



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODERNIZACIÓN DE LA RED DE
NIVELACIÓN DEL SERVICIO
MAREOGRÁFICO NACIONAL**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO GEOMÁTICO

P R E S E N T A

ARMANDO LOZA PALESTINA

DIRECTORA DE TESIS

M.C.T. MARÍA ELENA OSORIO TAI



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

*"El modo de dar una vez en el clavo,
es dar cien veces en la herradura"*

Miguel de Unamuno.

Dedicatoria

Para la persona que siempre ha estado a mi lado, en los buenos y en los malos momentos, mi querida madre. Gracias por tu amor incondicional y tu apoyo infinito, tu amor y dedicación han impulsado mi vida de formas que nunca podré agradecerte, tu presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable.

Para mis hermanos, la familia que ha sido testigo de mis esfuerzos, su amor y apoyo me han impulsado en los momentos más difíciles y llenan de alegría mi día a día.

A mi pareja, mi mejor amiga y confidente, por tu amor y apoyo incondicional en los días más duros de mi vida. Tu amor y compañía es el regalo que más aprecio.

En memoria de mi abuela Merced Teresa Mora Olivares, cuyo recuerdo dejó huella en mi vida y con amor siempre la recordare como mi madre.

Por último, para todas las personas que he conocido en mi vida y me han contribuido para ser mejor persona.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de este trabajo.

A mis padres Pablo Loza y Julia Palestina quienes me brindaron la vida y a quienes debo toda la dedicación y esfuerzo en formar la persona que soy, por cuidarme, apoyarme, alentarme a seguir adelante pese a las dificultades, por dedicarme consejos y ayuda a lo largo de mi crecimiento, pero sobre todo por brindarme cariño y confianza incondicional.

A mis hermanos mayores Miguel y Leonel que siempre me han apoyado y me han alentado a concluir mi carrera, todas esas pláticas y consejos sirvieron para terminar mi carrera, a mis hermanos menores Daniel y Paulina, sabiendo que serviré de ejemplo, así como meta superar en su vida académica, que de todo corazón sé que me superaran.

A mi pareja Rocío por todo el apoyo que me ha brindado día a día, por esos momentos que tu compañía me llega a tranquilizar para levantarme y seguir adelante.

Agradezco mucho a mi directora de tesis, la M.C.T. María Elena Osorio Tai por su guía, paciencia y apoyo al realizar el presente trabajo.

Al Dr. Jorge Zavala Hidalgo, al M.C.C. Octavio Gómez Ramos jefe del Servicio Mareográfico Nacional (SMN) y a todo el grupo de trabajo por brindarme la oportunidad de pertenecer a este grupo de trabajo del que he logrado enriquecer mis conocimientos, en especial de Felipe Hernández Maguey, Valente Gutiérrez Quijada y Miriam A. Zarza, de quienes más he aprendido en el SMN.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme todas las oportunidades de crecimiento. A la Facultad de Ingeniería por acogerme y ser mi segunda casa durante mi estancia.

A mis profesores quienes me guiaron a lo largo de la carrera, por la formación y los conocimientos compartidos, si no fuera por ellos no habría logrado concluir mi carrera y este trabajo.

A todos mis amigos y en especial a: León, Alfredo, Saulo, Miguel, Jovan, Pacheco, Bazán, Zizumbo, Rodo, Omar, Amanda, Monzhe, Leslie, quienes hicieron mi estancia en la facultad más amena y de quienes me llevo los mejores recuerdos.

Un agradecimiento especial a Felipe H. M. por todos los conocimientos compartidos y tu compañía en los trabajos de campo. A mi abuela M. Teresa M. O. por todo el apoyo y el cariño, Aunque ambos ya no vieron el final de este trabajo, espero poder hacer sentirlos orgullosos.

A todas las personas mencionadas y a aquellas que puedan haber faltado, les estoy profundamente agradecido.

Glosario

Altura de instrumento:	Es la cota o elevación de la línea de colimación con respecto al plano de comparación.
Ángulo vertical:	Es un ángulo agudo contenido en un plano vertical formado por dos líneas imaginarias llamadas horizontal y visual.
Azimut:	Ángulo que se mide a partiendo de la dirección norte en sentido de las manecillas del reloj.
Bajamar mínima:	Es el momento en que se registra un mínimo en un período de marea.
Banco Maestro (BM):	Es el Banco de Nivel más estable y cercano de la red de control de una estación mareográfica cuya elevación se determina ligándolo directamente al nivel medio del mar.
Banco de Nivel (BN):	Es un punto semi permanente en el terreno, de origen artificial (puesto por el hombre) cuya elevación respecto con algún otro punto es conocida.
Cero de la regla:	Punto arbitrario establecido por debajo de la bajamar máxima, a partir del cual se calibran las lecturas del mareógrafo, sirve como marco de referencia para el cálculo de nivel medio del mar.
Datum Vertical:	Superficie a la cual se refieren las elevaciones. Actualmente la superficie adoptada como datum es el nivel medio del mar (N. M. M.). Para su determinación precisa son necesarias observaciones mareográficas durante un período de 19 años, llamado “Ciclo de Metón o Metónico”. Éste es el ciclo de los tres valores astronómicos principales: fase, declinación y paralaje, de la Luna y el Sol, que tienen mayor influencia en la marea.
Elevación:	Se le llama altura, elevación o cota de un punto a la distancia vertical que existe desde un plano de referencia al punto medido.

Error de colimación (α):	Desviación del ángulo recto formado por el eje horizontal del instrumento y el eje horizontal de la visual al objetivo.
Latitud:	Coordenadas angulares que se miden del Ecuador hacia el Norte o hacia el Sur.
Línea de colimación:	Es una línea imaginaria que va desde el centro del ocular del telescopio, pasa por la intersección de los hilos de la retícula y llega al punto principal del objetivo, estando el aparato corregido.
Línea de nivelación:	Conjunto de Bancos de Nivel ligados entre sí, los cuales tienen una elevación conocida.
Línea visual:	Una línea visual es una línea imaginaria que va desde el ojo del topógrafo hasta un punto fijo. Las líneas visuales pueden ser horizontales u oblicuas (inclinación intermedia entre la horizontal y la vertical).
Longitud:	Coordenadas angulares que se miden del Meridiano de Greenwich hacia el Este y va de 0° a 360° ; o puede ir hacia el oeste de 0° a -180° .
Nivel medio del mar (NMM):	Altura media de la superficie del mar. La cual se define por medio de una estación mareográfica, a partir de una serie de tiempo larga, realmente de un período de 19 años, que cumplen con esa al Ciclo de Metón.
Plano horizontal:	Es un plano arbitrario (propuesto) o conocido, tangente a una superficie de nivel.
Pleamar máxima:	Es el momento en que el mar registra la mayor altura.
Superficie de nivel:	Es una superficie normal a la dirección de la gravedad; por lo tanto, el desnivel entre dos puntos, es la mínima distancia que existe entre las superficies de nivel de dichos puntos.
Puntos de liga (PL):	Los puntos de liga son puntos intermedios de una nivelación, se establecen empleando objetos naturales o artificiales como rocas, troncos, estacas, clavos o tornillos.
Vista adelante:	Vista adelante o lectura negativa es la lectura que se realiza en dirección a la mira situada en el punto que se quiere conocer su elevación. Por el sentido de la nivelación se le nombra “vista adelante”.
Vista atrás:	Vista atrás o lectura positiva es la lectura que se realiza a la mira situada en un punto con cota o elevación conocida. Por el sentido de la nivelación se le nombra “vista atrás”

ZOFEMAT:

Es la Zona Federal Marítimo Terrestre, la cual se obtiene haciendo observaciones al nivel de pleamar máxima, nivel medio del mar y nivel de pleamar mínima por un periodo de treinta días y a partir de la pleamar máxima se fija una franja a 20 metros contigua al litoral marino de acuerdo al “Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre Y terrenos ganados al mar” del Diario Oficial de la Federación (DOF), publicado el 21 de agosto de 1991.

Resumen

En el presente escrito se detallan los resultados obtenidos de la realización de nivelaciones geodésicas de primer orden clase I. En las nivelaciones se consideraron los bancos de nivel (BN) históricos con los que cuenta el Servicio Mareográfico Nacional (SMN), con la finalidad de densificar la red de nivelación en cada una de las estaciones mareográficas. Además, esta red se ligó a la red geodésica vertical del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

También se logró trasladar y ligar el cero de la regla de las estaciones históricas de Tuxpan, Veracruz; y Acapulco, Guerrero; a las nuevas casetas mareográficas instaladas, así como rescatar los bancos de nivel históricos que se encontraban en dichas estaciones, asegurando que los datos de nivel medio del mar que se registran en las casetas actuales se puedan referenciar a los datos históricos y de esta forma se pueda realizar a futuro un mejor estudio sobre la predicción y la variación del nivel del mar.

Una red de nivelación es importante para referenciar el cero de la regla de mareas, evitando que se pierda la referencia, en caso de ser necesario reemplazar el equipo por mantenimiento, falla, vandalismo o evento extremo. El ligar las nivelaciones con el cero de la regla, referencia automáticamente los BN a las lecturas de nivel medio del mar lo cual ayuda a tener un mejor control vertical de la localidad y con ello su posterior estudio a futuro para determinar subsidencia de suelo o incremento del nivel del mar, motivo por el cual las nivelaciones geodésicas de precisión son de suma importancia para las estaciones mareográficas del SMN y para el desarrollo del presente trabajo.

Índice general

Portada	I
Dedicatoria	V
Agradecimientos	VII
Glosario	IX
Resumen	XIII
Índice general	XV
Índice de figuras	XIX
Índice de tablas	XXIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.1.1. El Servicio Mareográfico Nacional	2
1.1.2. Nivelaciones históricas del Servicio Mareográfico Nacional	5
1.2. Objetivos	10
1.2.1. Objetivo general	10
1.2.2. Objetivos particulares	10
2. Nivelación	11
2.1. Tipos de nivelación	12
2.1.1. Nivelación directa	12
2.1.2. Nivelación indirecta	15
2.1.3. Nivelación Satelital	16
2.2. Precisión y errores de las nivelaciones	17

2.2.1. Precisión en las nivelaciones	17
2.2.2. Errores en las nivelaciones	20
2.3. Equipo de monumentación y nivelación	22
2.3.1. Equipo de monumentación	22
2.3.2. Equipo de nivelación	24
3. Metodología y datos	29
3.1. Nivelaciones en el Servicio Mareográfico Nacional	29
3.2. Elaboración de anteproyectos	30
3.3. Recorrido de reconocimiento	31
3.4. Nomenclatura de los bancos de nivel y monumentación	32
3.4.1. Nomenclatura de los bancos de Nivel	32
3.4.2. Monumentación de los bancos de Nivel	34
3.5. Elaboración de croquis	36
3.6. Nivelación geodésica de primer orden Clase I	38
3.7. Descarga de datos	41
3.8. Procesamiento de los datos mediante Leica Geo Office	43
3.9. Actualización de las redes de nivelación del SMN	45
4. Resultados	47
4.1. Generación de reportes	48
4.1.1. Reporte de nivelación	48
4.1.2. Reporte de trabajo en campo	53
4.2. Croquis	56
5. Discusión y conclusiones	63
Anexo I	65
Anexo II	69
Anexo III	71
Anexo IV	73
Anexo V	81
Anexo VI	85

Referencias	87
-------------	----

Índice de figuras

1.1. Diagrama de estación mareográfica	3
1.2. Red de monitoreo del SMN	4
1.3. Guaymas, Sonora 1942	5
1.4. Nivel Wild Heerbrugg N3	6
1.5. Nivel Zeiss Option Ni 2	7
1.6. Nivel Wild Heerbrugg N2	7
1.7. Nivelaciones históricas	8
1.8. Libreta de nivelación histórica	9
2.1. Nivelación simple	13
2.2. Lectura a tres hilos	14
2.3. Nivelación compuesta	15
2.4. Nivelación trigonométrica	16
2.5. Nivelación Satelital	16
3.1. Elaboración de anteproyectos	31
3.2. Placa de nivel grabada	34
3.3. Orientación de la placa de nivel.	35
3.4. Banco de Nivel instalado	35
3.5. Croquis, vista frontal.	36
3.6. Croquis, vista posterior.	37
3.7. Esquema de colimación por el método Kukkamaki	38
3.8. Colimación por el método Kukkamaki en la estación de Tuxpan, Veracruz.	39
3.9. Libreta de nivelación	39
3.10. Exportación de datos.	41
3.11. Formato GSI.	42
3.12. Archivo GSI-8	42

3.13. Leica Geo Office, resultados del procesamiento de los datos.	44
3.14. Ubicación de estaciones mareográficas del SMN 2016	45
4.1. Primera página del reporte de Leica Geo Office Acapulco, Guerrero.	50
4.2. Segunda página del reporte de Leica Geo Office Acapulco, Guerrero.	51
4.3. Tercera página del reporte de Leica Geo Office Acapulco, Guerrero.	52
4.4. Cuarta página del reporte de Leica Geo Office Acapulco, Guerrero.	53
4.5. Reporte de nivelación del trabajo de campo de Acapulco, Guerrero.	54
4.6. Reporte de nivelación del trabajo de campo, tabla de elevaciones de Acapulco API. . .	55
4.7. Reporte de nivelación del trabajo de campo, tabla de elevaciones de Acapulco Club de Yates.	55
4.8. Reporte de nivelación, proyecto definitivo.	56
4.9. Croquis elaborados en gabinete.	57
4.10. Mapa de estaciones mareográficas del SMN 2017	59
4.11. Mapa de estaciones mareográficas del SMN 2018	60
4.12. Mapa de estaciones mareográficas del SMN 2019	61
4.13. Mapa de estaciones mareográficas del SMN 2019	62
5.1. Portada de libreta histórica de nivelación	65
5.2. Registro de libreta histórica de nivelación	66
5.3. Registro de nivelación, contenido de libreta histórica	66
5.4. Elevaciones contenidas en libreta histórica de nivelación	67
5.5. Partes principales del nivel electrónico Leica DNA 03	69
5.6. Croquis de la estación de Ciudad del Carmen, Campeche.	71
5.7. Croquis de la estación de Zihuatanejo, Guerrero.	72
5.8. Portada de reporte de campo.	73
5.9. Reporte de las etapas de nivelación realizados en campo.	74
5.10. Reporte del proceso realizado en trabajo de campo.	75
5.11. Reporte de campo.	76
5.12. Reporte fotográfico.	77
5.13. Anteproyecto de campo.	78
5.14. Reporte de campo, elevaciones corregidas.	78
5.15. Proyecto definitivo.	79

5.16. Reporte generado en Leica Geo Office.	81
5.17. Reporte generado en Leica Geo Office, listado de puntos (parte I).	82
5.18. Reporte generado en Leica Geo Office, listado de puntos (parte II).	83

Índice de tablas

1.1. Personal del SMN	6
2.1. Normas técnicas de estándares de exactitud posicional	19
2.2. Equipo de monumentación	22
2.3. Equipo de nivelación	25
3.1. Claves de los bancos de Nivel	33
4.1. Registro de bancos de nivel instalados.	47
4.2. Control de bancos de nivel instalados 2019.	58
5.1. Elevaciones de los BN corregidas.	85
5.2. Elevaciones de los BN corregidas y ligadas a los datos del nivel medio de mar.	86

Introducción

El Servicio Mareográfico Nacional (SMN) se creó en 1942 y está a cargo del monitoreo de la Red de Estaciones Mareográficas, cada estación cuenta con una caseta mareográfica, así como una Red de Bancos de Nivel, referida al nivel medio del mar (nmm) y destinada al control vertical. La Red de Bancos de Nivel se usa para realizar la mayor parte de obras portuarias en las localidades cercanas a las casetas y para el estudio y predicción del nivel del mar. En 1952 el SMN se incorporó al Departamento de Oceanografía del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En la década de los 90 's, el SMN entra en una crisis provocando una pérdida de gran parte de la Red de Bancos de Nivel y con ellos los datos históricos de monitoreo del mar. En 2007 el SMN reactiva operaciones a cargo del Dr. Jorge Zavala Hidalgo, reacondicionando las casetas mareográficas que aún se encontraban en operación y posteriormente, se reactivó el proyecto de las nivelaciones, con el objetivo de restaurar y densificar la red de nivelación en cada estación mareográfica (**Servicio Mareográfico Nacional**, 2024).

En cada mareógrafo es importante instalar una Red de Bancos de Nivel y una red de nivelación. Las nivelaciones están referidas al cero de la regla, lo cual permite tener un control adecuado de las elevaciones de los equipos y en caso de pérdida de los equipos por eventos extremos resulta más sencilla la reinstalación y el mantenimiento del mismo, sin perder el sistema de referencia en los datos, el cual se conserva incluso si se mueve la caseta a un nuevo sitio.

Las nivelaciones además de ser importantes para las casetas mareográficas, también lo son para las localidades, por la utilidad en la construcción de obras portuarias, servicios de alcantarillado, delimitación de la Zona Federal Marítima Terrestre (ZOFEMAT), levantamientos hidrográficos, batimetrías, proyectos de investigación donde se tiene que delimitar zonas por elevaciones para estudios de flora y fauna, así como en estudios de subsidencia del suelo, deslizamientos de placas y aumento del nivel del mar.

1.1. Antecedentes

El Instituto de Geofísica (IGF) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) realiza investigación científica y tecnológica en el área de geofísica, así como en otras disciplinas afines para comprender el Planeta Tierra. Cuenta con seis Servicios Geofísicos (UNAM, IGEOF, 2019):

- Servicio Magnético (SM)
- Servicio Mareográfico Nacional (SMN)
- Servicio Solarimétrico Mexicano (SSM)
- Servicio Sismológico Nacional (SSN)
- Servicio de Clima Espacial-MX (SCiESMEX)
- Servicio de Geodesia Satelital (SGS)

1.1.1. El Servicio Mareográfico Nacional

El monitoreo del nivel del mar inició en 1942, las primeras observaciones en siete puertos mexicanos, las realizó el Servicio Geodésico Interamericano (IGS) en colaboración con la Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA), la información obtenida se utilizó para calcular las constantes armónicas y el cálculo de los pronósticos de mareas (de Valle, Marta Meía, 1971).

La red de nivelación de la red de estaciones de monitoreo se encuentra activa desde 1942, inició en los puertos de Tampico, Coatzacoalcos, Progreso, Acapulco, La Paz, Guaymas y Salina Cruz, la información obtenida fue utilizada para el control vertical en la elaboración de la carta 1:500 000.

Desde 1952, el SMN opera la Red de Estaciones Mareográficas en la República Mexicana; colaborando en un inicio con el Servicio Geodésico Interamericano (Dependencia que proporcionó equipo para los mareógrafos) y con la Secretaría de Marina (Organismo encargado de la construcción de las casetas mareográficas). El SMN estuvo a cargo de la instalación, operación y mantenimiento de las estaciones mareográficas, así como de la interpretación, lectura, tabulación de la información, obtención del nivel medio del mar, planos de referencia, cotas de los bancos de nivel referidos al nivel medio del mar, temperatura, densidad y salinidad del mar en cada una de las estaciones (Grivel Piña, Ing. Francisco, 1978).

A mediados del 2007 el SMN solo tenía en operación las estaciones de Veracruz y parcialmente la de Acapulco, debido a que la mayoría de las estaciones, que constituían la red mareográfica dejaron de operar desde la década de los 90's, ya que algunas estaciones fueron destruidas u ocupadas por diversas instituciones. Como consecuencia de estos eventos se dejó de contribuir con las bases mundiales de

datos del Global Sea Level Observing System (GLOSS) y el Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). También se detuvo la publicación de calendarios y tablas de mareas con los pronósticos de cada año por falta de datos para la predicción. Además se dejó de dar seguimiento a la mayor parte de los bancos de nivel históricos (**Prospero Díaz, Mariela, 2013**).

A finales de 2007 el nuevo jefe del SMN, el Dr. Jorge Zavala Hidalgo realizó un esfuerzo por reactivar y modernizar la red mareográfica del SMN en 3 líneas principales:

- Reactivación de la red mareográfica con sensores digitales.
- Digitalización de los datos históricos de los mareógrafos.
- Modernización de la base de datos.

Actualmente las estaciones de la red de monitoreo del SMN cuenta con equipos electrónicos, con almacenamiento interno, transmisión en tiempo real de acuerdo a estándares internacionales tipo GLOSS.

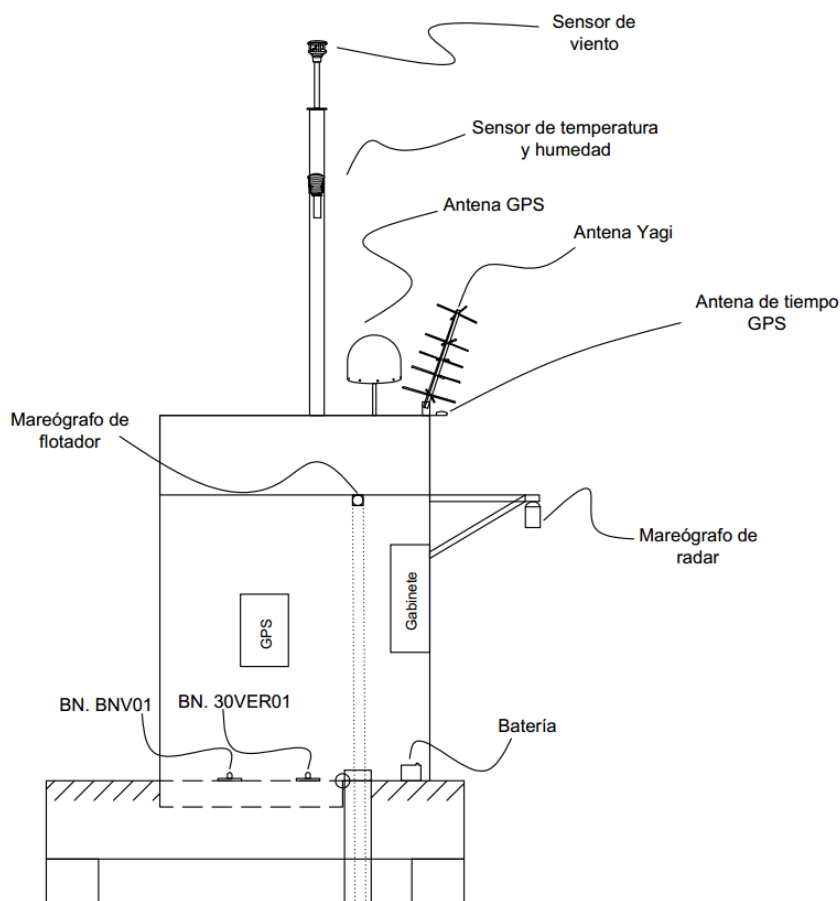


Figura 1.1: Diagrama del equipo instalado en la estación mareográfica Veracruz, Ver.

1. INTRODUCCIÓN

Una estación mareográfica con características de acuerdo al GLOSS debe contar con sensores de monitoreo redundantes (ver ejemplo en figura 1.1):

- Mareógrafo principal (Radar).
- Mareógrafo respaldo (Flotador).
- Red de bancos de nivel.
- GPS de alta precisión.
- Equipo de comunicación.
- Estación Meteorológica.
- Batería de respaldo.

Actualmente la red de monitoreo del SMN está compuesta por 27 estaciones, 12 ubicadas en el Océano Pacífico y 15 ubicadas en el Golfo de México (**Servicio Mareográfico Nacional, 2024**), como se puede observar en la figura 1.2.



Figura 1.2: Estaciones actuales que conforman la red de monitoreo del Servicio Mareográfico Nacional.

1.1.2. Nivelaciones históricas del Servicio Mareográfico Nacional

A partir del año de 1952, el IGF adquirió el compromiso de mantener y desarrollar el SMN, la cual estaba compuesta por cuatro estaciones en el Golfo (Tampico, Veracruz, Coatzacoalcos y Progreso) y cinco en el Pacífico (La Paz, Pto. Peñasco, Guaymas, Acapulco y Salina Cruz), añadiendo a los estudios anteriores el estudio de mareas (**Ayala Castaños, Agustín, 1987**). En sus inicios el SMN en colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano realizaban las nivelaciones de precisión periódicamente en intervalos máximos de dos años.

Desde 1952 el SMN ha realizado nivelaciones, generando una gran cantidad de información contenida en libretas históricas de nivelación.

En 1956 en cada estación mareográfica se instalaron al menos cuatro bancos de nivel (ver ejemplo en figura 1.3), cuyas cotas estaban referidas al cero de la regla, el pronóstico de marea se podía referir al nivel medio del mar con una nivelación sencilla, para la década de los 80's se contaba con 14 estaciones de medición permanente y otros 11 sitios de medición temporal, cada uno de los sitios contaba con red de bancos de nivel.

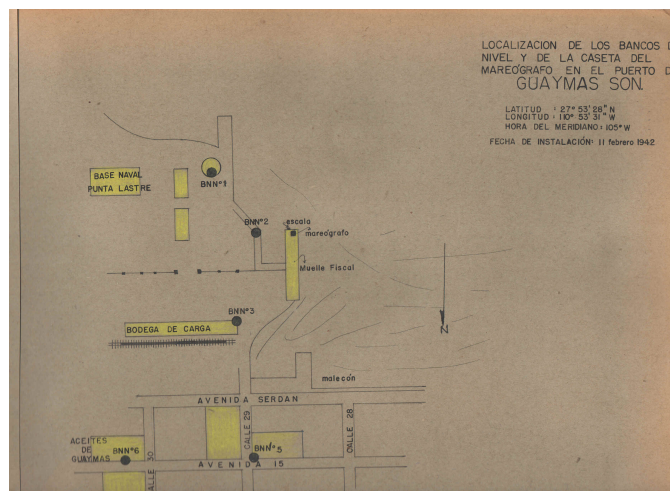


Figura 1.3: Localización de los bancos de nivel y caseta del puerto Guaymas, Son. de 1942, imagen tomada del acervo histórico del SMN.

En los registros históricos de nivelación del SMN se encuentran anotados los procedimientos empleados para la realización de una nivelación, incluyendo el nombre de los integrantes de las brigadas de nivelación, el equipo empleado, así como el respectivo cálculo de elevaciones con respecto al cero de la regla de marea.

El listado de nombres de la tabla 1.1 fue extraído de los registros históricos, en la mayoría de las

1. INTRODUCCIÓN

libretas solo se anotaban las iniciales o el nombre incompleto de las personas, las personas encargadas de realizar las nivelaciones, y el trabajo que desempeñaron.

Tabla 1.1: Listado del personal del SMN, obtenido de los registros históricos de la década de los 60's a la década de los 90' s.

Jefes de brigada	Observadores	Estadaleros
Ing. Fidel Alcalá C.	Herminio Cepeda	Alberto Peña
Dr. N. Grijalva O.	Guillermo J Navarro	Carlos Contreras Cruz
J. Trinidad Guzmán	Juan Rodríguez	E. A. G.
F. Ponce H.	J. Trinidad Guzmán	Jacinto Soberanes
Herminio Cepeda		Solano
Felipe Hernández		Morales
		Armando Morales
		Luis Ernesto



Figura 1.4: Nivel Wild Heerbrugg, modelo N3, imagen tomada de: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1961_wild_heerbrugg_n3_level.php.

Las nivelaciones se realizaban con equipos mecánicos, el más antiguo registrado en las libretas históricas es el modelo Wild N3 (Fig. 1.4), usado por el Ing. Francisco Grivel Piña en la estación de Alvarado, Veracruz, en 1959, el cual era un equipo para montaje con una placa plano paralela incorporada, imagen directa con inversor de imagen, su precisión de nivelación de montaje es de 0.1 mm y la precisión de nivelación cerrada es de 0.2 mm por kilómetro nivelado (**Hilster, N, 2019**), en los registros históricos este equipo fue el más utilizado.



Figura 1.5: Nivel Zeiss Option Ni 2, imagen tomada de: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1960s_zeiss_opton_ni_2.php.

Otro equipo que se empleó para las nivelaciones históricas fue el nivel Zeiss Option Ni 2 (Fig. 1.5), operado por Herminio Cepeda en Guaymas, Sonora, en 1967. Este nivel contaba con un compensador que brinda una precisión de 0.7 mm por kilómetro y con su placa paralela mejoraba su precisión a 0.3 mm por kilómetro y contaba con un lente de 40 mm, con una capacidad de 32 aumentos (Hilster, N, 2019).



Figura 1.6: Nivel Wild Heerbrugg N2, imagen tomada de: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1951_wild_heerbrugg_n2_reversion_level.php.

1. INTRODUCCIÓN

Por último, tenemos el nivel Wild Heerbrugg N2 (Fig. 1.6), usado por el Ing. Federico Ponce H. en Alvarado, Veracruz, en 1967, este nivel cuenta con un lente de 28 aumentos, imagen invertida con nivel de coincidencia y tiene una precisión de 2.0 mm por kilómetro nivelado (**Hilster, N**, 2019).

En la figura 1.7 se muestra una fotografía histórica con uno de los integrantes de la brigada de nivelación sosteniendo la mira en un BN.



Figura 1.7: Nivelación de la estación de Coatzacoalcos, Veracruz, en la década de los 80 's, imagen tomada del acervo del SMN.

Los registros de nivelación históricos con los que cuenta el SMN de la década de los 60's a la década de los 90' s solían realizarse en libretas elaboradas por la UNAM (ver Fig. 1.8), estas libretas contenían la leyenda UNAM, Instituto de Geofísica, departamento de Oceanografía (departamento en el cual se encontraba el SMN), así como los datos más importantes del trabajo de campo. En su interior las libretas contenían páginas donde se anotan las descripciones de los bancos de nivel, los registros de nivelación (lecturas del nivel), elevación de los BN sobre el cero de la regla, los desniveles entre bancos y las elevaciones calculadas de los BN.

UNIVERSIDAD NACIONAL

U. N. A. M.

INSTITUTO DE GEOFISICA
DEPTO. OCEANOGRAFIA

**REGISTRO DE NIVELACION DE ESTACIONES
MAREOGRAFICAS**

PUERTO
ALVARADO, VER.

INSTRUMENTO
Nivel: WILD

Estadad: De Secciones

Fecha: 3 de abril de 1965

Copia: (Llévese solo cuando se usó como original)

Ing. F. Ponce, Jefe de la Expedición

Ing. Fidel Alcalá Cunchula, Observador

Biol. José Trinidad Guzmán, Estadístico

Continuación

NIVELACION DIRECTA

Estación Alvarado, Ver.

Año 1965 Mes abril Día 3

	METROS	NOTAS
Cota	<u>3.635</u>	<u>B.N. 2</u>
Lectura	<u>0.720</u>	
Altura	<u>4.355</u>	<u>Desnivel = -0.503</u>
Lectura	<u>1.223</u>	
Cota	<u>3.132</u>	<u>B.N. K. 137 (en el faro)</u>
Lectura		
Altura		<u>Apáxite de este banco se efectúa la nivelación inversa para bajar en el punto (a).</u>
Lectura		
Cota		
Lectura		
Altura		
Lectura		
Cota		
Lectura		
Altura		
Lectura		
Cota		
Lectura		
Altura		
Lectura		
Cota		

NIVELACION INVERSA

Estación Alvarado, Ver.

Año 1965 Mes abril Día 3

	METROS	NOTAS
Cota	<u>3.132</u>	<u>B.N. K. 137 en el FARO</u>
Lectura	<u>1.226</u>	
Altura	<u>4.358</u>	<u>Desnivel = +0.503</u>
Lectura	<u>0.723</u>	
Cota	<u>3.635</u>	<u>B.N. 2</u>
Lectura	<u>2.820</u>	
Altura	<u>6.455</u>	<u>Desnivel = +1.440</u>
Lectura	<u>1.380</u>	
Cota	<u>5.075</u>	<u>B.N. 5 Iglesia</u>
Lectura	<u>1.056</u>	
Altura	<u>6.131</u>	<u>Desnivel = -1.302</u>
Lectura	<u>2.258</u>	
Cota	<u>3.873</u>	<u>B.N. 4</u>
Lectura	<u>1.512</u>	
Altura	<u>5.385</u>	<u>Desnivel = +0.168</u>
Lectura	<u>1.344</u>	
Cota	<u>4.041</u>	<u>B.N. 1</u>
Lectura	<u>0.237</u>	
Altura	<u>4.278</u>	<u>Desnivel = -1.244</u>
Lectura	<u>1.481</u>	
Cota	<u>2.797</u>	<u>B.N. 1</u>

NIVELACION

Estación Alvarado, Ver.

Año 1965 Mes abril Día 3

El siguiente método se recomienda para obtener las cotas más precisas de los diferentes bancos de nivel, tomando las lecturas de la nivelación cerrada hecha con nivel montado, que se registra en esta libreta.

Se recomienda copiar las cotas directamente obtenidas para cada banco de nivel, deducidas de la nivelación cerrada que se efectuó, en la forma que aparece a continuación. El símbolo BN (a) se usa para designar la parte superior de la placa que está sobre la pila de apoyo del mareómetro portátil o alguna graduación del mareómetro fijo. Cuando los bancos de nivel tienen otros números u ocurren en diferente orden que el anotado en la forma, tache los números impresos y escriba los correctos.

B. N. Nos.	1a. NIVELACION METROS	2a. NIVELACION METROS
(a)	<u>2.750</u>	<u>2.749</u>
(1)	<u>2.798</u>	<u>2.797</u>
(4)	<u>3.873</u>	<u>3.873</u>
(5)	<u>5.075</u>	<u>5.075</u>
(K.137)	<u>3.132</u>	<u>3.132</u>

NIVELACION

RESULTADOS ACEPTADOS

DIFERENCIAS

B. N. Nos.	1a. NIVELACION M	2a. NIVELACION M	PROMEDIO M
Elevación de (a) sobre el cero de la regla <u>2.7495</u>			
(1)-(a)	<u>+0.048</u>	<u>-0.048</u>	<u>+0.0480</u>
(4) -(1)	<u>+1.075</u>	<u>-1.076</u>	<u>+1.0755</u>
(5) -(1)	<u>+1.292</u>	<u>-1.202</u>	<u>+1.2020</u>
(K.137) -(1)	<u>-1.943</u>	<u>+1.943</u>	<u>-1.9420</u>

ELEVACIONES SOBRE EL CERO DE LA REGLA DE MAREAS.

B. N. 1 <u>2.7975</u>	B. N. 6
B. N. 2	B. N. 7
B. N. 3	(B. N. K. 137) <u>0.9810</u>
B. N. 4 <u>1.7220</u>	B. N.
(B. N. 5) <u>2.9240</u>	

Figura 1.8: Libreta de nivelación en la estación de Alvarado, Veracruz; en la década de los 60 's, imagen tomada del acervo del SMN.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Documentar y realizar la modernización de la Red de Nivelación del Servicio Mareográfico Nacional realizada mediante colocación de nuevos Bancos de Nivel, con la finalidad de ligar los datos históricos de nivelación con los actuales y de esta manera también verificar la continuidad de las lecturas del nivel del mar en cada sitio con estación mareográfica.

1.2.2. Objetivos particulares

- Preservar los bancos de nivel históricos existentes en las estaciones mareográficas y aumentar la cantidad de bancos de nivel en cada estación mareográfica del Servicio Mareográfico Nacional.
- Implementar una red de nivelación geodésica de primer orden Clase I para el Servicio Mareográfico Nacional, lo cual servirá de base a estudios futuros relacionados con la variación del nivel medio del mar asociado al cambio climático.

Capítulo 2

Nivelación

Existen diferentes definiciones de lo que es la nivelación topográfica, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

“La nivelación tiene por objeto determinar las diferencias de alturas entre puntos de terreno, y puede ser de tres clases: directa (llamada comúnmente “topográfica”), barométrica y trigonométrica” (**Toscano, Ricardo**, 1951), p. 67.

“Tiene por objeto determinar las diferencias de alturas entre puntos del terreno. Las alturas de los puntos se toman sobre planos de comparación diversos, siendo el más común de ellos el nivel medio del mar” (**Montes de Oca, Miguel y otros**, 1970), p. 79.

“Recibe el nombre de nivelación o altimetría el conjunto de los trabajos que suministran los elementos para conocer las alturas y forma del terreno en sentido vertical. Todas las alturas de un trabajo de topografía, están referidas a un plano común de referencia. Este plano llamado de comparación es una superficie plana imaginaria, cuyos puntos se asumen con una elevación o altura cero” (**Márquez, Fernando García**, 2003), p. 245.

Considerando las definiciones anteriores, para el presente escrito se define a la nivelación como el conjunto de operaciones, por medio de las cuales se determina la elevación entre dos o más puntos respecto a un plano de referencia, tomando el nivel medio del mar como el plano de referencia más común, el cual se establece mediante observaciones de mareógrafos a lo largo de varios años; sin embargo, existen casos en los cuales un levantamiento se puede referenciar a un plano de referencia arbitrario.

2.1. Tipos de nivelación

Existen diferentes métodos empleados para realizar el cálculo del desnivel entre puntos y dependiendo de la precisión del trabajo, es el método que se empleará siendo la nivelación geométrica o geodésica la de mayor precisión.

El “DOF: 01/04/1985, Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos” define a los levantamientos geodésicos verticales como el conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete, destinados a determinar la elevación de puntos sobre el terreno, convenientemente elegidos, demarcados y referidos al nivel medio del mar (**DOF, de La Federación, Diario Oficial**, 2012).

Las nivelaciones se realizan por medio de observaciones con ayuda de un instrumento llamado nivel, tomando lecturas numéricas de las miras o estadales empleando el método de lectura a tres hilos, el cual consiste en realizar la diferencia del hilo superior y el hilo medio, posteriormente se realiza la diferencia del hilo medio y el hilo inferior, si al comparar las diferencias se obtiene una variación superior a 1 mm, se procede a repetir la observación.

Existen diferentes métodos empleados en los levantamientos geodésicos verticales siendo:

- Nivelación directa.
- Nivelación indirecta o trigonométrica.
- Nivelación satelital.

2.1.1. Nivelación directa

La nivelación geométrica, topográfica, diferencial o directa, es un método de nivelación mediante el cual se obtiene el desnivel entre dos puntos, utiliza visuales horizontales y se le llama directa porque al mismo tiempo que se va ejecutando la nivelación, se conoce el desnivel del terreno.

Los métodos de nivelación se clasifican en simples cuando el desnivel a medir se determina con una única observación o puesta de aparato, aquellas nivelaciones que llevan consigo una serie de estaciones se denominan nivelaciones compuestas.

Los diferentes métodos de nivelación directa son nivelación simple y compuesta. A continuación, se explica cada una.

Nivelación directa simple

La nivelación directa simple se utiliza cuando se desea conocer el desnivel entre dos puntos relativamente cercanos y se obtiene haciendo una sola estación del instrumento, este método se presenta cuando los puntos que se desean conocer no están separados por una distancia mayor a 200 metros.

Si se desea obtener el desnivel entre dos puntos A y B (Fig. 2.1) empleando el método de nivelación geométrica simple, se estaciona el nivel entre A y B, de tal forma que la distancia existente a ambos puntos sea equidistante, es decir $E_A \approx E_B$.

En A y B se sitúan las miras y se procede a tomar lectura de los estadales con el nivel, registrando las elevaciones m_A y m_B , m_A corresponde a la lectura vista atrás y m_B a la lectura vista adelante (ver Fig. 2.1).

La lectura hacia atrás, es la lectura que se realiza a la mira situada en un punto con elevación conocida y es positiva, debido a que la lectura se le sumará a la elevación del punto anterior para conocer la altura del instrumento. La lectura hacia adelante, es la lectura que se realiza a la mira situada en un punto que se quiere conocer su elevación y es negativa, debido a que la lectura se le restará a la altura del instrumento para conocer la elevación del punto. La denominación de “vista hacia atrás” y “vista hacia adelante” se asigna de acuerdo al sentido de la nivelación.

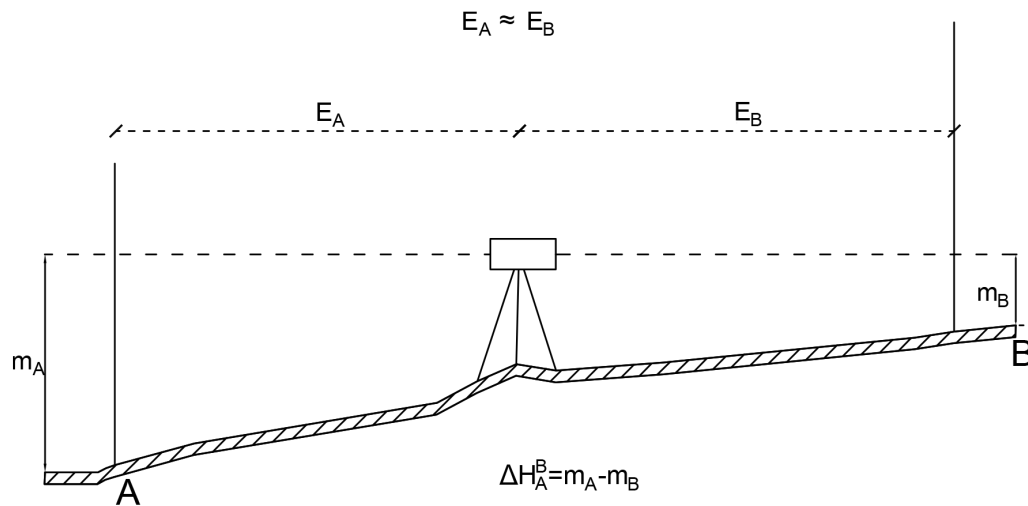


Figura 2.1: Esquema de nivelación simple.

De la figura 2.1. se deduce que el desnivel de B respecto de A (ΔH_A^B), se obtiene, mediante la diferencia de lecturas, lectura de atrás menos lectura adelante:

$$\Delta H_A^B = m_A - m_B$$

Si la lectura es positiva se afirma que hay una pendiente positiva del terreno y en caso de que la lectura sea negativa se afirma que hay una pendiente negativa del terreno.

Siempre se deben efectuar las lecturas de los tres hilos: inferior (hi), central (hc) y superior (hs), para comprobar en el momento de realizar la observación que la semisuma de las lecturas de los hilos extremos es igual a la lectura del hilo central ± 1 mm, con esto se da por válida la observación (Mercedes Farjas, Abadía, 2019) (ver Fig. 2.2).

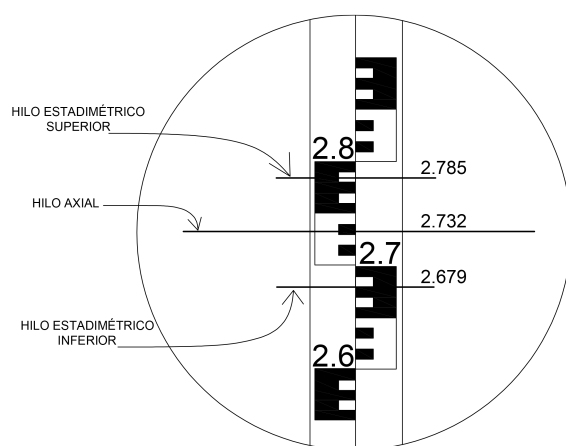


Figura 2.2: Forma correcta de realizar lectura a tres hilos.

Nivelación directa compuesta

Se le llama nivelación compuesta cuando la distancia entre dos puntos de los cuales se quiere conocer su desnivel están lejanos el uno del otro o hay obstáculos que imposibilitan su medición, entonces el desnivel entre puntos se obtiene con una nivelación compuesta, la cual consiste en repetir el método de una nivelación simple, el número de veces que sea necesario, estableciendo puntos intermedios denominados puntos de liga (PL) donde se hacen lecturas de las miras de adelante y atrás (Márquez, Fernando García, 2003).

La nivelación compuesta requiere una serie de puestas de instrumento a lo largo del recorrido y en cada puesta de instrumento se realiza una serie de lecturas atrás y adelante, siendo la vista atrás la lectura con cota conocida y la vista adelante la lectura que se busca conocer su elevación o cota (ver Fig. 2.3).

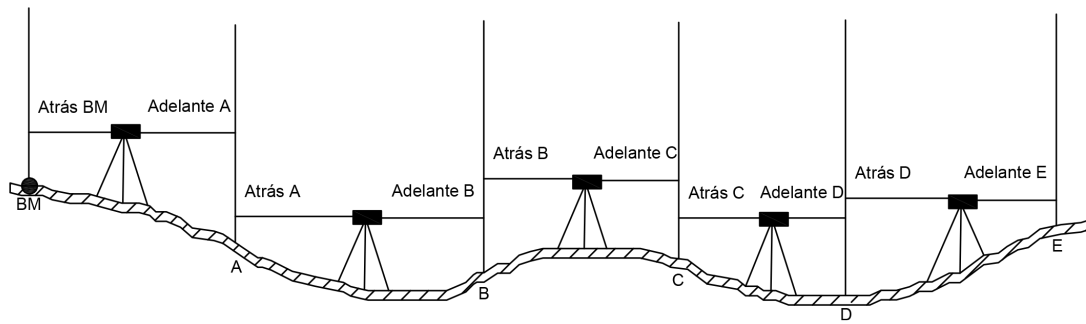


Figura 2.3: Esquema de nivelación compuesta.

Las líneas de nivelación compuesta son nivelaciones simples estableciendo los PL necesarios para recorrer la distancia de un punto a otro y se dividen en:

- línea de nivelación sencilla o abierta.
- línea de nivelación doble o cerrada.

En la figura 2.3 una línea de nivelación es sencilla o abierta, si el camino se recorre una sola vez, es decir, partiendo del BM y llegando al punto E, realizando una nivelación por el método de nivelación compuesta.

Por otra parte, una línea de nivelación es doble o cerrada, cuando el camino se recorre dos veces, en estos casos se establece un circuito, es decir, una línea de ida y una línea de vuelta, la línea de vuelta no tiene que ser el mismo recorrido que el de ida, la única condición es que se deben de tocar todos los BN que se hayan nivelado en la ida.

2.1.2. Nivelación indirecta

La nivelación indirecta o trigonométrica consiste en la determinación de alturas de forma indirecta entre puntos cercanos mediante la distancia horizontal o inclinada y el ángulo que lo forma con el plano vertical para determinar la diferencia de alturas con ayuda de la trigonometría. Por la metodología que se emplea, es posible que las mediciones tengan un mayor error sistemático que si se obtuviera con el método directo. En la topografía este tipo de nivelación proporciona un medio rápido para la determinación de elevaciones de puntos en terrenos bastante accidentados. Los ángulos se miden con la ayuda de un taquímetro y las distancias con la mira o una estación total (Márquez, Fernando García, 2003).

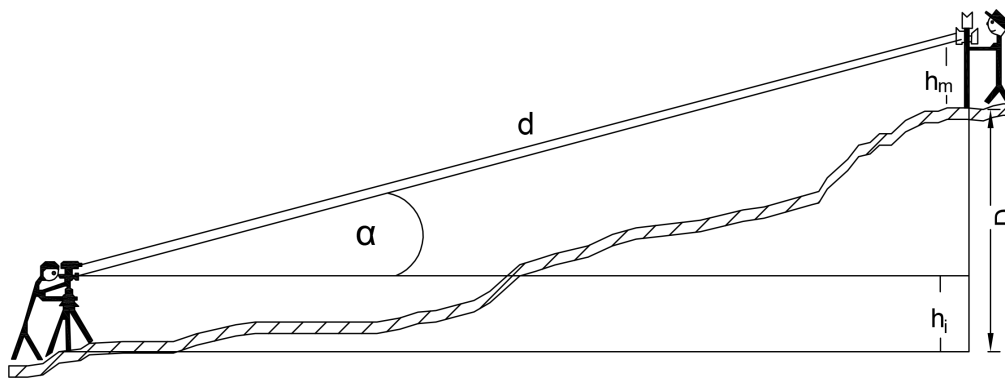


Figura 2.4: Esquema de nivelación trigonométrica, imagen tomada de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unidad.06_imagen.017.jpg.

En la figura 2.4. Se puede ver el proceso para determinar la altura de forma indirecta, la altura “D” se obtiene:

$$D = (\text{sen } \alpha * d) + h_i - h_m$$

2.1.3. Nivelación Satelital

La nivelación por técnicas de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) no ofrece la precisión obtenida mediante nivel, además, tiene el inconveniente de que se trabaja con dos superficies de referencia debido a que, el GPS realiza sus mediciones sobre el elipsoide (una aproximación matemática de la superficie terrestre), sin embargo, las cotas geométricas, tomadas por métodos clásicos, se refieren a cotas sobre el geoide (una superficie equipotencial), por lo tanto para trabajos de precisión no se recomienda este método (ver Fig. 2.5).

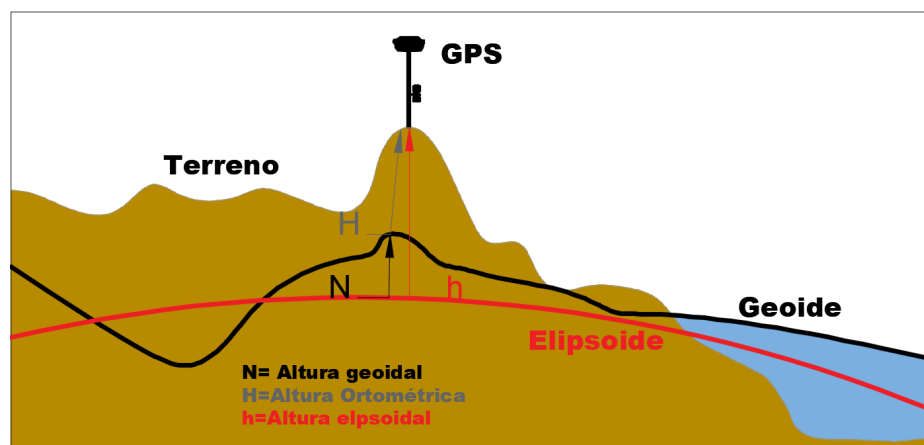


Figura 2.5: Esquema de nivelación satelital.

2.2. Precisión y errores de las nivelaciones

En todo trabajo topográfico existe una precisión y tolerancia a tomar en cuenta (error máximo permisible), aun cuando se hayan considerado las posibles correcciones al equipo, y estas hayan sido realizadas con sumo cuidado, ninguna medición es exacta debido a que se desconoce el valor verdadero, a menos que el valor obtenido se admita como valor “exacto”, a través de una serie de observaciones efectuadas por métodos geodésicos.

2.2.1. Precisión en las nivelaciones

La precisión o tolerancia en los trabajos de nivelación de acuerdo a los Apuntes de Topografía II de (Ing Sergio and Navarro Hudiel, 2010), define que la tolerancia está en función del tipo de nivelación requerida. La nivelación tiene cuatro categorías, clasificadas por la precisión que se desee:

■ Nivelación aproximada

- Para reconocimientos o anteproyectos.
- Visuales de hasta 300 m de longitud (si las condiciones del terreno lo permiten).
- Lectura de mira hasta el centímetro.
- No es indispensable el guardar equidistancia entre las lecturas atrás (LE) y lecturas adelante (LF).
- Error máximo permisible en metros = $\pm 0.08\text{mm}\sqrt{K}$; K: distancia en km.

■ Nivelación ordinaria

- Es usada en la mayor parte de los trabajos de nivelación.
- Usada en trabajos de carreteras, vías férreas y otras construcciones de obras civiles.
- Visuales de hasta 190 m de longitud.
- Lecturas de mira al milímetro.
- Equidistancia entre las lecturas atrás (LE) y lecturas adelante (LF) puede ser aproximada.
- Error máximo permisible en metros = $\pm 0.04\text{mm}\sqrt{K}$; K: distancia en km.

■ Nivelación de precisión

- Es la usada en trabajos de planos poblacionales o para establecer puntos de referencias principales en levantamientos que abarcan una gran extensión.
- Visuales 90 m de longitud.
- Lecturas de mira al milímetro.
- Equidistancia entre las lecturas atrás (LE) y lecturas adelante (LF) inferior a 10 metros.
- Error máximo permisible en metros = $\pm 0.01\text{mm}\sqrt{K}$; K: distancia en km.

■ Nivelación de alta precisión

- Es la usada en trabajos de mayor precisión, como la localización de Bancos de Nivel geodésicos.
- Visuales de 50 m de longitud.
- Lecturas de mira al milímetro.
- Equidistancia entre las lecturas atrás (LE) y lecturas adelante (LF) inferior a 3 metros.
- Error máximo permisible en metros = $\pm 0.004\text{mm}\sqrt{K}$, K: distancia en km.

Para el presente trabajo, se llevaron a cabo nivelaciones de Primer Orden Clase I de acuerdo a la normativa de INEGI, en la que se menciona que las nivelaciones para una Red Mareográfica local serán realizadas con metodología de Primer orden Clase I, formando un circuito (INEGI, 2017).

Por motivo a que los bancos de nivel son fundamentales para que el SMN pueda mantener un mismo plano de referencia. 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, (INEGI, 2017).

En la tabla 2.1 se resume los tipos de nivelación y su tolerancia de acuerdo al orden. Estas clasificaciones las emplea INEGI para nivelaciones geodésicas, correspondiendo a lo establecido en la “Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional”, (INEGI, 2017).

Tabla 2.1: Resumen de las normas y especificaciones de acuerdo a su orden, **INEGI** (2017).

Concepto	Primer orden		Segundo orden		Tercer orden
	Clase I	Clase II	Clase I	Clase II	
Separación recomendada entre líneas	100 a 300 km	50 a 100 km	20 a 50 km	10 a 20 km	Según necesidades
Separación de los bancos de nivel	1 a 2 km	1 a 2 km	1 a 2 km	1 a 3 km	1 a 3 km
Instrumental	Niveles geodésicos y miras invar				
Procedimiento de campo	Nivelación de ida y vuelta				
Longitud máxima de una visual	50 m	60 m	60 m	70 m	90 m
Máxima diferencia, en longitud, de una visual atrás y adelante para una estación	2 m	5 m	5 m	10 m	10 m
Diferencias en distancias acumuladas para una sección	4 m	10 m	10 m	10 m	10 m
Discrepancia máxima admisible para una sección	$3 \text{ mm } \sqrt{K}$	$4 \text{ mm } \sqrt{K}$	$6 \text{ mm } \sqrt{K}$	$8 \text{ mm } \sqrt{K}$	$12 \text{ mm } \sqrt{K}$
Discrepancia máxima admisible para una línea o circuito	$4 \text{ mm } \sqrt{K}$	$5 \text{ mm } \sqrt{K}$	$6 \text{ mm } \sqrt{K}$	$8 \text{ mm } \sqrt{K}$	$12 \text{ mm } \sqrt{K}$
Discrepancia máxima en un tramo abierto para una marca temporal	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$

En la tabla 2.1, K es la longitud de la sección o línea de nivelación en kilómetros. En caso de exceder la tolerancia se deberá repetir la nivelación completamente.

2.2.2. Errores en las nivelaciones

Errores de una nivelación: Con ello se pretende dar una visión de las normas de calidad en la medición de alturas geométricas y una posible solución al cálculo de errores accidentales de los niveles, marcando los límites entre los errores instrumentales, errores sistemáticos y los errores accidentales.

Cualquier medición tendrá errores asociados, en las nivelaciones los errores se pueden dividir en dos tipos, errores ilegítimos (también se les conoce como equivocaciones) y errores sistemáticos (errores instrumentales).

Error de cierre (EC): Es la diferencia que existe entre la elevación o cota del punto de partida, menos la cota o elevación del punto de llegada del mismo punto en una nivelación cerrada, implicando un EC positivo o negativo. Si este error de cierre supera las tolerancias correspondientes, la nivelación se debe realizar nuevamente; de lo contrario, se deberá compensar por métodos matemáticos.

Errores sistemáticos: Estos errores se les atribuye directamente a las limitaciones de los equipos, el único error sistemático en los niveles automáticos, sean electrónicos o no, es que una vez nivelado, el eje de colimación no coincida con la línea cenital, bien sea por un movimiento del retículo o por un error del compensador (**Sosa Torres, Rafael, 1996**).

- Errores instrumentales: Aun cuando se hayan efectuado las posibles correcciones al equipo y estas hayan sido realizadas con todo cuidado, siempre quedarán algunos errores residuales, los más conocidos son:
 - Error de colimación: Este error aparece cuando existe una falta de perpendicularidad entre el eje de colimación y el eje secundario o de muñones.
 - Error de colimación horizontal: El cual es causado por la falta de perpendicularidad entre la línea de colimación y el eje de alturas.
 - Error de excentricidad: El cual se debe a la falta de coincidencia del centro del círculo horizontal con el eje vertical del aparato.
- Errores naturales: Son errores que se encuentran dentro de los errores sistemáticos, son ocasionados debido a las condiciones ambientales y se pueden compensar por medio de ecuaciones matemáticas, los más comunes son:
 - Error de refracción: Se debe a las diferentes densidades del aire por las que atraviesa la visual, lo que causa la desviación de la misma. Por lo cual se recomienda evitar hacer visuales rasantes al piso o a construcciones, así como evitar trabajar en horarios con altas temperaturas.

- Cambios de temperatura en el instrumento: La cual ocasiona cambios dimensionales desiguales en el instrumento y por consecuencia errores en la operación. Para minimizar el efecto se recomienda proteger el equipo de los rayos directos del Sol.

Errores ilegítimos: Son los errores que se presentan de forma accidental durante una nivelación y que se pueden eliminar repitiendo las observaciones, los errores más comunes son:

- Instrumento descalibrado.
- Hundimiento del trípode o de los sapos de las miras por una mala ubicación en campo.
- Estación del nivel mal ubicada, lo que hace tener una lectura errónea.
- No tener centrada la burbuja del nivel en el momento de leer, lo cual ocurre generalmente con instrumentos que tienen burbujas nivelantes, sobre todo en equipos mecánicos.
- Error por lectura en mira.
- Al golpear accidentalmente el trípode.

Errores relacionados directamente al personal de nivelación:

- Debido a un mal registro en las lecturas de la libreta de campo o agenda electrónica.
- Lecturas erróneas en la mira y mal dictado de valores.
- Errores de cálculo de elevaciones.
- La longitud de las visuales sea excesiva entre brazos.
- Por la mala decisión del personal al evaluar el terreno.
- Por no tener en cuenta las condiciones climáticas.

Normativas para levantamientos geodésicos verticales

El presente trabajo se realizó con base en las siguientes normas técnicas para levantamientos geodésicos verticales, extraídas de la “Guía Metodológica de la Red Geodésica Vertical”, (INEGI, 2017).

Las estaciones geodésicas verticales o BN deben apegarse a las normas técnicas que para el efecto se han publicado en el Diario Oficial de la Federación (**DOF, de La Federación, Diario Oficial**, 2012), teniendo las siguientes publicaciones:

- Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos de 1985 reformadas en abril de 1998.
- Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional publicada el 23 de diciembre de 2010.
- Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional publicada el 23 de diciembre de 2010

2. NIVELACIÓN

- Norma Técnica sobre la Elaboración de Metadatos Geográficos publicada el 23 de diciembre de 2010.
- Diccionario de Datos Geodésicos.

2.3. Equipo de monumentación y nivelación

Para el presente trabajo el equipo utilizado en campo se dividió en dos, equipo para la monumentación de los BN y equipo para la nivelación.

2.3.1. Equipo de monumentación

En la tabla 2.2 se describe ampliamente el equipo empleado en campo, se acompaña de una foto y una descripción del mismo:

Tabla 2.2: Descripción detallada del equipo de monumentación utilizado en campo.

INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Taladro Hilti TE-30-A36 y brocas de punta de diamante Hilti		El SMN cuenta con taladro TE-30-A36 de la marca Hilti, el cual es un taladro de batería de larga duración, cuenta con la opción de taladro y rotomartillo, utiliza brocas de punta de diamante lo cual facilita las perforaciones en concreto, así como en afloramientos rocosos. La marca Hilti se especializa en la distribución de equipo para trabajos de perforación y cimentación en condiciones extremas.

INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Placas de nivelación		Para la densificación de la red de nivelación se solicitó la elaboración de placas de nivel para el SMN, estas placas de nivelación están hechas de una aleación de bronce de níquel, con un diámetro de 8.5 cm y un vástago de 10 cm. Las placas tienen grabado: “UNAM INSTITUTO DE GEOFÍSICA - SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL”.
Herramienta para grabar las placas de nivel		Marro, polín, letras y números de golpe, que se utilizan para grabar las placas de nivel en sitio.
Herramienta de cimentación		Cíncel plano, brochas, cepillo de alambre, cepillo de dientes, crayones de cera, manguera y brújula, equipo usado para la limpieza de la perforación y realizar el detalle donde se fijará la placa de nivel.
Herramienta de monumentación		Resina epóxica Hilti RE-500 V3, aplicador Hilti HDM 500, mezclador Hilti HIT-RE-M, guantes de látex, estopa y niveleta, equipo que se utiliza para la cimentación de las placas de nivel, el SMN utiliza resina epóxica de la marca Hilti debido a que esta resina tiene un secado rápido de 8 horas en condiciones extremas de humedad y agua salina sin afectar su adherencia a cualquier superficie y su dureza después de fraguar, (esta resina es utilizada para fijar puentes y se puede utilizar bajo el agua).

2.3.2. Equipo de nivelación

Adicional al equipo, es necesario considerar al personal. A continuación, se enlista el personal recomendado para las nivelaciones, equipo y los accesorios utilizados en el presente trabajo para realizar una nivelación geodésica de primer orden:

6 personas que componen la brigada:

- 1 Observador (ingeniero topógrafo geodesta o ingeniero geomático): Encargado del manejo del equipo.
- 2 Porta miras: Personas encargadas de la manipulación de las miras invar.
- 1 Portador de sombrilla: Se recomienda tener una persona que lleve una sombrilla para proteger el equipo de los rayos del sol minimizando los errores de lectura, ya que el nivel es muy sensible a los cambios climáticos.
- 1 Operador de vehículo: Encargado de facilitar el desplazamiento del equipo al término de las nivelaciones.
- 1 Portador de señalamientos: Por cuestiones de seguridad una persona debe portar y hacer uso de señalamientos para evitar accidentes viales.

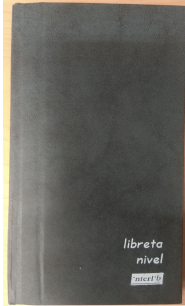
Equipo de nivelación utilizado para el trabajo de campo:

Tabla 2.3: Descripción detallada del equipo de nivelación utilizado en campo.

INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Nivel digital Leica, modelo DNA 03		Los niveles electrónicos funcionan de manera similar a los niveles ópticos, adicionalmente pueden hacer lecturas electrónicamente con estadales de código de barras, esto resulta muy práctico, ya que la medición es más rápida, y se eliminan errores de apreciación o lectura, incluso de dedo, ya que éstos tienen memoria para almacenar y procesar los datos, pueden desplegar en pantalla hasta el milímetro, y medir distancias con una resolución de un centímetro.
Tripié de madera con extensión Leica GST05		Tripié de madera con extensión Leica, donde se monta el equipo para su uso y transporte durante la nivelación, a diferencia del tripié fijo este se puede extender para que su transporte sea más sencillo.
Miras modelo GPCL3 (2 invar)		Miras Invar, el materia invar o FeNi36 tiene un bajo coeficiente de dilatación lo cual hace que esta aleación sea el material óptimo para elaborar miras (estadales), las tiras invar están fijadas bajo tensión al marco de aluminio, de modo que las dilataciones de la mira no afectan las lecturas, actualmente las miras invar se encuentran en presentaciones numéricas y de código de barras, el invar es una aleación mayormente de hierro y níquel, y en menor proporción de magnesio, carbono y cromo.

2. NIVELACIÓN

INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Cuñas o sapos		Cuñas o sapos, usados para situar las miras de forma indirecta sobre el terreno y evitar que éstas se desplacen.
Sombrilla		Sombrilla, para evitar que el equipo se exponga por un tiempo prolongado a los rayos del sol y evitar errores de medición.
Termómetro		Termómetro, usado para tomar las temperaturas de las miras en cada nivelación, dato que se usará para realizar el postproceso de los datos.
Cinta de fibra de vidrio		Cinta, usada para medir brazos equidistantes al momento de la calibración del equipo al inicio del trabajo.
Chalecos de seguridad y conos de señalamiento		Chalecos de seguridad con antirreflejante y conos de señalamiento, debido a que las nivelaciones se suelen realizar en vialidades, o zonas con alto flujo poblacional, los chalecos y señalamientos, resultan necesarios, para evitar accidentes.
Fichas de resumen		Fichas de resumen y lápices usados para elaborar los croquis en campo de los BN instalados para su posterior digitalización en gabinete.

INSTRUMENTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Libreta de nivelación		Libretas de nivel, se emplean para tomar anotaciones de las nivelaciones, necesarias para realizar el postproceso en gabinete.
GPS's Garmin (Navegadores)		GPS's (navegadores), utilizados para registrar las coordenadas de los bancos de nivel instalados y tener un control de las ubicaciones aproximadas de los BN.
6 Radios		Radios, empleados para una adecuada comunicación, durante la nivelación.

Metodología y datos

3.1. Nivelaciones en el Servicio Mareográfico Nacional

En los trabajos del SMN, se realiza un plan de trabajo para realizar en campo y posteriormente se realiza el procesamiento de los datos en gabinete. El trabajo detallado en el presente escrito se realizó considerando la siguiente metodología.

- Elaboración de anteproyectos de los sitios en los que se establecerá la red de nivelación ligada a cada estación mareográfica.
- Reconocimiento del terreno para definir las ubicaciones finales de los bancos de nivel con base al anteproyecto.
- Nomenclatura de los bancos de nivel a instalar la cual se realiza con el grabado de letras y números de golpe.
- Perforaciones para las placas de nivel.
- Monumentación de los bancos de nivel con resina epóxica.
- Elaboración de croquis en fichas de trabajo para su posterior digitalización en gabinete.
- Nivelación geodésica de primer orden.
- Descarga de datos en gabinete.
- Procesamiento de los datos por medio del software Leica Geo Office.

En este capítulo se describe a detalle cómo se llevó a cabo la metodología antes mencionada, en los trabajos de nivelación realizados en las casetas mareográficas del SMN.

3.2. Elaboración de anteproyectos

La elaboración de anteproyectos es necesario para llevar a cabo el trabajo en campo, su objetivo principal es establecer un marco general que considere lo particular, es decir planear con anticipación una serie de pasos considerando los posibles contratiempos presentes en el trabajo.

En el SMN los trabajos de campo se planifican por regiones, dividiendo la República Mexicana en tres regiones (Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe), dichas estaciones se monitorean continuamente, y cuando dos o más estaciones de la misma región presentan algún problema, se realiza una reunión para establecer un cronograma de recorrido, a partir de ese cronograma se elaboran los anteproyectos de los sitios en donde se realizará la monumentación, nivelación y mantenimiento de las estaciones mareográficas.

A partir de los sitios seleccionados se establece la ubicación de la caseta por medio de Google Earth, se identifican los bancos de nivel históricos (en caso de contar con alguno en el sitio a nivelar) y se identifican posibles ubicaciones que sean semipermanentes, los sitios que se buscan normalmente son escuelas, asta bandera, afloramientos rocosos, quioscos o monumentos, pretendiendo que sean lo más estables posibles, con la finalidad de que la instalación se realice en sitios que sea poco probable una remodelación a corto plazo.

Una vez establecidas las posibles ubicaciones, se procede a descargar y localizar todos los bancos de nivel instalados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que se encuentran en la página del acervo de estaciones geodésicas (<https://www.inegi.org.mx/app/geo2/rgnp/>), con la finalidad de identificar todos los bancos de nivel que se encuentren dentro de la ruta a nivelar, de esta forma los datos de cada nivelación están ligados a la red geodésica vertical de INEGI, (INEGI, 2017).



Figura 3.1: Anteproyecto de la caseta mareográfica de Acapulco, Guerrero; imagen modificada de Google Earth.

En la figura 3.1, se muestra el anteproyecto propuesto para la estación mareográfica de Acapulco, Guerrero, en la cual se marca la caseta mareográfica, los bancos de nivel históricos, así como la propuesta de los bancos de nivel a instalar en la nivelación.

3.3. Recorrido de reconocimiento

Es un proceso que se realiza con la finalidad de establecer la ruta óptima para culminar el trabajo de forma eficaz; este proceso sólo se realiza en la localidad debido a que no existe un método con el cual se pueda conocer el terreno de forma indirecta.

Al arribar a la localidad, se procede a presentarse ante las autoridades civiles con la finalidad de dar a conocer el trabajo que se va a desempeñar, solicitar permisos y en caso de ser necesario, solicitar ayuda para situar las placas de nivel en sitios que cumplan los requisitos antes mencionados, además se presenta el anteproyecto ante las autoridades y se plantea la forma de realizar el trabajo.

Posterior a esto, se procede a realizar un recorrido con base al anteproyecto, para seleccionar los sitios finales de las placas de nivel, así como identificar la mejor ruta de nivelación en cada sitio. Durante el recorrido se realiza la búsqueda de los bancos de nivel históricos (en caso de contar con alguno en la localidad) y se ubican los bancos de nivel de INEGI dentro del recorrido de nivelación, de esta forma se toma nota de a qué bancos de INEGI estará ligada la nivelación.

3.4. Nomenclatura de los bancos de nivel y monumentación

La nomenclatura y la monumentación de los bancos de nivel se realiza con base a las especificaciones de la Guía Metodológica de la Red Geodésica Vertical 2017 de INEGI, que se encuentra en la página (<https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=guia>) y las normas mencionadas en el capítulo 2.2, las cuales detallan los métodos para nivelaciones geodésicas de primer orden, así como los estándares para la nomenclatura de bancos de nivel y su respectiva monumentación.

3.4.1. Nomenclatura de los bancos de Nivel

El SMN cuenta con una tabla para la nomenclatura de los bancos de nivel, en la cual se especifican las claves de las estaciones y el método que se utilizó para establecer dichas claves, de acuerdo a la normatividad mencionada en el capítulo 2.2, se propuso el siguiente formato:

Codificación, correspondiente al nombre de la caseta mareográfica:

- Si es de una palabra se pondrán las tres primeras letras de la palabra.
- Si es de dos palabras y la primera no es “Puerto”, se pondrá la primera letra de la primera palabra, la primera letra de la segunda palabra y la primera consonante de la segunda palabra.
- Si es de dos palabras y la primera es “Puerto”, se pondrá la primera letra de la primera palabra y las primeras dos letras de la segunda palabra.
- Si es de más de dos palabras, se pondrán las primeras tres letras iniciales de cada palabra.

Tabla 3.1: Registro y clave de los bancos de nivel instalados.

Estaciones actuales del SMN.								
				Clave de los Bancos de Nivel.			Fecha	
	Abreviatura	Estación	Entidad	Clv. Entidad	Sitio	No. de Bancos Instalados	Mes	Año
1	LPZ	La Paz	Baja California Sur	03	LPZ	03	12	2019
2	CAM	Campeche	Campeche	04	CAM	03	10	2017
3	CDC	Ciudad del Carmen	Campeche	04	CDC	04	10	2017
4	MAN	Manzanillo	Colima	06	MAN	03	10	2018
5	PCH	Puerto Chiapas	Chiapas	07	PCH	04	06	2018
6	ACA	Acapulco	Guerrero	12	ACA	03	02	2018
7	ZIH	Zihuatanejo	Guerrero	12	ZIH	03	02	2018
8	PVA	Puerto Vallarta	Jalisco	14	PVA	03	11	2018
9	LCR	Lázaro Cárdenas	Michoacán	16	LCR	03	10	2018
10	SCR	Salina Cruz	Oaxaca	20	SCR	04	06	2018
11	HUA	Huatulco	Oaxaca	20	HUA	10	01	2017
12	PAN	Puerto Ángel	Oaxaca	20	PAN	09	02	2017
13	SKN	Sian Ka'an	Quintana Roo	23	SKN	01	12	2018
14	COZ	Cozumel	Quintana Roo	23	COZ	01	12	2018
15	PMO	Puerto Morelos	Quintana Roo	23	PMO	01	12	2018
16	IMJ	Isla Mujeres	Quintana Roo	23	IMJ	03	12	2018
17	MAZ	Mazatlán	Sinaloa	25	MAZ	02	11	2018
18	FRO	Frontera	Tabasco	27	FRO	03	10	2017
19	RGR	Río Grijalva	Tabasco	27	RGR	00		
20	SMG	Sánchez Magallanes	Tabasco	27	SMG	05	10	2017
21	TAM	Tampico-Madero	Tamaulipas	28	TAM	00		
22	COA	Coatzacoalcos	Veracruz	30	COA	00		
23	ALV	Alvarado	Veracruz	30	ALV	06	10	2017
24	VER	Veracruz	Veracruz	30	VER	01	10	2017
25	TUX	Tuxpan	Veracruz	30	TUX	03	11	2017
26	TEL	Telchac	Yucatán	31	TEL	03	11	2018
27	PRO	Progreso	Yucatán	31	PRO	02	11	2018
28	SIS	Sisal	Yucatán	31	SIS	02	11	2018
29	CEL	Celestún	Yucatán	31	CEL	02	11	2018

En la tabla 3.1, se muestra el listado de las 27 estaciones actuales, así como los bancos de nivel instalados en cada estación y el año en que se instalaron.

Para el grabado de la nomenclatura correspondiente en las placas de nivel se realiza con letras, números de golpe y marro, asignando la clave correspondiente de acuerdo a la tabla 3.1. Las placas son marcadas previamente con una línea para que el grabado quede lo más horizontal posible, dentro del grabado está la clave de la estación y la fecha en la que el banco se instala (Fig. 3.2).



Figura 3.2: Placa de nivel grabada correspondiente a la estación de Veracruz, Veracruz.

3.4.2. Monumentación de los bancos de Nivel

Al finalizar el recorrido de reconocimiento se establecen los sitios finales donde se instalarán las placas de nivel. La instalación de las placas de nivel, emplea un método poco invasivo, debido a que se busca que los lugares en donde se instalen resulten lo menos afectados.

Al concluir el grabado de las placas, se procede a realizar las perforaciones para el vástago de la placa, la cual se realiza con un taladro. Finalmente se verifica que la placa quede a nivel de piso por cuestiones de seguridad.

Las perforaciones, se realizan con el taladro TE 30-A36 que cuenta con 3 brocas de punta de diamante, lo cual facilita las perforaciones, las 3 brocas son de diferente diámetro para asegurar la verticalidad de la perforación, primero se perforan 12 cm con una broca de un cuarto de pulgada que servirá de guía, luego se perfora con una broca de tres octavos de pulgada, cuidando la verticalidad de la perforación, al final se perfora con una broca de media pulgada, la cual coincide con el diámetro del vástago de la placa de nivel.

Después de que se ha realizado la perforación del vástago, se monta la placa al punto en que quede a nivel de piso, con una ligera parte sobresaliendo (lo suficiente para que las miras puedan girar). A continuación, se procede a limpiar la superficie del piso para retirar posibles residuos de la perforación y evitar que esto afecte la resina, después de terminar de limpiar la perforación se verifica que la placa se encuentre nivelada, esto se debe de realizar antes de fijarla con resina epóxica (debido a su rápido fraguado).

Todas las placas de nivelación instaladas se orientan al Norte con ayuda de una brújula, después de realizar la perforación se deja una marca indicando en qué dirección se encuentra el Norte, de esta manera al fijar la placa es muy sencillo orientarla, como se muestra en la figura 3.3.



Figura 3.3: Orientación de la placa de nivel al Norte en Frontera, Tabasco.

Al concluir la perforación, se procede a fijar los bancos de nivel con resina epóxica RE-500 V3, la cual tiene un ciclo de fraguado completo de 12 horas, pero por las altas temperaturas de las costas, el ciclo de fraguado se reduce a 8 horas.

Al finalizar la instalación se observará un resultado como el mostrado en la figura 3.4.



Figura 3.4: Banco de nivel instalado, nivelado y orientado al Norte en Puerto Ángel, Oaxaca.

3.5. Elaboración de croquis

La elaboración de croquis es una parte fundamental del trabajo de nivelación, en campo se elabora un boceto en el cual se tiene la ubicación de los bancos de nivel, así como algunas referencias para su ubicación en caso de ser requeridas.

Para la elaboración de los bocetos se utiliza cinta, brújula y navegador, se dibuja la ubicación del BN, tomando en cuenta puntos importante para su ubicación (carreteras, calles, registros, postes o monumentos), se toman referencias de dónde fueron instalados los bancos (designadas como R1, R2, etc.), una breve descripción de las referencias tomadas, distancias de las referencias al BN, azimut de las referencias al BN, coordenadas tomadas con el navegador, ubicación del Norte (N) y se anota todo en fichas de trabajo (Fig. 3.5 y Fig. 3.6).

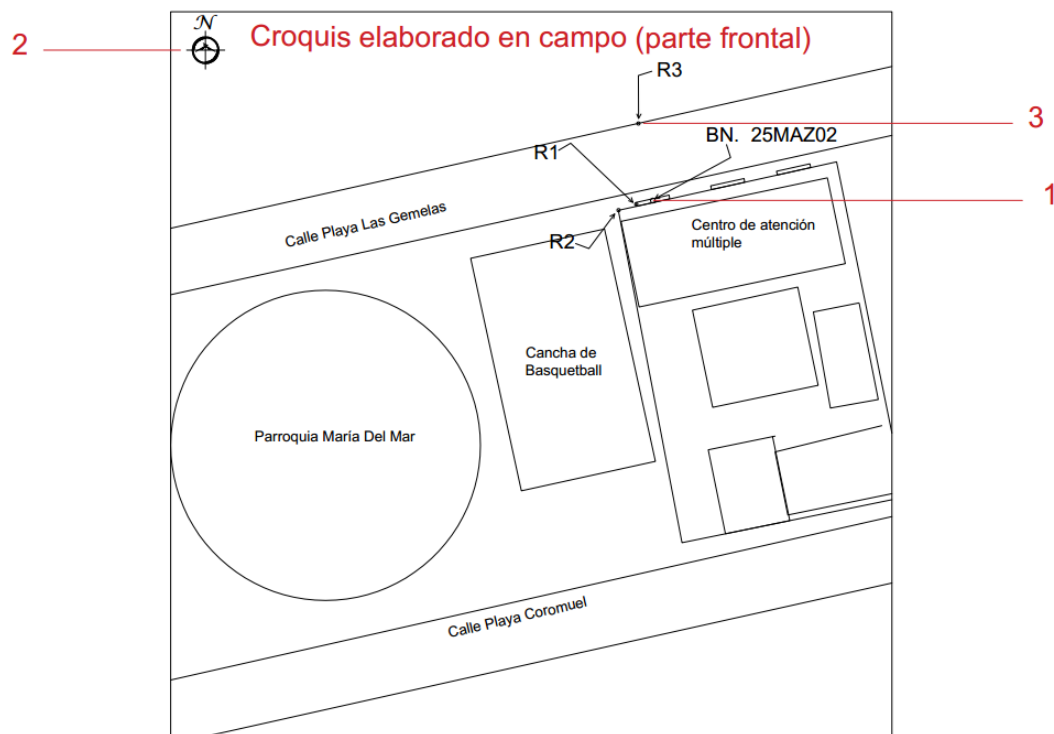


Figura 3.5: Croquis elaborado en campo, vista frontal de la estación Mazatlán, Sinaloa.

La metodología a seguir para la elaboración de un croquis en campos es:

1. Elaborar un boceto de la ubicación del BN.
2. Anotar hacia dónde está el norte (generalmente marcado con una flecha y N).
3. Anotar la ubicación de las referencias que se toman, para su fácil ubicación éstas pueden ser calles, monumentos o edificios.
4. Anotar una breve descripción de las referencias.
5. Marcar las distancias de las referencias al BN.
6. Marcar el azimut (AZ) de las referencias al BN.
7. Anotar las coordenadas tomadas con navegador.

R1 Esquina próxima de la reja del lado derecho.	_____	4
Az=64°	_____	5
D=1.08m	_____	6
R2. Esquina de la escuela en dirección a la iglesia.	_____	7
Az=64°	_____	
D=4.23m	_____	
R3. Al medidor de luz del lote 35B y 35C.	_____	
Az=169°	_____	
D=12.16m	_____	
Latitud : 23°11'34" N	_____	7
Longitud : -106°25'12.2" W	_____	
Croquis elaborado en campo (parte posterior)		

Figura 3.6: Croquis elaborado en campo, vista posterior de la estación Mazatlán, Sinaloa.

Estos croquis son los que se tomarán como base para realizar los croquis finales empleando el software AutoCad.

3.6. Nivelación geodésica de primer orden Clase I

Para el presente trabajo se utilizó el método de nivelación directa mencionado en el capítulo 2.1.1, la cual se realiza con el nivel digital al concluir el ciclo de fraguado de los BN. Este proceso se inicia apenas salga el sol debido a que el nivel es muy sensible al cambio climático y el sol afecta la lectura de las miras cuando los rayos del sol golpean directamente sobre el código de barras, así como la falta de iluminación o iluminación parcial en el código de barras impidiendo la lectura de las miras, siendo recomendable iniciar las nivelaciones a las 6:00 am (en cuanto sea el amanecer). Es necesario mencionar que la caja del nivel se debe de abrir en cuanto se llega al sitio donde se realizará la nivelación para aclimatar el termómetro integrado y evitar que el lente del nivel se condense provocando errores en las lecturas de las miras.

Previo a la nivelación se realiza la colimación del equipo, empleando el método Kukkamaki, el cual consiste en colocar el instrumento al centro de las miras A y B (estación 1), a una distancia de 15 a 20 metros, procurando que la distancia entre miras, sea equidistante y que el terreno sea plano, se procede a realizar la lectura de miras iniciando con la mira A y luego con la mira B (estación 1), una vez realizada la lectura de ambas miras se procede a realizar cambio de instrumento (estación 2) como se muestra en la figura 3.7, se procede a tomar lectura de miras iniciando con la mira B y luego la mira A, al término de la colimación el nivel nos mostrará el error de colimación anterior, el nuevo error de colimación y la diferencia entre ambos. Es muy importante tomar lectura de la temperatura de las miras y del instrumento para la colimación, al momento de iniciar y terminar las líneas de nivelación, para realizar posteriormente las correcciones (Geosystems, Leica, 2006).

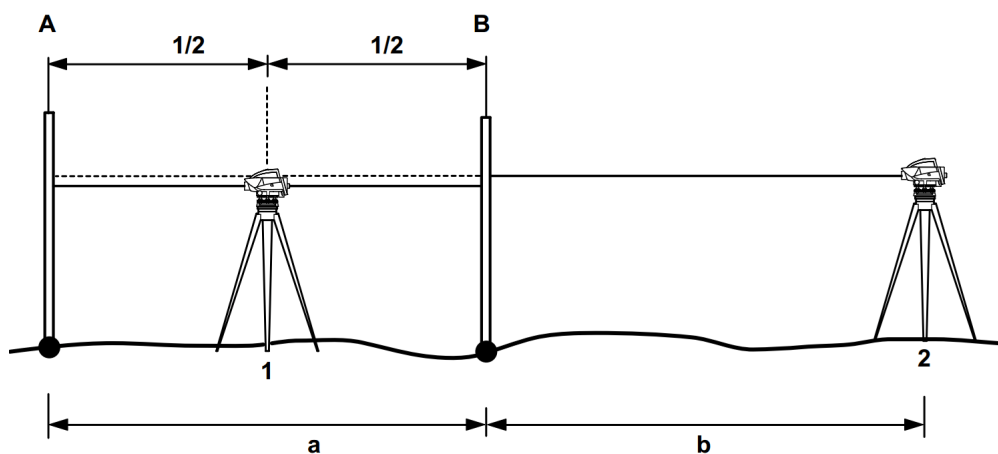


Figura 3.7: Colimación por el método Kukkamaki, imagen modificada de: **Geosystems, Leica** (2006)



Figura 3.8: Colimación en la estación de Tuxpan, Veracruz.

Al concluir el proceso de colimación (Fig. 3.8) se procede a montar y centrar el equipo cerca del BN próximo a la caseta mareográfica, se programa el instrumento, indicando el nombre del trabajo, el nombre de la línea a nivelar, nombre del BN de partida, elevación del BN de partida, y el número de la mira que inicia la línea de nivelación. Estos parámetros se anotan en la libreta de campo junto con los parámetros de colimación, la hora en la que se inicia la línea de nivelación y la hora en la que se termina la línea de nivelación, así como la temperatura del instrumento y de las miras durante la colimación, y al inicio y fin de la nivelación, como se muestra en la figura 3.9.

Manzanillo, Colima		30 Oct 2018	
Trabajo: OG MAN		Línea BN070101 - OG MAN01	
Línea: OG MAN01 - BN070101		Hora Inicio: 13:00 Hora Final: 18:38	
Colimación: 7:39		Temp Miras: 33.8°C Temp Miras: 30.95°C	
Temp Miras: 27.45°C		Temp Inst: 33°C Temp Inst: 31°C	
Error: 3.3"		Est: 50	
Nave Error: 4.0"		d HT: 0.91450 m	
Dip: 0.3"		D Tot: 2526.40 m	
Reficula: 7.06019		T Bal: -0.13 m	
Hora Inicio: 8:11		Hora Final: 12:39	
Temp Miras: 29.4°C		Temp Miras: 39.25°C	
Temp Inst: 28°C		Temp Inst: 36°C	
Est: 60		Temp Colimación: 27.45°C	
d HT: -0.91378 m		Promedio Temp. Miras: 34.35	
D Tot: 2507.47 m			
T Bal: -0.06 m			
OG MAN2 - Banco 2			
V0649B -> Bnfo J.			
V0649 -> Pz Vela			
BN070101 -> Marina			
BNH4 -> Banco Histórico Marina			

Figura 3.9: Libreta de nivelación, con los registros de la nivelación de Manzanillo, Colima.

Es muy importante definir las miras con sus respectivos sapos como “A” y “B”, debido a que la mira con la que se inicia la línea, es la misma que debe cerrar la línea. En caso de que la nivelación se conforme por dos líneas, en la primera línea se debe de iniciar y cerrar con la mira “A” y la segunda línea se debe de iniciar y cerrar con la mira “B”. Es necesario enfatizar que no se deben intercambiar las miras ni los sapos en ningún momento de la nivelación, así como tampoco se debe cambiar de observador, debido a que la precisión del trabajo se puede ver afectada.

Al realizar la nivelación se busca que los brazos sean equidistantes debido a cuestiones de corrección, ya que el instrumento no permite una diferencia mayor a los 3 m entre brazos.

Como se mencionó en el capítulo 2.1, se utiliza el método de nivelación directa, el cual consiste en tomar lecturas de los BN en la ruta trazada en el anteproyecto, realizando varias puestas de instrumento durante el recorrido y nivelando los BN históricos (en caso de encontrar alguno), los BN instalados, así como los BN instalados de INEGI.

Al arribar al último BN del recorrido, se cierra la línea y se anotan en la libreta de campo la hora de cierre de la línea, lectura de temperatura de las miras y del instrumento, así como los parámetros de cierre de línea que aparecen en la pantalla del nivel al momento de finalizar la línea de nivelación. Estos parámetros son el número de estaciones realizadas en la línea de nivelación, diferencia de altura del BN de partida con respecto al BN de llegada, distancia total de la línea y el balance para que los brazos sean equidistantes entre las miras y el instrumento.

Debido a las altas temperaturas en las costas se recomienda que la nivelación se realice en dos partes, puesto que cuando el sol alcanza su mayor elevación, provoca que la nivelación sea más difícil de realizar debido a que los rayos del sol impiden la lectura de las miras, por este motivo se recomienda que se deje un intervalo de tiempo de 11:00 a.m. a 14:00 p.m. (intervalo que puede variar), al concluir la primera línea de nivelación e iniciar la segunda línea de nivelación.

Antes de concluir la nivelación se calcula el error de la nivelación, por medio de la siguiente fórmula $\text{tolerancia} = 3\sqrt{(D1 + D2)/2}$, donde D1 y D2 son las distancias recorridas en kilómetros de las líneas de nivelación, el resultado de esta fórmula se compara con la diferencia de las alturas horizontales (dHT) de las líneas de nivelación, si el valor de dHT supera la tolerancia se deberá realizar la nivelación de nuevo.

3.7. Descarga de datos

Al concluir el trabajo de campo, se realiza el trabajo de gabinete el cual consiste en descargar la información del nivel digital para su posterior procesamiento.

Antes de iniciar el procesamiento de los datos, se debe realizar la descarga de los datos del nivel digital, el nivel cuenta con 2 memorias una interna y una externa, por defecto el nivel guarda los datos de nivelación obtenidos en campo en su memoria interna, por ese motivo se deben de exportar los datos a la memoria externa Card Flash (CF), (Fig. 3.10).



Figura 3.10: Exportación de datos a la memoria externa CF.

Una vez exportado los datos, se genera un solo archivo con extensión .GSI, dependiendo de la cantidad de lecturas realizadas durante la nivelación es la magnitud del archivo, el tamaño de estos archivos .GSI no sobrepasan los 200 KB en líneas de nivelación de 10 km.

El nivel Leica DNA 03, utiliza el formato de salida .GSI, esta estructura GSI se emplea para el intercambio de datos entre equipos topográficos Leica, el cual es capaz de albergar toda clase de datos; observaciones topográficas, coordenadas de bases y puntos. Los datos que se transfieren de una memoria interna Leica a una memoria extraíble (CF) o un ordenador (dependiendo el caso), cumplen con la estructura de datos GSI. La extensión GSI maneja dos formatos, se puede elegir grabar en 8 caracteres (.GSI-8) o grabar en 16 caracteres (.GSI-16), la principal diferencia entre ambos formatos, es la cantidad de información que almacenan, para la extensión GSI8 que incluye sus datos en las posiciones de la 7 a 15, a diferencia de la extensión GSI16 que sus datos se incluyen en las posiciones 7 a 23 (Geosystems, Leica, 2006).

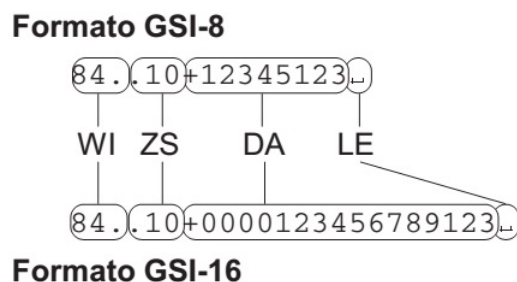


Figura 3.11: Formato GSI con 8 ó 16 caracteres, imagen modificada de **Geosystems, Leica** (2006).

Como se observa en la Fig. 3.11, se describe la estructura de los formatos GSI:

- WI: Identificador de la palabra.
- ZS: Información complementaria.
- DA: Datos
- LE: Espacio (Carácter de separación).

Un ejemplo de GSI generado en campo (en este caso GSI8), es el siguiente:

```

23SKN.GSI
110001+000000A1 32...8+01500209 331.28+00152264
110002+000000A1 32...8+01502875 331.28+00135405
110003+000000A1 32...8+01499152 331.28+00152270
110004+000000B1 32...8+01502300 332.28+00135405
110005+000000B2 32...8+01498434 336.28+00119014
110006+000000A2 32...8+04499223 335.28+00135843
410007+?.....4
110008+000000TNR 83...58+00000000
110009+000000TNR 32...8+01408599 331.28+00128240
110010+00000001 32...8+01488856 332.28+00134142
110011+00000001 32...8+01488879 336.28+00134143
110012+000000TNR 32...8+01406977 335.28+00128241
110013+00000001 571.28-00000000 572.28-00000000 573..8-00081080 574..8+02896656
83..28-00005902
110014+00000002 32...8+00986364 332.28+00139661
110015+00000001 32...8+00957470 331.28+00140730
110016+00000001 32...8+00959119 335.28+00140725
110017+00000002 32...8+00985695 336.28+00139657
110018+00000002 571.28+00000001 572.28+00000001 573..8-00108815 574..8+04840979
83..28-00004833
110019+00000002 32...8+00959423 331.28+00138036
110020+00000003 32...8+00989649 332.28+00134932
110021+00000003 32...8+00990326 336.28+00134940
110022+00000002 32...8+00958053 335.28+00138034
110023+00000003 571.28+00000009 572.28+00000010 573..8-00140064 574..8+06789705
83..28-00001734
110024+00000004 32...8+00775783 332.28+00141175
110025+00000003 32...8+00956427 331.28+00137648
110026+00000003 32...8+00955757 335.28+00137654
110027+00000004 32...8+00777079 336.28+00141161
110028+00000004 571.28-00000020 572.28-00000010 573..8+00039597 574..8+08522228
83..28-00005251

```

Figura 3.12: Archivo GSI-8 de la nivelación de Sian Ka'an, Quintana Roo.

3.8. Procesamiento de los datos mediante Leica Geo Office

Para el presente trabajo se procesaron los datos por medio del software Leica Geo Office en su versión 8.4, este software se adquiere al comprar cualquier equipo Leica.

Una vez descargados los datos crudos del nivel, se procede a realizar la corrección por medio de Leica Geo Office, para ello se inicia el programa y se crea un nuevo proyecto, dentro de la nueva ventana que se despliega, se configura el proyecto introduciendo los siguientes parámetros:

- Nombre del proyecto: Se le asigna el nombre de la estación.
- Ruta del proyecto: Se especifica la carpeta donde se guarda el proyecto (generalmente se deja por default).
- Coordinate System: Se selecciona la opción “None”, debido a que se usan datos de nivel.
- Lista de códigos (Codelist Template): Se selecciona la clase de instrumento, si es nivel, estación total o GPS.

Configurado el proyecto, se importan los datos crudos del nivel descargados previamente, en la ventana se visualiza los datos a importar y se generan dos líneas de nivelación, correspondientes a la nivelación por la mañana y la nivelación por la tarde mencionadas en el punto 3.6, se unen las líneas de nivelación y se procede a configurar los parámetros de procesamiento.

Dentro de los parámetros de procesamiento de Leica Geo Office se pueden elegir dos métodos de corrección ya sea corrección por estación o distancia, a continuación, se describe el proceso que realiza cada corrección:

- Corrección por estación: Consiste en distribuir el error por igual en cada estación.
- Corrección por distancia: Se toma en cuenta la distancia de nivelación, debido a que la mayoría de los errores sistemáticos son proporcionales a la distancia.

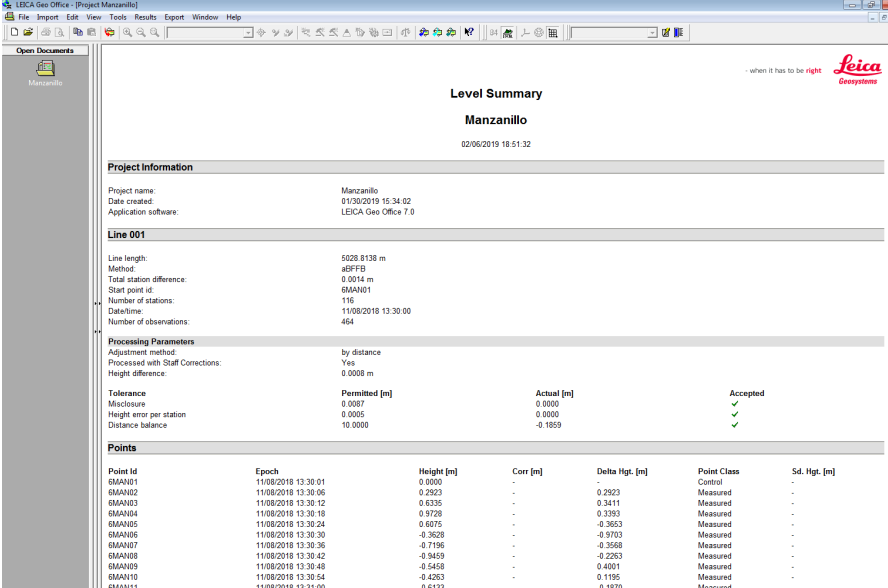
A continuación, se detalla la configuración de los parámetros de procesamiento:

- Método de ajuste: Seleccionar el método de ajuste, para el presente trabajo se realizaron las correcciones por distancia.
- Establecer los parámetros de error de cierre: La cuál consiste en la siguiente fórmula: $E=(a+b)\sqrt{L}$, donde “a” es un factor constante relacionado directamente con la precisión del equipo usado (valor que por defecto es 0.002), “b” factor que se modifica y está relacionado al orden de la nivelación, para el presente trabajo por ser una nivelación geodésica de primer orden, se modifica el valor a 0.003 y “L” que es el factor de la distancia.

3. METODOLOGÍA Y DATOS

- Habilitar las correcciones personales (Staff Corrections): Al activar esta opción, permite ingresar valores para realizar la corrección por temperatura de las miras.
- Cálculo de temperaturas de las miras invar: Temperaturas registradas en campo durante la calibración del equipo y la nivelación, necesarias para realizar la corrección por temperatura.

Una vez configurado los parámetros de procesamiento, se procesan los datos, al terminar se despliega una ventana en la que se muestra el resumen del procesamiento (Fig. 3.13).



Level Summary
Manzanillo
02/06/2019 18:51:32

Project Information

Project name:	Manzanillo
Date created:	01/30/2019 15:34:02
Application software:	LEICA Geo Office 7.0

Line 001

Line length:	5020.8138 m
Method:	dsFFB
Total station difference:	0.0014 m
Start point id:	GMAN01
Number of stations:	115
Datetime:	11/08/2018 13:30:00
Number of observations:	464

Processing Parameters

Adjustment method:	by distance
Processed with Staff Corrections:	Yes
Height difference:	0.0008 m

Tolerance

	Permitted [m]	Actual [m]	Accepted
Miclosure	0.0087	0.0000	✓
Height error per station	0.0005	0.0000	✓
Distance balance	10.0000	-0.1859	✓

Points

Point Id	Epoch	Height [m]	Corr [m]	Delta Hgt. [m]	Point Class	Sd. Hgt. [m]
GMAN01	11/08/2018 13:30:01	0.0000	-	-	Control	-
GMAN02	11/08/2018 13:30:06	0.2923	-	0.2923	Measured	-
GMAN03	11/08/2018 13:30:12	0.6335	-	0.3411	Measured	-
GMAN04	11/08/2018 13:30:18	0.9728	-	0.3393	Measured	-
GMAN05	11/08/2018 13:30:24	0.6075	-	-0.3653	Measured	-
GMAN06	11/08/2018 13:30:30	-0.3628	-	-0.9703	Measured	-
GMAN07	11/08/2018 13:30:36	-0.7196	-	-0.3568	Measured	-
GMAN08	11/08/2018 13:30:42	-0.9459	-	-0.2263	Measured	-
GMAN09	11/08/2018 13:30:48	-0.5458	-	0.4001	Measured	-
GMAN10	11/08/2018 13:30:54	-0.4263	-	0.1195	Measured	-
GMAN11	11/08/2018 13:31:00	-0.6151	-	-0.1870	Measured	-

Figura 3.13: Resumen del postproceso usando Leica Geo Office.

En el resumen que genera Leica Geo Office se pueden editar el logo y los nombres de las líneas, para su impresión y con esto se concluye el procesamiento de los datos.

3.9. Actualización de las redes de nivelación del SMN

En septiembre de 2016, el SMN contaba con 27 estaciones en la República Mexicana, de las cuales, aproximadamente en 14 estaciones se habían instalado varillas y realizado nivelaciones. De las estaciones niveladas no se procesó la información debido a la falta de personal especializado en esta área de estudio, tiempo después esa información se le dejó de dar seguimiento y se perdieron los parámetros para realizar las correcciones, motivo por el cual no se contaba con datos de nivelación actuales (2016), un registro exacto de cuántas estaciones se encontraban niveladas, un registro de los bancos de nivel históricos que aún se encontraban instalados en buen estado y tampoco se contaba con un registro de las varillas que se instalaron durante esas nivelaciones.



Figura 3.14: Mapa de las redes de nivelación en cada estación del SMN en 2016.

De las 14 estaciones niveladas (Fig. 3.14), se encontraron los datos en la memoria del nivel DNA 03 (37 archivos correspondientes a 13 de las estaciones), así como un registro en Excel proporcionado por el SMN, donde se detallan las fechas en las que se realizaron las nivelaciones en 12 de las estaciones,

archivo en el que se especifica los BN nivelados hasta agosto de 2016, debido a que no se contaba con un registro de las nivelaciones y los parámetros para poder realizar las correcciones pertinentes, no se procesaron los archivos.

En 2016 con apoyo del proyecto de “Reforzamiento de las Redes de Monitoreo del Nivel del Mar y de los Sistemas de Comunicaciones, para la Consolidación del Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (SINAT)”, el SMN inició la modernización de la red de bancos de nivel con la que se contaba en cada una de las estaciones mareográficas, (**DOF, SEGOB SEMAR**, 2013).

En enero de 2017 se realizó la primera salida a campo, en las estaciones mareográficas de Huatulco y Puerto Ángel, Oaxaca; se instalaron 10 BN en Huatulco y 9 BN en Puerto Ángel, empleando la metodología mencionada en el capítulo 3.1 y posteriormente realizando las nivelaciones geodésicas de primer orden empleando la metodología mencionada en el capítulo 2.1.1. El resto de las salidas siguieron la misma metodología en cada una de las salidas a campo que se tuvieron (6 salidas hasta diciembre de 2019), actualizando la red de nivelación en 25 estaciones del SMN.

Resultados

Se modernizó la red de nivelación del SMN implementando y densificando BN en las estaciones mareográficas. Desde enero de 2017 a diciembre de 2019 se instalaron 87 BN en 25 estaciones, incrementando aproximadamente de un 50 % a un 92 % las estaciones que cuentan con una red de nivelación del SMN; en la tabla 4.1, se puede observar las estaciones que contaban con una red de nivelación en 2016 y las estaciones que se modernizaron, así como un registro de los BN con los que se contaba en cada estación en 2016 y cuántos BN se instalaron a partir del 2017.

Tabla 4.1: Registro de BN instalados en 2016 y 2019 .

Control de bancos de nivel 2016 - 2019						
			BN Nivelados		BN Instalados	
Estación	Entidad Federal	Clave de Entidad	Año 2016	Año 2019	Año 2016	Año 2019
Pto. Chiapas	Chiapas	07	02	06	01	04
Salina Cruz	Oaxaca	20	–	05	–	04
Huatulco	Oaxaca	20	–	10	–	10
Pto. Ángel	Oaxaca	20	–	11	–	09
Acapulco	Guerrero	12	07	04	02	03
Zihuatanejo	Guerrero	12	03	04	03	03
Lázaro Cárdenas	Michoacán	16	–	05	–	03
Manzanillo	Colima	06	–	03	–	03
Pto. Vallarta	Jalisco	14	09	05	04	03
Mazatlán	Sinaloa	25	–	05	–	02
La Paz	Baja California Sur	03	–	04	–	03
Sian Ka'an	Quintana Roo	23	–	02	–	01
Cozumel	Quintana Roo	23	–	–	–	01
Pto. Morelos	Quintana Roo	23	04	02	01	02
Isla Mujeres	Quintana Roo	23	–	02	–	02
Telchac	Yucatán	31	04	03	03	03
Progreso	Yucatán	31	04	03	–	02
Sisal	Yucatán	31	02	03	–	02
Celestún	Yucatán	31	06	03	05	02

Control de bancos de nivel 2016 - 2019						
Estación	Entidad Federal	Clave de Entidad	BN Nivelados		BN Instalados	
			Año 2016	Año 2019	Año 2016	Año 2019
Campeche	Campeche	04	–	03	–	03
Ciudad del Carmen	Campeche	04	05	05	03	04
Frontera	Tabasco	27	–	04	–	03
Río Grijalva	Tabasco	27	–	–	–	–
Sánchez Magallanes	Tabasco	27	–	05	–	05
Coatzacoalcos	Veracruz	30	–	–	–	–
Alvarado	Veracruz	30	–	07	–	06
Veracruz	Veracruz	30	08	06	04	01
Tuxpan	Veracruz	30	03	05	02	03
Tampico	Tamaulipas	28	–	–	–	–
Total de BN			57	115	28	87

4.1. Generación de reportes

Se generaron los respectivos reportes de nivelación para cada una de las estaciones mareográficas, los cuales consisten en dos reportes, uno generado por el procesamiento de los datos mediante Leica Geo Office (capítulo 3.8) y otro generado a partir del trabajo realizado en campo, en cada reporte se detalla el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el presente trabajo.

4.1.1. Reporte de nivelación

Leica Geo Office te permite generar un reporte del postproceso de los datos de nivelación, como se detalla en las siguientes imágenes (Figs. 4.1, Fig. 4.2, Fig. 4.2 y Fig. 4.2):

1. **Logo:** Por defecto el software genera el reporte con el logo de Leica, pero en las configuraciones se puede establecer el logo que el usuario desea insertar.
2. **Título del resumen:** De la misma forma el título puede ser modificado por el usuario, este título se genera a partir del nombre del proyecto.
3. **Información del proyecto:** Especifica el nombre del proyecto, el día en que se procesaron los datos y la versión del software con el que se realizó el proyecto.
4. **Especificaciones del trabajo:** En esta parte se especifica la longitud del trabajo en metros, método empleado por el nivel, diferencia de elevación máxima de la estación, punto de inicio (BN de partida), número de estaciones o puestas de instrumento durante la nivelación, el día que se realizó la nivelación y el número de observaciones realizadas con el nivel.

5. **Parámetros del proceso:** Muestra el método empleado para la corrección, si se emplearon correcciones por temperatura y la diferencia de elevación del trabajo en comparación con el punto de partida.
6. **Tolerancias:** Es el error de cierre permitido para el trabajo, error de elevación máximo por estación y la longitud de los brazos durante la nivelación.
7. **Tolerancias aceptables:** De acuerdo a los parámetros ingresados antes de realizar el postproceso, se genera un valor de tolerancia, si nuestro trabajo se encuentra dentro de las tolerancias aceptables nos mostrará las palomas de color verde, caso contrario realiza las correcciones pertinentes y en caso que el error exceda las tolerancias para realizar una corrección, se deberá repetir la nivelación desde cero.
8. **Nombre de los puntos:** Por defecto el nivel nombra los puntos observados en numeración ascendente a menos que nosotros insertemos el nombre de algún punto de forma manual, en este caso los nombres registrados son los bancos de nivel que fueron nivelados.
9. **Elevaciones:** Muestra la elevación inicial del punto de partida, así como la elevación de los siguientes puntos observados, la cual suele ser cero para los trabajos de campo, posteriormente en gabinete se introduce la elevación referida al cero de la regla.
10. **Clase de punto:** El software genera dos clases de puntos, los puntos observados que son los puntos medidos en la nivelación y los puntos de control que se utiliza para establecer la cota de BN y con éste referir los demás puntos al mismo sistema de referencia. Para realizar el postproceso se necesita un punto de control el cual se deja fijo, en este caso el punto de control es el punto de partida, los demás serán puntos observados.
11. **Listado de bancos:** Muestra el listado de bancos de nivel observados en campo.
12. **Banco de nivel de llegada:** Es el mismo que el de partida por ser una nivelación diferencial de ida y vuelta (o nivelación de circuito).

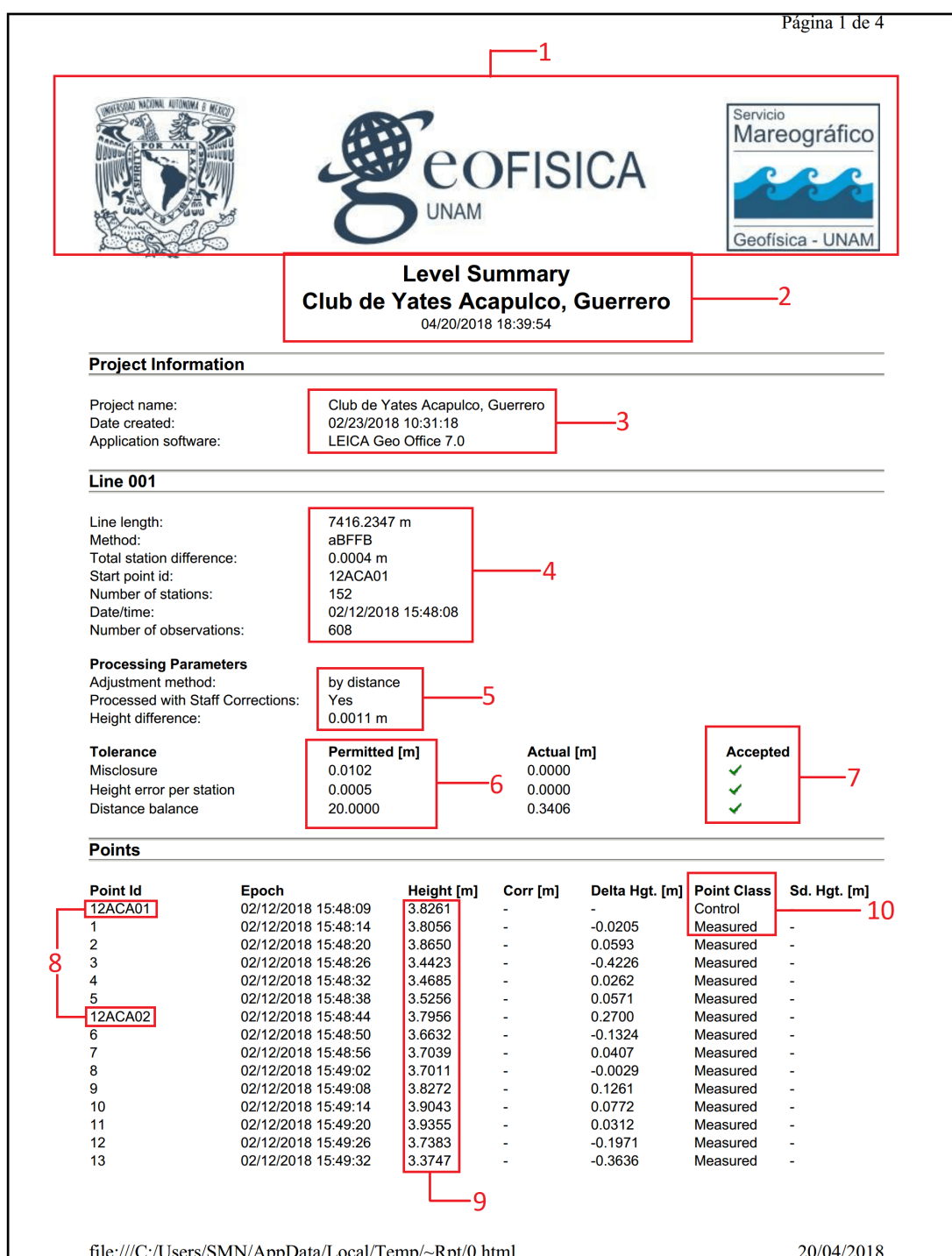


Figura 4.1: Reporte de nivelación de la estación mareográfica de Acapulco, Guerrero; elaborado por medio de Leica Geo Office.

Página 2 de 4

14	02/12/2018 15:49:38	2.9802	-	-0.3945	Measured	-
15	02/12/2018 15:49:44	2.8811	-	-0.0991	Measured	-
16	02/12/2018 15:49:50	2.9134	-	0.0323	Measured	-
17	02/12/2018 15:49:56	3.0558	-	0.1424	Measured	-
18	02/12/2018 15:50:02	4.1392	-	1.0834	Measured	-
19	02/12/2018 15:50:08	5.0577	-	0.9185	Measured	-
20	02/12/2018 15:50:14	5.9542	-	0.8966	Measured	-
12ACA03	02/12/2018 15:50:20	5.7866	-	-0.1676	Measured	-
21	02/12/2018 15:50:26	5.2788	-	-0.5078	Measured	-
22	02/12/2018 15:50:32	5.6667	-	0.3879	Measured	-
23	02/12/2018 15:50:38	5.7641	-	0.0974	Measured	-
24	02/12/2018 15:50:44	6.1452	-	0.3812	Measured	-
25	02/12/2018 15:50:50	6.6777	-	0.5324	Measured	-
26	02/12/2018 15:50:56	7.1168	-	0.4391	Measured	-
27	02/12/2018 15:51:02	7.3086	-	0.1918	Measured	-
28	02/12/2018 15:51:08	6.9834	-	-0.3252	Measured	-
29	02/12/2018 15:51:14	5.7387	-	-1.2447	Measured	-
30	02/12/2018 15:51:20	4.8439	-	-0.8948	Measured	-
31	02/12/2018 15:51:26	4.4375	-	-0.4064	Measured	-
32	02/12/2018 15:51:32	4.3957	-	-0.0418	Measured	-
33	02/12/2018 15:51:38	5.2915	-	0.8958	Measured	-
34	02/12/2018 15:51:44	6.5496	-	1.2581	Measured	-
35	02/12/2018 15:51:50	7.7727	-	1.2231	Measured	-
36	02/12/2018 15:51:56	9.2565	-	1.4838	Measured	-
37	02/12/2018 15:52:02	10.6825	-	1.4260	Measured	-
38	02/12/2018 15:52:08	12.1453	-	1.4628	Measured	-
39	02/12/2018 15:52:14	13.7149	-	1.5696	Measured	-
40	02/12/2018 15:52:20	14.2280	-	0.5131	Measured	-
41	02/12/2018 15:52:26	12.9984	-	-1.2295	Measured	-
42	02/12/2018 15:52:32	11.3780	-	-1.6204	Measured	-
43	02/12/2018 15:52:38	9.6527	-	-1.7254	Measured	-
44	02/12/2018 15:52:44	7.7797	-	-1.8730	Measured	-
45	02/12/2018 15:52:50	6.6884	-	-1.0913	Measured	-
46	02/12/2018 15:52:56	5.3386	-	-1.3498	Measured	-
47	02/12/2018 15:53:02	5.8203	-	0.4817	Measured	-
48	02/12/2018 15:53:08	6.5785	-	0.7582	Measured	-
49	02/12/2018 15:53:14	7.6788	-	1.1003	Measured	-
50	02/12/2018 15:53:20	8.0136	-	0.3348	Measured	-
51	02/12/2018 15:53:26	8.2101	-	0.1966	Measured	-
52	02/12/2018 15:53:32	8.3158	-	0.1056	Measured	-
53	02/12/2018 15:53:38	8.5399	-	0.2242	Measured	-
54	02/12/2018 15:53:44	8.6622	-	0.1222	Measured	-
55	02/12/2018 15:53:50	7.8517	-	-0.8104	Measured	-
56	02/12/2018 15:53:56	6.5761	-	-1.2756	Measured	-
57	02/12/2018 15:54:02	5.2984	-	-1.2777	Measured	-
58	02/12/2018 15:54:08	4.7914	-	-0.5070	Measured	-
59	02/12/2018 15:54:14	4.4694	-	-0.3220	Measured	-
60	02/12/2018 15:54:20	4.8530	-	0.3836	Measured	-
61	02/12/2018 15:54:26	5.3061	-	0.4532	Measured	-
62	02/12/2018 15:54:32	5.6400	-	0.3339	Measured	-
63	02/12/2018 15:54:38	5.0729	-	-0.5671	Measured	-
64	02/12/2018 15:54:44	4.5234	-	-0.5496	Measured	-
65	02/12/2018 15:54:50	3.4716	-	-1.0518	Measured	-
66	02/12/2018 15:54:56	2.7671	-	-0.7045	Measured	-
67	02/12/2018 15:55:02	2.5896	-	-0.1775	Measured	-
V120161F	02/12/2018 15:55:08	2.5291	-	-0.0606	Measured	-
68	02/12/2018 15:55:14	2.5165	-	-0.0126	Measured	-
BNHIS	02/12/2018 15:55:20	2.4370	-	-0.0794	Measured	-
69	02/12/2018 15:55:26	2.5863	-	0.1493	Measured	-
REGLA	02/12/2018 15:55:32	2.5298	-	-0.0565	Measured	-

file:///C:/Users/SMN/AppData/Local/Temp/~Rpt/0.html 20/04/2018

Figura 4.2: Reporte de nivelación de la estación mareográfica de Acapulco, Guerrero; elaborado por medio de Leica Geo Office.

Página 3 de 4

V120161A	02/12/2018 15:55:38	2.4615	-	-0.0683	Measured	-
	02/12/2018 15:55:44	2.3875	-	-0.0739	Measured	-
1	02/12/2018 15:55:53	2.4604	-	0.0729	Measured	-
REGLA	02/12/2018 15:55:59	2.5298	-	0.0694	Measured	-
2	02/12/2018 15:56:05	2.6311	-	0.1014	Measured	-
BNHIS	02/12/2018 15:56:11	2.4369	-	-0.1942	Measured	-
3	02/12/2018 15:56:17	2.5161	-	0.0792	Measured	-
V120161F	02/12/2018 15:56:23	2.5290	-	0.0129	Measured	-
4	02/12/2018 15:56:29	2.7790	-	0.2500	Measured	-
5	02/12/2018 15:56:35	3.3711	-	0.5921	Measured	-
6	02/12/2018 15:56:41	4.5224	-	1.1513	Measured	-
7	02/12/2018 15:56:47	5.0680	-	0.5456	Measured	-
8	02/12/2018 15:56:53	5.6520	-	0.5840	Measured	-
9	02/12/2018 15:56:59	5.2599	-	-0.3921	Measured	-
10	02/12/2018 15:57:05	4.5717	-	-0.6882	Measured	-
11	02/12/2018 15:57:11	4.4003	-	-0.1715	Measured	-
12	02/12/2018 15:57:17	4.8045	-	0.4043	Measured	-
13	02/12/2018 15:57:23	5.1932	-	0.3887	Measured	-
14	02/12/2018 15:57:29	6.6013	-	1.4081	Measured	-
15	02/12/2018 15:57:35	8.0676	-	1.4664	Measured	-
16	02/12/2018 15:57:41	8.6963	-	0.6287	Measured	-
17	02/12/2018 15:57:47	8.4365	-	-0.2599	Measured	-
18	02/12/2018 15:57:53	8.3371	-	-0.0993	Measured	-
19	02/12/2018 15:57:59	8.1729	-	-0.1642	Measured	-
20	02/12/2018 15:58:05	8.0291	-	-0.1438	Measured	-
21	02/12/2018 15:58:11	7.1292	-	-0.8999	Measured	-
22	02/12/2018 15:58:17	5.7939	-	-1.3353	Measured	-
23	02/12/2018 15:58:23	5.4285	-	-0.3654	Measured	-
24	02/12/2018 15:58:29	5.9543	-	0.5259	Measured	-
25	02/12/2018 15:58:35	6.9037	-	0.9493	Measured	-
26	02/12/2018 15:58:41	7.8783	-	0.9747	Measured	-
27	02/12/2018 15:58:47	9.2056	-	1.3272	Measured	-
28	02/12/2018 15:58:53	10.4676	-	1.2620	Measured	-
29	02/12/2018 15:58:59	11.6801	-	1.2124	Measured	-
30	02/12/2018 15:59:05	12.7265	-	1.0464	Measured	-
31	02/12/2018 15:59:11	13.7007	-	0.9742	Measured	-
32	02/12/2018 15:59:17	14.2372	-	0.5365	Measured	-
33	02/12/2018 15:59:23	13.8976	-	-0.3396	Measured	-
34	02/12/2018 15:59:29	12.2669	-	-1.6307	Measured	-
35	02/12/2018 15:59:35	10.9413	-	-1.3255	Measured	-
36	02/12/2018 15:59:41	9.4376	-	-1.5037	Measured	-
37	02/12/2018 15:59:47	7.7994	-	-1.6382	Measured	-
38	02/12/2018 15:59:53	5.7098	-	-2.0896	Measured	-
39	02/12/2018 15:59:59	4.4216	-	-1.2883	Measured	-
40	02/12/2018 16:00:05	4.2241	-	-0.1975	Measured	-
41	02/12/2018 16:00:11	5.1946	-	0.9705	Measured	-
42	02/12/2018 16:00:17	6.7514	-	1.5568	Measured	-
43	02/12/2018 16:00:23	7.2936	-	0.5422	Measured	-
44	02/12/2018 16:00:29	7.1909	-	-0.1027	Measured	-
45	02/12/2018 16:00:35	6.6493	-	-0.5416	Measured	-
46	02/12/2018 16:00:41	6.1343	-	-0.5150	Measured	-
47	02/12/2018 16:00:47	5.7058	-	-0.4285	Measured	-
48	02/12/2018 16:00:53	5.6507	-	-0.0551	Measured	-
49	02/12/2018 16:00:59	5.9101	-	0.2594	Measured	-
50	02/12/2018 16:01:05	5.8600	-	-0.0501	Measured	-
12ACA03	02/12/2018 16:01:11	5.7876	-	-0.0724	Measured	-
51	02/12/2018 16:01:17	5.1723	-	-0.6153	Measured	-
52	02/12/2018 16:01:23	4.2028	-	-0.9695	Measured	-
53	02/12/2018 16:01:29	3.4041	-	-0.7987	Measured	-
54	02/12/2018 16:01:35	2.9635	-	-0.4407	Measured	-

file:///C:/Users/SMN/AppData/Local/Temp/~Rpt/0.html 20/04/2018

Figura 4.3: Reporte de nivelación de la estación mareográfica de Acapulco, Guerrero; elaborado por medio de Leica Geo Office.

Página 4 de 4

	02/12/2018 16:01:41	2.8863	-	-0.0772	Measured	-
56	02/12/2018 16:01:47	2.9414	-	0.0551	Measured	-
57	02/12/2018 16:01:53	3.4213	-	0.4799	Measured	-
58	02/12/2018 16:01:59	3.5374	-	0.1161	Measured	-
59	02/12/2018 16:02:05	3.7389	-	0.2015	Measured	-
60	02/12/2018 16:02:11	3.9661	-	0.2272	Measured	-
61	02/12/2018 16:02:17	3.9339	-	-0.0322	Measured	-
62	02/12/2018 16:02:23	3.8819	-	-0.0520	Measured	-
63	02/12/2018 16:02:29	3.6967	-	-0.1852	Measured	-
64	02/12/2018 16:02:35	3.7398	-	0.0432	Measured	-
65	02/12/2018 16:02:41	3.6828	-	-0.0571	Measured	-
12ACA02	02/12/2018 16:02:47	3.7965	-	0.1137	Measured	-
66	02/12/2018 16:02:53	3.5579	-	-0.2386	Measured	-
67	02/12/2018 16:02:59	3.4198	-	-0.1381	Measured	-
68	02/12/2018 16:03:05	3.8467	-	0.4269	Measured	-
69	02/12/2018 16:03:11	3.8505	-	0.0038	Measured	-
70	02/12/2018 16:03:17	3.8081	-	-0.0424	Measured	-
12ACA01	02/12/2018 16:03:23	3.8272	-	0.0191	Measured	-

12

Figura 4.4: Reporte de nivelación de la estación mareográfica de Acapulco, Guerrero; elaborado por medio de Leica Geo Office.

4.1.2. Reporte de trabajo en campo

Concluido el proceso de los datos en gabinete, se genera un reporte en el cual se desglosa el trabajo realizado en campo, se describe el proceso en 4 etapas, para sintetizar el reporte y hacerlo lo más ligero posible y de fácil comprensión, se especifica el método empleado para la monumentación de las placas de nivel, la nivelación en la localidad, así como el anteproyecto, mapa de la ubicación final de los BN y las elevaciones de los BN nivelados corregidos y referidos al cero de la regla.

En los reportes ejemplificados en la Fig.4.5 se explica brevemente cómo se realizó el trabajo en campo, detallando el proceso de nivelación y los bancos nivelados, se anexan imágenes de la nivelación y bancos instalados en la localidad, concluyendo el trabajo de campo y la elaboración de los croquis.



Relatoría

Llegando al sitio nos entrevistamos con las autoridades de API quienes ya tenían conocimiento del trabajo que se iba a llevar a cabo y solo fue necesario hacer el registro para poder acceder a las inmediaciones del muelle de cruceros donde se instaló una nueva estación mareográfica, motivo por el cual sería forzoso tener un nuevo banco de nivel en el sitio.

Se hizo un breve recorrido de reconocimiento para ubicar los mejores sitios en los cuales instalar más bancos de nivel, considerando algunos de los puntos propuestos en el anteproyecto; procedimos a realizar la instalación de dos bancos de nivel fuera del muelle y nos dirigimos hacia la estación de Acapulco Yates para verificar la existencia de los bancos de nivel históricos y los reportados por INEGI en su portal.



Imagen 1. Banco de nivel instalado.

Una vez instalados los bancos, esperamos el tiempo necesario para que la resina epóxica terminará de fraguar. Realizamos la nivelación empezando por el nuevo banco instalado en el muelle de cruceros con clave "12ACA01", pasando por el segundo banco de nivel con clave "12ACA02" instalado en el puente del Fuerte de San Diego, siguiendo el recorrido hacia la rotonda de las mujeres y hombres ilustres de Guerrero donde se encuentra instalado el tercer banco de nivel, con clave "12ACA03", continuamos el recorrido hacia el Club de Yates, pasando por dos bancos de nivel de INEGI (V120161F y V120161A), uno de Geofísica (2) y finalmente se niveló la varilla "BNV01" para poder ligar ambas estaciones.

Se anexa tabla de las elevaciones (Fig. 4.6) procesadas por medio de Leica Geo Office, referenciadas al cero de la regla, para el caso de Acapulco, Guerrero; se realizaron dos procesos debido a que se ligó la nueva caseta que se encuentra en las instalaciones de la Administración Portuaria Integral (API) de Acapulco; con la caseta histórica que se encuentra en el Club de Yates Acapulco.

ELEVACIONES FINALES DE LA RED MAREOGRÁFICA DE ACAPULCO API, GUERRERO SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL INSTITUTO DE GEOFÍSICA - UNAM					
ID Banco de Nivel	Altura [m] IDA	Altura [m] VUELTA	Diferencia de Alturas	Alturas Corregidas	Alturas referidas al cero de la regla de mareas [m]
12ACA01	7.1352	7.1363	0.0011	7.1358	7.1352
12ACA02	7.1047	7.1055	0.0008	7.1051	7.1046
12ACA03	9.0957	9.0967	0.0010	9.0962	9.0957
V120161F	5.8381	5.8380	-0.0001	5.8381	5.8375
2	5.7461	5.7459	-0.0002	5.7460	5.7455
BNV01	5.8388	5.8388	0.0000	5.8388	5.8383
V120161A	5.6966	5.6966	0.0000	5.6966	5.6961
Distancia recorrida [km]		3.7081			
Error de cierre del circuito permitido según fórmula [m]		0.00578			
Error obtenido en el circuito [m]		0.00105			

Figura 4.6: Elevaciones procesadas de Acapulco API, Guerrero.

El segundo proceso (Fig. 4.7) de las elevaciones corregidas de la caseta histórica instalada en el Club de Yates de Acapulco, Guerrero; debido a las condiciones de la caseta fue necesario instalar una nueva, por lo cual se ligó la nueva caseta al cero de la regla histórico para tener un registro de las nuevas lecturas referidas al cero de la regla histórico.

ELEVACIONES FINALES DE LA RED MAREOGRÁFICA DE ACAPULCO YATES, GUERRERO SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL INSTITUTO DE GEOFÍSICA - UNAM					
ID Banco de Nivel	Altura [m] IDA	Altura [m] VUELTA	Diferencia de Alturas	Alturas Corregidas	Alturas referidas al cero de la regla de mareas [m]
12ACA01	3.8262	3.8273	0.0011	3.8268	3.8268
12ACA02	3.7956	3.7965	0.0009	3.7961	3.7961
12ACA03	5.7867	5.7877	0.0010	5.7872	5.7872
V120161F	2.5291	2.5290	-0.0001	2.5291	2.5291
2	2.4370	2.4369	-0.0001	2.4370	2.4370
BNV01	2.5298	2.5298	0.0000	2.5298	2.5298
V120161A	2.3876	2.3876	0.0000	2.3876	2.3876
Distancia recorrida [km]		3.7081			
Error de cierre del circuito permitido según fórmula [m]		0.00578			
Error obtenido en el circuito [m]		0.00105			

Figura 4.7: Elevaciones procesadas de la caseta histórica de Acapulco, Guerrero.

4. RESULTADOS

Se anexa proyecto definitivo (Fig. 4.8) de la ubicación final de los BN instalados y nivelados en la localidad de Tuxpan, Veracruz.



Figura 4.8: Proyecto definitivo de la estación de Tuxpan, Veracruz.

4.2. Croquis

En gabinete se vacía la información de los croquis elaborados en campo y se digitalizan por medio de AutoCAD, como se muestra en la figura 4.9, en un formato que cumple con las siguientes características:

1. Denominación del banco: Nombre del BN.
2. Municipio.
3. Estado.
4. Localidad.
5. Latitud: Obtenida por medio de GPS (navegador).
6. Longitud: Obtenida por medio de GPS (navegador).
7. X: Coordenadas en proyección UTM.
8. Y: Coordenadas en proyección UTM.
9. Cota o elevación del BN.
10. Descripción del banco: Una breve descripción de donde fue montado.

11. Detalle: Croquis a detalle donde se muestra sólo el BN y sus referencias.
12. Croquis: Digitalización del croquis elaborado en trabajo de campo.
13. Referencias: Descripción de la ubicación de las referencias tomadas en campo, así como sus respectivas distancias y azimut.
14. Imágenes del BN: Fotos tomadas en campo donde muestra el BN instalado desde diversos ángulos, con la finalidad de resaltar construcciones o algún objeto para su sencilla ubicación.

En los anexos se puede ver el ejemplo de un croquis llenado, para el presente capítulo se usó el formato vacío para su explicación.

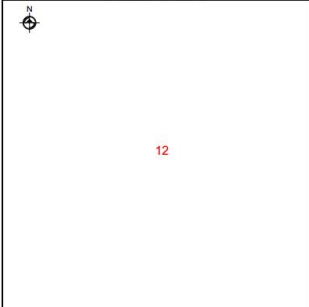
  		
DENOMINACIÓN: 1		
ESTADO: 3		
MUNICIPIO: 2	LOCALIDAD: 4	
COORDENADAS		
GEOGRÁFICAS	UTM (Zona 13)	
Latitud: 5	X: 7	
Longitud: 6	Y: 8	
Cota: 9		
DESCRIPCIÓN DEL BANCO		
10		
CROQUIS DE UBICACIÓN		
		
DETALLE		
		
REFERENCIAS		
13		
FOTOGRAFÍAS DE UBICACIÓN DEL BANCO		
14	14	14

Figura 4.9: Formato de croquis elaborado.

Las estaciones del SMN que se densificaron se pueden ver contenidas en la tabla 4.2, la cual muestra la instalación de BN por sitio y por año.

4. RESULTADOS

Tabla 4.2: Registro de BN instalados 2019 .

Registro de bancos de nivel instalados 2019									
				BN Instalados anteriormente			Fecha de instalación de los BN		
Entidad	Civ. Entidad	Estación	Sitio	Bancos	Varillas	Bancos instalados	Mes	Año	Total por sitio
Chiapas	07	Pto. Chiapas	PCH	02	00	04	06	2018	06
Oaxaca	20	Salina Cruz	SCR	01	00	04	06	2018	05
Oaxaca	20	Huatulco	HUA	00	02	10	01	2017	10
Oaxaca	20	Pto. Ángel	PAN	02	00	09	02	2017	11
Guerrero	12	Acapulco	ACA	01	01	03	02	2018	04
Guerrero	12	Zihuatanejo	ZIH	01	01	03	02	2018	04
Michoacán	16	Lázaro Cárdenas	LCR	02	03	03	10	2018	05
Colima	06	Manzanillo	MAN	00	00	03	10	2018	03
Jalisco	14	Pto. Vallarta	PVA	02	03	03	11	2018	05
Sinaloa	25	Mazatlán	MAZ	03	02	02	11	2018	05
Baja California Sur	03	La Paz	LPZ	00	00	03	12	2019	03
Quintana Roo	23	Sian Ka'an	SKN	01	02	01	12	2018	02
Quintana Roo	23	Cozumel	COZ	01	00	01	12	2018	02
Quintana Roo	23	Pto. Morelos	PMO	00	02	02	12	2018	02
Quintana Roo	23	Isla Mujeres	IMJ	00	01	02	12	2018	02
Yucatán	31	Telchac	TEL	00	02	03	11	2018	03
Yucatán	31	Progreso	PRO	01	01	02	11	2018	03
Yucatán	31	Sisal	SIS	01	00	02	11	2018	03
Yucatán	31	Celestún	CEL	01	02	02	11	2018	03
Campeche	04	Campeche	CAM	00	00	03	10	2017	03
Campeche	04	Ciudad del Carmen	CDC	01	02	04	10	2017	05
Tabasco	27	Frontera	FRO	01	00	03	10	2017	04
Tabasco	27	Río Grijalva	RGR	00	00	00			00
Tabasco	27	Sánchez Magallanes	SMG	00	00	05	10	2017	05
Veracruz	30	Coatzacoalcos	COA	00	00	00			00
Veracruz	30	Alvarado	ALV	01	00	06	10	2017	07
Veracruz	30	Veracruz	VER	02	03	01	10	2017	06
Veracruz	30	Tuxpan	TUX	02	03	03	11	2017	05
Tamaulipas	28	Tampico-Madero	TAM	00	00	00			00
				29 BN Históricos	27 Varillas	87 BN instalados			

En 2017 se realizaron trabajos de nivelación en tres campañas (Fig. 4.10), para las estaciones de Huatulco, Pto. Ángel, Alvarado, Ciudad del Carmen, Frontera, Campeche, Veracruz y Tuxpan.



Figura 4.10: Mapa de los trabajos de nivelación realizados en 2017.

En 2018 se realizaron trabajos de nivelación en cuatro campañas (Fig. 4.11), para las estaciones de Acapulco, Zihuatanejo, Lázaro Cárdenas, Manzanillo, Pto. Vallarta, Mazatlán, Pto. Chiapas, Salina Cruz, Pto. Ángel, Huatulco, Sánchez Magallanes, Celestún, Sisal, Progreso, Telchac, Isla Mujeres, Puerto Morelos y Sian Ka'an.



Figura 4.11: Mapa de los trabajos de nivelación realizados en 2018.

En 2019 se realizaron trabajos de nivelación en dos campañas (Fig. 4.12), para las estaciones de Veracruz y La Paz.



Figura 4.12: Mapa actual de las redes de nivelación en cada estación del SMN en 2019.

En la actualidad se cuentan con 27 estaciones mareográficas (Fig. 4.13), de las cuales 25 estaciones cuentan con red de nivelación, en las cuales se implementaron 87 BN en 8 salidas a trabajo de campo, en el periodo de enero de 2017 a diciembre de 2019, ligando 29 BN históricos y aproximadamente 30 BN de INEGI, de esta forma los datos generados se encuentran ligados a la red vertical de INEGI y con los datos ligados a los BN históricos, servirán como ayuda para referenciar los datos históricos digitalizados en el SMN.



Figura 4.13: Mapa actual de las estaciones mareográficas con al menos un BN histórico nivelado.

Discusión y conclusiones

Se modernizó y aún se encuentra en proceso de actualización definitiva la red de nivelación para cada una de las estaciones mareográficas del SMN, actualmente de las 27 estaciones mareográficas, 25 estaciones cuentan con red de nivelación. Por cuestiones de presupuesto y de personal limitado, el SMN no cuenta con una brigada exclusiva para realizar las nivelaciones, motivo por el cual las nivelaciones se realizan cuando se aplica mantenimiento preventivo y correctivo a las casetas mareográficas, lo cual hace que el proceso de modernización sea más lento, por lo que se espera que en un período no mayor a dos años todas las estaciones mareográficas cuenten con su red de nivelación. Con ayuda de los BN instalados se podrá referenciar los datos actuales de las estaciones a los datos históricos que se encuentran digitalizados en el SMN, lo cual ayudará a generar un mejor estudio de la variación del mar asociado al cambio climático, así como a generar un mejor estudio del incremento del nivel mar.

Actualmente los BN instalados en las casetas mareográficas tienen múltiples aplicaciones que van desde la construcción de obras civiles y portuarias (como carreteras y alcantarillado), dependencias de cartografía para establecer puntos de control y hacer correcciones de mapas, en centros de investigación para estudios o predicción de desastre y para el establecimiento de la Zona Federal Marítimo y Terrestre (ZOFEMAT), trabajos locales de topografía, batimetría y trabajos de dragado en las zonas portuarias.

Anexo I: Libretas históricas de nivelación del SMN

Descripción del contenido de las libretas de nivelación históricas del SMN

A continuación, se describe el contenido de las libretas históricas de nivelación:

De la figura 5.1, se describe la portada de la libreta.

UNIVERSIDAD NACIONAL 11

U. N. A. M.
INSTITUTO DE GEOFÍSICA
DEPTO. OCEANOGRAFÍA

REGISTRO DE NIVELACIÓN DE ESTACIONES
MAREOGRÁFICAS

PUERTO
ALVARADO VER

INSTRUMENTO
Nivel: WILD N2
Estadal: WILD
Fecha: 12 SEP 1967

Fecha: (Escriba solo cuando se usó como original)

Copie: (Escriba solo cuando se usó como duplicado)

FREDERICO PÉREZ, Jefe de la Expedición
JUANITO GONZÁLEZ, Observador
JUANITO GONZÁLEZ, Estadalero

Figura 5.1: Portada de libreta de nivelación de la estación de Alvarado, Veracruz; imagen modificada del acervo del SMN.

1. En la portada encontraremos los datos generales de las libretas, como el nombre de la UNAM, Instituto de Geofísica, Departamento de Oceanografía y el número la libreta (número que indica las nivelaciones que se habían elaborado y la cronología de las mismas).
2. El puerto en el que se realizó la nivelación.
3. El instrumento que se utilizó para realizar la nivelación (nivel y miras).
4. La fecha en la que se realizó la nivelación.
5. Datos de los integrantes de la brigada de nivelación (Jefe de brigada, Observador y Estadalero).

DESCRIPCION DE LOS BANCOS DE NIVEL				NIVELACION			
1. B. N. No.				Estación	ALVARADO	VER	
2. Establecido por	10			Año	1967	Mes	SEP
Fecha				Día	12		
3. Recuperado por	2.748						
Fecha	+1.620						
4. Tipo de señal	4.368						
	-1.577						
	2.791						
5. Descripción en la señal							
6. Descripción detallada de la localización							

METROS	NOTAS
Cota 2.748	7
Lectura 1.620	
Altura 4.368	8
Lectura 1.577	
Cota 2.791	9
Lectura 1.548	
Altura 4.339	
Lectura 1.312	
Cota 3.023	
Lectura 1.283	
Altura 4.310	
Lectura 0.385	
Cota 3.925	
Lectura 1.550	
Altura 5.475	
Lectura 1.612	
Cota 3.863	
Lectura 2.367	
Altura 6.230	
Lectura 1.163	
Cota 5.067	

Figura 5.2: Contenido de la libreta de nivelación de la estación de Alvarado, Veracruz; imagen modificada del acervo del SMN.

De la figura 5.2, se describe el contenido de la libreta.

6. Datos de la nivelación, fecha y nombre de la estación.
7. Cota o elevación del BN inicial, inicio de la nivelación.
8. Lecturas de las miras o estatales.
9. Nombre de los bancos de nivel en la sección de notas.
10. Descripción de como obtenían las elevaciones.

NIVELACION				NIVELACION			
Estación	ALVARADO	VER		Estación	ALVARADO	VER	
Año	1967	Mes	SEP	Año	1967	Mes	SEP
Día	12			Día	12		
METROS	NOTAS			METROS	NOTAS		
Cota 5.067	BN			Cota 3.863	BN		
Lectura 1.080				Lectura 1.601			
Altura 6.147				Altura 5.464			
Lectura 2.468				Lectura 1.540			
Cota 3.479	PL			Cota 3.925	PL		
Lectura 0.623				Lectura 0.385			
Altura 4.302				Altura 4.307			
Lectura 1.173				Lectura 1.281			
Cota 3.129	11			Cota 3.026	BN		
Lectura 1.271				Lectura 1.270			
Altura 4.400				Altura 4.296			
Lectura 0.721				Lectura 1.505			
Cota 3.678	PL			Cota 2.791	BN		
Lectura 2.538				Lectura 1.539			
Altura 6.216				Altura 4.330			
Lectura 1.150				Lectura 1.582			
Cota 5.066	BN			Cota 2.748	12		
Lectura 1.262				Lectura			
Altura 6.328				Altura			
Lectura 2.465				Lectura			
Cota 3.863	BN			Cota			

Figura 5.3: Registro de nivelación de la estación de Alvarado, Veracruz; imagen modificada del acervo del SMN.

- De la figura 5.3, se encuentra los registros de nivelación.
11. Cota o elevación del banco de llegada, nivelación de la primera línea.
 12. Cota o elevación de la nivelación, nivelación de la segunda línea.

NIVELACION

Estación: _____

Año: _____ Mes: _____ Día: _____

El siguiente método se recomienda para obtener las cotas más precisas de los diferentes bancos de nivel, tomando las lecturas de la circundada, corriendo hacia con nivel montado, que se registra en esta libreta.

Se recomienda seguir los otros directrices obtenidos para cada banco de nivel, detallados de la nivelación corrida que se efectúa, en la forma que aparece a continuación. El símbolo BN (a) se usa para designar la parte superior de la placa que está sobre la plaza de apoyo del alfilerero portátil o alguna graduación del manómetro fijo. Cuando los bancos de nivel tienen otras marcas u ocurren en diferente orden que el usado en la forma, todas las mismas impreso y escriba las correctas.

ELEVACIONES

B. N. Sea.	1a. NIVELACION METROS	2a. NIVELACION METROS
(a)		
(1)		
(2)		
(3)		
(4)		

RESULTADOS ACEPTADOS

DETERMINACION

B. N. Sea.	1a. NIVELACION	2a. NIVELACION	PROMEDIO
(a)	2.043	2.043	2.043
(1)	2.246	2.246	2.246
(2)	2.336	2.336	2.336
(3)	2.204	2.204	2.204
(4)	2.338	2.338	2.338

ELEVACIONES SOBRE EL CERO DE LA REGLA DE MAREAS.

B. N. 1.	B. N. 2.	B. N. 3.	B. N. 4.	B. N. 5.	B. N. 6.	B. N. 7.	B. N. 8.	B. N. 9.
2.7910								

Figura 5.4: Resultados de la nivelación de la estación de Alvarado, Veracruz; imagen modificada del acervo del SMN.

- De la figura 5.4, se encuentra el proceso que se realizaba para obtener las elevaciones de los BN.
13. Elevaciones de los bancos de nivel (sin procesar).
 14. Elevación del BN sobre el cero de la regla.
 15. Desnivel entre bancos de nivel.
 16. Elevaciones de los BN (procesados) sobre el cero de la regla.

Anexo II: Descripción del nivel digital Leica DNA 03

Descripción detallada de los componentes del nivel digital Leica DNA 03

Para los trabajos de nivelación en el SMN se utiliza el nivel digital de la marca Leica, modelo DNA 03 (Fig. 5.5), este instrumento cuenta con las especificaciones necesarias para las nivelaciones realizadas.

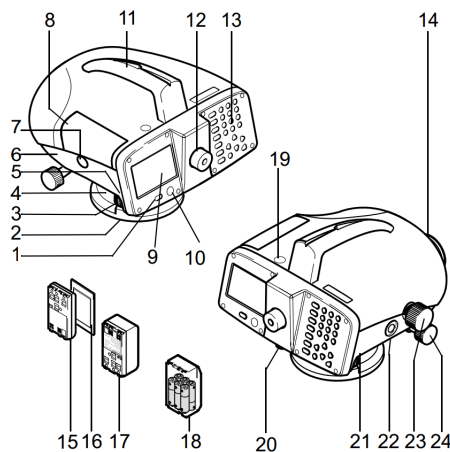


Figura 5.5: Partes principales del Nivel electrónico DNA 03, imagen modificada de: (Geosystems, Leica, 2006)

1. Tecla on/off: Tecla usada para encender y apagar el nivel.
2. Placa base: Parte fundamental del nivel electrónico, proporciona estabilidad al equipo para realizar las nivelaciones.
3. Tornillos nivelantes: Esenciales para nivelar el equipo de manera horizontal.
4. Círculo horizontal: Parte del nivel que muestra de manera gráfica si la placa base está nivelada.
5. Palanca para liberar la batería: Palanca que sirve como seguro para retirar la batería del equipo.
6. Compartimiento de la batería: Compartimiento donde se introduce la batería.

7. Botón para abrir el compartimiento de la tarjeta de memoria Compact Flash (CF).
8. Tapa del compartimiento de la tarjeta de memoria Compact Flash (CF).
9. Pantalla: En la cual se pueden visualizar las configuraciones del equipo, así como los datos de las nivelaciones.
10. Nivel esférico: Nivel de burbuja integrado que sirve para verificar que el equipo se encuentra nivelado.
11. Asa de transporte, con muesca y mirilla.
12. Ocular: Lente mediante el cual se fija el objetivo.
13. Teclado: Mediante el cual se seleccionan las configuraciones y se nombran los BN.
14. Objetivo: Lente para visualizar a las miras y realizar las lecturas de las mismas.
15. Batería GEB111 (no incluida).
16. Tarjeta PCMCIA o Compact Flash (CF) con adaptador.
17. Batería GEB121.
18. Adaptador de batería GAD39 para 6 pilas (no incluido).
19. Entrada de luz para nivel esférico.
20. Orificio para el ajuste de la luz reticular: Útil para fijar la nitidez de los hilos reticulares del equipo.
21. Interfaz en serie RS232/alimentación externa y descarga de datos: Para conectar una batería externa en caso de ser necesario.
22. Tecla de medición: Tecla para realizar la lectura de las miras.
23. Tornillo de enfoque: Tornillo mediante el cual enfoca el objetivo para visualizar las miras.
24. Tornillo sin fin para el círculo horizontal en ambos lados: Tornillo mediante el cual el equipo gira de forma horizontal para fijar los objetivos de forma más precisa.

Anexo III

Anexo III: Elaboración de croquis

Croquis elaborados en gabinete



Figura 5.6: Croquis de la estación de Ciudad del Carmen, Campeche.

5. ANEXO III

Croquis de las estaciones de Ciudad del Carmen, Campeche (Fig. 5.6) y Zihuatanejo, Guerrero (Fig. 5.7)

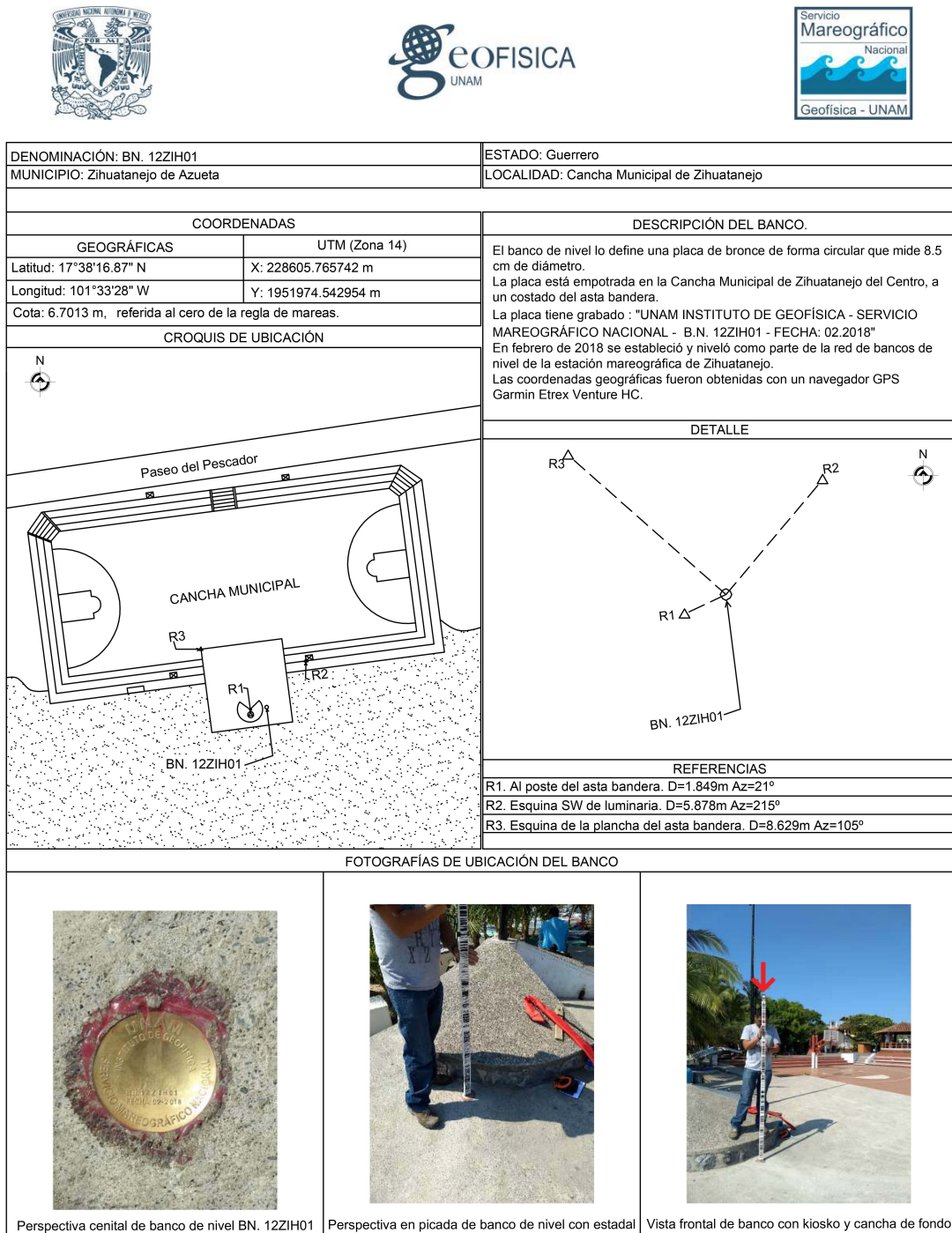


Figura 5.7: Croquis de la estación de Zihuatanejo, Guerrero.

Anexo IV: Elaboración de reportes de campo

Reportes de campo

Ejemplo del reporte de campo entregado al SMN, donde se detalla todo el proceso de nivelación en campo (Fig. 5.8, Fig. 5.9, Fig. 5.10, Fig. 5.11, Fig. 5.12, Fig. 5.13, Fig. 5.14 y Fig. 5.8).



Figura 5.8: Portada de reporte de la estación Tuxpan, Veracruz.



Resumen

Se realizó nivelación geodésica de primer orden clase I en la estación del Servicio Mareográfico Nacional (SMN) de Tuxpan, Veracruz. Así mismo como parte de la nivelación se instalaron 3 bancos de nivel con nomenclaturas: "BN.30TUX01", "BN.30TUX02" y "BN.30TUX03", en el Puente de Tampamachoco y en la Base de Operaciones Golfo de México (BOGM).

La nivelación diferencial se realizó con un nivel digital marca Leica modelo DNA-03 utilizando el método aBFFB, la calibración del nivel se realizó con el método Kukkamaki. El valor de discrepancia se obtuvo con la ecuación $\sigma = 3\sqrt{k}$ donde k es la distancia recorrida en kilómetros.

Participantes

- Pas. Fis. Sergio Valente Gutiérrez Quijada (Técnico)
- Pas. Ing. Miriam Ariana Zarza Alvarado (Auxiliar de servicios geofísicos)
- Pas. Ing. Armando Loza Palestina (Técnico)
- Pas. Ing. Alfredo Fabian De La Cruz (Técnico)

Equipo y herramienta

- Nivel electrónico Leica DNA-03
- Miras invar
- Tripié de madera
- Sapos (2 ó 4)
- Pirómetro
- Libretas de campo
- Sombrillas
- Navegador GPS
- Brújula

Figura 5.9: Informe del trabajo realizado en Tuxpan, Veracruz.



Anteproyecto

Se realizará en el sitio una nivelación de primer orden, la cual consta de 4 etapas primordiales:

Etapa 1. Anteproyecto del sitio

Mediante el software Google Earth se buscaron y se plantearon las posibles ubicaciones de los bancos de nivel.

En el Anexo 1 podemos observar la posible ubicación de los bancos a colocar.

Etapa 2. Evaluación de los sitios propuestos

En el sitio se hará un recorrido de reconocimiento de las posibles ubicaciones de los bancos de nivel y se valorará su estabilidad y perdurabilidad, en caso de que este no sea el adecuado se cambiará el lugar del banco de nivel por uno más conveniente.

Etapa 3. Instalación de Bancos de Nivel

Las placas de bronce tienen un diámetro de 8.5 cm y un vástago de 12 cm de largo. Para empotrar las placas se utiliza un procedimiento no invasivo en el cual se utiliza un taladro para perforar un pequeño cilindro, con mazo y cincel se marca el contorno de la placa de bronce, una vez limpiado se utiliza resina epóxica para cimentar la cuál tarda fraguar aproximadamente 8 horas.

Etapa 4. Nivelación de primer orden Clase I

Es muy importante para el SMN retomar los proyectos de nivelación en las estaciones de monitoreo. Se está haciendo un gran esfuerzo para crear una red de nivelación, en cada sitio, que permita tener un mejor control vertical con respecto al nivel del mar.

Figura 5.10: Descripción del trabajo realizado en Tuxpan, Veracruz.



Relatoría

Al llegar al sitio hicimos del conocimiento de las autoridades de la BOGM las actividades que se iban a llevar a cabo como parte del proyecto de nivelación y mantenimiento de la estación mareográfica ubicada dentro de sus instalaciones.

Se realizó el reconocimiento de campo para evaluar y definir los sitios donde se colocaron los nuevos bancos de nivel y localizar los bancos de nivel de INEGI en la zona, sin embargo, no se logró localizar ninguno; afortunadamente se encontraron dos bancos de nivel históricos del Instituto de Geofísica.

Por la tarde de ese mismo día procedimos a realizar la instalación de 3 bancos de nivel para ligar con los bancos históricos y posteriormente ampliar la red de bancos a una distancia más lejana.

La nivelación se realizó después de esperar el tiempo necesario para que la resina epóxica completará su proceso de fraguado.



Imagen 1: Proceso de nivelación dentro de la BOGM.



El proceso de nivelación se ejecutó en una línea desde la BOGM hasta la caseta histórica en la zona de la playa de Tuxpan. En la nivelación se tocaron dos bancos y tres varillas instaladas con anterioridad y tres bancos nuevos. Más tarde se realizó el recorrido de vuelta para completar el proceso de nivelación.



Imagen 2: Miras Invar.



Imagen 3: Lectura de regla de mareas histórica.



Imagen 4: Nivelación de banco de nivel histórico.

Figura 5.12: Reporte fotográfico de la estación de Tuxpan, Veracruz.



Imagen 7: Anteproyecto de Tuxpan, Ver.

Figura 5.13: Anteproyecto de la estación de Tuxpan, Veracruz.

ELEVACIONES FINALES DE LA RED MAREOGRÁFICA DE TUXPAN, VERACRUZ					
SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL					
INSTITUTO DE GEOFÍSICA - UNAM					
ID Banco de Nivel	Altura [m] IDA	Altura [m] VUELTA	Diferencia de Alturas	Alturas Corregidas	Alturas referidas al cero de la regla de mareas [m]
30TUX00	4.0210	4.0202	-0.0008	4.0206	4.0210
30TUX01	3.9703	3.9700	-0.0003	3.9702	3.9706
BNV01	3.9760	3.9757	-0.0003	3.9759	3.9763
BNV02	3.7750	3.7745	-0.0005	3.7748	3.7752
30TUX02	4.6116	4.6109	-0.0007	4.6113	4.6117
30TUX03	4.8167	4.8159	-0.0008	4.8163	4.8167
BNV03	4.3935	4.3927	-0.0008	4.3931	4.3935
5	3.4740	3.4735	-0.0005	3.4738	3.4742
7	3.5724	3.5724	0.0000	3.5724	3.5728
Distancia recorrida [km]		2.68885			
Error de cierre del circuito permitido según fórmula [m]		0.00492			
Error obtenido en el circuito [m]		0.00077			

Figura 5.14: Elevaciones o cotas corregidas de Tuxpan Veracruz.



Imagen 6: Proyecto definitivo de Tuxpan, Ver.

Figura 5.15: Proyecto definitivo de Tuxpan, Ver.

Anexo V: Reporte generado con Leica Geo Office

Reporte genera en Leica Geo Office

Resumen generado en Leica Geo Office de la estación de Tuxpan, Veracruz (Fig. 5.16, Fig. 5.17 y Fig. 5.18).

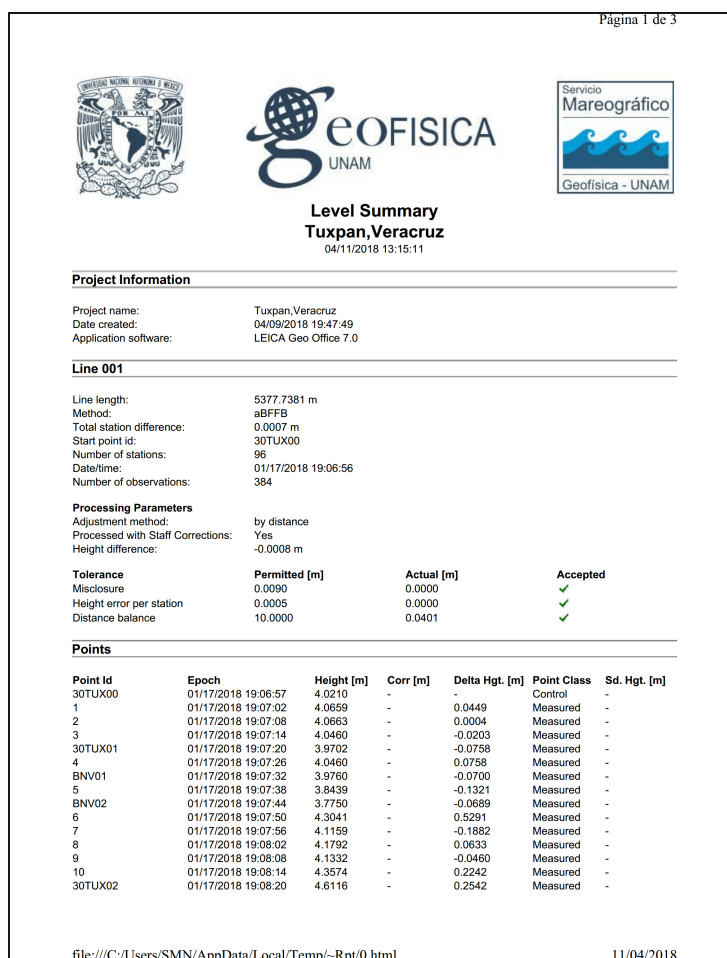


Figura 5.16: Resumen del proceso de nivelación de la estación de Tuxpan, Ver.

11	01/17/2018 19:08:26	6.5676	-	1.9561	Measured	-
12	01/17/2018 19:08:32	5.5847	-	-0.9829	Measured	-
13	01/17/2018 19:08:38	4.7160	-	-0.8687	Measured	-
30TUX03	01/17/2018 19:08:44	4.8166	-	0.1006	Measured	-
14	01/17/2018 19:08:50	4.4672	-	-0.3494	Measured	-
15	01/17/2018 19:08:56	4.4631	-	-0.0041	Measured	-
16	01/17/2018 19:09:02	5.1848	-	0.7217	Measured	-
17	01/17/2018 19:09:08	6.4360	-	1.2512	Measured	-
18	01/17/2018 19:09:14	6.8728	-	0.4368	Measured	-
19	01/17/2018 19:09:20	5.8398	-	-1.0331	Measured	-
20	01/17/2018 19:09:26	5.3535	-	-0.4863	Measured	-
21	01/17/2018 19:09:32	5.0748	-	-0.2787	Measured	-
22	01/17/2018 19:09:38	4.9253	-	-0.1495	Measured	-
23	01/17/2018 19:09:44	4.7425	-	-0.1827	Measured	-
24	01/17/2018 19:09:50	4.6229	-	-0.1197	Measured	-
25	01/17/2018 19:09:56	4.5384	-	-0.0845	Measured	-
26	01/17/2018 19:10:02	4.4241	-	-0.1143	Measured	-
27	01/17/2018 19:10:08	4.3367	-	-0.0875	Measured	-
28	01/17/2018 19:10:14	4.2700	-	-0.0667	Measured	-
29	01/17/2018 19:10:20	4.2180	-	-0.0521	Measured	-
30	01/17/2018 19:10:26	4.2127	-	-0.0052	Measured	-
31	01/17/2018 19:10:32	4.1086	-	-0.1041	Measured	-
32	01/17/2018 19:10:38	4.0608	-	-0.0479	Measured	-
33	01/17/2018 19:10:44	4.2217	-	0.1610	Measured	-
34	01/17/2018 19:10:50	4.2650	-	0.0432	Measured	-
BNV03	01/17/2018 19:10:56	4.3934	-	0.1285	Measured	-
35	01/17/2018 19:11:02	3.5688	-	-0.8247	Measured	-
36	01/17/2018 19:11:08	3.5047	-	-0.0641	Measured	-
37	01/17/2018 19:11:14	3.4538	-	-0.0509	Measured	-
BNGI5	01/17/2018 19:11:20	3.4740	-	0.0202	Measured	-
BNGI6	01/17/2018 19:11:26	3.7783	-	0.3042	Measured	-
BNGI7	01/17/2018 19:11:32	3.5724	-	-0.2059	Measured	-
BNGI8	01/17/2018 19:11:41	3.7745	-	0.2022	Measured	-
BNGI5	01/17/2018 19:11:47	3.4736	-	-0.3010	Measured	-
BNGI9	01/17/2018 19:11:53	3.4235	-	-0.0501	Measured	-
BNGI10	01/17/2018 19:11:59	3.5119	-	0.0884	Measured	-
BNGI11	01/17/2018 19:12:05	3.5193	-	0.0075	Measured	-
BNV03	01/17/2018 19:12:11	4.3927	-	0.8733	Measured	-
BNGI12	01/17/2018 19:12:17	4.2059	-	-0.1867	Measured	-
BNGI13	01/17/2018 19:12:23	4.0942	-	-0.1118	Measured	-
BNGI14	01/17/2018 19:12:29	4.0898	-	-0.0044	Measured	-
BNGI15	01/17/2018 19:12:35	4.0895	-	-0.0004	Measured	-
BNGI16	01/17/2018 19:12:41	4.2121	-	0.1227	Measured	-
BNGI17	01/17/2018 19:12:47	4.2599	-	0.0477	Measured	-
BNGI18	01/17/2018 19:12:53	4.3040	-	0.0441	Measured	-
BNGI19	01/17/2018 19:12:59	4.4140	-	0.1101	Measured	-
BNGI20	01/17/2018 19:13:05	4.5406	-	0.1266	Measured	-
BNGI21	01/17/2018 19:13:11	4.4272	-	-0.1134	Measured	-
BNGI22	01/17/2018 19:13:17	4.7392	-	0.3119	Measured	-
BNGI23	01/17/2018 19:13:23	4.8802	-	0.1411	Measured	-
BNGI24	01/17/2018 19:13:29	5.0661	-	0.1859	Measured	-
BNGI25	01/17/2018 19:13:35	5.2707	-	0.2046	Measured	-
BNGI26	01/17/2018 19:13:41	5.4574	-	0.1867	Measured	-
BNGI27	01/17/2018 19:13:47	6.5312	-	1.0738	Measured	-
BNGI28	01/17/2018 19:13:53	7.0511	-	0.5199	Measured	-
BNGI29	01/17/2018 19:13:59	6.1661	-	-0.8850	Measured	-
BNGI30	01/17/2018 19:14:05	5.2710	-	-0.8951	Measured	-
BNGI31	01/17/2018 19:14:11	4.5926	-	-0.6784	Measured	-
BNGI32	01/17/2018 19:14:17	4.5363	-	-0.0563	Measured	-
BNGI33	01/17/2018 19:14:23	4.4604	-	-0.0759	Measured	-

file:///C:/Users/SMN/AppData/Local/Temp/~Rpt/0.html

11/04/2018

Figura 5.17: Resumen del proceso de nivelación de la estación de Tuxpan, Ver.

30TUX03	01/17/2018 19:14:29	4.4970	-	0.0366	Measured	-
	01/17/2018 19:14:35	4.8158	-	0.3188	Measured	-
BNGI35	01/17/2018 19:14:41	4.9421	-	0.1262	Measured	-
BNGI36	01/17/2018 19:14:47	6.7273	-	1.7852	Measured	-
BNGI37	01/17/2018 19:14:53	5.4961	-	-1.2312	Measured	-
30TUX02	01/17/2018 19:14:59	4.6108	-	-0.8853	Measured	-
BNGI38	01/17/2018 19:15:05	4.2414	-	-0.3695	Measured	-
BNGI39	01/17/2018 19:15:11	4.1402	-	-0.1012	Measured	-
BNGI40	01/17/2018 19:15:17	4.2068	-	0.0666	Measured	-
BNGI41	01/17/2018 19:15:23	4.0987	-	-0.1081	Measured	-
BNGI42	01/17/2018 19:15:29	4.2633	-	0.1646	Measured	-
BNGI43	01/17/2018 19:15:35	3.9393	-	-0.3240	Measured	-
BNGI44	01/17/2018 19:15:41	3.8438	-	-0.0956	Measured	-
BNV02	01/17/2018 19:15:47	3.7745	-	-0.0693	Measured	-
BNGI45	01/17/2018 19:15:53	4.0525	-	0.2780	Measured	-
BNV01	01/17/2018 19:15:59	3.9757	-	-0.0768	Measured	-
BNGI46	01/17/2018 19:16:05	4.0525	-	0.0769	Measured	-
30TUX01	01/17/2018 19:16:11	3.9700	-	-0.0826	Measured	-
BNGI47	01/17/2018 19:16:17	3.9945	-	0.0245	Measured	-
BNGI48	01/17/2018 19:16:23	4.0594	-	0.0649	Measured	-
BNGI49	01/17/2018 19:16:29	4.0629	-	0.0035	Measured	-
30TUX00	01/17/2018 19:16:35	4.0202	-	-0.0428	Measured	-

Figura 5.18: Resumen del proceso de nivelación de la estación de Tuxpan, Ver.

Anexo VI: Elevaciones procesadas

Elevaciones procesadas y referidas al cero de la regla

La elevación proporcionada por el SMN se inserta en el software Leica Geo Office, de esta manera los reportes se generan con la elevación corregida y referenciada al cero de la regla y a los datos del nivel medio del mar, posteriormente se extraen las cotas de los BN del reporte de Leica, con estas cotas se elaboran tablas, en las cuales resulta sencillo consultar las elevaciones.

En la siguiente tabla 5.1 se pueden observar las elevaciones corregidas sin estar referenciadas al cero de la regla, como ejemplo para el presente escrito se usaron datos de la estación de Acapulco API, Guerrero.

Tabla 5.1: Elevaciones corregidas, sin estar ligadas al cero de la regla.

ELEVACIONES FINALES DE LA RED MAREOGRÁFICA DE ACAPULCO, GRO.					
SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL					
INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNAM					
ID Banco de Nivel	Altura [m] IDA	Altura[m] VUELTA	Diferencia de Alturas	Alturas Corregidas	OBSERVACIONES
12ACA01	0	0.0011	0.001100	0.000880	El proceso se realizó con la Elevación 0 m, proporcionada por el personal del SMN a partir de la lectura del cero de la regla de API.
12ACA02	-0.0305	-0.0297	0.000800	-0.029860	
12ACA03	1.9604	1.9614	0.001000	1.961200	
V120161F	-1.2971	-1.2971	0.000000	-1.297100	
BN02HIS	-1.3891	-1.3892	-0.000100	-1.389180	
REGLA	-1.2963	-1.2964	-0.000100	-1.296380	
V120161A	-1.4386	-1.4386	0.000000	-1.438600	
Distancia recorrida en kilómetros					3.708117
Error de cierre de circuito permitido					0.005776942
Error con el que se llegó					0.0011

Una vez referenciadas las cotas se genera una tabla 5.2, con las elevaciones finales, de la estación de Acapulco API, Guerrero.

Tabla 5.2: Elevaciones corregidas y ligadas al cero de la regla.

ELEVACIONES FINALES DE LA RED MAREOGRÁFICA DE ACAPULCO, GRO.					
SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL					
INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNAM					
ID Banco de Nivel	Altura [m] IDA	Altura[m] VUELTA	Diferencia de Alturas	Alturas Corregidas	OBSERVACIONES
12ACA01	7.1352	7.1363	0.001100	7.136080	El proceso se realizó con la Elevación 7.1352 m, proporcionada por el personal del SMN a partir de la lectura del cero de la regla de API.
12ACA02	7.1047	7.1055	0.000800	7.105340	
12ACA03	9.0956	9.0966	0.001000	9.096400	
V120161F	5.8381	5.8381	0.000000	5.838100	
BN02HIS	5.7461	5.7460	-0.000100	5.746020	
REGLA	5.8389	5.8388	-0.000100	5.838820	
V120161A	5.6966	5.6966	0.000000	5.696600	
Distancia recorrida en Kilómetros					3.708117
Error de cierre de circuito permitido					0.005776942
Error con el que se llegó					0.0011

Referencias

- Ayala Castaños, Agustín** (1987). La investigación científica de la UNAM 1929-1979. 5
- de Valle, Marta Meía** (1971). Val. V Anales del Instituto de Geofísica 1959 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. En *Anales del Instituto de Geofísica*, volumen 16, p. 121. Universidad Nacional Autónoma de México. 2
- DOF, SEGOB SEMAR** (2013). Convenio general de coordinación para el sistema nacional de alerta de tsunamis, segob dof. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284920&fecha=17/01/2013. 46
- DOF, de La Federación, Diario Oficial** (2012). Diario oficial de la federación. *México, Distrito Federal*, 1. 12, 21
- Geosystems, Leica** (2006). Manual do usuário: Leica dna03/dna10. https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/LEICA/NIVELES/DNA/DNA_User_Manual_es.pdf. 38, 41, 42, 69
- Grivel Piña, Ing. Francisco** (1978). La mareografía en México. ing. francisco grivel piña. En *La Mareografía en México.*, p. 30. Universidad Nacional Autónoma, Dirección General de Oceanografía. 2
- Hilster, N** (2019). 1961 wild heerbrugg n3 old style - the homepage of nicolàs de hilster, dehilster. http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1961_wild_heerbrugg_n3_level.php. 6, 7, 8
- INEGI** (2017). *Guía Metodológica de la Red Geodésica Vertical*. Inegi.org.mx. (2019). INEGI. [online] Available at: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825078782>[Accessed 3 May 2019]. 18, 19, 21, 30
- Ing Sergio and Navarro Hudiel** (2010). Topografía II-Altimetría. 17
- Márquez, Fernando García** (2003). *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría*. Editorial Pax México. 11, 14, 15

- Mercedes Farjas, Abadía (2019). *Tema 4, Nivelación Geométrica*. <https://moodle.upm.es/en-abierto/course/view.php?id=72section=8>. 14
- Montes de Oca, Miguel y otros (1970). Topografía. *SEP, México*. 11
- Prospero Díaz, Mariela (2013). Análisis armónico de datos mareográficos, TESIS DE LICENCIATURA. *Universidad Nacional Autónoma de México*. Recuperado de: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/127656>. 3
- Servicio Mareográfico Nacional (2024). Servicio Mareográfico Nacional. www.mareografico.unam.mx. 1, 4
- Sosa Torres, Rafael (1996). Bases teóricas y cálculo de ajustes en ingeniería topográfica. *MÉXICO, D.F.* 20
- Toscano, Ricardo (1951). Métodos topográficos. 11
- UNAM, IGEOF (2019). Instituto de Geofísica, unam. <http://www.geofisica.unam.mx/>. 2