

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE GEODESIA, TOPOGRAFIA Y GEOMATICA**



**PROYECTO DE GRADO**  
**NIVEL LICENCIATURA**

**VERIFICACIÓN DE LA LÍNEA "BH" DE NIVELACIÓN GEODÉSICO ESTRECHO  
DE TIQUINA, APLICANDO EL MÉTODO DE ENLACE CRUCE DE RÍOS  
(DPTO. LA PAZ - PROVINCIA MANCO-KAPAC POBLACIONES  
SAN PEDRO Y SAN PABLO DE TIQUINA)**

**POSTULANTE: SEVERINO APOLINAR LIMACHI POMA**  
**TUTOR: M. Sc. HUBER AUGUSTO MAMANI GUTIERREZ**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2021**



***Dedicatoria:***

*A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante por colocarme en el mejor camino, iluminando y guiando cada paso de mi vida, por darme la salud y la esperanza para terminar este proyecto.*

*A mi padre y madre que no alcanzaron a ver los resultados ya que partieron tempranamente de esta vida y aunque ya no estén entre nosotros siguen vivos en mis pensamientos, fueron sus estímulos mi impulso para llegar al final.*

*A mi familia los que nunca dudaron que lograría este triunfo quienes siempre me motivaron a seguir adelante y a quienes prometí que terminaría mis estudios.*

*Finalmente quiero dedicar este proyecto a todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.*

*Promesa cumplida*



***Agradecimientos:***

*Mi profundo agradecimiento a la Universidad Mayor de San Andrés, a la Carrera de Geodesia Topografía y Geomática, a la Escuela Militar de Topografía, Instituto Geográfico Militar y a todo el plantel Docente quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.*

*A mi tutor M. Sc. Huber Augusto Mamani Gutiérrez, por su valiosa colaboración y apoyo incondicional en la elaboración del presente trabajo y al tribunal revisor: Lic. Vladimir Jarandilla, Lic. Richard Ramos y Lic. Julio Pacosaca.*

*Finalmente, mi sincero agradecimiento a todos quienes me colaboraron durante todo este proceso en especial al Sof. My. Carlos Albornos Sandy quienes, con su dirección, conocimiento y enseñanza permitieron el desarrollo de este proyecto de grado.*



## INDICE GENERAL

Página

<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>12</b>
<b>ASPECTOS PRELIMINARES .....</b>	<b>12</b>
1.1. Introducción .....	12
1.2. Antecedentes .....	12
1.3. Planteamiento del Problema.....	14
<b>1.3.1. Formulación del Problema.....</b>	<b>15</b>
1.4. Justificación .....	15
<b>1.4.1. Justificación Social .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2. Justificación Política.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.3. Justificación Académica.....</b>	<b>16</b>
1.5. Objetivos .....	16
<b>1.5.1. Objetivo General.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.6. Ubicación del Área de Trabajo.....	17
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1. Geodesia.....	19
2.2. La Figura de la Tierra.....	22
2.3. El Elipsoide de Revolución .....	24
2.4. El Geoide .....	25
2.5. La Gravedad.....	27
2.6. Métodos para Obtención del Geoide .....	28
2.7. Red de Nivelación Nacional.....	29
2.8. Nivelación .....	30
<b>2.8.1. Objetos de la Nivelación .....</b>	<b>30</b>
<b>2.8.2. Especificaciones de la Nivelación Geodésica .....</b>	<b>33</b>
2.8.2.1. Nivelación de Primer Orden .....	33
2.8.2.2. Nivelación de Segundo Orden.....	34
2.8.2.3. Nivelación de Tercer Orden .....	35



2.9. Métodos y Técnicas de Nivelación .....	35
<b>2.9.1. Nivelación Geométrica</b> .....	35
<b>2.9.2. Nivelación Trigonométrica</b> .....	36
<b>2.9.3. Nivelación Satelital</b> .....	37
<b>2.9.4. Nivelación Barométrica</b> .....	38
2.10. Tipos de Nivelación .....	38
<b>2.10.1. Nivelación Directa (Geométrica o Diferencial)</b> .....	38
2.10.1.1. Nivelación Geométrica Simple.....	39
2.10.1.2. Nivelación Geométrica Compuesta .....	39
2.11. Nivelación Geométrica (Método de Enlace Cruce de Ríos).....	40
<b>2.11.1. Generalidades</b> .....	40
<b>2.11.2. Procedimiento de Trabajo</b> .....	41
2.12. Precisión y Exactitud.....	43
<b>2.12.1. Valores</b> .....	43
<b>2.12.2. Errores</b> .....	43
2.12.2.1. Causas de los Errores.....	44
2.12.2.2. Tipos de Errores .....	45
2.12.2.3. Correcciones.....	46
2.13. Sistemas de Altitudes .....	48
<b>2.13.1. Altitud Aproximada</b> .....	49
<b>2.13.2. Altitud Ortométrica</b> .....	49
<b>2.13.3. Altitud Normal</b> .....	49
<b>2.13.4. Altitud Dinámica</b> .....	50
2.14. Clasificación de la Nivelación.....	51
<b>2.14.1. Nivelación de Alta Precisión (NAP)</b> .....	51
<b>2.14.2. Nivelación de Precisión (NP)</b> .....	51
2.15. Instrumentos y Accesorios Para La Nivelación.....	51
<b>2.15.1. Nivel de gran Precisión Wild N-III</b> .....	52
<b>2.15.2. Mira Invar</b> .....	54
2.15.2.1 Comprobación de Verticalidad de Miras.....	56
<b>2.15.3. Trípode Fijo</b> .....	57
2.15.3.1. Comprobación del Trípode Fijo .....	58
<b>2.15.4. Puntos de Apoyo de la Mira.</b> .....	58
2.16. Comprobación del Nivel .....	59
<b>2.16.1.La Constante Taquimétrica y su Determinación para WILD N III "K"</b> .....	60
2.17. Reconocimiento y Monumentación .....	68



<b>2.17.1. Selección De Sitios Para Marcas De Cota Fija</b> .....	68
<b>2.17.2. Construcción de marcas de Cota Fija</b> .....	69
2.18. Trabajos de Campo .....	71
<b>2.18.1. Equipo utilizado en Nivelación de Primer Orden</b> .....	71
<b>2.18.2. Organización de una Brigada de Nivelación de Primer Orden</b> .....	72
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>75</b>
<b>MARCO METODOLOGICO</b> .....	<b>75</b>
3.1. Metodología de Trabajo .....	75
<b>3.2. Instrumento</b> .....	77
<b>3.3. Materiales y Herramientas</b> .....	78
3.4. Personal de Trabajo .....	79
3.5. Presupuesto .....	80
3.6. Cronograma de Actividades .....	81
<b>PRIMERA</b> .....	81
<b>FASE</b> .....	81
<b>SEGUNDA</b> .....	81
<b>FASE</b> .....	81
<b>TERCERA</b> .....	81
<b>FASE</b> .....	81
<b>CUARTA</b> .....	82
<b>FASE</b> .....	82
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>83</b>
<b>MARCO PRACTICO</b> .....	<b>83</b>
4.1. Planificación del Trabajo .....	83
4.2. Recopilación Histórica de los Puntos de Control Vertical de Banco de Niveles (BMS). .....	83
4.3. Trabajo De Campo .....	84
<b>4.3.1. Reconocimiento De Trabajo De Campo</b> .....	84
<b>Anexo N° 2.</b> .....	85
<b>4.4. Organización del Grupo De Observación</b> .....	85
<b>4.5. Instrumental y Material Indispensable Para la Operación</b> .....	86
<b>4.6. Descripción Detallada Del Proceso Operativo</b> .....	86
<b>4.6.1. Tablillas o Tarjetas</b> .....	87
<b>4.6.2. Procedimiento de Observación</b> .....	88
<b>4.6.3. Libretas de Campo - Procedimientos de Anotación</b> .....	94



<b>4.6.4. Extractos y Cálculos Preliminares .....</b>	<b>95</b>
<b>4.6.5. Precisión y Tolerancia .....</b>	<b>96</b>
<b>4.6.6. Cálculos Finales .....</b>	<b>97</b>
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
5.1. Conclusiones .....	98
5.2. Recomendaciones.....	98
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>99</b>
6.1. Bibliografía Consultada .....	99



## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1: Localización geográfica del proyecto. ....	18
Figura 2: La Geodesia aplicada. ....	19
Figura 3: Estudio de la Geodesia Geométrica. ....	20
Figura 4: Geodesia Física. ....	20
Figura 5: Latitud y longitud astronómica. ....	21
Figura 6: Técnicas de Geodesia Espacial observando la Tierra. ....	21
Figura 7: Relaciones geométricas entre las formas de la Tierra. ....	23
Figura 8: La forma de la Tierra. ....	23
Figura 9: El elipsoide de revolución y sus parámetros. ....	25
Figura 10: Elipsoide, Geoide y Terreno – Superficie y altura ortométrica. ....	26
Figura 11: La gravedad de la Tierra. ....	27
Figura 12: La gravedad de la Tierra. ....	28
Figura 13: Red de nivelación de Bolivia. ....	29
Figura 14: Procedimiento de nivelación. ....	33
Figura 15: Nivelación geométrica. ....	36
Figura 16: Nivelación trigonométrica. ....	36
Figura 17: Nivelación satelital. ....	37
Figura 18: Nivelación barométrica. ....	38
Figura 19: Nivelación Directa. ....	39
Figura 20: Método de enlace cruce de ríos. ....	43
Figura 21: Representación de los efectos de curvatura y refracción. ....	47
Figura 22: Nivel de gran precisión Wild N-III. ....	54
Figura 23: Utilización de miras Invar. ....	55
Figura 24: Trípode fijo. ....	57
Figura 25: Comprobación del trípode fijo. ....	58
Figura 26: Puntos de apoyo de la mira. ....	59
Figura 27: Construcción de marcas de Cota Fija. ....	70
Figura 28: Etapas de desarrollo del trabajo. ....	75
Figura 29: Metodología de trabajo de la segunda etapa. ....	76
Figura 30: Metodología de trabajo de la tercera etapa. ....	76
Figura 31: Nivel Wild N III. ....	77
Figura 32: Tablillas o Tarjetas. ....	87
Figura 33: Operador Observando Mira Lejana. ....	88



Figura 34: Operador Observando Mira Lejana .....	89
Figura 35: Botón Micrométrico .....	90
Figura 36: Colocación de tablillas en miras. ....	91
Figura 37: Lecturas a las miras. ....	92
Figura 38: Primera lectura a la mira lejana. ....	92
Figura 39: Segunda lectura a la mira lejana. ....	93
Figura 40: Tercera lectura a la mira lejana. ....	93
Figura 41: Observación en estación de origen. ....	94
Figura 42: Observación en estación de origen. ....	96



## INDICE DE TABLAS

	<b>Pagina</b>
Tabla 1: Ubicación del Proyecto. ....	18
Tabla 2: Determinación de la constante taquimétrica. ....	62
Tabla 3: Determinación de la constante “C”. ....	66
Tabla 4: Determinación de la constante “C” corregida. ....	67
Tabla 5: Materiales utilizados en el proyecto. ....	78
Tabla 6: Herramientas utilizadas en el proyecto. ....	79
Tabla 7: Personal de trabajo que ejecuto el proyecto. ....	80
Tabla 8: Presupuesto del proyecto. ....	80
Tabla 9: Presupuesto del proyecto. ....	82



## INDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1	Monografias De Bm Recuperados
Anexo N° 2	Monografias De Bm Nuevos
Anexo N° 3	Constante Taquetrica "K"
Anexo N° 4	Determinacion El Error "C"
Anexo N° 5	Verticalidad De Las Miras
Anexo N° 6	Libretas
Anexo N° 7	Hoja De Calculos.



## RESUMEN

Desde que el ser humano logra entender el concepto de altura, fue ahí donde se comienzan a generar los primeros análisis físicos de las formas de la Tierra, así también, cómo representarlos, lo que a lo largo de los años fue mejorando y con los avances tecnológicos se convirtieron en lo que hoy en día se conoce como control vertical.

En este proyecto de grado se muestra la importancia de uno de los aspectos más olvidados en los trabajos de nivelación de precisión, la calidad altimétrica. Esta ha cobrado gran relevancia en los últimos años ante el desarrollo de la ciencia y tecnología, las necesidades y requerimientos de los proyectos de ingeniería, asociado a las necesidades de la sociedad.

El estudio de la calidad altimétrica se realiza en el estrecho de Tiquina, aplicando el método de enlace cruce de ríos, para la verificación de la línea “BH” de nivelación geodésico, verificando las precisiones requeridas, en el entendido que los trabajos de nivelación pueden ser realizados mediante nivelación geométrica, por las precisiones a las que se pueden alcanzar.

Para el proyecto se utilizó el Marco de Referencia Geodésico Vertical, el cual toma como base la Red de Nivelación de Primer Orden que se extiende a lo largo de más de 16.400 kilómetros y tiene como Datum de Control Vertical al mareógrafo de Arica con una precisión de  $4\text{mm} \sqrt{k}$ , donde “k” está expresada en kilómetros.

El estudio también analiza las metodologías que pueden ser aplicadas en la nivelación, las cuales se pueden adoptar de acuerdo a las condiciones y requerimientos de todo tipo de trabajo de ingeniería que requiera nivelación.

Finalmente se muestra que los ajustes y compensaciones aplicados en nivelación: geométrica es una alternativa de obtención de puntos de control vertical de alta calidad de precisión.



# CAPITULO I

## ASPECTOS PRELIMINARES

### 1.1. Introducción

La importancia de la geodesia en la toma de medidas y comprobar su precisión es algo que para muchos puede resultar evidente. Para ello es muy necesario tener presente aspectos como instrumentos, métodos, medición de incertidumbres, repetitividad, comprobación de resultados, etc.

Enmarcados en el contexto descrito anteriormente, el presente proyecto de grado contempla en la aplicación de conocimientos y experiencias de la verificación en la línea de nivelación "BH" del estrecho de Tiquina, aplicando al método de enlace cruce de ríos.

Para ello se recopiló toda la información de marcas antiguas conocidas como "BM" (Bench Mark – Banco de nivel o banco maestro), (Navarro, 2008), las mismas que cuentan con alturas sobre el nivel medio del mar, conceptualmente conocida hoy en día como altitud. Se realizó la planificación del trabajo de campo, definiendo los equipos a emplear, para posteriormente realizar la comprobación en gabinete.

La metodología establecida permitió realizar la observación con nivelación geométrica, correspondiente al primer orden geodésico, y de esta manera verificar la variación altimétrica de la línea de nivelación mencionada. La cual presenta la peculiaridad de que una mediante el estrecho de Tiquina, dos poblaciones separadas por aguas del lago Titicaca, San Pedro y San Pablo de Tiquina.

### 1.2. Antecedentes

El Estado Plurinacional de Bolivia, dentro de lo que es el control vertical, actualmente define el Marco de Referencia Geodésico Vertical, que es representada mediante la Red de Nivelación de Primer Orden, extendiéndose en todo el territorio nacional a lo largo de más de 16.400 kilómetros, uniendo todas las ciudades principales y secundarias de Bolivia, ejecutado y materializado por el Instituto Geográfico Militar (IGM). La precisión de esta Red de Nivelación es de  $4\text{mm} \sqrt{k}$ , donde



“k” se encuentra expresada en kilómetros, el proceso de medición fue realizado por corridas de ida y regreso y con valores de cierre no mayores a los establecidos por la precisión, teniendo como Datum de Control Vertical (Origen), al mareógrafo de Arica. (Comité Interinstitucional de la IDE-EPB, 2015).

El tramo de estudio correspondiente a la Línea “BH” Huarina – Kasani se ejecutó mediante un trabajo de nivelación por el año 1964 y para tal efecto se realizó una serie de monumentaciones mediante los conocidos bancos de nivel (BM). Los mismos se encuentran distribuidos en todo el trayecto de la vía y siendo está por entonces una carretera de tierra y hoy en la actualidad se encuentra asfaltada, aspecto que genero la remoción de muchas de estas marcas, así también permitió el crecimiento de comunidades adyacentes, con un desarrollo realmente sorprendente.

En la actualidad la carretera Hurina - Kasani se encuentra pavimentada con tratamiento superficial, cuya actividad de construcción fue apoyada con los mismos puntos de control vertical existentes.

Los datum verticales utilizados actualmente en América Latina se refieren a diferentes mareógrafos y, por tanto, a diferentes niveles del mar y a diferentes épocas. Estos no tienen en cuenta las variaciones de las alturas y del nivel de referencia con el tiempo, y en general, la extensión del control vertical mediante redes de nivelación no incluye las reducciones por los efectos de gravedad. En consecuencia, las alturas a ellos asociadas presentan discrepancias considerables entre países vecinos, no permiten el intercambio de información vertical ni a escala continental ni a escala global y no están en capacidad de soportar la determinación práctica de alturas a partir de las técnicas GNSS.

En contraste a esta situación el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), establece como solución el nuevo Sistema Vertical de Referencia el cual contempla:

- i. Referirse a un nivel unificado de referencia global ( $W_0$ ),
- ii. Ser realizado (materializado), por alturas físicas propiamente dichas (es decir, derivadas de nivelación geodésica en combinación con reducciones de los efectos del campo de gravedad),
- iii. Estar conectado al sistema de referencia geométrico SIRGAS, y
- iv. Estar asociado a una época específica de referencia, es decir, debe considerar el cambio de las coordenadas verticales y de su nivel de referencia a través del tiempo.



La recomendación oficial de SIRGAS acerca de las alturas físicas es la introducción de alturas normales; sin embargo, dado que algunos países quieren adoptar alturas ortométricas, el nuevo sistema vertical de referencia para SIRGAS se define en términos de cantidades de potencial ( $W_0$  como nivel de referencia y números o cotas geopotenciales como coordenadas fundamentales). De acuerdo con esto, en la realización del sistema cada país podrá introducir el tipo de alturas físicas que prefiera, junto con la superficie de referencia correspondiente: geoide para las alturas ortométricas o cuasi geoide para las alturas normales.

La realización del nuevo sistema de referencia para SIRGAS corresponde al marco SIRGAS 2000, éste incluye las estaciones SIRGAS 95, los mareógrafos de referencia de los sistemas de alturas existentes y algunas estaciones fronterizas que permiten la conexión de las redes verticales de primer orden entre países vecinos.

Las estaciones del marco de referencia vertical se refieren al sistema SIRGAS y deben ser conectadas mediante nivelación de precisión con los mareógrafos de referencia y sus números geopotenciales deben estar disponibles. Teniendo presente que las densificaciones nacionales de SIRGAS incluyen un número creciente de estaciones de funcionamiento continuo (red SIRGAS-CON), algunas de ellas también se integrarán al marco de referencia vertical (Comité Interinstitucional de la IDE-EPB, 2015).

### **1.3. Planteamiento del Problema**

Considerando que la red de nivelación establecida en el área de estudio data de la década de los 60, y el crecimiento poblacional generó una serie de demandas sociales tales como las construcciones de vías de comunicación, acompañado de fenómenos propios de la Tierra, entre los cuales resulta muy importante resaltar el movimiento dinámico de las placas tectónicas, que generan cambios en coordenadas horizontales y verticales de los puntos establecidos.

Por otro lado, tal como establece SIRGAS las diferencias entre Datum Verticales utilizados en los diferentes países, que generan inconsistencias en valores sobre el nivel del mar, se ve la necesidad de

establecer la precisión con la que cuenta la línea “BH” de nivelación geodésica del estrecho de Tiquina.



### **1.3.1. Formulación del Problema**

¿La aplicación del método de nivelación geométrica (cruce de ríos), permitirá determinar los valores de desnivel y distancia del estrecho de Tiquina, que permitan establecer las precisiones con la que fue establecida la línea “BH” de nivelación geodésica?

### **1.4. Justificación**

Los adelantos tecnológicos nos impulsan a realizar un tratamiento para resolver los métodos y planificación en tiempo más reducido, siendo la nivelación parte importante en proyectos en diferentes áreas de ingeniería, es menester aplicar los métodos de ajuste y compensación para reducir los diferentes errores para que el resultado de una nivelación sea confiable y dentro las precisiones que amerita el trabajo. Existen diferentes métodos de nivelación, el aplicar el método viene dado por las precisiones a que se quiere llegar y el lugar, estos factores influyen en la elección.

El presente proyecto se justifica por la existencia de la necesidad de contar con una base técnica y descriptiva de la línea de nivelación en estudio, que permita garantizar y dar paso a la ejecución de proyectos de ingeniería que requieren del componente vertical y que están considerados para los sectores de San Pedro y San Pablo de Tiquina.

#### **1.4.1. Justificación Social**

La ejecución del presente proyecto genera grandes beneficios a nivel social, posiblemente este beneficio tiene un impacto más notable a nivel local que en el ámbito nacional. A primera instancia el estudio geodésico es la base y la llave de apertura para la ejecución de diferentes proyectos, siendo que, de manera directa o indirecta es una fuente que genera empleos y es la base que ayuda a la planificación urbana entre muchos otros beneficios, es a partir de ello, que el desarrollo de proyecto se justifica a nivel social.

La recuperación de los puntos de control vertical BM's de la línea de nivelación “BH” Huarina – Kasani ejecutadas en el año 1964, particularmente beneficiará a las comunidades adyacentes a lo largo de la línea con el propósito de apoyar a los diferentes proyectos de la Ingeniería para el desarrollo de la región,



tal el caso del proyecto que se pretende ejecutar referido al puente que unirá las poblaciones de San Pedro y San Pablo de Tiquina.

### **1.4.2. Justificación Política**

Dentro de las políticas de gestión pública, ya sea a nivel de gobierno central, departamental o municipal, la ejecución de proyectos con relación a obras públicas es muy importante, es a partir de ello, que el estudio geodésico se justifica políticamente como un instrumento para la gestión municipal del lugar, debido a la información técnica que es empleada para un registro geográfico que contribuye a la ejecución de obras civiles, urbanismo, catastro, saneamiento, gestión territorial entre otros.

### **1.4.3. Justificación Académica**

Dentro de un contexto pre profesional, “Se cree que las prácticas sirven como un puente que facilita la transición entre la universidad y el empleo” (Callanan y Benzing, 2004), a partir de dicho concepto, el desarrollo del presente proyecto se justifica a nivel académico por la aplicación práctica de los conocimientos y habilidades adquiridos dentro de la universidad. Ahora bien, desde un contexto profesional, las actividades realizadas durante el desarrollo de diferentes proyectos a través de una participación directa o indirecta, es justificada y respaldada por diferentes aspectos metodológicos expuestos por la academia, dicho de otra manera, la participación de profesionales formados en la universidad, presentan diferentes conocimientos científicos en beneficio de la sociedad a nivel general.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Realizar la verificación en cuanto a precisión de la línea "BH" Huarina - Kasani de nivelación geodésica del estrecho de Tiquina, aplicando el método de nivelación geométrica denominado enlace cruce de ríos.



### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar la recopilación de toda la información de nivelación geodésica del área de estudio.
- Realizar la planificación sobre el método a emplear y las precisiones que se puedan obtener.
- Aplicar el método de nivelación geométrica denominado enlace “cruce de ríos”, en la línea de nivelación del estrecho de Tiquina.
- Realizar las comparaciones de distancia y desnivel para determinar el orden de precisión y los márgenes de tolerancia.

### 1.6. Ubicación del Área de Trabajo

A nivel de macro localización, el proyecto se encuentra dentro del Estado Plurinacional de Bolivia, específicamente en el estrecho de Tiquina que se encuentra ubicado en el lago Titicaca (en el sector del lado boliviano, pues también es parte del Perú), forma parte del Departamento La Paz, Provincia Manco Kapac.

El estrecho es una separación (o unión), de las dos masas de agua que conforman el lago Titicaca, entre las poblaciones de San Pedro y San Pablo de Tiquina. La masa de agua más grande se encuentra en el sector norte llamado Chucuito y la más pequeña en el sur llamada Huiñaymarca, teniendo una anchura promedio de unos 725 metros, que es cruzado fácilmente por las personas por una serie de barcos a motor (balsas), y para las moviidades se utilizan los denominados pontones.

Desde hace varias décadas, se ha propuesto la construcción de un puente que cruce el estrecho, conectando vialmente la península de Copacabana con el resto del territorio boliviano. El proyecto del puente uniría la localidad de San Pablo de Tiquina con San Pedro de Tiquina, en el lado de la península. Este proyecto ha sido apoyado por los habitantes de los municipios de Copacabana y Tito Yupanqui, mientras que los pobladores de ambos lados del estrecho de Tiquina se oponen, debido a que este quitaría el sustento de vida a los barqueros (Wikipedia, 2020).

La ubicación del área de estudio, se encuentra al noroeste de la Ciudad de La Paz, teniendo como referencia en coordenadas geodésicas:

PTOS.	COORDENADAS GEODESICAS (WGS – 84)	
	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE
1	16° 13.286' S	68° 51.165' O
2	16° 12.929' S	68° 50.908' O

**Tabla 1:** Ubicación del Proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 1:** Localización geográfica del proyecto.

**Fuente:** Plan de Desarrollo Municipal San Pedro de Tiquina, 2015.

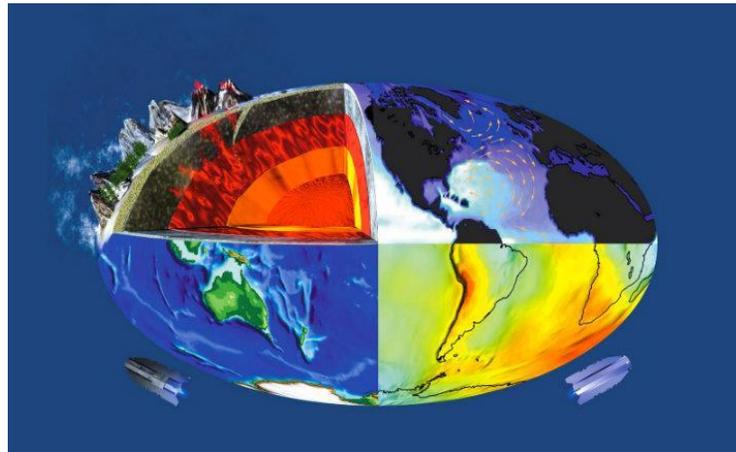
## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

La ejecución del presente proyecto tiene precedentes teórico-científicos enmarcados en conceptos y fundamentos de las ciencias de la Geodesia y la Topografía. Algunos puntos relacionados con la aplicación de métodos y técnicas para el desarrollo de los trabajos que abarca un estudio geodésico son descritos en adelante.

#### 2.1. Geodesia

La Geodesia, es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.



**Figura 2:** La Geodesia aplicada.

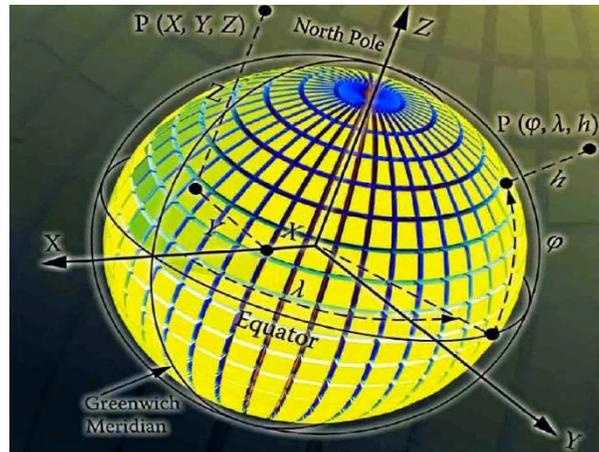
**Fuente:** <https://conceptodefinicion.de/geodesia/>

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura).

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil,

navegación, sistemas de información geográfica, entre otras. Desde el punto de vista del objetivo de estudio, se puede establecer una división de la geodesia en diferentes especialidades, aunque cualquier trabajo geodésico requiere la intervención de varias de estas subdivisiones:

- **Geodesia Geométrica:** Determinación de la forma y dimensiones de la Tierra en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de puntos en su superficie.



**Figura 3:** Estudio de la Geodesia Geométrica.

**Fuente:** Catedra, Gustavo Acuña, 2014.

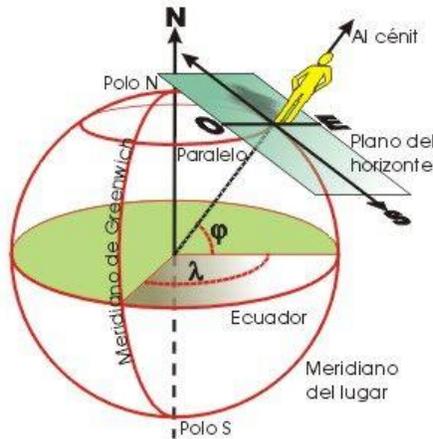
- **Geodesia Física:** Estudio del campo gravitatorio de la Tierra y sus variaciones, mareas (oceánicas y terrestres) y su relación con el concepto de altitud.



**Figura 4:** Geodesia Física.

**Fuente:** <https://es.slideshare.net/RicardoLopez77/presentacin1-27704396>

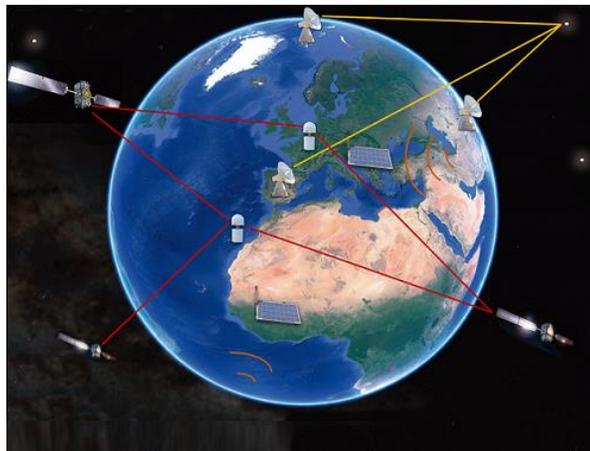
- **Geodesia Astronómica:** Determinación de coordenadas en la superficie terrestre a partir de mediciones a los astros.



**Figura 5:** Latitud y longitud astronómica.

**Fuente:** Ingeniería topográfica y fotogramétrica Wiki, 2018.

- **Geodesia Espacial:** Determinación de coordenadas a partir de mediciones efectuadas a satélites artificiales cuya observación resulta más cómoda y precisa que la tradicional. Aplica técnicas tridimensionales y resuelve todos los problemas de la Geodesia tanto geométricos como dinámicos y relación con la definición de sistemas de referencia.



**Figura 6:** Técnicas de Geodesia Espacial observando la Tierra.

**Fuente:** <https://www.ign.es/web/resources/COP25/geodesiaespacial.html>



El Sistema Geodésico Oficial, por ejemplo, en el Perú, está conformado por la Red Geodésica Horizontal Oficial y la Red Geodésica Vertical Oficial, que está a cargo del Instituto Geográfico Nacional. Que constituye el sistema de referencia único a nivel nacional; el cual, se encuentra integrado a los Sistemas de Referencia Mundiales. Esta materializado por puntos localizados dentro del ámbito del territorio nacional mediante monumentos o marcas, que interconectados permiten la obtención conjunta o separado de su posición geodésica (coordenadas), altura o del campo de gravedad, enlazados a los sistemas de referencia establecidos.

Se constituye la Red Geodésica Vertical Oficial a la Red de Nivelación Nacional, la misma que tiene como superficie de referencia el nivel medio del mar, está conformada por Marcas de Cota Fija (MCF) o Bench Mark (BM), distribuidos dentro del ámbito del territorio nacional a lo largo de las principales vías de comunicación terrestre, los mismos que constituyen bienes del Estado. Esta Red Geodésica está sujeta al avance tecnológico tendiente a obtener una referencia altimétrica global relacionada al campo de la gravedad.

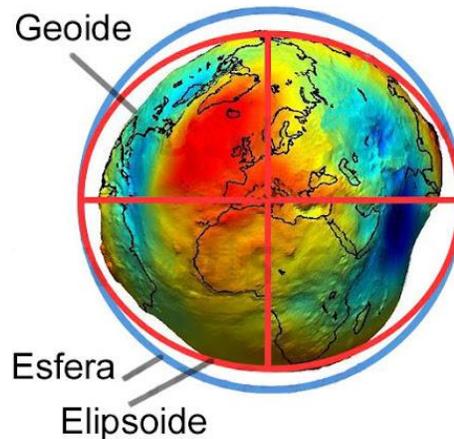
## **2.2. La Figura de la Tierra**

El problema de la figura de la tierra es uno de los más antiguos de la historia de la ciencia. Al principio la Tierra fue considerada como una superficie plana. Los filósofos griegos y los primeros cartógrafos la describieron y dibujaron de diversos modos: como un disco plano rodeado por agua; como un disco flotante; como un bote de agua; como un cilindro suspendido en el espacio, etc. Todas estas teorías primigenias se basaban en algún folclore particular o ideas teológicas.

Aunque es claro que la teoría pitagórica de una Tierra esférica es la más cercana a la verdad, la idea de una Tierra plana se usa aún para levantamientos en áreas pequeñas. El levantamiento de una ciudad puede realizarse considerando que la Tierra es una superficie plana dentro de los límites de la ciudad; es decir, en áreas pequeñas se pueden determinar posiciones exactas sin considerar la forma y el tamaño de toda la Tierra.

Así, en Geodesia, la expresión “figura de la Tierra” tiene varios significados de acuerdo al modo en que se use y a la precisión con que se determine la forma y tamaño de la Tierra. La superficie topográfica es

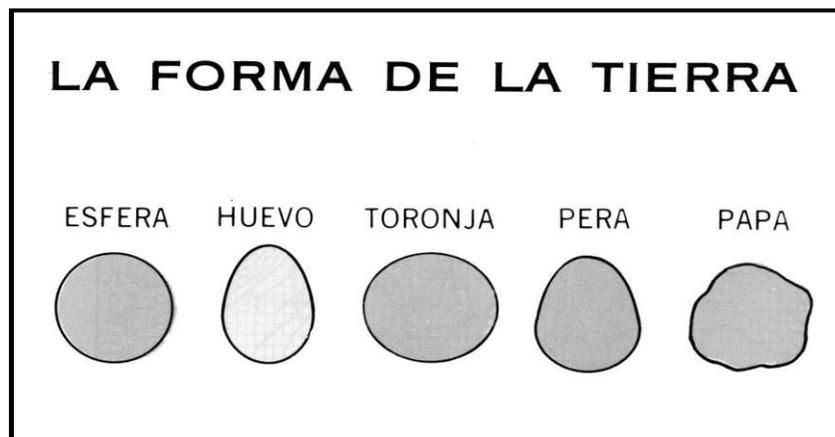
más objetiva por su variedad de formas geomorfológicas e hidrográficas. Sobre esta superficie se realizan los levantamientos. Sin embargo, debido a su forma irregular no es adecuada para cálculos matemáticos precisos. La superficie topográfica generalmente es de interés para topógrafos e hidrógrafos (Alonso, 2006).



**Figura 7:** Relaciones geométricas entre las formas de la Tierra.

**Fuente:** <http://www.albireotopografia.es/topografia-basica-iii-la-forma-de-la-tierra/>

El concepto esférico pitagórico ofrece una superficie simple y fácil de tratar matemáticamente. Se usa en muchos cálculos astronómicos y de navegación. Aunque la esfera es una buena aproximación a la verdadera figura de la Tierra, y es muy útil en diversas aplicaciones, no lo es cuando se desea medir distancias grandes. Se requiere entonces de una figura más exacta. La evolución de la concepción de la forma de la tierra a través de la historia se muestra en la siguiente figura:



**Figura 8:** La forma de la Tierra.

**Fuente:** <https://curiosoando.com/cual-es-la-forma-real-de-la-tierra>



La determinación de la forma de la Tierra puede ser vista desde dos perspectivas:

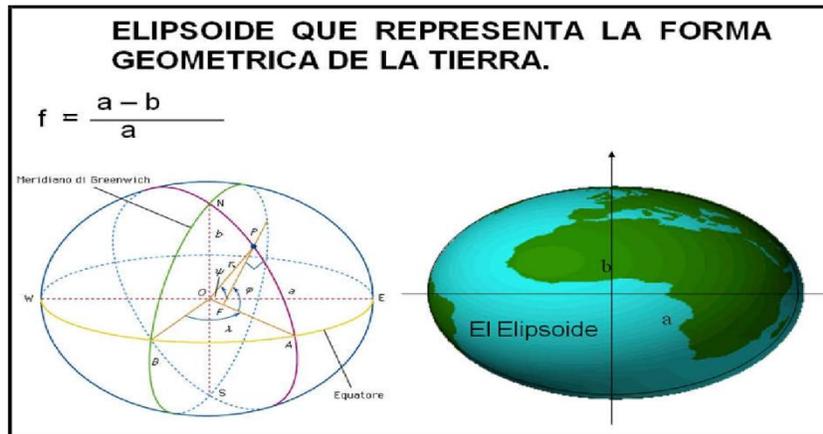
- El primero, de carácter geométrico, mediante el establecimiento de cadenas de triangulación; implica la medición de longitudes de arcos de meridianos y paralelos; se habla de Geodesia geométrica.
- El segundo, de carácter dinámico, mediante la determinación de su campo gravitacional; implica, la observación del campo gravitacional; hablamos de Geodesia física.

### 2.3. El Elipsoide de Revolución

La forma de la tierra se asemeja a un globo esférico comprimido en el eje polar y ligeramente abultado en el ecuador, a este cuerpo se le conoce como elipsoide achatado o elipsoide de revolución, el cual es muy empleado en los cálculos matemáticos que se aplican en Geodesia.

Un elipsoide de revolución está definido por los parámetros siguientes:

- Semi Eje Mayor (a)
- Semi Eje Menor (b)
- Achatamiento (f)
- Excetricidad (E)



Semiejes **a** y **b**, también se define por **a** y ....

Excentricidad lineal **E**       $E = \sqrt{a^2 - b^2}$

Aplanamiento **f**       $f = \frac{a - b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$

Primera excentricidad **e**       $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \frac{E}{a}$

Segunda excentricidad **e'**       $e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} = \frac{E}{b}$

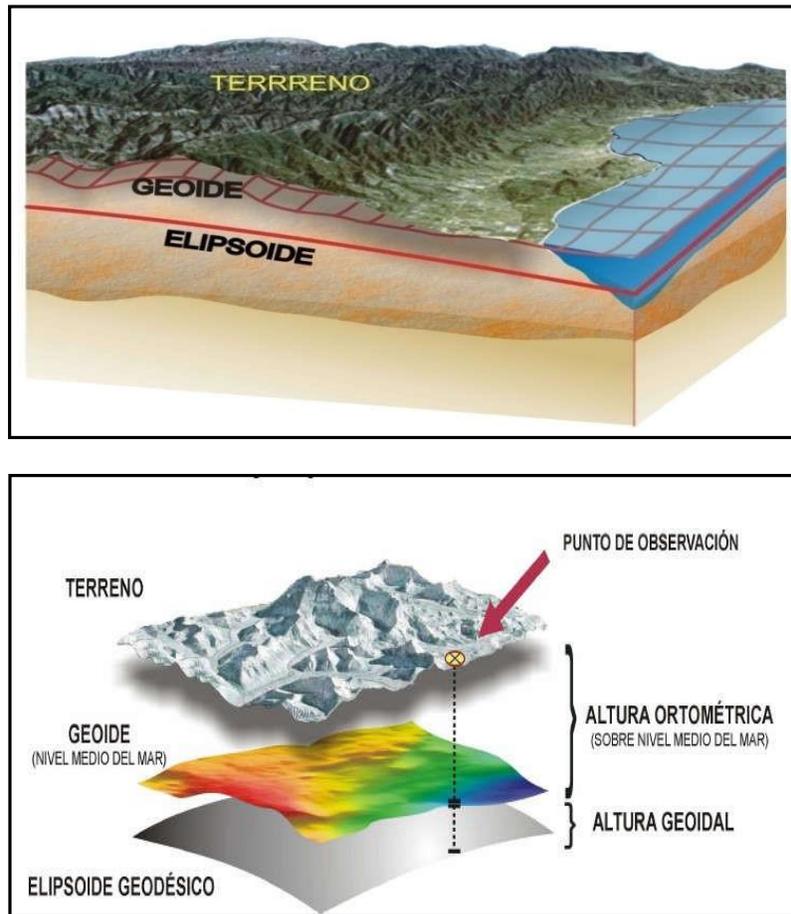
Figura 9: El elipsoide de revolución y sus parámetros.

Fuente: P. Serrano, 2006.

## 2.4. El Geoide

El Geoide es un modelo físico que busca representar la verdadera forma de la Tierra calculándola como una superficie de potencial de gravedad constante, es irregular debido a los efectos de variación en la densidad y distribución de masas de la Tierra, obedece de manera directa a los cambios en el campo de gravedad. Esta superficie irregular se utiliza convenientemente como la referencia para determinar la altura o elevación del terreno.

La distancia vertical entre un punto cualquiera sobre el terreno y el geoide se denomina altura ortométrica y puede ser entendida como altura sobre el nivel medio del mar (H) en este sentido el geoide es parte fundamental de sistema de alturas.



**Figura 10:** Elipsoide, Geoide y Terreno – Superficie y altura ortométrica.

**Fuente:** [https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5\\_ct.html](https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_ct.html)

El geoide es la superficie de referencia para las alturas físicas (alturas ortométricas), así como la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que más se aproxima al nivel medio de los mares en reposo en una época determinada (la observación del nivel del mar durante cierto período por 18,6 años). Las alturas medidas desde el geoide hasta la superficie terrestre se conocen como alturas ortométricas y se miden sobre la vertical del lugar o vertical astronómica.

El geoide es representado mediante la separación que mantiene el mismo con respecto a un elipsoide de referencia, esta separación se conoce con el nombre de ondulación geoidal, la cual puede tomar valores positivos o negativos. Sus magnitudes varían entre -2 m y +2 m a nivel global.

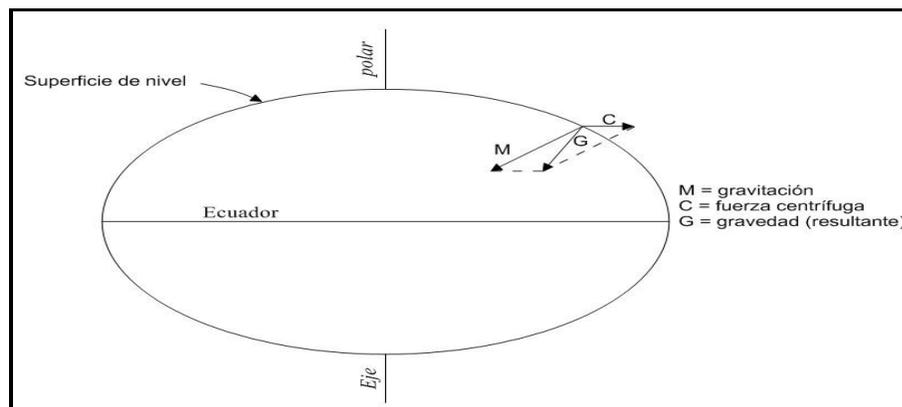
El nivel medio del mar usado como referencia para la definición de las alturas usadas actualmente no coincide con el geoide. Existen omisiones de los cambios del nivel del mar en función de la ubicación geográfica y de los cambios del nivel del mar en función del tiempo.

La determinación del geoide implica un conocimiento de la distribución de masas del planeta, lo cual representa un inconveniente debido a que el interior del planeta presenta una estructura compleja y difícilmente explorable.

Asimismo, el nivel registrado en un mareógrafo de referencia durante el período de definición, no es el mismo que se registraría si se tomara otra época para definir la altura cero en ese mismo mareógrafo. Por este motivo se han desarrollado diversas técnicas para su determinación y en la actualidad se continúa indagando sobre nuevas posibilidades para su representación.

## 2.5. La Gravedad

La gravedad es el resultado de sumar dos fuerzas que actúan sobre un cuerpo en la superficie terrestre, la fuerza gravitacional y la fuerza centrífuga. La fuerza gravitacional relacionada con la atracción que se produce entre dos cuerpos y que se explica mediante la Ley de Gravitación Universal de Newton; y la fuerza centrífuga que se genera por el movimiento de rotación terrestre y es siempre perpendicular al eje de rotación.

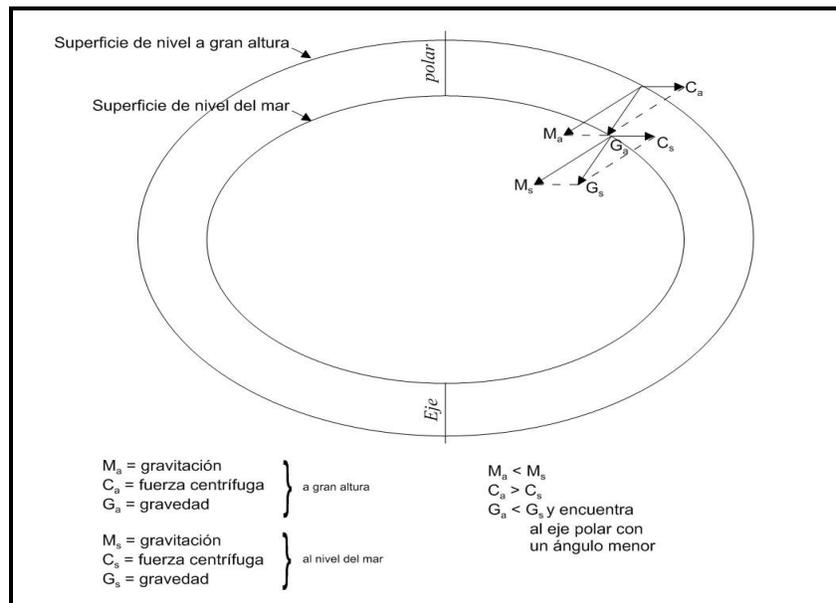


**Figura 11:** La gravedad de la Tierra.

**Fuente:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad\\_de\\_la\\_Tierra](https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_de_la_Tierra)

## 2.6. Métodos para Obtención del Geoide

La determinación del geoide consiste en encontrar aquella superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se aproxime al nivel medio de los mares. El campo de gravedad terrestre cuenta con infinitas superficies equipotenciales, de las cuales solo una de ellas será considerada por convención como la superficie de referencia para las alturas físicas en el planeta.



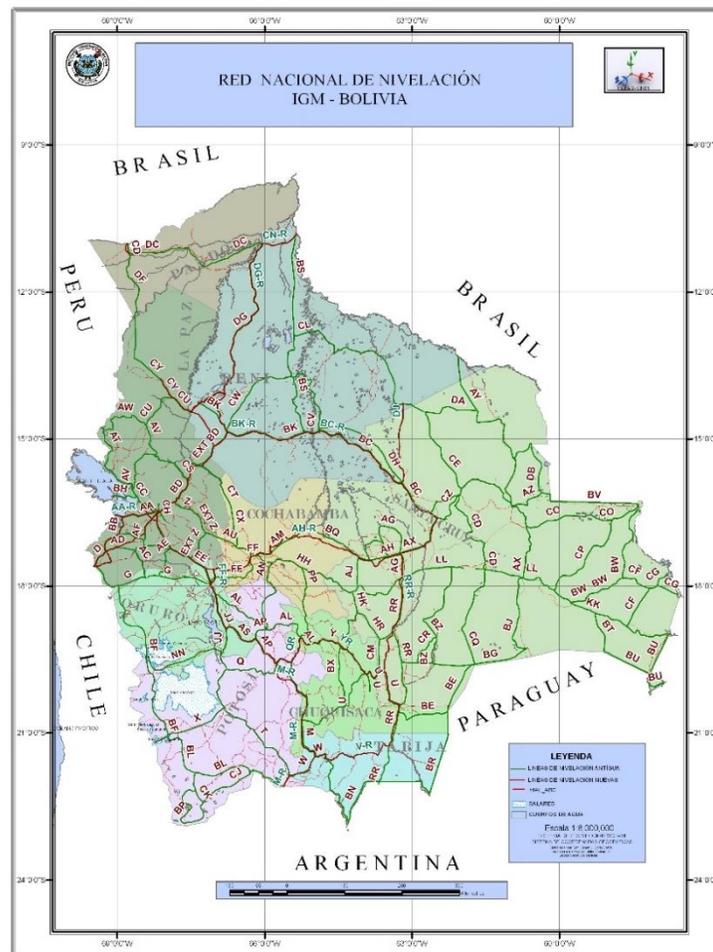
**Figura 12:** La gravedad de la Tierra.

**Fuente:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad\\_de\\_la\\_Tierra](https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_de_la_Tierra)

La dificultad en el cálculo del potencial de la gravedad terrestre está en el desconocimiento de la distribución de densidades en el interior del planeta, y para dar solución a esta limitante, se han implementado diversos métodos para la obtención del geoide, entre los más importantes se encuentran los métodos gravimétricos, modelos geopotenciales del geoide, el método geométrico, entre otros.

El método gravimétrico para la obtención del geoide se basa en el cálculo de la integral de Stokes mediante la medición de anomalías de la gravedad; los modelos geopotenciales del geoide por su parte combinan información satelital e información gravimétrica en superficie para desarrollar el potencial gravitacional en series de armónicos esféricos (Hofmann y Helmut, 2005).

## 2.7. Red de Nivelación Nacional



**Figura 13:** Red de nivelación de Bolivia.

**Fuente:** IGM Bolivia.

El datum vertical en Bolivia, materializado por la red de nivelación de primer orden con referencia al Datum ARICA – CHILE. Como tercer componente está el control dinámico que se materializa con la Red Gravimétrica Nacional tiene su origen en el mareógrafo y mediante nivelación geométrica de alta precisión se distribuyó a nivel nacional mediante líneas y circuitos de nivelación que se encuentran densificados dentro del ámbito del territorio nacional a lo largo de las vías de comunicación terrestre, los mismos que constituyen bienes del Estado.

Las alturas niveladas con que cuenta la red de nivelación nacional, presentan discrepancias con respecto a alturas determinadas mediante redes de nivelación de otros países, explicándose este hecho por estar



referida la red de nivelación nacional a un datum local, además es necesario señalar que en Bolivia aún no se encuentra establecido un sistema de alturas que esté referido a una superficie equipotencial, en un futuro el sistema de referencia vertical en el país estará orientado al cálculo de números geopotenciales, con lo cual se conseguiría el establecimiento de un sistema de alturas reales.

## **2.8. Nivelación**

La nivelación es el proceso a través de métodos u operaciones de medición de elevaciones o altitudes de los diversos puntos del terreno referidos sobre una superficie de la tierra considerada como referencia considerada como cero y corresponde al nivel medio del mar. En varios puntos del territorio se establecen puntos de elevación referidas a dicha superficie con aproximación hasta el milímetro, y la determinación y localización de cada una de las elevaciones están a cargo del Instituto Geográfico Militar (IGM).

### **2.8.1. Objetos de la Nivelación**

El objetivo principal de la nivelación geodésica es establecer un sistema de control vertical de precisión que pueda usar convenientemente para proporcionar elevaciones precisas en grandes extensiones de terreno, para uso en los varios estudios geográficos y científicos, y para suministrar marcas de cota fija como base para nivelación de precisión inferior usada en la confección de mapas topográficos.

En el establecimiento de las redes de control vertical, el plano de referencia básica es el nivel medio del mar. El nivel medio del mar se establece por observaciones continuas durante varios años en estaciones mareográficas.

Para tener éxito al establecer control vertical de alta precisión en grandes extensiones de terreno, es esencial llevar a cabo el trabajo de campo con instrumentos de la más alta precisión, siguiendo métodos y sistemas de trabajo ya establecidos con el fin de disminuir la posibilidad de errores accidentales y de eliminar, en cuanto sea posible como los efectos acumulativos de los errores sistemáticos.

En el establecimiento de control vertical geodésico se utiliza una forma refinada de sistemas de



nivelación designada como nivelación diferencial. El proceso básico de la nivelación diferencial se lleva a cabo en la forma siguiente:

- Una mira, graduada en metros de abajo hacia arriba, se coloca en posición vertical sobre una marca de cota fija, o punto de elevación conocida o supuesta. La situación vertical de la mira se obtiene por medio de una burbuja circular que se encuentra detrás de esta. El instrumento está colocado a una distancia conveniente de la mira en la dirección de progreso. Después de nivelar el instrumento cuidadosamente, y apuntar y enfocar el telescopio sobre la mira, la línea visual horizontal del aparato, determina por el hilo central del telescopio, atraviesa la mira colocada sobre la marca de una distancia arriba del punto cero de la mira. Esta distancia se puede determinar por una lectura sobre la mira en el punto donde se proyecte el hilo central. Por supuesto esta lectura se hace con la línea visual del aparato perfectamente horizontal, dando por resultado una medida de la cantidad de metros por la cual la línea visual del aparato excede la elevación de la marca de cota fija; dicha medida se suma a la elevación de la marca para obtener la elevación del eje del instrumento.
- Luego, si la misma mira u otra mira, se coloca en posición vertical a una distancia adelante del instrumento aproximadamente igual a la distancia entre el instrumento y la mira en la marca de cota fija, y se toma otra lectura horizontal sobre esta mira de adelante, esta lectura será una medida de la cantidad en metros por la cual el punto donde se colocó la mira es más bajo que la línea visual horizontal del instrumento y si se resta esta lectura de visual delante de la elevación del instrumento, se obtiene la elevación del punto donde se colocó la mira para la segunda lectura.
- A lo largo de estas líneas de nivelación se dejan unos discos de bronce u otro metal que se llaman “marcas de cota fija”, cuya elevación ha sido obtenida por el procedimiento explicado, y que sirven de elevaciones de partida para trabajos adicionales que requieran una elevación precisa.
- Si el punto donde se coloca la mira no es una marca de cota fija, se le llama punto de cambio. Este punto de cambio se convierte en un punto de elevación conocida. Si el instrumento se coloca de nuevo más adelante del punto de cambio, y se repite la operación de lectura de miras, el segundo punto de cambio se convertirá en otro punto de elevación conocida, y servirá como



- base para la tercera colocación de instrumento.
- Se repita esta operación hasta llegar a otra marca de cota fija, y se completa una nivelación entre las dos marcas de cota fija.
- Normalmente, en la nivelación geodésica se requiere una renivelación entre las dos marcas en sentido opuesto, y esta renivelación debe comprobarse dentro de los límites establecidos.

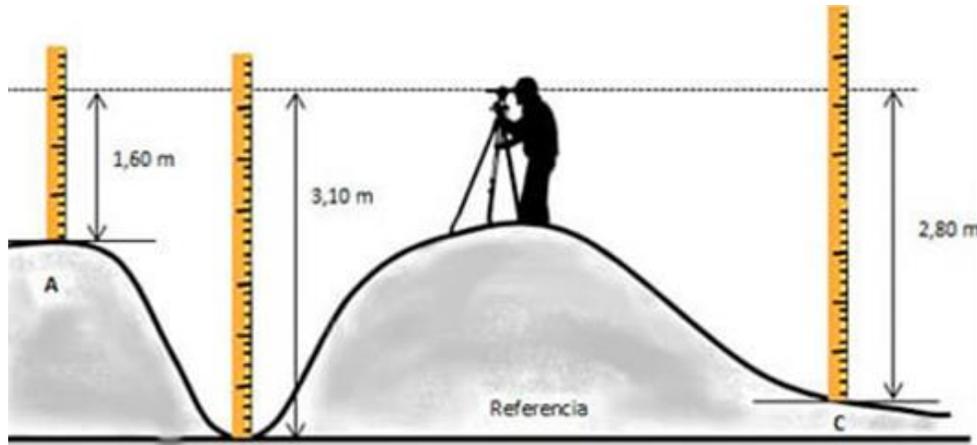
Puesto que los puntos de cambio y elevaciones de instrumento son temporáneos, no existe interés alguno en conocer las elevaciones, pero si hacemos un total de todas las visuales atrás y un total de todas las visuales adelante, y restamos la suma de las visuales adelante de la suma de las visuales atrás, obtendremos la diferencia de elevación observada por la brigada de campo entre las dos marcas de cota fija localizadas en los extremos de la sección.

En la nivelación geodésica, no se lee solamente un hilo del instrumento, sino tres. En virtud de que los tres hilos del aparato fueron construidos de tal modo que las dos separaciones entre los hilos son iguales, un promedio de las tres lecturas dará un valor más preciso para la lectura del hilo central que una sola lectura del hilo central. También las dos separaciones sumadas, proporcionan al observador una medida de la distancia horizontal entre el instrumento y la mira observada.

La nivelación geodésica utiliza otros varios refinamientos sobre la nivelación corriente. Todas las modificaciones empleadas en la nivelación geodésica sirven para disminuir la posibilidad de errores accidentales y eliminar los errores sistemáticos acumulativos.

Los circuitos de la nivelación geodésica sirven de referencia para el establecimiento de control fotogramétrico por medio de puntos estereoscópicos, con el fin de suministrar elevaciones para el ajuste de las nivelaciones trigonométricas efectuadas en la triangulación, y para elevaciones necesarias en los

cálculos de las anomalías gravimétricas, estudios de movimientos de la corteza terrestre y varios otros usos científicos. A demás, sirven como referencia básica para el control vertical necesario en el desarrollo industrial de un país.



*Figura 14: Procedimiento de nivelación.*

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.8.2. Especificaciones de la Nivelación Geodésica

### 2.8.2.1. Nivelación de Primer Orden

La nivelación de primer orden debe usarse en el desarrollo de todas las redes principales de nivelación dentro del país y en el enlace con marcas de cota fija en todas las estaciones mareo gráficas. Se hará todo lo posible para que las líneas se establezcan de modo que ningún sitio dentro del país quede a más de 80 kilómetros de una marca de cota fija establecida por métodos de nivelación de primer orden.

Todas las líneas de nivelación se deben dividir en secciones de un kilómetro de longitud, aproximadamente. Cada sección se nivelará en dirección delantera y trasera. Ambas nivelaciones deben hacerse independientemente, y ambas deberán concordar dentro de un límite de  $\pm 4 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$  siendo "k" la longitud de la sección en kilómetros. Si esta concordancia no se obtiene, la nivelación debe repetirse hasta que haya dos nivelaciones en direcciones opuestas que estén dentro de estos límites.

Cuando una sección de la línea de nivelación se nivele de una vez en dirección delantera y trasera, los resultados de cualquier medida se rechazarán si la diferencia en elevación difiere por más de  $\pm 6.0 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$  de los promedios aritméticos de todas las diferencias observadas. No habrá rechazos de resultados comprobados de diferencias de elevación que difieran por menos de  $+ 6.0 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$ , a menos que haya una buena razón para sospechar la existencia de un error en alguna observación. En este caso, las causas de rechazo deben anotarse con claridad en la libreta de campo y en los resúmenes repetimos: Siempre deben hacerse dos observaciones en direcciones opuestas y bajo diferentes condiciones atmosféricas que



concuerdan o estén dentro de los límites de  $4.0 \text{ mm } \sqrt{k}$ , aunque se hayan hecho varias nivelaciones en la sección.

En todas las secciones de nivelación de primer orden cuyas longitudes sean de 0.50 Km. o menores y consistan de más de una armada del instrumento, una divergencia de  $\pm 2.8 \text{ mm}$  o menor será considerada como una comprobación adecuada, no obstante, los límites dados anteriormente para la nivelación de primer orden.

En secciones muy cortas de sólo una estación de las discrepancias entre las nivelaciones delanteras y traseras no deben exceder de  $\pm 1.0 \text{ mm}$  y deben tener un promedio de  $\pm 0.6 \text{ mm}$  o menos.

### **2.8.2.2. Nivelación de Segundo Orden**

La nivelación de segundo orden debe usarse para la subdivisión de circuitos de la nivelación de primer orden. El espacio ideal entre las líneas de la nivelación de segundo orden es aquél en que no haya un sitio dentro de la región que esté a más de 20 kilómetros de distancia de una marca de cota fija de o segundo orden. En todos los casos es imprescindible que se usen métodos y equipo de primer orden en nivelación de segundo orden. La única diferencia es la discrepancia permisible, y se permite nivelar líneas de segundo orden en una sola dirección cuando comiencen y terminen en marcas de cota fija previamente establecidas mediante nivelación de orden mayor.

Las recorridas dobles de nivelación de segundo orden deberán concordar dentro de un límite de  $\pm 8.4 \text{ mm } \sqrt{k}$  siendo “k” la longitud de la sección en kilómetros. Si esta concordancia no se obtiene, la nivelación debe repetirse hasta obtener dos nivelaciones en direcciones opuestas que estén dentro de los límites mencionados.

Los circuitos cerrados de segundo orden, cuando se hayan nivelado únicamente en una dirección, deben cerrarse dentro del límite de  $\pm 8.4 \text{ mm } \sqrt{k}$  (siendo “K” la circunferencia del circuito en kilómetros). En nivelación de segundo orden, si se hace más de una recorrida delantera y trasera en una sección, se rechaza cualquier medida que dé un resultado que difiera más de 9.0 del promedio aritmético de todas las diferencias de elevación observadas. No se hará rechazo alguno por un resultado que difiera por menos de  $\pm 9.0 \text{ mm } \sqrt{k}$ , a menos que haya una buena razón para sospechar la existencia de un error en esa medida particular. En tal caso, las razones del rechazo deben anotarse claramente en la libreta de



campo y en los abstractos.

### **2.8.2.3. Nivelación de Tercer Orden**

La nivelación de tercer orden se usará en subdivisiones de los circuitos de primer y segundo orden en regiones donde se necesite control vertical y se considere suficiente la precisión de tercer orden. Por lo general, las líneas de nivelación de tercer orden no se deben extender a más de 50 kilómetros de las líneas de orden más alto. Estas líneas pueden nivelarse en una sola dirección cuando sean los que cierren en líneas de igual o mayor orden. Las comprobaciones de cierre no deben exceder de  $\pm 12.0 \text{ mm } \sqrt{k}$ , siendo "k" la longitud del circuito en kilómetros.

## **2.9. Métodos y Técnicas de Nivelación**

Existen varios métodos para determinar las elevaciones o altitudes. El más usado para obtener el desnivel entre dos puntos es el denominado "nivelación geométrica o por alturas", también puede utilizarse la "nivelación trigonométrica o por pendientes", la "nivelación satelital" y, por último, la nivelación "barométrica". De todas ellas, la más importante es la nivelación geométrica o por alturas y la más imprecisa la barométrica, que hoy en día se encuentra en desuso.

### **2.9.1. Nivelación Geométrica**

La nivelación geométrica consiste en medir diferencias de altitud entre dos puntos separados unos pocos metros por medio de la diferencia de lecturas directas hechas sobre dos reglas graduadas (miras), situadas en ellos, con un instrumento perfectamente horizontal situado en el punto medio.

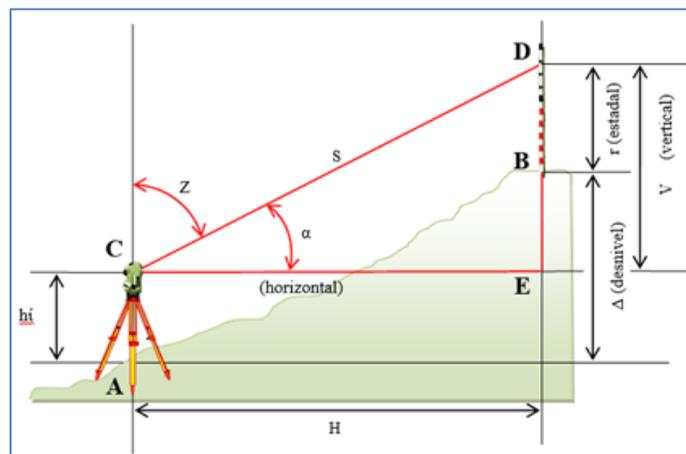


**Figura 15:** Nivelación geométrica.

**Fuente:** Wikipedia, 2020.

## 2.9.2. Nivelación Trigonométrica

Mediante este sistema se determinan los desniveles a través de la medición de ángulos verticales y las distancias entre los puntos a nivelar. Se puede determinar con una estación total y un bastón con prisma. Este tipo de nivelación se utiliza principalmente en terrenos con pendientes muy pronunciadas.



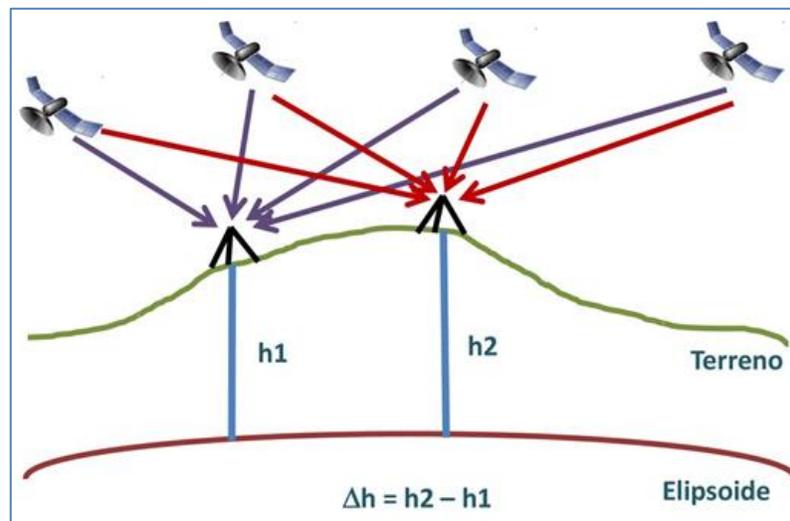
**Figura 16:** Nivelación trigonométrica.

**Fuente:** M. Farjas, 2016.

### 2.9.3. Nivelación Satelital

El sistema de posicionamiento global GNSS puede ser empleado en la extensión del control vertical sobre aquellas zonas donde no se cuenta con puntos de nivelación. Puede realizarse en diferentes tiempos, condiciones climáticas y del relieve que permitan que el sistema GNSS, unido a un modelo geoidal de alta resolución, sea una herramienta poderosa y económica en la determinación de nuevos puntos de referencia para propósitos topográficos que no requieran exactitud.

Hoy en día podemos hablar de la nivelación con GNSS dado a los avances tecnológicos alcanzados. Se puede determinar con post procesamiento elevaciones referidas a un modelo geoidal, pero su precisión va a depender del número de satélites que se encuentren disponibles en ese momento y lugar. Por los tipos de trabajo desarrollados comúnmente y puede servir como complemento a la nivelación para corroborar datos. Se observan directamente altitudes referidas al elipsoide WGS 84, que precisan ser transformadas en base al conocimiento de la ondulación del geode.



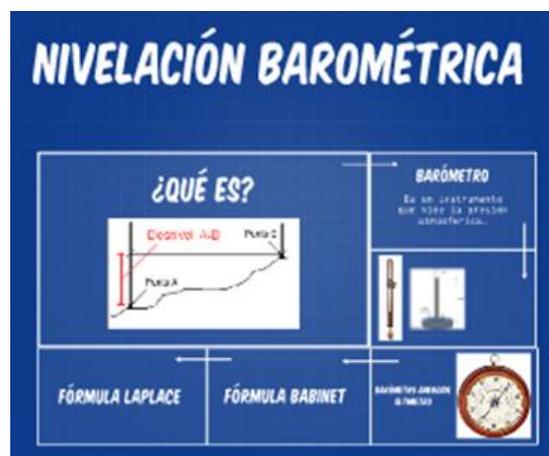
**Figura 17:** Nivelación satelital.

**Fuente:** Wikipedia 2019.

## 2.9.4. Nivelación Barométrica

En esta nivelación se determina la diferencia de nivel, por medio de un altímetro barométrico, es un método suelto, puesto que la diferencia de altura existente entre dos puntos se puede medir aproximadamente de acuerdo con sus posiciones relativas bajo la superficie de la atmósfera, con relación al peso del aire o presión atmosférica gravitante sobre ellos. La presión al nivel del mar es de 761 mmHg.

Cada 100 m de altura la presión atmosférica varía de 0'7 a 1'0 cm. de columna de Hg, este modo es el más impreciso y resulta útil sólo en reconocimientos.



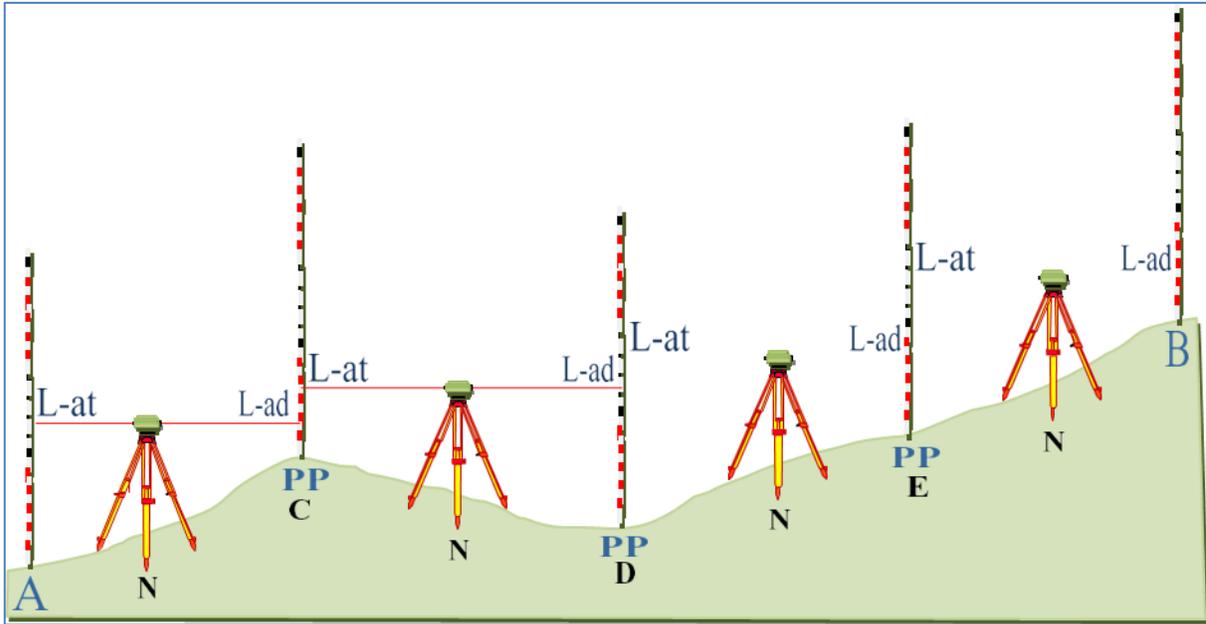
**Figura 18:** Nivelación barométrica.

**Fuente:** <https://prezi.com/t3wsl4v7ish/nivelacion-barometrica/>

## 2.10. Tipos de Nivelación

### 2.10.1. Nivelación Directa (Geométrica o Diferencial)

Para realizar este tipo de nivelación se utilizan los niveles ópticos o digitales, que dirigen visuales horizontales y la precisión de las mediciones efectuadas dependerá, fundamentalmente, de las características del instrumento empleado. Los niveles permiten determinar la distancia y los ángulos horizontales. La nivelación geométrica mide la diferencia de nivel entre dos puntos a partir de la visual horizontal lanzada desde el nivel hacia las miras colocadas en dichos puntos.



**Figura 19:** Nivelación Directa

**Fuente:** Elaboración propia.

Esta nivelación se emplea generalmente en todo tipo de terreno, además de ser el más recomendable es el único que elimina los errores sistemáticos del nivel, incluso los de defectuosa corrección, esfericidad y refracción. Esta nivelación se puede realizar de dos maneras:

### 2.10.1.1. Nivelación Geométrica Simple

En las nivelaciones geométricas simples, se considera una posición instrumental, y cuando el desnivel a medir se determina con una única observación.

### 2.10.1.2. Nivelación Geométrica Compuesta

En las nivelaciones compuestas o de itinerario altimétrico, se considera más de una posición instrumental por lo que son una repetición de nivelaciones geométricas simples, formando una línea de nivelación, estas se dividen en:



### **A) Nivelación Geométrica Compuesta Sencilla**

Es una nivelación en la que se aplica para ir desde un punto a otro punto, en un solo recorrido. Solo se aplica este método conociendo la altitud de los puntos inicial y final. Este método tiene el objetivo de dotar de altitudes a puntos intermedios distribuidos a lo largo de la línea.

Es necesario que estos puntos fijos para permitir la comprobación del trabajo y la localización de errores.

El error de cierre altimétrico de la nivelación deberá ser menor que la tolerancia indicada en cada precisión. Cumpliéndose esta condición se procederá a efectuar la compensación, caso contrario se repetirá la nivelación.

### **B) Nivelación Geométrica Compuesta Doble**

Se efectúa la nivelación en dos sentidos: una nivelación de ida, concluida la nivelación de ida, se inicia la de retorno. En este método existen dos tipos: Abierta y cerrada.

### **C) Línea de Nivelación Abierta**

Son aquellas en la que partimos de un punto conocido y terminamos en otro punto no conocido o arbitrario. El error de cierre altimétrico entre la ida y el regreso de la nivelación debe ser menor que la tolerancia indicada.

### **D) Línea de Nivelación Cerrada**

Son aquellas en la que partimos de un punto conocido y terminamos en el mismo punto u otro que se encuentre enlazada la red de control vertical (comprobada).

El error de cierre altimétrico entre la ida y regreso de la nivelación debe ser menor que la tolerancia indicada. Normalmente este método se aplica para dar cota o altitud a otro punto.

## **2.11. Nivelación Geométrica (Método de Enlace Cruce de Ríos)**

### **2.11.1. Generalidades**

De vez en cuando será necesario extender una línea de nivelación a través de ríos, lagos, pantanos u



otros obstáculos, donde las distancias de las vistas requeridas excederán a las que se permite usar en nivelación geodésica. El método que se describe a continuación ofrece una solución exacta y económica del problema.

Normalmente las brigadas de nivelación no tendrán el personal ni equipo necesarios para ejecutar el trabajo de cruzar ríos; poro generalmente al efectuar el reconocimiento preliminar se hará evidente si la línea de nivelación atraviesa ríos u otros obstáculos grandes, y la oficina del proyecto planeará con suficiente anticipación los proyectos especiales de esta índole. Se necesitan dos brigadas con su equipo, y cuatro tablillas o blancos especiales, generalmente de aluminio, de 12 pulgadas de largo por 6 de ancho, pintadas de negro con una raya blanca. Si no hay puente cercano otro medio práctico para cruzar el río, se necesitará un bote para trasladar el personal y el equipo de un lado del río al otro.

Cuando no se tengan disponibles los elementos necesarios para el cruce, puede continuarse la nivelación desde la orilla opuesta del río, evitando así la paralización del trabajo y dejando esa sección de la línea abierta hasta que sea posible hacer el cruce. Deben dejarse tres marcas de cota fija a cada lado del río, con puntos de referencia (uno para cada marca), para comprobar cualquier movimiento o trastorno que puedan sufrir las marcas de cota fija.

### **2.11.2. Procedimiento de Trabajo**

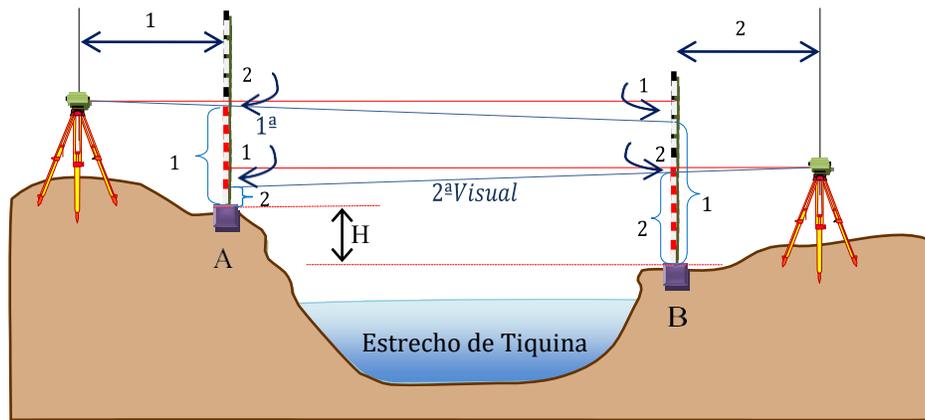
Las miras y las tablillas generalmente se sitúan de la siguiente manera:

- Se colocan en posición vertical dos miras sobre las dos marcas de cota fija, una a cada lado del río, sosteniéndolas con hilos o alambres como "vientos". Los instrumentos se montan también a cada lado del río, a la derecha de la mira, y un poco al frente, de manera que la línea visual de cada nivel cruce ambas miras, tanto la cercana como la del otro lado, a una altura conveniente. El observador en el lado A nivela su instrumento con precisión y dirige, por medio de señales con la mano, el movimiento de una tablilla o cualquier blanco sobre la mira B, hasta que coincida con la línea visual a nivel del lado A. Luego se colocan dos tablillas en la mira B de modo que una quede arriba y la otra debajo de la línea visual del anteojo en A. Este procedimiento se repite en sentido contrario por el observador en B, quien dirige la colocación de las tablillas la mira A.
- Cada tablilla debe colocarse de modo que la ranura que se encuentra en su centro quede exactamente sobre una división de centímetro, y la distancia entre la ranura de la tablilla superior



y la de la tablilla inferior; debe ser en decímetros enteros, sin exceder de un metro, pero con

- espacio suficiente para permitir un movimiento del micrómetro de entre 20 y 50 divisiones de una tablilla hasta el centro de la otra. colocación simétrica de las tablillas arriba y abajo de la
- línea de nivel os deseable pero no absolutamente necesaria. la lectura de la mira se puede efectuar a través de la ranura en el centro de la tablilla, o se puede usar un compás de punta fija para medir desde una división de un decímetro visible en la mira hasta el centro de la tablilla; y calcularse después el punto, midiendo el intervalo en una sección clara de la mira. Si no se usa el compás, es necesario tener gran cuidado de que la paralaje no cause lecturas erróneas.
- Una vez que las tablillas hayan sido colocadas en las miras en ambos lados del río, se dará comienzo a las observaciones.
- El procedimiento general consiste en hacer observaciones recíprocas y simultáneas desde ambos lados del río. Esto tiene la ventaja de que así prevalecerán las mismas condiciones atmosféricas para las lecturas de ambos observadores, y los errores causados por la refracción tenderán a comportarse.
- El observador en cada lado del leer primero la mira cercana, y luego, a una señal previamente convenida, principian las observaciones simultáneas sobre la mira lejana
- Cada observador enfoca con su instrumento, colocando el hilo medio en el centro de la tablilla inferior de la mira distante, y lee el tambor del micrómetro. Luego nivela el instrumento cuidadosamente y lee de nuevo el micrómetro. A continuación, atraviesa el centro de la tablilla superior con el hilo medio y toma la lectura del micrómetro. Estas lecturas deben hacerse hasta el décimo de una división. Se repite el procedimiento hasta que se hayan tomado por lo menos 25 lecturas de los tres puntos. Al terminar, cada observador da la señal convenida. Si uno termina primero, como sucederá algunas veces, debe continuar tomando lecturas hasta que el otro haya completado las 25 que le corresponden como mínimo. Luego confirman, mediante señales, que un juego de observaciones se ha terminado.



**Figura 20:** Método de enlace cruce de ríos.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.12. Precisión y Exactitud

Precisión es el grado de perfección utilizado en los instrumentos (calibración constante), los métodos, las observaciones y la exactitud es el grado de acercamiento al valor real del resultado obtenido.

### 2.12.1. Valores

Son números que pueden ser comparados, analizados e interpretados. El valor verdadero o absoluto de una magnitud no podrá conocerse nunca, ya que toda medida está sujeta a un sin número de errores, mucho de los cuales no controlables.

El valor más probable de una magnitud es la media aritmética de las mediciones hechas y siempre que estas se hayan realizado bajo las mismas condiciones de precisión.

### 2.12.2. Errores

Ninguna medida es exacta, toda magnitud observada o medida contiene errores. Se entiende que los valores de las mediciones que entran en el cálculo están ya libres de los errores materiales y los errores



sistemáticos.

Una de las misiones más importantes es la de mantener las mediciones dentro de ciertos límites de precisión, impuestos por la clase y la finalidad del levantamiento. Los errores aparentes, residuales o simplemente residuos es la diferencia de los valores medidos de una magnitud con el valor más probable o media aritmética de dichos valores. Estos residuos se emplean como términos de comparación para evaluar el grado de precisión de las observaciones y, el error medio cuadrático (M) de una observación es:

$$M_{\pm} = \sqrt{v^2 / n-1}$$

Y el error medio cuadrático de la media aritmética de las observaciones es:

$$M_o = \pm \sqrt{v^2 / n (n-1)}$$

Algunas veces hay que hallar el valor más probable de una serie de observaciones que tienen diferente precisión. Se llama peso al valor relativo de una observación. La teoría de errores da para la media aritmética pesada la fórmula:

$$M_p = m_1p_1 + m_2p_2 + \dots / p_1 + p_2 + \dots$$

La fórmula para los errores medios cuadráticos es en este caso:

$$M_{\pm} = \sqrt{2(v^2) / n-1}$$

$$M_o = \pm \sqrt{p(v^2) / p (n-1)}$$

### **2.12.2.1. Causas de los Errores**

Los errores proceden de tres causas principales:

#### **A) Errores Instrumentales**

Son las imperfecciones en la construcción y ajustes de los instrumentos de medida y las expansiones y



contracciones que puede sufrir el material de fabricación.

### **B) Errores Naturales**

Son las variaciones de ciertos fenómenos naturales, como la temperatura, el viento, la humedad, la gravedad, la refracción y la declinación magnética.

### **C) Errores Personales**

Proviene de la imperfección de los sentidos y de las distracciones o equivocaciones.

## **2.12.2.2. Tipos de Errores**

Los errores son de tres tipos generales:

### **A) Error Material o Equivocación**

Tiene su origen en la mente del observador y se debe generalmente a una falta de atención, proporcionando una falsa determinación de un valor. En la actualidad con los instrumentos digitales se está eliminando este tipo de error.

### **B) Error Constante o Sistemático**

Son los que modifican el resultado de la medición, casi siempre en el mismo sentido, es un error que, bajo las mismas condiciones, será siempre del mismo valor y signo. Los errores sistemáticos pueden encontrarse solamente conociendo las condiciones que lo crearon; esto los hace engañosos y, por tanto, graves.

En las capas atmosféricas próximas a la superficie terrestre, que es donde se trabaja con las líneas de nivel, existen frecuentemente variaciones considerables en el coeficiente de refracción del aire, se debe evitar la nivelación a lo largo de pendientes continuas cuando existe evaporación rápida, cuando la temperatura del aire cambie, cuando la tierra está a temperatura diferente del aire y cuando hay partículas muy pequeñas de polvo, cenizas, arcilla o arena en suspensión.



Las longitudes horizontales de las visuales de frente y de espalda en cada posición del instrumento deben ser iguales, eliminándose así el efecto de cualquier error residual en el ajuste del instrumento, el efecto de la curvatura de la tierra y el efecto de la refracción constante.

### **C) Error Fortuito o Accidental**

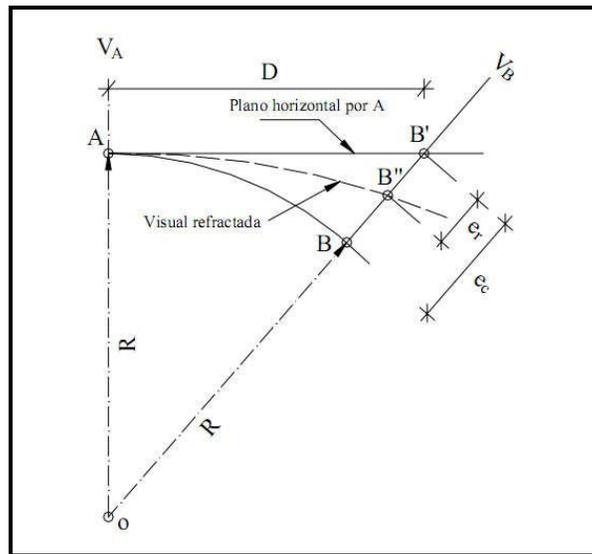
Son los que se ha encontrado después de haber eliminado todos los errores materiales y sistemáticos. A este tipo de error se le conoce también como errores compensables, porque tienden a anularse parcialmente entre sí en una serie de medidas, y es la diferencia entre el verdadero valor de la cantidad y una determinación que está libre de equivocaciones y de errores sistemáticos. En nivelación se dan tres importantes errores accidentales: (1) centrado de la burbuja, (2) lectura de la mira y (3) variaciones de la refracción atmosférica. El efecto del primero es proporcional a la longitud de la visual. El efecto del segundo se va eliminando por ser una medida que no interviene el criterio humano (instrumento digital), y el efecto del tercero aumenta con la longitud de la visual.

### **2.12.2.3. Correcciones**

El cálculo de los desniveles se efectúa considerando a la tierra como plana y una atmósfera ideal, sin embargo, se debe tener en cuenta la esfericidad de la tierra y la atmósfera real, por lo que se deben realizar las siguientes correcciones:

#### **2.12.2.3.1. Correcciones por Curvatura y Refracción**

Aceptando la simplificación sobre la forma de la tierra, debemos estimar el efecto que la misma tiene en el proceso de nivelación. Como se puede observar en la figura 21, una visual horizontal lanzada desde el punto A se aleja de la superficie de la tierra en función de la distancia horizontal D, por lo que el efecto de la curvatura de la Tierra “ec”, será la distancia BB’.



**Figura 21:** Representación de los efectos de curvatura y refracción.

**Fuente:** Elaboración propia.

Aplicando el teorema de Pitágoras tenemos

$$\begin{aligned} (R + e_c)^2 &= R^2 + R^2 \\ R^2 + 2Re_c &= R^2 + D^2 \\ e_c &= \frac{D^2 - e_c^2}{2R} \end{aligned}$$

Tomando un valor de  $R = 6\,370$  km, y considerando una distancia horizontal de unos 2 km., la magnitud del efecto de curvatura resulta un valor pequeño por lo que  $e_c^2 \cong 0$  por ser un infinitésimo de orden superior, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$e_c = \frac{D^2}{2R}$$

La atmósfera está constituida por una masa de aire dispuesta en estratos de diferentes densidades, considerados constantes para cada estrato e iguales a la densidad media del aire del estrato considerado,



la refracción atmosférica desviará la visual lanzada desde A describiendo una línea curva y generando el efecto de refracción ( $e_r$ ),

El efecto de refracción depende de la presión atmosférica, temperatura y ubicación geográfica, pero se puede admitir, para simplificar el problema, como función directa de la curvatura terrestre.

$$e_r = k \cdot e_c$$
$$e_r = k \frac{D^2}{2R}$$

K representa el coeficiente de refracción el cual tiene un valor promedio de 0.16 (16 mm por kilómetro)

Se puede observar que el efecto de refracción contrarresta el efecto de curvatura, por lo que el efecto o error total de curvatura y refracción ( $e_{cr}$ ) se determina según la siguiente expresión:

$$e_{cr} = e_c - e_r = \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$
$$e_{cr} = \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

Los trabajos a realizarse dependerán de la precisión que se desee obtener y de la apreciación de los instrumentos a utilizar en las operaciones de nivelación.

### 2.13. Sistemas de Altitudes

Existen diferentes sistemas para determinar las altitudes, una de ellas es la superficie del nivel del mar, la cual es empleada como superficie altimétrica de referencia.

El nivel medio del mar no es tan fácil de definir ni determinar, y para obtener un nivel correcto se tomarían datos con un mínimo de 18 años de registro. Otra es la cota geopotencial, que sustituye el desnivel por la diferencia de potencial gravimétrico y que no tiene una dimensión de distancia.

Se tienen los siguientes sistemas de altitud:



### 2.13.1. Altitud Aproximada

Se obtienen sin considerar el efecto del campo de gravedad terrestre, y es el inicio de las altitudes en otros sistemas.

$$h_M = \sum_0^M dh$$

### 2.13.2. Altitud Ortométrica

Se llaman altitudes ortométricas a las distancias desde la superficie del geoide hasta los puntos de la superficie terrestre, medidas a lo largo de las líneas de la plomada que pasan por esos puntos. Las altitudes ortométricas pueden tener diferentes valores para puntos que están ubicados en una misma superficie de nivel, puesto que las distancias desde el geoide hasta la superficie de nivel de dicho punto no son necesariamente constantes y dependen de la fuerza de gravedad. Su expresión está dada por:

$$H_M = \frac{\sum_0^M g dh}{g_{med}}$$

Dónde:  $g_{med}$  es el valor medio de la gravedad desde el punto al geoide.

Las altitudes ortométricas no pueden ser calculadas exactamente, ya que la magnitud de la gravedad en el interior de la Tierra depende de su densidad, la cual no es bien conocida y se utilizan varios procedimientos (fórmula de reducción de Poincaré y Prey, fórmula de Helmert o reemplazar el terreno por una lámina de Bouguer de densidad constante y altura H medida en km.) y cuando necesitamos mayor precisión hay que aplicar parámetros más rigurosos.

### 2.13.3. Altitud Normal

Es similar a la altitud ortométrica, con la diferencia de usar como superficie de referencia el cuasi geoide



(que no es equipotencial) en vez del geoide, y a la gravedad normal en vez de la gravedad real, su expresión está dado por:

$$H_M^* = \frac{\sum_0^M g dh}{\gamma_m}$$
$$\gamma_m = \frac{1}{H^*} \int_0^{H^*} \gamma dh$$

#### 2.13.4. Altitud Dinámica

Se obtienen por la diferencia en relación con la gravedad media, dado como un valor fijo sobre una latitud estándar de 45° al nivel del mar, cuyo valor en el elipsoide internacional es de 980,6294 Gales. Las altitudes dinámicas difieren de las cotas geopotenciales sólo en escala y unidad, ya que el empleo de este valor de gravedad únicamente convierte la cota geopotencial en una longitud, su expresión está dado por:

$$H_M^D = \frac{\sum_0^M g dh}{980.6294}$$

$$g_\phi = 9.780327 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi) \text{ m/s}^2$$

Donde:

$g_\phi$  = aceleración de la gravedad en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  en la latitud:  $\phi$

$$1 \text{ Gal} = 0,01 \text{ m s}^{-2}$$

La aproximación habitual del valor de la gravedad media es de  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Pero esto solamente es una aproximación al valor real. La gravedad realmente varía principalmente con el tiempo, con la latitud y con la longitud.

Entre los Polos y el Ecuador la variación es entre  $9,83$  y  $9,78 \text{ m-s}^{-2}$ , respectivamente. Con la altura, la gravedad disminuye en la proporción aproximada de 1 mili Gal cada tres metros o 300 micro Gales por metro.



## **2.14. Clasificación de la Nivelación**

### **2.14.1. Nivelación de Alta Precisión (NAP)**

Para una Nivelación de Alta Precisión (NAP), se usará el tipo de nivelación directa (geométrica o diferencial); siendo el procedimiento más refinado que se realiza para llevar la altura o cota de un punto a otro. Esta nivelación, se usa para controles de gran exactitud, encontrando aplicación sólo cuando se presentan problemas especiales de tipo geológico, estructural o de otra índole, en que es necesario determinar con certeza desniveles al milímetro y, eventualmente, apreciar fracciones de milímetros. Esta Nivelación de Alta Precisión (NAP), estará destinada al establecimiento de la Red Geodésica Vertical fundamental del país y a la determinación de valores geopotenciales.

### **2.14.2. Nivelación de Precisión (NP)**

Para una Nivelación de Precisión, se usará el tipo de nivelación directa (geométrica o diferencial); siendo el procedimiento más refinado que se realiza para llevar la altura o cota de un punto a otro. Esta nivelación, se aplicará en el establecimiento de la red geodésica vertical secundario a modo de densificación, para el desarrollo de grandes proyectos de ingeniería, en investigaciones de subsidencia del suelo y de movimientos de la corteza terrestre, y para apoyo de levantamientos de menores precisiones.

## **2.15. Instrumentos y Accesorios Para La Nivelación**

Los niveles a utilizar tienen características que a continuación se detallan: automáticas o reversibles, los niveles electrónicos son los que hoy en día más utilizados, estos niveles mencionados contarán los mismos con tornillos calantes y de aproximación, el nivel utilizado deberá disponer como mínimo, un anteojo de 24X aumentos para permitir leer directamente sobre la mira la graduación de los centímetros y apreciar milímetros, la sensibilidad del nivel tubular 2 mm de desplazamiento de la burbuja, menor o igual que 10 segundos de arco sexagesimales, en los niveles automáticos la precisión de estabilización del compensador automático cuentan con menor o igual a  $\pm 0.2$  de arco sexagesimales, de acuerdo con el método que se emplea sensibilidad para determinar el contraje de la burbuja. La colimación del



instrumento deberá ser verificada todos los días y el instrumento ser ajustado si es necesario.

### **2.15.1. Nivel de gran Precisión Wild N-III**

En su constante desarrollo, la Casa WILD-Heerbrugg, siempre en busca de perfeccionamientos, ha

creado un nuevo modelo de su nivel de precisión N III, el cual ofrece un cierto número de innovaciones altamente notorias. Estas facilitan grandemente la medición, puesto que aumentan la precisión y la estabilidad del instrumento. Ya que los trabajos de nivelación exigen una atención constante del operador, y por tanto un considerable esfuerzo de sus ojos, el deseo principal del constructor ha sido lograr una imagen nítida y luminosa del nivel y del micrómetro óptico.

El aumento del anteojo ha sido elevado a 42. El nivel ha Sido especialmente provisto de un ocular de observación colocado al lado del ocular del anteojo. La lectura del micrómetro óptico se efectúa igualmente en un ocular que da una imagen sumamente clara y nítida de la división. Esta se halla grabada en una escala de vidrio solidaria del vástago de guiaje de la placa planoparalela.

Son muy luminosas y claras las imágenes del nivel y de la división micrométrica, ahorrando esfuerzos al operador y aumentando así el rendimiento del trabajo. Para este instrumento se ha optado por una construcción cerrada y ello por el fin de proteger eficazmente al nivel cilíndrico. El cuerpo del anteojo y los soportes del nivel constituyen una sola pieza, asegurándose así una estabilidad máxima del ajuste. La innovación más importante de todas las que comprende el instrumento consiste principalmente en la placa planoparalela colocada delante del objetivo y que sirve de micrómetro, permitiendo un desplazamiento de 10 mm de la visual. Es de advertir que el modelo precedente y todos los niveles de precisión conocidos hasta hoy tan solo permiten un desplazamiento de la visual de 5 mm. Esta novedad ha permitido reemplazar la división en 5 mm por una en centímetros que es precisamente la empleada en las miras corrientes. Hasta ahora, cuando se quería utilizar con un nivel de precisión una mira corriente, era preciso quitar el micrómetro del instrumento y estimar los milímetros en la mira dividida en centímetros. En cambio, en el nuevo N III queda fijo en el anteojo el micrómetro, reemplazándose la estimación de los milímetros por una medición exacta.

Se emplea cada vez más el nivel de precisión para el montaje de grandes máquinas, para la medición de



deformaciones, así como para la determinación de los movimientos en los terrenos de construcción. En esta clase de trabajos se consiguen notables ventajas empleando el nuevo N III, debido a las siguientes características: su micrómetro óptico permite efectuar lecturas con una estimación de 0,01 mm, siendo de 1 cm su campo de utilización; el gran aumento del anteojo y su visual mínima, que es de 2 m. Los tres tornillos nivelantes son regulables y descansan sobre una placa-base triangular, la que puede ser adaptada a cualquiera de los trípodes WILD. La base del instrumento está provista de tres topes que sirven para afirmarle en su estuche metálico.

Tanto el manguito como el eje vertical, de forma cilíndrica ambos, están fabricados de un acero especial. Al eje vertical se hallan fijadas las siguientes partes: nivel esférico, tornillos de presión y de coincidencia para el movimiento azimutal, tornillo de basculamiento fino y eje horizontal para el basculamiento del anteojo. El tornillo de basculamiento fino está provisto de un tambor dividido y una división del mismo corresponde a 0,01 % de la distancia.

A la derecha del cuerpo del anteojo se encuentran dos ruedecillas. La situada cerca del ocular sirve para el enfoque del anteojo, y la otra, colocada al lado del eje vertical, obra sobre el micrómetro óptico. Dicha ruedecilla ha sido fijada lo más cerca posible del eje vertical, con el fin de que una eventual presión de la mano no ejerza influencia alguna en la posición del anteojo. El eje de esta ruedecilla pasa por debajo del anteojo engranando por intermedio de otra rueda en un vástago dentado. El mencionado vástago lleva, por el lado del ocular del anteojo, la escala micrométrica, mientras que su otra extremidad, por el lado del objetivo, está provista de una pequeña esfera, alojada en la ranura de una palanca solidaria de la placa planparalela del micrómetro. Merced a esta disposición, quedaría sin influencia sobre la precisión de las mediciones un casual juego entre la rueda indicada y el vástago dentado.

El lado izquierdo del anteojo tiene adosada una caja que contiene el nivel con sus prismas, y los demás órganos descritos para el guiaje y la lectura del micrómetro óptico. Dicha caja está, además, provista de dos lupas situadas al lado del ocular del anteojo; la superior permite la observación del nivel y la inferior la lectura de la escala micrométrica. El espejo de iluminación está fijado en la parte inferior de la caja de protección y sirve para iluminar el nivel y la escala micrométrica, al mismo tiempo que para reflejar el nivel esférico y permitir su centrado preciso. Los tornillos de corrección de los niveles esférico y cilíndrico tienen su disposición habitual. Una innovación apreciable, que consiste en una lámina de protección del anteojo (lado objetivo) en forma de cuña, tiene por objeto permitir el ajuste preciso del

instrumento. Con esta lámina puede inclinarse ligeramente la visual, a fin de que ésta sea absolutamente horizontal cuando las dos imágenes de la burbuja se hallan en coincidencia.

Cada medición comprende tres operaciones y da lugar a tres lecturas de imágenes separadas. Cada una de dichas imágenes puede ser observada sin acomodación alguna y ocupa, para su observación, la posición más favorable que pueda imaginarse.

El embalaje metálico del instrumento constituye la mejor protección contra el polvo y los deterioros.

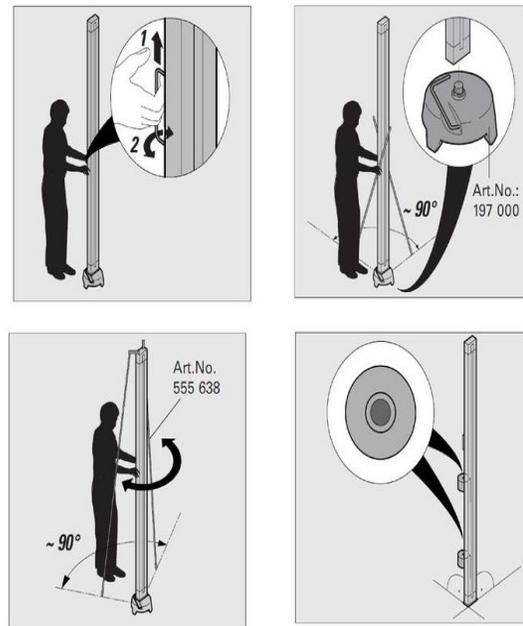


**Figura 22:** Nivel de gran precisión Wild N-III.

**Fuente:** Wild, 2010.

### 2.15.2. Mira Invar

Las miras deberán estar provistas de flejes de invar sobre las cuales está pintada la graduación. Es necesario disponer de termómetros para medir la temperatura de los flejes de invar, así como de niveles esféricos que permitan controlar la posición vertical de las miras.



**Figura 23:** Utilización de miras Invar.

**Fuente:** Topomundo, 2015.

Las miras podrán ser (de invar) con código de barra o estadimétrica (plegable o no), para establecer su verticalidad llevarán incorporado un nivel esférico, cuya burbuja tendrá una sensibilidad mayor o igual que  $12''/2 \text{ mm}$ . Se deberá usar puntales o pies los que minimizaran las desviaciones de la mira y permitirá mejorar la exactitud de los resultados, es recomendable exigir el respectivo certificado de calibración al comprar u obtener las miras, y una nueva calibración después de 1 años y/o por la frecuencia de uso.

Por lo menos una vez al mes durante el progreso de la nivelación, debe hacerse una prueba de ajuste en las burbujas de plomada de las miras. En la anotación debe incorporarse una explicación indicando la forma en que se efectuó la prueba, el error encontrado y si se hizo o no ajuste alguno. Con la burbuja de la mira de nivelación sostenida en el centro, debe determinarse la desviación de la cara y la orilla de la mira de la vertical. Si la desviación de la vertical en el frente o el lado de la mira exceden de 10 milímetros en una mira de tres metros de la o, la burbuja de plomada debe ajustarse. Además de las pruebas periódicas citadas arriba, debe hacerse la prueba cuando la mira haya sido golpeada severamente o haya sufrido algún accidente que posiblemente haya desajustado la burbuja de plomada. Con el fin de efectuar niveles precisos es necesario que las miras estén en buenas condiciones. La condición de las miras será comprobada a intervalos frecuentes. Además de la condición general de la mira, los detalles específicos que deben revisarse son las condiciones de las marcas en la faja invar y de las cifras que marcan metros



y decímetros, la rectitud de la mira para determinar que no esté torcida, que la faja invar esté bajo la tensión adecuada y esté libre para moverse en la ranura, y que el pie de la mira esté plano y firme. (Bajo ninguna condición deben apretarse las guías de metal que sostienen la faja invar en su ranura ocasionando presión contra el invar).

Estas comprobaciones son además de las comprobaciones para la plomada. La planicie del pie de apoyo puede revisarse colocando una regla recta a través de la parte inferior y anotando si toca o no todos los puntos. Si hay alguna indicación de desgaste la mira no será usada en nivelaciones precisas. Ninguna mira que esté torcida será usada en trabajos de primer o segundo orden si la torcedura es de 3/8 de pulgada o más. La torcedura puede revisarse estirando un pedazo de cuerda y midiendo con una regla. Los números en las miras se revisarán al recibirse las miras, para tener la seguridad de que los números en la placa en el reverso de la mira concuerden con el número estampado en el lado del pie de apoyo, o en cualquier otro lugar de la mira.

### 2.15.2.1 Comprobación de Verticalidad de Miras

<b>MIRA # 1: No. 66199</b>		<b>MIRA # 1: No. 66200</b>	
N-S	E-W	N-S	E-W
1700 = 3.2 cm.	1700 = 2.9 cm.	1700 = 3.4 cm.	1700 = 2.9 cm.
0700 = 3.2 cm.	0700 = 3.0 cm.	0700 = 3.5 cm.	0700 = 3.0 cm.
<b>DIF. = 0.0 cm.</b>	<b>0.1 cm.</b>	<b>DIF. = 0.1 cm.</b>	<b>0.1 cm.</b>
<b>Error:</b>	<b>1.0 mm.</b>	<b>1.0 mm.</b>	<b>1.0 mm.</b>

#### **Observación:**

Inicialmente se puede realizar una observación o chequeo inmediato, colocando las dos miras sobre un soporte de la misma y nivelarlas con su nivel esférico de una de ellas, de existir diferencia en el centrado, requieren ser chequeados ambas miras. También se puede verificar con el hilo vertical del instrumento siempre y cuando también éste esté en buenas condiciones.

#### **Corrección:**

En la mira No. 66199 se hizo el chequeo N-S (frontal), sujetándolo en un poste fijo sobre un soporte,

atando la cuerda de la plomada en la parte superior y en la lectura de 1700 se midió con una escuadra centimetrada una distancia de 3.2 cm, al igual que en 0700 una distancia de 3.2 sin obtener ninguna diferencia, lo que significa que frontalmente las miras están bien.

En la misma mira el chequeo E-W (lateral), en 1700 se midió 2.9 cm y en 0700 se obtuvo 3.0 cm, una diferencia de 0.1 cm = 1mm, lo que significa que se la debe corregir. Recorrer la base de la mira haciendo coincidir una misma medida tanto para 1700 y 0700, lógicamente el hilo de la plomada debe estar paralelo a la mira, ante esta operación la burbuja del nivel esférico seguro que se ha desplazado entonces se la debe centrar con los tornillos de corrección del nivel, repetir los pasos anteriores hasta lograr que la mira esté óptima y seguir el mismo procedimiento con la otra mira.

### 2.15.3. Trípode Fijo

Los trípodes fijos son recomendados exclusivamente para trabajos de nivelaciones de precisión.



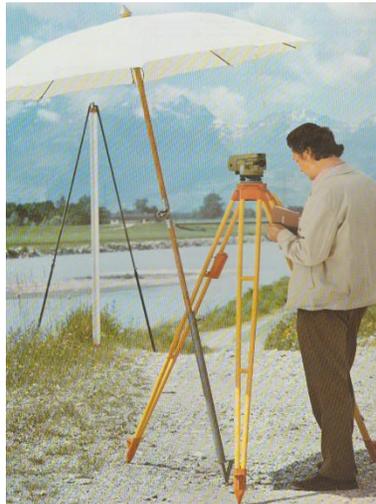
**Figura 24:** Trípode fijo.

**Fuente:** Propia.

### 2.15.3.1. Comprobación del Trípode Fijo

En trípode se verifica el ajuste metálico. Se revisa el ajuste del eje de las bisagras, en la unión de las patas de madera con la parte metálica de la bisagra y en la de la unión de la madera con la punta metálica que se apoya en el suelo. Una sencilla comprobación para verificar el ajuste de la articulación de una pata consistente en colocar el trípode boca abajo y comprobar que el movimiento de caída de sus patas sea lento y uniforme.

Durante el trabajo de campo el nivel deberá ser protegido permanentemente de los rayos solares directos, siendo conveniente usar al efecto una sombrilla especial



**Figura 25:** Comprobación del trípode fijo.

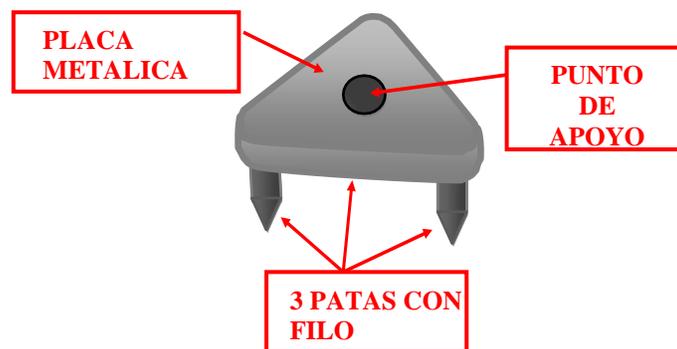
**Fuente:** Topomundo, 2018.

### 2.15.4. Puntos de Apoyo de la Mira.

La mira se apoyará sobre el punto establecido en cada marca de cota fija y en los puntos de cambio;

debiendo utilizarse, en estos últimos, un apoyo artificial que garantice la estabilidad necesaria compatible con la precisión de la nivelación que se ejecuta. Los apoyos artificiales de puntos de cambio de la nivelación pueden corresponder a estacas de fierro o a placas metálicas.

Las estacas de fierro, al permanecer hincadas, tienen la ventaja que permiten comprobar la nivelación todas las veces que se desee. Las placas metálicas (sapos), presentan una superficie de apoyo inalterable, pero una vez retiradas o movidas no es posible reproducir su nivel original.



*Figura 26: Puntos de apoyo de la mira.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 2.16. Comprobación del Nivel

Aunque el nivel haya sido ajustado cuidadosamente, existirá siempre un error residual. Cuando una visual de frente y otra de espalda difieren mucho en longitud, debe hacerse la corrección correspondiente a este error.

Se establecerá un punto de comprobación cuando la nivelación en dirección adelante de la línea, sea interrumpida por cualquier razón de cualquier índole, y se recuperará antes de proceder con la nivelación. Este punto de comprobación se hallará a una distancia de por lo menos una estación de instrumento de la marca de cota fija. Un punto de comprobación es una nivelación de una estación de



instrumento (set up) que proporciona la diferencia en elevación entre la marca de cota fija y algún punto sólido temporáneo establecido por la brigada. Esta diferencia debe ser de por lo menos 1/2 metro. Cuando se reanude la nivelación esta diferencia deberá concordar dentro de un milímetro o tendrá que nivelarse nuevamente la sección anterior, por esta razón debe tenerse mucho cuidado al establecer los puntos de comprobación

### **2.16.1. La Constante Taquimétrica y su Determinación para WILD N III "K"**

La constante taquimétrica de un aparato es el factor por el cual se multiplican las sumas de intervalos de todas las vistas atrás y adelante de una sección entera, determinándose así la longitud de la sección en metros. La constante taquimétrica también se usa en las estaciones individuales de instrumento para

determinar si las vistas atrás y adelante son de igual longitud y para encontrar el valor de la diferencia. La longitud de una sección se usa para calcular la divergencia permisible entre las diferencias de elevación de las nivelaciones de ida y regreso. La longitud de las secciones calculada por la constante taquimétrica también se usa para verificar las distancias determinadas por velocímetro de automóvil en la anotación de las descripciones de las marcas. La constante taquimétrica se determina antes de usar un aparato nuevo y se anota en la libreta de campo en una página distinta a las usadas para la nivelación; debe aparecer en el frente de todas las libretas que contengan apuntes del aparato, junto con la fecha de determinación. Se selecciona un tramo de terreno largo y relativamente plano, como una carretera, canino, acera o vía férrea. Se coloca y se nivela el instrumento y se suspende una plomada desde el centro del instrumento.

De la punta de la plomada mídase 0.20 metros hacia atrás al punto "0" de la cinta. Luego se mide hacia adelante una distancia de 75.0 metros y se marca el punto con un pedazo de papel con clavo, con la numeración "75". Se procede en la misma dirección, midiendo de 10 en 10 metros y colocando señales en las marcas de 85, 95, 105, 115 y 125 metros. Las distancias efectivas desde el centro del instrumento hasta los puntos establecidos serán de 74.80 metros, 84.80 metros, etc.

Se nivela el instrumento y se coloca una mira sobre el primer punto, o sea, el de 75 metros. Es importante que el portamira mantenga la burbuja de la mira perfectamente centrada durante estas operaciones. El observador efectúa la lectura de los tres hilos en el frente de la mira; el anotador las anota en la columna



de la libreta para las lecturas de una vista atrás y calcula Los dos intervalos, superior e inferior, cerciorándose de que no difieran por más de dos milímetros, difieren por más de dos, se repiten las lecturas hasta que concuerden. Al terminar la lectura en el primer punto, la mira se mueve y se coloca sobre el segundo y demás puntos sucesivamente, y se repite el mismo procedimiento de lectura y anotación en cada punto. El anotador suma los intervalos totales de las seis lecturas.

La constante se determina dividiendo la suma de las distancias medidas (600.0 metros) entre la suma de los intervalos. Como se indica en el ejemplo, se calcula por separado la constante para cada observación con el fin de evitar error en las medidas de las seis distancias, y el promedio de los seis cálculos hechos individualmente proporcionará una comprobación numérica del primer cálculo. Si alguno de los seis valores obtenidos en la página derecha varía por más de 0.002m del promedio de todos, el valor que difiera se comprobará y la distancia correspondiente Se medirá por segunda vez. Se recomienda hacer la determinación de la constante taquimétrica por la mañana para evitar los errores de lectura causados por la turbulencia del aire en las vistas largas cerca del mediodía.



<b>LIBRETA DE NIVELACION</b>												
FECHA: 21 de Abril 2021	Sof. S. Limachi		DESDE:	DE	HASTA:	DE	HASTA:	DE	HASTA:	DE		
SOL: 4	Sof. Gonzales		VIENTO:	1	HORA:	09:20						
No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
DETERMINACION DE LA CONSTANTE TAQUIMETRICA PARA WILD N III #												
	1536											
75	1411			125			75	0.3012	0.301	MIRA #		
	1287			124			249					
	1617											
85	1475			142			85	0.2992	0.299			
	1333			142			284					
	1691											
95	1533			158			95	0.2996	0.300			
	1374			159			317					
	1587						850					
105	1412			175			105	0.3000	0.300			
	1237			175			1200					
	1646											
115	1454			192			115	0.2994	0.299			
	1262			192			384					
	1730						1584					
125	1522			208			125	0.3004	0.300			
600	1314			208			416					
	600	0.300					2000					
	2000						1799	0.2999	0.300			
							6					
CONSTANTE TAQUIMETRICA = 0.200 PARA WILD N III #												
SOF. MTR. DEPPSS SEVERINO A. LIMACHI POMA												

Tabla 2: Determinación de la constante taquimétrica.

Fuente: Elaboración propia.



### 2.16.2. Determinación del Error del Nivel (Factor "C")

El error de un nivel, "C", está representado por la amplitud de la desviación de la línea visual del aparato, cuando el instrumento está nivelado, de la línea horizontal que pasa por el eje óptico del instrumento, expresado en milímetros por milímetro de intervalo taquimétrico.

Diariamente, antes de empezar la nivelación, el error "C" se determina y se anota en la libreta, en una página distinta de las que se usen para las anotaciones regulares de la nivelación; se anotan también la fecha, hora, número del aparato, y nombres del observador y anotador. Por supuesto, se desea tener el instrumento en perfecto ajuste antes de empezar el trabajo; sin embargo, a causa del trabajo que esto requiere se ha establecido un límite de 0.010 mm por mm de intervalo taquimétrico, y si el error "C" resulta menor que este valor, se considera que el aparato está en ajuste satisfactorio. Si resulta mayor que el límite, se ajusta el instrumento hasta que el valor de la constante resulte menor que el límite. Se recomienda que cuando el valor "C" sea  $\pm 0,008$  o más alto, se ajuste el instrumento. La constante "C" será también determinada durante las operaciones del día cuando el observador lo crea necesario. Cuando se ajuste el aparato se hará inmediatamente una nueva determinación de la constante, no sólo para comprobar la precisión del ajuste que se acaba de hacer, sino para facilitar un nuevo valor de "C" para las correcciones de oficina.

La determinación de "C" se hace colocando dos miras sobre sus respectivos puntos de apoyo con unos cien metros de separación. Se coloca el instrumento entre las dos miras aproximadamente a diez metros de una de ellas. Se nivela con cuidado el aparato y se observan las lecturas de los tres hilos sobre la mira distante, anotando estas lecturas en la página derecha de la libreta de anotaciones. El aparato se dirige hacia la mira cercana, y cerciorándose de que la burbuja esté nivelada, se leen los tres hilos y se anotan en la página izquierda de la libreta. Esta primera puesta de aparato se denomina estación A y se designa así en la columna para número de estación. No se requieren lecturas del lado inverso de la mira en la determinación de "C". Cuando las observaciones en la estación "A" hayan sido terminadas y el anotador indique que los intervalos superior e inferior no difieren por más de dos milímetros, el observador levantará el instrumento y le trasladará, protegiéndolo contra el sol, a una posición entre las dos miras, pero a más o menos diez metros de la otra mira, permaneciendo éstas en las mismas posiciones. Esta segunda puesta del instrumento se designa estación "B", y después de nivelar el instrumento de nuevo, se repite el procedimiento, observando la mira cercana antes que la mira distante, ahorrándose así un



cambio de enfoque del aparato. Una vez que el anotador indique que los intervalos comprueban, se calcula el valor de "C"

Se calcula el valor de mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\begin{array}{l} (\text{Suma lecturas hilo central } \quad ) - (\text{Suma lecturas hilo central}) \\ (\quad \text{Mira cercana } \quad ) - (\quad \text{Mira distante } \quad ) \end{array}}{\begin{array}{l} (\text{Suma intervalos taquimétricos}) - (\text{Suma intervalos taquimétricos}) \\ (\quad \text{Mira cercana } \quad ) - (\quad \text{Mira distante } \quad ) \end{array}}$$

El cálculo de "C" se ejecuta de la siguiente manera: Después de sumarse las lecturas de los hilos centrales de las miras distantes se determina la corrección en cuanto a curvatura y refracción necesaria en las vistas distantes. Multiplíquense los intervalos taquimétricos, estación "A", por la constante taquimétrica, determinándose así la distancia en metros del aparato hasta la mira distante. Búsquese en la tabla la corrección a la vista distante, estación "A" usando la distancia como argumento. Repítase este mismo procedimiento para estación B, y súmese las dos correcciones, tomando en cuenta que la corrección siempre es de signo negativo, y aplíquese esta corrección a la suma de las lecturas de hilo central en la mira lejana.

Nunca se suman las distancias antes de buscar la corrección en la Tabla 3, puesto que la corrección no directamente con la distancia. No se aplica la corrección de curvatura y refracción a las vistas de la mira cercana por la simple razón de que, a menos de 27 metros de distancia, la corrección no llega a ser 0.1 mm o un lugar en la última cifra del total. Después de corregir las vistas distantes, se transfiere la menor de las sumas de los hilos centrales debajo de la mayor y se efectúa una resta. Al resultado se le aplica signo positivo (+) si la resta se hizo en la página izquierda y signo negativo (-) si la resta se hizo en la página derecha. De la suma de los intervalos de la mira distante se resta la suma de Intervalos de la mira cercana, y el resultado de esta operación se divide entre la diferencia de los hilos centrales. El resultado de la división es el valor de "C" y debe ser calculado a tres cifras decimales, llevando la división a la cuarta cifra y forzando la tercera si es necesario, es deseable determinar la constante "C" bajo las mismas condiciones que se encontrarán durante las operaciones normales del día, tales como tipo de terreno, elevación de la línea visual sobre el terreno y largo de vista.



Cuando se esté trabajando en terreno montañoso y el observador encuentre dificultad en hallar un lugar donde se pueda efectuar la determinación de "C" con vistas lejanas de 90 metros, es deseable que el largo de la vista lejana sea aproximado al largo de vista que será utilizado en el trabajo ordinario del día; pero se usarán vistas distantes menores de 30 metros únicamente bajo condiciones muy excepcionales. Es obligatorio efectuar la determinación de "C" en el mismo lugar donde se vaya a empezar la nivelación del día para no correr el riesgo de dañar el ajuste de instrumento cuando se transporte del lugar de toma de "C" al lugar de trabajo.

Inmediatamente después de calcular el valor de "C" el anotador entregará la libreta al observador para una revisión y verificación de las operaciones aritméticas, y después de verificar las operaciones el valor escribirá sus iniciales en la parte inferior de la página derecha con una marca de comprobación. En caso de que sea necesario ajustar el instrumento, el observador revisará la libreta antes de comenzar el ajuste, en la primera determinación, el valor de "C" excedió de 0.010, de modo que fue necesario ajustar el instrumento. Este ajuste se hizo manteniendo el instrumento en la misma posición de estación "B", y apuntando hacia la mira distante. El ajuste se hace siempre al hilo central del instrumento con el aparato dirigido hacia la mira distante, y la cantidad de ajuste al milímetro más cercano se determina multiplicando el valor de "C" por el total del intervalo observado en la última observación de la mira distante. Si "C" resulta positiva, indica que la línea visual está inclinada bajo la horizontal y, por tanto, tiene que ser elevada; se suma la corrección a la lectura previa del hilo central en la mira distante. Si "C" resulta negativa, indica que la línea visual está inclinada sobre la horizontal y por tanto debe bajarse, y se resta la corrección de la lectura previa del hilo central en la mira distante.

Para hacer este ajuste, se afloja el tornillo pequeño (parte #10) que está debajo del lente protector (cuna óptica) del anteojo, y se gira el anillo del lente protector (parte #9) en la dirección necesaria hasta lograr que la imagen del hilo horizontal del centro coincida con la graduación que se desea en la mira. Durante el ajuste, la burbuja del nivel tubular se debe mantener exactamente en el centro por medio del tornillo de ajuste fino. Una vez hecho el ajuste deseado, se aprieta moderadamente el tornillo que fija el lente protector, se comprueba que el hilo central esté en la graduación requerida con el tornillo fijado y la burbuja centrada, y se determina "C" de nuevo.

Es muy importante que todas las anotaciones sean nítidas, legibles y completas, la primera determinación debe ser anotada en la parte superior de la página, dejando espacio para otra determinación en la misma página.







## 2.17. Reconocimiento y Monumentación

### 2.17.1. Selección De Sitios Para Marcas De Cota Fija

La persona responsable hará un cuidadoso reconocimiento de la nueva línea (entera o en porciones convenientes), con el fin de seleccionar los buenos sitios aprovechables, y determinar las distancias entre dichos sitios y desde las poblaciones más cercanas. Basándose en este estudio y en las normas conocidas, se determinará cuáles de los sitios satisfacen mejor las especificaciones que rigen la densidad de puntos, y cuáles se deben aprovechar por el método de vistas adelante extra. Se determinarán también cuáles tramos carecen de buenos sitios con el fin de volver a estudiarlos, buscando los sitios más aceptables, o resolver si se deben emplear puntos temporales o provisionales (TBM' s).

La distancia entre puntos permanentes en nivelación de Primer Orden debe ser de una milla más o menos, pero se permite y se aconseja cierta flexibilidad en esa norma para obtener buenos sitios. La distancia bien puede variar entre 0.5 hasta 1.5 millas, buscándose un promedio máximo de una milla.

En los casos especiales en que se pasa por poblaciones de importancia, empalmes importantes de vías de comunicación y campos de aviación, se deben escoger sitios para tres hitos permanentes; uno cerca del centro, y los otros dos a un lado y otro, más o menos a 0.5 millas del punto céntrico.

Al considerarse sitios para hitos permanentes, los factores generales son en orden de importancia:

- (1) Permanencia, estabilidad.
- (2) Fácil foto identificación, buenas referencias.
- (3) Acceso para observación y construcción.

Los sitios adecuados son: cercanos a intersecciones de vías de comunicación; cercanos a intersecciones de caminos y cauces; intersecciones de líneas de setos vivos prolongados hasta la ruta de observaciones; en caminos de ladera, los narizones o salientes de tierra firme al costado opuesto o contrario a los taludes.

En zonas de carretera, ferrocarril o camino vecinal deben colocarse alejados del eje de la ruta tanto como sea posible, por lo menos 15 metros, pero no más de 50 metros. En curvas horizontales, el sitio deseado está al costado exterior de la curva. En tangentes o rectas de carretera, deben alternarse los sitios de lado



a lado, previniendo una futura rea lineación de la ruta con la consecuente pérdida de los sitios en uno de los costados. En curvas verticales, los sitios mejores son los puntos intermedios entre la cresta y el punto más bajo de la pendiente, y en los cambios de corte, entre cortes y rellenos. En intersecciones de vías y cauces, los buenos sitios quedan entre 30 y 50 metros alejados de la intersección, a menos que haya una estructura permanente donde un disco o placa incrustada servirá bien.

Los sitios inadecuados son:

- En curvas horizontales, el terreno en el lado interior.
- En curvas verticales, la cresta y la parte inferior.
- Cualquier relleno o terraplén de tierra removida.
- Cualquier pie de talud.
- Orillas de cauces.
- Puntos mal drenados.
- Cualquier obra de concreto con base de poca profundidad, tal como las aceras y sus bordes o extremos, pavimentos de calle o de carretera, postes de kilometraje, etc.
- Cualquier punto sujeto a tránsito sobre el mismo, ya sea de ruedas, bestias o peatones.

Acceso para observación: Es preferible que los sitios no estén a más de 1.00 metro más altos ni 1.80 metros más bajos del eje de la ruta. Es deseable tener visibilidad para vista adelante o atrás sin necesidad de trabajo de machete, arriba no debe haber ramas ni otros objetos que obstaculicen la mira vertical.

### **2.17.2. Construcción de marcas de Cota Fija**

El procedimiento para la construcción comprende: se cava un hoyo, el cual debe tener como mínimo 1.00 metro de profundidad, 35 cm. de diámetro en el fondo, y 25 cm en la superficie. (Véase la figura 27). Hay que limpiar el fondo tanto como sea posible, quitando la tierra suelta, es aconsejable ponerle al fondo una capa de piedras del tamaño de un puñado, mojarla y apisonarla bien antes de echar la mezcla de concreto. La mezcla de concreto debe ser de 1:2:4 (una parte de cemento, dos partes de arena y cuatro partes de grava ordinaria), de elementos limpios, mezclados 5 veces en seco y 5 veces mojados.

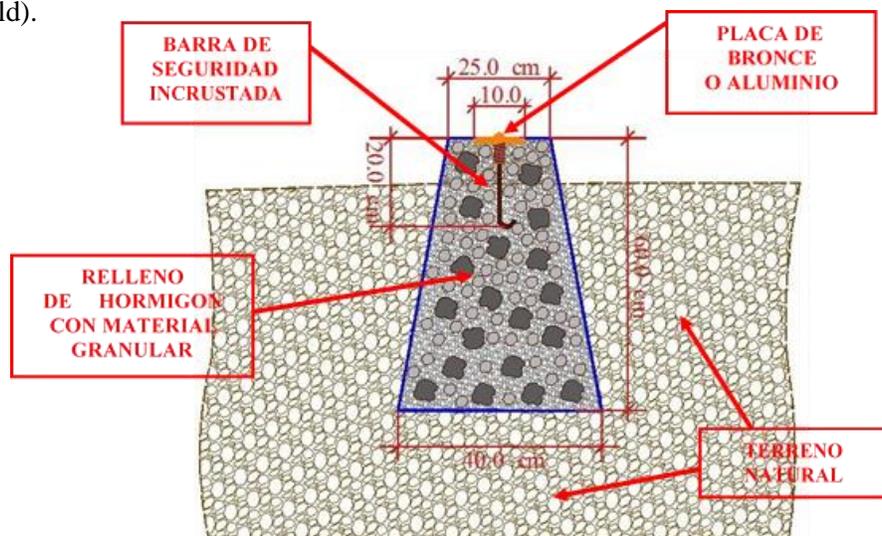
La cantidad de agua agregada será la mínima para asegurar la mojadura de los elementos, mientras se echa la mezcla en el hoyo es menester vibrarla mediante penetración con una barra o estaca, conviene

que los tres (3) cm. de mezcla superior sean enriquecidos a proporciones de 1:3 quitando la grava de mayor tamaño. El disco de cobre, previamente estampado, se incrusta con sus debidas seguridades contra extracción, se hunde lo suficiente para hacer difícil su extracción por medio de filo de machete o herramienta similar, cuidando que lo grabado o estampado en el disco quede al descubierto: se pule la superficie del concreto y se cubre con hojas o con papel mojado para que se fragüe lentamente.

En los casos de hitos subterráneos, la tierra encima no debe pasar de 10 centímetros y hay que colocar o seleccionar algún punto de referencia a distancia más o de 10 a 30 metros. Tales puntos de referencia pueden ser postes especiales de concreto, postes de madera duradera, montones de piedras, clavos o pernos en árboles, marcas de cincel en roca viva, etc. Lo importante es que haya la suficiente información para recuperar el hito en cualquier momento dado.

El modo más económico y preferible de instalar las marcas de cota fija consiste en utilizar rocas que sobresalgan del piso y sean bien estables. En las estructuras permanentes, o bases de edificios, el amojonamiento se reduce a perforar un hueco apropiado y fijar el disco.

Cuando no se encuentren objetos como los anteriormente citados se tendrá que construir un hito, la forma y tamaño de este hito es diferente en los distintos países, si un reconocimiento preliminar indica que la línea de nivelación cruzará zonas inestables tales como lechos de crecientes, llanuras aluviales, ciénagas, zonas de terremotos, etc. se puede requerir otro tipo de hito, empleando varillas cobrizadas (Copperweld).



**Figura 27:** Construcción de marcas de Cota Fija.

**Fuente:** Elaboración propia.



## 2.18. Trabajos de Campo

### 2.18.1. Equipo utilizado en Nivelación de Primer Orden

La clase y marca de fábrica de los instrumentos y equipo varían de acuerdo con las existencias de la institución para la cual se trabaje o el proyecto que se quiera encarar. A continuación, se muestra una lista del equipo necesario para una brigada que salga al campo a realizar trabajos de nivelación de primer o segundo orden:

- 1 Nivel geodésico con funda o caja protectora
- 2 Miras precisas con su caja de protección
- 1 Cubierta de lona para el instrumento
- 3 Niveles de mano
- 1 Brújula
- 1 Cinta métrica de 30 m
- 2 Sapos
- 2 Estacas metálicas
- 2 Martillos de 2 libras
- 1 Paraguas
- 2 Machetes
- 1 Tabla con presilla de tamaño 9" x 15"
- 1 Máquina calculadora de mano
- 1 Máquina de escribir o PC portátil (no indispensable)
- 1 Transportador
- 1 Juego de reglas y escuadras
- 6 Lápices de colores
- Suficientes libretas de campo
- Suficientes formularios de descripción
- Suficientes resúmenes de nivelación
- Suficientes formularios de notas de campo para descripción
- 2 Limas
- 1 Botiquín



## 2.18.2. Organización de una Brigada de Nivelación de Primer Orden

En casos normales, una brigada de nivelación de primer orden consta del personal siguiente:

- 1 Observador
- 1 Anotador o secretario
- 2 Portamiras
- 1 Porta paraguas
- 1 Conductor de vehículo (cuando sea necesario)

Las características y obligaciones de los miembros de la brigada de nivelación serán las siguientes:

### A) Observador

El observador, quien actúa también como jefe de la brigada, dirigirá la nivelación, hará las observaciones con el instrumento, y comprobará todas las anotaciones y cálculos de campo. El observador debe aprender el trabajo del anotador y viceversa, para que así puedan cambiar de trabajo cuando les sea conveniente.

Al instalarse el instrumento, el observador tendrá cuidado de seleccionar el lugar que proporcione el mejor sostén para el trípode. Debe tenerse especial cuidado al nivelar a 10 m de largo de caminos asfaltados, particularmente en climas cálidos, debido a que las patas del trípode casi siempre se asientan durante la observación con el solo peso del aparato. Solamente debe utilizarse el trípode diseñado con especialidad para el instrumento, y el observador debe cerciorarse que todas las partes movibles estén bien ajustadas (en la caja del instrumento viene una llave de ajuste para este fin).

Al conectar el nivel a la cabeza del trípode, debe apretarse moderadamente, sólo lo suficiente para evitar que el instrumento se afloje al llevarse de una estación a otra. El apretar demasiado el eje conector causa tensión en la placa de la base del nivel, dando por resultado el desgaste de los tornillos para nivelar el aparato y la deformación de otras partes de la base. El observador se cerciorará de que las dos mitades de la burbuja tubular estén en perfecta coincidencia en el instante de tomarse la lectura de la mira.

El observador deberá dar en voz alta, clara y sin titubeos, las lecturas de la mira para que el anotador no tenga dificultad para entenderlas. El observador debe tomar las lecturas en forma consecutiva, sin demoras inexcusables. Sin embargo, no es menester hacerlo con demasiada rapidez. El observador



acelerará el ritmo de su trabajo al moverse rápidamente de una estación a otra e instalar el aparato en forma rápida. Tan pronto como el anotador indique al observador que las lecturas concuerdan, (atrás y adelante), éste dará la debida señal al portamira trasero para que prosiga hacia adelante, levantará el instrumento, y lo cambiará a la siguiente estación.

### **B) Anotador**

El anotador debe tener todas las anotaciones de sus libretas de observaciones en forma clara, ordenada, legible, con todos los detalles exactos y completos. Debe ser rápido y exacto en todos sus cálculos aritméticos según se requiera para completar los registros de campo. El progreso de la brigada depende en gran parte de la rapidez y exactitud del anotador. El anotador debe estar alerta para informar al observador acerca de cualquier irregularidad, omisión o descuido antes de que se cambie el instrumento a la siguiente estación, a fin de evitar errores que a veces ocasionan una nueva recorrida de toda la sección.

### **C) Portamiras**

El portamira es tan importante como los demás miembros de la brigada. El individuo seleccionado para este trabajo debe estar bien adiestrado a fin de que desempeñe su trabajo con la mayor eficiencia posible. Un portamira descuidado y olvidadizo puede ser la causa de muchos errores inexplicables tanto pequeños como grandes que se pueden evitar mediante adiestramiento y supervisión adecuados.

Debe inculcarse en la mente del portamira la idea de tratar y considerar la mira como lo que en realidad es: un instrumento de precisión. La mira es tan importante como el nivel si se desea lograr un trabajo de primer orden.

Las partes más importantes de la mira son la faja de metal invar y el pie de apoyo. La tira de metal invar debe conservarse siempre limpia, y nunca debe manipularse innecesariamente o permitirse que esté en contacto con la tierra. La parte inferior del pie de apoyo debe mantenerse limpia (sin polvo o alguna otra materia pegajosa o extraña). Las miras deben examinarse con frecuencia para determinar si tienen defectos, especialmente en la base del soporte. De tanto usarse, a veces se afloja el pie de apoyo, y a veces se le forma una depresión en la base. En este caso, se puede comprobar el desgaste poniendo una regla de acero a lo largo de la base de la mira.



La mira debe manejarse con mucho cuidado, pues debido a su longitud se puede golpear con facilidad contra obstrucciones en la línea. Durante la nivelación, el portamira debe cargarla unas veces por la agarradera, Otras veces en el hombro con la cara hacia abajo, y otras veces en el hombro con la cara hacia arriba. Si una mira se lleva siempre en la misma posición horizontal, se torcerá ligeramente tomando la forma de un arco y afectando la precisión de sus graduaciones, con lo cual quedará anulado en gran parte el fin que se persigue con la calibración y apareamiento. Al viajar deben transportarse siempre las miras en sus respectivas cajas.

El portamira tendrá cuidado especial de establecer sus puntos de apoyo bien firmes sobre el terreno, descansar el pie de la mira exactamente sobre el mismo punto para ambas visuales y mantenerla perfectamente vertical durante la observación con la ayuda del nivel circular montado en el reverso de la mira.

#### **D) Porta Paraguas**

El hombre que lleva el paraguas para proteger el instrumento contra los rayos directos del sol, siempre debe mantener el instrumento sombreado, teniendo cuidado de no obstruir las operaciones ni la línea visual del observador. El porta paraguas es también un miembro importante de la brigada, y debe estar adiestrado para llevar a cabo las conversiones de metros a pies con rapidez y exactitud a fin de efectuar la comparación entre las lecturas del frente y reverso de la mira.

La conversión a pies de la lectura de la mira puede efectuarse mentalmente dentro de dos centésimas de pie en la forma siguiente: Divídase la lectura métrica central por tres y réstese uno y medio multiplicado por el número de pies, expresado en centésimos de pie.

Se da un ejemplo a continuación:  $28.01/3 = 9.33$  pies =  $9\ 33 - (0.09 \times 1.5 = 0.14) = 9.19$  pies. Sin embargo, esta conversión por lo general se efectúa mediante una tabla sobre una tarjeta.



## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

#### 3.1. Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo presenta la forma de realizar diferentes actividades de forma sistemática, organizada y estructurada haciendo referencia a una o varias técnicas para desarrollar el proyecto planteado. A partir de ello, la ejecución de un estudio topográfico geodésico debe estar enmarcada por una metodología técnica que describa el procedimiento adecuado de los trabajos de campo y los trabajos de gabinete, es así que se sitúan diferentes etapas para la realización del proyecto, cada etapa es caracterizada por diferentes métodos y técnicas propias de la topografía y la geodesia.

En términos generales, el desarrollo de trabajo se resume en cuatro etapas importantes: planificación, establecimientos de los controles horizontales y verticales, levantamiento topográfico y elaboración de planos, la Figura 28, muestra las características de cada etapa del proyecto de estudio topográfico geodésico.



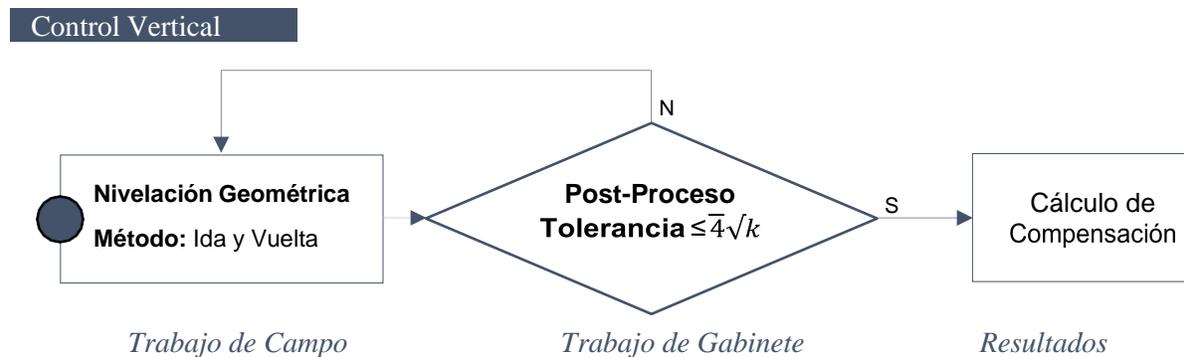
**Figura 28: Etapas de desarrollo del trabajo.**

*Fuente: Elaboración propia.*



La etapa de planificación se caracteriza por ser un periodo organizativo del proyecto, donde, a partir de un reconocimiento del área de trabajo, se establecen las estrategias operacionales principalmente de los trabajos de campo. Es en esta etapa donde se proyectan los plazos, costos y el modo operativo del proyecto, así mismo, se define la mejor distribución y materialización en campo de los puntos de control, ya sean estas primarias o secundarias.

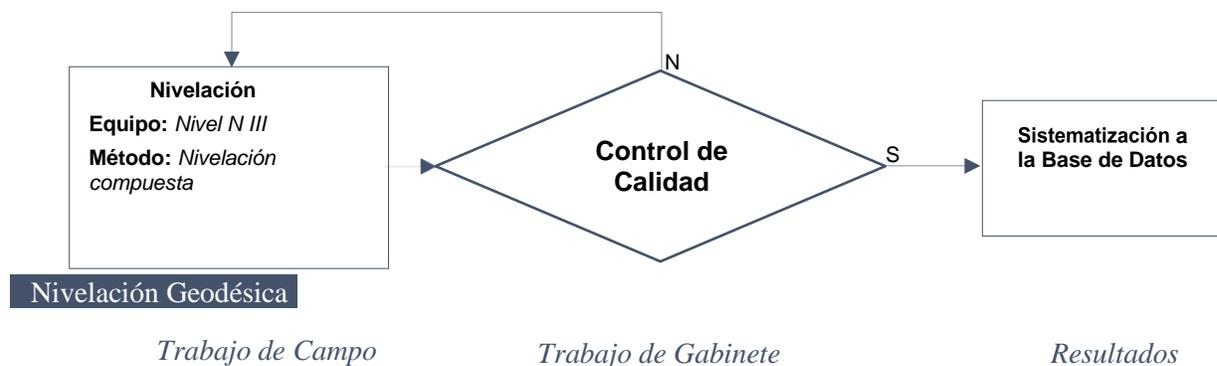
Durante la segunda etapa del proyecto, con relación al establecimiento del control vertical, la metodología de trabajo debe seguir las condiciones que son descritas en la Figura 29, donde también se muestran las técnicas y métodos que se deberán cumplir.



**Figura 29:** Metodología de trabajo de la segunda etapa.

**Fuente:** Elaboración propia.

Con relación a la etapa de la nivelación geodésica, las condiciones que se deberán cumplir son descritas en la Figura 30, esta es quizá la etapa con mayor trabajo de campo debido a los detalles que deberá cubrir, es por ello que los métodos, técnicas y condiciones de dicha etapa son importantes para el desarrollo de todo el proyecto.



**Figura 30:** Metodología de trabajo de la tercera etapa.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2. Instrumento

Con la metodología de trabajo delimitada, es importante revisar los instrumentos que se emplearan y sus características, pues debido a la relevancia que implica un estudio topográfico geodésico, estos instrumentos deben ser adecuados para cada etapa del proyecto.

A continuación, se describe el instrumento empleado para el control vertical.



**Figura 31:** Nivel Wild N III

**Fuente:** <https://www.topoinstrumentos.cl/product/nivel-manual-wild-n-3/>

#### Características

- Placa plano paralela incorporada
- Imagen directa
- Precisión de nivelación de montaje 0,1mm
- Precisión de nivelación cerrada de 1 km 0,2 mm por km.
- Aumentos, variables por ser el lente panfocal 21x (2m)/45x (100m)
- Imagen: Directa
- Distancia mínima de enfoque: 0.45 m
- Retículo: Cuña
- Sensibilidad del nivel tubular: 10"/2mm
- Error por kilómetro en nivelación cerrada: 0.2 mm
- Lectura con micrómetro de placa plano paralela: Directo estimado: 0.1mm 0.01mm/0.02mm
- Sensibilidad nivel esférico: 2"/2 mm



- Peso: 3,7 Kg.

### 3.3. Materiales y Herramientas

La descripción de los materiales necesarios para la realización de diferentes tareas en campo y gabinete son descritas en la siguiente tabla, por otro lado, las herramientas empleadas para la elaboración, proceso, cálculos y sistematización del proyecto son detalladas posteriormente.

Material	Observación
Pinturas	Materiales para la cimentación de mojones para todos los puntos de control vertical
Bulones	
Arena	
Cemento	
Libretas	Materiales de escritorio para los trabajos de gabinete.
Hojas de papel	
Carpetas	
Lápices	
Marcadores	

**Tabla 5:** Materiales utilizados en el proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.

Herramientas	Observación
<b>Equipos</b>	
Laptop / Toshiba	Equipo de computación para trabajos de gabinete
Handy / Motorola MH230	Equipos de comunicación en campo



Cámaras / Samsung	Dispositivos para toma de fotografías en campo
Navegadores / Garmin Etrex10	Dispositivo de navegación por GPS
<b>Transporte</b>	
Camioneta / Toyota Hilux	Medio de transporte en campo
Deslizadores	Medio de transporte en el lago
<b>Software</b>	
ArcGis 10.0	Construcción de Base de Datos
Microsoft Office	Trabajos de Ofimática

**Tabla 6:** Herramientas utilizadas en el proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4. Personal de Trabajo

La gestión del personal durante el desarrollo del proyecto, tanto en la organización como la responsabilidad de cada uno, está definida a partir de las necesidades de cada una de las etapas que fueron establecidas en la metodología del presente proyecto.

Las actividades que requieren de la intervención de personal en la etapa de planificación, son durante el reconocimiento de campo y la monumentación de mojones para los puntos de control vertical.

A continuación, se detalla el personal que participo en la ejecución del proyecto:

Personal	Cantidad	Responsabilidad
Geodesta topógrafo	2	Profesional a cargo de la planificación técnica y coordinación de la ubicación de la cimentación de mojones.



Alarifes	4	Profesional a cargo de la ejecución y apoyo
Chofer	1	Encargado de la movilización del personal

**Tabla 7:** Personal de trabajo que ejecuto el proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5. Presupuesto

El presupuesto es una herramienta que permite saber cuáles son los gastos durante el tiempo de desarrollo del proyecto, además de identificar los gastos de operación que se necesitaran cubrir y de esta forma tomar medidas cuando se requiera hacer un recorte de gastos.

A partir de ello se describe el presupuesto a nivel general del proyecto:

Ítem	Descripción	Precio (Bolivianos)
I	Tareas Previas	150,00
II	Cimentación de Mojones	1.000,00
III	Establecimiento de Control Vertical	1.520,00
IV	Trabajos de Gabinete	1.450,00
V	Transporte Terrestre y Fluvial	2.500,00
VI	Alimentación	850,00
VII	Hospedaje	1.400,00
	<b>Sub Total</b>	8.870,00
	IVA	1.419.2
	<b>Costo Total</b>	10.289.2

\*El presupuesto no contempla los honorarios de los profesionales que participaron.

**Tabla 8:** Presupuesto del proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.6. Cronograma de Actividades

El cronograma de actividades permite organizar, ejecutar y monitorear todas las actividades o tareas relativas a la estrategia del plan de trabajo para el desarrollo del proyecto de una forma ordenada. Es así que la Tabla 9, a través de un diagrama de Gantt, determina el tiempo de ejecución de cada una de las actividades en las diferentes etapas del proyecto.

ACTIVIDADES		TIEMPO DE EJECUCIÓN (MESES)	
		ABRIL	MAYO
<b>PRIMERA FASE</b>	Comprende la recopilación, selección de información bibliográfica y cartográfica de la zona de estudio, como ser mapas topográficos, informes técnicos, descripción de marcas antiguas conocidas BMs, alturas geométricas de los BMs de la línea de nivelación BH.		
<b>SEGUNDA FASE</b>	Comprende la planificación de trabajo de campo, organización del personal requerido, chequeo de los instrumentos a utilizar, orden de precisión y metodología a emplear en la nivelación.		
<b>TERCERA FASE</b>	Comprende la realización de las observaciones empleando el método cruce de ríos, que permite la obtención de desniveles y distancia del estrecho de Tiquina.		



CUARTA FASE	Comprende la revisión de libretas de nivelación, ajustes, etc. Comparaciones de distancia y desnivel obtenido y análisis de la precisión dentro del margen de la tolerancia establecidas. También la elaborar la memoria explicativa del documento.		
----------------	---	--	---

**Tabla 9:** Presupuesto del proyecto.

**Fuente:** Elaboración propia.



## CAPITULO IV

### MARCO PRACTICO

#### 4.1. Planificación del Trabajo

Una buena planificación es considerada como una ayuda muy importante para el cumplimiento óptimo de la misión y concluir el trabajo en el tiempo establecido satisfactoriamente.

#### 4.2. Recopilación Histórica de los Puntos de Control Vertical de Banco de Niveles (BMS).

El Proyecto de Grado tiene como propósito recuperar los puntos de control vertical de la Línea “BH” que comprende el tramo Huarina – Kasani. Estos puntos fueron establecidos el año 1964 que fueron empotrados estampados por el Instituto Geográfico Militar (IGM), y están ubicados a lo largo de la carretera.

Para esta planificación se reunió toda la información de la zona a trabajar, como ser:

- Vías de acceso, mediante una carretera asfaltada desde la ciudad de El Alto hasta la localidad de Kasani.
- Características de la región y topografía del terreno, corresponden al altiplano y lago en el sector de clima frígido y seco, entre las poblaciones más importantes se menciona a la localidad de Patamanta, Pucarani, Batallas, Tiquina y los centros más importantes en abastecimientos de producción alimenticios, carburantes y lubricantes para vehículos, encontramos a lo largo de la carretera, así mismo cuentan con energía eléctrica, postas sanitarias en población anteriormente mencionadas.
- Medios de comunicación existentes (cabines de ENTEL con tarjeta única y radios para la combinación interprovincial).
- Identificación y “recuperación” de mojones. Cada mojón recuperado presenta un disco de bronce de 9 cm de diámetro y grabado claramente, orientado las letras hacia el norte. El pintado



- de las marcas nos ayudó a recuperar e identificar los mojones, ya que se encontraban en lugares visibles del camino en dirección progresiva de la línea, ubicado en detalle sobresalientes, como ser piedras, postes de luz, alcantarillas, puentes etc. Por las brigadas de reconocimiento y monumentación. Asimismo, se verifico que los BM's. establecidos por las anteriores brigadas, fueron construidos y empotrados tomando en cuenta todas las especificaciones y normas establecidas por el IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia).

Las herramientas y materiales utilizados para este trabajo fueron:

- Palas
- Picotas
- Balde metálico para mezcla
- Cinta métrica de 50 metros
- Brújula
- Cámara fotográfica
- Pintura amarilla
- Brochas
- Formularios impresos
- Material de escritorio necesario

## **4.3. Trabajo De Campo**

### **4.3.1. Reconocimiento De Trabajo De Campo**

Primeramente, se realizó el reconocimiento para la localización de los BM's antiguos del año 1964 a lo largo de la línea con la ayuda de las descripciones obtenidas del IGM, (Sección Archivos). Asimismo, se explicó a la población cercana en especial a sus autoridades el motivo y alcance del proyecto, coordinando acerca del alojamiento y estadía para el grupo de trabajo de recuperación, así también, se socializo a los pobladores del estrecho de Tiquina, sobre la importancia que tiene estas marcas o BMs. para que en el futuro los pobladores valoren y cuiden los mismos y no sean destruidos por personas que ignoren de su importancia.



Cada BM's se encontraba a 2 km, y recuperando los siguientes BM's: BM-B-20, BM-BH-21 (solo pivotes), y BM-BH-25, cabe mencionar que la recuperación de estos puntos se realizó de acuerdo a normas y especificaciones técnicas establecidas. **Anexo N° 1**

Se realizó la monumentación materializado con discos de bronce de 6 cm. de diámetro empotrados en los muelles construidos con vaciado de concreto de cemento de los siguientes BM's. nuevos: BM-BH-25-A y BM-BH-25-B, que se encuentran ubicados en ambos frentes del estrecho de Tiquina, más propiamente cerca de las instalaciones de la Armada Boliviana Distrito Naval No.4 "TITICACA".

**Anexo N° 2.**

#### **4.4. Organización del Grupo De Observación**

Generalmente la organización de los grupos a emplearse, difiere de un país a otro, dependiendo de las posibilidades económicas y el material disponible, ya que para su realización se requiere de dos grupos independientes, encargados a ejecutar exclusivamente las observaciones en ambos lados del obstáculo; sin embargo, el personal que nivela una línea puede ser empleado en estas tareas con solo el inconveniente de retrasarse en el progreso de avance.

En nuestro medio, la falta de personal técnico y material, imposibilitan la organización de grupos independientes, lo que obliga necesariamente a utilizar el mismo personal y material empeñado a nivelar una línea.

El método aconsejado por el "Coast and Geodetic Survey", siendo el más práctico y que da la solución exacta al problema, exige disponer por lo menos del siguiente personal adecuado para esta clase de operaciones:

- Un calculista
- Dos operadores (observadores)
- Dos Réconds (observadores)
- Dos portamiras
- Dos sombrilleros



## 4.5. Instrumental y Material Indispensable Para la Operación

Se realizó la dotación a los grupos de observación, del siguiente material e instrumental:

- Dos instrumentos (niveles)
- Dos trípodes
- Dos miras invar
- Cuatro tablillas o tarjetas
- Dos sombrillas
- Dos radios (eventual)
- Dos compases de puntas
- Un vehículo o dos
- Un bote fuera de borda

La experiencia recogida en los diferentes trabajos que se han realizado, por su solides y precio, se optó por utilizar instrumentos de la marca “Wild” de fabricación suiza.

## 4.6. Descripción Detallada Del Proceso Operativo

Como en cualquiera otra nivelación geométrica de primer orden, previamente se ajustaron y calibraron los instrumentos, determinando la constante taquimétrica “K” de estadía para conseguir el valor del factor multiplicativo indispensable para el cálculo de las distancias. **Anexo N° 3.**

Posteriormente se determinó el error “C” del nivel, que está representado por la amplitud de la desviación, de la línea de vista del aparato, cuando el instrumento está nivelado, la línea horizontal que pasa por el eje óptico expresado en milímetros por milímetro de intervalo taquimétrico, para lo cual se ha establecido un límite de  $\pm 0.009$  mm, cuyo procedimiento se halla demostrado en el **Anexo N° 4** esta operación se realizó diariamente antes de comenzar cualquier observación.

Otro proceso realizado, fue la de chequear la verticalidad de las miras en los sentidos norte, sur, este y oeste **Anexo N° 5.**

Se dejaron marcas de referencia a cada lado del estrecho con sus respectivos puntos de chequeo, con una

diferencia por lo menos de 30 cm. (1 pie) de desnivel entre el BM y el punto de chequeo, con objeto de verificar la estabilidad de las marcas, por sí hubiesen sufrido algún trastorno o movimiento.

#### 4.6.1. Tablillas o Tarjetas

Para el proyecto se utilizaron tablillas, que son planchas construidas de aluminio y madera o cualquier otro material sólido, con dimensiones con un largo de 30 cm por 15 de ancho, pintadas de color negro con una lista blanca de 1 pulgada de ancho. Al medio y a lo largo de la plancha, cuenta con un hueco de forma rectangular, el cual se define por una muesca a cada lado del indicado hueco. La línea central del hueco constituye también, la línea central de la franja amarilla.



**Figura 32:** Tablillas o Tarjetas

**Fuente:** Elaboración propia.

Para poner las tablillas sobre la mira, se observó a través del hueco con el fin de efectuar su colimación conforme a las necesidades, o también se usó un compás de puntas midiendo sobre división de un centímetro de mira visible hasta el centro de la tablilla, para luego determinar el intervalo, poniendo el compás en cualquier sección clara de la mira.

El reverso de la tablilla se sitúa cerca de un centímetro, fuera y frente a la cinta invar sobre la cara de la mira. Se tendrá cuidado especial cuando no se usa el compás, de asegurar que la paralaje posible cause lecturas erradas.

Las tablillas van aseguradas a las respectivas miras por un tornillo, evitándose así movimientos que

puedan producirse.

#### 4.6.2. Procedimiento de Observación

En las miras que fueron utilizadas para la observación, se fijaron dos tablillas a cada una de ellas, a una distancia que nunca debe sobrepasar de un metro entre la tablilla superior e inferior.

En estas condiciones, las miras se colocaron a ambos lados del obstáculo, sobre el BM o marca de referencia, que fue empotrado con anterioridad, en posición vertical, sostenidas por alambres o lienzos de tal manera que evite cualquier movimiento o vibración ocasionadas por el viento u otro fenómeno.



**Figura 33:** Operador Observando Mira Lejana

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 34:** Operador Observando Mira Lejana

**Fuente:** Elaboración propia.

Las observaciones fueron recíprocas y simultáneas desde cada lado del estrecho, realizando las observaciones al mismo tiempo, teniendo la ventaja de que prevalezcan las mismas condiciones atmosféricas en el trabajo de cada observador, así los errores causados por la refracción tienden a compensarse.

El instrumento pudo colocarse o ponerse en estación en un lugar tal, que permitió la lectura cercana a la mira fijada sobre la marca. Una vez que el nivel se halló en condiciones de operar, se enfocó a la mira del lado opuesto, la línea visual del hilo medio cortó, quedando entre las dos tablillas, cuyo espaciamiento permitió en el botón micrométrico, un movimiento que oscile entre 20 y 50 divisiones, esto es, al poner el hilo medio del aparato al centro de una y otra tablilla, hecho que permite a los anotadores registrar las lecturas de las miras en sus respectivas libretas.



**Figura 35:** Botón Micrométrico

**Fuente:** Elaboración propia.

El ilustra el principio del método empleado en el cruce de ríos u otros obstáculos. Ahora, sea T y B las posiciones de las tablillas superior e inferior respectivamente y L el punto donde la línea de vista a nivel del instrumento opuesto, intercepta la mira. En el supuesto que las lecturas en el micrómetro de nuestro nivel, cuando el cruce del hilo central intercepte los blancos T y B. son: 25,8 y 40,2 respectivamente; y la lectura en el micrómetro, con el telescopio horizontal: 30,6 y si ambas señales se encuentran a 0,4000 metros de distancia, el intervalo de separación entre la señal el punto de intersección cuando el telescopio está nivelado, será:

$$\frac{(\text{Lectura micrómetro en L}) - (\text{Lectura micrómetro en B}) * \text{Espacio entre tablillas}}{((\text{Lectura micrómetro en L}) - (\text{Lectura micrómetro en B})) / ((\text{Lectura micrómetro en T}) - (\text{Lectura micrómetro en B})) * \text{Espacio entre tablillas}}$$

Sustituyendo:

$$(30.6 - 25.8) / (40.2 - 25.8) * 0.400 = 0.1333 \text{ metros}$$

Si la señal T se encuentra puesta a 1.8930 metros, el punto de intersección de la visual y la mira estará a: 1.7597 metros.

Para continuar con la descripción procedimental de las operaciones, vamos a designar a los instrumentos que actúan en ambos lados del estrecho, con la letra A y B, luego haciendo que se coloque una tablilla en la mira del lado B, el observador del lado A nivela su instrumento y dirige los movimientos de la tablilla mencionada por medio de señales anteadamente convenidas, hasta que coincida con la línea de vista del nivel A, inmediatamente, se coloca otra tablilla de modo que quede una arriba y otra debajo de la repetida línea de vista cuando el telescopio está bien nivelado en A.

El mismo trabajo ejecutara el observador B, sentido contrario, dirigiendo la colocación de las tablillas en la mira A. es conveniente recalcar que las tablillas estén colocadas simétricamente con respecto a la línea de nivel, muestra la colocación de las tablillas.



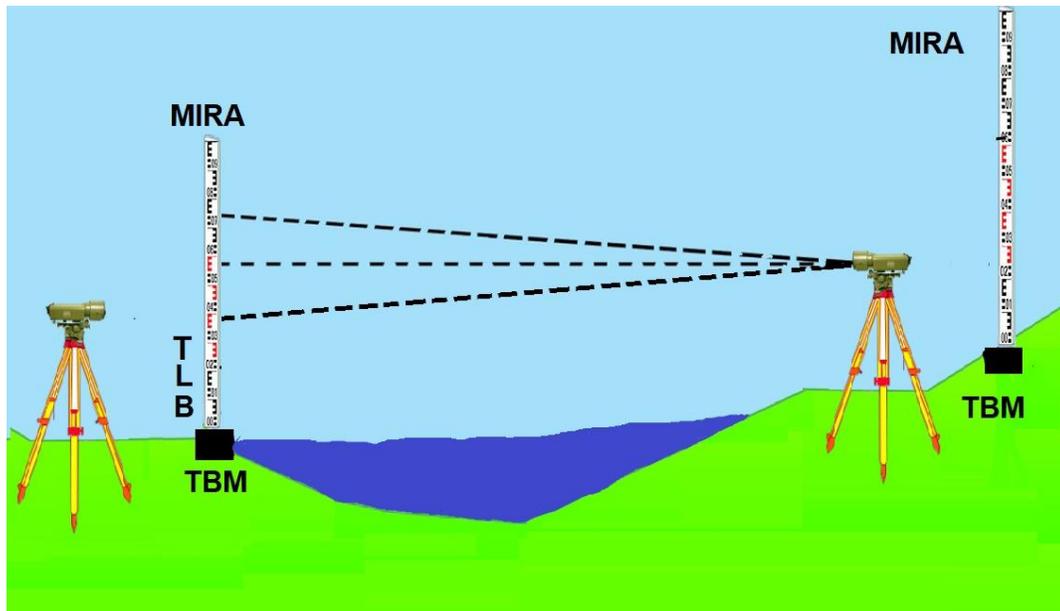
**Figura 36:** Colocación de tablillas en miras.

**Fuente:** Propia.

Concluidas las operaciones anteriormente mencionadas, se dará comienzo a las observaciones de acuerdo a las normas siguientes:

A una señal convenida previamente, los observadores de ambos lados del río u obstáculo, leen las miras cercanas, otra señal indicará la iniciación de las lecturas simultaneas y reciprocas sobre las miras lejanas; cada observador enfoca con su instrumento, colocando el hilo medio en el centro de la tablilla superior, lee el tambor del micrómetro para ser registrado por el anotador en la libreta de campo, luego, nivela cuidadosamente el aparato con el menisco sin tomar en cuenta las tablillas, toma una nueva lectura del

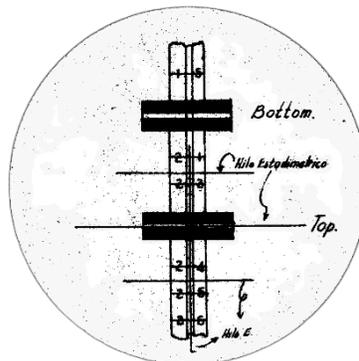
micrómetro por segunda vez. En seguida, intercepta con el hilo medio del instrumento, el centro de la banda blanca del tablero inferior, haciendo otra lectura en el micrómetro por tercera vez, las que serán hasta el décimo de la división, en las graduaciones micrométricas.



**Figura 37:** Lecturas a las miras.

*Fuente:* Propia.

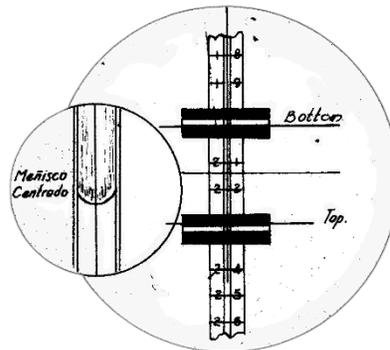
Las tres lecturas se repiten en el mismo orden: tablero superior, nivelado y tablero inferior, como lo demuestra la Figura 32, hasta que se hayan tomado por lo menos 25 lecturas que forman un juego. Cuando uno de los observadores haya concluido primero, como ocurre siempre, éste deberá continuar leyendo hasta que el otro complete las 25 series como mínimo.



**Figura 38:** Primera lectura a la mira lejana.

*Fuente:* Propia.

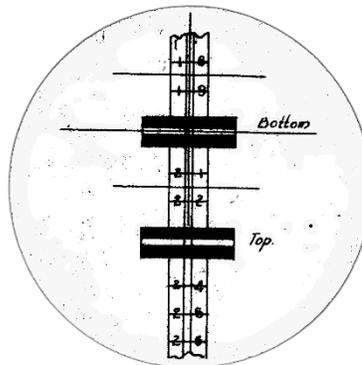
**Primera Lectura:** Se realiza sobre el tablero superior o Top, sin tomar en cuenta el nivel



**Figura 39:** Segunda lectura a la mira lejana.

*Fuente: Propia.*

**Segunda Lectura:** Se efectúa sin tomar en cuenta las tablillas, solo con el menisco perfectamente centrado.



**Figura 40:** Tercera lectura a la mira lejana.

*Fuente: Propia.*

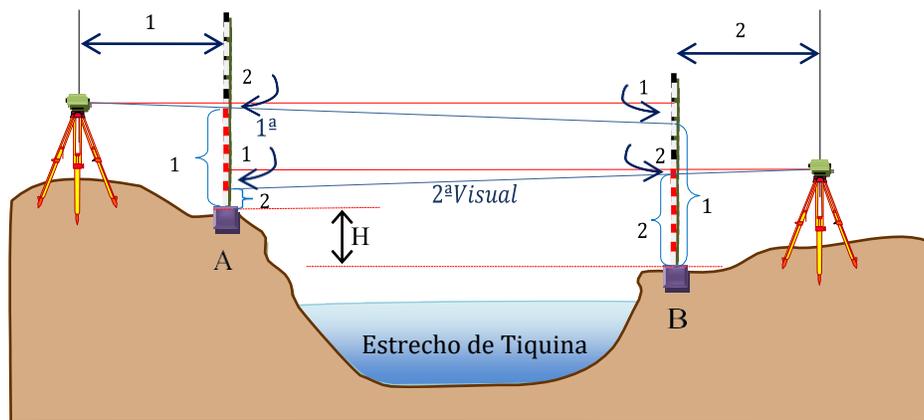
**Tercera Lectura:** Se hace sobre la tablilla inferior botón, sin tomar en cuenta el nivel.

La conclusión de los observadores en ambos lados del río, serán comunicadas por radio u otro medio, procediéndose al cambio del personal e instrumento, es decir, el observador A ocupará la colocación B, utilizando los transportes disponibles para cruzar el obstáculo. Los trípodes no serán movidos, quedaran en sus respectivas colocaciones hasta la conclusión del set del día, lo que evita realizar nuevos movimientos de las tablillas que originarían pérdida de tiempo.

Una vez que los observadores han ocupado sus nuevos puestos, tal como se ha mencionado, procederán

a tomar un nuevo juego de observaciones hasta completar 25 series a la mira lejana, concluida ésta, se da vuelta el instrumento, se nivela con precisión e inmediatamente se leerá la mira cercana. Haciendo mover el micrómetro por segunda vez y centrando nuevamente el aparato, se leerá por tercera vez, la mira cercana, después se continuará con otras 25 observaciones a la mira lejana, que corresponden al tercer juego. Concluida que hay sido, el personal e instrumento cambia nuevamente de lado, como se hizo la primera vez, se tendrá siempre cuidado de no mover los trípodes.

Ocupada por cada observador la estación de origen, dará comienzo a leer 25 series que corresponden a la cuarta y última del día. La operación se cierra con una lectura a la mira cercana, la que se hará fijándose que el menisco esté perfectamente nivelado.



**Figura 41:** Observación en estación de origen.

*Fuente:* Propia.

### 4.6.3. Libretas de Campo - Procedimientos de Anotación

Las libretas de campo son las mismas que se utilizan en la nivelación geométrica de primer orden. Las libretas de cada lado del río, contendrán 100 anotaciones por lo menos de observaciones a la mira lejana y 4 a la mira cercana, es decir, habrá una lectura de la mira cercana por cada 25 lecturas a la mira lejana, lo que constituye un día de observación.

Todos los procedimientos y observaciones del primer día, se repetirán un segundo día, siendo necesario



para los cálculos por lo menos el promedio de 2 días como mínimo, cuyos promedios necesarios será estén dentro de las discrepancias permisibles.

Como en la nivelación común, las páginas de las libretas se irán llenando en lo que respecta a fecha, sol,

lectura, desde – hasta, viento, hora, temperatura, nombre del operador, nombre del anotador.

Se tendrá en cuenta que la página izquierda (vista atrás), corresponden a las lecturas cercanas y la página de la derecha (vista adelante), a las lecturas lejanas. Para cada juego se ocupará la página derecha (adelante) por lo menos con 25 anotaciones. El **Anexo N° 6**, muestra con claridad la forma como se llena.

#### **4.6.4. Extractos y Cálculos Preliminares**

Las hojas de extractos utilizados para los cálculos del formulario, **Anexo N° 7**, usados por el IAGS, contemplan datos sacados de las libretas de anotaciones como ser las medias aritméticas de las tres lecturas, valores que corresponden a la tablilla superior, nivelado y tablilla inferior, así se va llenando de acuerdo al siguiente detalle:

- a) Localidad
- b) Dirección general de toda la línea
- c) Distancia: distancia aproximada del río
  1. Fecha: año, mes y día de observación
  2. Tiempo: hora de comienzo de la observación
  3. Observador: apellido del operador
  4. Lado del río: lado que corresponde la observación
  5. Instrumento: tiempo y número del instrumento
  6. Visual tablilla superior: lectura superior, corresponde al mismo lado del observador
  7. Visual tablilla inferior: lectura inferior, corresponde al mismo lado del observador
  8. Intervalo entre tablillas: distancia entre tarjetas, al lado que corresponde la observación
  9. Promedio lectura micrométrico superior: el promedio de todas las observaciones hechas al otro lado del río
  10. Promedio lectura micrométrica nivelado: el promedio de todas las observaciones nivelado el instrumento
  11. Promedio lectura micrométrico inferior: el promedio de todas las observaciones al otro lado del río
  12. Intervalo micrométrico T-B: (9-11) lectura tarjeta superior menos lectura tarjeta

inferior

13. Intervalo micrométrico L-B (10-11) lectura tarjeta nivelada menos tarjeta inferior

14. Mira L-B:  $(13 * 8)/12 = 14$  intervalo micrométrico o sea la lectura nivelada menos lectura inferior multiplicado por el intervalo entre tarjetas, resultado dividido por el intervalo del micrómetro de lectura superior menos lectura inferior.

15. Lectura mira cercana: promedio de las lecturas a la mira cercana.

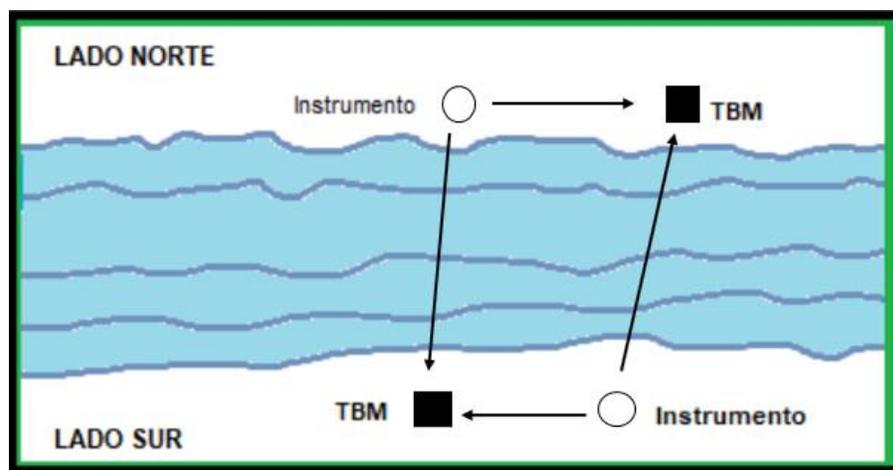
16. F S:  $(1+14) = 15$  o sea tablilla inferior más mira de L-B

17. Diferencia de elevación:  $(16-15)$  o sea FS – BS (Foresight – Backsight)

18. Media: del promedio de las dos observaciones del cálculo del lado N y S

19. Media por pares: es el promedio de un par de observaciones del cálculo de ambas orillas del río

20. Media del juego: es el promedio de todo un día de observación



*Figura 42: Observación en estación de origen.*

*Fuente: Propia.*

#### 4.6.5. Precisión y Tolerancia

La precisión para las observaciones de “Cruce de Ríos”, es el mismo que para correr una nivelación de primer orden. La tolerancia entre la Ida y el Regreso es de:  $0.4 \text{ mm} \cdot \sqrt{K}$ , siendo  $k$  = longitud expresada en kilómetros. En el cruce de ríos, el promedio de los dos sets debe encontrarse dentro de la tolerancia anterior, caso contrario se tendrá que repetir las observaciones un tercer día, hasta que cierre



satisfactoriamente el tramo.

#### 4.6.6. Cálculos Finales

En el proceso de los cálculos finales, es necesario sacar las medias aritméticas de las tres lecturas lejanas, en igual forma de las cercanas, trasladando a la casilla respectiva del formulario de computación. Se aconseja el formulario debidamente llenado correspondiente a un set.

Promediando desde la casilla 18, 19 y 20 se llega a la conclusión de obtener el desnivel entre el lado Norte y Sur del Lago Titicaca, que en este caso da con signo negativo, valor que se disminuye a la cota arrastrada.

Ejemplo:

Cota arrastrada	3879.3480
Desnivel buscado	+0.2800 m.
Distancia obtenida con nivelación	741.1030 m.

Resultado que nos da la cota buscada de 3879.6280 metros, que corresponde a la orilla opuesta del lago, alcanzando la precisión requerida para primer orden.



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se realizó la verificación de la precisión de la línea “BH” con nivelación geodésica del estrecho de Tiquina, aplicando el método de nivelación geométrica “enlace cruce de ríos”, la misma que une las poblaciones de San Pedro y San Pablo de Tiquina.
- Se realizó la recopilación y recuperación de BM’s en el sector de estudio aplicándose procedimientos y normas establecidas, identificándose 4 monumentaciones, de los cuales solo 2 se encuentran con pivotes, los denominados BM-B BM-BH-21, y 2 completos BM-BH-25, con los cuales se realizó el estudio.
- Se aplicó el método de nivelación geométrica “enlace cruce de ríos” como única alternativa en cuanto a metodología para la determinación de desnivel, realizándose 25 series de observación con tres lecturas, durante el lapso de dos días.
- Se determinó un desnivel entre las poblaciones de San Pedro y San Pablo de Tiquina igual a +0.2800 m, con una precisión igual a 10,889 mm, encontrándose en las tolerancias de la nivelación de primer orden.
- Se determinó la distancia del estrecho de Tiquina, entre los BM’s utilizados igual a 741.1030 metros, valor que permitió determinar las tolerancias del trabajo.
- Se realizó reuniones de concientización a los pobladores del sector, para que puedan resguardar los BM’s recuperados, para ser utilizados en proyectos futuros de obras civiles, expansión urbana u otra que requiera de control vertical.

#### 5.2. Recomendaciones

- Esta línea de nivelación por la importancia y requerimientos para los diferentes proyectos es necesario realizar una nivelación para la actualización de acuerdo a los nuevos valores del datum vertical de Arica - Chile.
- Es muy importante realizar este tipo de trabajo para tener datos establecidos y coherentes por la necesidad tanto interna como externa de cualquier institución.
- Se recomienda concientizar el conocimiento de las marcas de BM’s e la línea BH de las comunidades adyacentes a la carretera, siendo que en todo el trabajo se identificó una serie de monumentaciones que fueron removidas.



## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFIA

#### 6.1. Bibliografía Consultada

- Acero Velo, L., & Serruto Flores, J. C. (2018). Modelo Geoidal con receptores GNSS en método cinemático y nivelación geométrica para la estimación de alturas ortométricas en la ciudad Universitaria UNA - Puno. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7690>
- Canizares, E. C., Tierra, A. R., & Leiva, C. A. (2015). Sistema de Alturas para el Ecuador. 7.
- Comité Interinstitucional de la Infraestructura de datos Espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia (IDE - EPB) (2016), Norma Nacional de Generación, Intercambio y Difusión de Información Geográfica del Estado Plurinacional de Bolivia - NIG Bolivia, La Paz Bolivia.
- Comité Interinstitucional de la Infraestructura de datos Espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia (IDE - EPB) (2015), Documento base sobre el Sistema Geodésico de Referencia del Estado Plurinacional de Bolivia, La Paz Bolivia.
- Cornero Cecilia, C., Ayelen, P., Cristina, P. M., & Laura, B. (2015). Comparación de modelos geopotenciales recientes en Argentina. 11.
- Ince, E. S., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., & Schuh, H. (2019). ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans. *Earth System Science Data*, 11(2), 647-674. <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>
- Instituto Geográfico Militar. (2006). Informe Técnico de nivelación geométrica de puntos de control vertical—Gobierno Municipal de la Ciudad de La Paz.



- Laura Sánchez. (2006). Modernización de los sistemas de alturas existentes en América Latina y el Caribe. 19.
- Leal Vélez Anderson. (2017). Modelo Geoidal para la Zona Norte de Colombia: Propuesta Metodológica [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://repositorios.rumbo.edu.co/handle/123456789/121030>
- Tierra, A. (2015). Evaluación del EGM08 y EGM96 en el Ecuador a partir de datos GPS y Nivelación geométrica. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército., 9.
- Tierra, A., & Acurio, V. (2016, junio). Modelo neuronal para la predicción de la altura geoidal local en el Ecuador. Junio 2016, 13, 72.

# ANEXOS

*Anexo N° 1*

***MONOGRAFIAS DE BM RECUPERADOS***

NACION Bolivia	CARACTERISTICAS DE LA MARCA Disco de bronce de 6 cm. de diámetro, monumento cuadrado de concreto	DESIGNACION BH-20
DEPARTAMENTO La Paz	ESTABLECIDA POR: Instituto Geográfico Militar	ELEVACION m.
PROVINCIA Manco Kapac	COORDENADAS APROX. DEL BM:	ORDEN: 1er. Orden 4.0 mm N° K
LÍNEA: "BH" Huarina - Kasani	ESTAMPADA: IGM -BM-BH-20 (1964)	DATUM: Arica (Chile)

#### CROQUIS

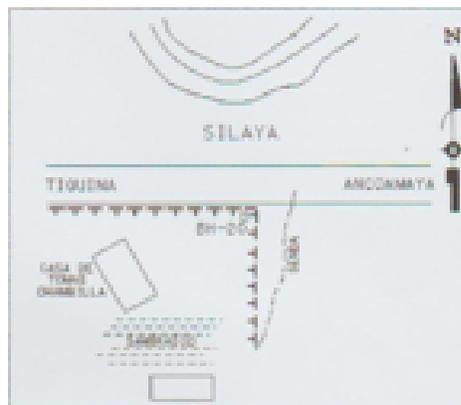
DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PUNTO: A lo largo de la carretera HUARINA - KASANI, entre TIQUINA y ANCOAMAYA, partiendo de la casa de Ernesto Vásquez en TIQUINA, la marca esta hacia el NE a 4.96 Km carretera antigua, al lado Sud de la ruta a 4.4 m de su eje y sobresale 10 cm del terreno.

#### REFERENCIAS:

Ref. 1.- Desde el centro de la puerta de ingreso a la casa de Tomas Chambilla en la Estancia SILAYA, la marca está a  $75^{\circ}$  y 15.1 m.

Ref. 2.- Desde esquina NE de la misma casa, la marca está a  $85^{\circ}$  y 14.7 m

Ref. 3.- Desde el cruce de los ejes de la ruta y una senda que conduce a la casa de Delia Japita, la marca está a  $235^{\circ}$  y 7.3 m.



NACION Bolivia	CARACTERISTICAS DE LA MARCA Disco de bronce de 6 cm. de diámetro, empotrado en roca (solo pibote)	DESIGNACION BH-21
DEPARTAMENTO La Paz	ESTABLECIDA POR: Instituto Geográfico Militar	ELEVACION
PROVINCIA Manco Kapac	COORDENADAS APROX. DEL BM:	ORDEN: 1er. Orden 4.0 mm 4 K
LINEA: Huarina — Kasani	ESTAMPADA: IGM -BM-BH-21 (1964)	DATUM: Arica (Chile)

#### CROQUIS DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PUNTO:

A lo largo de la carretera HUARINA - KASANI, entre TIQUINA y ANCOAMAYA, partiendo de la casa de Ernesto Vásquez en TIQUINA, la marca esta hacia el NE a 2.72 Km carretera antigua, al lado Sud de la ruta a 6.1 m de su eje, empotrado en una roca de 1.1 m de largo, 0.3 m de ancho.

#### REFERENCIAS:

Ref. 1.- Desde el centro de una grabada en una roca de 1.3 m de altura, la marca está a  $145^{\circ}$  y 11.7 m.

Ref. 2.- Desde el centro de otra cruz grabada en otra roca, la marca está a  $80^{\circ}$  y 13.9 m

Ref. 3.- Desde un mojón de piedras de 1.3 m de altura, la marca está a  $255^{\circ}$  y 3.4 m.

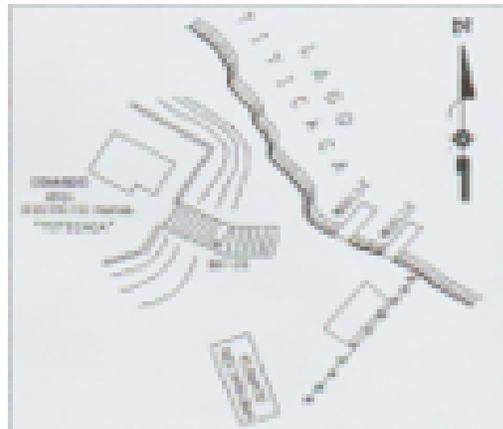
DESCRITA POR: ~~Sof~~ Severino Limachi P. FECHA: 20 de mayo de 2021



NACION	CARACTERISTICAS DE LA MARCA	DESIGNACION
Bolivia	Disco de bronce de 6 cm. de diámetro, empotrado en gradas de concreto.	BH-25
DEPARTAMENTO	ESTABLECIDA POR:	ELEVACION
La Paz	Instituto Geográfico Militar	
PROVINCIA	COORDENADAS APROX. DEL BM:	ORDEN:
Manco <del>Kasapí</del> <del>Uruku</del>		Ser. Orden 4.0 mm 4 K
LINEA: BH*	ESTAMPADA:	DATUM:
Huarina — <del>Kasapí</del> <del>Uruku</del>	IGM -BM-BH-25 (1964)	Arica (Chile)

#### CROQUIS DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PUNTO:

La marca está en TIQUINA (San Pedro), próxima al Comando del 4to. Distrito Naval "TTICACA" ex Hotel Prefectural, al lado NO de la ruta a 76 m de su eje, empotrado en la décimo quinto grada que conduce a las oficinas del Comando del Distrito Naval.



#### REFERENCIAS:

Ref. 1.- Desde la esquina SE del Comando del 4to. Distrito Naval, la marca está a  $170^{\circ}$  y 24.9 m. Ref. 2.- Desde la esquina SO del mismo Comando del 4to. Distrito Naval, la marca está a  $150^{\circ}$  y 21.8

Ref. 3.- Desde la esquina NO de la casa de Guillermo Avendaño, la marca está a  $320^{\circ}$  y 59.5m.

DESCRITA POR: Sef. Severino Limachi P. FECHA: 20 de mayo de 2021

*Anexo N° 2*

***MONOGRAFIAS DE BM NUEVOS***

NACION Bolivia	CARACTERISTICAS DE LA MARCA Disco de bronce de 6 cm. de diámetro, empotrado en superficie de concreto	DESIGNACION BH-25-A
DEPARTAMENTO La Paz	ESTABLECIDA POR; Instituto Geográfico Militar	ELEVACION: 3810.8780 m.
PROVINCIA Manco Kapac	COORDENADAS APROX. DEL BM: Lat. 16° 13' 14.711" Long. 68° 51' 10.544"	ORDEN: 1er. Orden 4.0 mm N° K
LINEA: Huarina — Kasapi	ESTAMPADA: IGM -BM-BH-25-A 2021	DATUM: Arica (Chile)

#### CROQUIS

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PUNTO: La marca se encuentra en San Pedro de Tiquina empotrado en plataforma de concreto del muelle dentro las instalaciones del Comando del 4to. Distrito Naval "TITICACA" de la Armada Boliviana.

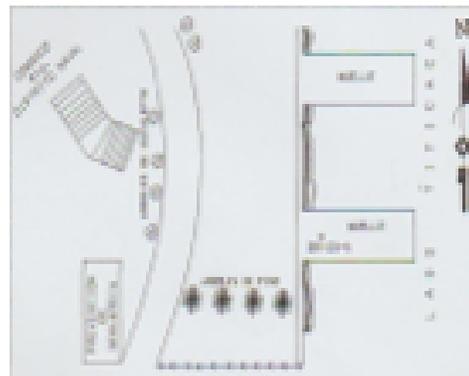
#### REFERENCIAS:

Ref. 1.- Desde el centro de las gradas que suben al Comando del Distrito Naval, la marca está a 80° y 29.90 m.

Ref. 2.- Desde centro del 2do. muelle, la marca está a 143° y 25.40 m

Ref. 3.- Desde el centro del 1er. muelle, la marca está a 250 y 2.00 m.

DESCRITA POR: ~~Sof~~ Severino Limachi P. FECHA: 20 de mayo de 2021



NACION Bolivia	CARACTERISTICAS DE LA MARCA Disco de bronce de 6 cm. de diámetro, empotrado en superficie de concreto	DESIGNACION BH-25-B
DEPARTAMENTO La Paz	ESTABLECIDA POR: Instituto Geográfico Militar	ELEVACION: 3810.5980 m.
PROVINCIA Manco <del>Kapas</del>	COORDENADAS APROX. DEL BM: E 790040 N 8040028	ORDEN: 1er. Orden 4.0 mm 4 K
LINEA: "BH" <del>Huarina</del> — <del>Kasani</del>	ESTAMPADA: IGM -BM-BH-25-B 2021	DATUM: Arica (Chile)

**CROQUIS DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PUNTO:**

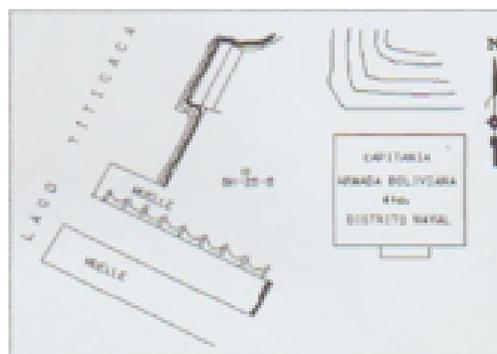
La marca se encuentra en San Pablo de Tiquina empotrado en plataforma de concreto del muelle lado izquierdo de las oficinas de la Capitanía de la Armada Bolivia Distrito Naval No 4 "TITICACA".

**REFERENCIAS:**

Ref. 1.- Desde la esquina SO de la oficina de la Capitanía, la marca está a  $270^{\circ}$  y 8.80 m. Ref. 2.- Desde esquina NE de la Capitanía, la marca está a  $215^{\circ}$  y 7.50 m

Ref. 3.- Desde el centro del muelle, la marca está a  $15^{\circ}$  y 20.40 m.

DESCRITA POR: ~~Sof.~~ Severino Limachi P. FECHA: 20 de mayo de 2021



*Anexo N° 3*

***CONSTANTE TAQUIETRICA "K"***



***Anexo N° 4***

***DETERMINACION EL ERROR "C"***





***Anexo N° 5***

***VERTICALIDAD DE LAS MIRAS***



***Anexo N° 6***

***LIBRETAS***



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 20 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " IDA "												
				DESDE: ..... BM-BH-20 (1964) VIENTO: ..... 0				HASTA: ..... BM-BH-21 HORA: ..... 15:10				
	2571					1252						
1	2502	2501,6	69			1156	1155,7	96	191	191		
	2433		69	138	138	1061		95				
	7506					3469						
	2512					366						
2	2434	2433,7	78			281	281,0	85				
	2355	4935,3	79		157	196	1436,7	85		17,0		
	14807				29,5	4312				36,1		
	2447					1061						
3	2317	2317,1	130			959	958,8	102				
	2187	7252,4	130		260	858	2395,5	101		203		
	21758				55,5	7190				56,4		
	2149					1535						
4	2042	2042,4	107			1338	1338,0	197				
	1935	9294,8	107		214	1142	3733,5	196		39,3		
	27884				76,9	11205				95,7		
	463					2627						
5	378	378,2	85			2543	2542,5	84				
	293	9673,0	85		17,0	2458	6276,0	85		169		
	29018				93,9	18833				112,6		
	299					2646						
6	261	261,2	38			2566	2565,8	80				
	223	9934,2	38		76	2487	8841,8	79		159		
	29801				1015	26532				128,5		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 20 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " IDA "												
				DESDE: ..... BM-BH-20 (1964)				HASTA: ..... BM-BH-21				
				VIENTO: ..... 0				HORA: .....				
	29801	9934,2			101,5	26532	8841,8			128,5		
	399					1973						
7	374	373,7	25			1946	1946,2	27				
	349	10307,9	25		50	1920	10788,0	26		5,3		
	30923				1065	32371				133,8		
	862					2688						
8	692	691,5	170			2537	2536,5	151				
	522	10999,4	170		340	2386	13324,5	151		30,2		
	32999				1405	39982				1640		
	836					2520						
9	724	723,2	112			2447	2447,0	73				
	612	11722,6	112		224	2375	15771,5	72		145		
	35171				162,9	47324				1785		
	721					2670						
10	632	631,7	89			2566	2566,3	104				
	544	12354,3	88		17,7	2463	18337,8	103		207		
	37068				180,6	55023				199,2		
	634					1498						
11	596	595,8	38			1448	1448,6	50				
	558	12950,1	38		7,6	1399	19786,4	49		9,9		
	38856				188,2	59368				2091		
	1544					2191						
12	1463	1463,1	81			2068	2068,1	123				
	1382	14413,2	81		162	1946	21854,5	122		24,5		
	43245				204,4	65573				233,6		
	1350					2680						
13	1230	1229,6	120			2607	2606,6	73				
	1110	15642,8	120		240	2534	24461,1	73		14,6		
	46935				228,4	73394				248,2		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



### LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: .....	20 de abril de 2021		Sof. S. Limachi	DESDE: .....	BM-BH-20 (1964)	HASTA: .....	BM-BH-21
SOL: .....			Sof. Gonzales	VIENTO: .....		HORA: .....	
			" IDA "				

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
	46935	15642,8			228,4	73394	24461,1			248,2		
	736					2556						
14	602	601,4	134			2498	2497,9	58				
	467	16244,2	135		269	2440	26959,0	58		11,6		
	48740				255,3	80888				259,8		
	509					2457						
15	444	443,8	65			2367	2366,6	90				
	379	16688,0	65		13,0	2276	29325,6	91		181		
	50072				268,3	87988				277,9		
	669					2555						
16	571	571,4	98			2471	2470,5	84				
	474	17259,4	97		195	2387	31796,1	84		16,8		
	51786				287,8	95401				294,7		
	779					2668						
17	649	649,5	130			2557	2557,2	111				
	519	17908,9	130		260	2447	34353,3	110		221		
	53733				313,8	103073				316,8		
	579					2562						
18	451	451,0	128			2428	2427,8	134				
	323	18359,9	128		256	2295	36781,1	133		267		
	55086				339,4	110358				343,5		
	1674					1490						
19	1547	1547,1	127			1324	1324,3	166				
	1420	19907,0	127		254	1158	-38105,4	166		332		
	59727				364,8	114330	19907,0			376,7		
							-187,1984			364,8		
										741,5		

SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 20 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " REGRESO "												
DESDE: ..... BM-BH-21 VIENTO: ..... HASTA: ..... BM-BH-20 (1964) HORA: .....												
		1391				1573						
20	1324	1324,1		67		1545	1544,9		28			
	1258			66	133	1518			27	55		
	3973					4636						
	2553					571						
21	2419	2418,7		134		443	443,0		128			
	2285	3742,8		134	268	315	1987,9		128	256		
	11230				401	5965				311		
	2667					778						
22	2556	2555,8		111		648	648,5		130			
	2445	6298,6		111	222	518	2636,4		130	260		
	18898				623	7909				571		
	2551					665						
23	2467	2467,1		84		567	567,6		98			
	2383	8765,7		84	168	470	3204,0		97	195		
	26299				791	9611				766		
	2457					509						
24	2366	2366,2		91		444	444,3		65			
	2276	11131,9		90	181	380	3648,3		64	129		
	33398				972	10944				895		
	2555					735						
25	2497	2496,9		58		601	600,7		134			
	2439	13628,8		58	116	467	4249,0		134	268		
	40889				1080	12747				1163		
	2680					1352						
26	2607	2607,0		73		1232	1231,6		120			
	2534	16235,8		73	146	1112	5480,6		120	240		
	48710				1234	16443				1403		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 20 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " REGRESO "												
				DESDE: ..... BM-BH-21				HASTA: ..... BM-BH-20 (1964)				
				VIENTO:.....				HORA:.....				
	48710	16235,8			1234	16443	5480,6			1403		
	2186					1539						
27	2064	2063,3		122		1458	1458,4		81			
	1941	18299,1		123	245	1377	6939,0		81	162		
	54901				1479	20817				1565		
	1494					631						
28	1445	1445,0		49		592	592,5		39			
	1396	19744,1		49	98	554	7531,5		38	77		
	59236				1577	22594				1642		
	2677					728						
29	2573	2572,6		104		639	639,6		89			
	2470	22316,7		103	207	551	8171,1		88	177		
	66956				1784	24512				1819		
	2620					836						
30	2447	2446,7		173		724	724,2		112			
	2275	24763,4		172	345	613	8895,3		111	223		
	74298				2129	26685				2042		
	2680					855						
31	2528	2528,3		152		685	684,5		170			
	2378	27291,7		150	302	515	9579,8		170	340		
	81884				2431	28740				2382		
	1978					404						
32	1952	1951,4		26		379	378,6		25			
	1925	29243,1		27	53	354	9958,4		25	50		
	87739				2484	29877				2432		
	2641					294						
33	2561	2560,7		80		256	255,7		38			
	2481	31803,8		80	160	218	10214,1		38	76		
	95422				2644	30645				2508		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



## LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: .....	#####		Sof. S. Limachi	DESDE: .....	BM-BH-21	HASTA: .....	BM-BH-20 (1964)
SOL: .....			Sof. Gonzales	VIENTO: .....		HORA: .....	
			" REGRESO "				

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
	95422	31803,8			2644	30645	10214,1			250,8		
	2621					456						
34	2536	2535,8		85		370	370,5		86			
	2452	34339,6		84	169	285	10584,6		85	171		
	103031				2813	31756				2679		
	1544					2257						
35	1347	1347,5		197		2050	2050,6		207			
	1152	35687,1		195	392	1843	12635,2		207	414		
	107074				3205	37906				3093		
	1066					2452						
36	964	964,5		102		2322	2321,9		130			
	863	36651,6		101	203	2192	14957,1		130	260		
	109967				3408	44872				3353		
	392					2542						
37	307	307,3		85		2463	2463,1		79			
	223	36958,9		84	169	2384	17420,2		79	158		
	110889				3577	52261				3511		
	1250					2568						
38	1155	1155,1		95		2499	2498,7		69			
	1060	38114,0		95	190	2430	19918,9		69	138		
	114354	-19918,9			3767	59758				364,9		
		18,1951								376,7		
										741,6		

SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA



### LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: ..... 21 de abril de 2021

SOL: .....



Sof. S. Limachi  
 Sof. Gonzales  
 " IDA "

DESDE: ..... BM-BH-21

VIENTO: .....

HASTA: ..... BM-BH-25-B

HORA: .....

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
	1358					1323						
1	1344	1344,2	14			1297	1296,9	26				
	1330		14		28	1271		26		52		
	4032					3891						
	821					2215						
2	747	747,2	74			2134	2134,4	81				
	674	2091,4	73		147	2054	3431,3	80		161		
	6274				175	10294				213		
	1163					2214						
3	1063	1062,8	100			2100	2100,5	114				
	963	3154,2	100		200	1985	5531,8	115		229		
	9463				375	16593				44,2		
	1483					1715						
4	1323	1322,6	160			1552	1551,7	163				
	1164	4476,8	160		320	1390	7083,5	162		325		
	13433				695	21250				76,7		
	1298					2118						
5	1145	1145,2	153			1981	1980,7	137				
	993	5622,0	152		305	1843	9064,2	138		275		
	16869				1000	27192				104,2		
	1384					2243						
6	1312	1311,9	72			2171	2171,2	72				
	1240	6933,9	72		144	2099	11235,4	72		144		
	20805				114,4	33705				118,6		
	802					2751						
7	706	705,9	96			2653	2652,8	98				
	610	7639,8	96		192	2555	13887,2	98		196		
	22923				133,6	41664				138,2		

SOF. MTR. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 21 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " IDA "												
				DESDE: ..... BM-BH-21				HASTA: ..... BM-BH-25-B				
				VIENTO:.....				HORA:.....				
	22923	7639,8			133,6	41664	13887,2			138,2		
	465					1925						
8	395	394,6	70			1851	1850,6	74				
	325	8034,4	70		140	1776	15737,8	75		149		
	24108				147,6	47216				153,1		
	843					1994						
9	760	760,5	83			1918	1917,4	76				
	677	8794,9	83		166	1843	17655,2	75		151		
	26388				164,2	52971				168,2		
	621					2806						
10	567	567,3	54			2751	2750,9	55				
	515	9362,2	52		106	2697	20406,1	54		109		
	28091				174,8	61225				179,1		
	384					2427						
11	341	341,4	43			2388	2388,0	39				
	298	9703,6	43		86	2349	22794,1	39		78		
	29114				183,4	68389				186,9		
	349					2547						
12	308	308,0	41			2501	2500,4	46				
	267	10011,6	41		82	2454	25294,5	47		93		
	30038				191,6	75891				196,2		
	994					2442						
13	927	926,5	67			2386	2386,1	56				
	860	10938,1	67		134	2330	27680,6	56		112		
	32819				205	83049				207,4		
	330					2428						
14	285	285,1	45			2381	2380,7	47				
	241	11223,2	44		89	2333	30061,3	48		95		
	33675				213,9	90191				216,9		
SOF. MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



### LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: ..... 21 de abril de 2021  
 SOL: .....



Sof. S. Limachi  
 Sof. Gonzales  
 " IDA "

DESDE: ..... BM-BH-21  
 VIENTO:.....

HASTA: ..... BM-BH-25-B  
 HORA:.....

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
	33675	11223,2			213,9	90191	30061,3			216,9		
	678					2227						
15	621	620,9	57			2174	2173,6	53				
	563	11844,1	58		115	2120	32234,9	54		107		
	35537				225,4	96712				227,6		
	996					2230						
16	931	931,2	65			2168	2168,6	62				
	867	12775,3	64		129	2107	34403,5	61		123		
	38331				238,3	103217				239,9		
	744					2149						
17	698	698,0	46			2097	2097,3	52				
	652	13473,3	46		92	2046	36500,8	51		103		
	40425				247,5	109509				250,2		
	470					2889						
18	405	405,2	65			2826	2825,8	63				
	341	13878,5	64		129	2763	3326,6	63		126		
	41641				2604	117987				2628		
	494					2506						
19	432	432,0	62			2450	2450,1	56				
	370	14310,5	62		124	2394	41776,7	56		112		
	42937				2728	125337				274		
	367					227						
20	328	327,5	39			2232	2231,4	39				
	289	14638,0	39		78	2193	44008,1	39		78		
	43921				2806	132033				281,8		
	390					2425						
21	329	328,5	61			2381	2380,6	44				
	267	14966,5	62		123	2336	46388,7	45		89		
	44907				2929	139175				2907		

SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
FECHA: ..... 21 de abril de 2021 SOL: ..... Sof. S. Limachi Sof. Gonzales " IDA " DESDE: ..... BM-BH-21 VIENTO: ..... HASTA: ..... BM-BH-25-B HORA: .....												
	44907	14966,5			2929	139175	46388,7			2907		
	380					2705						
22	327	327,5	53			2670	2670,0	35				
	275	15294,0	52		105	2633	49058,7	37		72		
	45889				3034	147183				2979		
	286					2484						
23	261	261,4	25			2458	2457,5	26				
	237	15555,4	24		49	2432	51516,2	26		52		
	46673				3083	154557				3031		
	580					2456						
24	562	561,5	18			2435	2434,4	21				
	544	16116,9	18		36	2413	53950,6	22		43		
	48359				3119	161861				3074		
	323					2082						
25	299	299,0	24			2063	2062,9	19				
	275	16415,9	24		48	2043	56013,5	20		39		
	49256				3167	168049				3113		
	320					2605						
26	281	281,1	39			2564	2564,1	41				
	242	16697	39		78	2524	58577,6	40		1		
	50099				3245	175742				3194		
	422					2506						
27	377	376,6	45			2458	2457,8	48				
	331	17073,6	46		91	2410	61035,4	48		96		
	51229				3336	183116				3290		
	299					2712						
28	239	239,2	60			2647	2646,4	65				
	179	17312,8	60		120	2581	63681,8	66		131		
	51946				3456	191056				3421		
SOF. MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA												



### LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: ..... 21 de abril de 2021  
 SOL: .....



Sof. S. Limachi  
 Sof. Gonzales  
 " IDA "

DESDE: ..... BM-BH-21  
 VIENTO:.....

HASTA: ..... BM-BH-25-A  
 HORA:.....

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
	51946	17312,8			3456	191056	63681,8			3421		
	377					2376						
29	326	326,0	51			2330	2330,0	46				
	275	17638,8	51		102	2287	66011,8	46		92		
	52924				355,8	198046				351,3		
	412					2722						
30	373	373,1	39			2686	2686,4	36				
	334	18011,9	39		78	2651	68698,2	35		71		
	54043				363,6	206105				358,7		
	612					2179						
31	588	587,8	24			2157	2156,9	22				
	567	18599,7	24		48	2136	70855,1	21		43		
	55807				368,4	212577				362,7		
	329					2748						
32	298	298,2	31			2708	2707,8	40				
	268	18897,9	30		61	2668	73562,9	40		80		
	56702				374,5	220701				370,7		
	353					2456						
33	301	301,3	52			2384	2384,4	72				
	250	19199,2	51		103	2313	75947,3	71		143		
	57606				3848	227854				3850		
	449					2425						
34	378	378,2	71			2363	2363,2	62				
	307	19577,4	71		142	2301	78310,5	62		124		
	58740				3990	234943				3974		
	570					1978						
35	489	489,5	81			1901	1900,9	77				
	407	20066,9	82		163	1823	80211,4	78		155		
	60206				4153	240645				4129		

SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA









### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION		VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
								No.	INFERIOR	NIVEL	SUPERIOR		
		1336											
		1319	1318,8		17			1	15,1	46,1	75,1		
		1302			17	34	10,2 m	2	15,6	46,1	75,0		
								3	15,8	45,6	76,8		
								4	15,2	46,1	75,0		
								5	15,6	45,0	75,2		
								6	14,2	45,8	75,1		
								7	14,1	43,0	74,3		
								8	15,1	43,0	74,1		
								9	15,0	42,0	74,1		
								10	13,9	41,2	74,2		
								11	13,1	41,2	74,2		
		MIRA LEJANA						12	15,0	40,9	74,0		
		Superior	129					13	15,1	40,5	74,0		
		Inferior	87					14	13,9	39,2	74,1		
								15	14,0	38,1	72,9		
								16	13,4	38,2	73,0		
								17	12,9	38,0	73,8		
								18	13,2	39,1	74,2		
								19	13,6	38,2	72,8		
								20	14,2	38,9	72,5		
								21	14,1	37,2	78,6		
								22	13,2	37,1	78,9		
								23	13,6	37,1	77,8		
								24	12,9	38,4	77,9		
								25	12,9	37,0	72,0	11:45	
									354,7	1023,0	1869,6		
									14,188	40,920	74,784		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA													











### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION		VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR. INFERIOR	INTERVALOS HILOS NIVEL	SUMA INTERVALOS SUPERIOR	MIRA TEMPERATURA	OBS.				
FECHA: .....		#####				Sof. S. Limachi		DESDE: .....		San Pedro de Tiquina		San Pablo de Tiquina					
SOL: .....						Sof. Gonzales		VIENTO:.....		0		HORA:..... 11:10					
								No.									
		951															
		937		936,8				1		9,0		44,0		68,2			
		923						2		4,2		43,0		68,5			
								3		4,6		43,2		64,8			
								4		3,3		44,2		64,9			
								5		3,8		44,6		67,0			
								6		6,1		44,6		67,0			
								7		5,9		45,0		66,0			
								8		7,5		49,1		66,1			
								9		7,8		51,5		69,4			
								10		8,4		49,1		68,0			
								11		7,4		48,2		68,9			
								12		11,0		51,1		69,0			
		MIRA LEJANA						13		9,8		52,0		69,5			
								14		6,0		51,0		69,0			
		Superior		140				15		6,0		45,0		65,0			
		Inferior		95				16		5,1		46,0		65,0			
								17		5,1		45,9		69,8			
								18		4,3		44,2		69,8			
								19		3,0		45,1		65,0			
								20		4,0		45,0		65,0			
								21		5,4		45,2		63,3			
								22		4,6		44,8		61,2			
								23		4,0		47,0		65,0			
								24		6,6		46,0		65,0			
								25		6,0		46,1		65,6		11:35	
										148,9		1160,9		1666,0			
										5,956		46,436		66,640			
SOF. MTR. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA																	





### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION		VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	MIRA TEMPERATURA	OBS.
								No.	INFERIOR	NIVEL	SUPERIOR		
		1333											
		1315	1315,3					1	10,0	37,0	67,5		
		1298						2	7,8	36,8	67,4		
								3	8,0	34,2	66,3		
								4	5,6	34,8	66,8		
								5	5,8	34,0	65,0		
								6	4,6	32,9	64,8		
								7	4,0	33,8	64,6		
								8	5,6	33,8	64,0		
								9	5,0	34,2	63,9		
								10	4,0	34,0	63,9		
								11	3,9	30,5	63,0		
								12	4,2	32,2	62,9		
		MIRA LEJANA						13	4,0	34,2	61,3		
								14	3,2	29,0	62,0		
		Superior	129					15	3,0	28,0	62,1		
		Inferior	87					16	3,3	30,2	61,8		
								17	2,8	28,8	61,5		
								18	2,9	29,0	61,0		
								19	2,2	27,0	60,3		
								20	1,0	27,0	61,0		
								21	1,0	27,5	60,0		
								22	1,8	27,5	61,0		
								23	1,3	28,1	60,1		
								24	2,0	27,2	60,0		
								25	1,5	27,1	61,2		
								26	0,2	24,8	60,2	12:54	
									98,7	803,6	1633,6		
									3,796	30,908	62,831		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA													









### LIBRETA DE NIVELACION

FECHA: ..... 21 de abril de 2021		Sof. Alborno	DESDE: ..... BM-BH-25-A	San Pedro de Tiquina	HASTA: ..... BM-BH-25-B
SOL: .....		Sof. Mendoza	VIENTO: ..... 0		HORA: ..... 14:10

No. ESTACION	VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL	INTERVALOS	SUMA	MIRA TEMPERATURA	OBS.
								REV. MIR.	HILOS	INTERVALOS		
							No.	INFERIOR	NIVEL	SUPERIOR		
	949											
	935	934,9					1	7,0	46,1	68,0		
	921						2	10,8	46,9	68,5		
							3	10,8	48,5	69,2		
							4	11,0	49,0	69,0		
							5	10,2	51,3	70,6		
							6	13,9	51,2	71,6		
							7	13,8	52,7	73,0		
							8	12,4	52,5	73,6		
							9	13,1	53,8	72,9		
							10	14,1	53,0	73,8		
							11	14,7	56,0	75,7		
							12	16,3	55,0	75,1		
	MIRA LEJANA						13	16,1	56,1	76,3		
							14	16,2	54,6	76,5		
	Superior	140					15	15,3	55,1	75,9		
	Inferior	95					16	14,9	53,6	74,7		
							17	14,9	54,0	73,4		
							18	14,1	53,0	74,2		
							19	14,3	54,0	73,5		
							20	13,0	52,4	73,0		
							21	13,8	53,1	72,0		
							22	14,1	52,8	73,1		
							23	15,0	53,0	72,6		
							24	12,3	51,2	73,0		
							25	11,5	51,1	70,1	14:26	
								333,6	13100	18193		
								13,344	52,400	72,772		

SOF. MTR. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA



### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION		VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR. INFERIOR	INTERVALOS HILOS NIVEL	SUMA INTERVALOS SUPERIOR	MIRA TEMPERATURA	OBS.
		950						No.					
		936	935,6					1	20,0	60,1	80,7		
		922			14			2	22,9	61,8	80,1		
					14			3	23,3	64,0	83,1		
								4	25,0	63,9	84,5		
								5	25,6	64,9	83,0		
								6	26,0	64,1	83,1		
								7	26,0	65,0	83,2		
								8	25,1	63,9	82,5		
								9	25,0	65,0	82,1		
								10	24,2	64,6	82,6		
								11	24,0	65,0	83,2		
								12	26,3	65,1	84,0		
								13	26,5	65,1	83,5		
								14	26,8	65,6	84,1		
								15	27,2	67,8	85,7		
								16	30,0	69,1	88,1		
								17	31,0	71,8	89,4		
								18	31,0	71,2	90,0		
								19	32,1	71,1	89,5		
								20	31,9	70,9	88,9		
								21	31,9	70,1	88,0		
								22	29,1	69,0	88,3		
								23	30,1	69,0	88,1		
								24	30,0	68,1	87,9		
								25	28,9	68,8	88,1	10:41	
									679,9	1665,0	2131,7		
									27,196	66,600	85,268		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA													





### LIBRETA DE NIVELACION

No. ESTACION		VISTA ATRÁS	PROMEDIO	HILO CENTRAL REV. MIR.	INTERVALOS HILOS	SUMA INTERVALOS	VISTA ADELANTE	PROMEDIO No.	HILO CENTRAL REV. MIR. INFERIOR	INTERVALOS HILOS NIVEL	SUMA INTERVALOS SUPERIOR	MIRA TEMPERATURA	OBS.
		1335											
		1317	1317,4					1	17,1	45,1	72,1		
		1300						2	15,0	44,3	72,1		
								3	15,0	43,9	72,1		
								4	15,5	44,1	70,9		
								5	15,7	42,9	70,8		
								6	14,0	43,0	70,6		
								7	14,0	42,0	70,9		
								8	14,9	42,2	70,2		
								9	13,8	41,6	70,7		
								10	14,0	41,5	70,2		
								11	14,4	41,3	71,1		
								12	13,9	41,1	70,6		
								13	14,0	40,2	70,8		
								14	13,7	40,6	70,0		
								15	13,5	39,9	70,2		
								16	13,9	40,0	69,5		
								17	12,7	39,1	69,4		
								18	13,7	40,0	69,1		
								19	13,1	39,3	69,1		
								20	12,6	40,6	69,9		
								21	13,0	39,8	69,7		
								22	13,7	40,2	70,0		
								23	14,0	40,2	70,4		
								24	14,0	40,4	70,0		
								25	13,9	40,4	70,4		
								26	13,2	40,8	70,3		
								27	14,0	40,5	69,1	12:00	
									380,3	1115,0	1900,2		
									14,085	41,296	70,378		
SOF.MTRE. DEPPSS. SEVERINO A. LIMACHI POMA													





***Anexo N° 7***

***HOJA DE CALCULOS***





INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR																		
SECCION CALCULOS Y ARCHIVOS																		
BOLIVIA																		
<b>CALCULO DE OBSERVACIONES PARA EL CRUCE DE RIOS</b>																		
OPERADOR 1: Sof. S. Limachi																		
OPERADOR 2: Sof. B. Calle																		
UBICACION: Estrecho de Tiquina (Lago Titicaca)																		
INSTRUMENTOS: Wild N-III 31797 - 31800																		
ANOTADOR 1: Sof. J. Mendoza																		
ANOTADOR 2: Sof. J. Gomez																		
DIRECCION DE LA LINEA: Linea de Nivelacion "BH" Huarina - Casani																		
MIRAS: Invar 66054 - 66053																		
DISTANCIA: 741,1 m. <span style="float: right;">0.74 Km.</span>																		
FECHA	HORA	OPERADOR	MARGEN	POSICION DEL VISOR		DISTANCIA ENTRE VISORES	LECTURA MEDIDA CON MICROMETRO			DIFERENCIA DE LECTURA		DIST. EN LA MIRA	VISTA ATRAS	VISTA ADELANTE	DIFERENCIA DE NIVEL			
				SUPERIOR	INFERIOR		SUP.	NIV.	INF.	SUP.-INF.	NIV.-INF.				DE LA SERIE	MEDIA	MEDIA DEL PAR	MEDIA DEL SET
21/5/2009	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	11:25	ALBORNOZ	W	1,29	0,87	0,42	74,784	40,920	14,188	60,596	26,732	0,18528	1,3188	1,0553	0,2635	0,2912		
	11:25	CALLE	E	1,4	0,95	0,45	78,837	60,059	21,041	57,796	39,018	0,30379	0,935	1,2538	-0,3188	0,2841		
	12:36	CALLE	W	1,29	0,87	0,42	69,560	40,676	13,412	56,148	27,264	0,20394	1,3184	1,0739	0,2445	0,2770		
	12:37	ALBORNOZ	E	1,4	0,95	0,45	82,332	60,564	19,020	63,312	41,544	0,29528	0,9357	1,2453	-0,3096	0,2766		
	12:59	CALLE	W	1,29	0,87	0,42	77,016	46,992	20,420	56,596	26,572	0,19719	1,3176	1,0672	0,2504	0,2720		
	12:58	ALBORNOZ	E	1,4	0,95	0,45	75,232	53,240	13,844	61,388	39,396	0,28879	0,9359	1,2388	-0,3029	0,2674		
	14:10	ALBORNOZ	W	1,29	0,87	0,42	65,278	38,181	6,481	58,797	31,7	0,22644	1,3205	1,0964	0,2241	0,2674		
	14:11	CALLE	E	1,4	0,95	0,45	72,772	52,400	13,344	59,428	39,056	0,29574	0,9349	1,2457	-0,3108			
	10:24	ALBORNOZ	W	1,29	0,87	0,42	73,993	41,763	14,803	59,19	26,96	0,1913	1,3166	1,0613	0,2553	0,2875		
	10:25	CALLE	E	1,4	0,95	0,45	85,268	66,600	27,196	58,072	39,404	0,30534	0,9356	1,2553	-0,3197	0,2827		
11:10	CALLE	W	1,29	0,87	0,42	67,890	40,145	13,658	54,232	26,487	0,20513	1,3174	1,0751	0,2423	0,2778			
11:11	ALBORNOZ	E	1,4	0,95	0,45	66,640	46,436	5,956	60,684	40,48	0,30018	0,9368	1,2502	-0,3134	0,2744			
11:43	CALLE	W	1,29	0,87	0,42	70,378	41,296	14,085	56,293	27,211	0,20302	1,3174	1,0730	0,2444	0,2744			
11:42	ALBORNOZ	E	1,4	0,95	0,45	64,400	42,700	2,964	61,436	39,736	0,29105	0,9366	1,2411	-0,3045	0,2810			
12:37	ALBORNOZ	W	1,29	0,87	0,42	62,831	30,908	3,796	59,035	27,112	0,19289	1,3153	1,0629	0,2524	0,2876			
12:38	CALLE	E	1,4	0,95	0,45	69,440	51,556	12,476	56,964	39,08	0,30872	0,9350	1,2587	-0,3227				
<b>MEDIA GENERAL: 0,2800</b>																		

$$\frac{9}{10} = \frac{6}{7} - \frac{8}{8}$$

$$\frac{10}{10} = \frac{7}{7} - \frac{8}{8}$$

$$DIST. = \frac{5}{9} \div \frac{9}{9} \times 10^5$$

CALCULADO POR: Sof. My. Severino Limachi  
 REVISADO POR: My. DIM. Arturo Echalar R.  
 FECHA: 2-may.-21



CALCULO DE LA DISTANCIA									
0,42	60,596	0,00693	100000	693,12					
0,45	57,796	0,00779	100000	778,6					
0,42	56,148	0,00748	100000	748,02					
0,45	63,312	0,00711	100000	710,77					
0,42	56,596	0,00742	100000	742,1					
0,45	61,388	0,00733	100000	733,04					
0,42	58,797	0,00714	100000	714,32					
0,45	59,428	0,00757	100000	757,22	734,65				
0,42	59,19	0,0071	100000	709,58					
0,45	58,072	0,00775	100000	774,9					
0,42	54,232	0,00774	100000	774,45					
0,45	60,684	0,00742	100000	741,55					
0,42	56,293	0,00746	100000	746,1					
0,45	61,436	0,00732	100000	732,47					
0,42	59,035	0,00711	100000	711,44					
0,45	56,964	0,0079	100000	789,97	747,56	741,103			