la exactitud requerida sea de segundo o menor orden, se podrá utilizar astrolabios de péndulo de  $60^\circ$  que estén en buenas condiciones ópticas y mecánicas.

**XI.7.8** Para efectos de programación de las observaciones, así como para conocer las coordenadas astronómicas de las estrellas, se deberá contar con los catálogos respectivos, particularmente el APFS (Apparent Places of Fundamental Stars) del año en que se hacen las observaciones, el Catálogo General Boss de la Epoca más reciente, o en defecto de este último, el Catálogo de Estrellas SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory).

**XI.7.9** Especialmente por lo que respecta a las observaciones de latitud y longitud, se deberá preparar una lista de estrellas por observar que cubra con amplitud el período previsto de los trabajos. Dicha lista deberá estructurarse con arreglo al tipo de observación y los requisitos planteados para el mismo en función del método empleado. La lista deberá contener los parámetros de posición y tiempo que permitan una rápida localización de las estrellas.

**XI.7.10** Los instrumentos que se usen para observaciones de latitud y longitud de primero y segundo orden deberán montarse sobre un pilar macizo de piedra o concreto firmemente empotrado en el terreno o sobre un tripieé metálico cuyas patas queden ancladas sólidamente al suelo.

**XI.7.11** La instalación del instrumento a que hace referencia al punto anterior podrá hacerse directamente sobre la estación o en forma excéntrica, para facilidad de operación del instrumental. En este último caso, la distancia de excentricidad no deberá ser mayor que 30 metros y se deberá establecer la liga con la estación por distancia, dirección y diferencia de elevación.

**XI.7.12** El equipo de observación de latitud y longitud deberá estar debidamente protegido de los factores ambientales adversos mediante una tienda de campaña, que al mismo tiempo, permita efectuar las observaciones.

**XI.7.13** Antes de principiar las observaciones de latitud o longitud se deberá orientar el teodolito, de modo que quede alineado en el plano del meridiano local con un margen de error de 2 segundos de tiempo.

**XI.7.14** Los niveles colgantes se deberán calibrar por lo menos un vez dentro de los seis meses anteriores a las observaciones y siempre que se tenga duda de la veracidad de la calibración existente. En los instrumentos que lo contengan, deberá también calibrarse el micrómetro ocular inmediatamente antes de principiar las observaciones.

#### **XI.7.15 OBSERVACIONES DE AZIMUT**

Las observaciones de azimut se harán básicamente en relación con los controles de dirección requeridos para los levantamientos geodésicos horizontales que se han discutido. Los requisitos generales ya han sido establecidos para cada tipo de levantamiento.

**XI.7.15.1** Los azimutes de primero y segundo orden se observarán con teodolitos de  $0''.2$ , provistos de nivel montante que tenga una sensibilidad mejor que 7.5 segundos de arco por división.

**XI.7.15.2** Las observaciones se harán por el método de direcciones de Bessel, utilizando la estrella Polar en cualquier ángulo horario, para lo cual se requiere conocer el tiempo con una aproximación de 0.2 segundos. En lo general, se puede utilizar cualquier estrella circumpolar, o la misma Polar y una estrella auxiliar en el caso de segundo orden y menores.

**XI.7.15.3** La secuencia de puntería en cada posición de la serie deberá ser: marca terrestre, estrella, estrella, marca terrestre. En cada puntería a la estrella deberán registrarse la dirección observada, el tiempo y las lecturas del nivel montante.

**XI.7.15.4** Del conjunto de observaciones de azimut que se hacen primero y segundo orden, deben quedar un mínimo de 24 posiciones aceptadas, siempre y cuando no haya menos de 12 de éstas para una misma noche.

**XI.7.15.5** Para cada serie aceptada, se deberá calcular el promedio correspondiente. La discrepancia entre los promedios de las dos series no deberá ser mayor que un segundo de arco. Si éste no es el caso, se deberá observar una nueva serie, hasta que se logre el acuerdo deseado.

**XI.7.15.6** Con el propósito de anticipar posibles rechazos, se recomienda hacer observaciones adicionales una vez terminada cada serie: cuatro posiciones para primero y segundo orden, dos para tercer orden, clase I, y una para tercer orden, clase II.

**XI.7.15.7** Con el propósito de determinar la corrección por inclinación y para conocer aproximadamente la latitud del lugar, se deberán hacer observaciones de ángulos verticales a las estrellas empleadas; por lo menos un juego de tres determinaciones, antes y después de las observaciones de ángulos horizontales.

**XI.7.15.8** La determinación de azimutes astronómicos implica su transformación a azimutes geodésicos, para lo cual es necesario conocer la longitud astronómica. En este sentido, en los sitios en que se hagan observaciones de azimut, deben hacerse también observaciones de longitud astronómica.

**XI.7.15.9** En relación con el punto anterior, se requerirá que las observaciones de longitud se hagan según la especificación indicada en el punto XI.3.31.

**XI.7.15.10** Una vez terminada de observar una serie, se deberá calcular el azimut de inmediato a fin de verificar si se encuentra dentro de los límites de aceptación especificados. De no ser este el caso y si hay tiempo para ello, se deberá observar de inmediato una nueva serie.

## **XI.7.16 OBSERVACIONES DE LATITUD**

Para las observaciones de latitud astronómica se podrán utilizar el método de HORREBOW-TALCOTT, o el método de STERNECK, en el caso de primero y segundo orden, clase I; para los siguientes órdenes se podrá usar el método de observación de distancias cenitales en sus diversas modalidades, tales como el de distancias cenitales meridianas de una estrella cualquiera, de la Polar, o de la Polar y una estrella auxiliar, el de distancias cenitales circunmeridianas, el de distancias cenitales iguales de una estrella a ambos lados del meridiano y el de distancias cenitales iguales de dos estrellas.

**XI.7.16.1** Las observaciones de latitud para primero y segundo orden clase I, se harán con un teodolito cuya aproximación de lectura en los limbos horizontal y vertical sea de 0".1 y 0".2 respectivamente, o mejor, equipado con micrómetro ocular y nivel Horrebaw de alta precisión. Para observaciones en los órdenes menores se podrán utilizar teodolitos de las mismas características enunciadas para el caso de azimut, o astrolabios de péndulos, de 60°.

**XI.7.16.2** Se deberá preparar un lista de observación que contenga un número suficiente de pares de estrellas para varias noches de observación, para lo cual se debe prever que no toda noche es favorable para las observaciones (se necesitará que el cenit local esté completamente despejado) y que éstas deben extenderse a un mínimo de dos noches.

**XI.7.16.3** En cada período de mediciones se deberán observar no menos de ocho pares de estrellas, tomando en cuenta que al final y después de los rechazos deberán quedar un mínimo de 24 pares aceptados para primer orden y 18 para segundo orden, clase I. Lo normal es que para satisfacer este requisito se deban observar hasta 28 y 32 pares.

**XI.7.16.4** En el caso de condiciones ambientales adversas tales que las noches favorables para observar sean escasas, se podrán terminar las observaciones en una sola noche, si éstas se separan en dos grupos aproximadamente iguales, con un intervalo de por lo menos cuatro horas entre las observaciones de cada grupo.

**XI.7.16.5** Las observaciones se harán utilizando básicamente el micrómetro del instrumento para la medida de la diferencia en distancias cenitales de los pares de estrellas.

**XI.7.16.6** Se deberán usar estrellas con una magnitud comprendida dentro de 3.0 y 7.0 y cuya distancia cenital no sea mayor que  $30^\circ$ , compatible con una declinación variable entre  $30^\circ + \phi$  y  $30^\circ - \phi$ , en donde  $\phi$  es la latitud del lugar.

**XI.7.16.7** La diferencia en tiempo entre pares de estrellas consecutivas deberá ser no menor que 2 minutos.

**XI.7.16.8** La diferencia entre las distancias cenitales de cada par de estrellas, deberá estar dentro del rango de lecturas del micrómetro y no ser mayor que 25 minutos de arco, ni menor que  $0.5''$ .

**XI.7.16.9** La diferencia entre los tiempos de culminación de las dos estrellas de un par no deberá ser menor que un minuto, ni mayor que diez.

**XI.7.16.10** No se deberán usar estrellas cuyo error probable en declinación, según el catálogo, sea mayor que  $0.5''$ .

**XI.7.16.11** Los cálculos de campo de las observaciones deberán hacerse a la mayor brevedad. Todo valor individual calculado que tenga una diferencia mayor que  $\pm 3.0''$  con respecto al promedio deberá rechazarse. Con los valores que queden se deberá calcular el error probable y multiplicarlo por 3.5, para hacer una segunda prueba. Se deberá rechazar cualquier valor individual que tenga un residuo superior a la cifra calculada.

**XI.7.16.12** Después de las pruebas, el promedio final de la latitud calculada, deberá tener un error medio cuadrático no mayor que  $0.15''$  para latitudes de primer orden, o que  $0.45''$  para latitudes de segundo orden, clase I. Para los demás órdenes de exactitud, en los que se han utilizado otros métodos, el límite es de  $0.75''$ .

**XI.7.16.13** El principio del método de Sterneck es el mismo que el Horrebow-Talcott, con algunas pequeñas diferencias. Si se opta por él, se deberá preparar una lista de observación, constituida por 8 grupos de 8 a 10 estrellas en cada uno, de las cuales la mitad debe culminar al norte y la otra mitad al sur del cenit.

**XI.7.16.14** Para este mismo método, la diferencia entre la suma de las distancias cenitales de las estrellas que culminan al norte y de las estrellas que culminan al sur, no deberá ser mayor que  $10^\circ$ .

**XI.7.16.15** Las observaciones del método Sterneck deberán realizarse en dos o más noches con un mínimo de tres grupos aceptables en cada una de ellas.

#### **XI.7.17 OBSERVACIONES DE LONGITUD**

Para las observaciones de longitud astronómica, se utilizará el método de Mayer en determinaciones de primero y segundo orden, clase I. Para las siguientes órdenes y clases, se podrá optar por el método de observación de distancias cenitales iguales en cualquier meridiano, o cerca del primer vertical, por el método de pasos meridianos, o por el de ángulos horizontales. La selección de uno, cualquiera de ellos, dependerá de las exactitudes requeridas.

**XI.7.17.1** Las observaciones de longitud astronómica se deberán hacer con instrumentos y equipo de las mismas características de los empleados para el caso de latitud.

**XI.7.17.2** Las observaciones de longitud para primer orden deberán consistir básicamente en observar la hora de paso de una serie de estrellas por el meridiano local. Con el teodolito debidamente orientado, se deberá registrar la hora de los tránsitos estelares con culminaciones al norte y sur del cenit, alternando las posiciones del telescopio.

**XI.7.17.3** Los tiempos se deberán registrar en el cronógrafo con una aproximación de 0.01 de segundo, haciendo varias determinaciones; antes de la culminación, en el momento del tránsito, y después del paso.

**XI.7.17.4** Se deberá preparar una lista de observación que contenga un número suficiente de estrellas para varias noches de observación, previendo que no toda noche es favorable para las observaciones y que éstas deben extenderse a un mínimo de dos noches.

**XI.7.17.5** En cada noche se deberán observar de tres a cuatro series de estrellas de seis estrellas cada una, de modo que al final se cuente con una determinación de longitud compuesta de seis a ocho series de observaciones.

**XI.7.17.6** Cada serie deberá contener un número aproximadamente igual de estrellas que estén al norte y sur del cenit, de modo que la diferencia sea en no más de una estrella.

**XI.7.17.7** Después de las observaciones y en función de los rechazos probables, no se aceptará ninguna serie que contenga menos de cinco estrellas aceptables dentro de la serie, sujetas a los requisitos de balance indicados en el punto anterior.

**XI.7.17.8** No se deberán utilizar estrellas cuya magnitud sea superior a 2.5, ni menor que 6.0, ni aquellas en que el factor azimutal "A" sea superior a 0.75.

**XI.7.17.9** Después de los rechazos que puedan ocurrir, la suma algebraica de los factores azimutales dentro de una serie no deberá ser mayor que la unidad y preferiblemente deberá estar cerca de cero.

**XI.7.17.10** Se deberán hacer comparaciones radio-cronométricas antes y después de cada serie. Si durante la observación de una serie se prevee que pasará una hora antes de terminarla, se deberá hacer una comparación de tiempo dentro de la serie.

**XI.7.17.11** Los Cálculos de las observaciones deberán hacerse a la mayor brevedad en el campo. Se rechazará cualquier estrella dentro de una serie si su residuo con respecto al promedio de la serie es igual o mayor que  $0".2$  multiplicado por la secante de la declinación de la estrella.

**XI.7.17.12** Se rechazará cualquier serie que muestre desacuerdo con lo especificado en los puntos XI.7.17.6 a XI.7.17.9, y si los cálculos demuestran una desviación de más de  $3.0"$  en la orientación, del instrumento con respecto al meridiano.

**XI.7.17.13** Después de satisfechas todas las pruebas, el error medio cuadrático del promedio para una determinación de longitud astronómica de primer orden, no deberá ser mayor que  $0.15"$  multiplicado por la secante de la latitud del lugar.

**XI.7.17.14** En el caso de longitudes astronómicas de segundo orden, clase I, los requisitos son prácticamente los mismos que para primer orden, excepto por las siguientes modificaciones:

**XI.7.17.15** Se deberán observar cuatro series de estrellas en una misma noche, o en su defecto, en dos noches.

**XI.7.17.16** Las desviaciones de las observaciones a estrellas con respecto al promedio de la serie a la cual pertenecen, no deberán ser mayores que  $0.35"$ .

**XI.7.17.17** Se rechazará cualquier serie cuyo residuo del promedio con respecto al promedio de las series exceda de 5 veces el error probable de la serie.

**XI.7.17.18** Después de satisfechas todas las pruebas, el error medio cuadrático del promedio para determinaciones de longitud astronómica de segundo orden, clase I, no deberá ser superior a 0.45" multiplicado por la secante de la latitud del lugar.

**XI.7.17.19** Cuando se usen instrumentos del tipo de astrolabio de péndulo, se deberá prestar la debida atención a verificar la condición de los soportes del péndulo, a fin de asegurar que éste quede exactamente alineado con la vertical mientras se hacen las observaciones. Debido a que el uso de astrolabios no es muy extensivo, no se darán más especificaciones en este documento en relación con dicho instrumento y con el sistema de medida, las que en todo caso podrán ser consultadas en los manuales respectivos de otras organizaciones. Solamente cabe hacer la observación de que con este tipo de instrumento es posible obtener simultáneamente la latitud y longitud astronómicas.

**XI.7.17.20** Para los demás órdenes y clases de exactitud, con observaciones del tipo indicado en el punto XI.7.17, el error medio cuadrático del promedio, no deberá ser mayor que 0.75" multiplicado por la secante de la latitud del lugar.

**XI.7.17.21** Como parte de las observaciones se deberán hacer medidas de temperatura y presión, con el propósito de aplicar las correcciones pertinentes cuando se observen ángulos verticales.

## **XI.8 TECNICAS DIFERENCIALES DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

Es el método de posicionamiento que se describe en el punto XI.1.8, que se incluye como una alternativa para el levantamiento geodésico debiendo observarse las especificaciones que a continuación se enumeran, las cuales están indicadas exclusivamente para levantamientos G.P.S. diferenciales estáticos. A efecto de clasificar en orden y clase los levantamientos G.P.S. se debe cumplir con las especificaciones en la tabla XI.18.

**XI.8.1** Para efectos prácticos y de acuerdo con las necesidades y requerimientos específicos del proyecto se deberá hacer uso de las posiciones de los satélites, dadas por las efemérides transmitidas, o por las efemérides precisas, ver tabla de clasificación XI.18.

**TABLA XI.18.- CLASIFICACION DE LEVANTAMIENTOS G . P . S .**

<b>ORDEN</b>	<b>CLASE</b>	<b>EXACTITUD RELATIVA</b>	<b>P.P.M.</b>	<b>EFEMERIDES BASE/CALCULO</b>	<b>ERROR BASE (EN CMS.)</b>
AA	UNICA	1 : 100 000 000	0.01	PRECISAS	0 . 3
A	UNICA	1 : 10 000 000	0.1	PRECISAS	0 . 5
B	UNICA	1 : 1 000 000	1.0	TRANSMITIDAS	0 . 8
<b>C</b>					
Primero	UNICA	1 : 100 000	10.0	TRANSMITIDAS	1 . 0
Segundo	I	1 : 50 000	20.0	TRANSMITIDAS	2 . 0
	II	1 : 20 000	50.0	TRANSMITIDAS	3 . 0
Tercero	I	1 : 10 000	100.0	TRANSMITIDAS	5 . 0
	II	1 : 5 000	100.0	TRANSMITIDAS	5 . 0

### **XI.8.2 LINEAMIENTOS QUE PERMITEN DEFINIR DE MANERA CONFIABLE EL LEVANTAMIENTO**

**XI.8.2.1** En el diseño se deberá definir el intervalo de tiempo de observación, el intervalo de tiempo de recepción de cada registro de la señal y el método específico de observación. Para producir las exactitudes relativas esperadas en cada orden y clase de los levantamientos, de acuerdo con los lineamientos indicados en estas normas.

**XI.8.2.2** Identificación de los puntos que conforman el proyecto (nuevas, referencia y fiduciales).

**XI.8.2.3** Identificación de las posibles obstrucciones que se encontraron en la etapa de reconocimiento.

**XI.8.2.4** La cortina de elevación sobre el horizonte para la mejor recepción de la señal de los satélites no debe ser mayor a 15°.

**XI.8.2.5** En tanto sea posible, la antena deberá instalarse de tal manera de minimizar los efectos de rebote de las señales electromagnéticas. En lo general, se deberán evitar instalaciones cercanas a estructuras u otros cuerpos que puedan causar interferencia en la señal.

**XI.8.2.6** La antena también podrá instalarse en un monumento que tenga adaptación para la misma o sobre una baliza y cuando sea necesario sobreelevarla, deberá hacerse con un dispositivo que la mantenga perfectamente vertical sobre la marca de estación.

**XI.8.2.7** Deberá medirse la altura de la antena sobre la marca de estación de acuerdo al número de veces indicado en la tabla XI.19.

**XI.8.2.8** Se deberán evitar levantamientos en áreas en donde se produzcan transmisiones radiales, radares de frecuencia media, estaciones de microondas, antenas de transmisión de alta potencia, transformadores de alta tensión, sitios en que se produzca una alta interferencia causada por los sistemas de ignición vehicular y líneas de conducción eléctrica de alto voltaje.

**XI.8.2.9** De las observaciones y registros obtenidos se deberá hacer un expediente completo y conservarlo cuidadosamente como un documento de información primaria.

**XI.8.3** El orden requerido de exactitud para clasificar un vértice obliga a cumplir con los requisitos indicados en la tabla XI.19. en la que se especifican características del equipo en función de las frecuencias, número de sesiones, tiempos mínimos de medida por sesión, observaciones meteorológicas, número de veces que se debe de medir la antena por sesión, número de receptores que participan en medida simultánea, y número y orden de las estaciones con que se debe diferenciar.

**XI.8.3.1** Con propósitos de clasificación, los vértices de liga deben ser de cuando menos un orden mayor o igual de la estación que se está diferenciando, aún cuando la exactitud relativa del vector o vectores, indique que su clasificación puede ser de mejor calidad.

**TABLA XI.19.- LINEAMIENTOS PARA LEVANTAMIENTOS G . P . S . DE ACUERDO A SU CLASIFICACION**

ORDEN	CLASE	TIPO DE EQUIPO	NUMERO MINIMO DE SESIONES	TIEMPO DE MEDIDA / SESION (HRS.)	NUMERO DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS POR SESION	NUMERO DE MEDICIONES DE ALTURA DE ANTENA / SESION	NUMERO MINIMO DE RECEPTORES EN MEDICION SIMULTANEA
AA	UNICA	D.F.	6	6	3	3	6
A	UNICA	D.F.	3	4	3	3	5
B	UNICA	D.F.	2	2-3	2	2	3
C							
Primero	UNICA	OP.	1	1-2	1	2	3
Segundo	I	OP.	1	1-2	-	1	2
	II	OP.	1	1-2	-	1	2
Tercero	I	OP.	1	1-2	-	1	2
	II	OP.	1	1-2	-	1	2

\*\*\* D.F..- DOBLE FRECUENCIA.

\*\*\* OP..- OPCIONAL EL USO DE DOBLE FRECUENCIA.

#### **XI.8.4 ACRONIMOS USADOS**

G.P.S.	(Global Positioning System) Sistema de Posicionamiento Global.
GRS80	(Geodetic Reference System 1980) Sistema Geodésico de Referencia 1980.
IERS	(International Earth Rotation Service) Servicio Internacional de Rotación de la Tierra.
ITRF	(IERS Terrestrial Reference Frame) Marco de Referencia Terrestre del IERS
NAD27	(North American Datum) Datum Norteamericano de 1927
NAVSTAR	(Navigation Satellite Timing And Ranging) Satélites de Navegación Tiempo y Distancia.
RINEX	(Receiver Independent Exchange Format) Formato de intercambio independiente del receptor.
SLR	(Satellite Laser Ranging) Medición láser a satélites.
VLBI	(Very Long Baseline Interferometry) Interferometría de bases muy largas.

#### **XII MEDIDA DE DIFERENCIAS DE ELEVACION**

Esta clase de medidas se hará fundamentalmente en conexión con levantamientos geodésicos verticales y su propósito consiste en determinar la distancia vertical existente entre puntos del terreno y un cierto Dátum o nivel de referencia, que normalmente es el nivel medio del mar, obtenido como se indica en el punto 1.7 de estas normas.

**XII.1** Se define como nivel medio del mar en un sitio dado al promedio aritmético de las alturas horarias de la marea, obtenido del registro de un graficador continuo (mareógrafo) diseñado para tal propósito, que ha operado durante un período que según las necesidades varía desde un mínimo de seis meses, hasta el término completo de Saros (19 años aproximadamente).

**XII.2** La determinación de elevaciones de puntos deberá estar necesariamente asociada con la medida de diferencias de elevación y deberá asimismo existir la liga correspondiente con el Datum vertical del caso, ya sea directamente, o por conexión con puntos de elevación previamente determinados.

**XII.3** Para la medida de diferencias de elevación entre puntos se utilizará el método de nivelación directa, geométrica o diferencial, o el método de nivelación trigonométrica, de acuerdo con el propósito de la medida, según se indica en los puntos siguientes.

**XII.4** Se utilizará la nivelación geométrica para levantamientos geodésico verticales que requieran de una alta exactitud en conexión con el establecimiento y densificación de la Red Geodésica Vertical y para los propósitos especiales que se indican en la parte de este documento que se refiere a los órdenes de exactitud en dichos levantamientos.

**XII.5** El uso de nivelación trigonométrica se deberá restringir a trabajos que no requieran de los niveles de exactitud que se pueden lograr con la nivelación directa y estarán mayormente asociados con la determinación de elevaciones de puntos de la Red Geodésica horizontal y para la reducción a la superficie de cálculo de distancias medidas con distaciómetros electrónicos.

**XII.6** Toda elevación trigonométrica deberá estar ligada a valores de nivelación directa, para lo cual deberán hacerse las ligas conforme a lo que se especifica en este documento.

**XII.7** En el caso de nivelación diferencial se deberán utilizar instrumentos del tipo de nivel montado, automático, basculante o de burbuja, con micrómetro de placas plano-paralelas, cuyas características sean las indicadas en el punto V.2.

**XII.8** Para la nivelación trigonométrica, los instrumentos por utilizar deberán ser los mismos teodolitos que se especificaron en el punto IX:1 de estas normas.

**XII.9** Las miras que se ocupen en conexión con nivelación directa serán de tipo de precisión, con cinta invar, doble graduación y nivel integrado, excepto en el caso del orden menor de exactitud, para el que podrán usarse miras geodésicas de uso común. Las miras deberán apoyarse durante las medidas sobre plataformas metálicas pesadas (sapos o tortugas) que se hagan descansar firmemente sobre el terreno, excepto cuando se coloquen sobre la placa de la marca (Banco de Nivel).

**XII.10** Se deberá controlar el error de colimación de los instrumentos que se usen para nivelación directa de primer orden, haciendo diariamente, previo al trabajo de observación, las comprobaciones del caso para determinar el valor de C, el cual no deberá exceder de 0.01. Si este es el caso, el instrumento deberá ser corregido en el sitio.

**XII.11** Se deberá determinar, por procedimientos corrientes de campo y con una periodicidad mínima de seis meses, el valor de la constante estadimétrica de los instrumentos de nivelación directa, la cual deberá utilizarse para llevar el control en el balance de vistas.

**XII.12** El transporte, cuidado, operación y mantenimiento de estos mismos instrumentos se deberá hacer de acuerdo con las normas indicadas por el fabricante. Cualquier verificación de campo que acuse resultados insatisfactorios y no pueda ser corregida en el sitio, causará retiro del instrumento y su envío a quien corresponda para los efectos del caso.

**XII.13** Las miras que se utilicen para nivelaciones de primer orden deberán estar apropiadamente calibradas, con una frecuencia no mayor de un año y sujetarse a las verificaciones de verticalidad, antes de principiar los trabajos, cada seis meses y siempre que se sospeche que ha ocurrido algún cambio. Los niveles de las miras deberán igualmente verificarse, antes de iniciar los trabajos y posteriormente, cada quince días por lo menos.

**XII.14** Para las observaciones de nivelación directa, el instrumento deberá estar debidamente protegido, especialmente de los rayos del sol, mediante una sombrilla. Las observaciones se harán durante el día, cubriendo diariamente secciones completas, de ida y vuelta (excepto en el caso de los órdenes de exactitud más bajos, para los que la nivelación puede ser solamente de ida).

**XII.15** Para los efectos del punto anterior, se considera como sección el espacio comprendido entre dos bancos de nivel consecutivos.

**XII.16** Las observaciones se harán por el sistema general de vistas atrás - vistas adelante alternadas, haciendo las lecturas del caso y las respectivas comprobaciones. No se admitirán lecturas por debajo de los primeros 50 cm de la escala de las miras.

**XII.17** Se deberán efectuar las ligas del caso al principio y al final de cada nivelación mediante recuperación de por lo menos dos marcas pertenecientes a nivelaciones de igual o mayor orden de exactitud, de modo que se compruebe que se ha conservado la estabilidad de los monumentos.

**XII.18** En relación con el punto anterior, la norma de comprobación es que se deberá obtener una discrepancia no mayor que la tolerancia especificada para el orden de exactitud de la nivelación que se esté efectuando.

**XII.19** De no lograrse el acuerdo deseado, se deberá continuar la comprobación hasta que se pueda asegurar la existencia de un banco de nivel no perturbado, con el cual pueda hacerse la liga del caso.

**XII.20** Por lo que respecta a la utilización y cuidado de los teodolitos empleados para nivelación trigonométrica, se deberán observar los lineamientos indicados en los puntos IX.2 a IX.5 de estas normas.

**XII.21** Las observaciones de ángulos verticales en conexión con nivelación trigonométrica se harán por el método de dobles distancias cenitales cuando se usen instrumentos con el origen en la dirección vertical, o midiendo ángulos de depresión o elevación cuando el origen de lecturas esté en el plano horizontal.

**XII.22** Las observaciones de ángulos verticales deberán ser recíprocas, y simultáneas en la medida de lo posible, y podrán ser diurnas o nocturnas dependiendo de las condiciones ambientales prevalecientes en la zona de trabajo. Normalmente estas observaciones están asociadas con las de ángulos horizontales, debiendo ejecutarse junto con éstas para aprovechar la disponibilidad del instrumento.

**XII.23** En cada punto deberá tomarse por lo menos un juego aceptable de ángulos verticales, consistente para cada juego de tres a cuatro o más determinaciones, dependiendo del orden de exactitud del levantamiento, siendo cada determinación del resultado de tomar dos punterías, una con el instrumento en posición directa y la otra en la posición invertida del mismo. Entre puntería y puntería, se deberá invertir el instrumento.

**XII.24** En cada punto de nivelación trigonométrica deberán medirse tanto las alturas del instrumento como de las señales empleadas, con referencia a la parte superior de los respectivos monumentos.

**XII.25** En el caso de medidas de ángulos verticales que habrán de usarse para reducción de distancias medidas con distaciómetros electrónicos y cuando la relación entre la diferencia de elevación entre los extremos y la correspondiente distancia sea mayor que 0.25, se deberá aumentar al doble el número de juegos de ángulos verticales, y en uno el número de determinaciones en cada juego.

**XII.26** De las observaciones que se hagan para cualquier tipo de nivelación, se deberá llevar un registro completo y ordenado en libretas de campo apropiadas para cada caso, debiendo observarse las indicaciones expresadas en el punto IX.10 de estas normas.

### **XIII LEVANTAMIENTOS GEODESICOS VERTICALES**

Se define como Levantamiento Geodésico Vertical al conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinados a determinar la elevación de puntos sobre el terreno, convenientemente elegidos y demarcados, con referencia a un determinado Nivel Medio del Mar.

**XIII.1.** Para los levantamientos geodésicos verticales se podrá utilizar el método de nivelación directa, geométrica o diferencial, o el método de nivelación trigonométrica. La selección de uno, cualquiera de ellos, deberá estar ligado a consideraciones relacionadas con el propósito, utilidad de levantamiento y capacidad relativa para producir los resultados esperados, los que deben formar parte de los criterios contemplados en el pre-análisis y diseño del anteproyecto.

**XIII.1.1** La nivelación directa constituye el método clásico utilizado para el desarrollo de los levantamientos geodésicos verticales, mediante un procedimiento que determina directamente la diferencia de altura entre puntos vecinos, por la medida de la distancia vertical existente entre dichos puntos y un plano horizontal local definido a la altura del instrumento que se utilice para hacer dicha medida.

**XIII.1.2** La nivelación trigonométrica sigue en orden de importancia a la anterior y consiste en la determinación indirecta de diferencia de alturas entre puntos vecinos mediante la medida de la distancia existente entre ambos y del ángulo vertical que contiene a dicha línea, con respecto al plano horizontal local de cualquiera de los puntos. Por su naturaleza indirecta y por estar más afectado por errores sistemáticos que en el caso de nivelación directa, el método trigonométrico es menos preciso y produce resultados menos exactos.

**XIII.2.** Con propósitos de clasificación de los levantamientos geodésicos verticales, se establecen los siguientes órdenes y clases de exactitud, limitados a la nivelación diferencial y asociados con los valores de dicha exactitud que es posible obtener entre puntos ligados directamente, con un nivel de confianza del 95% y en tanto se observen las normas del caso; el indicador para cada orden y clase se da en función de la tolerancia para el error de cierre altimétrico de las nivelaciones desarrolladas en líneas o circuitos cerrados, con secciones corridas ida y vuelta.

<b>Orden</b>	<b>Clase</b>	<b>Exactitud (MM)</b>
Primero	I	$4 \sqrt{K}$
Primero	II	$5 \sqrt{K}$
Segundo	I	$6 \sqrt{K}$
Segundo	II	$8 \sqrt{K}$
Tercero	Unica	$12 \sqrt{K}$

En estas expresiones, K es la distancia de desarrollo de la nivelación en un solo sentido, entre puntos de elevación conocida, expresada en kilómetros.

### **XIII.2.1 Primer orden, clase I y II.**

Los levantamientos geodésicos verticales que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de la red geodésica vertical primaria o fundamental del país y en áreas metropolitanas, a proyectos de ingeniería extensivos e importantes, a la investigación regional de movimientos de la corteza terrestre y a la determinación de valores geopotenciales.

### **XIII.2.2 Segundo orden, clase I.**

Deberá tener aplicación en el establecimiento de la red geodésica vertical secundaria a modo de densificación, inclusive en áreas metropolitanas, para el desarrollo de grandes proyectos de ingeniería, en investigaciones de subsidencia del suelo y de movimientos de la corteza terrestre, y para apoyo de levantamientos de menor orden

### **XIII.2.3 Segundo orden, clase II.**

Deberá aplicarse a la densificación de las redes primaria y secundaria y ajustarse junto con ellas, para apoyo de proyectos locales de ingeniería, en cartografía topográfica, como apoyo de levantamientos locales y en estudios de asentamientos rápidos del suelo.

### **XIII.2.4 Tercer orden.**

Se deberá aplicar al apoyo de levantamientos locales, subdivisión de circuitos de mayor orden de exactitud, proyectos de ingeniería pequeños, cartografía topográfica de escalas pequeñas, estudios de drenaje y establecimiento de pendientes en áreas montañosas.

**XIII.3** Las líneas que conformen la red geodésica vertical deberán proyectarse en todos los casos como circuitos cerrados o de modo que principien y determinen en bancos de nivel pertenecientes a nivelaciones de orden de exactitud igual o mayor que el de la nivelación objeto del levantamiento.

**XIII.4** El espaciamiento entre líneas de primer orden deberá estar comprendido entre 100 y 300 Km. para clase I, y entre 50 y 100 Km., para clase II. Para el caso de nivelaciones de este orden en áreas metropolitanas, la separación entre líneas será de 2 a 8 Km. y de acuerdo con las necesidades en nivelaciones de propósitos específicos.

**XIII.5** Para nivelaciones de segundo orden, clase I, la separación entre líneas deberá estar comprendida entre 20 y 50 Km., ser de 0.5 a 1.0 Km. en áreas urbanas, y de acuerdo con las necesidades para nivelaciones de propósitos específicos.

**XIII.6** La distancia entre líneas de nivelación de segundo orden, clase II, deberá estar comprendida entre 10 y 25 Km. y según las necesidades en el caso de nivelaciones de finalidad particular.

**XIII.7** En el caso de nivelaciones de tercer orden, el espaciamiento entre líneas se definirá de acuerdo con el propósito y necesidades de proyecto.

**XIII.8** Las Líneas de nivelación estarán representadas físicamente por una serie de bancos de nivel establecidos a lo largo de vías de comunicación, en sitios en que el riesgo de pérdida o destrucción sean mínimos, con un espaciamiento variable entre uno y tres kilómetros y procurando, en el caso de primero y segundo orden, clase I, que el promedio sea de 1.5 Km. y que el espaciamiento no sea mayor que 2 kilómetros.

**XIII.9** De acuerdo con el punto anterior, la longitud promedio de las secciones no deberá ser mayor que 2 kilómetros en el caso de nivelaciones de primero y segundo orden, clase 1 y de 3 kilómetros para nivelaciones de tercer orden cuando se corran en un solo sentido. Si estas últimas se corren en ambos sentidos, ida y vuelta, se deberá reducir el espaciamiento entre bancos para que la longitud de la sección sea de 3 kilómetros en promedio.

**XIII.10** Con el propósito de reducir la ocurrencia de errores sistemáticos, se deberá limitar la longitud de las visuales y mantener un adecuado balance de las mismas. En la Tabla (XIII.1) se dan las especificaciones del caso.

**TABLA XIII.1.-** ESPECIFICACIONES PARA DISTANCIA DE VISUALES Y BALANCE DE LAS MISMAS EN NIVELACIÓN (VALORES EN METROS)

CONCEPTO	ORDEN DE LA NIVELACION				
	1° CI	1° CII	2° CI	2° CII	3°
LONGITUD MÁXIMA DE VISUALES	50	60	60	70	90
MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE LA DISTANCIA DE VISUALES, POR PUESTA DE APARATO	2	5	5	10	10
VALOR ACUMULATIVO DE LA MÁXIMA DIFERENCIA, POR SECCIÓN	4	10	10	10	10

**XIII.11** Para el control de los valores indicados en la tabla anterior, se deberán hacer uso de la constante estadimétrica del instrumento y de las lecturas de los hilos de estadia, en el caso de primero y segundo orden.

**XIII.12** En primer orden, la longitud de la línea por nivelar entre puntos de elevación conocida no deberá ser mayor que 300 Km. para clase I y de 100 Km. para clase II.

**XIII.13** En el caso de segundo orden, clase I, esta distancia no deberá ser mayor que 50 km.

**XIII.14** Para nivelaciones de segundo orden, clase II, la máxima distancia entre puntos de elevación conocida será de 50 Km. en corridas dobles, y de 25 Km. en corridas sencillas. excepto cuando la zona de trabajo no haya sido cubierta totalmente por nivelaciones de primer orden. En tal caso, se podrá aumentar la longitud hasta 100 Km. cuando la corrida sea doble.

**XIII.15** En tercer orden, la longitud de la línea por nivelar entre puntos de elevación conocida, no deberá ser mayor que 25 Km. en corridas dobles y de no más de 10 km. en corridas sencillas, exepcto cuando se

encuentre una situación como la descrita en el punto anterior, en cuyo caso la distancia para corridas dobles podrá incrementarse a 50 Km.

**XIII.16** A medida que avancen las nivelaciones se deberán ir haciendo las comprobaciones de los cierres de secciones, de acuerdo con las especificaciones que se indican en la Tabla (XIII.2), aplicables corridas dobles en direcciones opuestas.

**TABLA XIII.2.-** ESPECIFICACIONES PARA LA TOLERANCIA EN LA DIFERENCIA DE LAS CORRIDAS IDA Y VUELTA DE SECCIONES. K ES LA DISTANCIA DE SECCIONES EN KM.

<b>Orden de la Nivelacion</b>	<b>Tolerancia para cierre de secciones corridas en ambos sentidos en (MM)</b>
Primero clase I	$3 \sqrt{k}$
Primero Clase II	$4 \sqrt{k}$
Segundo Clase I	$6 \sqrt{k}$
Segundo Clase II	$8 \sqrt{k}$
Tercero	$12 \sqrt{k}$

**XIII.17** Otras especificaciones relacionadas con la nivelación directa y las más significativas de la nivelación trigonométrica, se encuentran expuestas en el capítulo XII de estas normas, en relación con la medida de diferencias de elevación.

#### **XIV LEVANTAMIENTOS GRAVIMETRICOS**

Los levantamientos gravimétricos se harán con el propósito de estructurar la Red Gravimétrica Nacional, para efectos de conocimiento del campo de gravedad terrestre y proporcionar información de apoyo a los levantamientos horizontales y verticales, en conexión con estudios de geodesia dinámica y de su relación con los parámetros de posición. Básicamente, deberá orientarse a la determinación de alturas ortométricas, conocer los valores de la desviación de la vertical y de las alturas geoidales, independientemente de otros usos geodésicos o geofísicos que se les pueda dar.

**XIV.1** Los levantamientos gravimétricos pueden ser absolutos o relativos. Los primeros comprenden la medida directa del valor de la gravedad en un punto dado mediante la utilización de péndulos u otros sistemas. En atención a que en geodesia es más práctica y precisa la determinación de diferencias de gravedad entre puntos y a que mediante ligas apropiadas se pueden conocer los valores absolutos (método relativo), las normas que en esta parte se indiquen se referirán solamente a las medidas relativas de la gravedad.

**XIV.2** Todo levantamiento gravimétrico deberá estar referido a la red de control indicada en el punto I.8 de estas normas.

**XIV.3** La Red Gravimétrica Nacional estará integrada por:

- A) La red básica de primer orden, la cual comprende las estaciones fundamentales de la IGSN-71, las estaciones de base de referencia y auxiliares, y las líneas de calibración.
- B) Las estaciones de segundo orden, pertenecientes a levantamientos regionales y
- C) Las estaciones de densificación, de tercer orden.

**XIV.4** Las estaciones de base gravimétricas fundamentales deberán ser puntos permanentes sobre el terreno, previamente seleccionados y debidamente monumentados, en los que se determine el valor absoluto de la gravedad mediante mediciones relativas múltiples y de alta precisión enlazadas a la red gravimétrica nacional de la IGSN-71

**XIV.5** Las estaciones de base gravimétricas de referencia deberán ser puntos permanentes sobre el terreno, debidamente monumentados, seleccionados con un criterio de cobertura regional, para apoyo de levantamientos gravimétricos regionales o de densificación de cobertura, en los que se determine el valor absoluto de la gravedad mediante mediciones relativas ligadas a estaciones de base gravimétrica fundamentales.

**XIV.6** Las estaciones de base, fundamentales y de referencia, deberán establecerse preferiblemente en ciudades y en todo caso en sitios que aseguren su permanencia en el tiempo. Cada una de estas estaciones deberá contar por lo menos con dos estaciones auxiliares en su vecindad, establecidas con las mismas características y con propósitos de recuperación del valor de la gravedad en caso de pérdida o destrucción de las estaciones básicas o de referencia.

**XIV.7** Las líneas de calibración tendrán el propósito de servir como patrón para calibrar los instrumentos empleados en las medidas. Se deberán establecer con un criterio de cobertura en latitud geográfica a lo largo de líneas, en sitios que permitan un rápido acceso y facilidad para hacer las medidas, sobre marcas de estación permanente de las mismas características indicadas en los puntos anteriores.

**XIV.8** Las estaciones que integren una línea de calibración deberán estar debidamente ligadas a estaciones de base fundamentales y las medidas que sobre ellas se hagan deberán ejecutarse con una precisión tal que al final se tenga una exactitud no menor que 0.05 mgal.

**XIV.9** Para efectos de calibración de instrumentos se podrán utilizar las líneas ya existentes en el país, particularmente la Línea de Calibración que de norte a sur y pasando por México cubre el Continente Americano.

**XIV.10** Todo instrumento que se destine a levantamientos gravimétricos de propósitos geodésicos deberá calibrarse previamente por comparación con una línea anteriormente establecida para tal efecto, de modo que la comparación se haga entre puntos cuyo rango en gravedad sea mayor que el rango esperado de operación del instrumento. Para efectos prácticos, se recomienda que la calibración se haga con un criterio de cubrimiento nacional.

**XIV.11** Los levantamientos gravimétricos regionales se harán con apoyo en las estaciones que conforman la Red Gravimétrica Nacional, a la largo de líneas que principien y terminen en estaciones diferentes, o en forma de circuitos cerrados.

**XIV.12** Las estaciones de liga se deberán recuperar apropiadamente.

**XIV.13** Todo punto o estación que forme parte de un levantamiento gravimétrico deberá contar con valores conocidos de posición geográfica y elevación.

**XIV.14** La latitud geográfica deberá poder ser conocida con una exactitud de por lo menos 0.1 minuto de arco, en tanto que la elevación requiere de una exactitud no menor que 3 metros, ambas compatibles con una exactitud de 1 mgal en gravedad. La posición geográfica se empleará para efectos de ubicación gráfica.

**XIV.15** La latitud se deberá utilizar para el cálculo de la gravedad teórica, dada por la expresión de la unión Geodésica y Geofísica Internacional (1967):

$$G_t = 978.031 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \text{ gals}$$

En la que  $G_t$  es la gravedad teórica y  $\phi$  es la latitud del punto considerado

**XIV.16** La elevación se utilizará fundamentalmente para el cálculo de las correcciones al aire libre y de Bouguer.

**XIV.17** Para efectos prácticos, los puntos que pertenezcan a levantamientos gravimétricos regionales podrán ser los mismos que conforman las redes geodésicas vertical y horizontal, que cumplan con lo expresado en el punto XIV.13 anterior. La latitud de bancos de nivel podrá extraerse de mapas con escalas de 1:100,000 o mayores en que dichos bancos estén marcados.

**XIV.18** Los instrumentos que se empleen para los levantamientos serán del tipo de graviímetro diseñado para la medida de diferencias de gravedad, con un margen de operación mínimo que permita cubrir todo el territorio nacional y con una precisión de lectura de 0.1 a 0.01 mgal.

**XIV.19** El transporte, cuidado, operación y mantenimiento de los gravímetros se deberá llevar a cabo observando estrictamente las especificaciones del fabricante al respecto. Lo mismo es aplicable al caso de los accesorios, cuando éstos forman parte del instrumental.

**XIV.20** Las estaciones que conforman la Red Gravimétrica Nacional deberán medirse con una precisión tal que se asegure una exactitud de 0.05 mgal con respecto a las estaciones que se utilicen para enlace.

**XIV.21** Los levantamientos gravimétricos regionales deberán medirse con una precisión tal que permita llegar a una exactitud de 0.3 mgal con respecto a la red básica.

**XIV.22** En las operaciones de medida se deberá llevar un estricto control de la deriva estática de los gravímetros, limitando la extensión y tiempo empleados de modo que sea posible mantener la deriva dentro de una variación lineal razonable.

**XIV.23** Las lecturas se efectuarán de acuerdo con los procedimientos indicados por el fabricante, realizando las pruebas de funcionamiento que se especifiquen y los ajustes permitidos en campo. Cualquier evidencia de mal funcionamiento que no pueda ser corregido en campo, causará retiro del instrumento y su remisión a quien corresponda para los efectos del caso.

**XIV.24** En toda cooperación que involucre enlaces de la Red Gravimétrica Básica, se deberá seguir una secuencia de observación a lo largo de líneas recorridas en ambos sentidos, de modo que cada punto sea observado dos veces simultáneamente con gravímetros diferentes y que la diferencia de gravedad observada en cualquier punto no sea mayor que 0.05 mgal después de aplicar las correcciones por deriva y marea terrestre

**XIV.25** En los casos de operaciones en que por razones de transporte u otras causas sea necesario esperar por términos de tiempo mayores que una hora, se deberán hacer lecturas de la deriva estática.

**XIV.26** En adición a las lecturas propias del gravímetro, se deberá llevar un registro del tiempo de observación, ya sea en términos del tiempo Civil de Greenwich o Tiempo Local.

**XIV.27** Las operaciones que envuelvan el establecimiento de estaciones de base gravimétricas de referencia se harán en forma de circuito cerrado que comprendan un mínimo de cuatro estaciones cada vez, observadas en un término no mayor que 24 horas para gravímetros cuya precisión de lectura sea de 0.01 mgal.

**XIV.28** Los levantamientos regionales apoyados en la Red Básica se harán con los requisitos de ubicación y densidad de puntos determinados por el proyecto, de acuerdo con las necesidades específicas, para lo

cual deberá hacerse la máxima utilización posible de la existencia de las Redes Geodésicas Vertical y Horizontal, preferiblemente la primera.

**XIV.29** Las observaciones asociadas con los levantamientos anteriores, deberán hacerse de modo que comprendan líneas o circuitos en los que se hagan por lo menos tres reobservaciones en estaciones de la red básica, en áreas de alta densidad de estaciones y con buenas vías de comunicación, o por lo menos una de éstas en áreas aisladas o de baja densidad de cubrimiento.

**XIV.30** Las líneas o circuitos a que hace referencia el punto anterior deberán observarse completamente en el mínimo de tiempo posible y nunca en más de 72 horas, para gravímetros con precisión de lectura de 0.01 mgal.

**XIV.31** Los circuitos regionales deberán ligarse entre sí, haciendo observaciones por lo menos en una estación de un circuito vecino previamente establecido

**XIV.32** La observación diaria de circuitos se deberá programar de modo que la estación de partida y por lo menos uno de cada cuatro puntos intermedios sean observados dos veces, en oportunidades diferentes, por ejemplo:



**XIV.33** En el caso de líneas cuyos extremos sean estaciones diferentes el criterio es semejante, exceptuando a la estación partida; por ejemplo:



**XIV.34** Se deberá tener especial cuidado en el transporte del gravímetro y con toda circunstancia, tal como golpes o vibraciones que puedan provocar la ocurrencia de saltos o cambios en el índice de lecturas. De sospecharse o conocerse esta situación, se deberá volver a observar la última estación o punto visitado a fin de determinar la magnitud de salto o hacer los ajustes complementarios que correspondan.

**XIV.35** De las observaciones que se hagan en conexión con levantamientos gravimétricos deberá llevarse un registro completo y ordenado en libretas de campo apropiadas, siguiendo las normas generales indicadas en el punto IX.10 de este documento.