



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica**

## **Aplicación del sistema de coordenadas LTM para disminuir la distorsión en la cartografía de carreteras**

### **TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

### **AUTORES**

Diego Andree GUILLEN MELGAREJO

Gerson Miguel CABELLO RODRIGUEZ

### **ASESOR**

Ing. Luis Alberto HUAMÁN AMASIFUEN

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Guillen, D. (2021). *Aplicación del Sistema de Coordenadas LTM para Disminuir la Distorsión en la Cartografía de Carreteras*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	“—“
DNI o pasaporte del autor	Diego Andree Guillen Melgarejo 77143789 Gerson Miguel Cabello Rodriguez 73176988
Código ORCID del asesor	<a href="https://orcid.org/0000-0003-0834-3860">https://orcid.org/0000-0003-0834-3860</a>
DNI o pasaporte del asesor	43322204
Grupo de investigación	“—“
Agencia financiadora	Autofinanciado
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Distritos: San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores y Barranco Provincia:Lima Departamento: Lima  Norte: Latitud Sur 12° 5'36.40" Este: Longitud Oeste 77° 1'35.07" Sur: Latitud Sur 12° 8'44.30" Oeste: Longitud Oeste 77° 4'52.59"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2016-2021
Disciplinas OCDE	Geociencias, Multidisciplinar <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01</a>  Ingeniería del transporte <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05</a>





# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

Usando la plataforma virtual de Google Meet de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el día jueves 29 de abril del año 2021, siendo las 16:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Ing. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL CASAS

Presidente

Ing. JOSÉ LUIS QUISPE VILCHEZ

Miembro

Ing. ROLANDO YARIHUAMAN AGUILAR

Miembro

Reunidos en Acto Académico virtual Público de Sustentación de la Tesis titulada: “**APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS LTM PARA DISMINUIR LA DISTORSIÓN EN LA CARTOGRAFÍA DE CARRETERAS**” Presentada por los Bachilleres **GERSON MIGUEL CABELLO RODRIGUEZ** y **DIEGO ANDREE GUILLEN MELGAREJO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo.

Expuesta la Tesis; los miembros del Jurado plantearon a los Bachilleres las preguntas pertinentes, que fueron absueltas a:

**SATISFACCIÓN**

Concluida la sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar la calidad y sustentación en secreto, cuyo calificativo fue: **Dieciséis (16), APROBADO CON MENCIÓN HONROSA**

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO, a Don **GERSON MIGUEL CABELLO RODRIGUEZ** y **DIEGO ANDREE GUILLEN MELGAREJO**.

Siendo las.....**18:00**..... horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis, firmadas por el Jurado Calificador.

Lima, 29 de abril del 2021



JOSE ANTONIO SANDOVAL CASAS  
INGENIERO GEOGRAFO

Ing. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL CASAS  
PRESIDENTE



Ing. JOSÉ LUIS QUISPE VILCHEZ  
MIEMBRO



Ing. ROLANDO YARIHUAMAN AGUILAR  
MIEMBRO



Ing. LUIS ALBERTO HUAMÁN AMASIFUEN  
ASESOR DE TESIS

# ÍNDICE

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Situación Problemática.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Formulación de la Pregunta .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Pregunta General .....	2
1.2.2 Preguntas Específicas.....	2
<b>1.3 Justificación de la Investigación.....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Justificación teórica: .....	3
1.3.2 Justificación práctica: .....	3
1.3.3 Justificación social:.....	3
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
<b>1.5 Hipótesis .....</b>	<b>4</b>
1.5.1 Hipótesis general:.....	4
1.5.2 Hipótesis específicas:.....	4
<b>1.6 Identificación de Variables: .....</b>	<b>5</b>
1.6.1 Variable Independiente .....	5
1.6.2 Variable Dependiente .....	5
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Antecedentes del Problema.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Antecedente 01 .....	6
2.1.2 Antecedente 02 .....	6
2.1.3 Antecedente 03 .....	7
2.1.4 Antecedente 04 .....	7
2.1.5 Antecedente 05 .....	8
2.1.6 Antecedente 06 .....	8
<b>2.2 Bases Teóricas .....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Geodesia .....	9
2.2.2 La Tierra .....	9
2.2.2.1 Modelos de la Tierra .....	10
a) El elipsoide.....	10
b) El geoide .....	12
2.2.3 Sistemas de Referencia .....	13
2.2.3.1 Sistema de Referencia Convencional.....	14

a)	Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRS .....	14
b)	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS .....	15
2.2.4	Marco de Referencia .....	16
2.2.4.1	Marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF .....	16
2.2.4.2	Red Geodésica Geocéntrica Nacional - REGGEN .....	17
a)	Estaciones de Rastreo Permanente .....	18
2.2.5	Cartografía .....	19
2.2.5.1	Sistema de Coordenadas .....	20
a)	Coordenadas Cartesianas .....	20
b)	Coordenadas Geodésicas .....	21
c)	Coordenadas Cartográficas .....	21
d)	Coordenadas Topográficas .....	21
2.2.5.2	Escala .....	22
2.2.5.3	Graficismo .....	22
2.2.5.4	Proyecciones Cartográficas .....	23
a)	Proyección Azimutal, Polar, o cenital .....	23
a)	Proyección Cónica .....	24
a)	Proyección Cilíndrica .....	25
2.2.5.5	Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) .....	26
a)	Radios de Curvatura Terrestre .....	31
b)	Factor de Escala .....	34
c)	Factor de Elevación: .....	36
d)	Reduccion al Nivel Medio del Mar .....	38
e)	Factor Combinado .....	39
f)	Convergencia de Meridianos .....	40
g)	Azimut de Cuadrícula .....	42
h)	Azimut Geodésico Proyectado .....	43
i)	Corrección por curvatura t-T o Arco - Cuerda .....	44
2.2.5.6	Proyección Local Transversa de Mercator (LTM) .....	46
a)	Características de la proyección LTM .....	46
b)	Proyección LTM Y Planos Topográficos Locales (PTL) .....	47
c)	Deducción de Fórmulas .....	49
2.2.6	Topografía .....	59
2.2.6.1	División Básica de la Topografía .....	59
2.2.6.2	Poligonal .....	60
a)	Clasificación de las Poligonales .....	61
b)	Ajuste de datos topográficos mediante el Método de Bowdich .....	64
2.2.7	Transformación de Coordenadas Proyectadas (Cartográficas) a Topográficas (planas) .....	70
2.2.7.1	Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas .....	71
2.2.7.2	Transformación de Coordenadas Geográficas a LTM .....	76

<b>CAPITULO III:</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>81</b>
3.1	Tipo de Investigación	81
3.2	Nivel de Investigación	81
3.3	Diseño de Investigación	81
3.4	Enfoque de la Investigación	82
3.5	Recopilación y análisis de investigación	82
3.5.1	Planeamiento	82
3.5.1.1	Determinación de los Requerimientos	82
3.5.1.2	Equipos y materiales utilizados	83
3.5.1.3	Cronograma de actividades	89
3.5.2	Ubicación	89
3.5.3	Precampo	90
3.5.3.1	Ubicación de Puntos de Control Geodésico	90
3.5.3.2	Materialización de Puntos de Control Geodésico	92
a)	Ubicación del Punto A	92
b)	Ubicación del Punto B	93
c)	Ubicación del Punto C	94
d)	Ubicación del Punto D	95
e)	Ubicación del Punto E	96
f)	Ubicación del Punto F	97
3.5.4	Levantamiento Geodésico	98
3.5.4.1	Metodología para la Toma de datos GNSS/GPS	98
3.5.4.2	Ajuste de Datos GNSS/GPS	99
3.5.4.3	Coordenadas GNSS/GPS	101
3.5.5	Levantamiento Topográfico	102
3.5.5.1	Metodología para el Levantamiento Topográfico	102
3.5.5.2	Información obtenida en Campo	103
3.5.5.3	Validación de la certeza de los datos de Campo	103
3.5.5.4	Datos Topógrafos obtenidos	104
3.5.6	Postproceso de Datos	105
3.5.6.1	Aplicación de Coordenadas GNSS/GPS	107
a)	Ajuste de la Poligonal Topográfica	107
3.5.6.2	Aplicación de Coordenadas UTM - Topográficas	117
a)	Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas	117
3.5.6.3	Aplicación de Coordenadas LTM	135
a)	Transformación de Coordenadas GNSS/GPS a Coordenadas LTM	135
b)	Ajuste de la Poligonal Topográfica	139
<b>CAPITULO IV:</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>149</b>

4.1	Comparación de la Distorsión en Distancias.....	149
4.2	Comparación de la Distorsión Angular .....	153
<b>CAPITULO V:</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>158</b>
<b>CAPITULO VI:</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>159</b>
<b>CAPITULO VII:</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>160</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1: La tierra como Elipsoide .....	10
Figura N° 2: Superficies de Referencia .....	13
Figura N° 3: Red SIRGAS .....	16
Figura N° 4: Ajuste de las Estaciones .....	17
Figura N° 5: Estaciones de Rastreo Permanente .....	19
Figura N° 6: Coordenadas Cartesianas.....	20
Figura N° 7: Proyección Azimutal.....	24
Figura N° 8: Proyección Cónica .....	25
Figura N° 9: Proyección Cilíndrica.....	26
Figura N° 10: Proyección UTM.....	27
Figura N° 11: Meridiano de Central .....	28
Figura N° 12: Zonas UTM .....	29
Figura N° 13: Valores de Coordenadas para el hemisferio sur .....	29
Figura N° 14: Valores de Coordenadas para el hemisferio norte .....	30
Figura N° 16: Radio de Curvatura del Elipsoide .....	31
Figura N° 17: Radio de Curvatura en el Meridiano para un Punto .....	32
Figura N° 18: Radio de Curvatura de la Primera Vertical .....	33
Figura N° 19: Factor de Escala .....	34
Figura N° 20: Factor de Escala en un Punto .....	35
Figura N° 21: Factor de Elevación.....	37
Figura N° 22: Meridiano Geográfico de un Punto A .....	40
Figura N° 23: Meridiano de Cuadrícula de un Punto A.....	41
Figura N° 24: Convergencia de Meridianos.....	41
Figura N° 25: Signo de la Convergencia de Meridianos .....	42
Figura N° 26: Azimut de Cuadrícula .....	43

Figura N° 27: Azimut Geodésico Proyectado .....	43
Figura N° 28: Azimut Topográfico .....	44
Figura N° 29: Corrección Arco - Cuerda.....	45
Figura N° 30: Proyección Local Transversal de Mercator (LTM).....	48
Figura N° 31: Latitud y Longitud .....	50
Figura N° 32: Distancia Proyectada .....	51
Figura N° 33: Plano Topográfico Local.....	58
Figura N° 34: Poligonal Abierta no Comprobada.....	61
Figura N° 35: Poligonal Cerrada.....	61
Figura N° 36: Poligonal Abierta .....	62
Figura N° 37: Poligonal Orientada.....	62
Figura N° 38: Poligonal no Orientada .....	64
Figura N° 39: Poligonal Topográfica de Enlace comprobada .....	65
Figura N° 40: Lata de Pintura en Spray.....	83
Figura N° 41: Molde hecho con cartón .....	84
Figura N° 42: Cinta Masking Tape .....	84
Figura N° 43: GPS Navegador Garmin 64s.....	84
Figura N° 44: GPS Diferencial Trimble R8 .....	85
Figura N° 45: Trípode.....	85
Figura N° 46: Wincha Stanley de 5 m .....	86
Figura N° 47: Estación Total Topcon IS-105 .....	86
Figura N° 48: Trípode Topcon .....	87
Figura N° 49: Prima y Porta-prisma Topcon.....	87
Figura N° 50: Base Nivelante .....	88
Figura N° 51: Ubicación del Área de Trabajo .....	90
Figura N° 52: Localización Preliminar de los Puntos de Control .....	91

Figura N° 53: Ubicación del Punto A.....	92
Figura N° 54: Foto del Punto A.....	92
Figura N° 55: Ubicación del Punto B.....	93
Figura N° 56: Foto del Punto B.....	93
Figura N° 57: Ubicación del Punto C.....	94
Figura N° 58: Foto del Punto C.....	94
Figura N° 59: Ubicación del Punto D.....	95
Figura N° 60: Foto del Punto D.....	95
Figura N° 61: Ubicación del Punto E.....	96
Figura N° 62: Foto del Punto E.....	96
Figura N° 63: Ubicación del Punto F.....	97
Figura N° 64: Métodos de Posicionamiento GNSS/GPS.....	98
Figura N° 65: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-A-B.....	100
Figura N° 66: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-C-D.....	100
Figura N° 67: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-E-F.....	101
Figura N° 68: Metodología de los Cálculos Realizados.....	106
Figura N° 69: Transformación UTM a Topográficas - SISTRAUT.....	125
Figura N° 70: Reporte del Ajuste por Mínimos Cuadrados.....	135
Figura N° 71: Reporte del Ajuste por Mínimos Cuadrados.....	148



## **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro N° 1: Elipsoides del Mundo.....	11
Cuadro N° 2: Comparación de los Parámetros .....	12
Cuadro N° 4: Coordenadas Iniciales .....	72
Cuadro N° 5: Calculo del Factor de Escala .....	72
Cuadro N° 6: Calculo de Factor de Elevación .....	73
Cuadro N° 7: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A.....	73
Cuadro N° 8: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C.....	74
Cuadro N° 9: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D.....	74
Cuadro N° 10: Distancia Topográfica Calculada .....	74
Cuadro N° 11: Calculo de la Convergencia de Meridianos.....	75
Cuadro N° 12: Calculo de la Reducción de Arco – Cuerda .....	75
Cuadro N° 13: Calculo del Azimut Topográfico .....	76
Cuadro N° 14: Coordenadas Topográficas Calculadas .....	76
Cuadro N° 15: Calculo de los Parámetros de Proyección .....	78
Cuadro N° 16: Calculo de los Valores preliminares.....	78
Cuadro N° 17: Coordenadas LTM.....	79
Cuadro N° 18: Coordenadas LTM Calculadas .....	80
Cuadro N° 19: Coordenadas UTM obtenidas del levantamiento GNSS/GPS .....	101
Cuadro N° 20: Valores de la Constante K.....	103
Cuadro N° 21: Distancias Topográficas Obtenidas .....	104
Cuadro N° 22: Ángulos Topográficos Obtenidos.....	104
Cuadro N° 23: Coordenadas UTM obtenidas del levantamiento GNSS/GPS .....	107
Cuadro N° 24: Datos del Levantamiento Topográfico .....	107
Cuadro N° 25: Calculo de los Azimuts Medidos .....	108
Cuadro N° 26: Calculo del Error Angular.....	110

Cuadro N° 27: Compensación del Error Angular.....	110
Cuadro N° 28: Calculo del Coordenadas Preliminares.....	111
Cuadro N° 29: Calculo del Error de Cierre Lineal (E) .....	112
Cuadro N° 30: Compensación del Error de Cierre Lineal .....	114
Cuadro N° 31: Coordenadas Topográficas Obtenidas .....	116
Cuadro N° 32: Calculo del Factor de Escala .....	117
Cuadro N° 33: Calculo de Factor de Elevación .....	118
Cuadro N° 34: Calculo de RNMM.....	118
Cuadro N° 35: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A.....	119
Cuadro N° 36: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C.....	119
Cuadro N° 37: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D.....	119
Cuadro N° 38: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-E.....	120
Cuadro N° 39: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-F .....	120
Cuadro N° 40: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A.....	120
Cuadro N° 41: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C.....	120
Cuadro N° 42: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D.....	121
Cuadro N° 43: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-E.....	121
Cuadro N° 44: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-F .....	121
Cuadro N° 45: Distancia Topográfica Calculada .....	122
Cuadro N° 46: Calculo de la Convergencia de Meridianos.....	122
Cuadro N° 47: Calculo de la Reducción de Arco - Cuerda.....	123
Cuadro N° 48: Calculo del Azimut Topográfico .....	123
Cuadro N° 49: Coordenadas Topográficas obtenidas .....	124
Cuadro N° 50: Coordenadas Topográficas .....	124
Cuadro N° 51: Datos del Levantamiento Topográfico .....	125
Cuadro N° 52: Calculo de los Azimuts Medidos.....	126

Cuadro N° 53: Calculo del Error Angular.....	128
Cuadro N° 54: Compensación del Error Angular.....	129
Cuadro N° 55: Calculo del Coordenadas Preliminares.....	130
Cuadro N° 56: Error de Cierre Lineal (E).....	131
Cuadro N° 57: Compensación del Error de Cierre Lineal.....	132
Cuadro N° 58: Coordenadas Topográficas obtenidas.....	134
Cuadro N° 59: Calculo de los parámetros de proyección LTM.....	136
Cuadro N° 60: Calculo de los Valores preliminares.....	137
Cuadro N° 61: Coordenadas LTM.....	137
Cuadro N° 62: Coordenadas LTM Trasladas.....	138
Cuadro N° 63: Datos del Levantamiento Topográfico.....	139
Cuadro N° 64: Calculo de los Azimuts Medidos.....	140
Cuadro N° 65: Calculo del Error Angular.....	141
Cuadro N° 66: Compensación del Error Angular.....	141
Cuadro N° 67: Calculo del Coordenadas Preliminares.....	143
Cuadro N° 68: Calculo del Error de Cierre Lineal (E).....	144
Cuadro N° 69: Compensación del Error de Cierre Lineal.....	145
Cuadro N° 70: Coordenadas Topográficas Obtenidas.....	147
Cuadro N° 71: Comparación de las Coordenadas Topográficas Obtenidas.....	149
Cuadro N° 72: Comparación de la Distancia UTM Vs Medición Directa.....	150
Cuadro N° 73: Comparación de la Distancia Transformada (UTM – Topográficas) Vs Medición Directa.....	151
Cuadro N° 74: Comparación de la Distancia LTM Vs Medición Directa.....	152
Cuadro N° 75: Comparación de Ángulos UTM Vs Ángulos Medidos Directamente.....	153
Cuadro N° 76: Comparación de Ángulos Transformados (UTM – Topográficas) Vs Ángulos Medidos Directamente.....	154
Cuadro N° 77: Comparación de Ángulos LTM Vs Ángulos Medidos Directamente.....	155

## RESUMEN

La proyección cartográfica es un sistema de representación gráfica que establece una relación de correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie Terrestre y una superficie plana a escala. En el Perú se emplea el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) para el posicionamiento de puntos en los proyectos de ingeniería.

Las coordenadas cartográficas al provenir de una superficie modelable (Elipsoide) y otra desarrollable (Cono, cilindro) difieren de la realidad topográfica, generándose distorsiones que afectan los principales elementos de un mapa: área, forma, distancia y direcciones. En el caso de la proyección UTM el elemento que sufre la mayor distorsión es la distancia.

En la práctica, las coordenadas UTM, obtenidas con receptores GNSS/GPS, se utilizan para georreferenciar y densificar la red de puntos del área de trabajo y las coordenadas topográficas para hacer la representación detallada de la realidad del terreno, sin embargo, es importante conocer la magnitud de las distorsiones y saber combinar el uso de coordenadas UTM y topográficas para evitar errores que sobrepasen los márgenes de precisión permisibles.

La Metodología aplicada en Perú para interconectar las coordenadas UTM y las Medidas de la Topografía es quitar los factores de la proyección UTM con la finalidad de transformar las medidas del elipsoide en coordenadas planas (topográficas) para que sirvan como líneas base de las poligonales topográficas. Sin embargo, en otros países de nuestra Región, la metodología consiste en establecer un Sistema de Proyección Local, tomando como base a la Proyección UTM, por ellos se le denomina sistema de coordenadas Local Transversa de Mercator (LTM).

El presente estudio consiste en analizar la precisión obtenida aplicando las metodologías antes mencionadas y determinar cuál brinda mejores resultados y se adapta mejor a la realidad en nuestro país.

## **ABSTRACT**

Cartographic projection is a graphical representation system that establishes a one-to-one correspondence relationship between points on the Earth's surface and a flat surface to scale. In Peru, the Universal Transversal Mercator (UTM) coordinate system is used for the positioning of points in engineering projects.

The cartographic coordinates, coming from a modeling surface (Ellipsoid) and another developable one (Cone, cylinder), differ from topographic reality, generating distortions that affect the main elements of a map: area, shape, distance, and directions. In the case of UTM projection, the element that suffers the greatest distortion is distance.

In practice, the UTM coordinates, obtained with GNSS / GPS receivers, are used to georeferencing and densify the grid of points of the work area and the topographic coordinates to make the detailed representation of the reality of the terrain, however, it is important to know the magnitude of the distortions and knowing how to combine the use of UTM and topographic coordinates to avoid errors that exceed the permissible precision margins.

The Methodology applied in Peru to interconnect the UTM coordinates and the Topography Measurements is to remove the factors from the UTM projection to transform the ellipsoid measurements into flat (topographic) coordinates to serve as baselines of the topographic polygonal. However, in other countries of our region, the methodology consists of establishing a Local Projection System, based on the UTM Projection, therefore, it is called the Local Transverse Mercator coordinate system (LTM).

The present study consists of analyzing the precision obtained by applying the aforementioned methodologies and determinate which one provides the best results and best adapts to the reality of our country.

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

Como sabemos la tierra no es plana, ni redonda, sino que es amorfa (Geoidal), por ello se emplean modelos matemáticos, en este caso los elipsoides de revolución y las esferas, para su representación cartográfica.

Otro aspecto muy importante de la representación cartográfica es el de optar por un sistema geodésico oficial y de un sistema de coordenadas: las geodésicas y las cartográficas.

Así mismo, es necesario adoptar una proyección cartográfica, como en caso del Perú: la Universal Transversal Mercator, en adelante "UTM", la cual consiste en una proyección cilíndrica transversal y secante, con 60 zonas de igual característica: 6° de ancho, límite norte hasta los 84° de latitud y límite Sur hasta los 80° de latitud, Falso Norte y Falso Este, Meridiano Central.

La proyección UTM como cualquier otra proyección no refleja fielmente la realidad topográfica, sino que presenta distorsiones debido al paso de una superficie elipsoidal o esférica (tridimensional) a una superficie plana (bidimensional).

Por otra parte, el uso de coordenadas topográficas radica en la necesidad de plasmar gráficamente y con precisión las medidas reales del terreno.

Por ello se necesita de una metodología que permita la combinación de coordenadas cartográficas con las coordenadas topográficas de tal manera que se reduzcan las distorsiones y estén dentro de un rango de precisión aceptable de acuerdo con las normas técnicas oficiales y vigentes.

En la presente tesis se plantea la aplicación de un sistema de coordenadas locales en el territorio peruano de tal manera que la representación cartográfica sea lo más fidedigna posible, estando de acuerdo a los parámetros de precisión requeridos.

## **1.1 Situación Problemática**

La proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) es la más utilizada en el mundo, incluido el Perú. Como es conocido las proyecciones cartográficas, incluida la UTM, utiliza un elipsoide de revolución sobre el cual se realizan los cálculos que, al ser una superficie modelo difiere de la realidad topográfica. Estas diferencias se llaman distorsiones y afectan el área, la forma, la distancia y las direcciones. En el caso de la proyección cartográfica UTM el elemento que sufre la mayor distorsión es la distancia.

En Latinoamérica países como Chile, Colombia, Bolivia, Argentina y Brasil han optado por la utilización de un sistema de coordenadas locales tomando como base la UTM, haciéndole algunas variaciones, para adaptarla a su realidad, de tal manera que se reduzcan la distorsiones en distancias y direcciones al momento de elaborar su Cartografía.

La proyección UTM ha sido desarrollada para escalas pequeñas e intermedias, es por lo que al representar o elaborar planos topográficos de escalas grandes: 1:200, 1:500, 1:1000, etc., por ejemplo, para carreteras, es que se manifiestan las distorsiones en distancias.

Estas deformaciones son más notorias mientras más extensa sea el área de trabajo que, a largo plazo pueden generar conflictos dada la distorsión que se generaría en la presentación de la cartografía final.

## **1.2 Formulación de la Pregunta**

### **1.2.1 Pregunta General**

- ¿La aplicación del sistema de coordenadas LTM disminuye la distorsión en la cartografía de carreteras?

### **1.2.2 Preguntas Específicas**

- ¿Cuál será la diferencia entre la metodología de transformación de coordenadas UTM a topográficas usado actualmente en Perú y la metodología de aplicación de coordenadas LTM usado en otros países?

- ¿En qué medida la estrategia de aplicar el sistema LTM al plano topográfico local incrementara la precisión de la representación cartográfica de carreteras?
- ¿De qué manera la aplicación de un sistema de coordenadas LTM mejorara la representación cartográfica del levantamiento topográfico y la aproxima a su verdadero valor en la realidad?

### **1.3 Justificación de la Investigación**

#### **1.3.1 Justificación teórica:**

El propósito de esta tesis es proponer la utilización del sistema de coordenadas LTM para mejorar la precisión de la representación cartográfica, utilizando los parámetros que más se adecuen a nuestra realidad geográfica.

#### **1.3.2 Justificación práctica:**

La importancia de aplicar un sistema de coordenadas es principalmente la georreferenciación de un lugar u obra a ejecutar, ya que en la actualidad la georreferenciación mencionada es un requisito indispensable en todo tipo de proyecto; pero como ya se ha mencionado que en el sistema de coordenadas UTM, el cual usa actualmente el estado peruano, posee una deformación al momento de cartografiar, se propone adoptar el sistema de coordenadas LTM (Local Transversa de Mercator) con el fin de cartografiar una red vial sin generar grandes deformaciones, por tanto la importancia de esta tesis radica en aplicar el sistema de coordenadas LTM para poder reducir el error de las distancias y direcciones.

#### **1.3.3 Justificación social:**

Con esta tesis trae consigo a diferentes beneficiarios, entre ellos:

- El estado peruano, al ser el principal promotor de este tipo de proyectos de inversión pública, puede disminuir costos en el trabajo de gabinete, debido a que se podrá obtener una cartografía con la posibilidad de generar replanteos inmediatos.



- La población, ya que este tipo de obras podrán ejecutarse en un menor tiempo, abaratando costos en beneficio de nuevos proyectos que favorecerían el desarrollo del país.
- En beneficio de empresas generadoras de Cartografía.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Demostrar que la aplicación del sistema de coordenadas LTM disminuye la distorsión en la cartografía de carreteras.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar la diferencia entre la metodología transformación de coordenadas UTM a topográficas usado actualmente en Perú y la metodología de aplicación de coordenadas LTM usado en otros países.
- Determinar una metodología de aplicación para el sistema de coordenadas Local en Perú con el fin de representar la cartografía en escalas grandes.
- Demostrar que la aplicación de un sistema de coordenadas LTM mejora la representación cartográfica de la topografía y la aproxima a su valor en la realidad.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general:**

La aplicación del Sistema de Coordenadas LTM disminuirá la distorsión en la cartografía de carreteras.

### **1.5.2 Hipótesis específicas:**

- Es factible diferenciar la metodología transformación de coordenadas UTM a topográficas usado actualmente en Perú y la metodología de aplicación de coordenadas LTM.
- La aplicación del sistema de coordenadas Local Transversal de Mercator (LTM) en Perú es posible.

- La aplicación de un sistema de coordenadas Local Transversal de Mercator (LTM) mejora la representación cartográfica de la topografía y la aproxima a su valor en la realidad.

## **1.6 Identificación de Variables:**

### **1.6.1 *Variable Independiente***

Sistema de Coordenadas.

### **1.6.2 *Variable Dependiente***

Cartografía de Carreteras.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes del Problema**

#### **2.1.1 Antecedente 01**

VALEIJE, I. en su tesis titulada Uso del Plan Topográfico Local en Obras Lineales de Ingeniería: caso Autopista Presidente Dutra, Concluye que:

“Es amplio el uso de los sistemas de proyección cartográficas en los servicios de ingeniería. Por otro lado, el desconocimiento de la realidad, además de la ignorancia en cuanto a las características de las proyecciones, convierte en el uso inadecuado de estos sistemas, donde se omiten las propiedades de las deformaciones y los factores de cambio de altitud y así no se aplican las correcciones correctamente. Eso todo relacionado al uso del sistema de coordenadas planas, con correspondencia biunívoca al sistema geodésico, justifica la presentación del PTL-Plan Topográfico Local, su relación con respecto al sistema geodésico y su modelaje matemática. Otro factor importante es en cuanto al creciente popularización del uso del sistema de posicionamiento por satélite GPS (global positioning system), no sólo para fines de posicionamiento sino también para locación.

Se espera con habilitación para ejecutar servicios de posicionamiento, locación, cartografía, georreferenciación y otros.”

#### **2.1.2 Antecedente 02**

Blanco, P. en su tesis titulada Definición de planos Topográficos Locales para un caso de Estudio, poligonal Chocontá-Suesca, Siguiendo la Metodología planteada por la norma brasilera NBR 14166: caso Autopista Presidente Dutra, Concluye que:

- Se confirmo que la metodología propuesta cumple con los parámetros planteados por la Norma Brasilera, a través de este estudio de aplicación.
- La metodología planteada por Brasil mejora la precisión de la poligonal obteniendo un cierre de 1:9751.

- La metodología realizada en comparación con la manejada por el IGAC, permite plantear un sistema cartográfico donde se puede tener una secuencia en las coordenadas y no deja un plano aislado, limitando la cobertura.

### **2.1.3 Antecedente 03**

TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM A TOPOGRÁFICAS. Jorge Mendoza Dueñas, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil- Departamento Académico de Vitalidad y Geomática:

“Las coordenadas, ángulos y direcciones UTM, son proyecciones provenientes de la superficie geodésica de referencia y por tanto no representan exactamente la realidad, es por ello que al querer replantear los puntos pertenecientes a un plano (UTM), es necesario llevar a cabo cierta transformación, pues de no ser así, estaríamos replanteando puntos que no representan exactamente la superficie topográfica; dicha actividad, toma el nombre de Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas.”

### **2.1.4 Antecedente 04**

Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile - 2001

El sistema geodésico el WGS-84 (actualmente Sirgas) y como sistema cartográfico, la proyección Local Transversal de Mercator (LTM), con parámetros específicos con el objeto de minimizar las deformaciones, principalmente entre distancias de terreno y sus proyectadas a fin que las construcciones de las obras de ingeniería puedan ser replanteadas en terreno de forma expedita.

Esto se logra haciendo pasar el cilindro TM a una altura conveniente, de tal forma que la diferencia entre las distancias horizontal y proyectada estén en tolerancia, de esa manera los planos representarán la realidad métrica del proyecto, es decir el plano LTM será un Plano Topográfico Local (PTL).

### **2.1.5 Antecedente 05**

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS, COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, DIVISIÓN DE ESTUDIOS, DESARROLLO Y POLÍTICAS - Ministerio de Agricultura.2014

“El objetivo de utilizar una proyección LTM es para representar superficies terrestres de no mucha extensión, minimizando principalmente las diferencias en las distancias medidas en terreno y las diferencias de los ángulos.

En el año 2001 la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, publicó la nueva versión del Manual de Carreteras, donde se define claramente las características de esta proyección, la cual, desde esa fecha es utilizada en todos los proyectos que dirige esa institución.

Si bien, la proyección oficial en la CNR es la UTM, puede que algún estudio en particular necesite la utilización de un sistema que presente menos distorsión de las distancias y sin cálculos de transformación de coordenadas, para lo cual, se permitirá la proyección LTM con la utilización de un Plano Topográfico Local (PTL). Con este sistema, no se requiere de transformaciones posteriores, como las de UTM a Topográficas, pudiendo combinar varias técnicas de medición entre los sistemas tradicionales y los modernos como lo es el GNSS.”

### **2.1.6 Antecedente 06**

APLICACIÓN DE LA PROYECCIÓN LOCAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (LTM) SOBRE EL PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (PTL), MEDIANTE OBSERVACIONES CON ESTACIÓN TOTAL ENTRE PUNTOS DE CONTROL. RICHARD TOLA VARGAS, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS - CARRERA TOPOGRAFÍA Y GEODESIA. La Paz – Bolivia - 2010

“Se utilizó el Sistema de Proyección Local Transversal de Mercator (LTM) en un área de trabajo a partir de las coordenadas geodésicas se generó el Plano Topográfico Local PTL, obteniéndose coordenadas LTM, mediante estas coordenadas se calculó la distancia topográfica, verificando su variación con respecto a la distancia topográfica obtenida con la estación total.

Por los resultados obtenidos se demuestra que la distancia topográfica es igual a la distancia sobre el plano PTL, comprobándose que si es posible realizar la representación de distancias topográficas en un plano de proyección.”

“Se recomienda tener cuidado al momento de la utilización del PPM al momento de la medición con estación total ya que los factores atmosféricos influyen en la medición de distancias.”

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Geodesia**

Una definición básica de Geodesia, expresada por Friedrich Robert Helmert en el siglo XIX, la define como *“La ciencia de la medición y representación de la superficie de la Tierra”*.

A inicios del siglo XX, se consideraba a la Geodesia como la “ciencia, que trata de las investigaciones de la forma y dimensiones de la superficie terrestre”.

La geodesia en la actualidad se considera una ciencia básica la cual se apoya en la cálculos matemáticos y físicos. El objeto de la geodesia es el estudio y determinación de la forma y dimensiones de la Tierra. Debido a que el objeto de estudio de la geodesia está muy relacionado al proceso de ubicar puntos sobre la superficie de la tierra con precisión.

### **2.2.2 La Tierra**

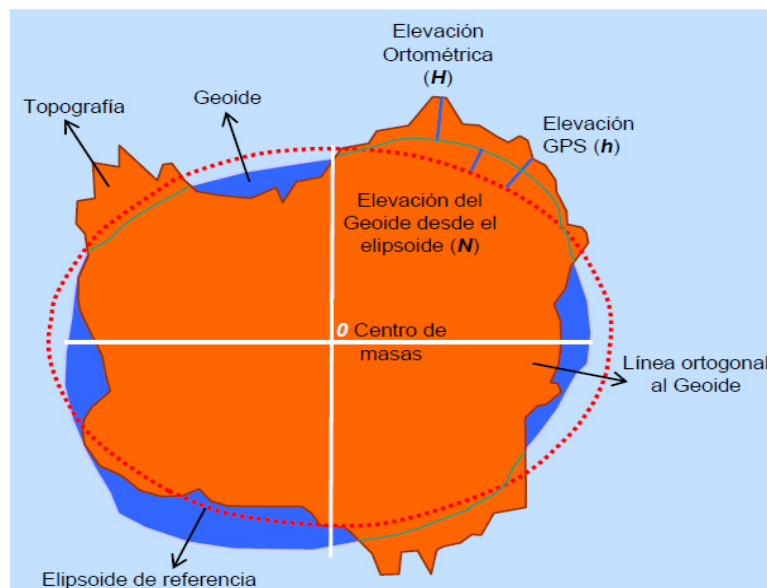
La Tierra se encuentra a una distancia aproximadamente a unos 150 millones de kilómetros del Sol y a una distancia aproximada de 384 400 kilómetros de la Luna. Nuestro planeta tiene una forma Geoidal, por lo cual se toma como una forma esférica para facilitar los cálculos realizados sobre ella, esta forma esférica tiene un radio aproximado de 6 378 Km, nuestro planeta tiene una edad aproximada de 4 600 millones de años.

### 2.2.2.1 Modelos de la Tierra

#### a) El elipsoide

Actualmente es de conocimiento que la superficie de la Tierra es amorfa, la cual es denominada Geoide, por ello, se emplean modelos matemáticos (elipsoides) sobre el cual se realizan los cálculos de posicionamiento y mediciones sobre él. (Ver Figura N° 1).

**Figura N° 1: La tierra como Elipsoide**



Fuente: (Alazan Garate, 2011)

Antiguamente, por países o regiones, se implementaron sistemas geodésicos locales, con la finalidad de adoptar un elipsoide que se ajuste mejor con la forma del geoide en su país o región, generándose problemas al determinar coordenadas en puntos materializados en zonas limítrofes de dos sistemas geodésicos diferentes. Ver algunos ejemplos en el Cuadro N° 1

**Cuadro N° 1: Elipsoides del Mundo**

<b>PAIS DONDE SE APLICO</b>	<b>DATUM</b>	<b>ELIPSOIDE</b>
Oahu	Viejo Hawaiano	Clarke 1866
	Norteamericano 1983	GRS 80
Omán	Omán	Clarke 1880
Ontario	Norteamericano 1927	Clarke 1866
	Norteamericano 1983	GRS 80
País de Gales	Encuesta De La Artillería De Gran	Airy 1830
Países Bajos	Europeo 1979	Internacional 1924
Paquistán	Indio	Everest (La india
Paraguay	Chua Astro	Internacional 1924
Perú	1956 sudamericano (PSAD 56)	Internacional 1924

*Fuente: (Alazan Garate, 2011)*

De acuerdo a la Resolución Jefatural N° 086 – 2011- IGN / OAJ / DGC del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en su artículo segundo dice *“Constitúyase como Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN) la misma que tiene como base el Sistema de Referencia Geodésico Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) sustentado en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 2000 – International Terrestrial Reference Service Frame 2000 (ITRF2000) del International Earth Rotation Service (IERS) para la Época 2000.4 y relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 – Geodetic Reference System 1980 (GRS80)...”*.

Sin embargo, en la actualidad aún hay algunas instituciones del estado que solicitan que la cartografía este graficada en relación al antiguo Sistema Geodésico Nacional cuyo elipsoide de referencia es el elipsoide Internacional de 1924, asociado al Datum Local Provisional Sudamericano de 1956 (PSAD56) de acuerdo a la Resolución Jefatural N° 086 – 2011- IGN / OAJ / DGC, antes mencionada, donde también dice *“para efectos prácticos como elipsoide puede ser utilizado el Word Geodetic System 1984 (WGS84)”*, (ver Cuadro N° 2).



Cuadro N° 2: Comparación de los Parámetros

Parámetros GRS80:	Parámetros WGS84:	Parámetros PSAD56
<b>a = 6378197.0</b>	a = 6 378 137.0	a = 6 378 388.0
<b>b = 6 356 752.314</b>	b = 6 356 752.314	b = 6 356 911.946
<b>1/f = 298.257222101</b>	1/f = 298.257223563	1/f = 297
<b>e<sup>2</sup> = 0.00669438</b>	e <sup>2</sup> = 0.00669438	e <sup>2</sup> = 0.00672267
<b>e'<sup>2</sup> = 0.006739497</b>	e' <sup>2</sup> = 0.006739497	e' <sup>2</sup> = 0.00676817
<b>J<sub>2</sub> = 108263.10<sup>-8</sup></b>	J <sub>2</sub> = 108262,9983.10 <sup>-8</sup>	
<b>GM = 3986005.10<sup>8</sup></b>	GM = 3986004,418.10 <sup>8</sup>	
<b>ω = 7293115.10<sup>-11</sup></b>	ω = 7293115.10 <sup>-11</sup>	

Fuente: (Martín Furones , 2011)

b) *El geoide*

Según Fernando Martín Asín (1983, p. 16) el “Geoide es una superficie física real, y sobre la cual la gravedad en todos sus puntos es normal a ella”.

Así mismo Berné, Anquela y Garrido (2014, p. 10) dicen “El agua de los océanos busca estar en equilibrio y por ello busca una superficie gravitatoria equipotencial, y por ello se toma como referencia el nivel medio de los mares, superficie equipotencial en el campo de la gravedad terrestre, denominada Geoide ...”.

El Geoide y el Elipsoide guardan una relación dada por la siguiente ecuación:

$$h = H + N$$

Donde:

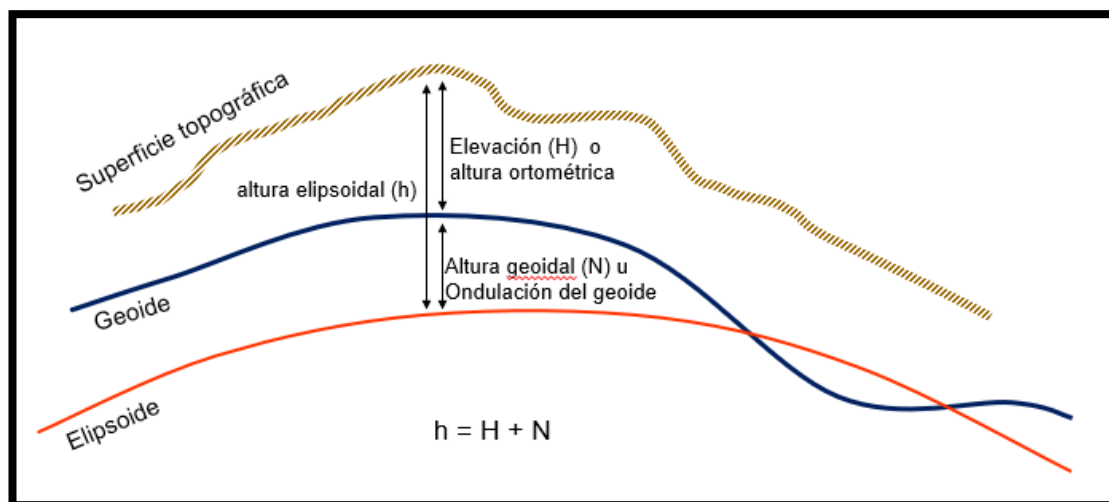
*h*: es la altura elipsoidal (modelo matemático)

*H*: es la altura Ortométrica (msnm)

*N*: es la ondulación Geoidal

Para entender esta relación nos apoyamos de la siguiente gráfica (Ver Figura N° 2).

Figura N° 2: Superficies de Referencia



Fuente: Cortesía del Ing. Luis Alberto Huamán Amasifuen

El geoide se puede ubicar sobre o debajo del elipsoide, esto dependerá de la geografía propia de la zona, así como de los valores del geoide para esa zona específica, la diferencia entre el geoide y el elipsoide es llamado ondulación del geoide u ondulación Geoidal.

Según Gregorio Portilla Barbosa (2009, p. 23). Las ondulaciones más grandes que se registran son las siguientes:

- Depresión al sur de la India que alcanza los 105 metros
- Elevación al norte de Australia que alcanza los 75 metros.

### 2.2.3 Sistemas de Referencia

Un sistema de referencia se puede definir como una estructura geométrica teórica e ideal, utilizada para referenciar coordenadas en el espacio, sobre los tres ejes cartesianos, para definir un sistema de referencia se emplean los siguientes parámetros:

- Origen de coordenadas
- Dirección de los ejes
- Escala

### *2.2.3.1 Sistema de Referencia Convencional*

En este tipo de Sistema de Referencia las constantes numéricas, parámetros, Hipótesis y teorías son planteadas de modo concreto.

Los parámetros establecidos son los siguientes:

- Origen: Centro de masas terrestres o geocentro.
- Eje Z: coincide con el eje de rotación terrestre.
- Plano meridiano: pasa por cualquier punto de la tierra y contiene al eje de rotación.
- Plano ecuador: es perpendicular al eje de rotación y pasa por el geocentro.
- Eje X: se sitúa en la dirección del plano meridiano que pasa por Greenwich y contenido en el plano ecuador.
- Eje Y: contenido en el plano ecuador y perpendicular al eje X y su sentido será tal que los tres ejes formen una tripleta dextrógira.

#### *a) Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRS*

Como es de conocimiento no es posible llegar al centro de masa de la tierra y por consiguiente se establece por convención, el cual está determinado por el sistema OCI (Origen convencional internacional), el cual se determina a través del Servicio del Movimiento Polar PMS y del BIH, los cuales se encargan de estudiar el movimiento del polo, así como el movimiento de rotación terrestre, tomando como referencia para ello, mediciones astronómicas.

En el año 1988, estos organismos se unieron para dar lugar a la creación del IERS (International Earth Rotation Service).

El IERS utiliza técnicas de la geodesia satelital para definir el sistema de referencia terrestre el cual está definido por tres ejes cartesianos, las técnicas de la geodesia satelital son las siguientes:

- VLBI: medición de radiofuentes extragalácticas por medio de radiotelescopios.
- SLR: medición de distancias láser a satélites específicos desde telescopios especiales.

- LLR: medición de distancias láser a la Luna desde telescopios especiales.
- GPS: medición de distancias a satélites GPS con receptores específicos.
- DORIS: medición de variación de distancias desde satélites específicos a balizas orbitales.

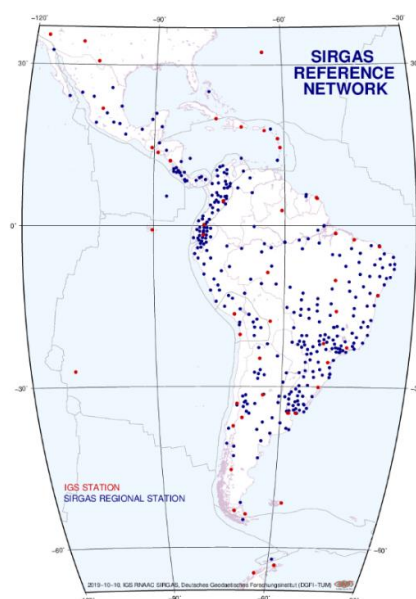
El IERS define un nuevo marco de referencia, el cual se cambia cada año, y recibe una denominación de acuerdo con el año por ejemplo IRTF94, el cual se estableció para el año 1994.

El IERS utiliza estaciones de referencia sobre la superficie de la cual se obtienen las coordenadas (XYZ), además de ello se obtienen las velocidades de los movimientos en los tres ejes ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ), con la finalidad de conectar los sistemas, estas velocidades se encuentran en función al desplazamiento de las placas tectónicas, pues ellas se encuentran en constante movimiento.

#### *b) Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS*

El sistema SIRGAS está relacionado al IRTS, pues es creado para la densificación regional del marco global de referencia ITRF en América Latina y el Caribe, estas coordenadas están reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), y tiene una precisión al nivel milimétrico, esta densificación sirve de apoyo a su vez para los marcos de referencia local, (Ver Figura N° 3).

La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas se adelanta utilizando los parámetros del elipsoide GRS80.

**Figura N° 3: Red SIRGAS**

Fuente: (SIRGAS, 2018)

### **2.2.4 Marco de Referencia**

Un marco de referencia puede definirse como la materialización o realización de un sistema de referencia convencional mediante mediciones, dicho de otro modo, es una red de puntos o hitos materializados en el terreno y ubicados con gran exactitud y precisión.

En el caso de sistemas geodésicos locales, dicho marco está dado por redes que cubren los territorios cuyos vértices, medidos con métodos convencionales, tienen distintos órdenes de precisión.

En el caso de los sistemas geocéntricos, esta se lleva a cabo mediante redes de puntos GNSS/GPS, los cuales están ajustados en lo posible a puntos de las redes anteriores, todo ello se lleva a cabo con la metodología debida con la finalidad de minimizar los errores y mejorar la precisión del sistema.

#### **2.2.4.1 Marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF**

El ITRF es básicamente la materialización del ITRS, la cual consta de un grupo de estación en tierra las cuales tienen un alcance global (cubren toda la superficie terrestre), además que utilizan técnicas geodésicas espaciales.

Debido a que el sistema es ajustado cada año, esto genera que se tenga que encontrar un manera de unir los sistemas, por ello se debe tener en cuenta la variable del Tiempo, considerándose como la “cuarta coordenada”, este ajuste se debe principalmente al desplazamiento de las placas tectónicas, el desplazamiento de las placas se mide en mm/año o cm/año (Ver Figura N° 4), este desplazamiento generan una variación en las coordenadas de las estaciones en tierra que pertenecen a la red, esta variación se puede analizar gracias a la utilización del sistema GNSS/GPS.

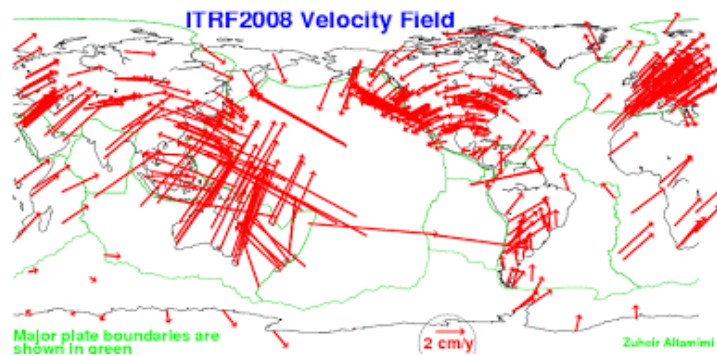
Para el cálculo de la época se procede de la siguiente manera:

$$\text{Época} = \frac{\text{días transcurridos}}{365} + \text{año}$$

Por ejemplo, para el SIRGAS95 es el 22 de abril de 1995, desde el inicio del año han transcurrido 111 días, entonces:

$$\text{Época} = \frac{111}{365} + 1995 = 0.3 + 1995 = 1995.3$$

**Figura N° 4: Ajuste de las Estaciones**



Fuente: (SIRGAS, 2018)

#### 2.2.4.2 Red Geodésica Geocéntrica Nacional - REGGEN

Como se mencionó anteriormente en el año 1995 se realizó la primera campaña del Proyecto SIRGAS, la cual consta de 58 estaciones. Dentro de las cuales se establecieron 4 puntos de orden cero en el Perú (Piura, Iquitos, Lima y Arequipa).

En el 2000 se realizó la segunda campaña del proyecto SIRGAS con 158 estaciones, re observando los 4 puntos colocado en 1995 y se establecieron 6 nuevos puntos (Talara, Pucallpa, La Punta - Callao, IGN - Puerto Maldonado y Matarani).

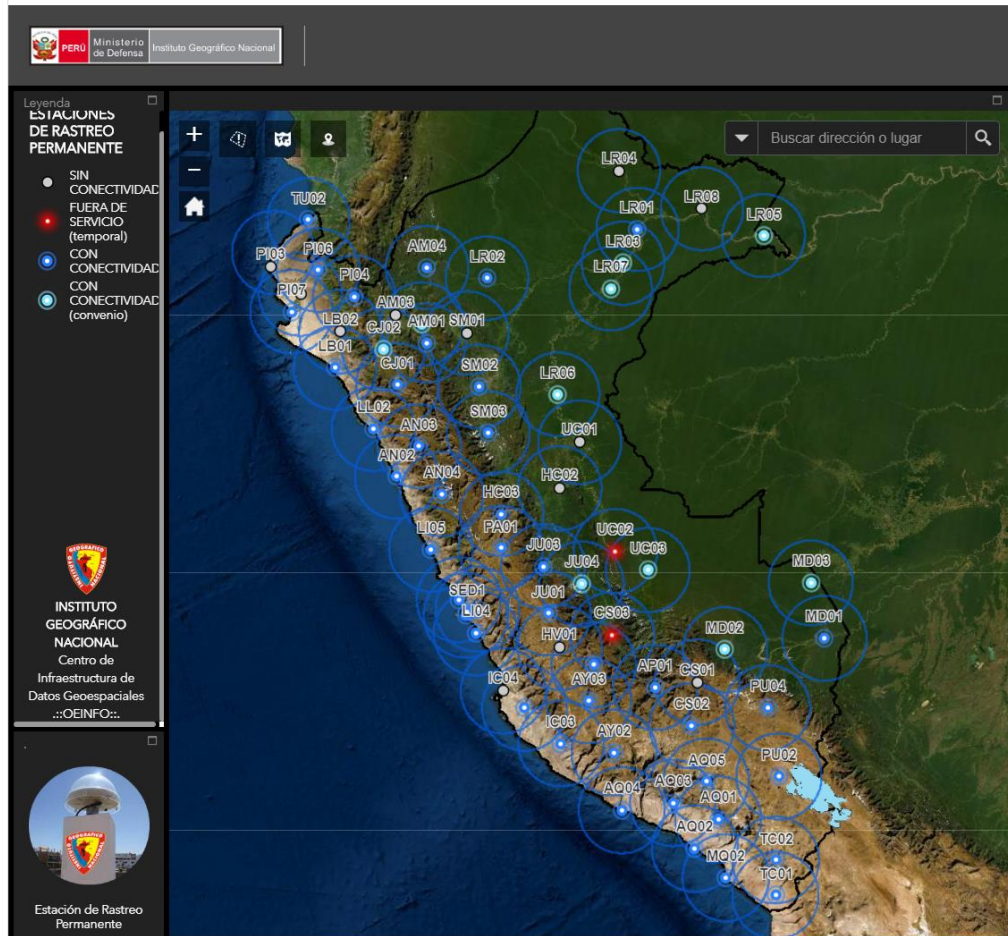
*a) Estaciones de Rastreo Permanente*

Las estaciones de Rastreo Permanente son un conjunto de receptores geodésicos a cargo del Instituto Geográfico Nacional IGN distribuidos al largo del territorio peruano con la finalidad de servir de base para los proyectos que se desarrollan en el Perú, estos puntos conforman la Red Geodésica Geocéntrica Nacional - REGGEN tomando como base a la red SIRGAS. (Ver Figura N° 5)

Cada receptor geodésico está conectado con el servidor del IGN a través del servicio de Internet, durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana, enviando su información diaria a un intervalo de 5 segundos.

Actualmente hay 68 Estaciones de Rastreo Permanente, de las cuales la información de 66 está disponible y las otras 2 están en mantenimiento según el portal web del IGN (información actualizada a enero del 2020).

Figura N° 5: Estaciones de Rastreo Permanente



Fuente: (Instituto Geográfico Nacional - IGN, 2020)

### 2.2.5 Cartografía

Para definir un concepto de lo que es cartografía, debemos mencionar primero que es un mapa, el cual se puede definir como una imagen convencional que representa las características de interés de la realidad geográfica, por lo que se puede decir es una imagen incompleta o una construcción selectiva, a su vez tiene una relación proporcional con la realidad geográfica representada, a esta relación se le denomina escala. tiene como finalidad cumplir la necesidad del conocimiento de las relaciones espaciales de una zona de interés.

Dicho lo anterior, podemos decir que la cartografía es una disciplina, la cual está encargada de la concepción, producción, difusión y el estudio de los mapas.



Existe diversas definiciones de cartografía las cuales mencionan que la cartografía tiene parte científica y artística, pero existe una cita de Paul Theroux que resume con gran acierto la relación entre ellas: “la cartografía es la más científica de las artes y la más artística de las ciencias”.

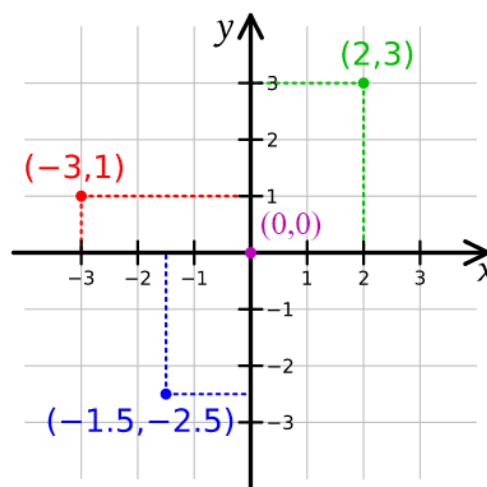
### 2.2.5.1 Sistema de Coordenadas

Es la parametrización de las coordenadas de los puntos que forman el marco de referencia (En el caso del Perú el marco de referencia es la REGGEN). En este sentido existen varios sistemas de coordenadas que nos permiten definir analíticamente la situación geométrica de un elemento y, por tanto, es posible elegir entre diferentes sistemas de coordenadas, por ejemplo, las coordenadas: Cartesianas  $(x, y, z)$ , Geodésicas  $(\varphi, \lambda, H)$ , UTM  $(E, N, h)$ .

#### a) Coordenadas Cartesianas

El sistema de coordenadas Cartesianas es un sistema de bidimensional el cual usa coordenadas ortogonales para la representar o ubicar relaciones matemáticas (funciones y ecuaciones matemáticas), estas se caracterizan por tener los de ejes referencia  $(x, y)$  ortogonales entre sí, que se interceptan entre sí en un punto de origen. (Ver Figura N° 6).

**Figura N° 6: Coordenadas Cartesianas**



*Fuente: (Cartesian Coordinate System, 2006)*

### *b) Coordenadas Geodésicas*

Las Coordenadas Geodésicas son un sistema de referencia, el cual tiene como finalidad permitir la ubicación de cualquier punto en la tierra. Las coordenadas Geodésicas se eligen, usando dos referencias las cuales representan una posición horizontal (latitud, longitud) y una tercera referencia la cual se encarga de representar la altitud, estas coordenadas se utilizan mediante un sistema de medición angular esférico o esferoide cuyo centro es el centro de la tierra y se expresan en grados sexagesimales.

### *c) Coordenadas Cartográficas*

Como se mencionó anteriormente el objeto de estudio de la cartografía es el mapa, y como sabemos un mapa utiliza coordenadas planas (X, Y) y como sabemos la forma de la tierra es de forma esférica para facilitar los cálculos, esto hace difícil su representación por lo cual se emplean proyecciones con lo cual se busca representar la tierra en un mapa sin presentar grandes deformaciones.

Dicho esto, podemos concluir que las coordenadas representadas en un mapa (Coordenadas Cartográficas) son coordenadas proyectadas las cuales no representan en verdadera magnitud las dimensiones de la tierra, pero si se asemejan a ellas.

### *d) Coordenadas Topográficas*

La topografía trata de representar la superficie de la tierra sobre un plano, por cual tiene una limitación en cuanto a la extensión de las coordenadas, en grandes dimensiones se empieza a notar la distorsión por la forma verdadera de la tierra (geoide).

Las características principales de las coordenadas topográficas son las siguientes:

- Son arbitrarias, es decir las coordenadas no están referidas a ningún sistema de referencia geodésico, sin embargo, también pueden ser relativas, (Referidas a un sistema geodésico oficial, por ejemplo, la REGGEN en el Perú), pues en muchos proyectos de ingeniería es requerido georreferenciarlas.
- Son representadas en verdadera magnitud, debido a que representan la distancia real en el terreno.
- Se suelen formar poligonales topográficas en su aplicación, donde la zona de interés está en su interior o al menos parte de ella, dichas poligonales no deben sobrepasar aproximadamente los 20 km de longitud.

### 2.2.5.2 Escala

La escala es la relación entre la distancia real en el terreno y la distancia en el mapa, expresado en la siguiente fórmula.

$$Escala = \frac{Distancia\ en\ el\ Mapa}{Distancia\ en\ el\ Terreno}$$

*Fuente: (Millán Gamboa, 2006, pág. 46)*

Por ejemplo, si tenemos una distancia de 2km en el terreno en cual es representado en el mapa con una distancia de 2cm, entonces:

$$Escala = \frac{2cm}{2Km} = \frac{2cm}{200\ 000cm} = \frac{1}{10\ 000}$$

La escala también nos indica en nivel de detalle de objeto que se pueden visualizar en un mapa, por ejemplo, en una escala de 1/100 se pueden visualizar buzones de agua, automóviles, postes de alumbrado público y en una escala de 1/10 000 solo se pueden visualizar las manzanas de una ciudad.

### 2.2.5.3 Graficismo

El Graficismo o precisado de levantamiento, es el valor mínimo que una distancia real se puede representar en un mapa a una escala determinada, la cual corresponde a un quinto del valor de un milímetro por la escala del mapa.

$$\text{Graficismo} = \frac{1}{5} \text{ mm} \times \text{Escala}$$

*Fuente: (Millán Gamboa, 2006, pág. 48)*

El graficismo es muy importante y se aplica en las normas técnicas para determinar el error permisible en la posición horizontal. Por ejemplo: si trabajamos a una escala 1/100000, el valor del graficismo sería 20 m, lo que significa que los fenómenos u objetos de dimensiones menores a 20 m no deberían ser representados, excepto si tienen alguna relevancia.

#### *2.2.5.4 Proyecciones Cartográficas*

La proyección cartográfica es la correspondencia biunívoca entre un punto en la superficie terrestre y el mapa. Se utiliza una figura matemática para poder representar la tierra en un mapa, es decir pasar de una superficie 3D (Esfera o elipsoide) a una superficie 2D (Plano, mapa). Para lograr la representación nos apoyamos de la proyección de las sombras de los meridiano y paralelo sobre una superficie desarrollable, es decir, que pueda ser convertida en un plano sin presentar deformaciones, como lo es un cilindro, un cono o un plano.

Existen tres tipos de proyección clásicas que son usadas en la cartografía, como lo son la proyección polar o azimutal, cónica y cilíndrica.

##### *a) Proyección Azimutal, Polar, o cenital*

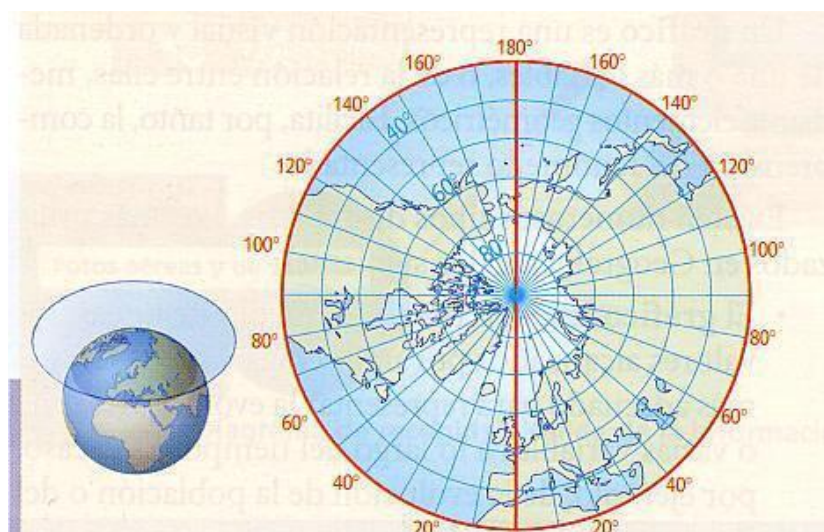
La proyección Azimutal es una proyección plana tangente este tipo de proyección posee una simetría radial como se ve en la Figura N° 7 y actualmente se emplea para representar los polos, los valores cercanos al punto tangente o de contacto presentan menores deformaciones.

Actualmente esta proyección es usada en los polos, tanto en el polo norte como el sur, por ello se le denomina también Proyección Polar, en donde los paralelos son representados como elipses concéntricas y los meridianos como rectas que convergen en el centro del polo respectivo.

Su principal aplicación reside en la aviación, puesto que en las zonas cercanas a los polos la proyección UTM, que es usada en todo el mundo y será

desarrollada posteriormente, tiene un alcance limitado, la cual no comprende las zonas polares y existen vuelos que pasan por estas zonas y utilizan estas coordenadas como referencia para poder ubicarse y seguir su rumbo.

### Figura N° 7: Proyección Azimutal

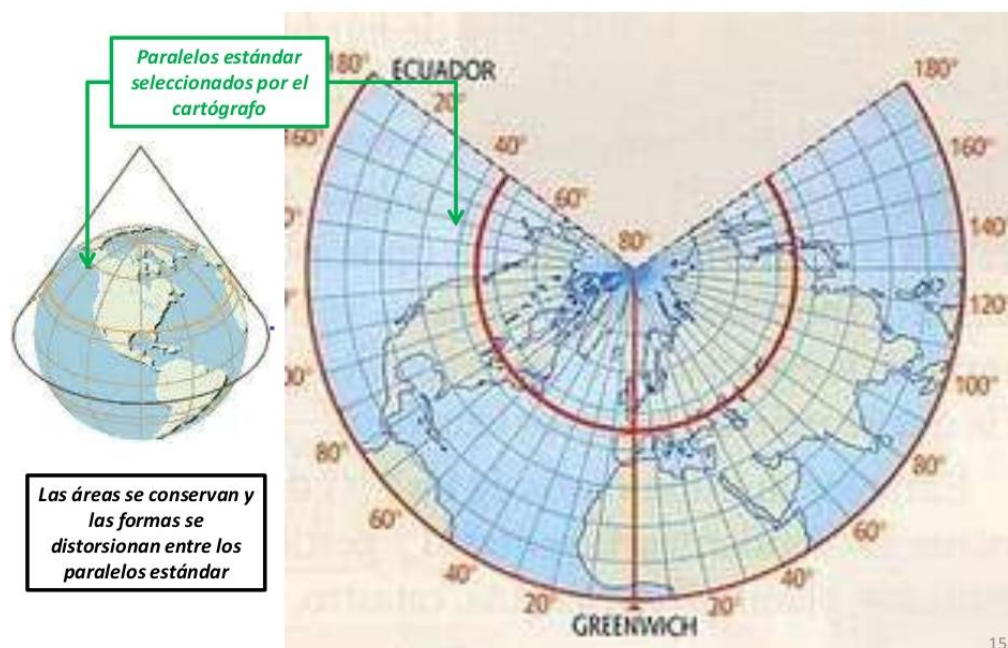


Fuente: (Blanco Londoño, 2014)

#### a) Proyección Cónica

La proyección cónica consiste en trasladar la información gráfica expresa en la esfera sobre un cono (superficie desarrollable) teniendo como superficie de contacto a un paralelo (Ver Figura N° 8). Este tipo de proyección representa mejor a zonas de latitud intermedia o también llamadas zonas templadas (lat. de 30° a 60°).

En el desarrollo de la superficie cónica, los paralelos se expresan como arcos de circunferencia y los meridianos como líneas rectas que convergen en el polo.

**Figura N° 8: Proyección Cónica**

Fuente: (Blanco Londoño, 2014)

#### a) Proyección Cilíndrica

La proyección cilíndrica, como su nombre indica, utiliza un cilindro tangente cuya línea de contacto es el ecuador (Ver

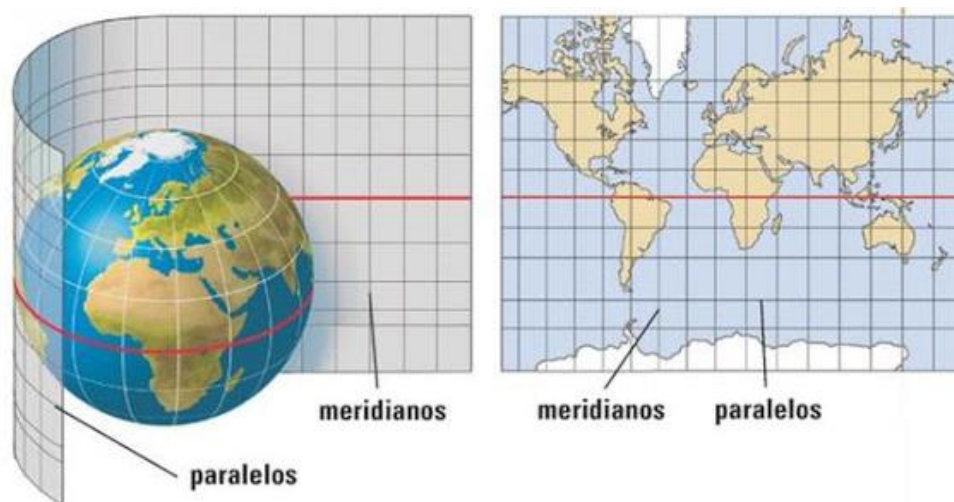
Figura N° 9), es una proyección conforme, lo cual quiere decir, que representa en verdadera magnitud los rumbos y direcciones (ángulos), por lo cual es la más usada en la navegación marítima donde es importante los valores angulares.

Los meridianos se representan como líneas rectas equidistantes, mientras que los paralelos en las zonas cercanas al ecuador se representan como líneas rectas equidistantes las cuales aumentan la distancia de separación entre ellas a medida que nos acercamos en los polos, los meridianos y paralelos se interceptan entre si formando ángulos rectos.

La proyección cilíndrica más famosa es la proyección de Mercator, la cual sirvió de base para gestar la proyección UTM que es la más usada actualmente, la proyección cilíndrica presenta menores deformaciones en las zonas cercanas al ecuador, el cual es la línea tangencia, pero también

presenta deformaciones mayores a medida que nos alejamos del ecuador como se ve en las zonas polares donde se representan dimensiones exageradas.

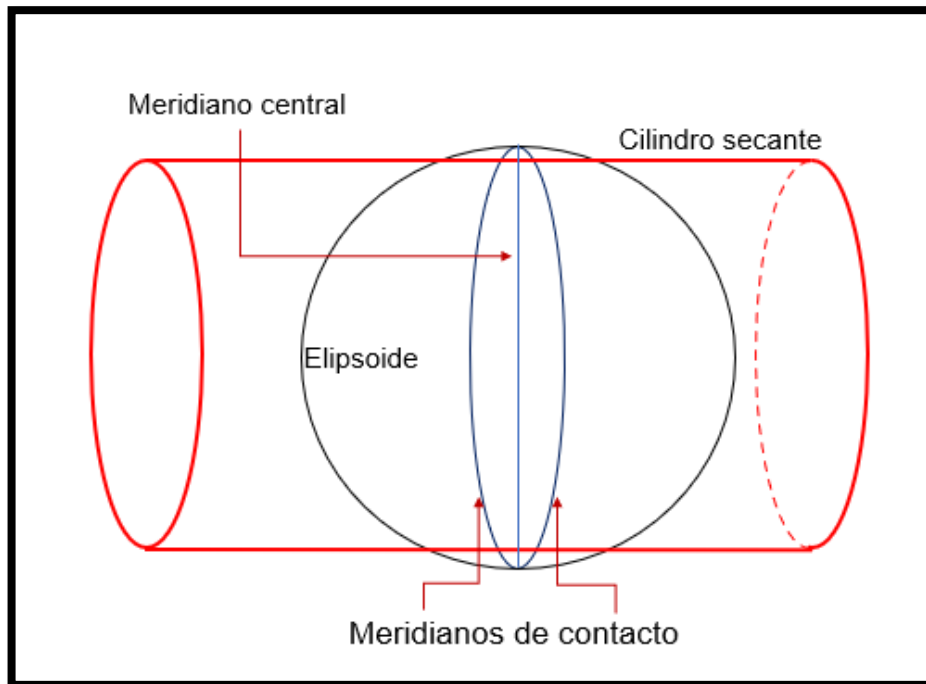
**Figura N° 9: Proyección Cilíndrica**



*Fuente: (Salgado, 2016)*

#### *2.2.5.5 Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)*

La proyección Universal Transversa de Mercator de ahora en adelante llamada UTM, es una proyección cilíndrica transversal secante la cual toma como base la proyección de Mercator, pero se diferencian en que se utiliza un cilindro secante el cual corta a la tierra a lo largo de dos elipses paralelas al meridiano central, como se muestra en la Figura N° 10

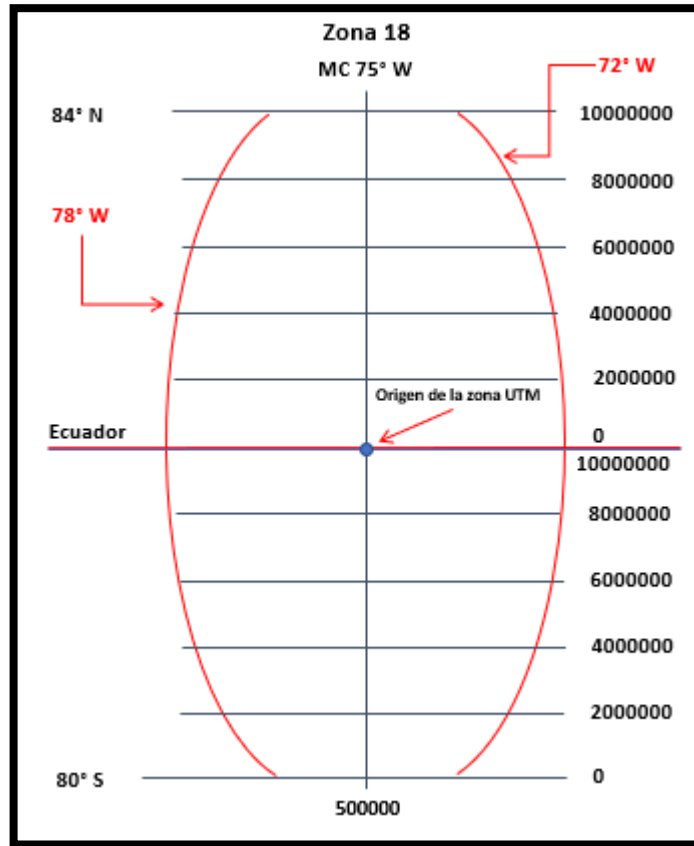
**Figura N° 10: Proyección UTM**

*Fuente: Cortesía del Ing. Luis Alberto Huamán Amasifuen*

La proyección UTM tiene un alcance limite, incluso al ser usado en todo el mundo su cobertura solo va desde los 84° de latitud norte hasta los 80° de latitud sur. (Ver Figura N° 11).

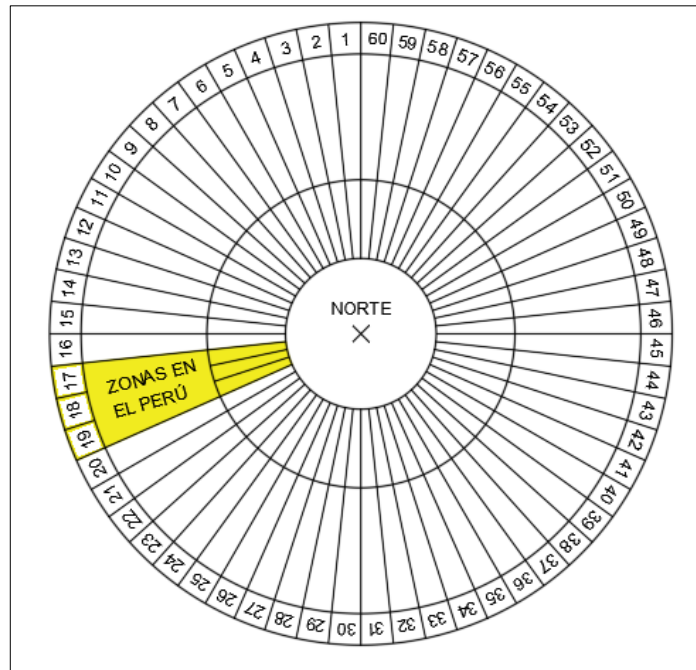


Figura N° 11: Meridiano de Central



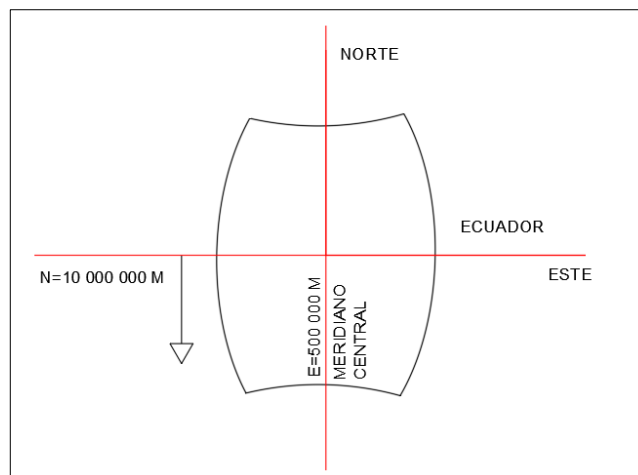
Fuente: Cortesía del Ing. Luis Alberto Huamán Amasifuen

Debido a que la proyección UTM, es una variación de la Proyección Transversal de Mercator, se conserva la utilización de los 60 meridianos convencionales, lo cual genera las sesenta zonas y Husos UTM, y de las cuales las diecisiete dieciocho y diecinueve son las zonas usadas en el territorio peruano (Ver Figura N° 12).

**Figura N° 12: Zonas UTM**

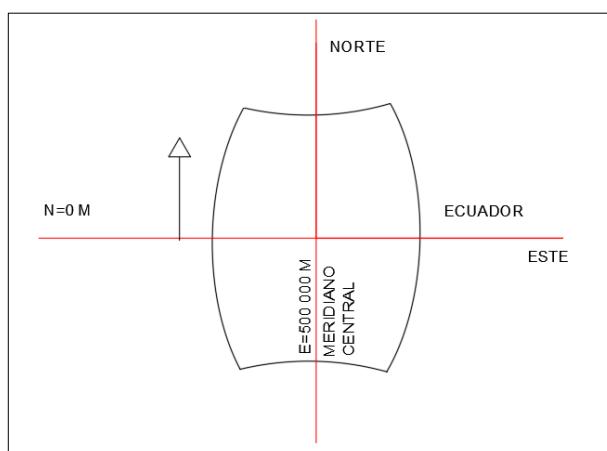
*Fuente: Elaboración Propia*

Como se mencionó anteriormente, se proyecta las coordenadas a un cilindro secante, el cual genera una zona UTM, en total hay sesenta zonas UTM, cada zona tiene un ancho de  $6^\circ$  de longitud por lo cual, el valor del falso este es de 500,000 m con la finalidad de evitar tener valores negativos, mientras que para el falso norte se utilizan dos valores, se usa el valor de 10'000,000 m para el hemisferio sur, y el valor de 0 m para el hemisferio norte (Ver Figura N° 13 y Figura N° 14).

**Figura N° 13: Valores de Coordenadas para el hemisferio sur**

Fuente: *Elaboración Propia*

**Figura N° 14: Valores de Coordenadas para el hemisferio norte**



Fuente: *Elaboración Propia*

Para los cálculos planimétricos utilizando las coordenadas UTM, se debe de definir un Datum, el cual nos brindara la referencia horizontal, mientras que con respecto al Datum que nos brinda la referencia vertical, se utiliza el Nivel Medio del Mar (NMM).

A continuación, se detallarán alguna de las características más resaltantes de la proyección UTM:

- Es una proyección conforme
- No hay distorsión en las líneas de intersección o estándar
- Los meridianos, mientras más próximos sea al meridiano central, son prácticamente rectos (la concavidad de la curva depende directamente de su posición con respecto al meridiano central).
- El valor de deformación en los meridianos de contacto es 1 lo cual indica que no hay deformación en estos, mientras que si nos acercamos al meridiano central su valor se reduce siendo 0.9996 en el meridiano central, lo que indica que las dimensiones se representan reducidas con respecto a su valor real
- Esta proyección es recomendable para áreas cuya extensión sea mucho mayor en la dirección norte – sur que en el este – oeste.
- Es usada a nivel mundial, pero tiene limitación su zona de cobertura abarca desde los 80°Sur hasta los 84°Norte

- El Perú ocupa 3 zonas UTM, las cuales son las zonas 17, 18 y 19 del hemisferio sur.

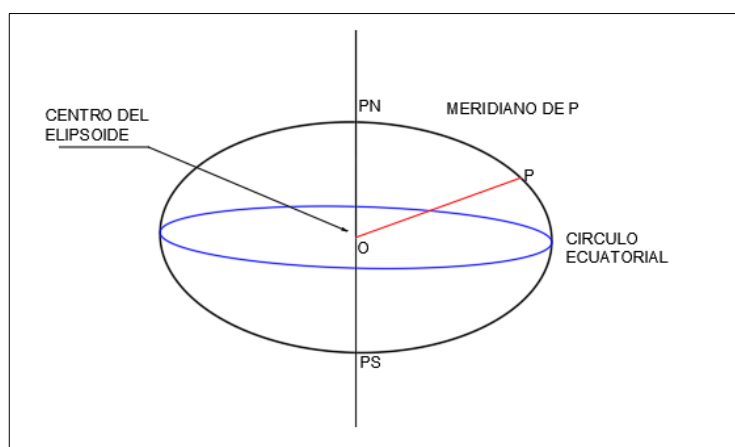
Como se explicó anteriormente, las coordenadas UTM son coordenadas proyectadas por lo cual no representan en verdadera magnitud las dimensiones reales del terreno por lo cual se emplean una serie de correcciones a estas coordenadas, para tener así una metodología que las relacione, estas correcciones son:

a) *Radios de Curvatura Terrestre*

i. *Radios principales de curvatura del elipsoide en un punto "P"*

En la Figura N° 15, se muestra el punto "P", el cual se ubica sobre la superficie del elipsoide. El meridiano que pasa por este punto "P" se confunde con el plano de la elipse representado.

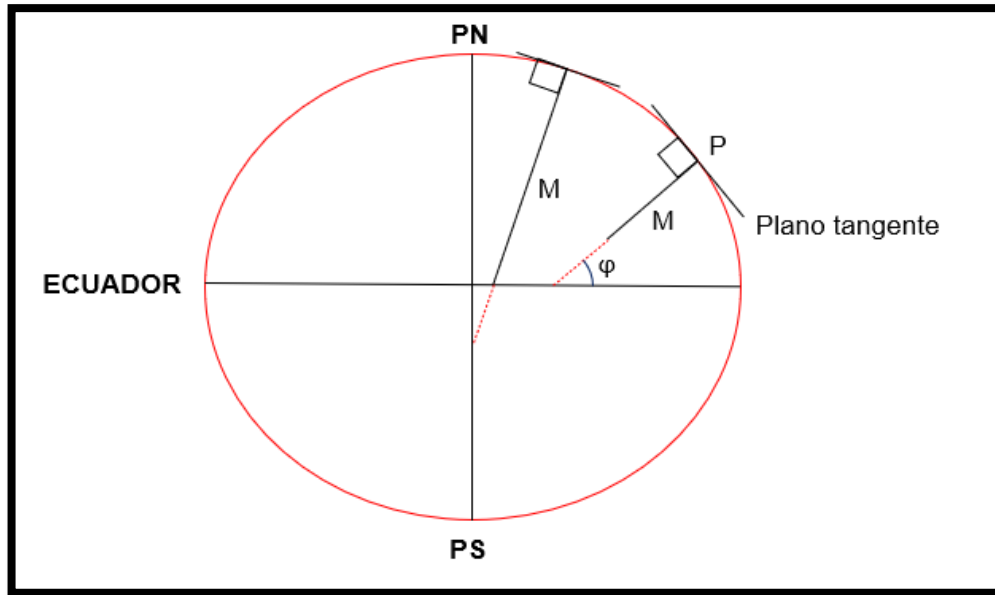
**Figura N° 15: Radio de Curvatura del Elipsoide**



Fuente: *Elaboración propia*

ii. *Radio curvatura del meridiano en el punto "P"*

El Radio de curvatura del meridiano en el punto "P" está representado por la letra  $M(p)$  corresponde al radio que conecta el centro del círculo tangente al meridiano que pasa por el punto "P". (Ver Figura N° 16):

**Figura N° 16: Radio de Curvatura en el Meridiano para un Punto**

Fuente: Cortesía del Ing. Luis Alberto Huamán Amasifuen

La forma que nos permite calcular el radio de curvatura del meridiano en el punto "P", el cual es representado por  $\rho$

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \varnothing)^{3/2}}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 49)

Donde:

$\rho$  = Radio de curvatura del meridiano en el punto "P"

$a$  = semieje mayor

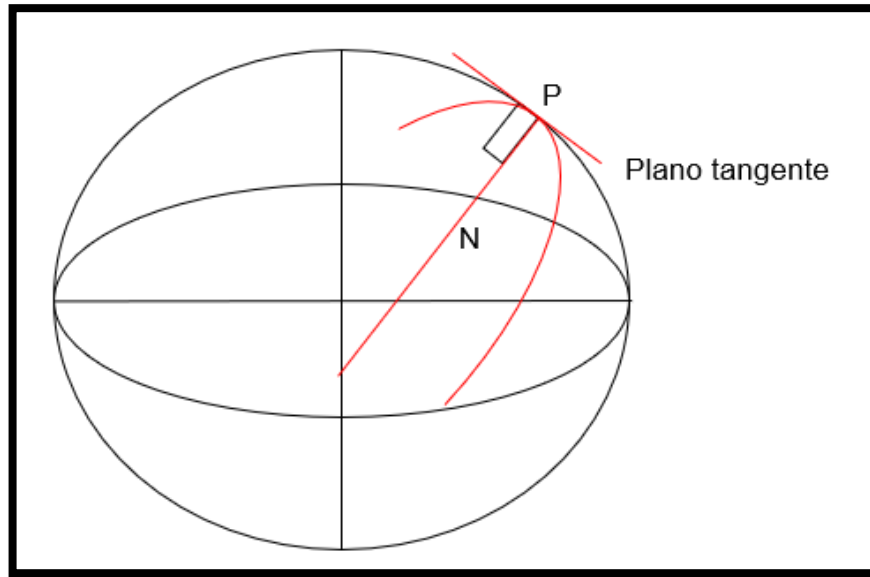
$e^2$  = primera excentricidad al cuadrado

$\varnothing$  = Latitud geodesica del punto P

La latitud geodésica, corresponde al ángulo formado por la normal  $r$  con el plano del ecuador.

### iii. Radio de curvatura del primer vertical en el punto "P"

El Radio de curvatura del primer vertical en el punto "P" está representando por la letra "N", la cual es el radio del círculo tangente al plano perpendicular al sector del meridiano que pasa por "P" en dicho punto. (ver Figura N° 17)

**Figura N° 17: Radio de Curvatura de la Primera Vertical**

Fuente: Cortesía del Ing. Luis Alberto Huamán Amasifuen

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi)^{1/2}}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 50)

Donde:

$N$  = Radio de curvatura de la primera vertical en el punto "P"

$a$  = semieje mayor

$e^2$  = primera excentricidad al cuadrado

$\phi$  = Latitud geodesica del punto P

iv. Radio medio de curvatura (r)

El radio medio de curvatura (r), se define como la media geométrica del Radio curvatura del meridiano en un punto ( $\rho$ ) y el Radio de curvatura del primer vertical en un punto (N).

$$r = \sqrt{\rho \cdot N}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 50)

Donde:

$r$  = Radio medio de curvatura

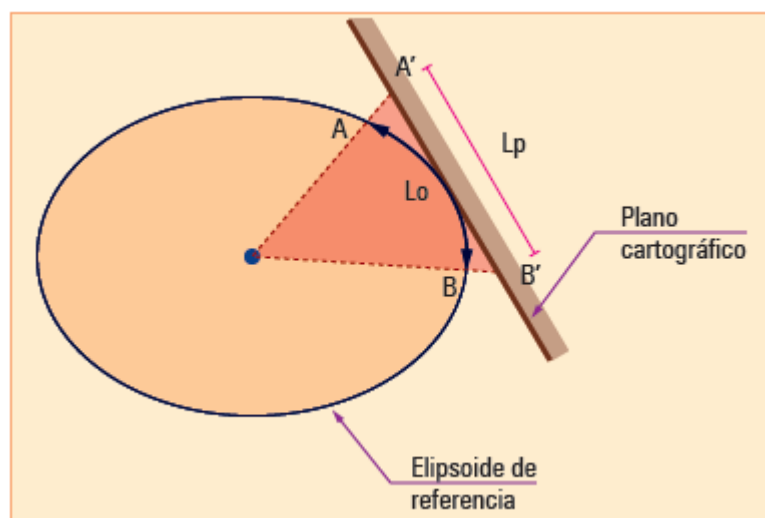
$\rho$  = Radio de curvatura del meridiano en el punto "P"

$N$  = Radio de curvatura de la primera vertical en el punto "P"

### b) Factor de Escala

El factor de escala, nos da el valor de la relación entre la distancia en el elipsoide y la distancia representada en la cuadrícula UTM. El cual tiene un valor de 0.9996 en el meridiano central y de 1 en los meridianos de contacto. (Ver Figura N° 18):

**Figura N° 18: Factor de Escala**



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)

Si tenemos el dato del factor de escala podemos obtener la distancia proyectada a partir de la distancia medida en campo y viceversa.

$$L_p = K_{Escala} \times L_o$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 49)

Donde:

$L_p$  = Longitud Proyectada al plano cartográfica

$L_o$  = Longitud medida en elipsoide de referencia (Distancia Topográfica)

$K_{Escala}$  = Factor de Escala

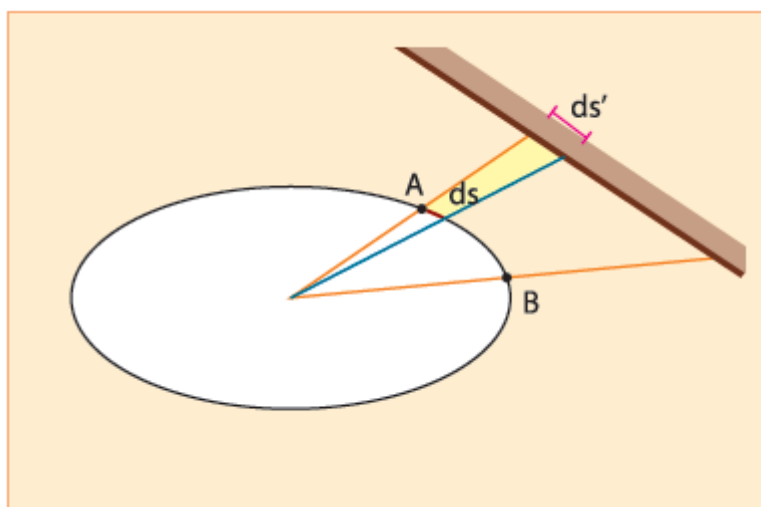
i. Factor de escala de un punto

El Factor de escala de un punto determinado nos permite proyectar una diferencia de longitud en base a un punto definido sobre el la cuadrícula UTM. (Ver Figura N° 19)

El factor de escala está en relación a la distancia de un punto con respecto al meridiano central del huso, dicho de otro modo, dependerá del valor del este además de la dirección en el cual se quiere proyectar.

En el punto A:

**Figura N° 19: Factor de Escala en un Punto**



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)



$$K = \frac{ds'}{ds}$$

$$ds' = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$ds = \sqrt{\rho^2 \cdot d\phi^2 + (N \cdot \cos\phi)^2 d\lambda^2}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 49)

Donde:

$\rho$ : es el Radio de curvatura del meridiano en el punto A

$N$ : es el Radio de la gran normal a A

$\phi$ : es la Latitud geodesica en A

Entonces para obtener el factor de escala  $K_{Escala}$  de un punto usaremos la siguiente formula:

$$K = K_0 \cdot [1 + P \cdot q^2 + 0.00003 \cdot q^4]$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 51)

Donde:

$$q = 0.000001 \cdot (X)$$

$$X = |500,000 - ESTE|$$

$$P = \left[ \frac{1 + e'^2 \cdot \cos^2\phi}{2 \cdot N^2 \cdot K_0^2} \right] \cdot 10^{12}$$

$e'^2$ : cuadrado de la segunda excentricidad

$N$ : Radio de la gran normal en A

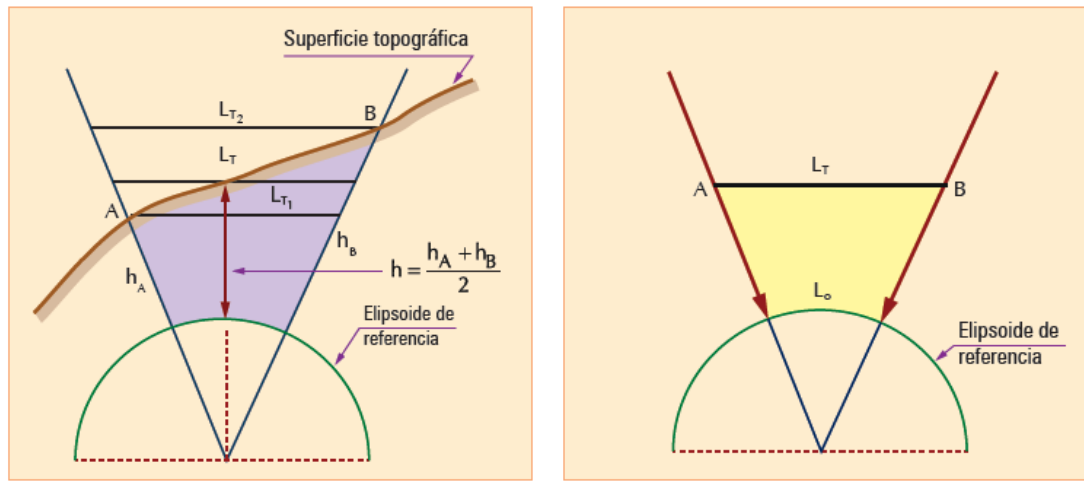
$K_0$ : Factor de escala en el Meridiano Central = 0.9996

$\phi$ : Latitud Geodesica en "A"

### c) Factor de Elevación:

El Factor de elevación ( $K_{Elev}$ ), nos permite proyectar una distancia medida en el terreno entre dos puntos sobre el elipsoide de referencia. Debido a que con las mediciones realizadas en campo obtenemos una distancia inclinada, sobre la cual podemos proyectarla hacia el elipsoide de referencia mediante una relación (Ver Figura N° 20).

Figura N° 20: Factor de Elevación



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)

Donde:

$L_T$ : Distancia topografica entre X y Y.

$L_0$ : Distancia geodesica entre X y Y.

$K_{Elev}$ : Factor de elevacion entre X y Y.

$h_x$ : Altura elipsoidal de X.

$h_y$ : Altura elipsoidal de Y.

$R$ : Radio de curvatura del meridiano correspondien a la latitud. Promedio de A y B.

$M$ : flecha central

Demostración:

- Por Semejanza de triángulos

$$\frac{L_T}{L_{Cuerda}} = \frac{R + h}{R - M}$$

Donde:

$$M = R \left( 1 - \cos \frac{(\phi_B - \phi_A)}{2} \right)$$

Luego:

$$\frac{L_{Cuerda}^3}{24R^2} = \Delta S$$

A modo de ejemplo:

$$L_{Cuerda} \cong 10\,000m \rightarrow \Delta S \cong 1mm$$

$$L_{Cuerda} \cong 5\,000m \rightarrow \Delta S \cong 0.1mm$$

Esto nos permite decir que, para zonas con extensiones menores a 5 km, se puede despreciar  $S$ .

Finalmente:

$$L_o = \left( \frac{R - M}{R + h} \right) \cdot L_T$$

Factor de elevación:

$$K_{Elev} = \frac{R - M}{R + h}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 56)

*d) Reduccion al Nivel Medio del Mar*

La Reducción al Nivel Medio del Mar como su nombre lo indica es un factor el cual reduce una distancia sobre el elipsoide y la proyecta sobre el nivel medio del mar, el cual es el sistema de referencia vertical usado a nivel mundial y también en el Perú.

$$RNMM = D_h \left( \frac{h}{R} + \frac{h^2}{R^2} + \frac{h^3}{R^3} \dots \dots \right)$$

Donde:

$D_h$ : Distancia horizontal

$h$ : Elevacion media de la línea

$R$ : Radio medio de curvatura terrestre

En la práctica es suficiente emplear el primer término de la serie.

$$RNMM = D_h \times \frac{h}{R} = D_h - D'$$

$$RNMM = \frac{D'}{D_h} = 1 - \frac{h}{R}$$

El valor de  $1/R$  es constante e igual a  $157 \times 10^{-9}$  por lo cual, el factor de reducción al nivel medio del mar sería igual a:

$$RNMM = 1 - 157h \times 10^{-9}$$

e) *Factor Combinado*

Como su nombre indica es el factor que combina el factor de elevación y el factor de escala y se obtiene mediante el producto de ambos.

$$K = (K_{Elev}) \cdot (K_{Escala})$$

*Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)*

*Donde:*

*K: Factor combinado entre A y B.*

*K<sub>Elev</sub>: Factor de elevacion entre A y B.*

*K<sub>Escala</sub>: Factor de escala entre A y B.*

No obstante, también se puede utilizar el factor de la Reducción al Nivel Medio del Mar (RNMM) en lugar del factor de elevación, con lo cual el factor combinado sería el producto del factor de escala y la RNMM:

$$K = (RNMM) \cdot (K_{Escala})$$

*Donde:*

*K: Factor combinado entre A y B.*

*RNMM: Factor de Reduccion al Nivel Medio del Mar*

*K<sub>Escala</sub>: Factor de escala entre A y B.*

El Factor combinado nos permite realizar la transformación de una distancia topográfica hacia una distancia sobre la cuadrícula UTM, para ello empleamos la siguiente fórmula:

$$L_C = K \cdot L_T$$

*Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)*

*Donde:*

*L<sub>C</sub>: Longitud de cuadrícula*

*K: Factor combinado*

*L<sub>T</sub>: Longitud Topografica*

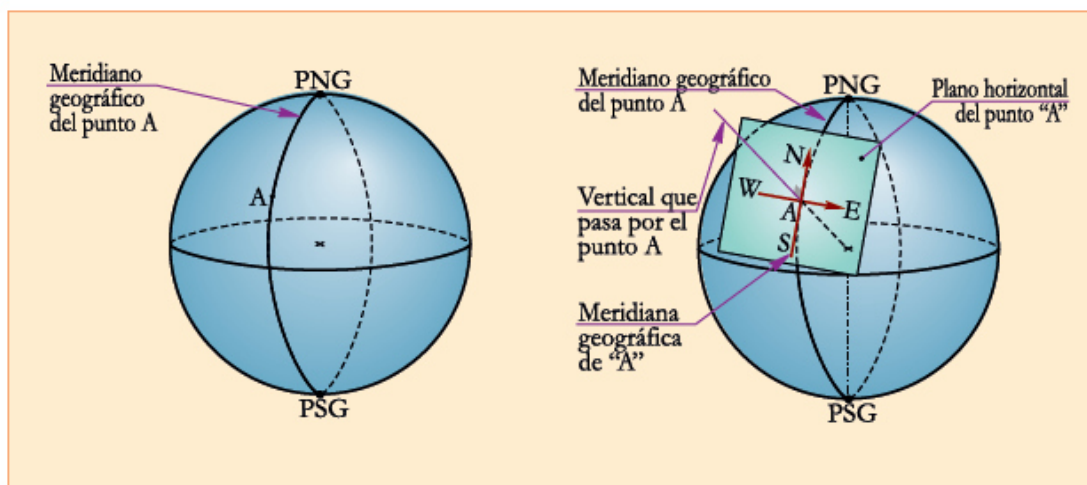
f) *Convergencia de Meridianos*

Podemos entender a la diferencia angular entre el norte geográfico con respecto al norte de la cuadrícula UTM de un punto.

i. Meridiano Geográfico de un punto A

El Meridiano Geográfico se puede definir como la elipse que pasa por dicho punto y a su vez pasa por ambos polos del elipsoide. (Ver Figura N° 21).

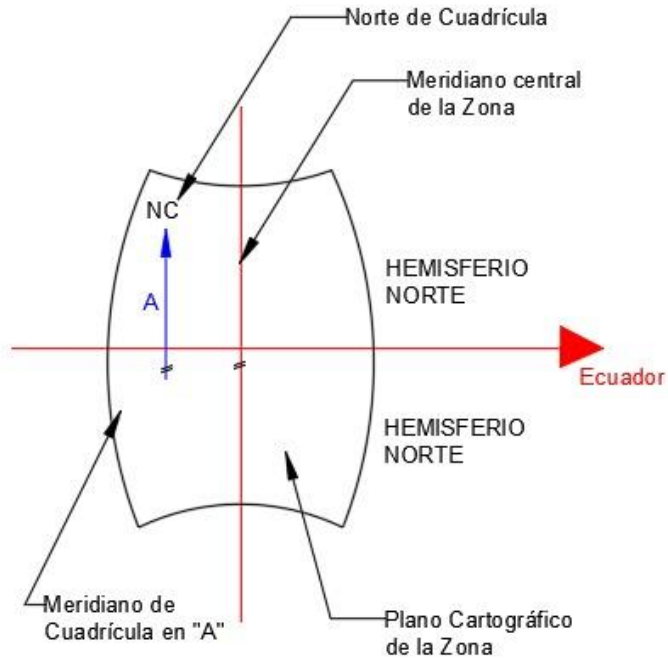
**Figura N° 21: Meridiano Geográfico de un Punto A**



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)

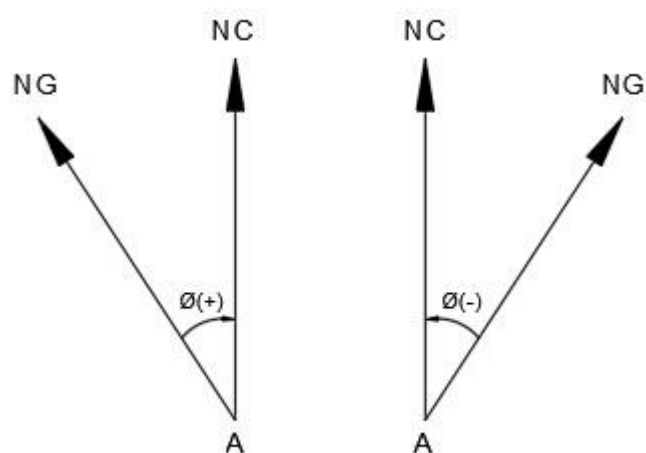
ii. Meridiano de cuadrícula de un punto A

El Meridiano de cuadrícula se puede definir como la línea recta que pasa por dicho punto y que es paralela al meridiano central de zona UTM. (ver Figura N° 22). Además, el meridiano central de la zona se representa en la cuadrícula UTM como una línea recta, porque podemos decir que no se deforma

**Figura N° 22: Meridiano de Cuadrícula de un Punto A**

*Fuente: Elaboracion Propia*

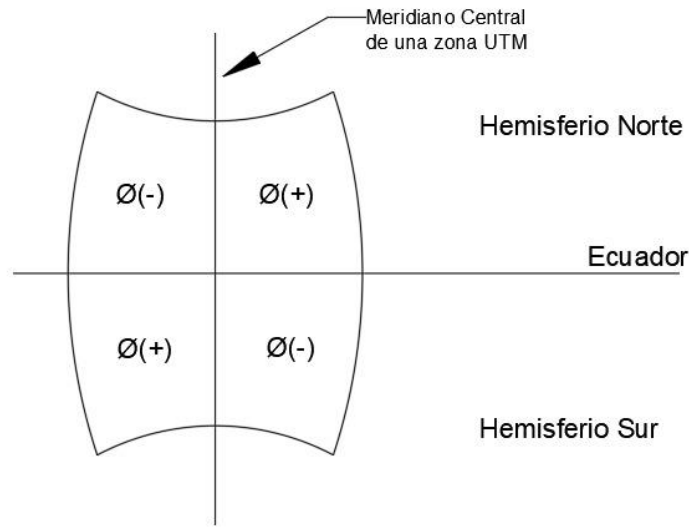
La convergencia es positiva si el norte geográfico se ubica al oeste del norte de cuadrícula y negativa, si el norte geográfico se ubica al este del norte de cuadrícula como se muestra en la siguiente grafico (Ver Figura N° 23).

**Figura N° 23: Convergencia de Meridianos**

Fuente: Elaboracion Propia

Signo de “ $\emptyset$ ” (convergencia) varía dependiendo en que cuadrante de la zona UTM se encuentre nuestra área de interés, una manera más sencilla de identificar el signo de “ $\emptyset$ ” (convergencia), es con el siguiente gráfico. (Ver Figura N° 24)

**Figura N° 24: Signo de la Convergencia de Meridianos**



Fuente: Elaboracion Propia

La fórmula general de la convergencia de meridiano para un punto es:

$$tg\gamma = L \cdot t \cdot \cos\emptyset + L^3 \cdot t \cdot \frac{(1 + t^2 + 3n^2 + 2n^4)}{3} \cdot \cos^3\emptyset$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 64)

Donde:

$\gamma$ : Convergencia de Meridianos en un punto.

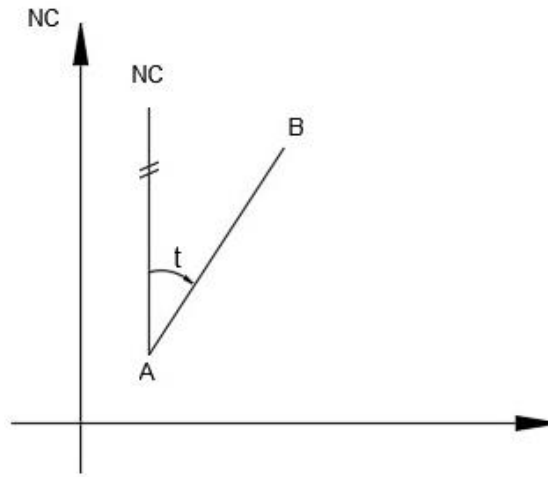
$L = \text{Signo}(E - 500\,000)[|\lambda| - |\lambda_0|]$

$t = tg\phi$

$n^2 = e'^2 \cdot \cos^2 \phi$

#### g) Azimut de Cuadrícula

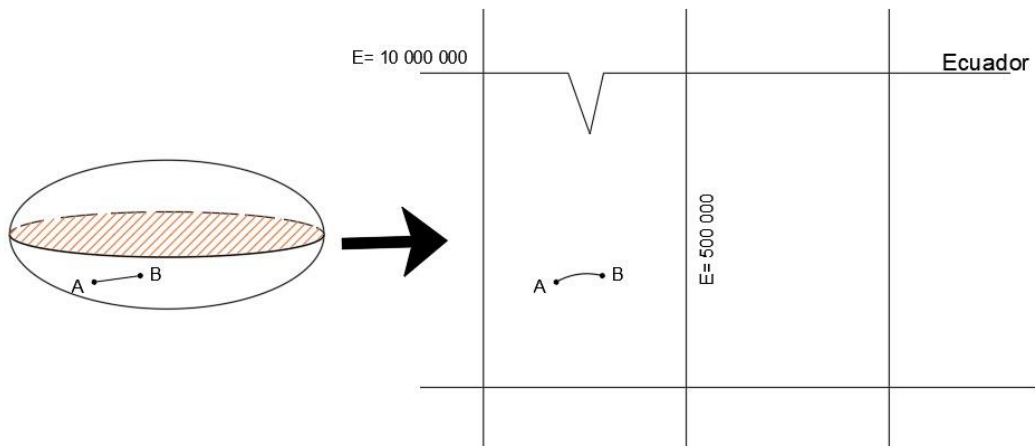
Es el ángulo formado por la línea AB y el norte de la cuadrícula UTM, el cual es medido en sentido horario. (Ver Figura N° 25), y partiendo desde una línea paralela al norte de cuadrícula.

**Figura N° 25: Azimut de Cuadrícula**

*Fuente: Elaboracion Propia*

#### *h) Azimut Geodésico Proyectado*

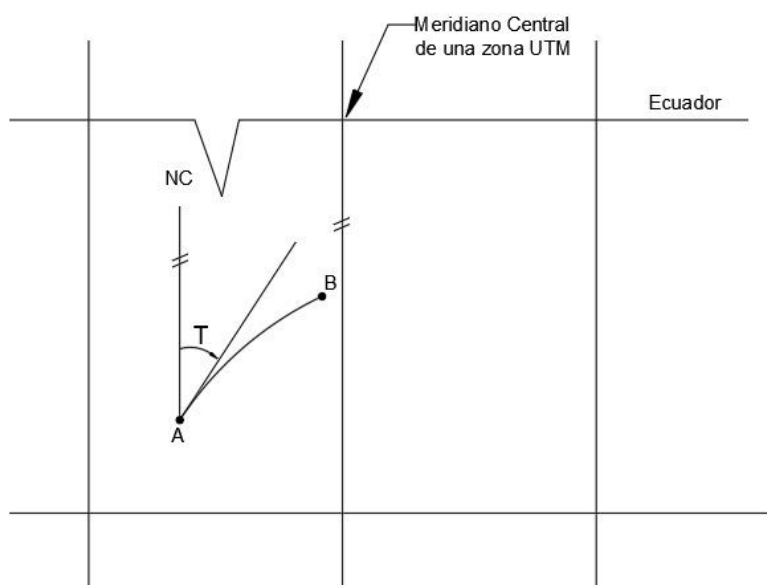
El Azimut geodésico proyectado se obtiene mediante la proyección de una línea recta AB la cual es representada como una línea curva cóncava hacia el meridiano central correspondiente (Ver Figura N° 26).

**Figura N° 26: Azimut Geodésico Proyectado**

*Fuente: Elaboración Propia*

El azimut geodésico proyectado es el ángulo formado desde el Norte de cuadrícula hasta la recta tangente en A de la línea cóncava mencionada anteriormente, dicho ángulo se mide siempre en sentido horario. (Ver Figura N° 27).



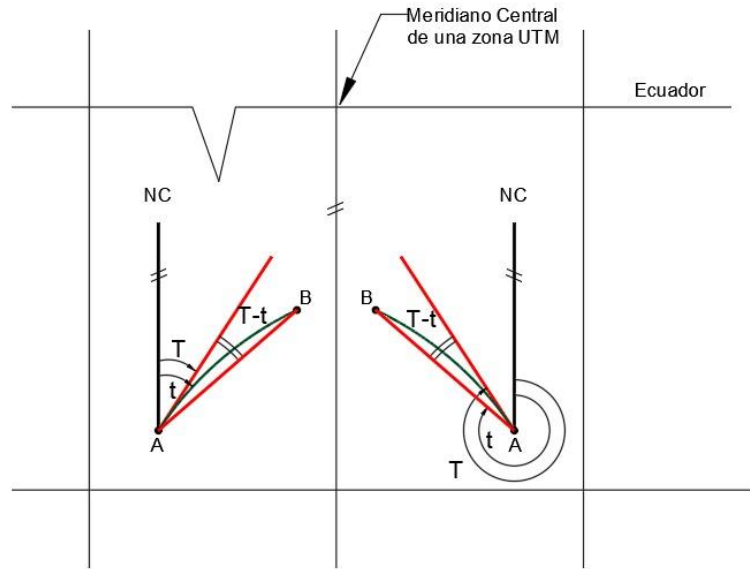
**Figura N° 27: Azimut Topográfico**

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)

i) *Corrección por curvatura t-T o Arco - Cuerda*

Como sabemos las líneas proyectadas sobre la cuadrícula UTM se representan como líneas cóncavas, lo produce una ligera variación al azimut representación con respecto a su valor topográfico (Ver Figura N° 28), para ello empleamos la corrección por Arco – Cuerda.

**Figura N° 28: Corrección Arco - Cuerda**



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010)

$$(T - t)_{A \rightarrow B} = -\Delta N(2x_1 + x_2) \times P \times 6.8755 \times 10^{-8} \text{segundos}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 67)

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta N &= N_B - N_A \\ X_1 &= |500\,000 - E_1| \\ X_2 &= |500\,000 - E_2| \\ P &= \left[ \frac{1 + e'^2 \cdot \cos^2 \phi}{2N^2 \cdot K_0^2} \right] \times 10^{12} \end{aligned}$$

### 2.2.5.6 *Proyección Local Transversa de Mercator (LTM)*

La proyección Local Transversal de Mercator (LTM) es una variante de la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), desarrollada para ser aplicada en proyectos de ingeniería, donde la representación cartográfica elaborada a grandes escalas requiere de alta precisión.

La LTM, al igual que la UTM, utiliza un cilindro transverso y tangente además conforme, pero, con ciertas características que la diferencian, por ejemplo: reducción del ancho de la zona y del factor de escala, logrando con esto reducir los errores aumentando la precisión a un nivel aceptable para la escala de trabajo.

La limitación de la proyección LTM, radica en que la zona no debe extenderse más de 30 minutos con respecto al mediano central, además de que la variación de altura en el terreno con debe de exceder de  $\pm 150$  metros.

#### *a) Características de la proyección LTM*

- Es una proyección cilíndrica transversa tangente al elipsoide de referencia.
- Es conforme.
- El Plano Topográfico Local pasa por la altura media del área de trabajo.
- Ancho de la zona o huso es de 1º de longitud.
- El valor del Meridiano Central Local (MCL) deben corresponder a grados enteros o medios grados.
- La variación de altura no debe exceder los 300 m
- Meridiano central de la faja es coincidente con el paralelo medio del área de trabajo.
- De acuerdo con el manual de carreteras de Chile (2011, pág. 25), el valor del falso Norte será igual a 7'000,000 metros y el falso Este será igual a 200,000 metros.
- Para áreas extensas, se recomienda usar múltiples fajas (PTL) que abarquen el total del área de estudio y/o que cumplan con la precisión requerida.

*b) Proyección LTM Y Planos Topográficos Locales (PTL)*

La forma de relacionar coordenadas sobre el elipsoide, el plano de proyección y posteriormente el terreno, implica arduas labores de cálculo y con esto la posibilidad cierta de cometer errores de distinto tipo haciendo aún más complicada la racionalización del espacio por medio de cartografía. Como una forma de solucionar la discrepancia existente entre mediciones en terreno y cartografía sobre un plano de proyección, se utiliza una proyección LTM tal que el plano de proyección sea coincidente con el terreno. Para esto, se debe considerar un cilindro que pase por el terreno topográfico constituyendo así un Plano Topográfico Local (PTL).

Puede determinarse un valor  $Kh$  relacionado con la altura del terreno sobre el elipsoide, (ver Figura N° 29) de modo que implique tangencia con un punto del terreno. De esta forma se obtiene para ese punto la directa relación terreno-plano de proyección facilitando así el transporte de coordenadas y las labores de replanteo.

$$Kh = \frac{(Rm + hm)}{Rm}$$

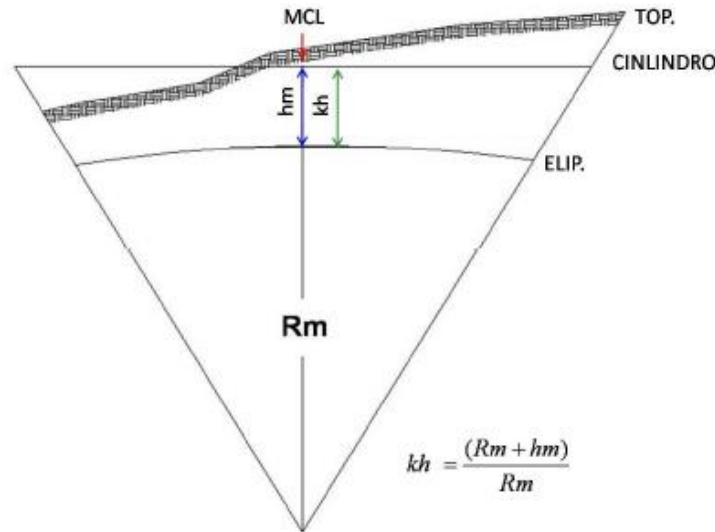
*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 25)*

Donde:

*Kh: Factor de Altura del Plano Topografico Local.*

*Rm: Radio Medio de Curvatura.*

*hm: Altura elipsoidal.*

**Figura N° 29: Proyección Local Transversal de Mercator (LTM)**

Fuente: (Tola Vargas, 2010)

Para un proyecto topográfico de gran extensión lineal se suelen utilizar más un PTL con la finalidad de abarcar en su totalidad el área de interés, además de evitar que la variación de alturas sea mayor de 300 m y que el proyecto tenga dimensiones mayores a 1° de longitud el cual es el límite de la zona LTM (1° es igual 111 km aproximadamente).

Un sistema de coordenadas PTL corresponde a un sistema de coordenadas topográficas locales adoptadas con la finalidad de representar proyectos de topografía y de ingeniería de pequeñas dimensiones (escalas grandes)

Al ser una versión de la proyección TM corresponde a un Sistema de Proyección Local cuyo origen corresponde a coordenadas geodésicas, lo que se traduce en:

- Posición: dada por las coordenadas geodésicas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) del origen del sistema rectangular (X, Y) local.
- Orientación: Dada por un azimut de cuadrícula del eje "Y" del sistema local.
- Altura del plano de referencia: Dada por la altura elipsoidal media del plano de referencia.

- **Falso Norte (Y)**

Para el valor del Falso Norte se toma en cuenta el valor del arco meridiano tomando los valores de latitud de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  que es igual a 7'000,000 m, con la finalidad de no obtener valores negativos.

- **Falso Este (X)**

Como una forma de evitar la obtención de valores negativos, debido a que el ancho de la zona es de 1 grado, el cual corresponde a una longitud aproximada de 111 km, por ello el valor del falso este es de 200,000 m.

c) *Deducción de Fórmulas*

i. *Transformación de Coordenadas Geodésicas a Coordenadas LTM*

La superficie de un elipsoide no puede ser extendido a un plano sin que exista distorsión, el problema que se plantea se reduce a representar la superficie del elipsoide sobre un plano de proyección utilizando leyes matemáticas, esta se expresa en forma general por las siguientes ecuaciones:

$$x = f_1(\phi, \lambda) \dots \dots (1)$$

$$y = f_2(\phi, \lambda) \dots \dots (2)$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 67)*

En estas ecuaciones:

*x = Cordenada x del plano de proyeccion*

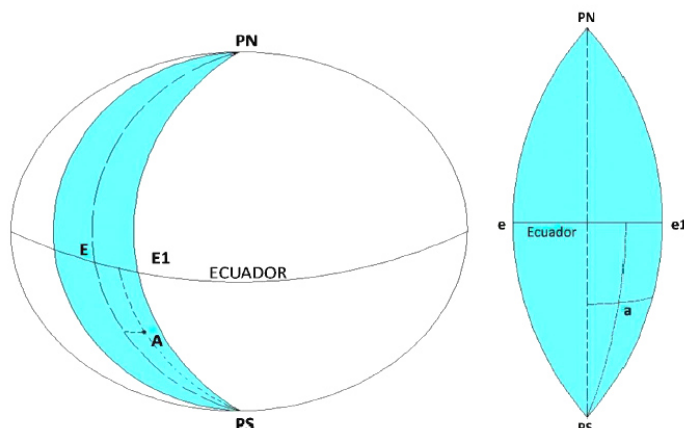
*y = Coordenadas y del plano de proyeccion*

*$\phi$  = Latitud geodesica*

*$\lambda$  = Longitud Geodesica*

Las coordenadas x, y dan la posición de un punto sobre el plano de proyección;  $f_1$ ,  $f_2$  son funciones matemáticas con respecto a la latitud y longitud.

Figura N° 30: Latitud y Longitud



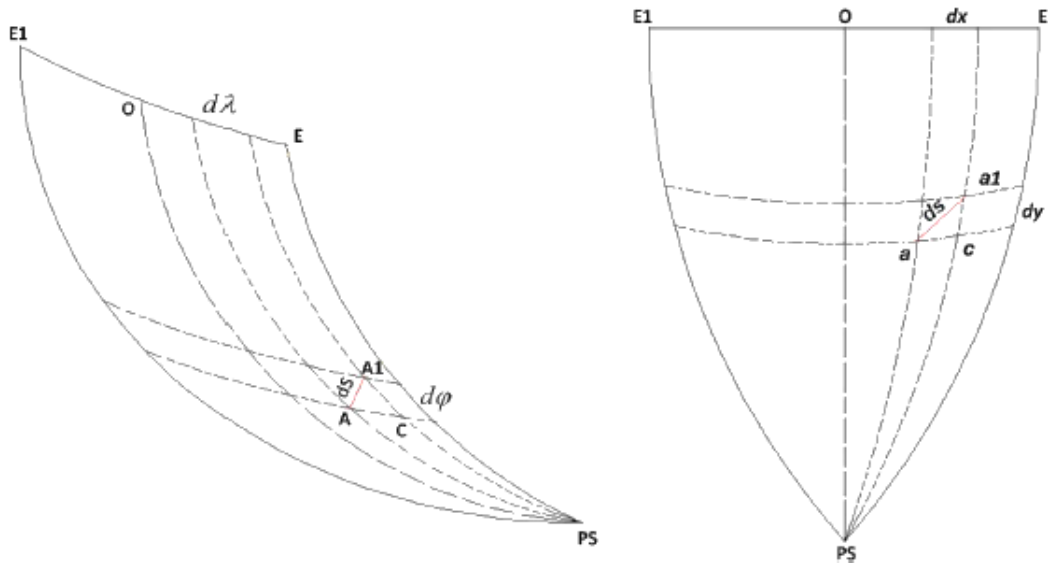
Fuente: (Tola Vargas, 2010)

En la Figura N° 30 se observa el punto "A" sobre el elipsoide en coordenadas geodésicas, el punto "a" es la representación sobre el plano de proyección en coordenadas x, y.

A partir de las fórmulas 1 y 2, el problema consiste en determinar las funciones  $f_1$  y  $f_2$ , las condiciones iniciales para la obtención de estas funciones son:

- ❖ Conformidad de la proyección
- ❖ Elección de las zonas y de los ejes de coordenadas X, Y.
- ❖ Representación del meridiano central local (MCL) y del Ecuador mediante líneas rectas sobre el plano de proyección
- ❖ El meridiano axial del elipsoide se representa sobre el plano mediante una recta que representa el eje Y, por tanto,  $X=0$  y  $\lambda=0$ .
- ❖ Para los puntos del meridiano axial las coordenadas Y deben ser iguales a los correspondientes a los arcos Y a partir del Ecuador al punto dado con su latitud.
- ❖ Cálculo del valor del factor de escala en el MCL y el plano PTL.

**Figura N° 31: Distancia Proyectada**



Fuente: (Tola Vargas, 2010)

En la Figura N° 31:

PS-O Meridiano Axial

E-E1 Línea del Ecuador del elipsoide

M= arco de meridiano del ecuador al punto A

El punto A esta dado por las coordenadas geodésicas latitud y longitud, el punto A1, está situado a una distancia infinitamente pequeña y en una dirección arbitraria del punto A, las coordenadas del punto A1 serán iguales a:

$$A1 \begin{cases} \varphi + d\varphi \\ \lambda + d\lambda \end{cases}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 68)

Se construye el triángulo auxiliar A-A1-C

$A1 - C = Md\varphi = \text{arco de meridiano.}$

$A - C = N(\cos\varphi)d\lambda = \text{arco de paralelo.}$

$A - A1 = dS = \text{Es la distancia entre ambos puntos.}$

$$dS = \sqrt{(Md\varphi)^2 + (N \cdot \cos\varphi \cdot d\lambda)^2} \dots \dots (3)$$



$$dS = N \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{(d\lambda)^2 + \left(\frac{M}{N \cdot \cos\varphi} d\varphi\right)^2} \dots (4)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 69)

Realizando el cambio de variable:

$$\frac{M}{N \cdot \cos\varphi} d\varphi = dq \dots (5)$$

$$d\lambda = dl \dots (6)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 69)

Reemplazando las ecuaciones 5 y 6 en 4 se tiene:

$$dS = N \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{(dl)^2 + (dq)^2} \dots (7)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 69)

En la Figura N° 31:

- ❖ O-PS eje y, es la representación del meridiano Axial elipsoidal sobre el plano de proyección.
- ❖ E-E1 eje x, es la representación de la línea del Ecuador elipsoidal sobre el plano de proyección.
- ❖ M=distancia proyectada en el plano de proyección, del ecuador al punto "a"

Ambos ejes son perpendiculares entre sí, sea punto "a" dado por las coordenadas x, y, la representación del punto "A" y el punto "a1" se encuentra a una distancia infinitamente pequeña del punto "a" y a la vez es correspondiente al punto "A1" y sus coordenadas están dadas por:

$$a1 \begin{cases} x + dx \\ y + dy \end{cases}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 69)

Se construye el triángulo auxiliar a-a1-c

- ❖ a1 - c = dy = distancia sobre el plano de proyección
- ❖ a - c = dx = distancia sobre el plano de proyección
- ❖ a - a1 = ds = Es la distancia entre ambos puntos

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \dots (8)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 69)

Considerando la escala de representación (kr) se tiene:

$$kr = \frac{ds}{dS} \dots (9)$$

$$kr = \frac{\sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}}{N \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{(dl)^2 + (dq)^2}} \dots (10)$$

$$kr^2 = \frac{(dx + idy)(dx - idy)}{N^2 \cdot \cos^2\varphi (dl + idq)(dl - idq)} \dots (11)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 70)

Para proporcionarle conformidad a la representación, la escala  $kr$  en todas las direcciones debe ser la misma y a la vez depender solo de las coordenadas de dicho punto y no de la dirección y la distancia ( $ds$ ). Por tanto, la forma de la función que determina la dependencia entre las coordenadas situadas sobre el plano y las coordenadas situadas sobre el elipsoide dado por la fórmula (11)  $dx/dy$  o  $dq/dl$ , estos determinan la dirección de la distancia  $dS$  o  $ds$ .

Teóricamente una función de variables complejas se demuestra que:

$L + iQ$  sea una función analítica de variable compleja  $f(l + iq)$

$L + iQ = f(p + iq)$  cuando sea  $p$  y no dependa  $\frac{d(L+iQ)}{d(l+iq)}$  y no dependa  $\frac{dq}{dl}$

Por tanto, la ecuación (11) se la escribe de la siguiente manera:

$$kr^2 = \frac{d(x + iy)d(x - iy)}{N^2 \cdot \cos^2\varphi d(l + iq)d(l - iq)} \dots (11)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 70)

Utilizando el teorema anterior se tiene:

$$x + iy = f(l + iq) \dots (12)$$

$$\frac{d(x + iy)}{d(l + iq)} = f'(l + iq) \dots (13)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 70)

Cambiando  $+i$  por  $-i$  se tiene:

$$x - iy = f(l - iq) \dots (14)$$

$$\frac{d(x - iy)}{d(l - iq)} = f'(l - iq) \dots (15)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 70)

Reemplazando las fórmulas 13 y 15 en la fórmula 11 se tiene:

$$kr^2 = \frac{1}{N^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot f'(l + iq) \cdot f'(l - iq) \dots \dots (16)$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 70)*

Las derivadas  $f'(l + iq)$  y  $f'(l - iq)$  con las condiciones de las fórmulas 12 y 14 dependen solamente de  $x$ ,  $y$  o  $q$ ,  $l$ , pero no dependen de sus diferenciales, por tanto, las expresiones 11 y 16 tampoco dependen de las diferenciales.

La fórmula 12 le proporciona conformidad a la representación para cualquier forma arbitraria de la función analítica  $f$ .

Representación del eje  $Y$  sobre el meridiano axial del elipsoide, se la representa mediante una recta donde:

Para el eje  $x$ :

$$\begin{aligned} I &= \lambda = 0 \\ X_0 &= 0 \end{aligned}$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)*

Y para eje  $y$ :

$$Y = S_\varphi = f(q)$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)*

De la fórmula 12:

$$\begin{aligned} x + iy &= f(l + iq) \\ x + iy &= f(\lambda + iq) \end{aligned}$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)*

Se observará que, para deducir la función de traspaso desde ambos planos complejos, habrá que determinar  $f(\lambda + iq)$  según las condiciones iniciales requeridas por la proyección deseada e igualar posteriormente las partes real e imaginaria para obtener así las coordenadas reales de mapeo.

$$\begin{aligned} x &= x(\lambda, q) \\ y &= y(\lambda, q) \end{aligned}$$

*Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)*

Lo que permite calcular coordenadas que se encuentren únicamente sobre el meridiano central.

Para generalizar esta solución a puntos que se encuentren fuera del meridiano central, donde el valor de la abscisa no será cero y el valor de la ordenada será diferente al del arco de meridiano del punto considerado. Se expande la

función  $x + iy = f(\lambda + iq)$  en torno al punto  $z = iq$  según serie de Taylor, quedando

$$x + iy = f(\lambda + iq) = f(iq) + \lambda f'(iq) + \frac{\lambda^2}{2!} f''(iq) + \frac{\lambda^3}{3!} f'''(iq) \dots \dots (17)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)

Considerando la expresión:

$$f(iq) = iS_\varphi = if(q)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)

Diferenciando con respecto a "z", se obtiene.

$$\frac{d}{dz} f(iq) = \frac{d}{dz} [if(q)]$$

$$f'(iq) = \frac{d}{dq} [if(q)] \frac{dq}{dz}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)

Como

$$\frac{dz}{dq} = i$$

$$f'(iq) = if'(q)$$

$$\frac{1}{i} = f'(q)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)

Donde:

$$f'(iq) = \frac{d}{dz} f(iq)$$

$$f'(q) = \frac{d}{dq} f(q)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 71)

Finalmente

Continuando con las derivadas de orden superior:

$$f''(iq) = -if''(q)$$

$$f'''(iq) = -f'''(q)$$

$$f^{iv}(iq) = f^{iv}(q) \dots etc.$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 72)

Reemplazando estos valores se obtiene:

$$x + iy = if(q) + \lambda f'(q) - \frac{\lambda^2}{2!} if(q) - \frac{\lambda^3}{3!} f'(q) + \frac{\lambda^2}{2!} if''(q) + \frac{\lambda^4}{4!} if^{iv}(q) + \dots$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 72)

Igualando las partes real e imaginaria, se obtiene:

$$iy = if(q) - \frac{\lambda^2}{2!} if''(q) + \frac{\lambda^4}{4!} if^{iv}(q) + \dots (18)$$

$$y = f(q) - \frac{\lambda^2}{2} f''(q) + \frac{\lambda^4}{4!} f^{iv}(q) + \dots (19)$$

$$x = \lambda f'(q) - \frac{\lambda^3}{3!} f'''(q) + \frac{\lambda^5}{5!} f^{v}(q) + \dots (20)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 72)

Donde las derivadas son:

$$f'(q) = N \cdot \cos\varphi$$

$$f''(q) = \left[ \frac{dN}{d\varphi} \cos\varphi - N \cdot \text{sen}\varphi \right] \frac{d\varphi}{dq} = -\frac{N}{2} \text{sen}(2\varphi)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 72)

Las derivadas de orden superior fueron calculadas por Thomas en 1952.

Reemplazando las derivadas en las funciones anteriores y operando, se obtiene:

$$x = \Delta\lambda \cdot N \cdot \cos + \frac{(\Delta\lambda)^3}{6} \cdot N \cdot \cos^3\varphi (1 - \tan^2\varphi + \eta^2) - \frac{(\Delta\lambda)^5}{120} \cdot N \cdot \cos^5\varphi (5 - 18\tan^2\varphi + \tan^4\varphi + 14\eta^2 - 58 \cdot \tan^2\varphi \cdot \eta^2)$$

$$y = S_\varphi + \frac{(\Delta\lambda)^2}{720} \cdot N \cdot \cos^2\varphi \cdot \tan\varphi + \frac{(\Delta\lambda)^4}{24} \cdot N \cdot \cos^4\varphi \cdot \tan\varphi (5 - \tan^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{(\Delta\lambda)^6}{720} \cdot N \cdot \cos^6\varphi \cdot \tan\varphi (61 - 58 \cdot \tan^2\varphi + \tan^4\varphi + 270\eta^2 - 330 \cdot \tan^2\varphi \cdot \eta^2)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 72)

Como se observa, vienen en función del arco de meridiano, incremento de longitud a partir del meridiano central, latitud, radio de curvatura del primer vertical y el parámetro "η", función de la segunda excentricidad y de la latitud.

$$\begin{aligned} \frac{x}{N} = \Delta\lambda \cdot \cos\varphi + \frac{\Delta\lambda^3 \cdot \cos^3\varphi}{6} [1 - t^2 + \eta^2] \\ + \frac{\Delta\lambda^5 \cdot \cos^5\varphi}{120} [5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2 + 13\eta^4 - 64t^2\eta^4 \\ + 4\eta^6 - 24t^2\eta^6] + \dots \quad (21) \end{aligned}$$

$$\frac{y}{N} = \frac{S_\varphi}{N} + \frac{\Delta\lambda^2 \cdot \text{sen}\varphi \cdot \cos\varphi}{2} + \frac{\Delta\lambda^4 \cdot \text{sen}\varphi \cdot \cos^3\varphi}{24} [5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4] \dots \quad (22)$$

$$t = \tan\varphi \dots \quad (23)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \cos^2 \dots \quad (24)$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 73)

Las expresiones anteriormente desarrolladas pueden continuarse hasta sucesivos términos logrando así una exactitud mayor en la transformación., el tercer término asegura una exactitud suficiente para la mayoría de los trabajos geodésicos.

Finalmente se tienen las siguientes fórmulas:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2\varphi}} \dots \quad (25)$$

$$t^2 = \text{Tan}^2\varphi \dots \quad (26)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \cos^2\varphi \dots \quad (27)$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cdot \text{Cos}\varphi \dots \quad (28)$$

$$\begin{aligned} S_\varphi = a \left[ \frac{\varphi \cdot \pi}{180^\circ} \left( 1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right) - \text{Sen}(2\varphi) \left( \frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \right. \\ \left. + \text{Sen}(4\varphi) \left( \frac{15e^2}{256} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) - \text{Sen}(6\varphi) \left( \frac{36e^2}{3072} \right) \right] \dots \quad (29) \end{aligned}$$

$$x = N \left[ A + \frac{A^3}{6} (1 - t^2 - \eta^2 + \frac{A^2}{120} (5 - 18t^2 + t^4 + 72\eta^2 - 58e'^2)) \right] \dots \quad (30)$$

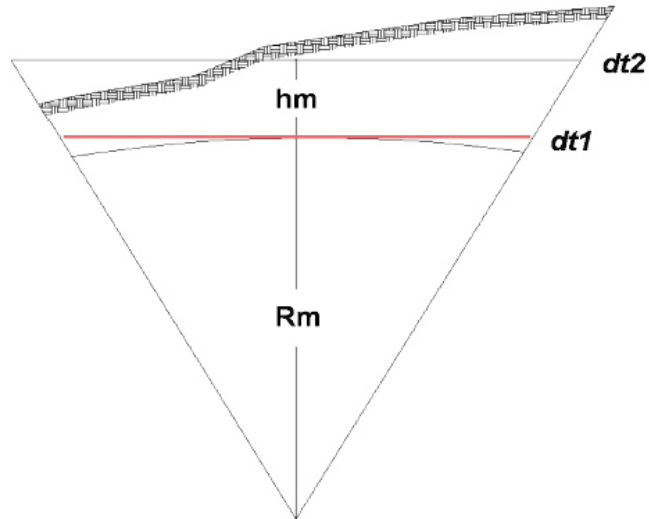
$$\begin{aligned} y = \left\{ S_\varphi + N \cdot \text{Tan}\varphi \left[ \frac{A^2}{2} + \frac{A^4}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{A^6}{720} (61 - 58t^2 + t^4 \right. \right. \\ \left. \left. + 600\eta^2 - 330e'^2) \right] \right\} \dots \quad (31) \end{aligned}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 73)

Valor del factor de escala en el MCL y el plano PTL.

El MCL es el valor del Meridiano Central Local.

**Figura N° 32: Plano Topográfico Local**



Fuente: (Tola Vargas, 2010)

Donde:

hm= Altura Elipsoidal Media

Rm= Radio medio de curvatura

dt2 = Plano Topográfico Local cuando la altura elipsoidal media es mayor a 1

dt1 = Plano Topográfico Local cuando la altura elipsoidal media es igual a 0.

Cuando la altura es igual a cero, el plano de proyección será tangente al elipsoide dt1=1

$$\frac{dt1}{Rm} = \frac{dt2}{Rm + hm}$$

$$\frac{dt2}{dt1} = \frac{Rm + hm}{Rm}$$

$$\frac{dt2}{dt1} = kh$$

$$K_{MCL} = \frac{(Rm + hm)}{Rm}$$

*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 25)*

El Kh es el factor de elevación que muestra la separación del Plano Topográfico Local y finalmente este valor pasa a ser el factor de escala para el Meridiano Central Local ( $K_{MCL}$ ).

$$k_{MCL} = \frac{(Rm + hm)}{Rm} \dots\dots (32)$$

*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 25)*

## **2.2.6 Topografía**

La Topografía es ciencia en el grado en el que se utilizan modelos matemáticos rigurosos para analizar y ajustar los datos topográficos de campo. La precisión y su fiabilidad dependen no solamente de la experiencia de campo del topógrafo, sino también de la comprensión que éste tenga de los principios científicos sobre los que actúa y que afectan a todas las formas de medidas topográficas. Pero también:

### **2.2.6.1 División Básica de la Topografía**

- ❖ **Planimetría:** Las distancias se toman sobre un plano horizontal, de tal forma, su proyección sobre un plano horizontal. Los métodos de trabajo en topografía son geométricos, trigonométricos y aritméticos, siempre formando figuras geométricas conocidas, para lograr esto en el terreno se deben colocar puntos marcados en el terreno.
- ❖ **Altimetría:** Son las distancias verticales, que se toman directamente en terreno y/o que se derivan de puntos fijos llamados cotas.
  - **Puntos Instantáneos:** usados en momentos de tomar una lectura. Por ejemplo, cercas, orillas, redes eléctricas, de acueducto, vías, construcciones, puntos definidos, etc.
  - **Puntos Transitorios:** Son los puntos que se necesitan para demarcar las poligonales del proyecto, p ej. Estacas en madera, puntos geodésicos o topográficos, deben permanecer durante la ejecución del proyecto.
  - **Puntos Definidos:** Puntos que no desaparezcan en el tiempo y pueden ser:



- **Natural:** Punto fijo, destacado en el terreno, punto geográfico, orilla de río, punto más alto de un cerro, prominencia de una roca, etc.
- **Permanente:** Generalmente son los mojones en concreto, hincado al terreno, referenciado con otros puntos transitorios, placas topográficas.

#### *2.2.6.2 Poligonal*

Un itinerario o poligonal es una sucesión encadenada de radiaciones, donde se debe obtener como resultado final las coordenadas (X, Y, H) de los puntos de estación.

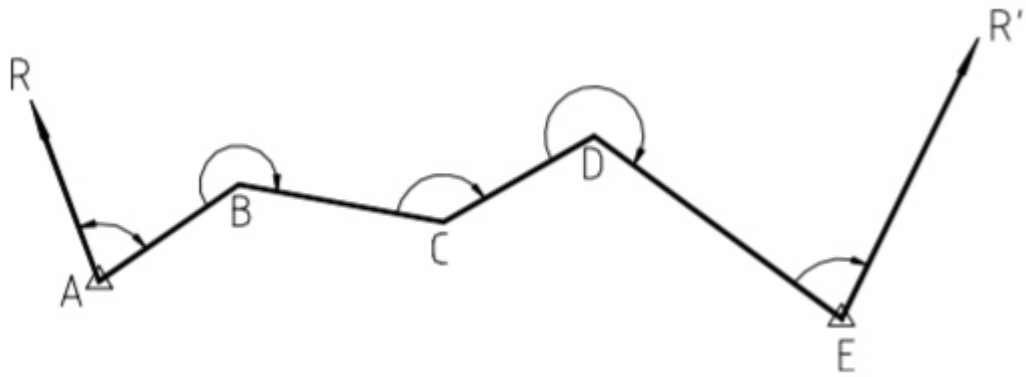
Se parte de un punto de coordenadas conocidas y se llega a otro también de coordenadas conocidas. Desde el punto inicial y final se visará a una referencia, también de coordenadas conocidas, como mínimo.

- Las estaciones de la poligonal tendrán que:
- Estar relacionadas entre sí (acimuts y distancias), tener intervisibilidad entre ellas.

poder desempeñar el trabajo para el que se ha diseñado la poligonal, desde los puntos de estación.

Los puntos de la poligonal pueden convertirse en polos de radiación, y desde ellos efectuar un levantamiento. En este caso en primer lugar se realizará la observación de los puntos de estación del itinerario y después se efectuará en cada uno de ellos la radiación de los puntos de detalle.

El método de poligonación consta del siguiente procedimiento (Ver Figura N° 33). Se estaciona en un punto A y se sitúa por radiación en punto B. Posteriormente se estaciona en B y, tomando como referencia la dirección BA se radia C. Estacionando en C, de modo análogo, se sitúa el punto D y así se continúa sucesivamente hasta fijar el último punto que se desee, tal que el E. Por tanto, un itinerario o poligonal no es más que una sucesión encadenada de radiaciones. Los puntos A, B, C ... son estaciones de itinerario y las distancias AB, BC, ... los tramos o ejes del mismo.

**Figura N° 33: Poligonal Abierta no Comprobada**

Fuente: (Pardiñas García, 2011)

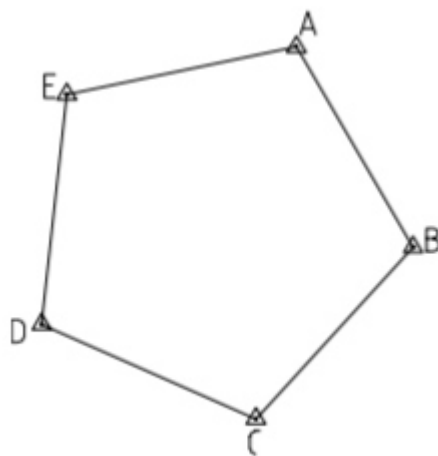
Normalmente, con una poligonal lo que se pretende es situar una serie de puntos B, C, ... a partir de otro A, previamente conocido, desde el que se dispone de acimuts a direcciones (referencias) también conocidas.

a) *Clasificación de las Poligonales*

❖ Según los puntos de partida y llegada.

➤ Cerrada:

Cuando el punto inicial coincide con el final.

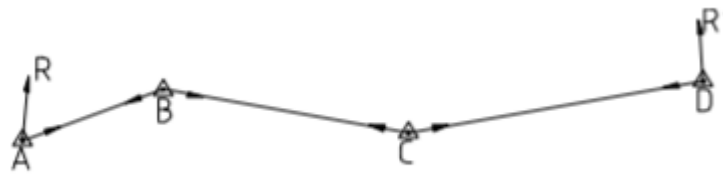
**Figura N° 34: Poligonal Cerrada**

Fuente: (Pardiñas García, 2011)

➤ Abierta:

Cuando el punto inicial no coincide con el final.

**Figura N° 35: Poligonal Abierta**



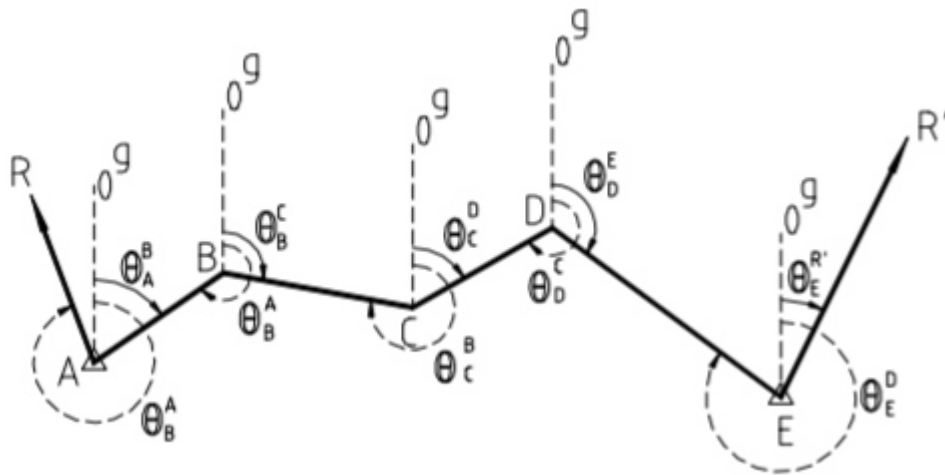
Fuente: (Pardiñas García, 2011)

- ❖ Según la orientación angular.

**Poligonal Orientada:**

Cuando se observa una poligonal orientada, el instrumento está orientado en cada uno de los puntos o estaciones que componen la poligonal (Ver Figura N° 36).

**Figura N° 36: Poligonal Orientada**



Fuente: (Pardiñas García, 2011)

Se estaciona el aparato en el punto inicial A y se orienta, para lo que será necesario conocer el acimut  $\theta_A^R$ , de una dirección AR. Seguidamente se visa al punto B, sobre el que se hacen las medidas de ángulos y distancias necesarias para situar dicho punto por radiación. Al estar el aparato orientado, la lectura acimutal que se haga sobre B será el acimut  $\theta_A^B$ , de tal dirección.

Después se traslada el aparato a B, la dirección de referencia será BA ya que el azimut de  $\theta_B^A$  es conocido, por ser el recíproco de  $\theta_A^B$ , medido en A. Radiamos desde B el punto C y nos trasladamos a él, se orienta utilizando el azimut  $\theta_C^B$  recíproco de  $\theta_B^C$ , continuando así hasta el final de la poligonal.

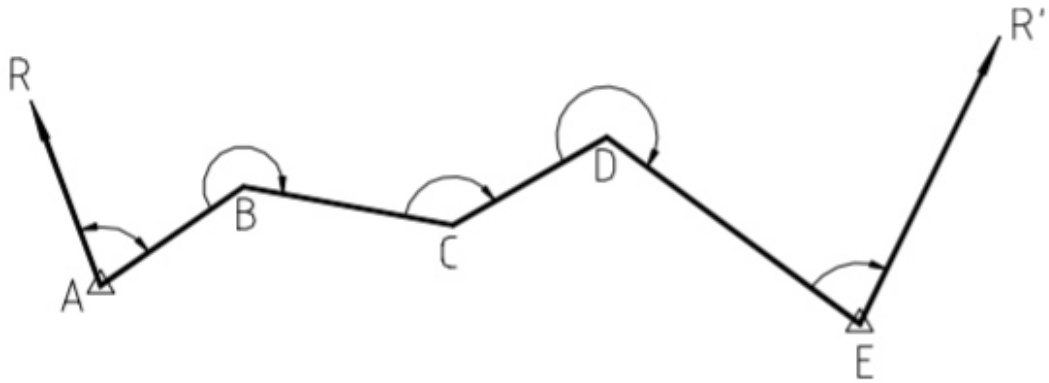
Como siempre debe procurarse tener una comprobación de los resultados obtenidos, por lo que al estacionar en el último punto E se orienta el instrumento sobre D con el acimut  $\theta_E^D$  y a continuación se visa a la dirección ER' de acimut conocido. Es natural que, debido a los inevitables errores de observación, el valor leído para  $\theta_E^R$  no coincida exactamente con dicho acimut conocido. La diferencia será el error de cierre angular de la poligonal.

En un itinerario orientado los acimuts directos y recíprocos deben de diferir en 200 grados, puesto que se ha obligado al goniómetro a indicar las lecturas correspondientes. En la práctica no sucede así. Con el instrumento se observan las direcciones en las posiciones de CD y CI. Las lecturas promedio que se obtienen no resultan rigurosamente iguales a las deseadas, lo que determina que los acimuts directos no se corresponden con sus recíprocos. Se van produciendo a lo largo del itinerario unas ligeras desorientaciones y el error de cierre acimutal que pueda aparecer al observar la dirección de cierre estará también ligeramente falseado, con respecto al que obtendremos finalmente en cálculo.

Se hace necesario corregir en cálculo las desorientaciones situadas en el momento de la observación. Esta operación recibe el nombre de referir acimuts al origen.

### **Poligonal no Orientada:**

En este caso no se puede, o no se desea, llevar el instrumento orientado (Ver Figura N° 37).

**Figura N° 37: Poligonal no Orientada**

*Fuente: Elaboración Propia*

Se estaciona en el punto de inicio de la poligonal A y con la lectura acimutal cualquiera se visa a R. Después se realiza la observación completa sobre B.

Es evidente que por diferencia de lecturas acimutales se podrá conocer el ángulo que la dirección AB forma con la AR. En B se visa al punto A con una lectura arbitraria y seguidamente se efectúan las observaciones necesarias sobre C, con lo que se podrá calcular el ángulo en B. Se continúa de forma análoga hasta finalizar en E, donde se deberá visar también a R' para conocer el ángulo de dicha estación.

Con las referencias y conocidos los acimuts de las direcciones observadas, se pueden posteriormente calcular los acimuts de todos los lados o tramos de la poligonal y llegar a conocerse el error de cierre de la poligonal. Para poder conocer el error de cierre se utiliza la corrida de acimuts.

*b) Ajuste de datos topográficos mediante el Método de Bowditch*

El método de Bowditch o método de la brújula es el más utilizado para el ajuste de poligonales topográficas, el cual consiste en ajustar los ángulos mediante la suma de ángulos en la poligonal, identificando el error angular y compensar de forma equitativa entre los vértices, para luego proceder a ajustar los valores de las distancias, para ello se calculan coordenadas topográficas preliminares e identificando la diferencia en las coordenadas de llegada y compensar ese error para finalmente obtener las coordenadas topográficas.

i. Cálculo y Compensación de las Coordenadas

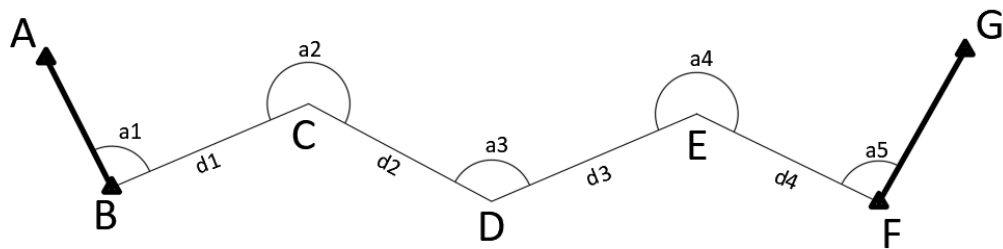
Los datos que se han obtenido en la observación mínima realizada en campo son (Ver Figura N° 38):

- ❖ Ángulos de la poligonal. ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  y  $a_5$ )
- ❖ Distancias reducidas de los tramos. ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ )

Con estos datos procederemos a obtener las coordenadas (X, Y, H) de los vértices en los que se ha estacionado. La altimetría se obtiene por nivelación trigonométrica compuesta.

Sea una poligonal abierta con la línea base de partida AB y la línea base de llegada FG.

**Figura N° 38: Poligonal Topográfica de Enlace comprobada**



Fuente: Elaboración Propia

ii. Calculo y Compensación del Error Angular.

Para el cálculo del error angular en caso de una **poligonal cerrada** el procesamiento es simple pues se debe de cumplir las condiciones geométricas de un polígono cualquiera, la cual dice que la suma de ángulos internos depende del número de vértices.

$$\sum \alpha = 180x(n - 2)$$

donde  $n$  es el numero de vertices

Como sabemos este valor es el deseado y dado los errores explicados anteriormente se produce una diferencia con los valores en campo, a esta diferencia se le conoce como error angular.

$$\text{Error Angular} = \sum \alpha - 180x(n - 2)$$

En caso tengamos una **poligonal abierta**, el procedimiento es distinto pues no se tiene una figura geométrica, entonces lo primero es calcular el azimut con los puntos de la línea base de partida. Utilizando la fórmula del cálculo de azimuts.

$$Tg(Az) = \frac{\Delta E}{\Delta N}$$

$$Az = ArcTg\left(\frac{\Delta E}{\Delta N}\right)$$

Luego se calculan los azimuts de cada línea utilizando los ángulos obtenidos en campo, hasta llegar al azimut de la línea base de llegada, en la cual se genera una diferencia en el azimut de llegada calculado con los ángulos en campo  $Az_{campo}$  y el azimut calculado con las coordenadas de los puntos de la línea base de llegada  $Az_{Coor}$ .

$$Error\ Angular = Az_{campo} - Az_{Coor}$$

Una vez calculado el Error Angular se procede al análisis de este y la verificación si está dentro de la Tolerancia angular ( $Ta$ ), de acuerdo con la precisión requerida

$$Ta = Ax\sqrt{n}$$

Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 32)

Donde:

$n$  es el numero de vertices

$A$  es la precision del equipo

Si nuestro error angular es mayor a la tolerancia, quiere decir que los datos no fueron tomados bajos las condiciones debidas, o el equipo este posiblemente descalibrado.

$$Error\ Angular > Ta$$

Si nuestro error es menor a la tolerancia pasamos a compensar los ángulos y a calcular los ángulos compensados.

$$Error\ Angular < Ta$$

Para compensar los ángulos se debe repartir el error por igual en cada uno de los ángulos medidos de tal manera que el ángulo repartido sea entero, de lo contrario repartir de la manera proporcionada para que esto se cumpla. Por ejemplo

- Si tenemos 4 vértices y el valor del Error angular es de 20" se compensa repartiendo 5" a cada ángulo medido.

- Si tenemos 5 vértices y valor del Error Angular es de 11" se compensa repartiendo 2" a 4 ángulos y 3" al ángulo que falta, para que el valor angular sea entero.

*Nota: Para elegir a que ángulo se reparte 2" o 3" para compensar es a criterio de cada uno, ciertos textos dicen que se deben repartir a los ángulos más grande y pequeños, en general se debe de tener en cuenta que el error se debe de repartir en lo posible en igual medida para todos los ángulos.*

### iii. Cálculo y compensación de Error en Distancia

Para el cálculo del error en distancia (E), se debe de calcular las coordenadas relativas con ayuda de los azimuts y las distancias, hasta regresar al punto de llegada, sumando las coordenadas relativas de cada eje tanto X como Y debería dar cero, pero esto no ocurre dando lugar a una diferencia tanto en X como en Y.

$$x = d \times \text{Seno}(Az)$$

$$y = d \times \text{Cos}(Az)$$

$$\Delta x = \sum x$$

$$\Delta y = \sum y$$

Para calcular el valor del Error de Cierre Lineal en distancia nos vamos a apoyar del teorema de Pitágoras.

$$\text{Error de Cierre Lineal (E)} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 30)*

Otra forma de expresar este error es como una relación entre el perímetro y este error usando la siguiente relación:

$$\frac{1}{\text{Error de Cierre Lineal (E)}} = \frac{1}{\frac{\text{Perimetro}}{\text{Error de Cierre Lineal (E)}}}$$



---

*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 30)*

Una vez calculado el Error de Cierre Lineal (E) se procede al análisis de este y la verificación si está dentro de la Tolerancia (T), de acuerdo con la precisión requerida.

Según el Manual de Procedimiento Geodésicos y Topográficos de Chile (Pág. 30), Indica la tolerancia de cierre máximo permitido, clasificado por el tipo poligonal.

Para una Poligonal Primaria, en el cual se utilizan mediciones relacionadas a la Red Geodésica Nacional, y se emplean para áreas de estudio de grandes extensiones, por lo cual se emplean receptores GNSS/GPS, donde la tolerancia máxima es de:

$$T = 1/500.000 \text{ o } 2 \text{ PPM}$$

Si se inicia y termina en el mismo punto, no obstante, si se inicia y termina en puntos diferentes la tolerancia máxima es de:

$$T = 1/250.000 \text{ o } 4 \text{ PPM}$$

Para una Poligonal Secundaria, el cual tiene como objetivo densificar la información cartográfica tomándose como partida una poligonal geodésica o la Red Geodésica Nacional, para ello se pueden emplear estaciones totales o receptores GNSS/GPS, para este tipo de poligonales la tolerancia es igual a:

$$T = 1/20.000 \text{ o } 50 \text{ PPM}$$

Para una Poligonal Terciaria, la cual derivaciones de las poligonales secundarias por lo cual son mucho menores en su extensión, son poligonales enfocadas a levantamiento topográficos para zonas puntuales, para este tipo de poligonales la tolerancia es de:

$$T = 1/12.500 \text{ o } 80 \text{ PPM}$$

Una vez calcula la tolerancia, procedemos a compárala con nuestro Error de Cierre Lineal (E), donde, en caso nuestro Error de Cierre Lineal (E) es mayor a la tolerancia, quiere decir que los datos no fueron tomados bajos las condiciones debidas, o el equipo este posiblemente descalibrado.

$$E > T$$

Si nuestro Error de Cierre Lineal (E) es menor a la tolerancia pasamos a compensar las distancias y a calcular las distancias compensadas.

$$E < T$$

Para compensar las distancias primeras de deben calcular las distancias acumuladas y proporcionalmente a ellas se repartirá el error (E), de tal manera que al inicio las comprensiones son pequeñas y van aumentando conforme llegamos al punto de llegada.

$$DT = \sum Di$$

$$Cx = -\frac{\Delta x}{D} \times D_{acumulada}$$

$$Cy = -\frac{\Delta y}{D} \times D_{acumulada}$$

Donde:

*DT es Distancia Total*

*Cx es la compensacion en x*

*Cy es la compensacion en y*

*D<sub>acumulada</sub> es la distancia acumulada hasta ese vertice*

#### iv. Cálculo de las Coordenadas Finales

El cálculo de las coordenadas finales se hace con los datos de ángulos corregidos y las distancias corregidas, con las fórmulas vistas anteriormente.

$$X = D_c \times \text{Sen}(Az) + X_0$$

$$Y = D_c \times \text{Cos}(Az) + Y_0$$

Donde:

*D<sub>c</sub> es la Distancia Corregida*

*Az es el azimut corregido*

*X<sub>0</sub> es la coordenada X del punto de origen*

*Y<sub>0</sub> es la coordenadas Y del punto de origen*

*Nota: cuando hablamos del punto de origen, hacemos referencia a un sistema de coordenadas relativas y el punto de origen para fines prácticos es el punto anterior al calculado, por ejemplo:*

*Si estamos calculando las coordenadas del punto C nuestro punto de origen de las coordenadas relativas es el punto B.*

### **2.2.7 Transformación de Coordenadas Proyectadas (Cartográficas) a Topográficas (planas)**

Según lo expuesto en capítulos anteriores, las coordenadas UTM tienen alta precisión pues suelen determinarse por métodos de posicionamiento GNSS/GPS, formándose en el área de levantamiento una red de básica con pares de puntos establecidos a distancias no mayores a 5 km. Asimismo entre esos pares de puntos se componen poligonales topográficas medidas con estación total.

Para el ajuste de las poligonales topográficas se presenta un problema: las coordenadas de la red básica son cartográficas, es decir, están proyectadas sobre un cilindro transversal y, las coordenadas determinadas a partir de la poligonal topográfica son coordenadas planas. Si efectuáramos el ajuste de manera directa, sin considerar la diferencia entre coordenadas UTM y topográficas, los errores de cierre y relación de cierre no cumplirían con los estándares de precisión requeridos y los valores no corresponderían a las medidas reales.

Asimismo, los proyectos viales se suelen representar en escalas grandes, donde la información graficada debe tener un valor muy próximo a su valor real, siendo necesario aplicar un método de transformación que nos permita utilizar los puntos GNSS/GPS, de la red básica implementada en el área de trabajo y establecidos con coordenadas UTM, como base para efectuar los levantamientos topográficos intermedios que se desarrollan en el área de trabajo, sin afectar la precisión requerida.

Actualmente en el Perú no existe una metodología aprobada, un reglamento o normativa de cómo realizar el tratamiento de esta información. Según la experiencia técnica y revisando proyectos aprobados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante PROVIAS, se pudo identificar un método que se utiliza con mucha frecuencia en nuestro país, el cual consiste

en transformar las coordenadas UTM a coordenadas Planas, con la finalidad de efectuar el ajuste de las poligonales, con algunas restricciones.

En otros países de la región, se suele aplicar otro método de transformación, el cual consiste en utilizar un Sistema de Coordenadas Locales, proyectado sobre un Plano Topográfico Local (PTL).

#### *2.2.7.1 Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas*

Este método es usado con frecuencia en el Perú, consta de realizar el cálculo de los factores propios de la proyección UTM como lo son:

- Factor Escala
- Factor de Elevación, que se puede reemplazar por el cálculo de la Reducción al Nivel Medio del Mar (RNMM)
- Corrección por curvatura t-T o Arco – Cuerda
- Convergencia de Meridianos

Para luego aplicarlos de forma inversa lo cual transformaría todas las distancia y angulas proyectados sobre el cilindro en planos, para lograr ello primero debemos definir las limitaciones de este método:

- Las coordenadas no deben de tener una variación de cotas de  $\pm 300$  metros.
- Se debe de indicar el punto base de la transformación, el cual tiene la característica que sus valores no cambian al ser transformado.
- Las dimensiones de la transformación no deben de superar los 5 km respecto del punto base.
- En caso las características del terreno sobrepasen estas limitaciones, se procederá a generar zonas de transformación, de tal manera que cada zona cumpla con las limitaciones de esta transformación.

Para iniciar la transformación primero debemos de delimitar la extensión de la transformación (menor a 5 km), y con una variación de cotas no mayor de 300m, luego identificar el punto base de nuestra transformación. Por ejemplo:

**Cuadro N° 3: Coordenadas Iniciales**

TO	Norte	Este	Altura Elipsoidal	Cota(H)	Latitud			Longitud		
					Grad.	Min.	Seg.	Grad.	Min.	Seg.
A	8666149.515	273474.575	41.820	18.232	12	3	29.59	77	4	51.38
B	8665971.050	273806.015	31.416	8.536	12	3	35.49	77	4	40.45
C	8666359.123	276762.568	29.456	6.303	12	3	23.19	77	3	52.91
D	8666325.901	275661.025	34.136	11.040	12	3	24.40	77	3	39.04

*Fuente: Elaboración Propia*

Se desea transformar los puntos A, B, C y D (Ver Cuadro N° 4), lo primero es seleccionar un punto base, en este caso usaremos el punto B, entonces las coordenadas UTM y topográficas del punto B van a tener los mismos valores.

Se calculan los factores de escala (ver Cuadro N° 5), de elevación (ver Cuadro N° 6), así como el factor combinado (ver Cuadro N° 7), con las fórmulas expuestas anteriormente, con la finalidad de transformar las distancias UTM en Topográficas:

**Cuadro N° 4: Calculo del Factor de Escala**

$$K = K_0 \cdot [1 + P \cdot q^2 + 0.00003 \cdot q^4]$$

*Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 51)*

*Donde:*

$$q = 0.000001 \cdot (X)$$

$$X = |500,000 - ESTE|$$

$$P = \left[ \frac{1 + e'^2 \cdot \text{Cos}^2 \phi}{2 \cdot N^2 \cdot K_0^2} \right] \cdot 10^{12}$$

*e'<sup>2</sup> : cuadrado de la segunda excentricidad*

*N : Radio de la gran normal en A*

*K<sub>0</sub> : Factor de escala en el Meridiano Central = 0.9996*

*φ : Latitud Geodesica en "A"*

PTO	X	q	N	P	K
A	226525.425	0.226525425	6379068.900	0.012376366	1.0002349028880
B	226193.985	0.226193985	6379069.149	0.012376364	1.0002330460048

C	223237.432	0.223237432	6379068.629	0.012376368	1.0002166034482
D	224338.975	0.224338975	6379068.680	0.012376367	1.0002227043239

Fuente: *Elaboración Propia*

### Cuadro N° 5: Calculo de Factor de Elevación

$$K_{Elev} = \frac{R - M}{R + h}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 56)

Donde:

$D_h$ : Distancia horizontal

$h$ : Elevación media de la línea

$R$ : Radio medio de curvatura terrestre

Línea	$(\phi B - \phi A) / 2$	Lat. Prom Rad	R	M	Kelev
B-A	-1.4302E-05	-0.210469933	6338217.088	0.00064823	0.9999934019
B-C	-2.9816E-05	-0.210454419	6338216.685	0.00281733	0.9999953522
B-D	-2.68829E-05	-0.210457352	6338216.761	0.00229029	0.9999946139

Fuente: *Elaboración Propia*

El cálculo del factor combinado realiza por la línea de transformación (ver Cuadro N° 7, 8 y 9) como sabemos, se eligió al punto B como punto base entonces en base a él se generan las siguientes líneas de transformación: B-A, B-C, B-D

### Cuadro N° 6: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A

$$K = (K_{Elev}) \cdot (K_{Escala})$$

$$K_{Prom} = \frac{(K_1) + (K_2)}{2}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273806.015	8665971.050	1.00023305	0.99999340	1.00022645
A	273474.575	8666149.515	1.00023490	0.99999340	1.00022830
K Prom					1.00022737

Fuente: *Elaboración Propia*

### Cuadro N° 7: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273806.015	8665971.050	1.00023305	0.99999535	1.00022645
C	276762.568	8666359.123	1.00021660	0.99999535	1.00021195
K Prom					1.00021920

Fuente: *Elaboración Propia*

### Cuadro N° 8: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273806.015	8665971.050	1.00023305	0.99999461	1.00022645
D	275661.025	8666325.901	1.00022270	0.99999461	1.00021732
K Prom					1.00022188

Fuente: *Elaboración Propia*

Con este dato calculamos la distancia topográfica, a partir de la distancia de cuadrícula (ver Cuadro N° 10), la distancia sobre la cuadrícula UTM se obtiene mediante las coordenadas UTM de dos puntos.

$$L_T = \frac{L_C}{K_{Prom}}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)

### Cuadro N° 9: Distancia Topográfica Calculada

Línea	L(UTM)	L(TOPO)
B-A	376.434	376.348
B-C	2981.913	2981.259
B-D	1888.645	1 888.226

Fuente: *Elaboración Propia*

Luego se procede a calcular la corrección por reducción arco – cuerda o T-t (ver Cuadro N° 12) y la corrección por convergencia de meridianos (ver Cuadro N° 11) utilizando las fórmulas expuestas anteriormente, con la

finalidad de convertir los ángulos proyectados sobre la cuadrícula UTM a ángulos topográficos.

**Cuadro N° 10: Calculo de la Convergencia de Meridianos**

$$tg\gamma = L.t.cos\phi + L^3.t.\frac{(1 + t^2 + 3n^2 + 2n^4)}{3}.cos^3\phi$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 64)

Donde:

$\gamma$ : Convergencia de Meridianos en un punto.

$L = Signo(E - 500\ 000)[|\lambda| - |\lambda_0|]$

$t = tg\phi$

$n^2 = e'^2.cos^2\phi$

PTO	L	t	n2	tan(y)	y	Grad.	Min.	Seg.
A	-0.03632	0.213618821	0.006445375	-0.00759	-0.43491	0	-26	5.6613
B	-0.03627	0.213648700	0.006445296	-0.00758	-0.43433	0	-26	3.5844
C	-0.03604	0.213586377	0.006445461	-0.00753	-0.43145	0	-25	53.2054
D	-0.03597	0.213592511	0.006445444	-0.00752	-0.43065	0	-25	50.3472

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro N° 11: Calculo de la Reducción de Arco – Cuerda**

$$(T - t)_{A \rightarrow B} = -\Delta N(2x_1 + x_2) \times P \times 6.8755 \times 10^{-8} = segundos$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 67)

$$\Delta N = N_B - N_A$$

$$X_1 = |500\ 000 - E_1|$$

$$X_2 = |500\ 000 - E_2|$$

$$P = \left[ \frac{1 + e'^2.cos^2\phi}{2N^2.K_0^2} \right] \times 10^{12}$$

Línea	VarN	x1	x2	P	T-t	T-t (rad)
B-A	-178.4650	226525.425	226193.985	0.012376366	0.1032	5.00092E-07
B-C	-388.0732	223237.432	226193.985	0.012376368	0.2221	1.07692E-06
B-D	-354.8510	224338.975	226193.985	0.012376267	0.2038	9.87955E-07



*Fuente: Elaboración Propia*

Con estos dos factores corregimos los ángulos, transformando los ángulos proyectados en ángulos topográficos (ver Cuadro N° 13), los ángulos proyectados sobre la cuadrícula UTM se obtienen mediante las coordenadas UTM.

$$Az_{Topo} = Az_{UTM} + (T - t)_{1 \rightarrow 2} - \gamma$$

**Cuadro N° 12: Calculo del Azimut Topográfico**

Línea	Az (Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az (Topo)	Az(rad)
B-A	-61.6996	0.0000	298.3004	298.300416	-0.430652004	298.731068	5.21384072
B-C	82.5222	0.0001	442.5222	442.522242	-0.430652004	442.952894	7.73098644
B-D	79.1705	0.0000	439.1705	439.170527	-0.430652004	439.601179	7.67248797

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez obtenidas las distancias y los ángulos topográficos (planos), se procede a calcular las coordenadas topográficas, utilizando la formulas topográficas clásicas (ver Cuadro N° 14).

$$x = D_{Topo} \times Sen(Az_{Topo})$$

$$y = D_{Topo} \times cos(Az_{Topo})$$

**Cuadro N° 13: Coordenadas Topográficas Calculadas**

PTO	X	Y
A	273476.001	8666151.960
B	273806.015	8665971.050
C	276764.753	8666336.807
D	275663.227	8666311.873

*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.2.7.2 Transformación de Coordenadas Geográficas a LTM

Para efectuar esta transformación, se deberá verificar si se cumplen las condiciones para poder realizar dicha transformación como lo son:

- Las coordenadas no deben de tener una variación de cotas de  $\pm 300$  metros.
- Las dimensiones de la transformación no deben de superar los límites de la zona (zonas LTM =  $1^\circ$  de Longitud).
- En caso las características del terreno sobrepasen estas limitaciones, se procederá a generar PTL adicionales, de tal manera que cada PTL cumpla con las limitaciones de esta transformación.

Los siguiente es definir un Plano Topográfico Local (PTL), sobre el cual se proyectarán las coordenadas geográficas, transformándolas así en coordenadas planas LTM, para definir un PTL necesitamos las siguientes características:

- Latitud Media
- Longitud Media
- Altitud media

Lo siguiente es calcular el factor de escala específico  $Kh$ .

$$Kh = \frac{(R + hm)}{R}$$

*Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 25)*

Reemplazando

$$Kh = \frac{(6378000 + 34.207)}{6378000} = 1.00000536$$

Luego procedemos calcular los factores (ver Cuadro N° 15) para proyectar las coordenadas para ello emplearemos las siguientes formulas:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi}}$$

$$t^2 = \text{Tan}^2 \varphi$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cdot \text{Cos} \varphi$$

$$S_{\varphi} = a \left[ \frac{\varphi \cdot \pi}{180^{\circ}} \left( 1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right) - \text{Sen}(2\varphi) \left( \frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \right. \\ \left. + \text{Sen}(4\varphi) \left( \frac{15e^2}{256} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) - \text{Sen}(6\varphi) \left( \frac{36e^2}{3072} \right) \right]$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

#### Cuadro N° 14: Calculo de los Parámetros de Proyección

	N	t2	n2	A	Sp
Para el punto A	6379068.900	0.045633001	0.006445375	0.007152619	-1333524.851
Para el punto B	6379069.149	0.04564578	0.006445296	0.007204396	-1333706.150
Para el punto C	6379068.629	0.045619141	0.006445461	0.007429884	-1333328.189
Para el punto D	6379068.680	0.045621761	0.006445444	0.007495635	-1333365.370

Fuente: Elaboración Propia

Con estos datos procedemos a calcular los valores de coordenadas preliminares (ver Cuadro N° 16), utilizando las siguientes formulas:

$$x = N \left[ A + \frac{A^3}{6} (1 - t^2 - \eta^2 + \frac{A^2}{120} (5 - 18t^2 + t^4 + 72\eta^2 - 58e'^2)) \right]$$

$$y = \left\{ S_{\varphi} + N \cdot \text{Tan}\varphi \left[ \frac{A^2}{2} + \frac{A^4}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{A^6}{720} (61 - 58t^2 + t^4 + 600\eta^2 - 330e'^2) \right] \right\}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

#### Cuadro N° 15: Calculo de los Valores preliminares

	x	y
Para el punto A	45627.423	-1333559.710
Para el punto B	45957.721	-1333741.519
Para el punto C	47396.160	-1333365.796
Para el punto D	47815.602	-1333403.647

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente calculamos los valores de las coordenadas utilizando las siguientes formulas (ver Cuadro N° 17):

$$XL = X_0 + x \times K_h$$

$$YL = Y_0 + y \times K_h$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

Con lo cual obtenemos:

**Cuadro N° 16: Coordenadas LTM**

	XL	YL
Para el punto A	245,627.668	5,666,433.116
Para el punto B	245,957.968	5,666,251.306
Para el punto C	247,396.415	5,666,627.031
Para el punto D	247,815.859	5,666,589.179

Fuente: Elaboración Propia

Además de ello se está proponiendo, la aplicación de un vector de desplazamiento, con la finalidad de obtener valores cercanos a una coordenada UTM, pues para la comprobación de un punto se suele utilizar navegadores GPS, los cuales trabajan utilizando el sistema de proyección UTM, es por ello que se propone un vector de desplazamiento, aplicado de modo que las coordenadas de un punto tanto UTM como LTM sean las mismas.

El vector de desplazamiento se definiría como:

$$V_x = E(UTM)_a - XL(LTM)_a$$

$$V_y = N(UTM)_a - YL(LTM)_a$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$V_x$  es Variación en X

$E(UTM)_a$  es el valor del Este del punto a en la proyección UTM

$XL(LTM)_a$  es el valor de X del punto a en la proyección LTM

$V_y$  es Variación en Y

$N(UTM)_a$  es el valor del Norte del punto a en la proyección UTM

$YL(LTM)_a$  es el valor de Y del punto a en la proyección LTM

Para aplicar estas fórmulas tendríamos que escoger un punto el cual tendría los mismos valores tanto UTM como LTM, en nuestro caso se escogió al punto B, con lo cual se obtiene:

$$V_x = 273,806.015 - 245,957.968$$

$$V_x = 27,848.047$$

$$V_y = 8'665,971.050 - 5,666,251.306$$

$$V_y = 2'999,719.745$$

Con lo cual los valores de las coordenadas LTM trasladadas, se obtendrían de la siguiente forma.

$$X = XL + V_x$$

$$Y = YL + V_y$$

*Fuente: Elaboración Propia*

Aplicando estas fórmulas a nuestro ejemplo, obtenemos los siguientes resultados (ver Cuadro N° 18):

**Cuadro N° 17: Coordenadas LTM Calculadas**

	X	Y
Para el punto A	273,475.715	8,666,152.861
Para el punto B	273,806.015	8,665,971.050
Para el punto C	275,244.462	8,666,346.776
Para el punto D	275,663.906	8,666,308.924

*Fuente: Elaboración Propia*

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

De acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997) en su libro Metodología de la Investigación Científica, es que hemos identificado el Tipo, Nivel y Diseño de investigación de la presente tesis.

### **3.1 Tipo de Investigación**

Investigación del tipo Aplicada, pues tiene un propósito práctico y bien definido, el de transformar, contando con el aporte de fundamentos científicos de la cartografía, coordenadas cartográficas (UTM) en coordenadas LTM, con el objetivo de demostrar que la aplicación del sistema de coordenadas LTM disminuye la distorsión en la cartografía de carreteras.

### **3.2 Nivel de Investigación**

De nivel explicativo o causal pues, en esta tesis explicamos y demostramos los efectos de la distorsión de ángulos y distancias en la representación cartográfica y planteamos un método como solución, demostrando que la aplicación del sistema de coordenadas LTM disminuye la distorsión en la cartografía de carreteras.

### **3.3 Diseño de Investigación**

La investigación es **no experimental** porque no se han manipulado deliberadamente la variable independiente, en este caso los Sistemas de coordenadas, sin embargo, se han analizado los efectos de la distorsión de ángulos y distancias para luego aplicar un sistema de coordenadas (LTM) de tal manera que disminuya la distorsión en la cartografía de carreteras.

Los diseños no experimentales presentan dos formas generales; transversales y longitudinales. En este caso es **transversal**, también llamado transeccional, porque se han realizado trabajos de campo en un momento determinado del tiempo. Esto se efectúa con el propósito de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Asimismo, los diseños transversales se subdividen en: Diseños transversales descriptivos, explicativos-causales y correlacionales. En esta tesis se ha aplicado el diseño transversal **explicativa-causal** porque, se explican las distorsiones y sus efectos en la representación cartográfica además de plantear un método de solución.

### **3.4 Enfoque de la Investigación**

De acuerdo con Hernández Sampieri, R., Mendoza Torres C., (2018). en su libro *Metodología de la Investigación: Rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, es que hemos identificado el enfoque de la Tesis.

Esta tesis es de enfoque cuantitativo, ya que es secuencial y probatorio, es decir, cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen Hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probar dicha Hipótesis; se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones.

### **3.5 Recopilación y análisis de Datos**

#### **3.5.1 Planeamiento**

##### *3.5.1.1 Determinación de los Requerimientos*

De acuerdo a José Edmundo Fuentes Guzmán en su libro Topografía nos dice que *“En cuanto a la extensión del levantamiento se puede dividir en topográficos y geodésicos, los levantamientos topográficos son relativamente pequeños tramos la de superficie de Tierra, a la cual se la considera como si fuera plana, las dimensiones máximas no superan los 30 km por lado; en tanto, los levantamientos geodésicos abarcan grandes extensiones y obligan*

*a tomar en cuenta la forma de la Tierra, considerándola como esfera o esferoide de revolución”.*

Para demostrar que la distorsión de las distancias se manifiesta de tal manera que sobrepasan los rangos de precisión requeridos para escala grandes de uso común en la elaboración de cartografía para carreteras, es necesario comparar coordenadas UTM y su transformación en Topográficas.

Para ello se necesita materializar y determinar las coordenadas de tres pares de puntos, determinados con el método de posicionamiento GNSS/GPS con una separación aproximada de tres kilómetros, así como hacer un levantamiento Topográfico por medio de un poligonal la cual estará conectada con estos puntos de control GNSS/GPS para tener así su coordenada Topográfica.

Por este motivo se determinó como área de estudio al área comprendida en un tramo de 18km de carretera, no obstante, como se explica en la parte teórica, se suele trabajar las transformaciones y ajustes desde el centro de la vía, por ello se realizó el levantamiento de información de 8.9 kilómetros de la autopista de la costa verde entre el centro de exposiciones “Los Domos Art” y la playa “Barranco”.

### 3.5.1.2 Equipos y materiales utilizados

Para la realización de esta tesis se requirieron los materiales y equipos:

#### **Figura N° 39: Lata de Pintura en Spray**



*Fuente: Fotografía Propia*



**Figura N° 40: Molde hecho con cartón**



*Fuente: Fotografía Propia*

**Figura N° 41: Cinta Masking Tape**



*Fuente: Fotografía Propia*

- ❖ 1 GPS Navegador Garmin

**Figura N° 42: GPS Navegador Garmin 64s**



*Fuente: Fotografía Propia*

- ❖ 2 receptores Geodésicos Trimble R8

**Figura N° 43: GPS Diferencial Trimble R8**



*Fuente: Elaboración Propia*

❖ 2 trípodes

**Figura N° 44: Trípode**



*Fuente: Elaboración Propia*

- ❖ 2 winchas de 5m

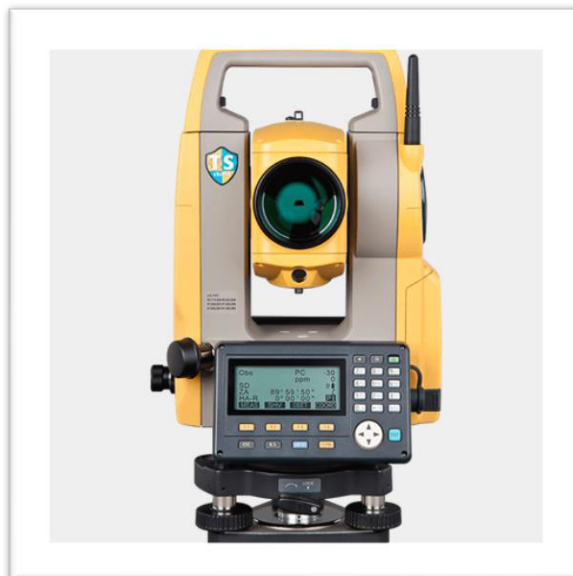
**Figura N° 45: Wincha Stanley de 5 m**



*Fuente: Elaboración Propia*

- ❖ 1 estación Total Topcon IS-105

**Figura N° 46: Estación Total Topcon IS-105**



*Fuente: Elaboración Propia*

- ❖ 2 Trípodes

**Figura N° 47: Trípode Topcon**



*Fuente: Elaboración Propia*

- ❖ 2 primas con porta-prisma

**Figura N° 48: Prima y Porta-prisma Topcon**



*Fuente: Elaboración Propia*

- ❖ 3 Bases Nivelantes

**Figura N° 49: Base Nivelante**



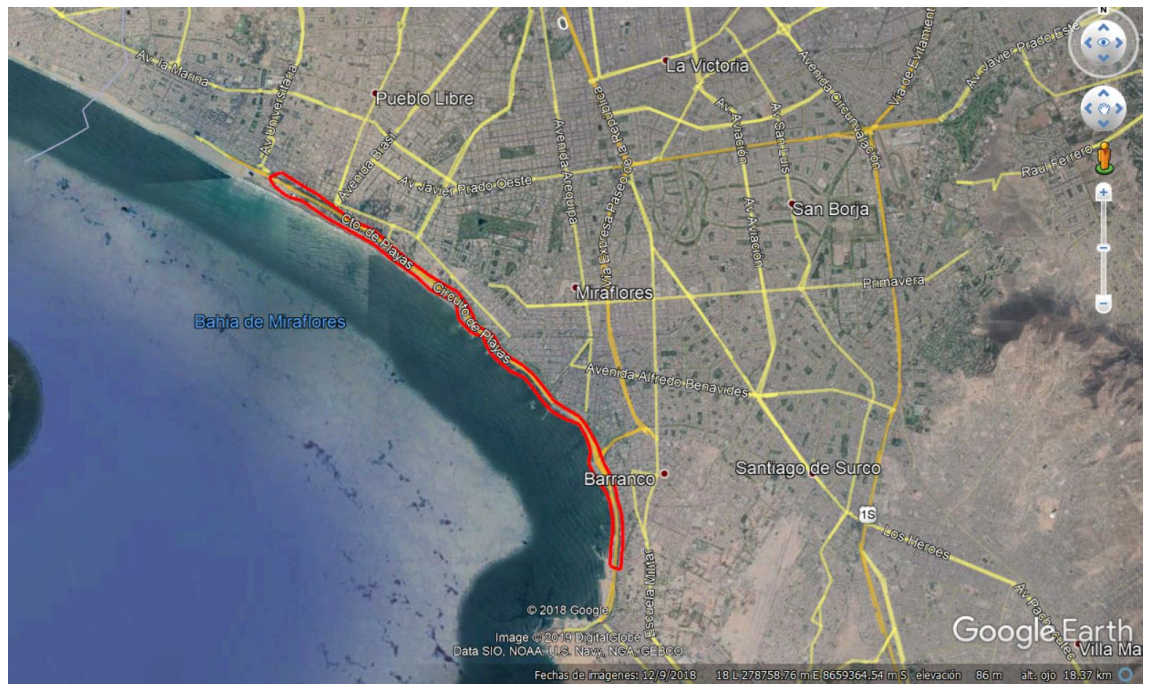
*Fuente: Elaboración Propia*

## 3.5.1.3 Cronograma de actividades

<b>Cronograma de Actividades</b>																
	Ene-19				Feb-19				Mar-19				Abr-19			
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
<b>PLANEAMIENTO</b>																
Determinación de los Requerimientos																
Determinación de la Ubicación del Área de Trabajo																
<b>PRE CAMPO</b>																
Determinación de la Ubicación preliminar de puntos GNSS/GPS																
Materialización de Puntos GNSS/GPS																
<b>CAMPO</b>																
Levantamiento de datos GNSS/GPS																
Levantamiento de datos topográficos																
<i>Determinación de la ubicación puntos topográficos</i>																
<i>Toma de Datos topográficos</i>																
<b>GABINETE FINAL</b>																
Procesamiento de Datos GNSS/GPS																
Procesamiento de Datos Topográficos																
Cálculos																
Análisis de Resultados																

## 3.5.2 Ubicación

El área de estudio está comprendida en un tramo de la autopista de la costa verde (Circuito de Playas) entre el centro de exposiciones LOS DOMOS ART en el distrito de San Miguel y la playa Barranco en el distrito de Barranco, en la provincia de Lima, Perú. (Ver Figura N° 50)

**Figura N° 50: Ubicación del Área de Trabajo**

Fuente: Google Earth PRO

### 3.5.3 Precampo

#### 3.5.3.1 Ubicación de Puntos de Control Geodésico

Después del planeamiento se procedió a determinar la ubicación preliminar de los puntos de control con ayuda del software GOOGLE EARTH PRO, teniendo en cuenta que estos puntos deben de tener una separación entre puntos pares de quinientos metros aproximadamente, para formar líneas base para el posterior levantamiento topográfico.

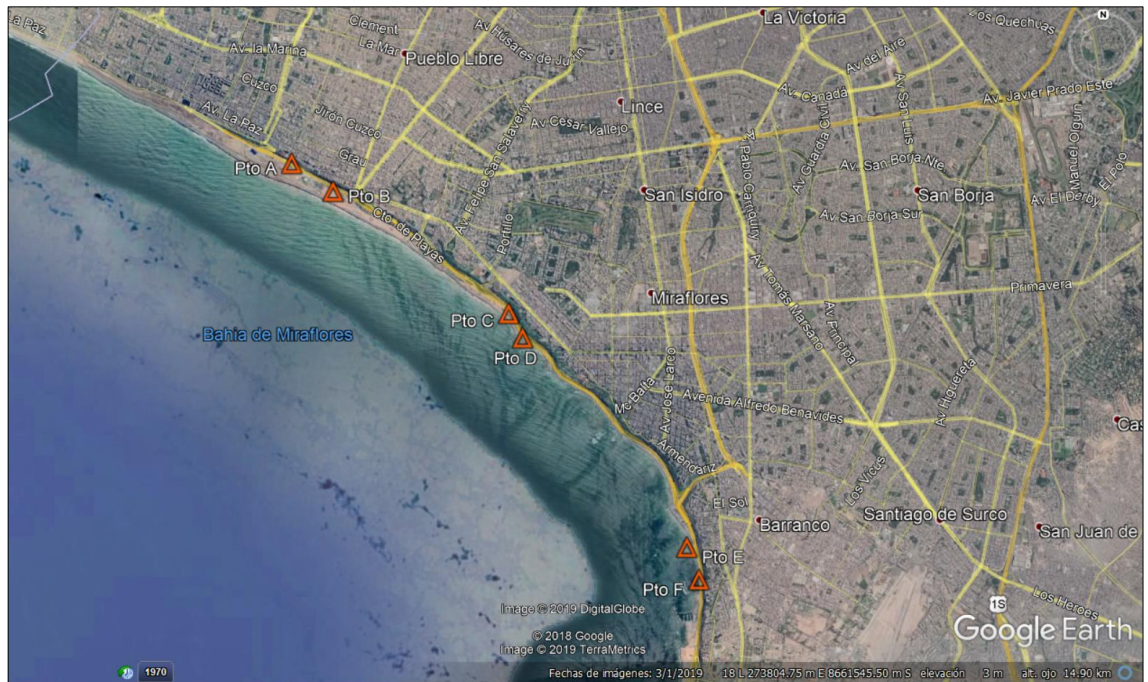
Posteriormente se procedió a verificar el área de trabajo, con la finalidad de ubicar y materializar los puntos de control, tomando en cuenta que cada par de puntos debe tener visibilidad directa con la finalidad que sirvan como líneas base para el posterior levantamiento topográfico.

Para determinar las coordenadas aproximadas de los puntos de control se usó un GPS navegador, además del uso de unos moldes hechos con cartón (Ver Figura N°43), preparados previamente para la materialización de estos.



Para la codificación de los puntos de control GNSS/GPS se identificaron los puntos con las letras del abecedario, obteniéndose un total de 6 puntos A, B, C, D, E, F. (Ver Figura N° 51)

**Figura N° 51: Localización Preliminar de los Puntos de Control**



*Fuente: Google Earth PRO*



### 3.5.3.2 Materialización de Puntos de Control Geodésico

#### a) Ubicación del Punto A

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto A en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto A, este punto se ubicó frente a la Playa “Mar Brava” en la parte superior de un puente, las coordenadas aproximadas de este punto son:

N: 8 662 256

E: 273 474

Z: 41

**Figura N° 52: Ubicación del Punto A**



Fuente: Google Earth Pro

**Figura N° 53: Foto del Punto A**



Fuente: Google Earth Pro

**b) Ubicación del Punto B**

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto B en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto B, este punto se ubicó frente a la Playa “Mar Brava” a un lado de la vereda en una zona libre en los estacionamientos de los DOMOS, las coordenadas aproximadas del punto son:

N: 8 661 865

E: 273 934

Z: 31

**Figura N° 54: Ubicación del Punto B**

Fuente: Google Earth Pro

**Figura N° 55: Foto del Punto B**

Fuente: Fotografía Propia

*c) Ubicación del Punto C*

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto C en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto C, este punto se ubicó en uno de los lados de la tercera cancha de fulbito, frente a la playa “playita costa verde”, las coordenadas aproximadas del punto son:

N: 8 660 037

E: 276 762

Z: 29

**Figura N° 56: Ubicación del Punto C**



*Fuente: Google Earth Pro*

**Figura N° 57: Foto del Punto C**



*Fuente: Google Earth Pro*

*d) Ubicación del Punto D*

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto D en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto D, en la parte superior de un puente, frente a la playa “playita costa verde”, las coordenadas aproximadas de este punto son:

N: 8 659 677

E: 276 975

Z: 34

**Figura N° 58: Ubicación del Punto D**



*Fuente: Google Earth Pro*

**Figura N° 59: Foto del Punto D**



*Fuente: Fotografía Propia*



e) *Ubicación del Punto E*

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto E en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto E, en la mitad de un muelle de madera, el cual divide a la playa “La Estrella” y la playa “Las Cascadas”, las coordenadas aproximadas de este punto son:

N: 8 657 142

E: 279 174

Z: 25

**Figura N° 60: Ubicación del Punto E**



*Fuente: Google Earth Pro*

**Figura N° 61: Foto del Punto E**



*Fuente: Fotografía Propia*

*f) Ubicación del Punto F*

Conforme a la identificación de Pre Campo, se procedió a señalar los puntos de Control Geodésico, teniendo el punto F en la siguiente ubicación:

Ubicación del Punto F, en la mitad de un muelle de madera, el cual divide a la playa “Barranquito” y la playa “Los Pavos”, las coordenadas aproximadas de este punto son:

N: 8 656 530

E: 279 174

Z: 25

**Figura N° 62: Ubicación del Punto F**



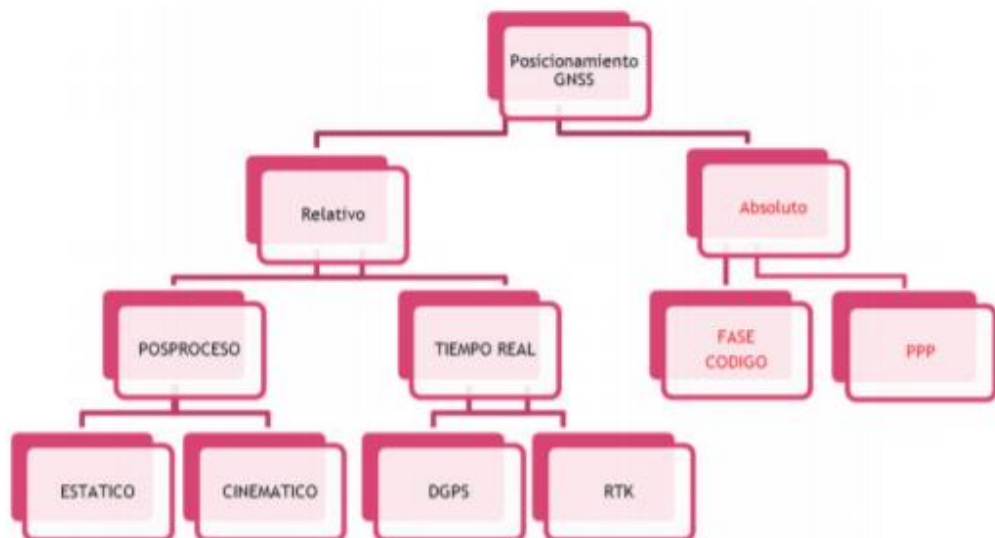
*Fuente: Google Earth Pro*

### 3.5.4 Levantamiento Geodésico

#### 3.5.4.1 Metodología para la Toma de datos GNSS/GPS

El Método de observación utilizado fue el del Posicionamiento **GNSS/GPS Relativo Postproceso Estático**, según (Berné Valero, Anquela Julián, & Garrido Villén, 2014, pág. 243). (ver Figura N° 66)

**Figura N° 63: Métodos de Posicionamiento GNSS/GPS**



*Fuente: (Berné Valero, Anquela Julián, & Garrido Villén, 2014)*

El método es **Relativo** puesto que necesita de más de un receptor GPS diferencial para el cálculo de las coordenadas del punto, además de ser **Postproceso** pues las coordenadas no se obtienen en el instante en el que se hace la lectura sino en gabinete, además de ser **Estático** debido a que el receptor permanece quieto durante un intervalo de tiempo.

La toma de datos GNSS/GPS fue realizada el día 23 de febrero del 2019 se tomaron siguiendo la normativa actual publicada en el portal web del Instituto Geográfico Nacional en la última edición de “Especificaciones Técnicas para Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global”, siguiendo los procedimientos establecidos con la finalidad de tomar puntos de control de Orden C, de acuerdo a la normativa mencionada nos dice lo siguiente sobre esta clase de puntos de

---

---

control ***“Este orden debe destinarse al establecimiento de control suplementario en áreas urbanas y rurales, al apoyo para el desarrollo de proyectos básicos de ingeniería y de desarrollo urbano-rural, así como a trabajos que se requiera una precisión a un nivel máximo de 10.00 mm”***

La lectura de cada punto de control tuvo un tiempo de duración de aproximadamente una hora con treinta minutos siguiendo la normativa mencionada anteriormente, se especifica que ***“Para la toma de datos de todos los puntos geodésicos de orden “C”, se utilizará el método relativo estático, estos se obtendrán con apoyo de por lo menos un punto geodésico, ya sea de orden “0”, orden “A” u orden “B” a nivel nacional, que estén separados equidistantemente, a una distancia no mayor de 100 Km al punto geodésico que se quiere establecer, considerando el tiempo continuo de observación no menor a 900 registros o épocas (de coincidencia con la base), a no menor de un (1) segundo ni mayor de cinco (5) segundos de sincronización (con la base), con una elevación de la máscara no mayor a quince (15) grados sobre el horizonte y con el rastreo permanente no menor de 4 satélites.”***

#### 3.5.4.2 Ajuste de Datos GNSS/GPS

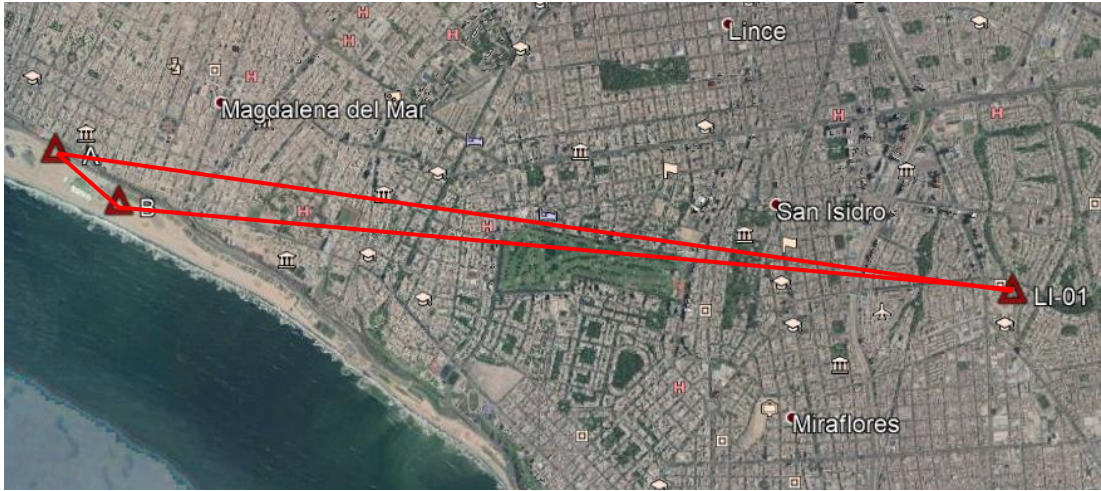
Los datos de GNSS/GPS fueron ajustados con el software Topcon Tools, puesto que en la fase de campo se utilizaron dos receptores GNSS/GPS, se da la posibilidad de realizar un ajuste por medio de una red de triangulación entre los puntos que tienen tiempo en común.

Para el ajuste se tomó como punto base la data de la Estación de Rastreo Permanente (ERP) de la estación LI01, la cual está ubicada en el techo del Instituto Geográfico Nacional en la Av. Aramburu 1184, para realizar este ajuste se procedió a comprar la Data de la ERP y la ficha técnica (anexo N° 3 y 4).

El ajuste de los puntos se realizó formando triángulos con la ERP LI01, pues cada par de puntos de control tiene un tiempo de lectura común de una hora con treinta minutos, ya que se empezó la lectura de manera simultánea, generándose así las siguientes líneas ajuste:

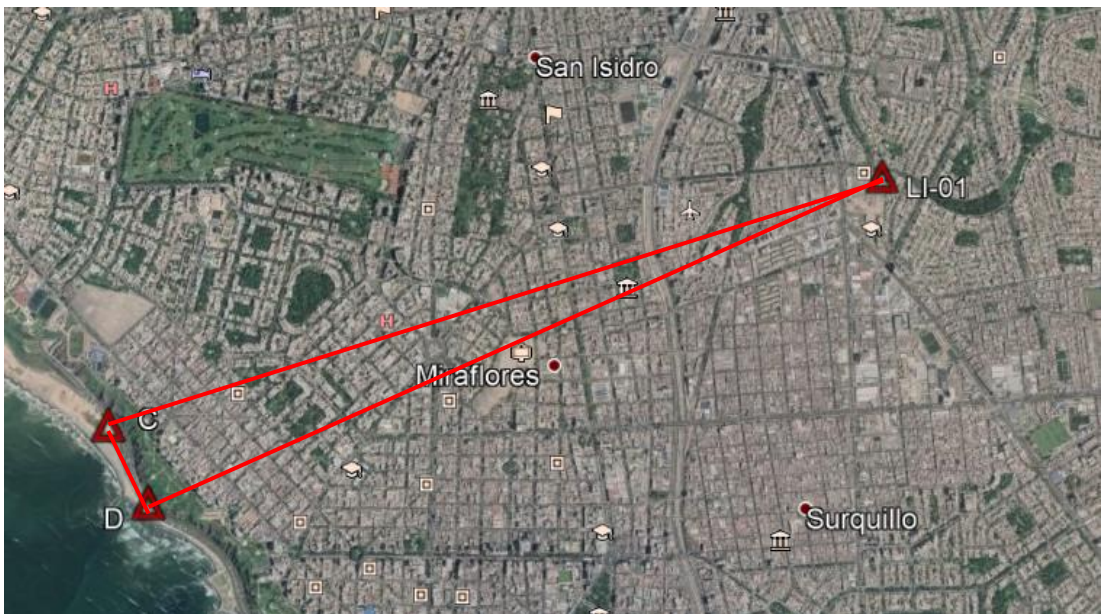


**Figura N° 64: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-A-B**

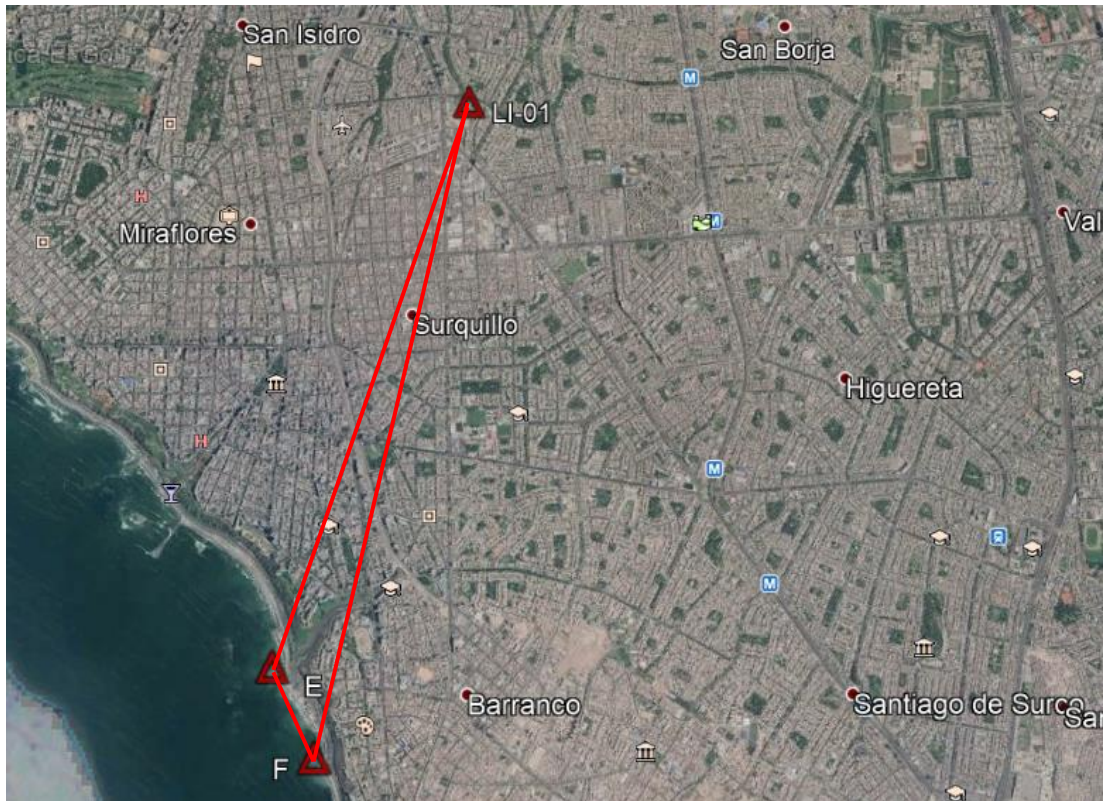


*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N° 65: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-C-D**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N° 66: Ajuste por Triangulación entre los Puntos LI01-E-F**

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.5.4.3 Coordenadas GNSS/GPS

Luego del ajuste se obtuvieron las siguientes coordenadas. (Ver Cuadro N° 18).

**Cuadro N° 18: Coordenadas UTM obtenidas del levantamiento GNSS/GPS**

COORDENADAS UTM FINALES			
PTO	N	E	h elipsoidal
LI01	8661244.451	280479.727	157.609
A	8662256.113	273474.575	41.820
B	8661865.435	273934.529	31.416
C	8660037.050	276762.504	29.456
D	8659677.893	276975.537	34.136
E	8657142.921	279174.638	25.190

---

---

<b>F</b>	8656530.239	279476.489	25.415
----------	-------------	------------	--------

*Fuente: Elaboración Propia*

Conforme al Postproceso se tiene, una precisión de  $\pm 5\text{mm}$  la cual está dentro de los 10mm requeridos por el IGN para la validación y certificación de un punto de orden "C".

### **3.5.5 Levantamiento Topográfico**

#### *3.5.5.1 Metodología para el Levantamiento Topográfico*

Según los requerimientos expuestos en el planeamiento, se necesita un levantamiento topográfico el cual incluya los puntos de control GNSS/GPS, por decidió usar los seis puntos de control GNSS/GPS como líneas bases, generándose así dos líneas bases (AB, EF), con estas líneas bases se generan un poligonal de enlace comprobada (AB-EF), para hacer el ajuste de las coordenadas por el método de ajuste de poligonación de enlace explicado en el capítulo dos.

Esta toma de datos se realizó los días 2 y 17 de marzo del 2019, se realizaron un promedio de 8 lecturas (4 directas y 4 inversas) de los ángulos horizontales y cenitales y un promedio de 4 lecturas de distancias.

Se empleó una poligonal de enlace comprobada en la cual se colocaron puntos intermedios, los cuales fueron ubicados dependiendo de la visibilidad directa de la estación, debido a que se espera comparar las distancias y ángulos visados directamente.

La poligonal se generó partiendo de la línea base AB de puntos GNSS/GPS, teniendo en cuenta la mayor distancia visible, hasta llegar a las siguientes líneas base EF, obteniéndose un total de 11 puntos intermedio o puntos de cambio, la cantidad de estos puntos dependió de la visibilidad de la zona, así como el alcance de los equipos utilizados.

### 3.5.5.2 Información obtenida en Campo

La información de la libreta de campo se presenta detallada en el Anexo N°1 Datos de Campo

### 3.5.5.3 Validación de la certeza de los datos de Campo

Para dar validez a los datos de campo, se procede a eliminar los datos que se encuentran fuera del rango admisibles.

Para determinar el rango de admisibilidad se emplea el criterio estadístico de Chauvenet, el cual consiste en emplear la siguiente formula:

$$X_R = \bar{x} \pm K_{(n)} \times S$$

Donde:

$X_R$  = Límites de Rango Admisible (Conforme al signo empleado)

$\bar{x}$  = Valor Promedio de datos

S = Desviación Estándar

K = Constante en función a la cantidad de la muestra conforme al siguiente cuadro. (ver Cuadro N°20)

**Cuadro N° 19: Valores de la Constante K**

n	$K_n$
2	1.15
3	1.38
4	1.54
5	1.65
6	1.73
7	1.80
8	1.86
9	1.92
10	1.96



*Fuente: Elaboración Propia*

Los cálculos elaborados del presente ítem se presentan en el Anexo N°1 Datos de Campo. Finalmente se obtienen los siguientes datos.

#### 3.5.5.4 Datos Topográficos obtenidos

Se obtuvieron los siguientes valores de distancias topográficas. (ver Cuadro N° 21)

**Cuadro N° 20: Distancias Topográficas Obtenidas**

LADO	DISTANCIAS
A-B	603.3700
B-1	836.2654
1-2	843.2070
2-3	573.2279
3-4	465.1004
4-5	123.1235
5-6	230.4073
6-7	354.5906
7-D	355.6836
C-D	417.5195
D-8	605.5441
8-9	1009.2391
9-10	290.1210
10-11	446.0270
11-E	1066.3160
E-F	682.9057

*Fuente: Elaboración Propia*

Los ángulos obtenidos del levantamiento son. (ver Cuadro N° 22)

**Cuadro N° 21: Ángulos Topográficos Obtenidos**

VERTICES	ÁNGULOS		
	Grad.	Min.	Seg.
AB1	164	13	29.8750
B12	188	11	33.2500
123	192	23	57.5000
234	172	2	23.5000
345	183	37	38.7500
456	170	53	31.1250
567	187	47	11.2500

---

---

67D	189	28	38.1250
7DC	10	20	36.6250
CD8	175	4	20.0000
7D8	185	25	5.8333
D89	160	49	50.8750
8910	193	41	36.7143
91011	173	21	26.2500
1011E	199	41	2.1429
11EF	181	48	29.6667

*Fuente: Elaboración Propia*

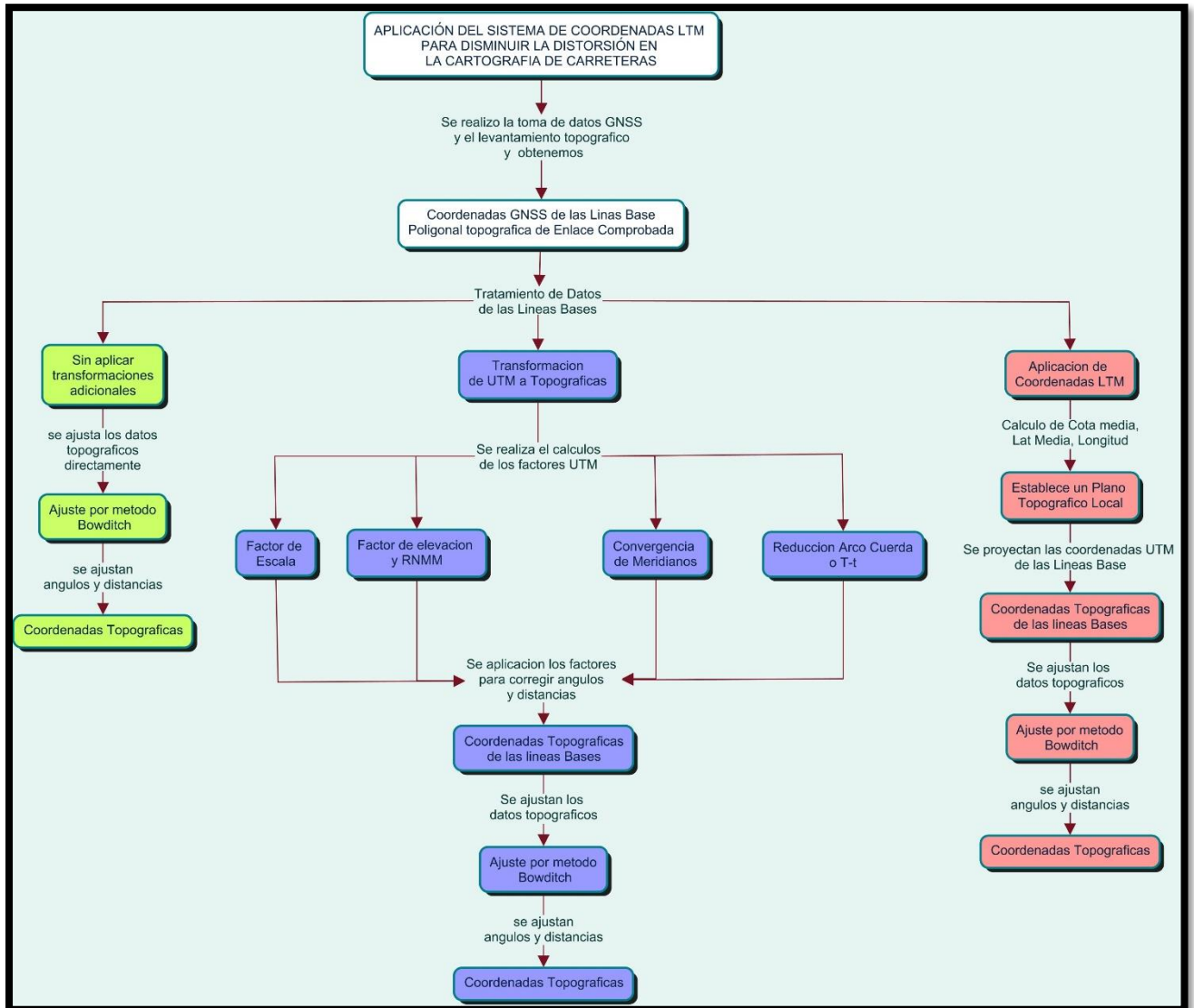
### **3.5.6 Postproceso de Datos**

Se realizarán 3 postprocesos, donde se ajustarán de los datos topográficos, utilizando. (ver Figura N° 70)

- Las coordenadas de los puntos de control GNSS/GPS sin realizar ninguna transformación.
- Las coordenadas de los puntos de control transformando sus coordenadas de UTM a Topográficas.
- Las coordenadas de los puntos de control transformando sus coordenadas a coordenadas LTM.

Con la finalidad de definir cual método nos brinda mejores resultados y con cual obtenemos valores más próximos a sus medidas en la realidad (topografía).

Figura N° 67: Metodología de los Cálculos Realizados



Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.6.1 Aplicación de Coordenadas GNSS/GPS

Se aplicarán las coordenadas GNSS/GPS obtenidas en el levantamiento geodésico de los puntos de control, (ver Cuadro N° 23) donde las coordenadas están en la cuadrícula UTM para realizar el ajuste de la poligonal topográfica, sin realizar ninguna transformación adicional por lo cual las coordenadas que utilizaremos son:

**Cuadro N° 22: Coordenadas UTM obtenidas del levantamiento GNSS/GPS**

COORDENADAS UTM			
PTO	N	E	h elipsoidal
LI01	8661244.451	280479.727	157.609
A	8662256.113	273474.575	41.820
B	8661865.435	273934.529	31.416
C	8660037.050	276762.504	29.456
D	8659677.893	276975.537	34.136
E	8657142.921	279174.638	25.190
F	8656530.239	279476.489	25.415

Fuente: Elaboración Propia

Por lo cual procederemos a realizar el ajuste de la poligonal topográfica.(ver Cuadro N° 24)

#### a) Ajuste de la Poligonal Topográfica

**Cuadro N° 23: Datos del Levantamiento Topográfico**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DIST.	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Grad.	Min.	Seg.		ESTE	NORTE
A					273474.575	8662256.113
B	164	13	29.875	836.265	273934.529	8661865.435
1	188	11	33.250			



				843.207		
2	192	23	57.500	573.228		
3	172	2	23.500	465.100		
4	183	37	38.750	123.124		
5	170	53	31.125	230.407		
6	187	47	11.250	354.591		
7	189	28	38.125	355.684		
D	185	25	5.833	605.544		
8	160	49	50.875	1009.239		
9	193	41	36.714	290.121		
10	173	21	26.250	446.027		
11	199	41	2.143	1066.316		
E	181	48	29.667		279174.638	8657142.921
F					279476.489	8656530.239

Fuente: Elaboración Propia

i. Cálculo y Ajuste del Error Angular

Con las fórmulas expuestas en el Capítulo II y los azimuts obtenidos de las coordenadas UTM obtenidas del levantamiento GNSS/GPS, y se procede a calcular el azimut de cada línea del levantamiento topográfico (ver Cuadro N° 25), con la finalidad de calcular el error angular.

**Cuadro N° 24: Calculo de los Azimuts Medidos**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			Azimut
	Grados	Minutos	Segundos	

<b>A</b>				
<b>B</b>	164	13	29.87	
<b>1</b>	188	11	33.25	114°34'8.51"
<b>2</b>	192	23	57.5	122°45'41.78"
<b>3</b>	172	2	23.5	135°9'39.28"
<b>4</b>	183	37	38.75	127°12'2.78"
<b>5</b>	170	53	31.12	130°49'41.53"
<b>6</b>	187	47	11.25	121°43'12.66"
<b>7</b>	189	28	38.13	129°30'23.91"
<b>D</b>	185	25	5.83	138°59'2.03"
<b>8</b>	160	49	50.87	144°24'7.87"
<b>9</b>	193	41	36.71	125°13'58.74"
<b>10</b>	173	21	26.25	138°55'35.45"
<b>11</b>	199	41	2.14	132°17'1.71"
<b>E</b>	181	48	29.67	151°58'3.85"
<b>F</b>				153°46'33.51"

*Fuente: Elaboración Propia*

Luego se procede a calcular el azimut de llegada calculado, utilizando las coordenadas GNSS/GPS, con la finalidad de encontrar la diferencia entre ella

con el azimut calculado con los ángulos medidos, esta diferencia sería el error angular del levantamiento (ver Cuadro N° 26).

Además de ello también debemos de comprobar si el error angular, está dentro del Error Máximo Permissible, para ello utilizáramos la formula revisada en el capítulo anterior:

$$T_a = A\sqrt{n}$$

Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 32)

**Cuadro N° 25: Calculo del Error Angular**

AZIMUT DE LLEGADA CALCULADO	AZIMUT DE LLEGADA OBTENIDO	Diferencia Seg.	Tolerancia Seg.
153°46'18.63"	153°46'33.51"	14.88	20

Fuente: Elaboración Propia

Podemos verificar que:

$$\text{Error Angular} < T_a$$

Entonces podemos comprobar que nuestro levantamiento cumple con la Tolerancia angular, por lo cual procedemos a realizar la compensación. (ver Cuadro N° 27)

**Cuadro N° 26: Compensación del Error Angular**

PTO	ÁNGULO OBSERVADO			Compensación (Seg)	Angulo Corregido	Azimut Corregido
	Grad.	Min.	Seg.			
A						
B	164	13	29.875	1	164°13'28.88"	
1	188	11	33.25	1.1	188°11'32.15"	114°34'7.53"
2	192	23	57.5	1.1	192°23'56.40"	122°45'39.68"
3	172	2	23.5	1	172°2'22.50"	135°9'36.08"

						127°11'58.58"
<b>4</b>	183	37	38.75	1.1	183°37'37.65"	
						130°49'36.23"
<b>5</b>	170	53	31.125	1	170°53'30.12"	
						121°43'6.36"
<b>6</b>	187	47	11.25	1.1	187°47'10.15"	
						129°30'16.51"
<b>7</b>	189	28	38.125	1.1	189°28'37.02"	
						138°58'53.53"
<b>D</b>	185	25	5.833	1.1	185°25'4.73"	
						144°23'58.26"
<b>8</b>	160	49	50.875	1	160°49'49.88"	
						125°13'48.14"
<b>9</b>	193	41	36.714	1.1	193°41'35.61"	
						138°55'23.75"
<b>10</b>	173	21	26.25	1.1	173°21'25.15"	
						132°16'48.90"
<b>11</b>	199	41	2.143	1.1	199°41'1.06"	
						151°57'49.97"
<b>E</b>	181	48	29.667	1	181°48'28.67"	
						153°46'18.63"
<b>F</b>						

Fuente: Elaboración Propia

ii. Cálculo y Ajuste del Error en Distancia

Empleando los datos presentados, se procede a calcular las coordenadas topográficas preliminares de cada punto, (ver Cuadro N° 28) con la finalidad de corregir el error en distancia, obteniendo el siguiente resultado:

**Cuadro N° 27: Calculo del Coordenadas Preliminares**

PTO	AZIMUT	DIST.	DIST. ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES	
				ESTE	NORTE
<b>A</b>				273474.575	8662256.113
<b>B</b>				273934.529	8661865.435

	114°34'7.53"	836.265	836.265		
<b>1</b>				274695.081	8661517.728
	122°45'39.68"	843.207	1679.472		
<b>2</b>				275404.164	8661061.438
	135°9'36.08"	573.228	2252.700		
<b>3</b>				275808.363	8660654.975
	127°11'58.58"	465.100	2717.801		
<b>4</b>				276178.832	8660373.778
	130°49'36.23"	123.124	2840.924		
<b>5</b>				276271.998	8660293.283
	121°43'6.36"	230.407	3071.331		
<b>6</b>				276467.992	8660172.148
	129°30'16.51"	354.591	3425.922		
<b>7</b>				276741.585	8659946.578
	138°58'53.53"	355.684	3781.606		
<b>D</b>				276975.021	8659678.216
	144°23'58.26"	605.544	4387.150		
<b>8</b>				277327.526	8659185.85
	125°13'48.14"	1009.239	5396.389		
<b>9</b>				278151.916	8658603.66
	138°55'23.75"	290.121	5686.510		
<b>10</b>				278342.545	8658384.958
	132°16'48.90"	446.027	6132.537		
<b>11</b>				278672.544	8658084.89
	151°57'49.97"	1066.316	7198.853		
<b>E</b>				279173.742	8657143.705

Fuente: Elaboración Propia

Luego se procede a verificar la diferencia entre las coordenadas GNSS/UTM con respecto a las coordenadas preliminares calculadas del punto de llegada E, con la finalidad de encontrar el Error de Cierre Lineal (E). (ver Cuadro N° 29)

**Cuadro N° 28: Calculo del Error de Cierre Lineal (E)**

<b>Var X / Var Y</b>	0.896	-0.784
<b>E (m)</b>	<b>1.190</b>	

---

---

1/E	1 /	6,049.740
Tolerancia (T)	1 /	20,000.000

*Fuente: Elaboración Propia*

Verificamos que nuestro Error de Cierre Lineal (E) se encuentre dentro de la tolerancia (T), en este caso no se encuentra porque comprobar que **no se deben de usar las coordenadas UTM de forma directa para compensar mediciones topográficas, por lo cual no se deberían de compensar,** no obstante, se procederá a realizar la compensación con la finalidad de realizar una posterior comparación de datos. (ver Cuadro N° 30)

Cuadro N° 29: Compensación del Error de Cierre Lineal

PTO	AZIMUT	DIST.	DIST.	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Decimal		ACUM	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
<b>A</b>				273474.575	8662256.113			<b>273474.575</b>	<b>8662256.11</b>
<b>B</b>				273934.529	8661865.435	0	0	<b>273934.529</b>	<b>8661865.44</b>
<b>1</b>	114°34'7.53"	836.265	836.265	274695.0814	8661517.728	0.104	-0.091	<b>274695.185</b>	<b>8661517.64</b>
<b>2</b>	122°45'39.68"	843.207	1679.472	275404.1636	8661061.439	0.209	-0.183	<b>275404.373</b>	<b>8661061.26</b>
<b>3</b>	135°9'36.08"	573.228	2252.700	275808.3633	8660654.975	0.28	-0.245	<b>275808.644</b>	<b>8660654.73</b>
<b>4</b>	127°11'58.58"	465.100	2717.801	276178.8316	8660373.778	0.338	-0.296	<b>276179.17</b>	<b>8660373.48</b>
<b>5</b>	130°49'36.23"	123.124	2840.924	276271.9979	8660293.283	0.353	-0.309	<b>276272.351</b>	<b>8660292.97</b>
<b>6</b>	121°43'6.36"	230.407	3071.331	276467.992	8660172.148	0.382	-0.334	<b>276468.374</b>	<b>8660171.81</b>
<b>7</b>	129°30'16.51"	354.591	3425.922	276741.5848	8659946.578	0.426	-0.373	<b>276742.011</b>	<b>8659946.21</b>

	138°58'53.53"	355.684	3781.606						
<b>D</b>				276975.0207	8659678.216	0.47	-0.412	<b>276975.491</b>	<b>8659677.8</b>
	144°23'58.26"	605.544	4387.150						
<b>8</b>				277327.526	8659185.85	0.546	-0.478	<b>277328.072</b>	<b>8659185.37</b>
	125°13'48.14"	1009.239	5396.389						
<b>9</b>				278151.9155	8658603.66	0.671	-0.587	<b>278152.587</b>	<b>8658603.07</b>
	138°55'23.75"	290.121	5686.510						
<b>10</b>				278342.5451	8658384.958	0.707	-0.619	<b>278343.252</b>	<b>8658384.34</b>
	132°16'48.90"	446.027	6132.537						
<b>11</b>				278672.544	8658084.89	0.763	-0.667	<b>278673.307</b>	<b>8658084.22</b>
	151°57'49.97"	1066.316	7198.853						
<b>E</b>				279173.7424	8657143.705	0.896	-0.784	<b>279174.638</b>	<b>8657142.92</b>

Fuente: Elaboración Propia



*iii. Coordenadas Topográficas Obtenidas*

En base a los cálculos anteriores se ajustaron los datos obtenidos en campo tomando como base las coordenadas UTM obtenidas por medio del levantamiento GNSS/GPS sin realizar ninguna transformación adicional, dichas coordenadas se muestran a continuación (Ver Cuadro N° 30).

**Cuadro N° 30: Coordenadas Topográficas Obtenidas**

PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS	
A	273474.575	8662256.113
B	273934.529	8661865.435
1	274695.185	8661517.637
2	275404.372	8661061.256
3	275808.644	8660654.730
4	276179.170	8660373.482
5	276272.351	8660292.9740
6	276468.374	8660171.813
7	276742.011	8659946.205
D	276975.491	8659677.804
8	277328.072	8659185.373
9	278152.587	8658603.073
10	278343.252	8658384.339
11	278673.307	8658084.222
E	279174.638	8657142.921
F	279476.489	8656530.239

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.5.6.2 Aplicación de Coordenadas UTM - Topográficas

Se realizará una transformación de las coordenadas GNSS/GPS del levantamiento geodésico a coordenadas Topográficas, para luego ajustar los datos topográficos por medio de una poligonal topográfica.

#### a) Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas

Para comenzar la transformación se debe determinar un punto base, **en este caso será el punto B, en dicho punto coincide los valores de coordenadas UTM y Topográficas,** ya que es el origen de la transformación.

#### i. Cálculo del Factor de Escala

Usando la fórmula de Factor de escala en un Punto expuesta en el capítulo dos se obtienen los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 32)

$$K = K_0 \cdot [1 + P \cdot q^2 + 0.00003 \cdot q^4]$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 51)

**Cuadro N° 31: Calculo del Factor de Escala**

Punto	X	q	N	P	K
A	226525.425	0.226525425	6379074.265	0.012376324	1.0002349007526
B	226065.471	0.226065471	6379074.810	0.012376320	1.0002323245364
C	223237.496	0.223237496	6379077.365	0.012376300	1.0002166004233
D	223024.463	0.223024463	6379077.864	0.012376296	1.0002154238210
E	220825.362	0.220825362	6379081.395	0.012376269	1.0002033442953
F	220523.511	0.220523511	6379082.247	0.012376262	1.0002016954580

Fuente: Elaboración Propia

#### ii. Cálculo de Factor de Elevación y RNMM

Para reducir las distancias hacia en elipsoide empleamos el Factor de elevación, mientras que si queremos proyectar distancias al nivel medio del Mar se utiliza la RNMM, por ello emplearemos ambos para verificar cual nos brinda los valores más cercanos a sus medidas reales en campo.

Usando la fórmula de elevación expuesta en el capítulo dos se obtienen los siguientes valores del factor de elevación para cada línea de ajuste de transformación tomando como punto base de la transformación al punto B. (ver Cuadro N° 33)

$$K_{Elev} = \frac{R - M}{R + h}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 56)

**Cuadro N° 32: Calculo de Factor de Elevación**

Línea	$(\phi_B - \phi_A)/2$	Lat. Prom	R	M	Kelev
B-A	-0°0'0.11"	12°5'42.65" S	6338233.5215	0.00306264	0.9999934015
B-C	0°0'0.53"	12°6'19.16" S	6338238.1401	0.06744542	0.9999953420
B-D	0°0'0.63"	12°6'25.02" S	6338238.8830	0.09631871	0.9999945991
B-E	0°0'1.35"	12°7'6.53" S	6338244.1396	0.44698928	0.9999959552
B-F	0°0'1.53"	12°7'16.53" S	6338245.4073	0.56988832	0.9999959003

Fuente: Elaboración Propia

Calculamos la Reducción al Nivel Medio del Mar (RNMM) con los valores de cotas obtenidos del levantamiento topográfico en campo, empleando la siguiente formula. (Cuadro N° 34)

$$RNMM = 1 - 157H \times 10^{-9}$$

**Cuadro N° 33: Calculo de RNMM**

Línea	H	RNMM
A	18.232	0.99999714
B	8.5360	0.99999866
C	6.3030	0.99999901
D	11.040	0.99999827
E	1.9510	0.99999969
F	2.1830	0.99999966

Fuente: *Elaboración Propia*

iii. Cálculo del Factor Combinado

Utilizando las fórmulas expuestas en el capítulo dos, se obtienen los factores combinados y junto con ellos los factores de combinados promedio, con lo cual se obtienen los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 35, 36, 37, 38 y 39)

$$K = (K_{Elev}) \cdot [K_{Escala} \text{ ó } RNMM]$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)

Utilizando el factor de elevacion obtenemos los siguientes resultados:

**Cuadro N° 34: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999340	1.00022572
A	273474.575	8662256.113	1.00023490	0.99999340	1.00022830
Prom					1.00022701

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 35: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999534	1.00022767
C	276762.504	8660037.050	1.00021660	0.99999534	1.00021194
Prom					1.00021980

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 36: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999460	1.00022692
D	276975.537	8659677.893	1.00021542	0.99999460	1.00021002
Prom					1.00021847

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 37: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-E**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999596	1.00022828
E	279174.638	8657142.921	1.00020334	0.99999596	1.00019930
Prom					1.00021379

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 38: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-F**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999590	1.00022822
F	279476.489	8656530.239	1.00020170	0.99999590	1.00019759
Prom					1.00021291

Fuente: *Elaboración Propia*

Utilizando el Reduccion al Nivel Medio del Mar obtenemos los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 40, 41, 42, 43 y 44)

**Cuadro N° 39: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-A**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	RNMM	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999866	1.00023098
A	273474.575	8662256.113	1.00023490	0.99999714	1.00023204
Prom					1.00023151

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 40: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-C**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	RNMM	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999866	1.00023098
C	276762.504	8660037.050	1.00021660	0.99999901	1.00021561
Prom					1.00022330

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 41: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-D**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	RNMM	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999866	1.00023098
D	276975.537	8659677.893	1.00021542	0.99999827	1.00021369
Prom					1.00022234

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 42: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-E**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	RNMM	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999866	1.00023098
E	279174.638	8657142.921	1.00020334	0.99999969	1.00020304
Prom					1.00021701

Fuente: *Elaboración Propia*

**Cuadro N° 43: Calculo del Factor Combinado de la Línea B-F**

Punto	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	RNMM	Kcomb
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999866	1.00023098
F	279476.489	8656530.239	1.00020170	0.99999966	1.00020135
Prom					1.00021617

Fuente: *Elaboración Propia*

iv. Cálculo de la Distancia Topográfica

Empleando la distancia de cuadrícula obtenida por las coordenadas UTM, aplicamos el factor combinado calculado, teniendo como resultado las siguientes distancias topográficas. (ver Cuadro N° 45)

$$L_T = \frac{L_C}{K_{Prom}}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 57)

**Cuadro N° 44: Distancia Topográfica Calculada**

Linea	L(UTM)	L(TOPO) empleando Factor de escala	L(TOPO) empleando RNMM
B-A	603.479	603.342	603.339
B-C	3367.556	3366.816	3366.804
B-D	3746.074	3745.256	3745.241
B-E	7054.139	7052.632	7052.609
B-F	7692.700	7691.063	7691.038

Fuente: *Elaboración Propia*

Siendo L(UTM) la distancia en la cuadrícula UTM y L(TOPO) la distancia Topográfica entre dos puntos.

v. Cálculo de la Convergencia de Meridianos.

Utilizando la fórmula de convergencia de meridianos expuesta en el capítulo dos se obtiene. (ver Cuadro N° 46)

$$tgy = L \cdot t \cdot \cos\phi + L^3 \cdot t \cdot \frac{(1 + t^2 + 3n^2 + 2n^4)}{3} \cdot \cos^3\phi$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 64)

**Cuadro N° 45: Calculo de la Convergencia de Meridianos**

Punto	L	t	n <sup>2</sup>	tan(y)	y	Grad.	Min.	Seg.
A	-0.03632	0.214260943	0.006443682	-0.00761347	-0.43621148	0	-26	10.3613
B	-0.03625	0.214325972	0.006443510	-0.00760031	-0.43545745	0	-26	7.64682
C	-0.03580	0.214631161	0.006442704	-0.00751588	-0.43061981	0	-25	50.2313
D	-0.03577	0.214690687	0.006442547	-0.00751078	-0.43032798	0	-25	49.1807
E	-0.03542	0.215111722	0.006441432	-0.00745127	-0.42691834	0	-25	36.9060
F	-0.03537	0.215213209	0.006441163	-0.00744459	-0.42653561	0	-25	35.5282

Fuente: Elaboración Propia

vi. Cálculo del T-t o reducción Arco – Cuerda

Utilizando la formula del T-t o Reducción Arco – Cuerda expuesta en el capítulo dos se obtienen los siguientes resultados en segundos. (ver Cuadro N° 47)

$$(T - t)_{A \rightarrow B} = -\Delta N(2x_1 + x_2) \times P \times 6.8755 \times 10^{-8} = \text{segundos}$$

Fuente: (Mendoza Dueñas, 2010, pág. 67)

**Cuadro N° 46: Calculo de la Reducción de Arco - Cuerda**

Línea	VarN	x1	x2	P	T-t (Seg)
B-A	390.678	226525.425	226525.425	0.012376324	-0.2259
B-C	-1828.385	223237.496	226525.425	0.012376300	1.0471
B-D	-2187.542	223024.463	226525.425	0.012376296	1.2520
B-E	-4722.514	220825.362	226525.425	0.012376269	2.6851
B-F	-5335.196	220523.511	226525.425	0.012376262	3.0307

Fuente: Elaboración Propia

vii. Cálculo del Azimut topográfico

Empleando el azimut obtenido de las coordenadas UTM, aplicamos los factores de conversión t-T y convergencia de Meridianos calculados en los ítems anteriores. Teniendo como resultado el azimut topográfico: (ver Cuadro N° 48).

$$Az_{Topo} = Az_{UTM} + (T - t)_{1 \rightarrow 2} - \gamma$$

**Cuadro N° 47: Calculo del Azimut Topográfico**

Línea	Az (Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az (Topo)
B-A	310°20'38.76"	-0.23"	310°20'38.76"	310°20'38.43"	-0°26'7.65"	310°46'46.08"
B-C	122°53'2.76"	1.05"	122°53'2.76"	122°53'3.75"	-0°26'7.65"	123°19'11.40"
B-D	125°43'45.48"	1.25"	125°43'45.48"	125°43'45.35"	-0°26'7.65"	126°9'53.00"
B-E	132°1'33.24"	2.68"	132°1'33.24"	132°1'36.09"	-0°26'7.65"	132°27'43.74"



B-F	133°54'39.60"	3.03"	133°54'39.60"	133°54'42.61"	-0°26'7.65"	134°20'50.26"
-----	---------------	-------	---------------	---------------	-------------	---------------

Fuente: *Elaboración Propia*

viii. Cálculo de Coordenadas Topográficas

Ya con los resultados de distancias y azimuts topográficos se procede a calcular las coordenadas topográficas. Obteniendo los siguientes valores. (ver Cuadro N° 49)

$$x = D_{Topo} \times Sen(Az_{Topo})$$

$$y = D_{Topo} \times cos(Az_{Topo})$$

**Cuadro N° 48: Coordenadas Topográficas obtenidas**

PTO	USANDO FACT. ELEV.		USANDO RNMM	
	X	Y	X	Y
A	273477.661	8662259.508	273477.663	8662259.506
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435
C	276747.899	8660016.002	276747.889	8660016.009
D	276958.163	8659655.327	276958.151	8659655.336
E	279137.421	8657104.182	279137.404	8657104.198
F	279434.531	8656489.338	279434.513	8656489.355

Fuente: *Elaboración Propia*

Se obtuvieron valores similares, con una variación de que no sobrepasa los 3cm, por lo cual podemos decir que para trabajos en zonas cercanas al mar donde la cota es cercana a los 0msnm, la diferencia al aplicar la RNMM o el Factor de Elevación es mínima, por lo cual para cálculos posteriores usaremos solo las coordenadas obtenidas con la aplicación del Factor de Elevación. (ver Cuadro N° 50)

**Cuadro N° 49: Coordenadas Topográficas**

PTO	X	Y
A	273477.661	8662259.508
B	273934.529	8661865.435

C	276747.899	8660016.002
D	276958.163	8659655.327
E	279137.421	8657104.182
F	279434.531	8656489.338

Fuente: Elaboración Propia

ix. Comprobación de los cálculos

Para corroborar la transformación de coordenadas UTM a Topográficas, se utilizó el software SISTRAUT, desarrollado por el Ing. Jorge Mendoza Dueñas, con el cual se efectuaron los cálculos de los puntos del cuadro N°50, obteniéndose resultados bastante similares, (Ver figura N°71 y compararla con el cuadro N°50)

Figura N° 68: Transformación UTM a Topográficas - SISTRAUT

Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas				
Pto	Este	Norte	h	
A	273474.375	8662256.113	41.820	
B	273934.529	8661865.435	29.456	
C	276747.899	8660016.002	34.136	
D	276958.163	8659655.310	25.190	
E	279137.421	8657104.180	25.415	
F	279434.531	8656489.334		

Fuente: Software SISTRAUT

Cuadro N° 50: Datos del Levantamiento Topográfico

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DISTANCIA	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	grado	minuto	segundo		ESTE	NORTE
A					273477.661	8662259.508
B	164	13	29.875	836.265	273934.529	8661865.435
1	188	11	33.250			
2	192	23	57.500			
3	172	2	23.500			
4	183	37	38.750			
				465.100		

				123.124		
<b>5</b>	170	53	31.125	230.407		
<b>6</b>	187	47	11.250	354.591		
<b>7</b>	189	28	38.125	355.684		
<b>D</b>	185	25	5.833	605.544		
<b>8</b>	160	49	50.875	1009.239		
<b>9</b>	193	41	36.714	290.121		
<b>10</b>	173	21	26.250	446.027		
<b>11</b>	199	41	2.143	1066.316		
<b>E</b>	181	48	29.667		279137.421	8657104.182
<b>F</b>					279434.531	8656489.338

Fuente: Elaboración Propia

i. Cálculo y Ajuste del Error Angular

Con las fórmulas expuestas en el Capítulo II y los azimuts obtenidos de las coordenadas topográficas (las cuales proceden de la transformación de coordenadas de UTM a Topográficas) se procede el azimut de cada punto de cambio del levantamiento topográfico. (ver Cuadro N° 52)

**Cuadro N° 51: Calculo de los Azimuts Medidos**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			Azimut
	Grado	Minuto	Segundo	
<b>A</b>				
<b>B</b>	164	13	29.87	
<b>1</b>	188	11	33.25	115°0'15.95"
<b>2</b>	192	23	57.5	123°11'49.20"

				135°35'46.70"
<b>3</b>	172	2	23.5	127°38'10.20"
<b>4</b>	183	37	38.75	131°15'48.95"
<b>5</b>	170	53	31.12	122°9'20.08"
<b>6</b>	187	47	11.25	129°56'31.33"
<b>7</b>	189	28	38.13	139°25'9.45"
<b>D</b>	185	25	5.83	144°50'15.29"
<b>8</b>	160	49	50.87	125°40'6.16"
<b>9</b>	193	41	36.71	139°21'42.88"
<b>10</b>	173	21	26.25	132°43'9.13"
<b>11</b>	199	41	2.14	152°24'11.27"
<b>E</b>	181	48	29.67	154°12'40.94"
<b>F</b>				

*Fuente: Elaboración Propia*

Luego se procede a calcular el azimut de llegada calculado, utilizando las coordenadas de la transformación UTM a Topográficas, con la finalidad de encontrar la diferencia entre ella con el azimut calculado con los ángulos medidos, esta diferencia sería el error angular del levantamiento. (ver Cuadro N° 53)

Además de ello también debemos de comprobar si el error angular, está dentro del Error Máximo Permisible, para ello utilizáramos la formula revisada en el capítulo anterior:

$$Ta = Ax\sqrt{n}$$

Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 32)

### Cuadro N° 52: Calculo del Error Angular

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLEGADA	ERROR ANGULAR	Ta
154°12'31.94"	154°12'40.94"	0°0'9"	0°0'20"

Fuente: Elaboración Propia

Podemos verificar que:

$$\text{Error Angular} < Ta$$

Entonces podemos comprobar que nuestro levantamiento cumple con la Tolerancia angular, por lo cual procedemos a realizar la compensación. (ver Cuadro N° 54)

**Cuadro N° 53: Compensación del Error Angular**

PTO	ÁNGULO OBSERVADO			Compensación	Angulo	Azimet
	Grad.	Min.	Seg.	(Seg)	Corregido	Corregido
<b>A</b>						
<b>B</b>	164	13	29.875	0.64	164°13'29.24"	
<b>1</b>	188	11	33.25	0.64	188°11'32.61"	115°0'15.31"
<b>2</b>	192	23	57.500	0.65	192°23'56.85"	123°11'47.92"
<b>3</b>	172	2	23.500	0.64	172°2'22.86"	135°35'44.77"
<b>4</b>	183	37	38.750	0.64	183°37'38.11"	127°38'7.63"
<b>5</b>	170	53	31.125	0.64	170°53'30.48"	131°15'45.74"
<b>6</b>	187	47	11.250	0.64	187°47'10.61"	122°9'14.69"
<b>7</b>	189	28	38.125	0.65	189°28'37.47"	129°56'26.84"
<b>D</b>	185	25	5.8333	0.65	185°25'5.18"	139°25'4.31"
<b>8</b>	160	49	50.875	0.64	160°49'50.24"	144°50'9.50"
<b>9</b>	193	41	36.714	0.64	193°41'36.07"	125°39'59.73"
<b>10</b>	173	21	26.250	0.64	173°21'25.61"	139°21'35.81"
<b>11</b>	199	41	2.143	0.65	199°41'1.49"	132°43'1.42"
<b>E</b>	181	48	29.667	0.64	181°48'29.03"	152°24'2.91"
<b>F</b>						154°12'31.94"

Fuente: Elaboración Propia

ii. Cálculo y Ajuste del Error en Distancia

Empleando los datos presentados, se procede a calcular las coordenadas topográficas preliminares de cada punto con la finalidad de corregir el error en distancia, obteniendo el siguiente resultado. (ver Cuadro N° 55)

**Cuadro N° 54: Calculo del Coordenadas Preliminares**

PTO	AZIMUT	DIST.	DIST. ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES	
				ESTE	NORTE
A				273477.661	8662259.508
B				273934.529	8661865.435
1	115°0'15.31"	836.265	836.265	274692.417	8661511.958
2	123°11'47.92"	843.207	1679.472	275398.009	8661050.29
3	135°35'44.77"	573.228	2252.7	275799.106	8660640.764
4	127°38'7.63"	465.1	2717.801	276167.424	8660356.757
5	131°15'45.74"	123.124	2840.924	276259.976	8660275.56
6	122°9'14.69"	230.407	3071.331	276455.042	8660152.932
7	129°56'26.84"	354.591	3425.922	276726.91	8659925.286
D	139°25'4.31"	355.684	3781.606	276958.295	8659655.154
8	144°50'9.50"	605.544	4387.15	277307.04	8659160.117
9	125°39'59.73"	1009.239	5396.389	278126.969	8658571.663
10	139°21'35.81"	290.121	5686.51	278315.927	8658351.514

	132°43'1.42"	446.027	6132.537		
<b>11</b>				278643.628	8658048.939
	152°24'2.91"	1066.316	7198.853		
<b>E</b>				279137.635	8657103.959

Fuente: Elaboración Propia

Luego se procede a verificar la diferencia entre las coordenadas transformadas con el método UTM a Topográficas con respecto a las coordenadas preliminares calculadas del punto de llegada E, con la finalidad de encontrar el Error de Cierre Lineal (E). (ver Cuadro N° 56)

#### Cuadro N° 55: Error de Cierre Lineal (E)

<b>Var X / Var Y</b>	-0.214	0.223
<b>E (m)</b>	<b>0.309</b>	
<b>1/E</b>	<b>1 /</b>	<b>23,282.832</b>
<b>Tolerancia (T)</b>	1 /	20,000.000

Fuente: Elaboración Propia

Verificamos que nuestro Error de Cierre Lineal (E) se encuentre dentro de la tolerancia (T), en este caso si se encuentra porque comprobar que **este es un método efectivo y permite, el ajuste de los datos** por lo cual procedemos a realizar la compensación de los datos. (ver Cuadro N° 57)



Cuadro N° 56: Compensación del Error de Cierre Lineal

PUNTO	AZIMUT	DIST.	DIST. ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
				ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
<b>A</b>				273477.661	8662259.508			<b>273477.661</b>	<b>8662259.51</b>
<b>B</b>				273934.529	8661865.435	0	0	<b>273934.529</b>	<b>8661865.44</b>
<b>1</b>	115°0'15.31"	836.265	836.265	274692.417	8661511.958	-0.025	0.026	<b>274692.392</b>	<b>8661511.98</b>
<b>2</b>	123°11'47.92"	843.207	1679.472	275398.009	8661050.29	-0.05	0.052	<b>275397.959</b>	<b>8661050.34</b>
<b>3</b>	135°35'44.77"	573.228	2252.7	275799.106	8660640.764	-0.067	0.07	<b>275799.039</b>	<b>8660640.83</b>
<b>4</b>	127°38'7.63"	465.1	2717.801	276167.424	8660356.757	-0.081	0.084	<b>276167.344</b>	<b>8660356.84</b>
<b>5</b>	131°15'45.74"	123.124	2840.924	276259.976	8660275.556	-0.084	0.088	<b>276259.891</b>	<b>8660275.64</b>
<b>6</b>	122°9'14.69"	230.407	3071.331	276455.042	8660152.932	-0.091	0.095	<b>276454.951</b>	<b>8660153.03</b>
<b>7</b>	129°56'26.84"	354.591	3425.922	276726.91	8659925.286	-0.102	0.106	<b>276726.808</b>	<b>8659925.39</b>

<b>D</b>	139°25'4.31"	355.684	3781.606						
				276958.295	8659655.154	-0.112	0.117	<b>276958.183</b>	<b>8659655.27</b>
<b>8</b>	144°50'9.50"	605.544	4387.15						
				277307.04	8659160.117	-0.13	0.136	<b>277306.909</b>	<b>8659160.25</b>
<b>9</b>	125°39'59.73"	1009.239	5396.389						
				278126.969	8658571.663	-0.16	0.167	<b>278126.809</b>	<b>8658571.83</b>
<b>10</b>	139°21'35.81"	290.121	5686.51						
				278315.927	8658351.514	-0.169	0.176	<b>278315.757</b>	<b>8658351.69</b>
<b>11</b>	132°43'1.42"	446.027	6132.537						
				278643.628	8658048.939	-0.182	0.19	<b>278643.446</b>	<b>8658049.13</b>
<b>E</b>	152°24'2.91"	1066.316	7198.853						
				279137.635	8657103.959	-0.214	0.223	<b>279137.421</b>	<b>8657104.18</b>

Fuente: Elaboración Propia

iii. Coordenadas Topográficas Obtenidas

En base a los cálculos anteriores se pudo ajustar los datos obtenidos en campo tomando como base las coordenadas transformadas con el método de transformación UTM a Topográficas, dichas coordenadas se muestran a continuación. (ver Cuadro N°58)

**Cuadro N° 57: Coordenadas Topográficas obtenidas**

PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS	
A	273477.661	8662259.508
B	273934.529	8661865.435
1	274692.392	8661511.984
2	275397.959	8661050.342
3	275799.039	8660640.834
4	276167.343	8660356.841
5	276259.891	8660275.644
6	276454.951	8660153.027
7	276726.808	8659925.392
D	276958.183	8659655.271
8	277306.909	8659160.253
9	278126.809	8658571.830
10	278315.758	8658351.690
11	278643.446	8658049.129
E	279137.421	8657104.182
F	279434.531	8656489.338

Fuente: Elaboración Propia

iv. Comprobación del Ajuste

Se utilizó el software Gestor de Mediciones ([www.topoedu.es](http://www.topoedu.es)), para realizar un ajuste de mínimos cuadrados a los ángulos y distancias y obtener las coordenadas topográficas, y su vez realizar una comprobación con los datos calculados. (ver Figura N° 72)

**Figura N° 69: Reporte del Ajuste por Mínimos Cuadrados**

Bases: 16  
Desviación máxima:  $\pm 0,058\text{m}$  (Base 4)

Base	N	E	Z
B	8661865,435	273934,529	100,000
A	8662259,508	273477,661	100,000
E	8657104,182	279137,421	100,000
F	8656489,338	279434,531	100,000
1	8661512,033	274692,430	100,000
2	8661050,443	275398,050	100,000
3	8660640,964	275799,167	100,000
4	8660357,000	276167,493	100,000
5	8660275,812	276260,031	100,000
6	8660153,198	276455,080	100,000
7	8659925,556	276726,926	100,000
D	8659655,424	276958,283	100,000
8	8659160,380	277306,983	100,000
9	8658571,890	278126,862	100,000
10	8658351,746	278315,794	100,000
11	8658049,168	278643,466	100,000

*Fuente: Software Gestor de Mediciones*

Los datos obtenidos son similares a las coordenadas calculadas, con lo cual podemos comprobar que el ajuste realizado es correcto.

### 3.5.6.3 Aplicación de Coordenadas LTM

Se realizará una transformación de las coordenadas GNSS/GPS del levantamiento geodésico a coordenadas LTM, para luego ajustar los datos topográficos por medio de una poligonal topográfica.

#### a) Transformación de Coordenadas GNSS/GPS a Coordenadas LTM

Primero debemos definir nuestro Plano Topográfico Local, para ello necesitaremos los siguientes datos:

- Latitud Media =  $12^\circ$

- Longitud Media = 77°30'
- Altitud media = 31.239 m

Lo siguiente es calcular el factor de escala específico  $Kh$ .

$$Kh = \frac{(R + hm)}{R}$$

Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 25)

Reemplazando

$$Kh = \frac{(6378000 + 31.2399)}{6378000} = 1.000004898$$

Luego procedemos calcular los factores para proyectar las coordenadas para ello emplearemos las siguientes formulas. (ver Cuadro N° 59)

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi}}$$

$$t^2 = \text{Tan}^2 \varphi$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \text{cos}^2 \varphi$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cdot \text{Cos} \varphi$$

$$S_\varphi = a \left[ \frac{\varphi \cdot \pi}{180^\circ} \left( 1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right) - \text{Sen}(2\varphi) \left( \frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \right. \\ \left. + \text{Sen}(4\varphi) \left( \frac{15e^2}{256} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) - \text{Sen}(6\varphi) \left( \frac{36e^2}{3072} \right) \right]$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

#### Cuadro N° 58: Calculo de los parámetros de proyección LTM

	N	t2	n2	A	Sp
Para el punto A	6379074.265	0.045907752	0.0064436820	0.007147155	-1337416.637
Para el punto B	6379074.810	0.045935622	0.0064435103	0.007218678	-1337810.710
Para el punto C	6379077.365	0.046066535	0.0064427040	0.007659256	-1339660.002
Para el punto D	6379077.864	0.046092091	0.0064425466	0.007692126	-1340020.671

Fuente: Elaboración Propia

Con estos datos procedemos a calcular los valores de coordenadas preliminares, utilizando las siguientes formulas. (ver Cuadro N° 60)

$$x = N \left[ A + \frac{A^3}{6} (1 - t^2 - \eta^2 + \frac{A^2}{120} (5 - 18t^2 + t^4 + 72\eta^2 - 58e'^2)) \right]$$

$$y = \left\{ S_\varphi + N \cdot \text{Tan}\varphi \left[ \frac{A^2}{2} + \frac{A^4}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{A^6}{720} (61 - 58t^2 + t^4 + 600\eta^2 - 330e'^2) \right] \right\}$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

### Cuadro N° 59: Calculo de los Valores preliminares

	x	y
Para el punto A	45592.60699	-1337451.546
Para el punto B	46048.87402	-1337846.333
Para el punto C	48859.44284	-1339700.163
Para el punto D	49069.13736	-1340061.189
Para el punto E	51244.51093	-1342615.765
Para el punto F	51540.67386	-1343231.089

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente calculamos los valores de las coordenadas utilizando las siguientes formulas. (ver Cuadro N° 61)

$$XL = X_0 + x \times K_h$$

$$YL = Y_0 + y \times K_h$$

Fuente: (Tola Vargas, 2010, pág. 79)

### Cuadro N° 60: Coordenadas LTM

	XL	YL
Para el punto A	245,592.830	5,662,541.903
Para el punto B	246,049.100	5,662,147.115
Para el punto C	248,859.682	5,660,293.275
Para el punto D	249,069.378	5,659,932.248
Para el punto E	251,244.762	5,657,377.659
Para el punto F	251,540.926	5,656,762.332

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando un vector de desplazamiento para que el origen de coordenadas coincida con el origen de nuestra transformación anterior, lo que nos permitiría

realizar una posterior comparación, para ello emplearemos la siguiente formula. (ver Cuadro N° 62)

El vector de desplazamiento se definiría como:

$$V_x = E(UTM)_a - XL(LTM)_a$$

$$V_y = N(UTM)_a - YL(LTM)_a$$

*Fuente: Elaboración Propia*

Reemplazando

$$V_x = 273,934.529 - 246,049.100$$

$$V_x = 27,885.429$$

$$V_y = 8'661,865.435 - 5,662,147.115$$

$$V_y = 2'999,718.320$$

Aplicando este vector de desplazamiento, con las siguientes formulas

$$X = XL + V_x$$

$$Y = YL + V_y$$

Finalmente obtenemos:

**Cuadro N° 61: Coordenadas LTM Trasladas**

	X	Y
Para el Punto A	273,478.260	8,662,260.223
Para el Punto B	273,934.529	8,661,865.435
Para el Punto C	276,745.112	8,660,011.596
Para el Punto D	276,954.807	8,659,650.568
Para el Punto E	279,130.191	8,657,095.979
Para el Punto F	279,426.356	8,656,480.652

*Fuente: Elaboración Propia*

*b) Ajuste de la Poligonal Topográfica*

Con los datos obtenidos del levamiento topográfico (ver Cuadro N° 63) y la transformación de las coordenadas geográficas a LTM, se realiza el ajuste como una poligonal de enlace comprobada.

**Cuadro N° 62: Datos del Levantamiento Topográfico**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DIST.	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Grad.	Min.	Seg.		ESTE	NORTE
<b>A</b>					273478.260	8662260.223
<b>B</b>	164	13	29.875	836.265	273934.529	8661865.435
<b>1</b>	188	11	33.250		843.207	
<b>2</b>	192	23	57.500	573.228		
<b>3</b>	172	2	23.500	465.100		
<b>4</b>	183	37	38.750	123.124		
<b>5</b>	170	53	31.125	230.407		
<b>6</b>	187	47	11.250	354.591		
<b>7</b>	189	28	38.125	355.684		
<b>D</b>	185	25	5.833	605.544		
<b>8</b>	160	49	50.875	1009.239		
<b>9</b>	193	41	36.714	290.121		
<b>10</b>	173	21	26.250	446.027		
<b>11</b>	199	41	2.143	1066.316		
<b>E</b>	181	48	29.667		279130.191	8657095.979
<b>F</b>					279426.356	8656480.652



Fuente: Elaboración Propia

i. Calculo y Ajuste del Error Angular

Con las fórmulas expuestas en el Capítulo II y los azimuts obtenidos de las coordenadas LTM obtenidas de la transformación geográficas a LTM, se procede a calcular el azimut de cada línea del levantamiento topográfico (ver Cuadro N° 64), con la finalidad de calcular el error angular.

**Cuadro N° 63: Calculo de los Azimuts Medidos**

PTO	ÁNGULO OBSERVADO			Azimut
	Grado	Minuto	Segundo	
A				
B	164	13	29.87	115°5'34.94"
1	188	11	33.25	123°17'8.19"
2	192	23	57.5	135°41'5.69"
3	172	2	23.5	127°43'29.19"
4	183	37	38.75	131°21'7.94"
5	170	53	31.12	122°14'39.06"
6	187	47	11.25	130°1'50.32"
7	189	28	38.13	139°30'28.44"
D	185	25	5.83	144°55'34.27"
8	160	49	50.87	125°45'25.15"
9	193	41	36.71	139°27'1.86"
10	173	21	26.25	

				132°48'28.11"
<b>11</b>	199	41	2.14	
<b>E</b>	181	48	29.67	152°29'30.26"
<b>F</b>				154°17'59.92"

Fuente: *Elaboración Propia*

Luego se procede a calcular el azimut de llegada calculado, utilizando las coordenadas LTM, con la finalidad de encontrar la diferencia entre ella con el azimut calculado con los ángulos medidos, esta diferencia sería el error angular del levantamiento. (ver Cuadro N° 65)

Además de ello también debemos de comprobar si el error angular, está dentro del Error Máximo Permisible, para ello utilizáramos la formula revisada en el capítulo anterior:

$$T_a = A x \sqrt{n}$$

Fuente: (Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, 2014, pág. 32)

#### Cuadro N° 64: Calculo del Error Angular

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLEGADA	ERROR ANGULAR	T <sub>a</sub>
154°17'52.49"	154°17'59.92"	0°0'7.44"	0°0'20"

Fuente: *Elaboración Propia*

Podemos verificar que:

$$Error\ Angular < T_a$$

Entonces podemos comprobar que nuestro levantamiento cumple con la Tolerancia angular, por lo cual procedemos a realizar la compensación. (ver Cuadro N° 66)

#### Cuadro N° 65: Compensación del Error Angular

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			Comp. (Seg)	Angulo Corregido	Azimut Corregido
	Grad.	Min.	Seg.			

<b>A</b>						
<b>B</b>	164	13	29.875	0.53	164°13'29.35"	115°5'34.41"
<b>1</b>	188	11	33.25	0.53	188°11'32.72"	123°17'7.13"
<b>2</b>	192	23	57.5	0.53	192°23'56.97"	135°41'4.10"
<b>3</b>	172	2	23.5	0.53	172°2'22.97"	127°43'27.07"
<b>4</b>	183	37	38.75	0.53	183°37'38.22"	131°21'5.29"
<b>5</b>	170	53	31.125	0.53	170°53'30.59"	122°14'35.89"
<b>6</b>	187	47	11.25	0.53	187°47'10.72"	130°1'46.61"
<b>7</b>	189	28	38.125	0.53	189°28'37.59"	139°30'24.20"
<b>D</b>	185	25	5.8333	0.53	185°25'5.30"	144°55'29.50"
<b>8</b>	160	49	50.875	0.53	160°49'50.35"	125°45'19.85"
<b>9</b>	193	41	36.714	0.54	193°41'36.17"	139°26'56.02"
<b>10</b>	173	21	26.25	0.53	173°21'25.72"	132°48'21.74"
<b>11</b>	199	41	2.143	0.54	199°41'1.60"	152°29'23.35"
<b>E</b>	181	48	29.667	0.53	181°48'29.14"	154°17'52.48"
<b>F</b>						

Fuente: Elaboración Propia

ii. Calculo y Ajuste del Error en Distancia

Empleando los datos presentados, se procede a calcular las coordenadas topográficas preliminares de cada punto con la finalidad de corregir el error en distancia, obteniendo el siguiente resultado. (ver Cuadro N° 67)

**Cuadro N° 66: Calculo del Coordenadas Preliminares**

PTO	AZIMUT	DIST.	DIST. ACUMU	COORDENADAS PRELIMINARES	
				ESTE	NORTE
A				273478.26	8662260.223
B				273934.529	8661865.435
1	115°5'34.41"	836.265	836.265	274691.869	8661510.786
2	123°17'7.13"	843.207	1679.472	275396.746	8661048.026
3	135°41'4.10"	573.228	2252.7	275797.208	8660637.88
4	127°43'27.07"	465.100	2717.801	276165.087	8660353.303
5	131°21'5.29"	123.124	2840.924	276257.512	8660271.958
6	122°14'35.89"	230.407	3071.331	276452.388	8660149.032
7	130°1'46.61"	354.591	3425.922	276723.902	8659920.966
D	139°30'24.20"	355.684	3781.606	276954.869	8659650.475
8	144°55'29.50"	605.544	4387.15	277302.845	8659154.898
9	125°45'19.85"	1009.239	5396.389	278121.86	8658565.171
10	139°26'56.02"	290.121	5686.51	278310.475	8658344.73
11	132°48'21.74"	446.027	6132.537	278637.707	8658041.646

	152°29'23.35"	1066.316	7198.853		
<b>E</b>				279130.245	8657095.9

Fuente: Elaboración Propia

Luego se procede a verificar la diferencia entre las coordenadas LTM con respecto a las coordenadas preliminares calculadas del punto de llegada E, con la finalidad de encontrar el Error de Cierre Lineal (E). (ver Cuadro N° 68)

#### Cuadro N° 67: Calculo del Error de Cierre Lineal (E)

<b>Var X / Var Y</b>	-0.053	0.079
<b>E (m)</b>	<b>0.095</b>	
<b>1/E</b>	<b>1 /</b>	<b>75,524.041</b>
<b>Tolerancia (T)</b>	1 /	20,000.000

Fuente: Elaboración Propia

Verificamos que nuestro Error de Cierre Lineal (E) se encuentre dentro de la tolerancia (T), en este caso se encuentra dentro de la tolerancia requerida, que **este es un método efectivo y permite, el ajuste de los datos** por lo cual procedemos a realizar la compensación de los datos, además tenemos una precisión muy alta con respecto a la tolerancia, con lo cual podemos inferir que se podría ampliar más en rango efectivo del PTL y seguiríamos dentro de la tolerancia. (ver Cuadro N° 69)

Cuadro N° 68: Compensación del Error de Cierre Lineal

PUNTO	AZIMUT	DIST.	DIST. ACUMU	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
				ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
A				273478.26	8662260.223			273478.260	8662260.223
B				273934.529	8661865.435	0	0	273934.529	8661865.435
1	115°5'34.41"	836.265	836.265	274691.869	8661510.786	-0.006	0.009	274691.863	8661510.795
2	123°17'7.13"	843.207	1679.472	275396.746	8661048.026	-0.012	0.018	275396.734	8661048.045
3	135°41'4.10"	573.228	2252.700	275797.208	8660637.88	-0.017	0.025	275797.192	8660637.905
4	127°43'27.07"	465.100	2717.801	276165.087	8660353.303	-0.02	0.03	276165.066	8660353.333
5	131°21'5.29"	123.124	2840.924	276257.512	8660271.958	-0.021	0.031	276257.491	8660271.989
6	122°14'35.89"	230.407	3071.331	276452.388	8660149.032	-0.023	0.034	276452.365	8660149.066
7	130°1'46.61"	354.591	3425.922	276723.902	8659920.966	-0.025	0.038	276723.877	8659921.003

<b>D</b>	139°30'24.20"	355.684	3781.606						
				276954.869	8659650.475	-0.028	0.041	276954.841	8659650.516
<b>8</b>	144°55'29.50"	605.544	4387.150						
				277302.845	8659154.898	-0.033	0.048	277302.812	8659154.946
<b>9</b>	125°45'19.85"	1009.239	5396.389						
				278121.86	8658565.171	-0.04	0.059	278121.820	8658565.231
<b>10</b>	139°26'56.02"	290.121	5686.510						
				278310.475	8658344.73	-0.042	0.062	278310.433	8658344.792
<b>11</b>	132°48'21.74"	446.027	6132.537						
				278637.707	8658041.646	-0.046	0.067	278637.661	8658041.713
<b>E</b>	152°29'23.35"	1066.316	7198.853						
				279130.245	8657095.9	-0.053	0.079	279130.191	8657095.979

Fuente: *Elaboración Propia*

iii. Coordenadas Topográficas Obtenidas

En base a los cálculos anteriores se pudo ajustar los datos obtenidos en campo tomando como base las coordenadas transformadas con el método de transformación UTM a LTM, dichas coordenadas se muestran a continuación. (ver Cuadro N° 70)

**Cuadro N° 69: Coordenadas Topográficas Obtenidas**

PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS	
A	273478.260	8662260.223
B	273934.529	8661865.435
1	274691.863	8661510.795
2	275396.734	8661048.045
3	275797.192	8660637.905
4	276165.066	8660353.333
5	276257.491	8660271.989
6	276452.365	8660149.066
7	276723.877	8659921.003
D	276954.841	8659650.516
8	277302.812	8659154.946
9	278121.820	8658565.231
10	278310.433	8658344.792
11	278637.661	8658041.713
E	279130.191	8657095.979
F	279426.356	8656480.652

Fuente: Elaboración Propia

iv. Comprobación del Ajuste

Se utilizó el software Gestor de mediciones, para realizar un ajuste de mínimos cuadrados a los ángulos y distancias y obtener las coordenadas topográficas, y su vez realizar una comprobación con los datos calculados. (ver Figura N° 73)



### Figura N° 70: Reporte del Ajuste por Mínimos Cuadrados



Base	N	E	Z	Sn	Se	Sz	Anamorf.
B	8661865,435	273934,529	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000000000
A	8662260,223	273478,260	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000000000
E	8657095,979	279130,191	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000000000
F	8656480,652	279426,356	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000000000
1	8661510,799	274691,868	0,000	0,018	0,013	0,000	1,000000000
2	8661048,057	275396,748	0,000	0,036	0,025	0,000	1,000000000
3	8660637,921	275797,213	0,000	0,047	0,038	0,000	1,000000000
4	8660353,355	276165,090	0,000	0,057	0,047	0,000	1,000000000
5	8660272,015	276257,512	0,000	0,057	0,048	0,000	1,000000000
6	8660149,095	276452,385	0,000	0,054	0,048	0,000	1,000000000
7	8659921,033	276723,895	0,000	0,051	0,046	0,000	1,000000000
D	8659650,546	276954,857	0,000	0,047	0,043	0,000	1,000000000
8	8659154,972	277302,826	0,000	0,039	0,036	0,000	1,000000000
9	8658565,246	278121,833	0,000	0,026	0,031	0,000	1,000000000
10	8658344,807	278310,442	0,000	0,022	0,027	0,000	1,000000000
11	8658041,725	278637,666	0,000	0,015	0,021	0,000	1,000000000

*Fuente: Software Gestor de Mediciones*

Los datos obtenidos son similares a las coordenadas calculadas, con lo cual podemos comprobar que el ajuste realizado es correcto.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Comparación de la Distorsión en Distancias

En base a los resultados obtenidos de los ajustes de coordenadas topográficas realizados en el capítulo anterior, obtenemos 3 juegos de coordenadas para cada punto, estos valores se obtuvieron al ajustar los valores topográficos (ángulos y distancias) empleando las coordenadas GNSS/GPS directamente, las coordenadas UTM a Topográficas obtenidas de la transformación utilizando el método que se emplea usualmente en Perú y las coordenadas LTM, lo cual se muestra en el siguiente cuadro. (cuadro N° 71)

**Cuadro N° 70: Comparación de las Coordenadas Topográficas Obtenidas**

PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS (USANDO GNSS/GPS)		COORDENADAS TOPOGRAFICAS (UTM - TOPO)		COORDENADAS TOPOGRAFICAS (UTM - LTM)	
	A	273474.575	8662256.113	273477.661	8662259.508	273478.260
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435
1	274695.185	8661517.637	274692.392	8661511.984	274691.863	8661510.795
2	275404.373	8661061.256	275397.959	8661050.342	275396.734	8661048.045
3	275808.644	8660654.730	275799.039	8660640.834	275797.192	8660637.905
4	276179.170	8660373.482	276167.344	8660356.841	276165.066	8660353.333
5	276272.351	8660292.974	276259.891	8660275.644	276257.491	8660271.989
6	276468.374	8660171.813	276454.951	8660153.027	276452.365	8660149.066
7	276742.011	8659946.205	276726.808	8659925.392	276723.877	8659921.003
D	276975.491	8659677.804	276958.183	8659655.271	276954.841	8659650.516
8	277328.072	8659185.373	277306.909	8659160.253	277302.812	8659154.946
9	278152.587	8658603.073	278126.809	8658571.830	278121.820	8658565.231
10	278343.253	8658384.339	278315.758	8658351.691	278310.433	8658344.792

11	278673.307	8658084.222	278643.446	8658049.129	278637.661	8658041.713
E	279174.638	8657142.921	279137.421	8657104.182	279130.191	8657095.979
F	279476.489	8656530.239	279434.531	8656489.338	279426.356	8656480.652

Fuente: Elaboración Propia

Con estas coordenadas se puede obtener las distancias calculadas y compararlas con la medición directa con la estación total en campo, obteniéndose los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 72).

### Cuadro N° 71: Comparación de la Distancia UTM Vs Medición Directa

LINEA	DISTANCIA CALCULADA (UTM GNSS/GPS)	DISTANCIA MEDIDA (ESTACION TOTAL)	VARIACION (m)	VARIACION (cm)
A-B	603.479	603.370	-0.1091	-10.9065
B-1	836.398	836.265	-0.1325	-13.2455
1-2	843.345	843.207	-0.1378	-13.7833
2-3	573.322	573.228	-0.0945	-9.4541
3-4	465.177	465.100	-0.0767	-7.6704
4-5	123.144	123.124	-0.0204	-2.0382
5-6	230.445	230.407	-0.0375	-3.7515
6-7	354.649	354.591	-0.0586	-5.8607
7-D	355.742	355.684	-0.0583	-5.8275
D-8	605.642	605.544	-0.0974	-9.7407
8-9	1009.405	1009.239	-0.1659	-16.5902
9-10	290.169	290.121	-0.0476	-4.7566
10-11	446.101	446.027	-0.0738	-7.3752
11-E	1066.481	1066.316	-0.1648	-16.4753
E-F	683.003	682.906	-0.0975	-9.7451

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos ver la variación entre las medidas de las distancias obtenidas mediante el levantamiento GNSS/GPS y la medición directa hecha con una estación total, se puede ver que la diferencia máxima es de dieciséis

centímetros aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, dándonos el siguiente resultado:

$$\text{Error Medio Cuadrático} = 10.11 \text{ cm}$$

Así mismo haciendo la misma comparación entre las distancias de la primera transformación de coordenadas siguiendo el método usado frecuentemente en nuestro país (UTM a Topográficas) y las medidas de las distancias tomadas directamente con la estación Total, se obtienen los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 73)

**Cuadro N° 72: Comparación de la Distancia Transformada (UTM – Topográficas) Vs Medición Directa**

LINEA	DISTANCIA CALCULADA (UTM - TOPO)	DISTANCIA MEDIDA (ESTACION TOTAL)	VARIACION (m)	VARIACION (cm)
A-B	603.342	603.370	0.0279	2.7902
B-1	836.232	836.265	0.0335	3.3491
1-2	843.172	843.207	0.0353	3.5276
2-3	573.203	573.228	0.0246	2.4618
3-4	465.081	465.100	0.0197	1.9734
4-5	123.118	123.124	0.0053	0.5314
5-6	230.398	230.407	0.0096	0.9566
6-7	354.575	354.591	0.0151	1.5125
7-D	355.668	355.684	0.0153	1.5306
D-8	605.518	605.544	0.0257	2.5673
8-9	1009.197	1009.239	0.0426	4.2605
9-10	290.109	290.121	0.0124	1.2446
10-11	446.008	446.027	0.0191	1.9121
11-E	1066.272	1066.316	0.0440	4.3973
E-F	682.868	682.906	0.0379	3.7878

*Fuente: Elaboración Propia*

En el cuadro anterior podemos ver la variación entre las distancias obtenidas por las coordenadas de la transformación de coordenadas UTM a Topográficas y la medición directa hecha con una estación total, se puede ver que la diferencia máxima es de cuatro centímetros aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, dándonos el siguiente resultado:

$$\text{Error Medio Cuadrático} = 2.72 \text{ cm}$$

Así mismo haciendo la misma comparación entre las distancias calculadas con las coordenadas LTM, y la medida directa con la estación total, se obtienen los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 74)

**Cuadro N° 73: Comparación de la Distancia LTM Vs Medición Directa**

LINEA	DISTANCIA CALCULADA (LTM)	DISTANCIA MEDIDA (ESTACION TOTAL)	VARIACION (m)	VARIACION (cm)
A-B	603.356	603.370	0.014	1.358
B-1	836.256	836.265	0.009	0.924
1-2	843.197	843.207	0.010	1.029
2-3	573.220	573.228	0.008	0.765
3-4	465.094	465.100	0.006	0.635
4-5	123.123	123.124	0.001	0.069
5-6	230.404	230.407	0.003	0.339
6-7	354.586	354.591	0.004	0.425
7-D	355.679	355.684	0.005	0.452
D-8	605.536	605.544	0.008	0.846
8-9	1009.226	1009.239	0.013	1.275
9-10	290.118	290.121	0.003	0.341
10-11	446.021	446.027	0.006	0.565
11-E	1066.301	1066.316	0.015	1.464
E-F	682.892	682.906	0.014	1.400

*Fuente: Elaboración Propia*

Como podemos ver la diferencia entre las distancias obtenidas por medio de las coordenadas LTM y las medidas directamente en campo tiene un error máximo de un centímetro y medio aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, dándonos el siguiente resultado:

$$\text{Error Medio Cuadrático} = 0.89 \text{ cm}$$

Con esto podemos entender que la aplicación de las coordenadas LTM, tiene una mejor representación de las distancias en la superficie topográfica, reduciendo así esta distorsión, generada al representar distancias cartográficamente, lo cual se refleja en el error medio cuadrático obtenido en ambos, siendo 2.72 cm el error obtenido mediante las coordenadas de la transformación UTM a Topográficas, empleado con frecuencia en el Perú con respecto a los 0.89 cm obtenidos mediante las coordenadas LTM.

## 4.2 Comparación de la Distorsión Angular

En base a los resultados obtenidos de los ajustes de coordenadas topográficas realizados en el capítulo anterior, podemos analizar la diferencia en los ángulos.

Con los datos de las coordenadas del ajuste directo utilizando las coordenadas GNSS/GPS, se calcularon los ángulos a partir de los azimuts y se procederá a comparar estos valores con los datos angulares medidos directamente con la estación total en campo. (ver Cuadro N° 75)

**Cuadro N° 74: Comparación de Ángulos UTM Vs Ángulos Medidos Directamente**

VERT.	ÁNGULO DIRECTO (ESTACION TOTAL)			ÁNGULO CALCULADO UTM GNSS/GPS			VARIACION (segundos)
	GRAD.	MIN.	SEG.	GRAD.	MIN.	SEG.	
AB1	164	13	29.875	164	13	38.626	-8.751
B12	188	11	33.250	188	11	27.380	5.870

123	192	23	57.500	192	23	49.052	8.448
234	172	2	23.500	172	2	27.240	-3.740
345	183	37	38.750	183	37	35.427	3.323
456	170	53	31.125	170	53	35.592	-4.467
567	187	47	11.250	187	47	5.548	5.702
67D	189	28	38.125	189	28	31.364	6.761
7D8	185	25	5.833	185	25	1.583	4.250
D89	160	49	50.875	160	50	1.213	-10.338
8910	193	41	36.714	193	41	27.478	9.236
91011	173	21	26.250	173	21	29.091	-2.841
1011E	199	41	2.143	199	40	49.622	12.521
11EF	181	48	29.667	181	48	40.760	-11.093

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos observar la variación entre los ángulos calculados mediante las coordenadas GNSS/GPS y los ángulos medidos directamente mediante la estación total, presenta una diferencia máxima de doce segundos aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, obteniendo el siguiente resultado:

***Error Medio Cuadrático = 7.577 segundos***

Así mismo podemos hacer la comparación entre los ángulos medidos directamente respecto a los ángulos calculados con las coordenadas de la primera transformación UTM a Topográficas, obteniéndose los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 76)

**Cuadro N° 75: Comparación de Ángulos Transformados (UTM – Topográficas) Vs Ángulos Medidos Directamente**

VERT.	ÁNGULO DIRECTO (ESTACION TOTAL)			ÁNGULO CALCULADO UTM a Topográficas			VARIACION (segundos)
	GRAD.	MIN.	SEG.	GRAD.	MIN.	SEG.	
AB1	164	13	29.875	164	13	26.02	3.855

B12	188	11	33.250	188	11	33.81	-0.560
123	192	23	57.500	192	23	58.761	-1.261
234	172	2	23.500	172	2	21.603	1.897
345	183	37	38.750	183	37	38.809	-0.059
456	170	53	31.125	170	53	28.878	2.247
567	187	47	11.250	187	47	11.936	-0.686
67D	189	28	38.125	189	28	38.873	-0.748
7D8	185	25	5.833	185	25	6.037	-0.204
D89	160	49	50.875	160	49	47.295	3.580
8910	193	41	36.714	193	41	38.158	-1.444
91011	173	21	26.250	173	21	24.608	1.642
1011E	199	41	2.143	199	41	4.504	-2.361
11EF	181	48	29.667	181	48	26.546	3.121

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos observar la variación entre los ángulos calculados mediante las coordenadas de la transformación UTM a Topográficas y los ángulos medidos directamente mediante la estación total, presentan una diferencia máxima de tres segundos aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, obteniendo el siguiente resultado:

***Error Medio Cuadrático = 2.060 segundos***

Así mismo podemos hacer la comparación entre los ángulos medidos directamente respecto a los ángulos calculados con las coordenadas de la segunda transformación LTM, obteniéndose los siguientes resultados. (ver Cuadro N° 77)

**Cuadro N° 76: Comparación de Ángulos LTM Vs Ángulos Medidos Directamente**

VERT.	ÁNGULO DIRECTO (ESTACION TOTAL)	ÁNGULO CALCULADO LTM	VARIACION (segundos)
-------	------------------------------------	-------------------------	-------------------------



	GRAD.	MIN.	SEG.	GRAD.	MIN.	SEG.	
AB1	164	13	29.875	164	13	27.949	1.926
B12	188	11	33.250	188	11	33.062	0.188
123	192	23	57.500	192	23	57.532	-0.032
234	172	2	23.500	172	2	22.589	0.911
345	183	37	38.750	183	37	38.516	0.234
456	170	53	31.125	170	53	30.028	1.097
567	187	47	11.250	187	47	11.099	0.151
67D	189	28	38.125	189	28	38.094	0.031
7DC	10	20	36.625	185	25	5.489	0.344
CD8	175	4	20.000	160	49	49.479	1.396
7D8	185	25	5.833	193	41	36.833	-0.119
D89	160	49	50.875	173	21	25.381	0.869
8910	193	41	36.714	199	41	2.529	-0.386
91011	173	21	26.250	181	48	28.832	0.835
1011E	199	41	2.143	164	13	27.949	1.926
11EF	181	48	29.667	188	11	33.062	0.188

*Fuente: Elaboración Propia*

Como podemos observar la variación entre los ángulos calculados mediante las coordenadas LTM y los ángulos medidos directamente mediante la estación total, tienen un error máximo de dos segundos aproximadamente, además de ello se realizó el cálculo estadístico del error medio cuadrático, obteniendo el siguiente resultado:

***Error Medio Cuadratico = 0.825 segundos***

Analizando estos resultados podemos decir que las coordenadas LTM tienen una mejor representación de los ángulos topográficos, lo cual se ve reflejado en el error medio cuadrático, siendo de 2.060 segundos el error obtenido empleando la metodología que se utiliza con frecuencia en nuestro país (UTM a topográficas), y siendo 0.825 segundos el error medio obtenido siguiendo la

metodología propuesta (LTM), con esto queda demostrado que la mejor representación angular la tienen las coordenadas LTM.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo de investigación ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

- Los valores de las coordenadas UTM en los puntos de control no deben ser tratados como coordenadas Topográficas, debido a que los valores del ajuste estarían fuera del rango de tolerancia requerida, por ello se emplean métodos de transformación y proyección.
- La diferencia en la metodología de transformación UTM a topográficas con la aplicación de coordenadas LTM, es que la primera se basa en la aplicación de los factores UTM de manera inversa con lo cual se corrige la distorsión de las distancias y ángulos punto por punto, mientras que la aplicación de coordenadas LTM se basa en la proyección de las coordenadas sobre un Plano Topográfico Local, con lo cual se obtienen coordenadas planas (topográficas).
- A pesar que la proyección UTM en los usos o zonas poseen 2 meridianos de contactos y la LTM solo una, la proyección LTM tiene mejor precisión por tener un ancho de zona más pequeño (1 grados) que la UTM (6 grados), con cual se reduce la deformación.
- La proyección LTM proyecta las distancias y ángulos por medio de una proyección conforme al igual que la UTM, con la diferencia es que, en vez de reducir las distancias y ángulos al elipsoide, la LTM la reduce a un Plano Topográfico Local (PTL) la cual pasa por la altura media del área de trabajo, esto permite tener una mejor representación de los valores, lo que se refleja en valores (ángulos y distancias) cercanos a su verdadera magnitud (Topografía), esto se evidencia en el análisis de los resultados obtenidos.

## **CAPITULO VI: RECOMENDACIONES**

A fin de complementar los resultados obtenidos de este trabajo de investigación y a la vez proponer mejoras en la precisión del replanteo de carreteras, es necesario realizar las siguientes recomendaciones:

- Aplicar la transformación de coordenadas LTM en un área de mayor a 20km de extensión y a altitudes mayores a las desarrolladas, con la finalidad de probar la efectividad de la transformación en condiciones geográficas distintas.
- Adicionar a la transformación de coordenadas LTM un vector de desplazamiento al finalizar la transformación, con la finalidad de obtener coordenadas que tengan un valor de posición cercana a la ubicación UTM, con el fin de, facilitar la localización en campo de cada punto LTM.
- Definir la latitud y longitud media del área de trabajo con grados enteros o su defecto con medios grados, además de establecer por convención el meridiano central para cada zona LTM con el fin de estandarizar las zonas o husos LTM.
- Utilizar un PTL adicional si el levantamiento tiene una variación de cotas mayor a  $\pm 300\text{m}$ .

**CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA**

- Alazan Garate, J. L. (2011). *Breve Historia de la Geodesia*. Universidad Politencia de Madrid.
- Berné Valero, J. L., Anquela Julián, A., & Garrido Villén, N. (2014). *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. España: Universidad Politécnica de València.
- Blanco García, P. A., & Rojas Roncancio, E. (2015). *Definición de Planos Topográficos Locales Para un Caso de Estudio, Poligonal Chocontá-Suesca, siguiendo la Metodología Planteada por la Norma Brasileira NBR 14166*. Bogota, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Blanco Londoño, S. A. (2014). *Conceptos Básicos de Cartografía*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Cartesian Coordinate System. (2006). *Cartesian Coordinate System*. Obtenido de Cartesian Coordinate System: <http://www.cut-the-knot.org/Curriculum/Calculus/Coordinates.shtml>
- Comision Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura. (2014). *Manual de Procedimientos Geodésicos y Topográficos*. Chile.
- Definición de Planos Topográficos Locales para un Caso de Estudio, Poligonal Predio El Triunfo – Sopó - Cundinamarca, Aplicando la Metodologia Instituto Geografico Agustin Codazzi para el Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas Origen Local*. (2015). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Durán, G. (2019). *Escuela de Datos*. Obtenido de <https://es.schoolofdata.org/>
- Fuentes Guzman, J. E. (2012). *Topografía*. Mexico: Red Tercer Milenio.
- Giovanni, R. (2003). *Georreferenciación del mapa digital de Maracaibo en el Datum REVGEN apoyándose en imágenes satelitales y mediciones GPS*. Maracaibo, Venezuela: Universidad de Zulia.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. Mexico.
- Instituto Geográfico Nacional - IGN. (Enero de 2020). *Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo - REGPMOC*. Obtenido de Instituto Geográfico Nacional: <https://www.ign.gob.pe/>
- Intituto Geografico Nacional. (2010). *Especificaciones Técnicas para Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global*. Perú.
- Jaramillo, J. L. (2011). *La Primera Misión Geodésica Francesa* . Madrid.
- Martin Asin, F. (1983). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Martín Furones , Á. (2011). *Sistema y Marco De Referencia Terrestre. Sistemas de Coordenadas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Mendoza Dueñas, J. (2010). *Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Millán Gamboa, J. M. (2006). *Cartografía Náutica*. Cádiz, España: Instituto Hidrográfico de la Marina.
- Mora, H. (2007). *Modulo de Geomatica y Demografía*.
- Muñoz Bollaz, A. (2009). *Geodesia y Cartografía*. España: Universitat Politécnica de Cataluña.
- Olaya, V. (2016). *Sistemas de Informacion Geografica*.
- Pardiñas García, J. A. (2011). *La Estación Total*. Santiago, Chile.
- Carrasco. Diaz. (2014). *Metologia de la Investigacion*.
- Salgado, E. (2016). *Geografía de México Y El Mundo*. Obtenido de Proyecciones Cartográficas: <http://erendirasalgadogeografia.blogspot.com/2016/10/proyecciones-cartograficas.html>

SIRGAS. (2018). <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/>.

Tola Vargas, R. (2010). *Aplicación de la Proyección Local Transversal de Mercator (LTM) Sobre El Plano Topográfico Local (PTL), Mediante Observaciones con Estación Total entre Puntos de Control*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

USGS, G. (2006). *USGS Science for a changing world*. Obtenido de <https://archive.usgs.gov/archive/sites/geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/sc0ma.html>

Valeije Idoeta, I. (s.f.). *Uso del Plan Topográfico Local en Obras Lineales de Ingeniería: Caso Autopista Presidente Dutra*. Sao Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.

Vilán, J. A. (2010). *KimeriusAircraft.com*. Obtenido de <https://www.kimerius.com/sat%C3%A9lites-1/>

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 : Libreta de Campo y Análisis de Datos
- Anexo 2 : Certificado de Calibración de Equipos
- Anexo 3 : Respuesta de la Compra de Data ERP
- Anexo 4 : Ficha Técnica IGN – LI01
- Anexo 5 : Reporte de Ajuste GNSS/GPS
- Anexo 6 : Calculo de Transformación de Coordenadas UTM – Topográficas
- Anexo 7 : Calculo de Transformación de Coordenadas UTM – LTM
- Anexo 8 : Ajuste de Coordenadas Topográficas
- Anexo 9 : Excel de Comparación de Datos
- Anexo 10 : Planos Elaborados
- Anexo 11 : Panel Fotográfico



## **ANEXO 01**

# **LIBRETA DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS**

**DATOS DE CAMPO**

ESTACION	B
VAT	A
VAD	1

ÁNGULO	AB1
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	164	13	35	164° 13' 35"	164.2263889	2.866291205
medida 2	164	13	30	164° 13' 30"	164.225	2.866266964
medida 3	164	13	31	164° 13' 31"	164.2252778	2.866271812
medida 4	164	13	35	164° 13' 35"	164.2263889	2.866291205
PROMEDIO	164	13	32.75	164° 13' 32.75"	164.2257639	2.866280296

DISTANCIA (m)	
LADO	B - A
medida 1	603.37
medida 2	603.37
medida 3	603.371
medida 4	603.37
PROMEDIO	603.37025

Δ ALTURA (m)	
LADO	B - A
medida 1	8.983
medida 2	8.984
medida 3	8.983
medida 4	8.984
PROMEDIO	8.983500

ALTURA EQUIPO (m)	
B	
medida 1	1.6020
medida 2	1.6015
medida 3	1.6015
PROMEDIO	1.6017

ALTURA PRISMA (m)	
A	
medida 1	1.5000
medida 2	1.5100
medida 3	1.5100
PROMEDIO	1.5067

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	195	46	33	195° 46' 33"	195.7758333	3.416932888
medida 2	195	46	30	195° 46' 30"	195.775	3.416918343
medida 3	195	46	36	195° 46' 36"	195.7766667	3.416947432
medida 4	195	46	33	195° 46' 33"	195.7758333	3.416932888
PROMEDIO	195	46	33.00	195° 46' 33"	195.7758333	3.416932888

DISTANCIA (m)	
LADO	B - 1
medida 1	836.267
medida 2	836.266
medida 3	836.265
medida 4	836.266
PROMEDIO	836.266

Δ ALTURA (m)	
LADO	B - 1
medida 1	9.555
medida 2	9.555
medida 3	9.556
medida 4	9.556
PROMEDIO	9.5555

ALTURA PRISMA (m)	
1	
medida 1	1.6300
medida 2	1.6300
medida 3	1.6500
PROMEDIO	1.6367

ESTACION	1
VAT	B
VAD	2

ÁNGULO	B12
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	188	11	25	188° 11' 25"	188.1902778	3.284539967
medida 2	188	11	36	188° 11' 36"	188.1933333	3.284593297
medida 3	188	11	28	188° 11' 28"	188.1911111	3.284554512
medida 4	188	11	28	188° 11' 28"	188.1911111	3.284554512
PROMEDIO	188	11	29.25	188° 11' 29.25"	188.1914583	3.284560572

DISTANCIA (m)	
LADO	1 - B
medida 1	836.267
medida 2	836.264
medida 3	836.264
medida 4	836.264
PROMEDIO	836.26475

Δ ALTURA (m)	
LADO	1 - B
medida 1	-7.92
medida 2	-7.921
medida 3	-7.92
medida 4	-7.919
PROMEDIO	-7.92

ALTURA EQUIPO (m)	
1	
medida 1	1.5975
medida 2	1.5985
medida 3	1.5985
PROMEDIO	1.5982

ALTURA PRISMA (m)	
B	
medida 1	1.4500
medida 2	1.4500
medida 3	1.4600
PROMEDIO	1.4533

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	171	48	23	171° 48' 23"	171.8063889	2.998587162
medida 2	171	48	24	171° 48' 24"	171.8066667	2.99859201
medida 3	171	48	22	171° 48' 22"	171.8061111	2.998582314
medida 4	171	48	22	171° 48' 22"	171.8061111	2.998582314
PROMEDIO	171	48	22.75	171° 48' 22.75"	171.8063194	2.99858595

DISTANCIA (m)	
LADO	1 - 2
medida 1	843.209
medida 2	843.208
medida 3	843.209
medida 4	843.208
PROMEDIO	843.2085

Δ ALTURA (m)	
LADO	1 - 2
medida 1	-3.198
medida 2	-3.199
medida 3	-3.199
medida 4	-3.197
PROMEDIO	-3.19825

ALTURA PRISMA (m)	
2	
medida 1	1.6350
medida 2	1.6350
medida 3	1.6350
PROMEDIO	1.6350

ESTACION	2
VAT	1
VAD	3

ÁNGULO	123
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	192	23	51	192° 23' 51"	192.3975	3.357969848
medida 2	192	24	3	192° 24' 3"	192.4008333	3.358028025
medida 3	192	23	53	192° 23' 53"	192.3980556	3.357979544
medida 4	192	23	57	192° 23' 57"	192.3991667	3.357998936
PROMEDIO	192	23	56.00	192° 23' 56"	192.3988889	3.357994088

DISTANCIA (m)	
LADO	2 - 1
medida 1	843.205
medida 2	843.206
medida 3	843.206
medida 4	843.205
PROMEDIO	843.2055

Δ ALTURA (m)	
LADO	2 - 1
medida 1	3.057
medida 2	3.058
medida 3	3.056
medida 4	3.057
PROMEDIO	3.057

ALTURA EQUIPO (m)	
2	
medida 1	1.5650
medida 2	1.5652
medida 3	1.5650
PROMEDIO	1.5651

ALTURA PRISMA (m)	
1	
medida 1	1.5150
medida 2	1.5100
medida 3	1.5150
PROMEDIO	1.5133

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	167	36	15	167° 36' 15"	167.6041667	2.925244548
medida 2	167	35	50	167° 35' 50"	167.5972222	2.925123345
medida 3	167	36	5	167° 36' 5"	167.6013889	2.925196067
medida 4	167	35	54	167° 35' 54"	167.5983333	2.925142738
PROMEDIO	167	36	1.00	167° 36' 1"	167.6002778	2.925176674

DISTANCIA (m)	
LADO	2 - 3
medida 1	573.229
medida 2	573.231
medida 3	573.23
medida 4	573.231
PROMEDIO	573.23025

Δ ALTURA (m)	
LADO	2 - 3
medida 1	1.148
medida 2	1.148
medida 3	1.149
medida 4	1.15
PROMEDIO	1.14875

ALTURA PRISMA (m)	
3	
medida 1	1.4650
medida 2	1.4600
medida 3	1.4600
PROMEDIO	1.4617

ESTACION	3
VAT	2
VAD	4

ÁNGULO	234
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	172	2	30	172° 2' 30"	172.0416667	3.002693534
medida 2	172	2	31	172° 2' 31"	172.0419444	3.002698382
medida 3	172	2	32	172° 2' 32"	172.0422222	3.00270323
medida 4	172	2	27	172° 2' 27"	172.0408333	3.00267899
PROMEDIO	172	2	30.00	172° 2' 30"	172.0416667	3.002693534

DISTANCIA (m)	
LADO	3 - 2
medida 1	573.226
medida 2	573.226
medida 3	573.224
medida 4	573.226
PROMEDIO	573.2255

Δ ALTURA (m)	
LADO	3 - 2
medida 1	-1.22
medida 2	-1.217
medida 3	-1.217
medida 4	-1.22
PROMEDIO	-1.2185

ALTURA EQUIPO (m)	
3	
medida 1	1.4900
medida 2	1.4880
medida 3	1.4890
PROMEDIO	1.4890

ALTURA PRISMA (m)	
2	
medida 1	1.5550
medida 2	1.5500
medida 3	1.5550
PROMEDIO	1.5533

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	187	57	51	187° 57' 51"	187.9641667	3.280593584
medida 2	187	57	49	187° 57' 49"	187.9636111	3.280583888
medida 3	187	57	45	187° 57' 45"	187.9625	3.280564495
medida 4	187	57	27	187° 57' 27"	187.9575	3.280477229
PROMEDIO	187	57	43.00	187° 57' 43"	187.9619444	3.280554799

DISTANCIA (m)	
LADO	3 - 4
medida 1	465.1
medida 2	465.099
medida 3	465.098
medida 4	465.1
PROMEDIO	465.09925

Δ ALTURA (m)	
LADO	3 - 4
medida 1	1.931
medida 2	1.933
medida 3	1.936
medida 4	1.933
PROMEDIO	1.93325

ALTURA PRISMA (m)	
4	
medida 1	1.5100
medida 2	1.5050
medida 3	1.5100
PROMEDIO	1.5083

ESTACION	4
VAT	3
VAD	5

ÁNGULO	345
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	183	37	30	183° 37' 30"	183.625	3.204860839
medida 2	183	37	47	183° 37' 47"	183.6297222	3.204943257
medida 3	183	37	47	183° 37' 47"	183.6297222	3.204943257
medida 4	183	37	46	183° 37' 46"	183.6294444	3.204938409
PROMEDIO	183	37	42.50	183° 37' 42.5"	183.6284722	3.204921441

DISTANCIA (m)	
LADO	4 - 3
medida 1	465.101
medida 2	465.101
medida 3	465.101
medida 4	465.101
PROMEDIO	465.101

Δ ALTURA (m)	
LADO	4 - 3
medida 1	-2.222
medida 2	-2.225
medida 3	-2.22
medida 4	-2.225
PROMEDIO	-2.223

ALTURA EQUIPO (m)	
4	
medida 1	1.3970
medida 2	1.3965
medida 3	1.3960
PROMEDIO	1.3965

ALTURA PRISMA (m)	
3	
medida 1	1.5150
medida 2	1.5250
medida 3	1.5100
PROMEDIO	1.5167

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	176	22	22	176° 22' 22"	176.3727778	3.078285683
medida 2	176	22	20	176° 22' 20"	176.3722222	3.078275987
medida 3	176	22	21	176° 22' 21"	176.3725	3.078280835
medida 4	176	22	22	176° 22' 22"	176.3727778	3.078285683
PROMEDIO	176	22	21.25	176° 22' 21.25"	176.3725694	3.078282047

DISTANCIA (m)	
LADO	4 - 5
medida 1	123.125
medida 2	123.123
medida 3	123.123
medida 4	123.125
PROMEDIO	123.124

Δ ALTURA (m)	
LADO	4 - 5
medida 1	1.335
medida 2	1.336
medida 3	1.337
medida 4	1.336
PROMEDIO	1.336

ALTURA PRISMA (m)	
5	
medida 1	1.4450
medida 2	1.4400
medida 3	1.4430
PROMEDIO	1.4427

ESTACION	5
VAT	4
VAD	6

ÁNGULO	456
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	170	53	29	170° 53' 29"	170.8913889	2.982617399
medida 2	170	53	30	170° 53' 30"	170.8916667	2.982622248
medida 3	170	53	28	170° 53' 28"	170.8911111	2.982612551
medida 4	170	53	30	170° 53' 30"	170.8916667	2.982622248
PROMEDIO	170	53	29.25	170° 53' 29.25"	170.8914583	2.982618611

DISTANCIA (m)	
LADO	5 - 4
medida 1	123.122
medida 2	123.124
medida 3	123.123
medida 4	123.123
PROMEDIO	123.123

Δ ALTURA (m)	
LADO	5 - 4
medida 1	-1.288
medida 2	-1.288
medida 3	-1.288
medida 4	-1.288
PROMEDIO	-1.288

ALTURA EQUIPO (m)	
5	
medida 1	1.4580
medida 2	1.4550
medida 3	1.4550
PROMEDIO	1.4560

ALTURA PRISMA (m)	
4	
medida 1	1.4550
medida 2	1.4500
medida 3	1.4500
PROMEDIO	1.4517

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	189	6	26	189° 6' 26"	189.1072222	3.300543667
medida 2	189	6	35	189° 6' 35"	189.1097222	3.3005873
medida 3	189	6	23	189° 6' 23"	189.1063889	3.300529123
medida 4	189	6	24	189° 6' 24"	189.1066667	3.300533971
PROMEDIO	189	6	27.00	189° 6' 27"	189.1075	3.300548515

DISTANCIA (m)	
LADO	5 - 6
medida 1	230.41
medida 2	230.411
medida 3	230.41
medida 4	230.411
PROMEDIO	230.4105

Δ ALTURA (m)	
LADO	5 - 6
medida 1	-1.826
medida 2	-1.828
medida 3	-1.825
medida 4	-1.826
PROMEDIO	-1.82625

ALTURA PRISMA (m)	
6	
medida 1	1.4100
medida 2	1.4150
medida 3	1.4120
PROMEDIO	1.4123

ESTACION	6
VAT	5
VAD	7

ÁNGULO	567
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	187	47	10	187° 47' 10"	187.7861111	3.277485928
medida 2	187	47	8	187° 47' 8"	187.7855556	3.277476232
medida 3	187	47	11	187° 47' 11"	187.7863889	3.277490777
medida 4	187	47	11	187° 47' 11"	187.7863889	3.277490777
PROMEDIO	187	47	10.00	187° 47' 10"	187.7861111	3.277485928

DISTANCIA (m)	
LADO	6 - 5
medida 1	230.404
medida 2	230.405
medida 3	230.403
medida 4	230.404
PROMEDIO	230.404

Δ ALTURA (m)	
LADO	6 - 5
medida 1	1.771
medida 2	1.777
medida 3	1.776
medida 4	1.776
PROMEDIO	1.775

ALTURA EQUIPO (m)	
6	
medida 1	1.4360
medida 2	1.4360
medida 3	1.4360
PROMEDIO	1.4360

ALTURA PRISMA (m)	
5	
medida 1	1.4450
medida 2	1.4400
medida 3	1.4350
PROMEDIO	1.4400

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	172	12	49	172° 12' 49"	172.2136111	3.005694531
medida 2	172	12	46	172° 12' 46"	172.2127778	3.005679986
medida 3	172	12	47	172° 12' 47"	172.2130556	3.005684834
medida 4	172	12	48	172° 12' 48"	172.2133333	3.005689683
PROMEDIO	172	12	47.50	172° 12' 47.5"	172.2131944	3.005687258

DISTANCIA (m)	
LADO	6 - 7
medida 1	354.594
medida 2	354.594
medida 3	354.594
medida 4	354.594
PROMEDIO	354.594

Δ ALTURA (m)	
LADO	6 - 7
medida 1	-7.651
medida 2	-7.655
medida 3	-7.65
medida 4	-7.651
PROMEDIO	-7.65175

ALTURA PRISMA (m)	
7	
medida 1	1.6250
medida 2	1.6230
medida 3	1.6250
PROMEDIO	1.6243

ESTACION	7
VAT	6
VAD	D

ÁNGULO	67D
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	189	28	39	189° 28' 39"	189.4775	3.307006233
medida 2	189	28	40	189° 28' 40"	189.4777778	3.307011082
medida 3	189	28	40	189° 28' 40"	189.4777778	3.307011082
medida 4	189	28	39	189° 28' 39"	189.4775	3.307006233
PROMEDIO	189	28	39.50	189° 28' 39.5"	189.4776389	3.307008658

DISTANCIA (m)	
LADO	7 - 6
medida 1	354.587
medida 2	354.587
medida 3	354.588
medida 4	354.587
PROMEDIO	354.58725

Δ ALTURA (m)	
LADO	7 - 6
medida 1	7.596
medida 2	7.591
medida 3	7.606
medida 4	7.596
PROMEDIO	7.59725

ALTURA EQUIPO (m)	
7	
medida 1	1.5730
medida 2	1.5730
medida 3	1.5720
PROMEDIO	1.5727

ALTURA PRISMA (m)	
6	
medida 1	1.3350
medida 2	1.3350
medida 3	1.3250
PROMEDIO	1.3317

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	170	31	25	170° 31' 25"	170.5236111	2.976198466
medida 2	170	31	22	170° 31' 22"	170.5227778	2.976183922
medida 3	170	31	22	170° 31' 22"	170.5227778	2.976183922
medida 4	170	31	24	170° 31' 24"	170.5233333	2.976193618
PROMEDIO	170	31	23.25	170° 31' 23.25"	170.523125	2.976189982

DISTANCIA (m)	
LADO	7 - D
medida 1	355.688
medida 2	355.684
medida 3	355.683
medida 4	355.684
PROMEDIO	355.68475

Δ ALTURA (m)	
LADO	7 - D
medida 1	3.045
medida 2	3.054
medida 3	3.06
medida 4	3.054
PROMEDIO	3.05325

ALTURA PRISMA (m)	
D	
medida 1	1.5840
medida 2	1.5850
medida 3	1.5840
PROMEDIO	1.5843

ESTACION	D
VAT	7
VAD	C

ÁNGULO	7DC
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	10	20	33	10° 20' 33"	10.3425	0.180510678
medida 2	10	20	35	10° 20' 35"	10.34305556	0.180520374
medida 3	10	20	32	10° 20' 32"	10.34222222	0.18050583
medida 4	10	20	33	10° 20' 33"	10.3425	0.180510678
PROMEDIO	10	20	33.25	10° 20' 33.25"	10.34256944	0.18051189

DISTANCIA (m)	
LADO	D - 7
medida 1	355.684
medida 2	355.683
medida 3	355.684
medida 4	355.683
PROMEDIO	355.6835

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - 7
medida 1	-3.002
medida 2	-3.006
medida 3	-3.009
medida 4	-3.006
PROMEDIO	-3.00575

ALTURA EQUIPO (m)	
D	
medida 1	1.5130
medida 2	1.5130
medida 3	1.5120
PROMEDIO	1.5127

ALTURA PRISMA (m)	
7	
medida 1	1.5600
medida 2	1.5650
medida 3	1.5630
PROMEDIO	1.5627

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	349	39	20	349° 39' 20"	349.6555556	6.102640692
medida 2	349	39	18	349° 39' 18"	349.655	6.102630996
medida 3	349	39	18	349° 39' 18"	349.655	6.102630996
medida 4	349	39	24	349° 39' 24"	349.6566667	6.102660085
PROMEDIO	349	39	20.00	349° 39' 20"	349.6555556	6.102640692

DISTANCIA (m)	
LADO	D - C
medida 1	417.519
medida 2	417.52
medida 3	417.52
medida 4	417.519
PROMEDIO	417.5195

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - C
medida 1	-4.745
medida 2	-4.757
medida 3	-4.755
medida 4	-4.751
PROMEDIO	-4.752

ALTURA PRISMA (m)	
C	
medida 1	1.5200
medida 2	1.5300
medida 3	1.5200
PROMEDIO	1.5233

ESTACION	D
VAT	C
VAD	8

ÁNGULO	CD8
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	175	4	23	175° 4' 23"	175.0730556	3.055601251
medida 2	175	4	25	175° 4' 25"	175.0736111	3.055610947
medida 3	175	4	24	175° 4' 24"	175.0733333	3.055606099
medida 4	175	4	23	175° 4' 23"	175.0730556	3.055601251
PROMEDIO	175	4	23.75	175° 4' 23.75"	175.0732639	3.055604887

DISTANCIA (m)	
LADO	D - C
medida 1	417.519
medida 2	417.52
medida 3	417.52
medida 4	417.519
PROMEDIO	417.5195

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - C
medida 1	-4.745
medida 2	-4.757
medida 3	-4.755
medida 4	-4.751
PROMEDIO	-4.752

ALTURA EQUIPO (m)	
D	
medida 1	1.5130
medida 2	1.5130
medida 3	1.5120
PROMEDIO	1.5127

ALTURA PRISMA (m)	
C	
medida 1	1.5200
medida 2	1.5300
medida 3	1.5200
PROMEDIO	1.5233

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	184	55	52	184° 55' 52"	184.9311111	3.227656778
medida 2	184	55	44	184° 55' 44"	184.9288889	3.227617993
medida 3	184	55	38	184° 55' 38"	184.9272222	3.227588904
medida 4	184	55	41	184° 55' 41"	184.9280556	3.227603449
PROMEDIO	184	55	43.75	184° 55' 43.75"	184.9288194	3.227616781

DISTANCIA (m)	
LADO	D - 8
medida 1	605.538
medida 2	605.536
medida 3	605.537
medida 4	605.536
PROMEDIO	605.53675

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - 8
medida 1	-6.607
medida 2	-6.61
medida 3	-6.61
medida 4	-6.607
PROMEDIO	-6.6085

ALTURA PRISMA (m)	
8	
medida 1	1.5600
medida 2	1.5650
medida 3	1.5630
PROMEDIO	1.5627

ESTACION	D
VAT	7
VAD	8

ÁNGULO	7D8
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	185	25	14	185° 25' 14"	185.4205586	3.236199195
medida 2	185	25	6	185° 25' 6"	185.4183333	3.23616041
medida 3	185	25	2	185° 25' 2"	185.4172222	3.236141018
medida 4	185	25	4	185° 25' 4"	185.4177778	3.236150714
PROMEDIO	185	25	6.50	185° 25' 6.5"	185.4184722	3.236162834

DISTANCIA (m)	
LADO	D - 7
medida 1	355.684
medida 2	355.683
medida 3	355.684
medida 4	355.683
PROMEDIO	355.6835

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - 7
medida 1	-3.002
medida 2	-3.006
medida 3	-3.009
medida 4	-3.006
PROMEDIO	-3.00575

ALTURA EQUIPO (m)	
D	
medida 1	1.5130
medida 2	1.5130
medida 3	1.5120
PROMEDIO	1.5127

ALTURA PRISMA (m)	
7	
medida 1	1.5850
medida 2	1.5750
medida 3	1.5700
PROMEDIO	1.5767

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	174	34	53	174° 34' 53"	174.5813889	3.047020049
medida 2	174	34	50	174° 34' 50"	174.5805556	3.047005504
medida 3	174	34	54	174° 34' 54"	174.5816667	3.047024897
medida 4	174	35	2	174° 35' 2"	174.5838889	3.047063682
PROMEDIO	174	34	54.75	174° 34' 54.75"	174.581875	3.047028533

DISTANCIA (m)	
LADO	D - 8
medida 1	605.538
medida 2	605.536
medida 3	605.537
medida 4	605.536
PROMEDIO	605.53675

Δ ALTURA (m)	
LADO	D - 8
medida 1	-6.607
medida 2	-6.61
medida 3	-6.61
medida 4	-6.607
PROMEDIO	-6.6085

ALTURA PRISMA (m)	
8	
medida 1	1.5600
medida 2	1.5650
medida 3	1.5630
PROMEDIO	1.5627

ESTACION	8
VAT	D
VAD	9

ÁNGULO	D89
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	160	49	47	160° 49' 47"	160.8297222	2.807008188
medida 2	160	49	56	160° 49' 56"	160.8322222	2.807051821
medida 3	160	49	55	160° 49' 55"	160.8319444	2.807046973
medida 4	160	49	54	160° 49' 54"	160.8316667	2.807042125
PROMEDIO	160	49	53.00	160° 49' 53"	160.8313889	2.807037277

DISTANCIA (m)	
LADO	8 - D
medida 1	605.552
medida 2	605.551
medida 3	605.551
medida 4	605.552
PROMEDIO	605.5515

Δ ALTURA (m)	
LADO	8 - D
medida 1	5.682
medida 2	5.667
medida 3	5.665
medida 4	5.667
PROMEDIO	5.67025

ALTURA EQUIPO (m)	
8	
medida 1	1.5820
medida 2	1.5830
medida 3	1.5840
PROMEDIO	1.5830

ALTURA PRISMA (m)	
D	
medida 1	1.5100
medida 2	1.5100
medida 3	1.5150
PROMEDIO	1.5117

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	199	10	12	199° 10' 12"	199.17	3.476172271
medida 2	199	10	13	199° 10' 13"	199.1702778	3.476177119
medida 3	199	10	10	199° 10' 10"	199.1694444	3.476162575
medida 4	199	10	10	199° 10' 10"	199.1694444	3.476162575
PROMEDIO	199	10	11.25	199° 10' 11.25"	199.1697917	3.476168635

DISTANCIA (m)	
LADO	8 - 9
medida 1	1009.236
medida 2	1009.237
medida 3	1009.237
medida 4	1009.236
PROMEDIO	1009.2365

Δ ALTURA (m)	
LADO	8 - 9
medida 1	-1.859
medida 2	-1.835
medida 3	-1.849
medida 4	-1.849
PROMEDIO	-1.848

ALTURA PRISMA (m)	
9	
medida 1	1.6200
medida 2	1.6240
medida 3	1.6180
PROMEDIO	1.6207

ESTACION	9
VAT	8
VAD	10

ÁNGULO	8910
--------	------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	193	41	39	193° 41' 39"	193.6941667	3.38060095
medida 2	193	41	25	193° 41' 25"	193.6902778	3.380533076
medida 3	193	41	41	193° 41' 41"	193.6947222	3.380610647
medida 4	193	41	40	193° 41' 40"	193.6944444	3.380605798
PROMEDIO	193	41	36.25	193° 41' 36.25"	193.6934028	3.380587618

DISTANCIA (m)	
LADO	9 - 8
medida 1	1009.242
medida 2	1009.242
medida 3	1009.239
medida 4	1009.244
PROMEDIO	1009.24175

Δ ALTURA (m)	
LADO	9 - 8
medida 1	1.860
medida 2	1.860
medida 3	1.859
medida 4	
PROMEDIO	1.859666667

ALTURA EQUIPO (m)	
9	
medida 1	1.5560
medida 2	1.5570
medida 3	1.5560
PROMEDIO	1.5563

ALTURA PRISMA (m)	
8	
medida 1	1.4700
medida 2	1.4650
medida 3	1.4650
PROMEDIO	1.4667

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	166	18	38	166° 18' 38"	166.3105556	2.902666775
medida 2	166	18	19	166° 18' 19"	166.3052778	2.902574661
medida 3	166	18	27	166° 18' 27"	166.3075	2.902613446
medida 4	166	18	22	166° 18' 22"	166.3061111	2.902589205
PROMEDIO	166	18	26.50	166° 18' 26.5"	166.3073611	2.902611022

DISTANCIA (m)	
LADO	9 - 10
medida 1	290.122
medida 2	290.122
medida 3	290.122
medida 4	290.122
PROMEDIO	290.122

Δ ALTURA (m)	
LADO	9 - 10
medida 1	8.419
medida 2	8.422
medida 3	8.423
medida 4	
PROMEDIO	8.421333333

ALTURA PRISMA (m)	
10	
medida 1	1.5200
medida 2	1.5190
medida 3	1.5200
PROMEDIO	1.5197

ESTACION	10
VAT	9
VAD	11

ÁNGULO	91011
--------	-------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	173	21	25	173° 21' 25"	173.3569444	3.025649462
medida 2	173	21	24	173° 21' 24"	173.3566667	3.025644614
medida 3	173	21	20	173° 21' 20"	173.3555556	3.025625221
medida 4	173	21	22	173° 21' 22"	173.3561111	3.025634917
PROMEDIO	173	21	22.75	173° 21' 22.75"	173.3563194	3.025638553

DISTANCIA (m)	
LADO	10 - 9
medida 1	290.12
medida 2	290.12
medida 3	290.119
medida 4	
PROMEDIO	290.1196667

Δ ALTURA (m)	
LADO	10 - 9
medida 1	-8.535
medida 2	-8.537
medida 3	-8.539
medida 4	
PROMEDIO	-8.537

ALTURA EQUIPO (m)	
10	
medida 1	1.5690
medida 2	1.5685
medida 3	1.5680
PROMEDIO	1.5685

ALTURA PRISMA (m)	
9	
medida 1	1.4500
medida 2	1.4600
medida 3	1.4600
PROMEDIO	1.4567

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	186	38	25	186° 38' 25"	186.6402778	3.257487364
medida 2	186	38	31	186° 38' 31"	186.6419444	3.257516453
medida 3	186	38	35	186° 38' 35"	186.6430556	3.257535845
medida 4	186	38	30	186° 38' 30"	186.6416667	3.257511605
PROMEDIO	186	38	30.25	186° 38' 30.25"	186.6417361	3.257512817

DISTANCIA (m)	
LADO	10 - 11
medida 1	446.027
medida 2	446.027
medida 3	446.027
medida 4	
PROMEDIO	446.027

Δ ALTURA (m)	
LADO	10 - 11
medida 1	-7.143
medida 2	-7.145
medida 3	-7.145
medida 4	
PROMEDIO	-7.144333333

ALTURA PRISMA (m)	
11	
medida 1	1.4540
medida 2	1.4560
medida 3	1.4540
PROMEDIO	1.4547



ESTACION	11
VAT	10
VAD	E

ÁNGULO	1011E
--------	-------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	199	41	0	199° 41' 0"	199.6833333	3.485131628
medida 2	199	41	4	199° 41' 4"	199.6844444	3.485151021
medida 3	199	41	0	199° 41' 0"	199.6833333	3.485131628
medida 4	199	41	4	199° 41' 4"	199.6844444	3.485151021
PROMEDIO	199	41	2.00	199° 41' 2"	199.6838889	3.485141324

DISTANCIA (m)	
LADO	11 - 10
medida 1	446.025
medida 2	446.028
medida 3	446.026
medida 4	
PROMEDIO	446.0263333

Δ ALTURA (m)	
LADO	11 - 10
medida 1	6.944
medida 2	6.944
medida 3	6.947
medida 4	
PROMEDIO	6.945

ALTURA EQUIPO (m)	
11	
medida 1	1.5390
medida 2	1.5385
medida 3	1.5390
PROMEDIO	1.5388

ALTURA PRISMA (m)	
10	
medida 1	1.4450
medida 2	1.4400
medida 3	1.4500
PROMEDIO	1.4450

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	160	18	57	160° 18' 57"	160.3158333	2.798039135
medida 2	160	18	57	160° 18' 57"	160.3158333	2.798039135
medida 3	160	18	59	160° 18' 59"	160.3163889	2.798048831
medida 4	160	18	22	160° 18' 22"	160.3061111	2.79786945
PROMEDIO	160	18	48.75	160° 18' 48.75"	160.3135417	2.797999138

DISTANCIA (m)	
LADO	11 - E
medida 1	1066.318
medida 2	1066.316
medida 3	1066.317
medida 4	
PROMEDIO	1066.317

Δ ALTURA (m)	
LADO	11 - E
medida 1	-1.878
medida 2	-1.852
medida 3	-1.852
medida 4	
PROMEDIO	-1.86066667

ALTURA PRISMA (m)	
E	
medida 1	1.5940
medida 2	1.5950
medida 3	1.5960
PROMEDIO	1.5950

ESTACION	E
VAT	11
VAD	F

ÁNGULO	11EF
--------	------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	181	48	27	181° 48' 27"	181.8075	3.17313948
medida 2	181	48	32	181° 48' 32"	181.8088889	3.173163721
medida 3	181	48	42	181° 48' 42"	181.8116667	3.173212202
medida 4	181	48	27	181° 48' 27"	181.8075	3.17313948
PROMEDIO	181	48	32.00	181° 48' 32"	181.8088889	3.173163721

DISTANCIA (m)	
LADO	E - 11
medida 1	1066.316
medida 2	1066.315
medida 3	1066.316
medida 4	
PROMEDIO	1066.315667

Δ ALTURA (m)	
LADO	E - 11
medida 1	1.902
medida 2	1.901
medida 3	1.901
medida 4	
PROMEDIO	1.901333333

ALTURA EQUIPO (m)	
E	
medida 1	1.5885
medida 2	1.5885
medida 3	1.5880
PROMEDIO	1.5883

ALTURA PRISMA (m)	
11	
medida 1	1.5100
medida 2	1.5050
medida 3	1.5150
PROMEDIO	1.5100

MEDIDA	ÁNGULO INVERSO					
	Grado	Minuto	Segundo	Presentación	Decimal	Radian
medida 1	178	11	23	178° 11' 23"	178.1897222	3.109997346
medida 2	178	11	28	178° 11' 28"	178.1911111	3.110021587
medida 3	178	11	30	178° 11' 30"	178.1916667	3.110031283
medida 4	178	11	30	178° 11' 30"	178.1916667	3.110031283
PROMEDIO	178	11	27.75	178° 11' 27.75"	178.1910417	3.110020375

DISTANCIA (m)	
LADO	E - F
medida 1	682.906
medida 2	682.907
medida 3	682.904
medida 4	
PROMEDIO	682.9056667

Δ ALTURA (m)	
LADO	E - F
medida 1	-0.224
medida 2	-0.224
medida 3	-0.22
medida 4	
PROMEDIO	-0.222666667

ALTURA PRISMA (m)	
F	
medida 1	1.1200
medida 2	1.1220
medida 3	1.1200
PROMEDIO	1.1207

## Criterio de Chauvenet

$$X_R = \bar{X} \pm K_{(n)} \cdot s$$

n	K <sub>n</sub>	n	K <sub>n</sub>
2	1.15	15	2.13
3	1.38	20	2.24
4	1.54	25	2.33
5	1.65	30	2.40
6	1.73	40	2.48
7	1.80	50	2.57
8	1.86	100	2.81
9	1.92	300	3.14
10	1.96	500	3.29
		1000	3.48

DISTANCIA (m)			
LADO	B - A	n	4
medida 1	603.3700	kn	1.54
medida 2	603.3700	dev. Estandar	0.000433013
medida 3	603.3710	prom	603.3703
medida 4	603.3700	Valor (max)	603.3709
PROMEDIO	603.3703	Valor (min)	603.3696
DISTANCIA (m)			
LADO	B - A	n	3
medida 1	603.3700	kn	1.38
medida 2	603.3700	dev. Estandar	0
medida 4	603.3700	prom	603.3700
PROMEDIO	603.3700	Valor (max)	603.3700
		Valor (min)	603.3700

DISTANCIA (m)			
LADO	B - 1	n	8
medida 1	836.2670	kn	1.86
medida 2	836.2660	dev. Estandar	0.001218349
medida 3	836.2650	prom	836.2654
medida 4	836.2660	Valor (max)	836.2676
medida 1	836.2670	Valor (min)	836.2631
medida 2	836.2640		
medida 3	836.2640		
medida 4	836.2640		
PROMEDIO	836.2654		

DISTANCIA (m)			
LADO	1 - 2	n	8
medida 1	843.2090	kn	1.86
medida 2	843.2080	dev. Estandar	0.001581139
medida 3	843.2090	prom	843.2070
medida 4	843.2080	Valor (max)	843.2099
medida 1	843.2050	Valor (min)	843.2041
medida 2	843.2060		
medida 3	843.2060		
medida 4	843.2050		
PROMEDIO	843.2070		

DISTANCIA (m)			
LADO	2 - 3	n	8
medida 1	573.2290	kn	1.86
medida 2	573.2310	dev. Estandar	0.00252178
medida 3	573.2300	prom	573.2279
medida 4	573.2310	Valor (max)	573.2326
medida 1	573.2260	Valor (min)	573.2232
medida 2	573.2260		
medida 3	573.2240		
medida 4	573.2260		
<b>PROMEDIO</b>	<b>573.2279</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	3 - 4	n	8
medida 1	465.1000	kn	1.86
medida 2	465.0990	dev. Estandar	0.001053269
medida 3	465.0980	prom	465.1001
medida 4	465.1000	Valor (max)	465.1021
medida 1	465.1010	Valor (min)	465.0982
medida 2	465.1010		
medida 3	465.1010		
medida 4	465.1010		
<b>PROMEDIO</b>	<b>465.1001</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	3 - 4	n	7
medida 1	465.1000	kn	1.8
medida 2	465.0990	dev. Estandar	0.000728431
medida 4	465.1000	prom	465.1004
medida 1	465.1010	Valor (max)	465.1017
medida 2	465.1010	Valor (min)	465.0991
medida 3	465.1010		
medida 4	465.1010		
<b>PROMEDIO</b>	<b>465.1004</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	3 - 4	n	6
medida 1	465.1000	kn	1.73
medida 4	465.1000	dev. Estandar	0.000471405
medida 1	465.1010	prom	465.1004
medida 2	465.1010	Valor (max)	465.1012
medida 3	465.1010	Valor (min)	465.0996
medida 4	465.1010		
<b>PROMEDIO</b>	<b>465.1004</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	4 - 5	n	8
medida 1	123.1250	kn	1.86
medida 2	123.1230	dev. Estandar	0.001
medida 3	123.1230	prom	123.1235
medida 4	123.1250	Valor (max)	123.1254
medida 1	123.1220	Valor (min)	123.1216
medida 2	123.1240		
medida 3	123.1230		
medida 4	123.1230		
<b>PROMEDIO</b>	<b>123.1235</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	5 - 6	n	8
medida 1	230.4100	kn	1.86
medida 2	230.4110	dev. Estandar	0.003307189
medida 3	230.4100	prom	230.4073
medida 4	230.4110	Valor (max)	230.4134
medida 1	230.4040	Valor (min)	230.4011
medida 2	230.4050		
medida 3	230.4030		
medida 4	230.4040		
<b>PROMEDIO</b>	<b>230.4073</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	6 - 7	n	8
medida 1	354.5940	kn	1.86
medida 2	354.5940	dev. Estandar	0.00338886
medida 3	354.5940	prom	354.5906
medida 4	354.5940	Valor (max)	354.5969
medida 1	354.5870	Valor (min)	354.5843
medida 2	354.5870		
medida 3	354.5880		
medida 4	354.5870		
<b>PROMEDIO</b>	<b>354.5906</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	7 - D	n	8
medida 1	355.6880	kn	1.86
medida 2	355.6840	dev. Estandar	0.001536026
medida 3	355.6830	prom	355.6841
medida 4	355.6840	Valor (max)	355.6870
medida 1	355.6840	Valor (min)	355.6813
medida 2	355.6830		
medida 3	355.6840		
medida 4	355.6830		
PROMEDIO	355.6841		
DISTANCIA (m)			
LADO	7 - D	n	7
medida 2	355.6840	kn	1.8
medida 3	355.6830	dev. Estandar	0.000494872
medida 4	355.6840	prom	355.6836
medida 1	355.6840	Valor (max)	355.6845
medida 2	355.6830	Valor (min)	355.6827
medida 3	355.6840		
medida 4	355.6830		
<b>PROMEDIO</b>	<b>355.6836</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	D - C	n	4
medida 1	417.5190	kn	1.54
medida 2	417.5200	dev. Estandar	0.0005
medida 3	417.5200	prom	417.5195
medida 4	417.5190	Valor (max)	417.5203
<b>PROMEDIO</b>	<b>417.5195</b>	Valor (min)	417.5187

DISTANCIA (m)			
LADO	D - 8	n	8
medida 1	605.5380	kn	1.86
medida 2	605.5360	dev. Estandar	0.007406711
medida 3	605.5370	prom	605.5441
medida 4	605.5360	Valor (max)	605.5579
medida 1	605.5520	Valor (min)	605.5303
medida 2	605.5510		
medida 3	605.5510		
medida 4	605.5520		
<b>PROMEDIO</b>	<b>605.5441</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	8 - 9	n	8
medida 1	1009.2360	kn	1.86
medida 2	1009.2370	dev. Estandar	0.002934174
medida 3	1009.2370	prom	1009.2391
medida 4	1009.2360	Valor (max)	1009.2446
medida 1	1009.2420	Valor (min)	1009.2337
medida 2	1009.2420		
medida 3	1009.2390		
medida 4	1009.2440		
<b>PROMEDIO</b>	<b>1009.2391</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	9 - 10	n	7
medida 1	290.1220	kn	1.8
medida 2	290.1220	dev. Estandar	0.001195229
medida 3	290.1220	prom	290.1210
medida 4	290.1220	Valor (max)	290.1232
medida 1	290.1200	Valor (min)	290.1188
medida 2	290.1200		
medida 3	290.1190		
<b>PROMEDIO</b>	<b>290.1210</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	10 - 11	n	6
medida 1	446.0270	kn	1.73
medida 2	446.0270	dev. Estandar	0.000942809
medida 3	446.0270	prom	446.0267
medida 1	446.0250	Valor (max)	446.0283
medida 2	446.0280	Valor (min)	446.0250
medida 3	446.0260		
<b>PROMEDIO</b>	<b>446.0267</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	10 - 11	n	5
medida 1	446.0270	kn	1.65
medida 2	446.0270	dev. Estandar	0.000632456
medida 3	446.0270	prom	446.0270
medida 2	446.0280	Valor (max)	446.0280
medida 3	446.0260	Valor (min)	446.0260
<b>PROMEDIO</b>	<b>446.0270</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	11 - E	n	6
medida 1	1066.3180	kn	1.73
medida 2	1066.3160	dev. Estandar	0.000942809
medida 3	1066.3170	prom	1066.3163
medida 1	1066.3160	Valor (max)	1066.3180
medida 2	1066.3150	Valor (min)	1066.3147
medida 3	1066.3160		
PROMEDIO	1066.3163		
DISTANCIA (m)			
LADO	11 - E	n	5
medida 2	1066.3160	kn	1.65
medida 3	1066.3170	dev. Estandar	0.000632456
medida 1	1066.3160	prom	1066.3160
medida 2	1066.3150	Valor (max)	1066.3170
medida 3	1066.3160	Valor (min)	1066.3150
<b>PROMEDIO</b>	<b>1066.3160</b>		

DISTANCIA (m)			
LADO	E - F	n	6
medida 1	682.9060	kn	1.73
medida 2	682.9070	dev. Estandar	0.001247219
medida 3	682.9040	prom	682.9057
<b>PROMEDIO</b>	<b>682.9057</b>	Valor (max)	682.9078
		Valor (min)	682.9035

**DATOS DE CAMPO**

**Criterio de Chauvenet**

ESTACION	B
VAT	A
VAD	1

ÁNGULO	AB1
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO				
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	164	13	35	164.2263889	2.866291205
medida 2	164	13	30	164.225	2.866266964
medida 3	164	13	31	164.2252778	2.866271812
medida 4	164	13	35	164.2263889	2.866291205
medida 1	164	13	27	164.2241667	2.86625242
medida 2	164	13	30	164.2250000	2.866266964
medida 3	164	13	24	164.2233333	2.866237875
medida 4	164	13	27	164.2241667	2.86625242
PROMEDIO	164	13	29.875	164.2249653	2.866266358

ESTACION	1
VAT	B
VAD	2

ÁNGULO	B12
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO				
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	188	11	25	188.1902778	3.284539967
medida 2	188	11	36	188.1933333	3.284593297
medida 3	188	11	28	188.1911111	3.284554512
medida 4	188	11	28	188.1911111	3.284554512
medida 1	188	11	37	188.1936111	3.284598145
medida 2	188	11	36	188.1933333	3.284593297
medida 3	188	11	38	188.1938889	3.284602993
medida 4	188	11	38	188.1938889	3.284602993
PROMEDIO	188	11	33.25	188.1925694	3.284579965

$$X_R = \bar{X} \pm K_{(n)} \cdot s$$

n	K <sub>n</sub>	n	K <sub>n</sub>
2	1.15	15	2.13
3	1.38	20	2.24
4	1.54	25	2.33
5	1.65	30	2.40
6	1.73	40	2.48
7	1.80	50	2.57
8	1.86	100	2.81
9	1.92	300	3.14
10	1.96	500	3.29
		1000	3.48

n	8
kn	1.86

dev. Estandar	1.75536E-05
prom	2.866266358

		Angulo			
Valor (max)	2.866299008	164.226836	164	13	37
Valor (min)	2.866233708	164.2230946	164	13	23

n	8
kn	1.86

dev. Estandar	2.40887E-05
prom	3.284579965

		Angulo			
Valor (max)	3.28462477	188.1951366	188	11	42
Valor (min)	3.28453516	188.1900023	188	11	24

ESTACION	2
VAT	1
VAD	3

ÁNGULO	123
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	192	23	51	192.3975	3.357969848
medida 2	192	24	3	192.4008333	3.358028025
medida 3	192	23	53	192.3980556	3.357979544
medida 4	192	23	57	192.3991667	3.357998936
medida 1	192	23	45	192.3958333	3.357940759
medida 2	192	24	10	192.4027778	3.358061962
medida 3	192	23	55	192.3986111	3.35798924
medida 4	192	24	6	192.4016667	3.35804257
PROMEDIO	192	23	57.5	192.3993056	3.35800136

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	3.77097E-05				
prom	3.35800136				
	Angulo				
Valor (max)	3.3580715	192.4033243	192	24	12
Valor (min)	3.357931221	192.3952868	192	23	43

ESTACION	3
VAT	2
VAD	4

ÁNGULO	234
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	172	2	30	172.0416667	3.002693534
medida 2	172	2	31	172.0419444	3.002698382
medida 3	172	2	32	172.0422222	3.00270323
medida 4	172	2	27	172.0408333	3.00267899
medida 1	172	2	9	172.0358333	3.002591723
medida 2	172	2	11	172.0363889	3.002601419
medida 3	172	2	15	172.0375	3.002620812
medida 4	172	2	33	172.0425	3.002708078
PROMEDIO	172	2	23.5	172.0398611	3.002662021

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	4.57372E-05				
prom	3.002662021				
	Angulo				
Valor (max)	3.002747092	172.0447353	172	2	41
Valor (min)	3.00257695	172.0349869	172	2	6



ESTACION	4
VAT	3
VAD	5

ÁNGULO	345
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO				
	0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal
medida 1	183	37	30	183.625	3.204860839
medida 2	183	37	47	183.6297222	3.204943257
medida 3	183	37	47	183.6297222	3.204943257
medida 4	183	37	46	183.6294444	3.204938409
medida 1	183	37	38	183.6272222	3.204899624
medida 2	183	37	40	183.6277778	3.20490932
medida 3	183	37	39	183.6275	3.204904472
medida 4	183	37	38	183.6272222	3.204899624
PROMEDIO	183	37	38.75	183.6274306	3.20490326

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	2.65474E-05				
prom	3.20490326				
	Angulo				
Valor (max)	3.204952638	183.6302597	183	37	49
Valor (min)	3.204853882	183.6246014	183	37	29

ESTACION	5
VAT	4
VAD	6

ÁNGULO	456
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO				
	0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal
medida 1	170	53	29	170.8913889	2.982617399
medida 2	170	53	30	170.8916667	2.982622248
medida 3	170	53	28	170.8911111	2.982612551
medida 4	170	53	30	170.8916667	2.982622248
medida 1	170	53	34	170.8927778	2.98264164
medida 2	170	53	25	170.8902778	2.982598007
medida 3	170	53	37	170.8936111	2.982656185
medida 4	170	53	36	170.8933333	2.982651336
PROMEDIO	170	53	31.125	170.8919792	2.982627702

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	1.88451E-05				
prom	2.982627702				
	Angulo				
Valor (max)	2.982662754	170.8939875	170	53	38
Valor (min)	2.98259265	170.8899708	170	53	24

ESTACION	6
VAT	5
VAD	7

ÁNGULO	567
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	187	47	10	187.7861111	3.277485928
medida 2	187	47	8	187.7855556	3.277476232
medida 3	187	47	11	187.7863889	3.277490777
medida 4	187	47	11	187.7863889	3.277490777
medida 1	187	47	11	187.7863889	3.277490777
medida 2	187	47	14	187.7872222	3.277505321
medida 3	187	47	13	187.7869444	3.277500473
medida 4	187	47	12	187.7866667	3.277495625
PROMEDIO	187	47	11.25	187.7864583	3.277491989

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	8.76066E-06				
prom	3.277495625	Angulo			
Valor (max)	3.27751192	187.7876003	187	47	15
Valor (min)	3.27747933	187.785733	187	47	9

ESTACION	7
VAT	6
VAD	D

ÁNGULO	67D
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	189	28	39	189.4775	3.307006233
medida 2	189	28	40	189.4777778	3.307011082
medida 3	189	28	40	189.4777778	3.307011082
medida 4	189	28	39	189.4775	3.307006233
medida 1	189	28	35	189.4763889	3.306986841
medida 2	189	28	38	189.4772222	3.307001385
medida 3	189	28	38	189.4772222	3.307001385
medida 4	189	28	36	189.4766667	3.306991689
PROMEDIO	189	28	38.125	189.4772569	3.307001991

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	8.19805E-06				
prom	3.307001991	Angulo			
Valor (max)	3.30701724	189.4781306	189	28	41
Valor (min)	3.306986743	189.4763833	189	28	35

ESTACION	D
VAT	7
VAD	C

ÁNGULO	7DC
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	10	20	33	10.3425	0.180510678
medida 2	10	20	35	10.34305556	0.180520374
medida 3	10	20	32	10.34222222	0.18050583
medida 4	10	20	33	10.3425	0.180510678
medida 1	10	20	40	10.34444444	0.180544615
medida 2	10	20	42	10.345	0.180554311
medida 3	10	20	42	10.345	0.180554311
medida 4	10	20	36	10.34333333	0.180525222
PROMEDIO	10	20	36.625	10.34350694	0.180528252

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	1.8767E-05				
prom	0.180528252				
	Angulo				
Valor (max)	0.180563159	10.34550694	10	20	44
Valor (min)	0.180493346	10.34150695	10	20	29

ESTACION	D
VAT	C
VAD	8

ÁNGULO	CD8
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	175	4	23	175.0730556	3.055601251
medida 2	175	4	25	175.0736111	3.055610947
medida 3	175	4	24	175.0733333	3.055606099
medida 4	175	4	23	175.0730556	3.055601251
medida 1	175	4	8	175.0688889	3.055528529
medida 2	175	4	16	175.0711111	3.055567314
medida 3	175	4	22	175.0727778	3.055596403
medida 4	175	4	19	175.0719444	3.055581858
PROMEDIO	175	4	20	175.0722222	3.055586707

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	2.56539E-05				
prom	3.055586707				
	Angulo				
Valor (max)	3.055634423	175.0749562	175	4	30
Valor (min)	3.05553899	175.0694883	175	4	10

ESTACION	D
VAT	7
VAD	8

ÁNGULO	7D8
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	185	25	14	185.4205556	3.236199195
medida 2	185	25	6	185.4183333	3.23616041
medida 3	185	25	2	185.4172222	3.236141018
medida 4	185	25	4	185.4177778	3.236150714
medida 1	185	25	7	185.4186111	3.236165258
medida 2	185	25	10	185.4194444	3.236179803
medida 3	185	25	6	185.4183333	3.23616041
medida 4	185	24	58	185.4161111	3.236121625
PROMEDIO	185	25	5.875	185.4182986	3.236159804

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 2	185	25	6	185.4183333	3.23616041
medida 3	185	25	2	185.4172222	3.236141018
medida 4	185	25	4	185.4177778	3.236150714
medida 1	185	25	7	185.4186111	3.236165258
medida 2	185	25	10	185.4194444	3.236179803
medida 3	185	25	6	185.4183333	3.23616041
medida 4	185	24	58	185.4161111	3.236121625
PROMEDIO	185	25	4.714285714	185.4179762	3.236154177

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 2	185	25	6	185.4183333	3.23616041
medida 3	185	25	2	185.4172222	3.236141018
medida 4	185	25	4	185.4177778	3.236150714
medida 1	185	25	7	185.4186111	3.236165258
medida 2	185	25	10	185.4194444	3.236179803
medida 3	185	25	6	185.4183333	3.23616041
PROMEDIO	185	25	5.833333333	185.418287	3.236159602

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	2.20094E-05				
prom	3.236159804				
Angulo					
Valor (max)	3.236200742	185.4206442	185	25	14
Valor (min)	3.236118867	185.4159531	185	24	57

n	7				
kn	1.8				
dev. Estandar	1.73286E-05				
prom	3.236154177				
Angulo					
Valor (max)	3.236185368	185.4197633	185	25	11
Valor (min)	3.236122985	185.416189	185	24	58

n	6				
kn	1.73				
dev. Estandar	1.20121E-05				
prom	3.236159602				
Angulo					
Valor (max)	3.236180383	185.4194777	185	25	10
Valor (min)	3.236138821	185.4170964	185	25	2

ESTACION	8
VAT	D
VAD	9

ÁNGULO	D89
--------	-----

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	160	49	47	160.8297222	2.807008188
medida 2	160	49	56	160.8322222	2.807051821
medida 3	160	49	55	160.8319444	2.807046973
medida 4	160	49	54	160.8316667	2.807042125
medida 1	160	49	48	160.8300000	2.807013036
medida 2	160	49	47	160.8297222	2.807008188
medida 3	160	49	50	160.8305556	2.807022732
medida 4	160	49	50	160.8305556	2.807022732
PROMEDIO	160	49	50.875	160.8307986	2.807026974

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	1.65188E-05				
prom	2.807026974				
	Angulo				
Valor (max)	2.807057699	160.832559	160	49	57
Valor (min)	2.806996249	160.8290382	160	49	45

ESTACION	9
VAT	8
VAD	10

ÁNGULO	8910
--------	------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	193	41	39	193.6941667	3.38060095
medida 2	193	41	25	193.6902778	3.380533076
medida 3	193	41	41	193.6947222	3.380610647
medida 4	193	41	40	193.6944444	3.380605798
medida 1	193	41	22	193.6894444	3.380518532
medida 2	193	41	41	193.6947222	3.380610647
medida 3	193	41	33	193.6925	3.380571861
medida 4	193	41	38	193.6938889	3.380596102
PROMEDIO	193	41	34.875	193.6930208	3.380580952

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	3.40612E-05				
prom	3.380580952				
	Angulo				
Valor (max)	3.380644305	193.6966507	193	41	48
Valor (min)	3.380517598	193.6893909	193	41	22

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	193	41	39	193.6941667	3.38060095
medida 2	193	41	25	193.6902778	3.380533076
medida 3	193	41	41	193.6947222	3.380610647
medida 4	193	41	40	193.6944444	3.380605798
medida 2	193	41	41	193.6947222	3.380610647
medida 3	193	41	33	193.6925	3.380571861
medida 4	193	41	38	193.6938889	3.380596102
PROMEDIO	193	41	36.71428571	193.6935317	3.380589869

n	7				
kn	1.8				
dev. Estandar	2.62637E-05				
prom	3.380589869				
	Angulo				
Valor (max)	3.380637143	193.6962404	193	41	46
Valor (min)	3.380542594	193.6908231	193	41	27

ESTACION	10
VAT	9
VAD	11

ÁNGULO	91011
--------	-------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	173	21	25	173.3569444	3.025649462
medida 2	173	21	24	173.3566667	3.025644614
medida 3	173	21	20	173.3555556	3.025625221
medida 4	173	21	22	173.3561111	3.025634917
medida 1	173	21	35	173.3597222	3.025697943
medida 2	173	21	29	173.3580556	3.025668854
medida 3	173	21	25	173.3569444	3.025649462
medida 4	173	21	30	173.3583333	3.025673702
PROMEDIO	173	21	26.25	173.3572917	3.025655522

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	2.19174E-05				
prom	3.025655522				
Angulo					
Valor (max)	3.025696288	173.3596274	173	21	35
Valor (min)	3.025614756	173.3549559	173	21	18

ESTACION	11
VAT	10
VAD	E

ÁNGULO	1011E
--------	-------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	199	41	0	199.6833333	3.485131628
medida 2	199	41	4	199.6844444	3.485151021
medida 3	199	41	0	199.6833333	3.485131628
medida 4	199	41	4	199.6844444	3.485151021
medida 1	199	41	3	199.6841667	3.485146172
medida 2	199	41	3	199.6841667	3.485146172
medida 3	199	41	1	199.6836111	3.485136476
medida 4	199	41	38	199.6938889	3.485315857
PROMEDIO	199	41	6.625	199.6851736	3.485163747

n	8				
kn	1.86				
dev. Estandar	5.79721E-05				
prom	3.485163747				
Angulo					
Valor (max)	3.485271575	199.6913517	199	41	29
Valor (min)	3.485055919	199.6789955	199	40	44

ÁNGULO	1011E
--------	-------

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	199	41	0	199.6833333	3.485131628
medida 2	199	41	4	199.6844444	3.485151021
medida 3	199	41	0	199.6833333	3.485131628
medida 4	199	41	4	199.6844444	3.485151021
medida 1	199	41	3	199.6841667	3.485146172
medida 2	199	41	3	199.6841667	3.485146172
medida 3	199	41	1	199.6836111	3.485136476
PROMEDIO	199	41	2.142857143	199.6839286	3.485142017

n	7				
kn	1.8				
dev. Estandar	7.95726E-06				
prom	3.485142017				
Angulo					
Valor (max)	3.48515634	199.6847492	199	41	5
Valor (min)	3.485127694	199.6831079	199	40	59

ESTACION	E
VAT	11
VAD	F

ÁNGULO	11EF
--------	------

MEDIDA	ÁNGULO DIRECTO	0	0	0	0
0	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 3	181	48	42	181.8116667	3.173212202
medida 4	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 1	181	48	37	181.8102778	3.173187961
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 3	181	48	30	181.8083333	3.173154024
medida 4	181	48	30	181.8083333	3.173154024
PROMEDIO	181	48	32.125	181.8089236	3.173164327

ÁNGULO 11EF

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 4	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 1	181	48	37	181.8102778	3.173187961
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 3	181	48	30	181.8083333	3.173154024
medida 4	181	48	30	181.8083333	3.173154024
PROMEDIO	181	48	30.71428571	181.8085317	3.173157487

ÁNGULO	11EF
--------	------

MEDIDA	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	Radian
medida 1	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 4	181	48	27	181.8075	3.17313948
medida 2	181	48	32	181.8088889	3.173163721
medida 3	181	48	30	181.8083333	3.173154024
medida 4	181	48	30	181.8083333	3.173154024
PROMEDIO	181	48	29.66666667	181.8082407	3.173152408

n	8
kn	1.86
dev. Estandar	2.31797E-05
prom	3.173164327
Valor (max)	3.173207441
Valor (min)	3.173121212

Angulo

181.8113939	181	48	41
181.8064534	181	48	23

n	7
kn	1.8
dev. Estandar	1.54868E-05
prom	3.173157487
Valor (max)	3.173185363
Valor (min)	3.173129611

Angulo

181.8101289	181	48	36
181.8069346	181	48	25

n	6
kn	1.73
dev. Estandar	9.96197E-06
prom	3.173152408
Valor (max)	3.173169642
Valor (min)	3.173135174

Angulo

181.8092282	181	48	33
181.8072533	181	48	26

LADO	DISTANCIAS
A-B	603.3700
B-1	836.2654
1-2	843.2070
2-3	573.2279
3-4	465.1004
4-5	123.1235
5-6	230.4073
6-7	354.5906
7-D	355.6836
C-D	417.5195
D-8	605.5441
8-9	1009.2391
9-10	290.1210
10-11	446.0270
11-E	1066.3160
E-F	682.9057

VERTICES	ÁNGULO			
	Grad.	Min.	Seg.	
AB1	164	13	29.8750	164°13'29.875"
B12	188	11	33.2500	188°11'33.25"
123	192	23	57.5000	192°23'57.5"
234	172	2	23.5000	172°2'23.5"
345	183	37	38.7500	183°37'38.75"
456	170	53	31.1250	170°53'31.125"
567	187	47	11.2500	187°47'11.25"
67D	189	28	38.1250	189°28'38.125"
7DC	10	20	36.6250	10°20'36.625"
CD8	175	4	20.0000	175°4'20"
7D8	185	25	5.8333	185°25'5.8333"
D89	160	49	50.8750	160°49'50.875"
8910	193	41	36.7143	193°41'36.7143"
91011	173	21	26.2500	173°21'26.25"
1011E	199	41	2.14286	199°41'2.1429"
11EF	181	48	29.6667	181°48'29.6667"



**ANEXO 02**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
DE EQUIPOS**

## CERTIFICADO DE CALIBRACION

OTORGADO A:

Nº 901T/13

**CESAR CASTRO CISNEROS**

Equipo	Marca	Modelo	Serie
ESTACION TOTAL	TOPCON	ES-105	GZ 0662

**MEDICION DE SISTEMA ANGULAR**

VALOR DE PATRON DE MEDICION		
GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
360	00	00

VALOR LEIDO EN EL INSTRUMENTO			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
VERT.	360	00	05
HORI.	359	59	57

VALOR A CORREGIR			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
VERT.	00	00	05
HORIZ.	00	00	03

RANGO DE TOLERANCIA			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
+	360	00	05
-	359	59	55

**SISTEMA DE MEDICION DE DISTANCIA**

PATRON DE MEDICION	15.000mts	30.000mts	60.000mts	90.000mts	209.000mts
VALOR LEIDO EN EL INSTRUMENTO	15.000	30.000	60.000	90.000	209.000
ERROR A CORREGIR	00mm	00mm	00mm	00mm	00mm

COMPENSADORES - TILT	HORIZONTAL	VERTICAL
VALOR LEIDO	00 seg.	00 seg.
VALOR A CORREGIR	00 seg.	00 seg.

**PRECISION DEL INSTRUMENTO:**

\* Sistema Angular según normas DIN 18723 la precisión angular es de 5", lectura mínima en Display 1".

\* Sistema de Medición de Distancia  $\pm(2\text{mm}+2\text{ppmXD})\text{m.s.e.}$

**PATRON UTILIZADO:**

Colimador Modelo ITC-509, indicado por el Fabricante Topcon en su manual de mantenimiento y reparación. Se hace una línea al horizonte enfocando al infinito con un grosor de 1.5" del trazo del retículo; este colimador es patronado periódicamente con un teodolito Kern Modelo DKM-2A desviación estándar 1" y estima al décimo del segundo con lectura directa 90° 00' 00" e invertido 270° 00' 00".

GEINCOR SAC mediante su Laboratorio de Servicio Técnico Autorizado por la Marca Topcon certifica que los Equipos en mención se encuentran totalmente revisados, controlados, calibrados y 100% operativos; se sugiere efectuar una recalibración en un periodo máximo de 06 meses, se estima que sea el 03 de Mayo de 2019

Se expide el presente certificado a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Santiago de Surco, 04 de Noviembre de 2018



**Nota:** Tener en cuenta que la forma de transporte del Equipo es muy importante cuando se traslada, ya que el mal uso y el abuso hacen que se descalibren los mismos.



TOPCON  
CREAFORM  
RAPIDFORM  
geomagic  
PolyWorks  
FARO  
Agisoft



**CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD N° 18 – 01224**

CLIENTE: INFODIG SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

EQUIPO: Receptor GPS

MARCA: Trimble

MODELO: R8 Modelo 4

SERIE: 5547443308

FECHA DE MANTENIMIENTO: 22 – Ene– 2018

FECHA DE VENCIMIENTO: 22 – Ene– 2019

ISETEK S.A. Certifica que el equipo topográfico arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en **Post Proceso** los equipos, estos se encuentran dentro de las tolerancias del fabricante.

**Precisión Levantamiento GPS Post Proceso (Estatic & Fast Estatic)**

HORIZONTAL	3 mm + 0.1 ppm RMS
VERTICAL	3.5 mm + 0.4 ppm RMS

CERTIFICADO POR  ING. ENRIQUE CORNEJO GARAY Gerente de Servicio Técnico	SELLO DE GARANTIA 	FECHA DE EMISION  Enero 22, 2018
---	---	--

**CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD N° 19- 01103****CLIENTE:** INFODIG SOCIEDAD ANONIMA CERRADA**EQUIPO:** Receptor GPS  
**MARCA:** Trimble  
**MODELO:** R8S  
**SERIE:** 5547443308**FECHA DE REVISION :** 10 - Ene - 2019**FECHA DE VENCIMIENTO:** 09 - Ene- 2020

**ISETEK S.A.** Certifica que el equipo topográfico arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Post Proceso los equipos, estos se encuentran dentro de las tolerancias del fabricante.

**Precisión Levantamiento GPS Post Proceso (Estática de Alta Precisión)**

HORIZONTAL	3 mm + 0.1 ppm RMS
VERTICAL	3.5 mm + 0.4 ppm RMS

CERTIFICADO POR  ING. ENRIQUE CORNEJO GARAY Gerente de Servicio Técnico	SELLO DE GARANTIA 	FECHA DE EMISION  Enero 10, 2019
---	---	--

## **ANEXO 03**

# **RESPUESTA DE LA COMPRA DE DATA ERP**



gerson cabello &lt;gerson5630@gmail.com&gt;

---

**B001-001533 Data ERP Surquillo 23-02-19**


2 mensajes

---

**Departamento de Procesamiento Geodesico** <cpg.ign@hotmail.com>  
Para: "gerson5630@gmail.com" <gerson5630@gmail.com>

21 de marzo de 2019, 16:49

Departamento de Procesamiento Geodesico ha compartido un archivo de OneDrive con usted. Para verlo, haga clic en el vínculo siguiente.

 [B001-001533.zip](#)

---

Estimado Cliente,

Recordar que la información adquirida por este medio a través de comercialización, se encontrará en el enlace adjunto por un tiempo limitado.

<https://1drv.ms/u/s!Aljkpu8KWqyeuRFLlu2744W54jnu>

Gracias por su comprensión.

Saludos cordiales,

DPG-IGN

---

**gerson cabello** <gerson5630@gmail.com>  
Para: Diego Andree Guillén Melgarejo <diegoguillanmelgarejo22@gmail.com>

21 de marzo de 2019, 17:15

[El texto citado está oculto]

## **ANEXO 04**

### **FICHA TÉCNICA IGN – LI01**





**INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL**  
CENTRO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



**FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GPS PERMANENTE**

**1. FORMULARIO**

Preparado por	Instituto Geográfico Nacional – Centro de Procesamiento Geodésico
Creado	15 de Abril del 2010
Actualizado	04 de Agosto del 2010

**2. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GPS**

Nombre de la Estación	Surquillo
Código de Identificación	Li01
Código Internacional	42203M001
Inscripción del monumento	Sin inscripción
Institución a cargo del mantenimiento	Instituto Geográfico Nacional
Responsable del mantenimiento	Centro de Procesamiento Geodésico
e-mail	cpg@ign.gob.pe
Institución propietaria del instrumento	Instituto Geográfico Nacional
Orden de la Estación	0
Información adicional	Esta estación forma parte de la Red Geocéntrica Nacional, a cargo del Instituto Geográfico Nacional, Centro de Procesamiento Geodésico.

**3. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN**

Localidad	<b>Surquillo</b>
Provincia	Lima
Departamento	Lima
Información sobre el monumento	La antena del receptor esta instalada sobre un monumento de concreto de 1.34 m de alto, 30 cm x 51 cm de ancho de color rojo teja. El monumento está colocado en el techo del museo del Instituto Geográfico Nacional.
Información sobre el receptor	El receptor está instalado en la Sala de Servidores de la mencionada institución.

USUARIO CHACON RODRIGUEZ, ROSSMERY .....  FECHA 23/06/2015 10:52 a.m. FACTURA N° 001-0143172





**INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL**  
CENTRO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



**4. COORDENADAS DE LA ESTACIÓN**

**A. Coordenadas Geodésicas**

A.1. Marco de referencia utilizado:

ITRF 2000

A.2. Latitud (S)

°	min	s
12	6	10.86386

A.3. Longitud (O)

°	min	s
77	1	0.98772

A.4. Altura Elipsoidal

Altura (m)
157.6097

A.5. Factor de escala planimétrico

Factor
1.000195939

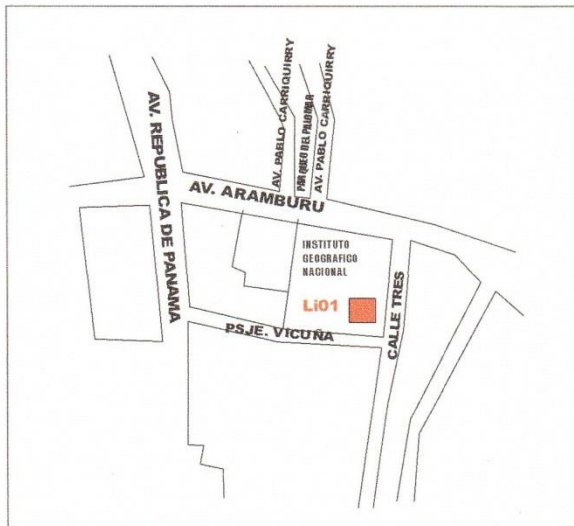
**B. Coordenadas Cartesianas**

X (m)	Y (m)	Z (m)
1401320.96870	-6077986.48690	-1328580.50910

**C. Coordenadas UTM**

Norte (m)	Este (m)	Zona
8661244.45075500	280479.72744031	18 Sur

**5. CROQUIS DE LA ESTACIÓN**





## 6. INFORMACIÓN SOBRE EL EQUIPAMIENTO GPS

### A. Receptor

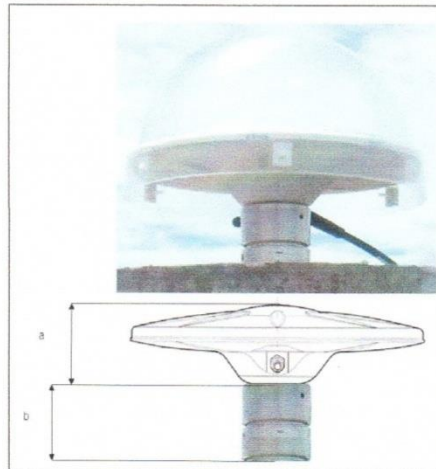
Tipo	Trimble Net R5
Nº de serie	4806K53394
Versión del Firmware	4.03
Fecha de Instalación	Junio del 2008

### B. Antena

Tipo	Antena Zephyr Geodetic 2
Nº de serie	30738913
Altura (m)	0.08946
Medición de la Antena	Base de soporte de la antena
Fecha de la instalación	Junio del 2008

## 7. ESQUEMA DE LA ANTENA

### A. Esquema de altura de antena



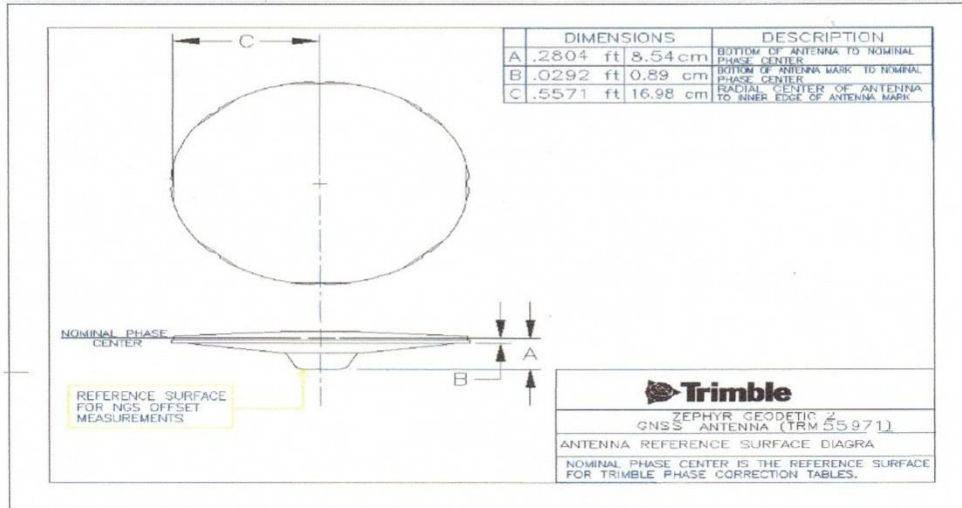
a	Distancia de compensación de centro de fase (Phase center Offset). a = 8.54 cm
b	Distancia entre la base de soporte de la antena y el límite superior del monumento. b = 0.4 cm



**INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL**  
CENTRO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



**B. Esquema de antena en uso**



**8. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Observables	L1, C1, L2, P2
Intervalo de registro	5 segundos
Angulo de máscara	10°
Archivamiento diario	Si
Formato de archivo en crudo	*.T01, *.dat
Servidor de búsqueda	

INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO	
Periodo de toma de datos para el procesamiento	19 de Abril al 24 de Julio del 2010
Software utilizado	Gamit/GlobK v. 10.35
Formato de archivo procesado	Rinex

**9. INFORMACIÓN ADICIONAL**

**Contacto:**

Nombre	Centro de Procesamiento Geodésico
Dirección	Av. Aramburú 1190 Surquillo, Lima 34, Perú
Teléfono	(51) 1 4753085 Anexo 123
Fax	(51) 1 4753075
e-mail	cpg@ign.gob.pe

USUARIO CHACON RODRIGUEZ, ROSSMERY ..... *ef* FECHA 23/06/2015 10:52 a.m. FACTURA N° 001-0143172

## **ANEXO 05**

# **REPORTE DE AJUSTES GNSS/GPS**



### Project

Project name: **Proceso A-B.ttp**  
 Project folder: **C:\Users\gerso\Google Drive\tesis\Proceso Topcon Tools**  
 Creation time: **21/05/2019 16:48:29**  
 Created by:  
 Comment:  
 Linear unit: **Meters**  
 Angular unit: **DMS**  
 Projection: **UTMSouth-Zone\_18 : 78W to 72W**  
 Datum: **WGS84**  
 Geoid:  
 Time Zone: **SA Pacific Standard Time**

#### Point Summary

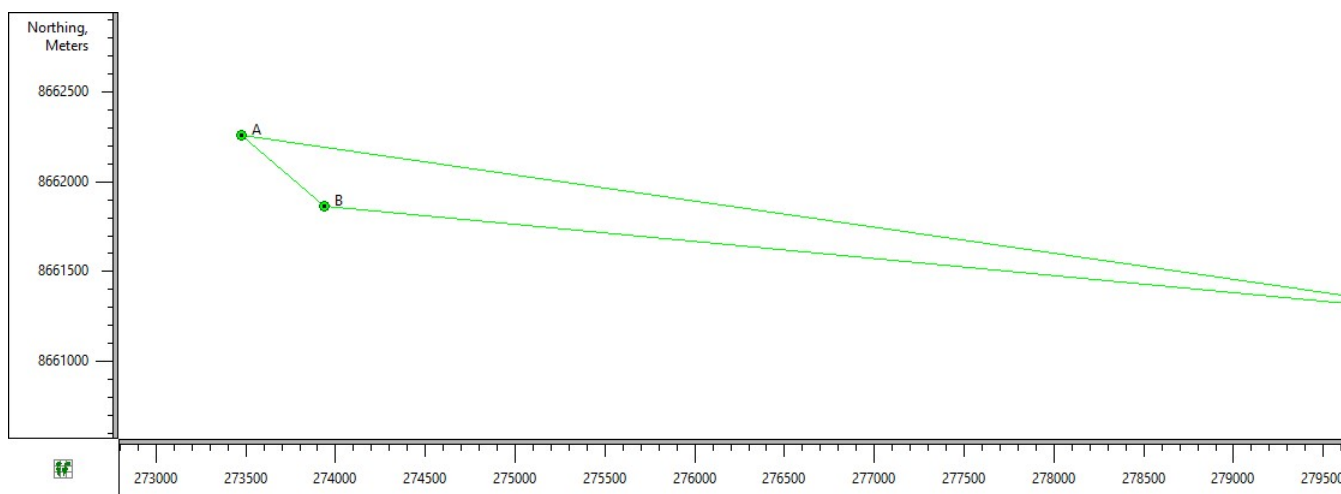
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
A	8662256.116	273474.569	41.085	
B	8661865.435	273934.529	31.416	
LI01	8661244.451	280479.727	157.609	

#### GPS Occupations

Point Name	Original Name
LI01	LI01
A	A
B	B

#### GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
A-B	-390.678	459.954	-9.667	0.004	0.005
A-LI01	-1011.665	7005.158	116.524	0.003	0.005
B-LI01	-620.985	6545.198	126.193	0.003	0.004







## Project

Project name: **Proceso C-D.tfp**  
 Project folder: **C:\Users\geroso\Google Drive\tesis\Proceso Topcon Tools**  
 Creation time: **21/05/2019 16:48:29**  
 Created by:  
 Comment:  
 Linear unit: **Meters**  
 Angular unit: **DMS**  
 Projection: **UTMSouth-Zone\_18 : 78W to 72W**  
 Datum: **WGS84**  
 Geoid:  
 Time Zone: **GMT Standard Time**

### Point Summary

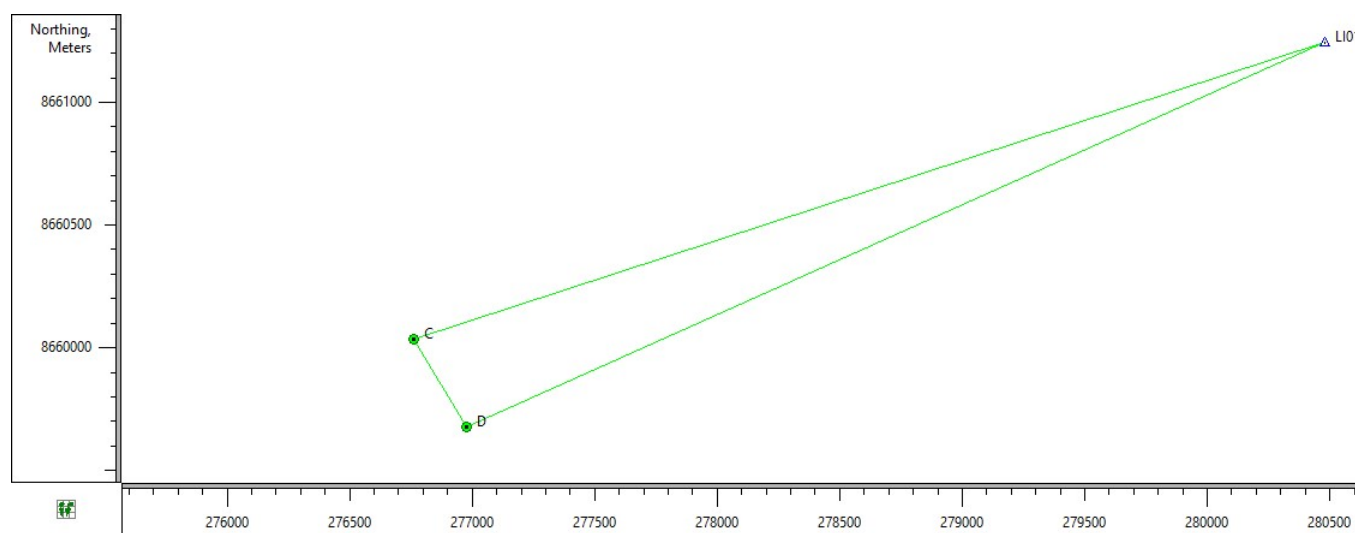
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
C	8660037.050	276762.504	29.398	
D	8659677.893	276975.537	34.136	
LI01	8661244.451	280479.727	157.609	

### GPS Occupations

Point Name	Original Name
LI01	LI01
C	punto c
D	D

### GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
C-D	-359.156	213.033	4.738	0.001	0.003
C-LI01	1207.402	3717.222	128.208	0.001	0.003
D-LI01	1566.558	3504.190	123.473	0.001	0.003





### Project

Project name: **Proceso E-F.ttp**  
 Project folder: **C:\Users\geroso\Google Drive\tesis\Proceso Topcon Tools**  
 Creation time: **21/05/2019 16:48:29**  
 Created by:  
 Comment:  
 Linear unit: **Meters**  
 Angular unit: **DMS**  
 Projection: **UTMSouth-Zone\_18 : 78W to 72W**  
 Datum: **WGS84**  
 Geoid:  
 Time Zone: **GMT Standard Time**

#### Point Summary

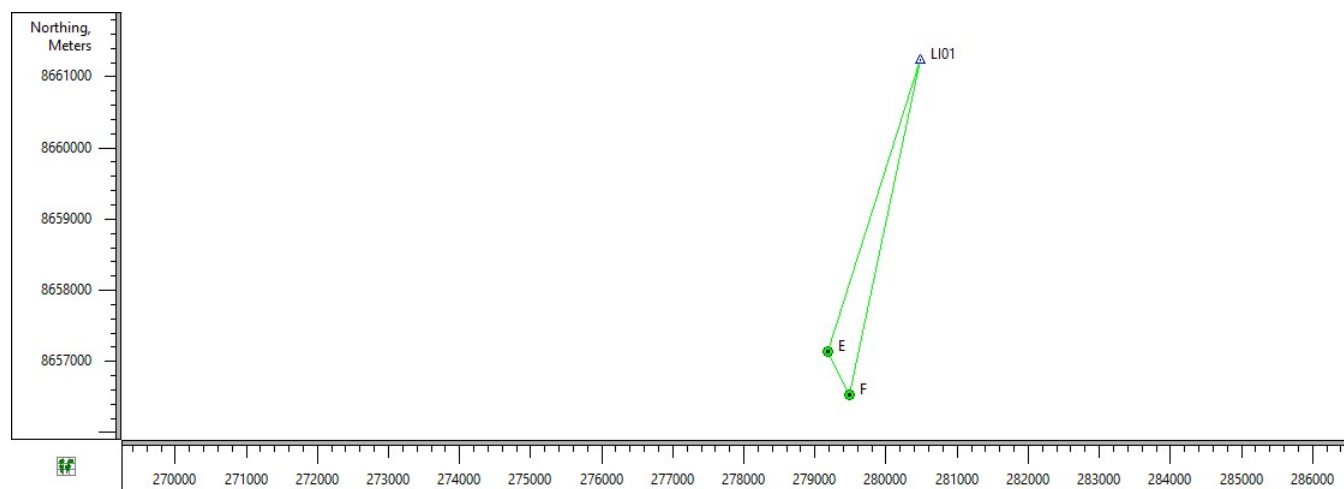
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
E	8657142.921	279174.638	25.136	
F	8656530.239	279476.489	25.360	
LI01	8661244.451	280479.727	157.609	

#### GPS Occupations

Point Name	Original Name
LI01	LI01
E	punto e
F	F

#### GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
E-F	-612.683	301.851	0.224	0.002	0.004
E-LI01	4101.529	1305.087	132.473	0.002	0.003
F-LI01	4714.212	1003.238	132.249	0.002	0.003



## **ANEXO 06**

# **CALCULO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM - TOPOGRÁFICAS**



DATOS DE CAMPO														
PTO	Norte	Este	Altura Elipsoidal	Cota(H)	Latitud					Longitud				
					Grados	Minutos	Segundos	Sexa	Rad	Grad.	Min.	Seg.	Sexa	Rad
A	8662256.1130	273474.5750	41.8200	18.2320	12	5	36.24035	12.0934001	-0.211069649	77	4	52.33435	77.08120399	-1.345320801
B	8661865.4350	273934.5290	31.4160	8.5360	12	5	49.06465	12.0969624	-0.211131823	77	4	37.22651	77.07700736	-1.345247556
C	8660037.0500	276762.5040	29.4560	6.3030	12	6	49.24602	12.1136795	-0.211423591	77	3	4.18606	77.05116279	-1.344796483
D	8659677.8930	276975.5370	34.1360	11.0400	12	7	0.98324	12.1169398	-0.211480495	77	2	57.23176	77.04923104	-1.344762768
E	8657142.9210	279174.6380	25.1900	1.9510	12	8	23.99418	12.1399984	-0.211882943	77	1	45.14567	77.02920713	-1.344413285
F	8656530.2390	279476.4890	25.4150	2.1830	12	8	44.00117	12.1455559	-0.21197994	77	1	35.31527	77.02647646	-1.344365626

PARAMETROS UTM	
a	6378137
b	6356752.3140
e2	0.006694380
e'2	0.006739497
c	6399593.626
Ko	0.9996
Mc	-75
Mc (rad)	-1.3090

CALCULO DEL FACTOR DE ESCALA EN UN PUNTO				
X	q	N	P	K
#####	0.226525425	6379074.265	0.012376324	1.0002349007526
#####	0.226065471	6379074.81	0.012376320	1.0002323245364
#####	0.223237496	6379077.365	0.012376300	1.0002166004233
#####	0.223024463	6379077.864	0.012376296	1.0002154238210
#####	0.220825362	6379081.395	0.012376269	1.0002033442953
#####	0.220523511	6379082.247	0.012376262	1.0002016954580

Factor de Elevacion					
Linea	$(\phi_B - \phi_A)/2$	Lat. Prom Rd	R	M	Kelev
B-A	-3.1087E-05	-0.2111007	6338233.5215	0.00306264	0.9999934015
B-B	0	-0.2111318	6338234.3325	0.00000000	0.9999950434
B-C	0.000145884	-0.2112777	6338238.1401	0.06744542	0.9999953420
B-D	0.000174336	-0.2113062	6338238.8830	0.09631871	0.9999945991
B-E	0.00037556	-0.2115074	6338244.1396	0.44698928	0.9999959552
B-F	0.000424058	-0.2115559	6338245.4073	0.56988832	0.9999959003

Convergencia de Meridianos							
L	t	n2	tan(y)	y	grados	min	seg
-0.036324	0.214260943	0.006443682	-0.007613474	-0.436211476	0	-26	10.3613
-0.036251	0.214325972	0.006443510	-0.007600313	-0.435457449	0	-26	7.64682
-0.03580	0.214631161	0.006442704	-0.007515875	-0.430619812	0	-25	50.2313
-0.035766	0.214690687	0.006442547	-0.007510781	-0.430327979	0	-25	49.1807
-0.035416	0.215111722	0.006441432	-0.007451269	-0.426918336	0	-25	36.9060
-0.035369	0.215213209	0.006441163	-0.007444588	-0.426535607	0	-25	35.5282

T-t						
Linea	varN	x1	x2	P	T-t	T-t (rad)
B-A	390.6780	226525.4250	226525.4250	0.012376324	-0.2259	-1.09529E-06
B-B	0.0000	226065.4710	226525.4250	0.012376320	0.0000	0
B-C	-1828.3850	223237.4960	226525.4250	0.012376300	1.0471	5.07637E-06
B-D	-2187.5420	223024.4630	226525.4250	0.012376296	1.2520	6.06969E-06
B-E	-4722.5140	220825.3620	226525.4250	0.012376269	2.6851	1.30177E-05
B-F	-5335.1960	220523.5110	226525.4250	0.012376262	3.0307	1.46932E-05

LINEA B-A							
N	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	RNMM	Kcomb1	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999340	0.99999866	1.00022572	1.00023098
A	273474.575	8662256.113	1.00023490	0.99999340	0.99999714	1.00022830	1.00023204
				Prom		1.00022701	1.00023151
Linea	L(UTM)	L(TOPO)-1	L(TOPO)-2				
B-A	603.479	603.342	603.339				
Linea	Az(Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az(Topo)	Az(rad)
B-A	-49.6559	-0.0001	310.3441	310.344009	-0.435457449	310.779466	5.424124932
N	Este	Norte	Este	Norte			
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435			
A	273477.661	8662259.507	273477.663	8662259.506			

LINEA B-C							
N	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	RNMM	Kcomb	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999534	0.99999866	1.00022767	1.00023098
C	276762.504	8660037.050	1.00021660	0.99999534	0.99999901	1.00021194	1.00021561
				Prom		1.00021980	1.00022330
Linea	L(UTM)	L(TOPO)-1	L(TOPO)-2				
B-C	3367.556	3366.816	3366.804				
Linea	Az(Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az(Topo)	Az(rad)
B-C	-57.1159	0.0003	122.8841	122.884376	-0.435457449	123.319833	2.152337125
N	Este	Norte	Este	Norte			
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435			
C	276747.899	8660016.002	276747.889	8660016.009			

LINEA B-D							
N	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	RNMM	Kcomb	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999460	0.99999866	1.00022692	1.00023098
D	276975.537	8659677.893	1.00021542	0.99999460	0.99999827	1.00021002	1.00021369
				Prom		1.00021847	1.00022234
Linea	L(UTM)	L(TOPO)-1	L(TOPO)-2				
B-D	3746.074	3745.256	3745.241				
Linea	Az(Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az(Topo)	Az(rad)
B-D	-54.2707	0.0000	125.7293	125.729264	-0.435457449	126.164722	2.201989792
N	Este	Norte	Este	Norte			
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435			
D	276958.163	8659655.327	276958.151	8659655.336			

LINEA B-E							
N	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	RNMM	Kcomb	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999596	0.99999866	1.00022828	1.00023098
E	279174.638	8657142.921	1.00020334	0.99999596	0.99999969	1.00019930	1.00020304
Prom						1.00021379	1.00021701
Línea	L(UTM)	L(TOPO)	L(TOPO)-2				
B-E	7054.139	7052.631	7052.609				
Línea	Az(Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az(Topo)	Az(rad)
B-E	-47.9741	0.0007	132.0259	132.026693	-0.435457449	132.462150	2.311900655
N	Este	Norte	Este	Norte			
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435			
E	279137.421	8657104.182	279137.404	8657104.198			

LINEA B-F							
N	ESTE (m)	NORTE (m)	Kescala	Kelev	RNMM	Kcomb	Kcomb2
B	273934.529	8661865.435	1.00023232	0.99999590	0.99999866	1.00022822	1.00023098
F	279476.489	8656530.239	1.00020170	0.99999590	0.99999966	1.00019759	1.00020135
Prom						1.00021291	1.00021617
Línea	L(UTM)	L(TOPO)	L(TOPO)-2				
B-F	7692.7002	7691.063	7691.038				
Línea	Az(Cuad)	T-t	t	T	Convergencia	Az(Topo)	Az(rad)
B-F	-46.0890	0.0008	133.9110	133.911837	-0.435457449	134.347294	2.344802626
N	Este	Norte	Este	Norte			
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435			
F	279434.531	8656489.337	279434.513	8656489.355			

## **ANEXO 07**

# **CALCULO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM – LTM**

DATOS																	
N	PTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	Latitud						long						h
1	A	8,662,256.113	273,474.575	17.6145	13°21'08.61956"S	12	5	36.24035	-12.0934001	-0.211069649	74°06'17.98739"W	77	4	52.33435	-1.34532	-77.0812	41.820
2	B	8,661,865.435	273,934.529	8.536	13°21'10.77754"S	12	5	49.06465	-12.0969624	-0.211131823	74°05'43.70234"W	77	4	37.22651	-1.34525	-77.0770	31.416
3	C	8,660,037.050	276,762.504	6.303	13°22'26.19392"S	12	6	49.24602	-12.11367945	-0.211423591	74°04'44.61751"W	77	3	4.18606	-1.34480	-77.0512	29.456
4	D	8,659,677.893	276,975.537	11.04	13°22'30.39296"S	12	7	0.98324	-12.11693979	-0.211480495	74°04'16.39966"W	77	2	57.23176	-1.34476	-77.0492	34.136
5	E	8,657,142.921	279,174.638	1.951	13°23'29.00007"S	12	8	23.99418	-12.13999838	-0.211882943	74°03'55.73440"W	77	1	45.14567	-1.34441	-77.0292	25.190
6	F	8,656,530.239	279,476.489	2.183	13°23'56.62836"S	12	8	44.00117	-12.14555588	-0.21197994	74°03'42.49302"W	77	1	35.31527	-1.34437	-77.0265	25.415

PARAMETROS PTL	
a	6378137
e2	0.00669438
e'2	0.006739497
LAT MEDIA	-12
LONG MEDIA	-77.5000
h MEDIA	31.239
Y0	7,000,000.00
X0	200,000.00
p	6338190.344
N	6379060.052
Rm	6378000
Kh	1.000004898

	N	t2	n2	A	Sp	x	y	DIF LONG	k	XL	YL
Para el punto A	6379074.265	0.045907752	0.0064436820	0.007147155	-1337416.637	45592.60699	-1337451.546	1507.6657	1.000030604	245,592.830	5,662,541.903
Para el punto B	6379074.810	0.045935622	0.0064435103	0.007218678	-1337810.710	46048.87402	-1337846.333	1522.7735	1.000031121	246,049.100	5,662,147.115
Para el punto C	6379077.365	0.046066535	0.0064427040	0.007659256	-1339660.002	48859.44284	-1339700.163	1615.8139	1.00003442	248,859.682	5,660,293.275
Para el punto D	6379077.864	0.046092091	0.0064425466	0.007692126	-1340020.671	49069.13736	-1340061.189	1622.7682	1.000034674	249,069.378	5,659,932.248
Para el punto E	6379081.395	0.046273053	0.0064414323	0.008033129	-1342571.489	51244.51093	-1342615.765	1694.8543	1.000037372	251,244.762	5,657,377.659
Para el punto F	6379082.247	0.046316725	0.0064411634	0.008079553	-1343186.278	51540.67386	-1343231.089	1704.6847	1.000037749	251,540.926	5,656,762.332

	X	Y
Para el punto A	273,478.260	8,662,260.223
Para el punto B	273,934.529	8,661,865.435
Para el punto C	276,745.112	8,660,011.596
Para el punto D	276,954.807	8,659,650.568
Para el punto E	279,130.191	8,657,095.979
Para el punto F	279,426.356	8,656,480.652

## **ANEXO 08**

# **AJUSTE DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS USANDO COORDENADAS UTM**

## DATOS

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DISTANCIA	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	grado	minuto	segundo		ESTE	NORTE
A					273474.5750	8662256.1130
B	164	13	29.875	836.265	273934.5290	8661865.4350
1	188	11	33.250		843.207	
2	192	23	57.500	573.228		
3	172	2	23.500	465.100		
4	183	37	38.750	123.124		
5	170	53	31.125	230.407		
6	187	47	11.250	354.591		
7	189	28	38.125	355.684		
D	185	25	5.833	605.544		
8	160	49	50.875	1009.239		
9	193	41	36.714	290.121		
10	173	21	26.250	446.027		
11	199	41	2.143	1066.316		
E	181	48	29.667		279174.6380	8657142.9210
F					279476.4890	8656530.2390

### AZIMUT DE PARTIDA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE PARTIDA (B-A)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	B	273934.5290	8661865.4350	2° C	310.344071	310	20	38.66
REFERENCIA	A	273474.5750	8662256.1130					

### AZIMUT DE LLEGADA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE LLEGADA (D-C)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	E	279174.6380	8657142.9210	4° C	153.771843	153	46	18.64
REFERENCIA	F	279476.4890	8656530.2390					

### CÁLCULO DE ERROR ANGULAR

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Azimut
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	
A					
B	164	13	29.87	164.224965	114.569037
1	188	11	33.25	188.192569	122.761606
2	192	23	57.50	192.399306	135.160912
3	172	2	23.50	172.039861	127.200773
4	183	37	38.75	183.627431	130.828203
5	170	53	31.12	170.891979	121.720183
6	187	47	11.25	187.786458	129.506641
7	189	28	38.13	189.477257	138.983898
D	185	25	5.83	185.418287	144.402185
8	160	49	50.87	160.830799	125.232984
9	193	41	36.71	193.693532	138.926515
10	173	21	26.25	173.357292	132.283807
11	199	41	2.14	199.683929	151.967735
E	181	48	29.67	181.808241	153.775976
F					

### ERROR ANGULAR

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLAGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
153.771843	153.7759762	0.004133024	14.88	20
ADMISIBLE				



**CORRECCION DEL ERROR ANGULAR**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Comp. (seg)	Angulo Corregido	Azimut Corregido
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal			
A							
B	164	13	29.875	164.224965	1	164.224688	
1	188	11	33.25	188.192569	1.1	188.192264	114.568759
2	192	23	57.5	192.399306	1.1	192.399	122.761023
3	172	2	23.5	172.039861	1	172.039583	135.160023
4	183	37	38.75	183.627431	1.1	183.627125	127.199606
5	170	53	31.125	170.891979	1	170.891701	130.826731
6	187	47	11.25	187.786458	1.1	187.786153	121.718433
7	189	28	38.125	189.477257	1.1	189.476951	129.504585
D	185	25	5.833333333	185.418287	1.1	185.417981	138.981537
8	160	49	50.875	160.830799	1	160.830521	144.399518
9	193	41	36.71428571	193.693532	1.1	193.693226	125.230039
10	173	21	26.25	173.357292	1.1	173.356986	138.923265
11	199	41	2.142857143	199.683929	1.1	199.683629	132.280251
E	181	48	29.66666667	181.808241	1	181.807963	151.96388
F							153.771843

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLAGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
153.771843	153.7718429	3.09353E-07	0.00	20
			ADMISIBLE	

## CÁLCULO DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS

PUNTO	AZIMUT		DISTANCIA	DIST.ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Decimal	Radian			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
A					273474.5750	8662256.1130			273474.5750	8662256.1130
B					273934.5290	8661865.4350	0.000	0.000	273934.5290	8661865.4350
1	114.568759	2.000	836.265	836.265	274695.0814	8661517.7284	0.104	-0.091	274695.1854	8661517.6374
2	122.7610229	2.143	843.207	1679.472	275404.1636	8661061.4385	0.209	-0.183	275404.3725	8661061.2558
3	135.1600229	2.359	573.228	2252.700	275808.3633	8660654.9747	0.280	-0.245	275808.6435	8660654.7296
4	127.1996062	2.220	465.100	2717.801	276178.8316	8660373.7780	0.338	-0.296	276179.1697	8660373.4822
5	130.8267312	2.283	123.124	2840.924	276271.9979	8660293.2831	0.353	-0.309	276272.3514	8660292.9739
6	121.7184326	2.124	230.407	3071.331	276467.9920	8660172.1475	0.382	-0.334	276468.3741	8660171.8133
7	129.5045854	2.260	354.591	3425.922	276741.5848	8659946.5783	0.426	-0.373	276742.0110	8659946.2054
D	138.9815368	2.426	355.684	3781.606	276975.0207	8659678.2157	0.470	-0.412	276975.4912	8659677.8041
8	144.3995182	2.520	605.544	4387.150	277327.5260	8659185.8503	0.546	-0.478	277328.0718	8659185.3728
9	125.2300391	2.186	1009.239	5396.389	278151.9155	8658603.6599	0.671	-0.587	278152.5868	8658603.0726
10	138.9232653	2.425	290.121	5686.510	278342.5451	8658384.9579	0.707	-0.619	278343.2525	8658384.3390
11	132.2802514	2.309	446.027	6132.537	278672.5440	8658084.8899	0.763	-0.667	278673.3069	8658084.2224
E	151.9638799	2.652	1066.316	7198.853	279173.7424	8657143.7045	0.896	-0.784	279174.6380	8657142.9210
F	153.7718429	2.684	0.000	7198.853						
							0.000	0.000	comprobación de ajuste	

error		0.896	-0.784
ECL		1.190	
RCL		1 / 6049.740	
RCL MAX		1 / 20,000.000	

## **ANEXO 09**

# **AJUSTE DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS USANDO COORDENADAS TOPOGRÁFICAS TRANSFORMADAS**

## DATOS

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DISTANCIA	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	grado	minuto	segundo		ESTE	NORTE
A					273477.6608	8662259.5075
B	164	13	29.875		273934.5290	8661865.4350
				836.265		
1	188	11	33.250			
				843.207		
2	192	23	57.500			
				573.228		
3	172	2	23.500			
				465.100		
4	183	37	38.750			
				123.124		
5	170	53	31.125			
				230.407		
6	187	47	11.250			
				354.591		
7	189	28	38.125			
				355.684		
D	185	25	5.833			
				605.544		
8	160	49	50.875			
				1009.239		
9	193	41	36.714			
				290.121		
10	173	21	26.250			
				446.027		
11	199	41	2.143			
				1066.316		
E	181	48	29.667		279137.4208	8657104.1822
F					279434.5309	8656489.3375

### AZIMUT DE PARTIDA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE PARTIDA (B-A)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	B	273934.5290	8661865.4350	2° C	310.779466	310	46	46.08
REFERENCIA	A	273477.6608	8662259.5075					

### AZIMUT DE LLEGADA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE LLEGADA (D-C)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	E	279137.4208	8657104.1822	4° C	154.208871	154	12	31.93
REFERENCIA	F	279434.5309	8656489.3375					

### CÁLCULO DE ERROR ANGULAR

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Azimut
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	
A					
B	164	13	29.87	164.224965	115.004431
1	188	11	33.25	188.192569	
2	192	23	57.50	192.399306	123.197001
3	172	2	23.50	172.039861	135.596306
4	183	37	38.75	183.627431	127.636168
5	170	53	31.12	170.891979	131.263598
6	187	47	11.25	187.786458	122.155577
7	189	28	38.13	189.477257	129.942036
D	185	25	5.83	185.418287	139.419293
8	160	49	50.87	160.830799	144.83758
9	193	41	36.71	193.693532	125.668378
10	173	21	26.25	173.357292	139.36191
11	199	41	2.14	199.683929	132.719202
E	181	48	29.67	181.808241	152.40313
F					154.211371

### ERROR ANGULAR

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLAGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
154.208871	154.2113709	0.00250019	9.00	20
ADMISIBLE				

## CORRECIÓN DEL ERROR ANGULAR

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Comp. (seg)	Angulo Corregido	Azimut Corregido
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal			
A							
B	164	13	29.875	164.224965	0.64	164.224788	
1	188	11	33.25	188.192569	0.64	188.192392	115.004254
2	192	23	57.5	192.399306	0.65	192.399125	123.196645
3	172	2	23.5	172.039861	0.64	172.039683	135.59577
4	183	37	38.75	183.627431	0.64	183.627253	127.635454
5	170	53	31.125	170.891979	0.64	170.891801	131.262706
6	187	47	11.25	187.786458	0.64	187.786281	122.154508
7	189	28	38.125	189.477257	0.65	189.477076	129.940788
D	185	25	5.833333333	185.418287	0.65	185.418106	139.417865
8	160	49	50.875	160.830799	0.64	160.830621	144.835971
9	193	41	36.71428571	193.693532	0.64	193.693354	125.666592
10	173	21	26.25	173.357292	0.64	173.357114	139.359946
11	199	41	2.142857143	199.683929	0.65	199.683748	132.71706
E	181	48	29.66666667	181.808241	0.64	181.808063	152.400808
F							154.208871

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLAGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
154.208871	154.2088709	1.90456E-07	0.00	16.583124
<b>ADMISIBLE</b>				

## CÁLCULO DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS

PUNTO	AZIMUT		DISTANCIA	DIST.ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Decimal	Radian			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
A					273477.6608	8662259.5075			273477.6608	8662259.5075
B					273934.5290	8661865.4350	0.000	0.000	273934.5290	8661865.4350
1	115.0042537	2.007	836.265	836.265	274692.4166	8661511.9577	-0.025	0.026	274692.3917	8661511.9836
2	123.1966453	2.150	843.207	1679.472	275398.0091	8661050.2899	-0.050	0.052	275397.9592	8661050.3419
3	135.5957703	2.367	573.228	2252.700	275799.1059	8660640.7638	-0.067	0.070	275799.0389	8660640.8336
4	127.6354537	2.228	465.100	2717.801	276167.4245	8660356.7571	-0.081	0.084	276167.3437	8660356.8413
5	131.2627064	2.291	123.124	2840.924	276259.9756	8660275.5556	-0.084	0.088	276259.8911	8660275.6436
6	122.1545078	2.132	230.407	3071.331	276455.0421	8660152.9319	-0.091	0.095	276454.9508	8660153.0271
7	129.9407884	2.268	354.591	3425.922	276726.9097	8659925.2863	-0.102	0.106	276726.8078	8659925.3924
D	139.4178648	2.433	355.684	3781.606	276958.2952	8659655.1538	-0.112	0.117	276958.1827	8659655.2710
8	144.8359713	2.528	605.544	4387.150	277307.0396	8659160.1174	-0.130	0.136	277306.9092	8659160.2534
9	125.6665921	2.193	1009.239	5396.389	278126.9694	8658571.6628	-0.160	0.167	278126.8089	8658571.8300
10	139.3599461	2.432	290.121	5686.510	278315.9266	8658351.5143	-0.169	0.176	278315.7575	8658351.6905
11	132.71706	2.316	446.027	6132.537	278643.6282	8658048.9392	-0.182	0.190	278643.4459	8658049.1292
E	152.400808	2.660	1066.316	7198.853	279137.6349	8657103.9592	-0.214	0.223	279137.4208	8657104.1822
F	154.2088709	2.691	0.000	7198.853						
							0.000	0.000	comprobación de ajuste	

error	-0.214	0.223
ECL	0.309	
RCL	1 / 23282.832	
RCL MAX	1 / 10000.000	

## **ANEXO 10**

# **AJUSTE DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS USANDO COORDENADAS LTM**



## DATOS

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO			DISTANCIA	COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	grado	minuto	segundo		ESTE	NORTE
A					273478.260	8662260.223
B	164	13	29.875		273934.529	8661865.435
				836.265		
1	188	11	33.250			
				843.207		
2	192	23	57.500			
				573.228		
3	172	2	23.500			
				465.100		
4	183	37	38.750			
				123.124		
5	170	53	31.125			
				230.407		
6	187	47	11.250			
				354.591		
7	189	28	38.125			
				355.684		
D	185	25	5.833			
				605.544		
8	160	49	50.875			
				1009.239		
9	193	41	36.714			
				290.121		
10	173	21	26.250			
				446.027		
11	199	41	2.143			
				1066.316		
E	181	48	29.667		279130.191	8657095.979
F					279426.356	8656480.652

### AZIMUT DE PARTIDA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE PARTIDA (B-A)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	B	273934.529	8661865.435	2° C	310.8680736	310	52	5.07
REFERENCIA	A	273478.260	8662260.223					

### AZIMUT DE LLEGADA

CONDICION	PUNTO	COORDENADAS		AZIMUT DE LLEGADA (D-C)				
		ESTE	NORTE	Desc. Trigon	Decimal	Grado	Minuto	Segundo
BASE	E	279130.191	8657095.979	4° C	154.297913	154	17	52.49
REFERENCIA	F	279426.356	8656480.652					

### CÁLCULO DE ERROR ANGULAR

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Azimut
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal	
A					
B	164	13	29.87	164.2249653	
1	188	11	33.25	188.1925694	115.0930389
2	192	23	57.50	192.3993056	123.2856083
3	172	2	23.50	172.0398611	135.6849139
4	183	37	38.75	183.6274306	127.724775
5	170	53	31.12	170.8919792	131.3522056
6	187	47	11.25	187.7864583	122.2441847
7	189	28	38.13	189.4772569	130.0306431
D	185	25	5.83	185.418287	139.5079
8	160	49	50.87	160.8307986	144.9261871
9	193	41	36.71	193.6935317	125.7569857
10	173	21	26.25	173.3572917	139.4505174
11	199	41	2.14	199.6839286	132.8078091
E	181	48	29.67	181.8082407	152.4917376
F					154.2999784

### ERROR ANGULAR

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLEGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
154.297913	154.2999784	0.00206543	7.44	20
			ADMISIBLE	

**CORRECCION DEL ERROR ANGULAR**

PUNTO	ÁNGULO OBSERVADO				Comp. (seg)	Angulo Corregido	Azimut Corregido
	Grado	Minuto	Segundo	Decimal			
A							
B	164	13	29.875	164.2249653	0.53	164.2248181	
1	188	11	33.25	188.1925694	0.53	188.1924222	115.0928917
2	192	23	57.5	192.3993056	0.53	192.3991583	123.2853139
3	172	2	23.5	172.0398611	0.53	172.0397139	135.6844722
4	183	37	38.75	183.6274306	0.53	183.6272833	127.7241861
5	170	53	31.125	170.8919792	0.53	170.8918319	131.3514695
6	187	47	11.25	187.7864583	0.53	187.7863111	122.2433014
7	189	28	38.125	189.4772569	0.53	189.4771097	130.0296125
D	185	25	5.833333333	185.418287	0.53	185.4181398	139.5067222
8	160	49	50.875	160.8307986	0.53	160.8306514	144.9248621
9	193	41	36.71428571	193.6935317	0.54	193.6933817	125.7555134
10	173	21	26.25	173.3572917	0.53	173.3571444	139.4488952
11	199	41	2.142857143	199.6839286	0.54	199.6837786	132.8060396
E	181	48	29.66666667	181.8082407	0.53	181.8080935	152.4898182
F							154.2979117

AZIMUT DE PARTIDA	AZIMUT DE LLAGADA	ERROR ANGULAR		EA MAX
		° Decimal	segundos	segundos
154.297913	154.2979117	1.23648E-06	0.00	16.58312395
<b>ADMISIBLE</b>				

## CÁLCULO DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS

PUNTO	AZIMUT		DISTANCIA	DIST.ACUM	COORDENADAS PRELIMINARES		CORRECCIÓN		COORDENADAS TOPOGRÁFICAS	
	Decimal	Radian			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
A					273478.260	8662260.223			<b>273478.260</b>	<b>8662260.223</b>
B					273934.529	8661865.435	0.000	0.000	<b>273934.529</b>	<b>8661865.435</b>
1	115.092892	2.009	836.265	836.265	274691.869	8661510.786	-0.006	0.009	<b>274691.863</b>	<b>8661510.795</b>
2	123.285314	2.152	843.207	1679.472	275396.746	8661048.026	-0.012	0.018	<b>275396.734</b>	<b>8661048.045</b>
3	135.684472	2.368	573.228	2252.700	275797.208	8660637.880	-0.017	0.025	<b>275797.192</b>	<b>8660637.905</b>
4	127.724186	2.229	465.100	2717.801	276165.087	8660353.303	-0.020	0.030	<b>276165.066</b>	<b>8660353.333</b>
5	131.351469	2.293	123.124	2840.924	276257.512	8660271.958	-0.021	0.031	<b>276257.491</b>	<b>8660271.989</b>
6	122.243301	2.134	230.407	3071.331	276452.388	8660149.032	-0.023	0.034	<b>276452.365</b>	<b>8660149.066</b>
7	130.029613	2.269	354.591	3425.922	276723.902	8659920.966	-0.025	0.038	<b>276723.877</b>	<b>8659921.003</b>
8	139.506722	2.435	355.684	3781.606	276954.869	8659650.475	-0.028	0.041	<b>276954.841</b>	<b>8659650.516</b>
D	144.924862	2.529	605.544	4387.150	277302.845	8659154.898	-0.033	0.048	<b>277302.812</b>	<b>8659154.946</b>
9	125.755513	2.195	1009.239	5396.389	278121.860	8658565.171	-0.040	0.059	<b>278121.820</b>	<b>8658565.231</b>
10	139.448895	2.434	290.121	5686.510	278310.475	8658344.730	-0.042	0.062	<b>278310.433</b>	<b>8658344.792</b>
11	132.806040	2.318	446.027	6132.537	278637.707	8658041.646	-0.046	0.067	<b>278637.661</b>	<b>8658041.713</b>
E	152.489818	2.661	1066.316	7198.853	279130.245	8657095.900	-0.053	0.079	<b>279130.191</b>	<b>8657095.979</b>

0.000	0.000	comprobación de ajuste
-------	-------	------------------------

error	-0.053	0.079
ECL	<b>0.095</b>	
RCL	<b>1 / 75524.041</b>	
RCL MAX	1 / 20000.000	

## **ANEXO 11**

# **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

PTO	COORDENADAS (UTM)		COORDENADAS (UTM - TOPO)		COORDENADAS (UTM - LTM)			
A	273474.575	8662256.113	273477.661	8662259.508	273478.260	8662260.223	-0.5992	-0.7155
B	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435	273934.529	8661865.435	0.0000	0.0000
1	274695.185	8661517.637	274692.392	8661511.984	274691.863	8661510.795	0.5287	1.1886
2	275404.373	8661061.256	275397.959	8661050.342	275396.734	8661048.045	1.2252	2.2969
3	275808.644	8660654.730	275799.039	8660640.834	275797.192	8660637.905	1.8469	2.9286
4	276179.170	8660373.482	276167.344	8660356.841	276165.066	8660353.333	2.2777	3.5083
5	276272.351	8660292.974	276259.891	8660275.644	276257.491	8660271.989	2.4001	3.6546
6	276468.374	8660171.813	276454.951	8660153.027	276452.365	8660149.066	2.5858	3.9611
7	276742.011	8659946.205	276726.808	8659925.392	276723.877	8659921.003	2.9308	4.3894
D	276975.491	8659677.804	276958.183	8659655.271	276954.841	8659650.516	3.3417	4.7550
8	277328.072	8659185.373	277306.909	8659160.253	277302.812	8659154.946	4.0972	5.3074
9	278152.587	8658603.073	278126.809	8658571.830	278121.820	8658565.231	4.9889	6.5990
10	278343.253	8658384.339	278315.758	8658351.691	278310.433	8658344.792	5.3245	6.8985
11	278673.307	8658084.222	278643.446	8658049.129	278637.661	8658041.713	5.7849	7.4162
E	279174.638	8657142.921	279137.421	8657104.182	279130.191	8657095.979	7.2298	8.2032
F	279476.489	8656530.239	279434.531	8656489.338	279426.356	8656480.652	8.1749	8.6855

VERTICES	ÁNGULO DIRECTO			ÁNGULO DIRECTO UTM - TOPO			ÁNGULO DIRECTO LTM			ÁNGULO UTM GNSS/GPS					
AB1	164	13	29.875	164.2238944	164	13	26.020	164.224	164	13	27.821	164.2274	164	13	38.626
B12	188	11	33.250	188.1927249	188	11	33.810	188.193	188	11	33.148	188.1909	188	11	27.380
123	192	23	57.500	192.3996558	192	23	58.761	192.399	192	23	57.481	192.397	192	23	49.052
234	172	2	23.500	172.0393343	172	2	21.603	172.04	172	2	22.989	172.0409	172	2	27.240
345	183	37	38.750	183.6274471	183	37	38.809	183.627	183	37	38.021	183.6265	183	37	35.427
456	170	53	31.125	170.891355	170	53	28.878	170.892	170	53	30.185	170.8932	170	53	35.592
567	187	47	11.250	187.7866488	187	47	11.936	187.786	187	47	11.020	187.7849	187	47	5.548
67D	189	28	38.125	189.4774647	189	28	38.873	189.477	189	28	37.910	189.4754	189	28	31.364
7D8	185	25	5.833	185.4183436	185	25	6.037	185.418	185	25	5.888	185.4171	185	25	1.583
D89	160	49	50.875	160.8298041	160	49	47.295	160.83	160	49	49.265	160.8337	160	50	1.213
8910	193	41	36.714	193.6939328	193	41	38.158	193.694	193	41	37.177	193.691	193	41	27.478
91011	173	21	26.250	173.3568354	173	21	24.608	173.357	173	21	25.203	173.3581	173	21	29.091
1011E	199	41	2.143	199.6845845	199	41	4.504	199.684	199	41	2.393	199.6805	199	40	49.622
11EF	181	48	29.667	181.8073738	181	48	26.546	181.808	181	48	28.731	181.8113	181	48	40.760

VERTICES	ÁNGULO DIRECTO			ÁNGULO UTM - TOPO			DIF. (segundos)
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
AB1	164	13	29.875	164	13	26.02	3.855
B12	188	11	33.25	188	11	33.81	-0.560
123	192	23	57.5	192	23	58.761	-1.261
234	172	2	23.5	172	2	21.603	1.897
345	183	37	38.75	183	37	38.809	-0.059
456	170	53	31.125	170	53	28.878	2.247
567	187	47	11.25	187	47	11.936	-0.686
67D	189	28	38.125	189	28	38.873	-0.748
7D8	185	25	5.833333333	185	25	6.037	-0.204
D89	160	49	50.875	160	49	47.295	3.580
8910	193	41	36.71428571	193	41	38.158	-1.444
91011	173	21	26.25	173	21	24.608	1.642
1011E	199	41	2.142857143	199	41	4.504	-2.361
11EF	181	48	29.66666667	181	48	26.546	3.121

VERTICES	ÁNGULO DIRECTO			ÁNGULO UTM - LTM			DIF. (segundos)
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
AB1	164	13	29.875	164	13	27.821	2.054
B12	188	11	33.25	188	11	33.148	0.102
123	192	23	57.5	192	23	57.481	0.019
234	172	2	23.5	172	2	22.989	0.511
345	183	37	38.75	183	37	38.021	0.729
456	170	53	31.125	170	53	30.185	0.940
567	187	47	11.25	187	47	11.02	0.230
67D	189	28	38.125	189	28	37.91	0.215
7D8	185	25	5.833333333	185	25	5.888	-0.055
D89	160	49	50.875	160	49	49.265	1.610
8910	193	41	36.71428571	193	41	37.177	-0.463
91011	173	21	26.25	173	21	25.203	1.047
1011E	199	41	2.142857143	199	41	2.393	-0.250
11EF	181	48	29.66666667	181	48	28.731	0.936

VERTICES	ÁNGULO DIRECTO			ÁNGULO UTM GNSS/GPS			DIF. (segundos)
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
AB1	164	13	29.875	164	13	38.626	-8.751
B12	188	11	33.25	188	11	27.38	5.870
123	192	23	57.5	192	23	49.052	8.448
234	172	2	23.5	172	2	27.24	-3.740
345	183	37	38.75	183	37	35.427	3.323
456	170	53	31.125	170	53	35.592	-4.467
567	187	47	11.25	187	47	5.548	5.702
67D	189	28	38.125	189	28	31.364	6.761
7D8	185	25	5.833333333	185	25	1.583	4.250
D89	160	49	50.875	160	50	1.213	-10.338
8910	193	41	36.71428571	193	41	27.478	9.236
91011	173	21	26.25	173	21	29.091	-2.841
1011E	199	41	2.142857143	199	40	49.622	12.521
11EF	181	48	29.66666667	181	48	40.76	-11.093

LINEA	DIST.(GNSS)	DIST. MEDIDA	VARIACION	VARIACION (cm)
A-B	603.479	603.370	-0.1091	-10.9065
B-1	836.398	836.265	-0.1325	-13.2455
1-2	843.345	843.207	-0.1378	-13.7833
2-3	573.322	573.228	-0.0945	-9.4541
3-4	465.177	465.100	-0.0767	-7.6704
4-5	123.144	123.124	-0.0204	-2.0382
5-6	230.445	230.407	-0.0375	-3.7515
6-7	354.649	354.591	-0.0586	-5.8607
7-D	355.742	355.684	-0.0583	-5.8275
D-8	605.642	605.544	-0.0974	-9.7407
8-9	1009.405	1009.239	-0.1659	-16.5902
9-10	290.169	290.121	-0.0476	-4.7566
10-11	446.101	446.027	-0.0738	-7.3752
11-E	1066.481	1066.316	-0.1648	-16.4753
E-F	683.003	682.906	-0.0975	-9.7451

EMC	0.101082902
EMC(cm)	10.11

LINEA	DIST.(UTM - TOPO)	DIST. MEDIDA	VARIACION	VARIACION (cm)
A-B	603.342	603.370	0.0279	2.7902
B-1	836.232	836.265	0.0335	3.3491
1-2	843.172	843.207	0.0353	3.5276
2-3	573.203	573.228	0.0246	2.4618
3-4	465.081	465.100	0.0197	1.9734
4-5	123.118	123.124	0.0053	0.5314
5-6	230.398	230.407	0.0096	0.9566
6-7	354.575	354.591	0.0151	1.5125
7-D	355.668	355.684	0.0153	1.5306
D-8	605.518	605.544	0.0257	2.5673
8-9	1009.197	1009.239	0.0426	4.2605
9-10	290.109	290.121	0.0124	1.2446
10-11	446.008	446.027	0.0191	1.9121
11-E	1066.272	1066.316	0.0440	4.3973
E-F	682.868	682.906	0.0379	3.7878

EMC	0.027185868
EMC(cm)	2.72

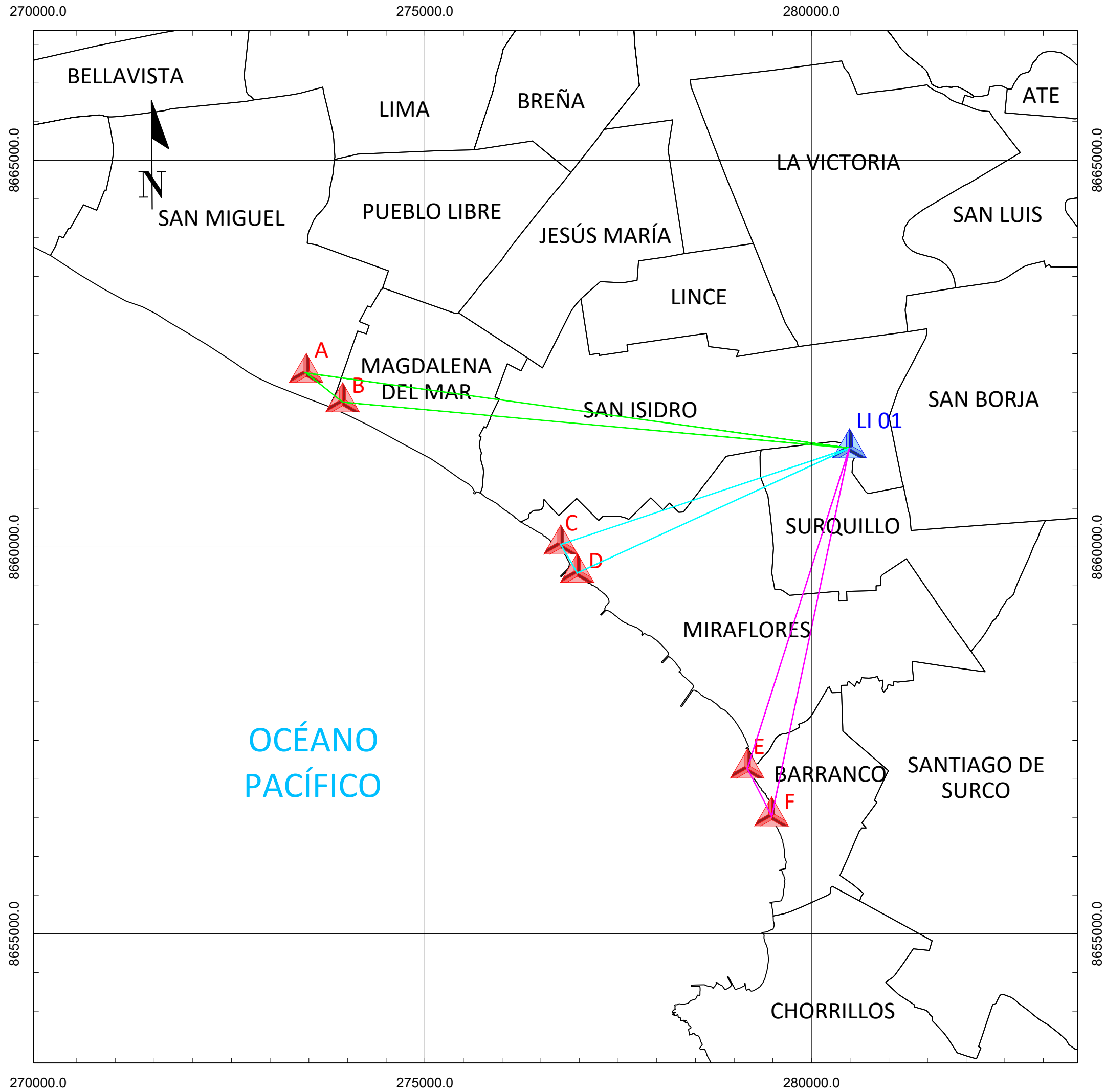
LINEA	DIST.(UTM - LTM)	DIST. MEDIDA	VARIACION	VARIACION (cm)
A-B	603.356	603.370	0.014	1.358
B-1	836.256	836.265	0.009	0.924
1-2	843.197	843.207	0.010	1.029
2-3	573.220	573.228	0.008	0.765
3-4	465.094	465.100	0.006	0.635
4-5	123.123	123.124	0.001	0.069
5-6	230.404	230.407	0.003	0.339
6-7	354.586	354.591	0.004	0.425
7-D	355.679	355.684	0.005	0.452
D-8	605.536	605.544	0.008	0.846
8-9	1009.226	1009.239	0.013	1.275
9-10	290.118	290.121	0.003	0.341
10-11	446.021	446.027	0.006	0.565
11-E	1066.301	1066.316	0.015	1.464
E-F	682.892	682.906	0.014	1.400

EMC	0.008992456
EMC(cm)	0.9



# **ANEXO 12**

## **PLANOS**



PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS GNSS (POST-PROCESO)	
	ESTE (X)	NORTE (Y)
LI01	280479.727	8661244.451
A	273474.575	8662256.113
B	273934.529	8661865.435
C	276762.504	8660037.05
D	276975.537	8659677.893
E	279174.638	8657142.921
F	279476.489	8656530.239

LEYENDA	
LIMITE DISTRITAL	
PUNTO GEODESICO	
ESTACIÓN DE RASTEEO PERMANENTE	
TRIANGULACIÓN LI 01 - A - B	
TRIANGULACIÓN LI 01 - C - D	
TRIANGULACIÓN LI 01 - E - F	



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
 E.P. INGENIERÍA GEOGRÁFICA  
 TESIS

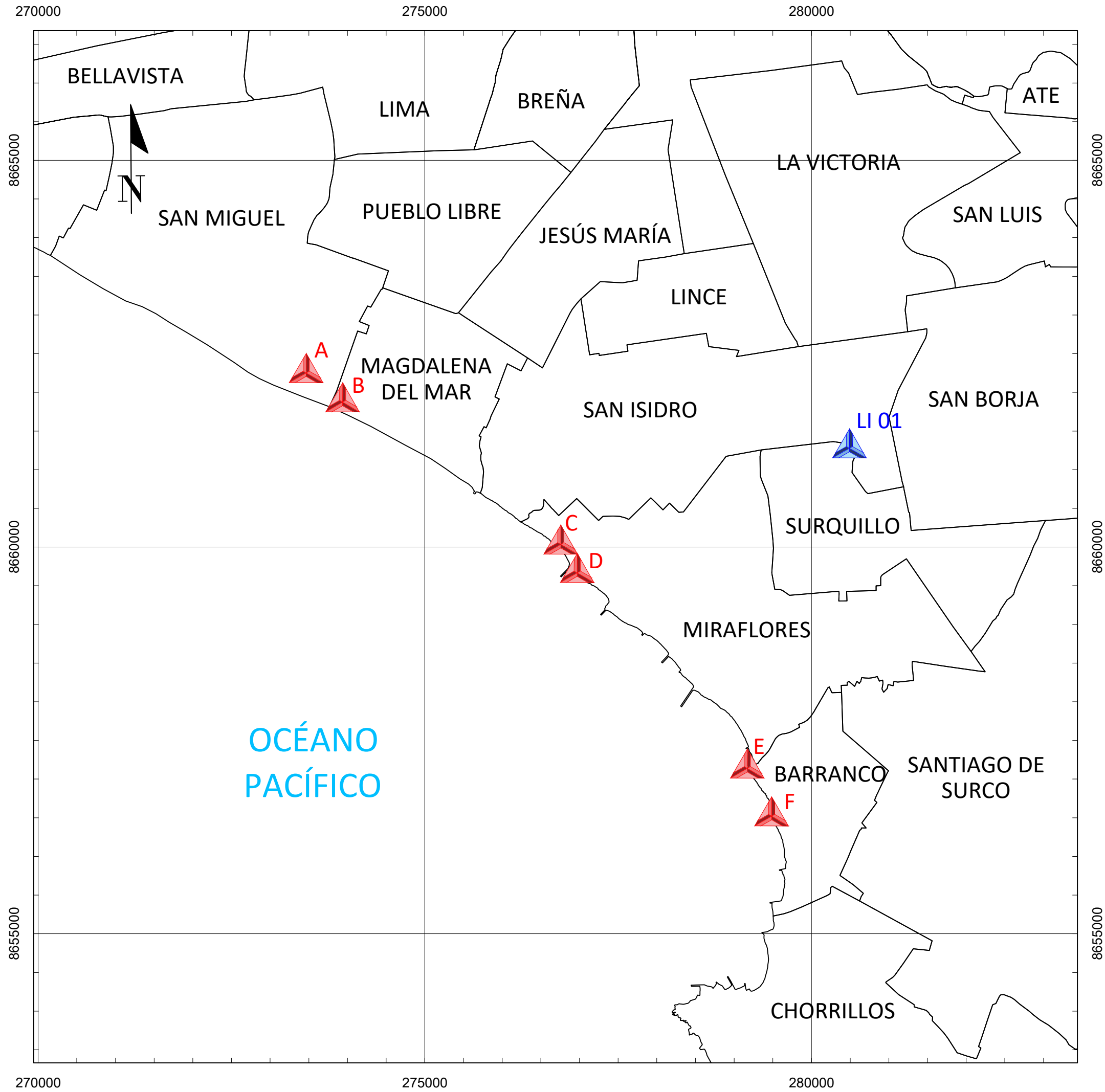


**APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS LTM PARA DISMINUIR LA DISTORSIÓN EN LA CARTOGRAFÍA DE CARRETERAS**

**PLANO DE TRIANGULACIONES GEODÉSICAS**

ELABORADO POR: BACH. CABELLO RODRIGUEZ, GERSON MIGUEL  
 BACH. GUILLEN MELGAREJO, DIEGO ANDREE

PROYECCIÓN: UTM DATUM WGS84 - ZONA 18 SUR



PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS GNSS (POST-PROCESO)	
	ESTE (X)	NORTE (Y)
LI01	280479.727	8661244.451
A	273474.575	8662256.113
B	273934.529	8661865.435
C	276762.504	8660037.05
D	276975.537	8659677.893
E	279174.638	8657142.921
F	279476.489	8656530.239

LEYENDA	
LIMITE DISTRITAL	
PUNTO GEODÉSICO	
ESTACIÓN DE RASTEO PERMANENTE	



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
 E.P. INGENIERÍA GEOGRÁFICA  
 TESIS



**APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS LTM PARA DISMINUIR LA DISTORSIÓN EN LA CARTOGRAFÍA DE CARRETERAS**

**PLANO DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO**

ELABORADO POR: BACH. CABELLO RODRIGUEZ, GERSON MIGUEL  
 BACH. GUILLEN MELGAREJO, DIEGO ANDREE

PROYECCIÓN: UTM DATUM WGS84 - ZONA 18 SUR

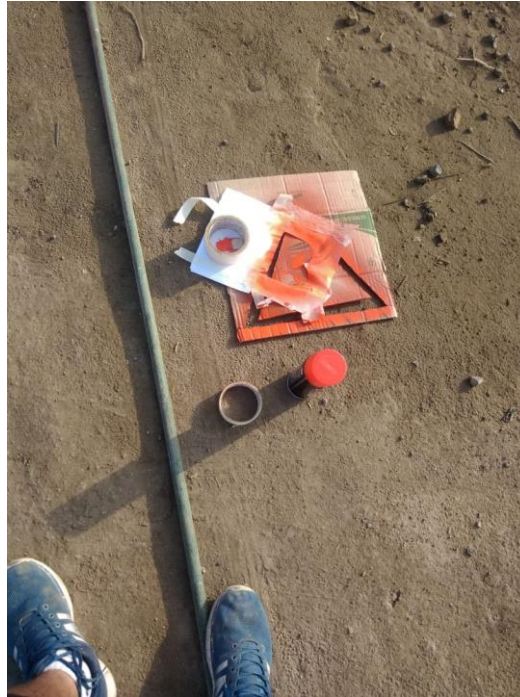
## **ANEXO 13**

# **PANEL FOTOGRAFICO**

## PANEL FOTOGRÁFICO

Figura N° 1

En la presente imagen se aprecian los materiales para la materialización de los puntos geodésicos



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 2

Movilización de Equipos de Trabajo



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 3

En la presente Imagen se aprecia la Materialización del Punto A



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 4

En la presente Imagen se aprecia la Materialización del Punto B



FUENTE: Trabajo de Campo



Figura N° 5

En la presente Imagen se aprecia la Materialización del Punto D



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 6

En la presente Imagen se aprecia la Materialización del Punto E



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 7:

En la presente Imagen se aprecia la Materialización del Punto F



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 8

Estacionamiento de Equipo y Lectura de Posicionamiento Geodésico del Punto "C"



FUENTE: Trabajo de Campo



Figura N° 9

Lectura de Posicionamiento Geodésico del Punto "A"



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 10

Estacionamiento de Equipo del Punto "D"



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 11

Lectura de Posicionamiento Geodésico del Punto "D"



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 12

Estacionamiento de la Estación Total – Levantamiento Topográfico



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 13

Posición de Punto de Cambio – Levantamiento Topográfico con Estación Total



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 14

Posición de Punto de Cambio – Levantamiento Topográfico con Estación Total



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 15

Posición de Punto de Cambio – Levantamiento Topográfico con Estación Total



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 16

Posición de Punto de Cambio – Levantamiento Topográfico con Estación Total



FUENTE: Trabajo de Campo

Figura N° 17

Estacionamiento de la Estación Total – Levantamiento Topográfico



*FUENTE: Trabajo de Campo*