

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y  
AGRIMENSURA**



**“EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS DE AJUSTE EN POLIGONALES  
ABIERTAS EN LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**SAMUEL FLORES LOPEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PROMOCION 2010-I**

**PUNO – PERÚ**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA**

**“EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS DE AJUSTE EN POLIGONALES  
ABIERTAS EN LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA”**

TESIS PRESENTADA POR:

**SAMUEL FLORES LOPEZ**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO TOPOÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 DE DICIEMBRE DEL 2016

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 ..... Ing. M.Sc. ALBERTO RAMOS VILCA
PRIMER MIEMBRO	:	 ..... Ing. M.Sc. LUIS ALBERTO MAMANI HUANCA
SEGUNDO MIEMBRO	:	 ..... Ing. ARTURO JOELS VENTURA MAMANI
DIRECTOR DE TESIS	:	 ..... Ing. VÍCTOR CIPRIANO FLORES FLORES
ASESOR DE TESIS	:	 ..... Ing. VÍCTOR RAÚL BANEGAS LAYME

PUNO - PERÚ  
2016

Área: **Ciencias naturales**

Tema: **Topografía, geodesia, cartografía y catastro**

## DEDICATORIA

*Con mucho cariño a mis adorados padres Fredy y Lourdes, a mi hermano Midwar, a mis tíos David, Samuel, y Moisés, a mis tías Betty, Virginia y Abigail, y demás familiares, con eterna gratitud por su apoyo y abnegación al apoyarme en la consecución de mis metas profesionales en mi vida.*

*Con mucho amor a mi esposa Lidian, a mis queridos suegros Virgilio y Elsa, a mis cuñados Wilber y Aida, a mis sobrinos Leydi, Jefferson y Gabriel por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida.*

*A mi pequeña hija Samantha, como homenaje al sacrificio y la superación, a la que amare por siempre.*

**Samuel**

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional del Altiplano  
en especial a la Escuela Profesional de  
Ingeniería Topográfica y Agrimensura.*

*A todos los señores docentes y  
administrativos de la Facultad de  
Ciencias Agrarias, por compartir sus  
experiencias profesionales y  
orientaciones para mi superación  
personal.*

*Al Ing. Víctor Cipriano Flores Flores e  
Ing. Víctor Raúl Banegas Layme, como  
director y asesor de la tesis de  
investigación.*

*Al jurado calificador, encabezado por  
el Ing. MSc. Alberto Ramos Vilca  
(como Presidente), Ing. MSc. Luis  
Alberto Mamani Huanca (como Primer  
Miembro calificador) e Ing. Arturo  
Ventura Mamani (como Segundo  
Miembro calificador).*

**ÍNDICE**

	<b>Pag.</b>
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	16
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	24
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	
2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS .....	25
2.2. POLIGONALES .....	26
2.2.1. POLÍGONO ABIERTO.....	27
2.3. LEVANTAMIENTOS DE CONTROL .....	29
2.3.1. MÉTODOS DE OBSERVACIÓN TOPOGRÁFICO.....	30
2.3.2. MEDICIÓN DE ÁNGULOS .....	31
2.3.3. MEDICIÓN DE ÁNGULOS HORIZONTALES .....	32
2.4. CONTROL DE PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN Y DE LA ORIENTACIÓN .....	33
2.5. TRILATERACIÓN.....	34
2.6. EL DATUM .....	35
2.7. DATUM GEODÉSICO .....	36
2.8. AJUSTE CON EL MÉTODO DEL COMPAS .....	37
2.9. AJUSTE CON REGLA DE TRÁNSITO.....	38
2.10. AJUSTE CON EL MÉTODO DE CRANDALL.....	38

2.11.	AJUSTE CON MÍNIMOS CUADRADOS .....	39
2.11.1.	ECUACIONES NO LINEALES .....	41
2.11.2.	MATRIZ DE REDUNDANCIA .....	41
2.11.3.	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE REFERENCIA A POSTERIORI.....	42
2.11.4.	EL CONCEPTO DE PESO DE UNA OBSERVACIÓN .....	43
2.11.5.	PRINCIPIO DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS .....	44
2.11.6.	AJUSTE DE LAS OBSERVACIONES POR EL MÉTODO CORRELATIVO.....	47
2.12.	HIPÓTESIS .....	51
2.12.1.	HIPÓTESIS GENERAL .....	51
2.12.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	51

### **CAPÍTULO III**

#### **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	52
3.2.	UNIDADES DE OBSERVACIÓN .....	52
3.3.	CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO .....	53
3.4.	HERRAMIENTAS y MATERIALES EMPLEADOS .....	54
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	54
3.6.	MÉTODO DE PROCEDIMIENTO - PUNTOS DE CONTROL .....	56
3.6.1.	PUNTOS DE CONTROL BASE.....	56
3.6.2.	PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO ESTABLECIDO PARA LA CARRETERA AYAVIRI PURINA.....	57
3.6.3.	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	60
3.7.	AJUSTE DE POLÍGONOS POR MÍNIMOS CUADRADOS .....	64
3.7.1.	PARÁMETROS DE OPCIÓN DE AJUSTE.....	65
3.7.2.	CONFIGURACIÓN DE ERROR ESTÁNDAR DE INSTRUMENTO.....	65

### **CAPÍTULO IV**

#### **CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

4.1.	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	67
4.2.	UBICACIÓN POLÍTICA .....	68
4.3.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	68

4.4.	ZONA DE ESTUDIO.....	68
4.5.	IMPORTANCIA DE LA VÍA.....	68
4.6.	CLIMA .....	69
4.7.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS .....	69
4.8.	CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.....	69
4.9.	CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE .....	70

## **CAPÍTULO V**

### **EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

5.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTADÍSTICA .....	71
5.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	74
5.3.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	74
5.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	74
5.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
5.6.	RESUMEN DE OBSERVACIONES DE ENTRADA.....	76
5.7.	ANUNCIO DE LOS DATOS DE ENTRADA.....	78
5.7.1.	ITERACIONES DE SOLUCIÓN DE AJUSTE .....	79
5.8.	AJUSTE DE POLÍGONO POR LOS MÉTODOS PLANTEADOS.....	90
5.9.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE COMPARACIÓN DE LOS CINCO MÉTODOS PLANTEADOS .....	94
	CONCLUSIONES.....	104
	RECOMENDACIONES .....	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
	ANEXOS .....	109

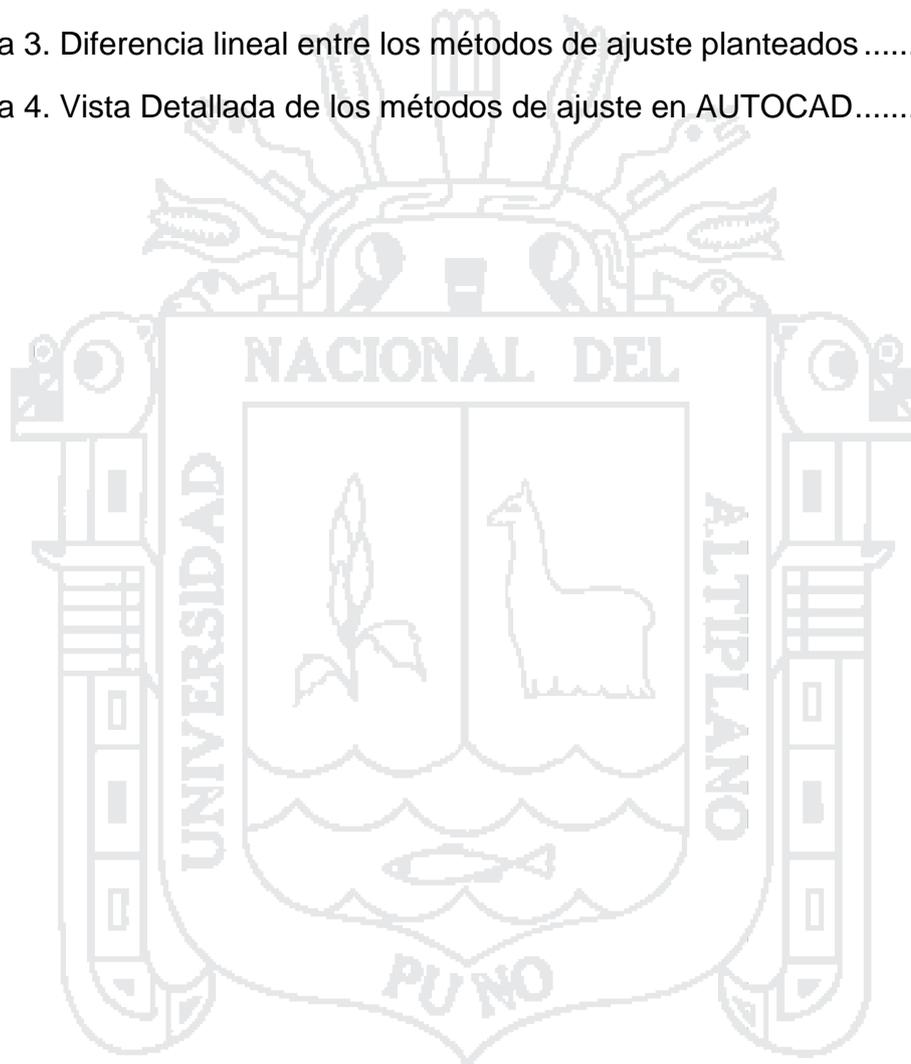
## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Polígono Abierto.....	28
Figura 2. Red formada por seis triángulos independientes .....	30
Figura 3. Condiciones básicas para determinar un ángulo .....	33
Figura 4. Datum PSAD 56 y WGS 84.....	35
Figura 5. “Punto fundamental”, coincide elipsoide y geoide.....	36
Figura 6. Recolección de datos con Estación Total.....	55
Figura 7. Etapas de Desarrollo de la Investigación .....	55
Figura 8. Vista del punto AYW4 de Orden C del IGN.....	56
Figura 9. Referencia del punto de control P1-AUX.....	57
Figura 10. Ubicación del Punto de Control AP-01 .....	58
Figura 11. Ubicación del Punto de Control AP-02 .....	58
Figura 12. Ubicación del Punto de Control AP-03 .....	59
Figura 13. Ubicación del Punto de Control AP-04 .....	59
Figura 14. Iniciando TOPCON Tools v8.2 .....	60
Figura 15. Configuración de sistema de Coordenadas y Datum de latitud, longitud y elevación .....	60
Figura 16. Ajuste de Confiabilidad de red .....	61
Figura 17. Control de calidad de las observaciones.....	61
Figura 18. Ocupación de Satélites (1).....	62
Figura 19. Ocupación de Satélites (2).....	62
Figura 20. Vista de los puntos en el mapa (1).....	63
Figura 21. Vista de los puntos en el mapa (2).....	63
Figura 22. Configuración de parámetros de Estación Total .....	66
Figura 23. Imagen Satelital de la Zona de Investigación.....	67

## LISTA DE GRÁFICAS

Pag.

Gráfica 1. Diferencia entre los métodos de ajuste en la Coordenada Norte.....	97
Gráfica 2. Diferencia entre los métodos de ajuste en la Coordenada Este .....	100
Gráfica 3. Diferencia lineal entre los métodos de ajuste planteados .....	103
Gráfica 4. Vista Detallada de los métodos de ajuste en AUTOCAD.....	103



**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Cartera para un levantamiento de una poligonal abierta .....	28
Tabla 2. Unidades de Observación .....	52
Tabla 3. Coordenadas UTM punto AYV4 .....	56
Tabla 4. Coordenadas Geográficas Punto AYV4 .....	57
Tabla 5. Diseño Estadístico .....	72
Tabla 6. Análisis de varianza: Fórmulas.....	73
Tabla 7. Operacionalización de variables.....	74
Tabla 8. Coordenadas Geográficas WGS-84 (1).....	76
Tabla 9. Coordenadas UTM WGS-84 (1) .....	76
Tabla 10. Factor combinado (1) .....	76
Tabla 11. Coordenadas Geográficas WGS-84 (2).....	76
Tabla 12. Coordenadas UTM WGS-84 (2) .....	76
Tabla 13. Factor Combinado (2).....	77
Tabla 14. Número de Estaciones Ingresadas (Metros) = 5 .....	77
Tabla 15. Coordenadas con GPS-D UTM WGS-84 .....	78
Tabla 16. Polígono 01 .....	78
Tabla 17. Polígono 02 .....	78
Tabla 18. Polígono 03 .....	79
Tabla 19. Primera Iteración .....	79
Tabla 20. Segunda Iteración .....	80
Tabla 21. Cambios de Coordenadas de las Provisionales Ingresadas (Metros) ..	81
Tabla 22. Ajustadas Coordenadas (Metros).....	82
Tabla 23. Ajustadas Angulo Observaciones (G-M-S).....	82
Tabla 24. Ajustadas Distancia Observaciones (Metros).....	83
Tabla 25. Ajustadas Rumbos (GMS) y Distancias Horizontales (Metros) .....	84
Tabla 26. Número de Ángulos: Observaciones (GMS) = 20 .....	85
Tabla 27. Número de Distancia Observaciones (Metros) = 20 .....	85
Tabla 28. Análisis de Varianza .....	86
Tabla 29. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 01 .....	87
Tabla 30. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 02 .....	87
Tabla 31. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 03.....	88

Tabla 32. Coordenada de Estación Desviaciones Estándar (Metros) .....	88
Tabla 33. Coordenada de Estación Error Elipses (Metros) .....	89
Tabla 34. Relativa Error Elipses (Metros).....	89
Tabla 35. Ajuste por método del Compás del Polígono 01 .....	90
Tabla 36. Ajuste por método del Compás del Polígono 02 .....	90
Tabla 37. Ajuste por método del Compás del Polígono 03 .....	91
Tabla 38. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 01.....	91
Tabla 39. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 02.....	91
Tabla 40. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 03.....	92
Tabla 41. Ajuste por método de Crandall del Polígono 01 .....	92
Tabla 42. Ajuste por método de Crandall del Polígono 02 .....	92
Tabla 43. Ajuste por método de Crandall del Polígono 03 .....	93
Tabla 44. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 01 .....	93
Tabla 45. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 02 .....	93
Tabla 46. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 03 .....	93
Tabla 47. Resumen de Factores para la Coordenada Norte .....	94
Tabla 48. Análisis de varianza para los cinco métodos planteados de la Coordenada Norte .....	94
Tabla 49. Valores críticos para la prueba de Tukey .....	95
Tabla 50. Prueba de Tukey con HSD en la coordenada Norte.....	96
Tabla 51. Resumen de factores para la Coordenada Este.....	97
Tabla 52. Análisis de Varianza de los cinco métodos planteados para la Coordenada Este .....	98
Tabla 53. Prueba de Tukey con HSD en la coordenada Norte.....	99
Tabla 54. Resumen de factores para el Error Lineal .....	100
Tabla 55. Análisis de Varianza de los cinco métodos planteados para el Error Lineal.....	101
Tabla 56. Prueba de Tukey con HSD en la Diferencia Lineal.....	102

## RESUMEN

La presente investigación denominada “EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS DE AJUSTE EN POLIGONALES ABIERTAS EN LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA”, realizado en el distrito de Ayaviri, provincia de Melgar y departamento de Puno. Se ejecutó con la finalidad de comparar métodos de ajuste de polígonos con: Transito, Compass, Crandall, Rotar y Escalar a la línea conocida y la proyección de variables denominada Método de los Mínimos Cuadrados en una longitud de 10Km.

Inicialmente se consultó en textos de especialidad y portales web para adquirir información sobre el tema; logrando elevar el nivel investigativo y permitiendo mediante el análisis del mismo identificar argumentos para la explicación del procedimiento; y dar cumplimiento al objetivo general que es: Determinar la diferencia de los métodos de Tránsito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida y el método de Mínimos Cuadrados en el ajuste de la poligonal abierta de apoyo con dos puntos fijos en los extremos de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000 y posteriormente dar cumplimiento a los objetivos específicos de la investigación; que es determinar la precisión y confiabilidad por el método de mínimos cuadrados para el ajuste de la red de control horizontal en el polígono abierto de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000 y evaluar los resultados obtenidos del método de mínimos cuadrados con productos que provienen de la aplicación de otros métodos: Tránsito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida; en el control horizontal sin diferencias significativas.

Asimismo la utilización de fórmulas conocidas del ajuste por mínimos cuadrados de observaciones, se evaluó el comportamiento del modelo matemático con dos iteraciones, (elipses y residuos a nivel de confianza del 95 % de probabilidad), en el cual los errores de ajuste son muy pequeños, mientras que en el ajuste de ángulos y distancias de control horizontal la precisión es de 0” a 0.3” y de 0m. a 0.5m. respectivamente a un nivel de confianza del 95%, llegando a una precisión por tramos de 1/7000 y 1/40000. En este punto el método de mínimos

cuadrados toma ventaja sobre los otros, al asignar dentro del procedimiento, un peso relativo a las medidas angulares y otro a las medidas lineales, ajustando de la manera más imperceptible posible los ángulos y distancias.

Estadísticamente los cinco métodos han sido analizados para dar mayor confiabilidad por análisis de varianza de un factor (ANOVA) con SPSS v23 y Microsoft Excel 2016 existiendo diferencias significativas en la coordenada norte y este de acuerdo a la prueba Post-hoc de Tukey ya que  $p < 0.05$ , donde al menos uno de los métodos es diferente y es el método de los mínimos cuadrados que tiene la menor diferencia significativa estadísticamente.

En tal sentido podemos afirmar que el método de mínimos cuadrados es considerado aceptable para la compensación de poligonales abiertas, actualmente su aplicación no ha sido difundida por los profesionales de Topografía.

Los temas tratados en la investigación están divididos en cinco grandes capítulos. El capítulo I, planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación. El capítulo II, marco teórico, marco conceptual e hipótesis de la investigación. El capítulo III, método de investigación. El capítulo IV, caracterización del área de investigación. Y por último el capítulo V, exposición y análisis de los resultados. Así como las conclusiones, recomendaciones y los anexos correspondientes.

**Palabras clave:** Diferencia significativa, Métodos de ajuste, Modelo matemático.

## ABSTRACT

The present investigation called "EVALUATION OF FIVE METHODS OF ADJUSTMENT IN OPEN POLYGONS AT AYAVIRI - PURINA ROAD", carried out in the Ayaviri district, Melgar province and Puno department. It was performed in order to compare polygon adjustment methods with: Transit, Compass, Crandall, Rotate and Scalar to the known line and the projection of variables called the Least Squares Method in a length of 10Km.

Initially consulted in specialty texts and web portals to acquire information on the subject; Managing to raise the level of investigative and allowing through the analysis of the same to identify arguments for the explanation of the procedure; And to fulfill the general objective that is: To determine the difference of the methods of Transit, Compass, Crandall, Rotate and scale to the known line and the method of Minimum Squares in the adjustment of the open traverse of support with two fixed points in the Ends of the Ayaviri - Purina highway from Km 0 + 000 to Km 10 + 000 and subsequently fulfill the specific objectives of the investigation; Which is to determine the accuracy and reliability by the method of least squares for the adjustment of the horizontal control network in the open polygon of the Ayaviri - Purina highway from Km 0 + 000 to Km 10 + 000 and to evaluate the results obtained from the method of Least squares with products that come from the application of other methods: Transit, Compass, Crandall, Rotate and scale to the known line; In the horizontal control without significant differences.

Also the use of known formulas of least squares adjustment of observations, we evaluated the behavior of the mathematical model with two iterations, (ellipses and residuals at the 95% confidence level), in which the adjustment errors are very small, while in the adjustment of angles and distances of horizontal control the precision is of 0 "to 0.3" and of 0m. To 0.5m. Respectively at a confidence level of 95%, reaching an accuracy in terms of 1/7000 and 1/40000. At this point, the least-squares method takes advantage of the others by assigning a weight relative to the angular measurements and another to the linear measurements, adjusting angles and distances as imperceptibly as possible.

Statistically all five methods have been analyzed to give greater reliability by one-way analysis of variance (ANOVA) with SPSS v23 and Microsoft Excel 2016. There are significant differences in the north and east coordinates according to Tukey Post-hoc test since  $p < 0.05$ , where at least one of the methods is different and it is the least squares method that has the least statistically significant difference.

In this sense we can affirm that the method of least squares is considered acceptable for the compensation of open polygonal, currently its application has not been diffused by the Topography professionals.

The topics covered in the research are divided into five major chapters. Chapter I, problem statement, background and objectives of the research. Chapter II, theoretical framework, conceptual framework and research hypotheses. Chapter III, research method. Chapter IV, characterization of the research area. And finally chapter V, exhibition and analysis of the results. As well as the conclusions, recommendations and corresponding annexes.

**Keywords:** Significant difference, Adjustment methods, Mathematical model.

## INTRODUCCIÓN

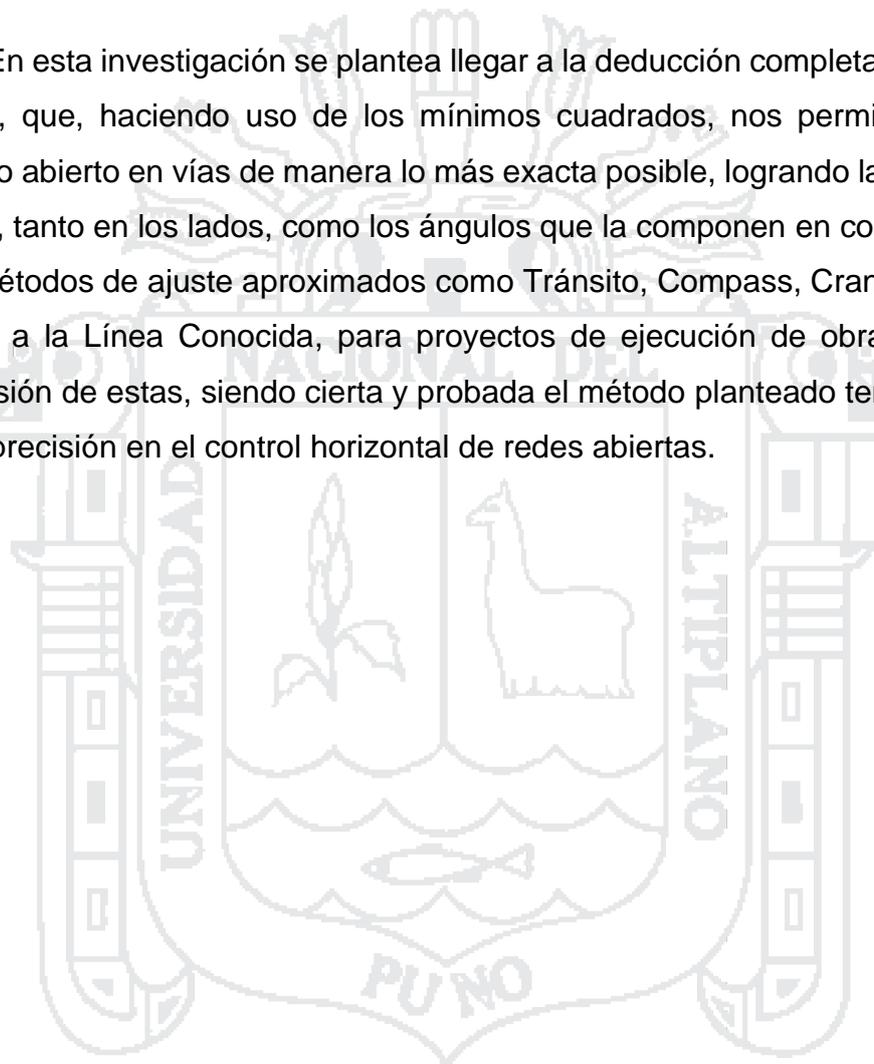
En la elaboración de proyectos de desarrollo lineal como son vías, canales irrigaciones entre otros, en el Perú se aplica procedimientos geodésicos para referenciar los trabajos topográficos en el cual se adopta la incorporación como práctica habitual de trabajo el Sistema de Posicionamiento Global, que opera de acuerdo a sistemas geodésicos, en particular para las investigaciones se usa el sistema WGS-84 el cual es un sistema geocéntrico global con origen en el centro de masa de la Tierra.

Asimismo, estos procedimientos están normados en el Manual de Diseño de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 y el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 para la ejecución de carreteras en el Perú; sin embargo, no se detallan claramente los procedimientos, métodos, ni etapas de trabajo en la densificación de puntos de control horizontal de las coordenadas (X, Y) obtenidas para la poligonal abierta, ofreciendo solo parámetros de precisión horizontal y vertical en cada punto de control, creando así un vacío existente en la normatividad peruana.

Al determinar las coordenadas de un punto sobre la superficie mediante GPS-D, se obtienen las coordenadas cartesianas X, Y, Z y sus equivalentes geodésicos: latitud, longitud y altura elipsoidal que se utilizan en proyectos de Ingeniería, todo esto proyectado en un plano el cual es el Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), posterior a la obtención de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) a las que se llama puntos de control, previo se procede a realizar la poligonal en este caso abierta de acuerdo a la topografía del terreno mediante la medición de ángulos y distancias con Estación Total para el ajuste de esta, por ello nos preguntamos ¿En el ajuste de polígonos abiertos de apoyo mediante mínimos cuadrados, con dos puntos fijos en los extremos en carretera Ayaviri – Purina, el ajuste está dentro de los parámetros previstos?, en los trabajos que implica el control horizontal, sería una gran ventaja el uso del método de mínimos cuadrados el cual en la actualidad no es tomado en cuenta tal vez por su desconocimiento o por su procedimiento de cálculo. El advenimiento de los

ordenadores, su continuo perfeccionamiento y extraordinaria propagación, el problema de realizar grandes cantidades de operaciones ha venido desapareciendo, esta ventaja permite el uso adecuado de diferentes métodos para la compensación de polígonos con softwares adecuados según su aplicación y método

En esta investigación se plantea llegar a la deducción completa y clara de un método, que, haciendo uso de los mínimos cuadrados, nos permita ajustar un polígono abierto en vías de manera lo más exacta posible, logrando la deformación mínima, tanto en los lados, como los ángulos que la componen en comparación de otros métodos de ajuste aproximados como Tránsito, Compass, Crandall y Rotar y Escalar a la Línea Conocida, para proyectos de ejecución de obras viales y la supervisión de estas, siendo cierta y probada el método planteado tendríamos una mayor precisión en el control horizontal de redes abiertas.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema general que ocurre en la topografía es que, al medir las distancias horizontales y verticales, el valor más probable que deseamos conocer no resulta a las derivadas de las observaciones; al no existir errores sistemáticos groseros en las mediciones, están afectados por inevitables errores accidentales; que muchas veces se consideran valores aproximados. Al corregir todo los valores observados o calculados que cumplan esas condiciones, una vez estos estén compensados serán los más probables, mediante una aplicación de un algoritmo riguroso, así como todos los resultados obtenidos seguirán una distribución normal.

Si en Topografía deseamos calcular una magnitud y se efectúan solamente las medidas necesarias, se obtendrá un resultado único y no se podrá conocer su nivel de precisión, además, si en alguna de las mediciones se ha producido un gran error no se puede detectar. Por otro lado, si al medir excedentes, se mejorará la precisión o se podrá tener un control fiable de las mediciones en general. Al número de observaciones excedentes le llamaremos redundancias. Pueden dar diversas soluciones a la cuestión planteada, podemos buscar aquella que satisfaga el conjunto de relaciones matemáticas entre las magnitudes medidas y además sea mínima la

diferencia de los residuos, al comparar por otros métodos que pueden ser similares o más eficaces con respecto al método de mínimos cuadrados.

Los modernos equipos hoy en día basan su mantenimiento y actualización en el análisis del comportamiento de las coordenadas tridimensionales de las estaciones GNSS a través del tiempo. La determinación de las series temporales de estas estaciones constituye una de las labores fundamentales y, además, brinda información para diferentes estudios de ingeniería como puntos de control. En el caso de la geodesia, una de las aplicaciones utilizada con mayor frecuencia es, precisamente, en la georeferenciación de puntos de control a cada 5 ó 10 km en vías.

En la actualidad en nuestro país según las normas peruanas de diseño geométrico 2014, nos dice que se adopta la incorporación como práctica habitual de trabajo, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) como control estable en los puntos extremos, referidos a sistemas geodésicos, el Ministerio de Transporte hace referencia al sistema WGS-84 (World Geodetic System de 1984). El Sistema WGS-84 es un sistema geocéntrico global (mundial) con origen en el centro de masa de la Tierra, cuya figura analítica es el Elipsoide Internacional GRS-80. Al determinar las coordenadas de un punto sobre la superficie de la tierra mediante GPS, se obtienen las coordenadas cartesianas X, Y, Z y sus equivalentes geodésicos: latitud ( $\phi$ ), longitud ( $\lambda$ ) y altura elipsoidal ( $h$ ).

En tal sentido al trabajar con equipos electrónicos como la estación total, cometemos muchas veces errores no aceptables al medir las magnitudes en serie de polígonos internos hasta llegar al punto extremo de control, en razón a estos problemas el planteamiento de investigación es la EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS DE AJUSTE EN POLIGONALES ABIERTAS EN LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA, se plantea que los puntos intermedios de control será mediante estación total, de cualquier punto se verá diferencias de desplazamiento en (X, Y), que pueda estar dentro o fuera de los parámetros topográficos con relación a dos magnitudes

de intersección con respecto a puntos conocidos y referenciados; cuyo desempeño cumpla con todos los requerimientos para ser empleado en proyectos de ingeniería de obras viales, en los que sea necesario contar con altos grados de precisión; con los modelos matemáticos y estadísticos generados, en el presente trabajo se pretende implementar y validar una metodología para el cálculo y ajuste de control horizontal en la poligonal abierta con dos puntos de control con GPSD como testigo en una longitud de 10 Km, que cuente con un mayor rigor en contraste con los métodos aproximados; y que sea también el pilar para que en futuros estudios la metodología empleada pueda ser considerada en los ajustes y confiable para dicho estudio.

**Interrogante general:**

¿En el ajuste de polígonos abiertos de apoyo mediante los métodos de Transito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida y Mínimos cuadrados con dos puntos fijos en los extremos en la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000, cuál método es aceptable dentro de los parámetros previstos?

**Interrogantes específicas:**

¿En la validación del método de mínimos cuadrados, para el ajuste de redes de control horizontal en polígonos abiertos, mejora la precisión y confiabilidad en el ajuste de red de apoyo de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000?

¿Al realizar un análisis comparativo, contrastando los resultados obtenidos del método de mínimos cuadrados con productos que provienen de la aplicación de otros métodos: Transito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida en el control horizontal, cuál es el método con menor diferencia significativa estadísticamente?

## 1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Ajuste de la red de control básico vertical en función de números geopotenciales (Título de ingeniería)

CAPT. de E. Coyago R. D. (2010). Llega a una conclusión que el ajuste de la Red de Nivelación de primer orden en función de números geopotenciales por el método correlativo, de acuerdo a la prueba estadística de Chi-cuadrado fue aceptada a un nivel de significancia del 5% esto es a un rango de aceptación del 95%, al analizar los problemas línea por línea de la nivelación y gravedad se tomó los puntos ideales para los incrementos de potencial y conociendo qué separación entre las placas de nivelación se puede obviar la gravedad observada, teniendo siempre en cuenta que en algunos lugares se debían colocar valores de gravedad interpolada.

Para este trabajo y de acuerdo al estudio realizado para la tolerancia de los números geopotenciales, se puede obviar la gravedad saltándonos hasta 6 puntos de nivelación, pero para que no exista algún problema es recomendable de 4 a 5 saltos de puntos de nivelación, esto quiere decir hasta 10km máximo de distancia, teniendo siempre en cuenta que las distancias de punto a punto no pasen los 2km, esto puede ser en la costa como en la sierra.

Determinación de un geoide de precisión en áreas de pequeña extensión. Aplicación en el parque nacional de Doñana. (Tesis Doctoral).

Dra. Núñez, Amparo (España 2006). Indica que la investigación realizada en el seno de los proyectos de Dirección General de Investigación Científica y Técnica en el Parque Nacional de Doñana. Los principales objetivos geodésicos de dichos proyectos son el establecimiento de un marco de referencia para el posicionamiento en el Parque y la determinación de un Geoide de precisión en el mismo, el cual permitirá la obtención de cotas ortométricas derivadas de observaciones GPS, de gran utilidad para

los estudios en el ámbito de hidrología e hidrogeología que se realizan en la zona.

No disponer de este modelo de geoide provocaría errores en la determinación de las cotas ortométricas a partir de la elipsoidales debido al fuerte gradiente que presenta en la zona de ondulación del geoide.

La primera parte de los trabajos se centra en el análisis de las redes geodésicas y de nivelación existente en la zona. Es importante conocer el estado y precisión de las mismas puesto que será en ellas en las que se base la red implantada en la zona del Parque, cuyos vértices serán empleadas en el ajuste inicial de diferentes modelos de geoide y posteriormente en el cálculo de un nuevo modelo. La red propia establecida esta enlazada con la red nacional REGENTE y las redes de nivelación de alta precisión, N.A.P.

Se ha comprobado la bondad en la zona de estudio de los geoides gravimétricos IBERGEO95 Y EGG97, de ámbito regional y continental respectivamente. Se ha realizado el ajuste de ambos a partir de las observaciones GPS/nivelación/gravimetría en puntos seleccionados en dos ejes en dirección aproximada N-S y E-W, con el fin de tener controlada cualquier variación direccional.

La comprobación del ajuste de IBERGEO95 y EGG97 permite deducir que no se garantiza una precisión centimétrica en el ámbito del parque. Por ello se ha optado por calcular un geoide geométrico en la zona mediante la técnica eliminar-restaurar, usando en este proceso el modelo global CG01 obtenido de la solución combinada de datos terrestres y datos procedentes de las misiones espaciales CHAMP Y GRACE, y el modelo digital de elevaciones fruto de la integración del MDT25 del Instituto Geográfico Nacional con datos de la batimetría de la zona del Instituto Hidrográfico de la Marina. El modelo fino tiene una resolución de 25m x 25m.

Cálculo, mediante la aplicación del algoritmo de ajuste por mínimos cuadrados, de los componentes de velocidad para estaciones GNSS continuas. (Artículo)

Jorge Moya Zamora (2014): nos dice puede ser aplicado a estaciones GNSS de medición continua, cuyos registros tengan, al menos, dos años. Es evidente que los parámetros que se obtengan dependerán de factores como la repetitividad de las observaciones, es decir, sin saltos en las series de tiempo. Una limitante que es actualmente tratada en el proyecto Mo No Lin de SIRGAS es que el modelo asume un comportamiento lineal de la estación, lo cual, dependiendo de la zona y de los eventos físicos a los que esté expuesta la estación, no responde a la realidad. En la coordenada Y se obtiene un comportamiento muy irregular con dispersiones de los datos. La coordenada Z, por su parte, presenta una dispersión regular aún más que en el caso de la coordenada X: se nota un salto. En el caso particular de las velocidades obtenidas para la estación ETCG representan, precisamente, las causas citadas anteriormente y algunas más. Los valores de velocidad de +11 mm/a, +7 mm/a y +21 mm/a, responden al modelo lineal utilizado. Se debe ser cuidadoso al hacer una interpretación de estos valores, si no se han considerado previamente, de esta manera, y considerando, los valores positivos de velocidad para cada una de las coordenadas corresponden con un desplazamiento de la estación ETCG en la dirección norte-sur (coordenada Z) de unos 89 mm, en la dirección este-oeste (coordenada X) de unos 35 mm y 34 mm en altura (coordenada Y), para un valor promedio de 50 mm de desplazamiento horizontal en dirección noreste entre las semanas GPS 1500 y 1700. Estos datos representan un desplazamiento de la ETCG de unos 13 mm por año.

### 1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la diferencia de los métodos de Tránsito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida y el método de Mínimos Cuadrados, el ajuste de la poligonal abierta de apoyo con dos puntos fijos en los extremos de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000.

#### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la precisión y confiabilidad por el método de mínimos cuadrados el ajuste de la red de control horizontal en el polígono abierto de apoyo de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000.
- Evaluar los resultados obtenidos del método de mínimos cuadrados con productos que provienen de la aplicación de otros métodos: Tránsito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida; en el control horizontal sin diferencias significativas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS

Zúñiga, W. (2010). Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos en base a dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsoidal, los cuales son obtenidos en base parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre, tales como la aceleración de gravedad.

Los sistemas globales de coordenadas nos permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El más comúnmente usado sistema es el de la latitud, longitud y altura. El primer meridiano y el ecuador son los planos que definen la latitud y la longitud.

- La latitud geodésica de un punto, es el ángulo desde el plano ecuatorial a la dirección vertical de la línea normal al elipsoide de referencia.
- La longitud geodésica de un punto es el ángulo que forma el meridiano que pasa por el punto con el meridiano origen en sentido dextrógiro.
- La altura elipsoidal de un punto es la distancia desde el elipsoide de referencia al punto en dirección normal al elipsoide.

Dentro de un sistema cartesiano global las coordenadas están expresadas en función de los ejes (X Y Z), del cual su origen es el centro de masas de la Tierra. El eje Z es paralelo al eje de rotación terrestre, el eje X a su vez es paralelo al meridiano de Greenwich y por último el eje Y es perpendicular al plano XOZ

## 2.2. POLIGONALES

Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012). El uso de poligonales es uno de los procedimientos topográficos más comunes. Se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos, para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras.

Una poligonal es una sucesión de líneas quebradas, conectadas entre sí en los vértices. Para determinar la posición de los vértices de una poligonal en un sistema de coordenadas rectangulares planas, es necesario medir el ángulo horizontal en cada uno de los vértices y la distancia horizontal entre vértices consecutivos.

En forma general, las poligonales pueden ser clasificadas en:

**Poligonales Cerradas:** En las cuales el punto de inicio es el mismo punto de cierre, proporcionando por lo tanto control de cierre angular y lineal.

**Poligonales Abiertas:** De enlace con control de cierre en las que se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final, y la orientación de las alineaciones inicial y final, siendo también posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.

**Poligonales Abiertas Sin Control:** En las cuales no es posible establecer los controles de cierre, ya que no se conocen las coordenadas del punto inicial y/o final, o no se conoce la orientación de la alineación inicial y/o final.

Posición Relativa de puntos en el Terreno: Se sabe que una de las finalidades de la topografía plana es la determinación de la posición relativa de los puntos sobre el terreno, tanto en planta como en alzado, elevación o perfil.

Si se conoce la posición y orientación de una línea dada AB y se desea conocer la posición relativa del punto P.

### 2.2.1. POLÍGONO ABIERTO

Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012). Cuando se realiza el levantamiento de una poligonal abierta, normalmente se trata de obras de tipo lineal, tales como caminos, carreteras, canales de drenaje y similares, en este caso lo que se hace es dividir la obra en tramos rectos y definir la alineación de cada uno, es decir se mide el azimut de cada uno y su distancia para ir construyendo la poligonal abierta. De acuerdo a lo anterior este método es muy similar al levantamiento por poligonación, solo que el objetivo no es determinar el área, sino definir la ruta de la obra.

Para el trabajo con estas poligonales se tienen las mismas indicaciones y recomendaciones vistas para los dos levantamientos descritos con anterioridad. Al inicio del levantamiento se coloca el teodolito en el punto de inicio, se nivela, se lleva a ceros (se hace coincidir con el norte magnético o con uno arbitrario) y se mide el ángulo comprendido entre este eje y el punto siguiente (2), luego de lo anterior se mide la distancia horizontal entre los dos puntos.

A continuación, se lleva el teodolito al punto 2, se visualiza el punto 1 y se lleva a ceros, en este momento se mide el ángulo horizontal entre 1 y 3, recordando que se hace en sentido de las manecillas del reloj, este proceso es similar a la medición del ángulo externo en el levantamiento por poligonación. Este proceso se repite tantas veces como puntos haya,

cuidando de tomar siempre la distancia horizontal entre dos puntos consecutivos.

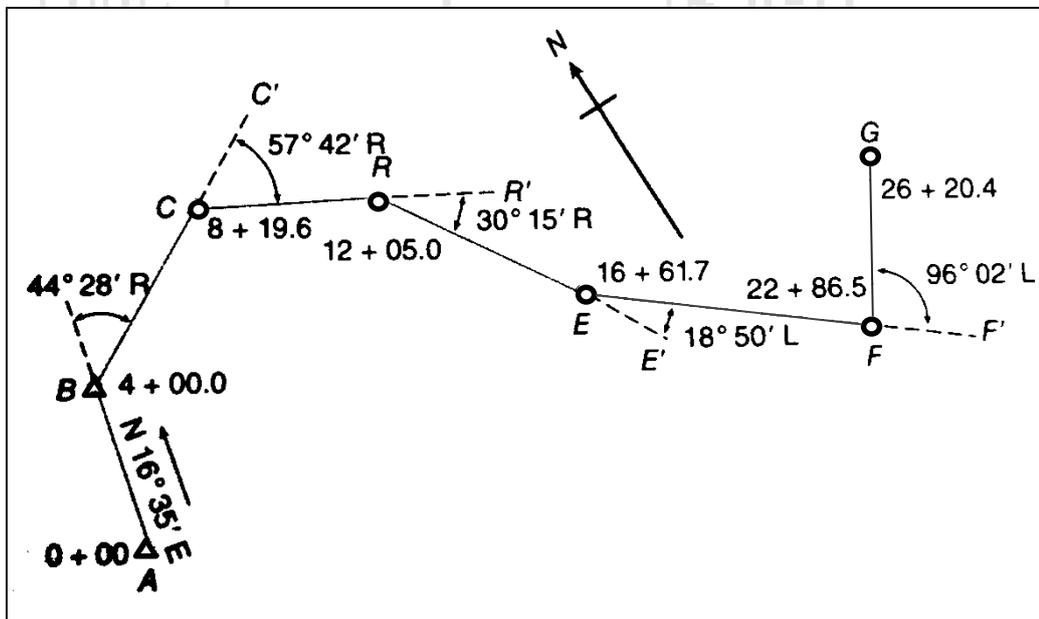
Un modelo de cartera apropiado para este levantamiento puede ser:

**Tabla 1. Cartera para un levantamiento de una poligonal abierta**

Estación	Punto Observado	Ángulo Horizontal			Distancia Horizontal
		Grados	Minutos	Segundos	
1	N				
1	2				
2	3				
3	4				
4	5				
5	6				
6	n				

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos necesarios para determinar la poligonal abierta ya fueron explicados anteriormente, en este sentido, con los datos de campo, se calcula el azimut de cada punto, con este se determinan las proyecciones y finalmente las coordenadas.



**Figura 1. Polígono Abierto**

Fuente: Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012)

### 2.3. LEVANTAMIENTOS DE CONTROL

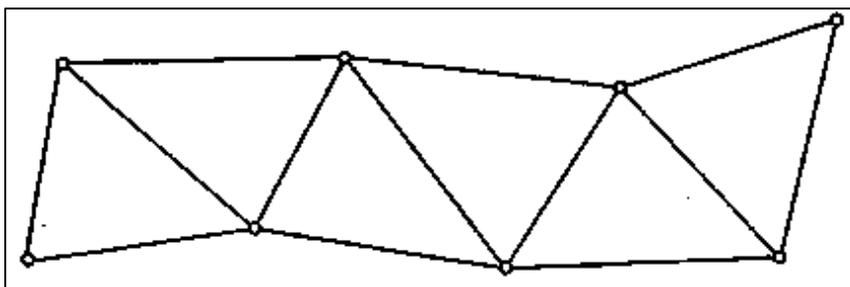
Torres, A. y Villate, E. (2001). Son llamados levantamientos de control porque se utilizan principalmente para determinar con precisión la posición de puntos que sirven para iniciar o para terminar o “cerrar” una poligonal.

Se llama triangulación el método en el cual las líneas del levantamiento forman figuras triangulares, de las cuales se miden solo los ángulos y los lados se calculan trigonómicamente a partir de uno conocido llamado base.

Szentesl, A. (1980). En general la triangulación comienza con la creación de redes que consisten en grandes triángulos. Esta red, en que la longitud de lado de los triángulos es de casi 30 km, se llama red de primer orden. Dentro de esto se señalan puntos de triangulación de segundo orden a una distancia de 1.5 km y de tercer orden a una distancia de 6 a 7 km. Las redes de primer, segundo y tercer orden son denominadas en conjunto, red de triangulación de orden superior (la distancia media de los puntos de las redes de triangulación de diferentes órdenes puede diferir del arriba expuesto según los países).

Para mediciones detalladas se requiere una red de puntos básicos mucho más densa, por lo que es necesario crear otros puntos básicos entre los puntos de triangulación de orden superior.

Para seguir aumentando la densidad de los puntos, a los puntos de triangulación señalados a unos 2 km se llaman puntos de cuarto orden, los puntos señalados con una densidad de 1 a 1.5 km se llaman puntos de triangulación de quinto orden, en conjunto son denominadas, red de triangulación de orden inferior.



**Figura 2. Red formada por seis triángulos independientes**

Fuente: Torres, A. y Villate, E. (2001)

### 2.3.1. MÉTODOS DE OBSERVACIÓN TOPOGRÁFICO

Alcántara, D. (1990). En topografía para la medición de ángulos se usa cualquier goniómetro o instrumento de medida.

Método simple. Consiste en colocar como origen de medición cero grados sobre la línea que une al vértice con cualquier punto de referencia, que se tome como origen. A partir de allí podemos medir el ángulo interno, externo o de deflexión en el sentido positivo (sentido de las manecillas del reloj o sentido a la derecha) o bien en sentido negativo (contrario las manecillas del reloj o sentido la izquierda), hasta el siguiente punto de referencia que nos define el ángulo. Y se lee en el círculo graduado el valor correspondiente al arco descrito entre las dos líneas.

Método de reiteración. A diferencia del método anterior, el origen se toma arbitrariamente en una lectura cuales quiera definida de antemano, a fin de ratificar los valores encontrados compararlos y, de ser necesario, promediarlos para lograr mejores valores.

Método de repetición. Se toma como origen en cero grados cualquier línea, como en el *método* simple, se gira hasta el lado con el cual se define el ángulo por medir y se regresa a la línea de origen. Pero no se coloca en cero grados, sino en la lectura que se haya tenido al medir. Se repite dos, tres, o más veces esta operación y, como los valores se han ido acumulando (en la segunda ocasión aproximadamente el doble, en la tercera cerca del

triple, etc.), el valor angular de la última observación se divide entre el número de veces que se hizo la repetición y el resultado o cociente será el valor angular correspondiente (regularmente se hacen tres repeticiones y como máximo cuatro ya que la fricción del limbo puede arrastrar su graduación y con ello perdería precisión la lectura. Este método es muy confiable ya que ofrece la ventaja de poder detectar errores, equivocaciones y los errores acumulados por la apreciación de los valores.

### 2.3.2. MEDICIÓN DE ÁNGULOS

Szentesi, A. (1980). Los puntos de dirección deben ser escritos en orden, en el sentido de las agujas del reloj; la dirección inicial debe ser prescrita de nuevo en el final de la serie como dirección terminal.

La medición de ángulos *solo* puede ser realizada en condiciones adecuadas de visibilidad, en tiempo no muy ventoso.

Durante la medición, el instrumento y el soporte debe estar a la sombra; alrededor del instrumento hay que moverse con precaución, durante la observación no hay que rodear del instrumento porque con ello se puede mover fácilmente el soporte del mismo.

- ¡No tolerar la presencia de curiosos y niños alrededor del instrumento!

El instrumento solo puede ser tocado ligeramente; el ocular debe ser ajustado antes de la medición; durante la medición, aparte del tornillo paraláctico (anillos), de los tornillos de enlace y de dirección no se debe tocar ni el instrumento ni el soporte del mismo. Si el instrumento o el soporte del mismo son objeto de una sacudida hay que repetir la medición:

- Antes de comenzar la medición y antes de cada repetición hay que controlar su verticalidad.
- En una serie de mediciones debe haber por lo menos dos direcciones de orientación.

- La dirección en la primera posición del anteojo normal hay que realizarla en el sentido de las agujas del reloj, y en la segunda posición del anteojo invertido, en sentido contrario.

Entre los valores de dirección medidos en la primera y segunda posición del anteojo, en general debe haber una distancia aproximadamente permanente, por esto hay que calcularla a base de los valores leídos para compararlos con fines de control. Si la diferencia entre el valor inicial y final de la dirección inicial es tres veces mayor que la capacidad de lectura en el caso de instrumento de capacidad de lectura (o precisión) de  $1''-10''$  es dos veces mayor en otro caso, entonces hay que repetir la medición, el encargado de registro repite en altavoz, los números dictados.

Para hacer el cálculo, hay que calcular el valor medio de las lecturas hechas en las posiciones I y II del anteojo.

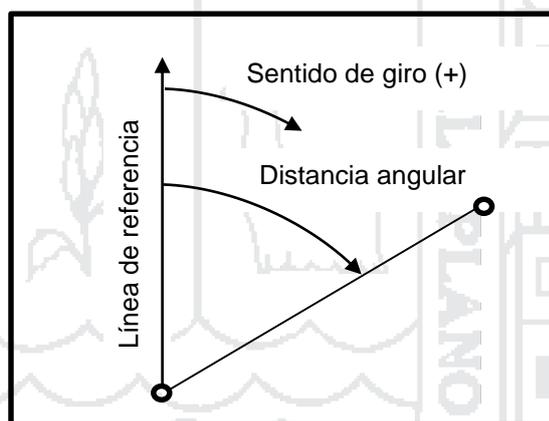
### 2.3.3. MEDICIÓN DE ÁNGULOS HORIZONTALES

Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012). Los acimuts se miden a partir de una dirección y pueden determinarse directamente usando un teodolito o un instrumento de estación total. En este proceso, con el instrumento emplazado y centrados sobre una estación y nivelado, se toma primero una lectura hacia atrás sobre un punto conocido, el instrumento está ahora "orientado" debido a que la línea visual está en una dirección conocida, con el acimut correspondiente en el círculo horizontal.

1. En topografía el ángulo formado por dos líneas rectas trazadas sobre el suelo se mide horizontalmente y se llama ángulo horizontal. Las líneas trazadas sobre el suelo se pueden reemplazar con dos líneas visuales AB y AC. Estas líneas visuales parten del ojo del observador que constituye el vértice A del ángulo BAC, y se dirigen hacia puntos fijos del terreno tales como una piedra, un árbol, un hormiguero, un poste telefónico o la esquina de un edificio.

2. Los ángulos horizontales en general se expresan en grados. Un círculo completo se divide en 360 grados, abreviado como  $360^\circ$ , un ángulo de  $90^\circ$ , llamado ángulo recto, formado por dos rectas perpendiculares; los ángulos de un cuadrado son todos ángulos rectos; un ángulo de  $180^\circ$  obtenido prolongando una línea recta; en realidad es lo mismo que una línea recta.
3. Cada grado se divide en unidades más pequeñas:
  - 1 grado = 60 minutos (60');
  - 1 minuto = 60 segundos (60").

De todos modos, estas unidades más pequeñas sólo pueden ser medidas con instrumentos de alta precisión.



**Figura 3. Condiciones básicas para determinar un ángulo**

Fuente: Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012)

#### 2.4. CONTROL DE PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN Y DE LA ORIENTACIÓN

Szentesi, A. (1980). La suma de los ángulos interiores de los triángulos, da una orientación sobre la precisión de la medición de dirección. La medición de dirección es de una precisión adecuada si la suma de los ángulos interiores del triángulo sólo se desvía  $24/t$  segundos de los  $180^\circ$ . En la fórmula  $t$  es la longitud media del lado del triángulo en kilómetros. La precisión de la orientación se define mediante el examen de la desviación de los ángulos. Ninguna de las desviaciones puede ser mayor de  $24/t$ .

## 2.5. TRILATERACIÓN

Wolf, P.R. y Ghilani, Ch. D. (2012). La trilateración, un método para levantamientos de control horizontal basado exclusivamente en la medición de distancias horizontales, ha ganado aceptación debido a su capacidad para medir distancias electrónicamente. Tanto la triangulación como la poligonación exigen la medición de ángulos horizontales que requieren mucho tiempo. Por ello los levantamientos de trilateración con frecuencia pueden ejecutarse con mayor rapidez y producir precisiones igualmente aceptables.

Las figuras geométricas utilizadas en la trilateración, aunque no están tan estandarizadas, son similares a las empleadas en la triangulación. Las estaciones deben ser visibles entre si y, por consiguiente, estar ubicadas en los puntos más altos, algunas veces se utilizan torres para elevar instrumentos y observadores si es necesario.

Debido a los requerimientos de intervisibilidad y la conveniencia de tener redes básicamente cuadradas, la trilateración es ideal para aumentar el control en áreas metropolitanas y en grandes obras de ingeniería. En situaciones especiales donde la topografía u otras condiciones exigen figuras angostas y alargadas, la red se puede reforzar midiendo algunos ángulos horizontales. Además, en el caso de arcos de trilateración de gran longitud, las observaciones acimutales astronómicas impedirán que la red se deforme en dirección.

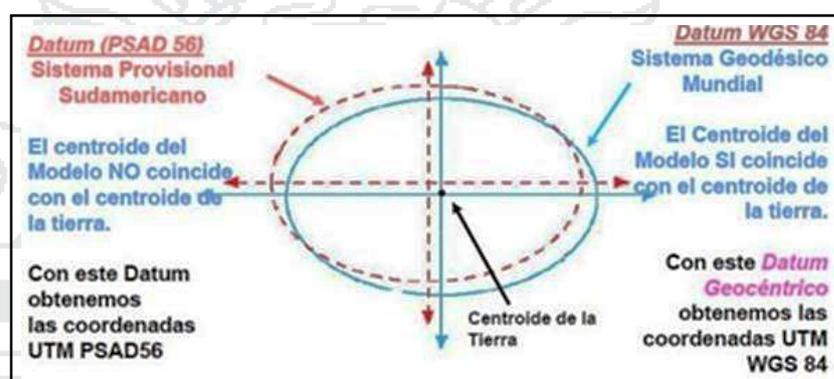
Como en la triangulación, los levantamientos por trilateración se pueden extender a partir de uno o más señalamientos de posición conocida. Si solo una estación es fija, por lo menos se debe conocer o medir un azimut.

Los cálculos de trilateración consisten en reducir a horizontales las distancias inclinadas medidas, luego al elipsoide, y, por último, a sus longitudes en cuadrícula, así los cálculos se realizan en sistemas estatales de coordenadas planas. Los errores de observación en las redes de

trilateración se deben ajustar, de preferencia por el método de mínimos cuadrados.

## 2.6. EL DATUM

Guizado M. (2011), el “Datum” es un Modelo (de elipsoide) que representa matemáticamente la forma de la tierra y con el cual se obtiene los datos geodésicos de puntos sobre la superficie terrestre entre los que se encuentran las coordenadas UTM.



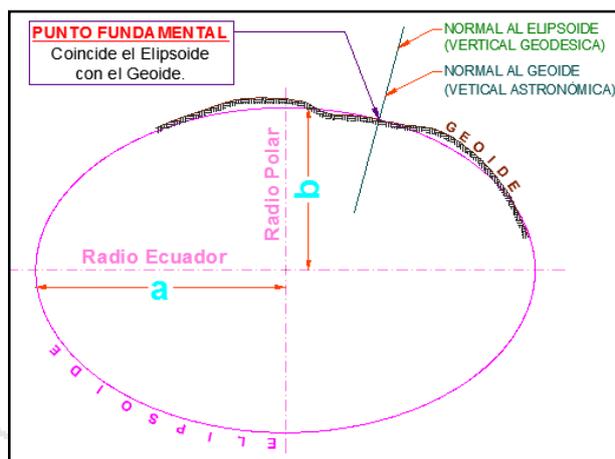
**Figura 4. Datum PSAD 56 y WGS 84**

Fuente: Guizado M. (2011).

Actualmente la red geodésica GPS del Perú, tiene como Datum Geocéntrico, el sistema de referencia SIRGAS.

Fernández, C., y Copel, I. (2001) define: el Datum como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes.

Cada Datum está compuesto por; un elipsoide, definido por  $a$ ,  $b$  y  $f$  (aplastamiento), un punto llamado “fundamental” en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. Este punto “fundamental” se le define por sus coordenadas geográficas longitud y latitud, además del acimut de una dirección con origen en el punto de “fundamental”. Esta desviación se denomina; Desviación en la vertical y desviación en el meridiano.



**Figura 5. “Punto fundamental”, coincide elipsoide y geoide.**

Fuente: Guizado M. (2011).

En el punto fundamental coincide el elipsoide con la superficie real de la tierra, así como en este punto las coordenadas astronómicas (las de la tierra) y las geodésicas (las del elipsoide).

## 2.7. DATUM GEODÉSICO

Zúñiga, W. (2010) afirma, que el Datum geodésico es un sistema de coordenadas que expresa las ubicaciones de puntos sobre la superficie terrestre. El sistema incluye la latitud ( $\phi$ ) y la longitud ( $\lambda$ ) basadas en un elipsoide específico. Por lo tanto, el Datum se especifica según el elipsoide escogido y su asociación con uno o más puntos sobre la superficie terrestre. En estos tiempos, los esfuerzos se dirigen hacia el desarrollo del Datum globales con un elipsoide determinado de tal forma que se ajuste al geoide en un sentido global y con origen en el centro de masa de la tierra.

En la actualidad todos los Datum locales y regionales han quedado de lado y el problema se circunscribe a trabajar sobre los Datum globales, llámese Datum WGS84. También resulta conveniente distinguir entre los Datum horizontales y verticales. La primera sirve para determinar las latitudes y longitudes; el Datum vertical proporciona la referencia para medir las elevaciones.

En geodesia se emplean dos tipos de Datum, el horizontal y el vertical:

Datum Horizontal. Permite la determinación de la latitud y longitud. Se elige un punto en el cual las superficies del elipsoide de referencia y del geoide sean tangentes. De esta forma la vertical del geoide (Astronómica) y la vertical del elipsoide (geodésica) coincidirán, así también, sus respectivas coordenadas.

Datum Vertical. Por lo general las elevaciones se refieren al geoide (en lugar del elipsoide) porque los instrumentos utilizados bien sean para nivelación diferencial o la trigonométrica, se regulan de manera que sus ejes verticales coincidan con el vertical local. También existen discrepancias entre los puntos verticales. Sin embargo, de la raíz media cuadrática entre las redes de nivelación basadas en diferentes Datum del nivel medio del mar puede ser hasta de dos metros.

## 2.8. AJUSTE CON EL MÉTODO DEL COMPAS

Jiménez, L. (2014). Esta regla ajusta las proyecciones ortogonales de las líneas de poligonales en proporción a sus longitudes. Aunque no es tan rigurosa como el método de mínimos cuadrados, conduce a resultados lógicos en la distribución de cierre.

Las correcciones se obtienen por las formulas siguientes:

$$\text{correcc de proy. Y de AB} = -\text{error de cierre en proys. Y} * \frac{\text{long. de AB}}{\text{long.de poligonal}}$$

$$\text{correcc de proy. X de AB} = -\text{error de cierre en proys. X} * \frac{\text{long.X de AB}}{\text{long.de poligonal}}$$

Observe que los signos algebraicos de las proyecciones son opuestos a los del error de cierre respectivo.

La aplicación tanto de la regla del tránsito como de la brújula supone que todas las líneas se midieron con igual cuidado, y que los ángulos se tomaron con la misma precisión. De lo contrario deben asignarse pesos

adecuado a los ángulos o a las distancias individuales. Los pequeños errores pueden distribuirse por simple examen.

## 2.9. AJUSTE CON REGLA DE TRÁNSITO

Jiménez, L. (2014). Esta regla es teóricamente mejor para los levantamientos con tránsito en los que se miden los ángulos con mayor precisión que las distancias, como en los levantamientos hechos con estadía, pero raras veces se emplea en la práctica porque se obtienen diferentes resultados para cada meridiano posible, los resultados dependen arbitrariamente de los rumbos de las líneas.

Las correcciones se calculan por las formulas siguientes:

$$\text{correcc de proy. Y de AB} = \text{error de cierre en proys. Y} * \frac{\text{proy.Y de AB}}{\text{suma aritm.de las proys}}$$

$$\text{correcc de proy. X de AB} = \text{error de cierre en proys. X} * \frac{\text{proy.X de AB}}{\text{suma aritm.de las proys}}$$

## 2.10. AJUSTE CON EL MÉTODO DE CRANDALL

Jiménez, L. (2014). En este método de compensación de polígonos, se distribuye primero el error de cierre angular en partes iguales entre todos los ángulos medidos. Luego se mantienen fijos los ángulos ajustados y se asignan todas las correcciones restantes a las medidas lineales, siguiendo un método de mínimos cuadrados pesados o ponderados. El método de Crandall es más lento que los procedimientos de la regla del tránsito o de la brújula, pero es adecuado para ajustar polígonos en que las medidas lineales tienen errores aleatorios más grandes que las medidas angulares, como por ejemplo en poligonales trazadas por estadía.

$$Cx_i = \left( \frac{\text{Proy. } X_i^2}{L_i} \right) K_1 + \left( \frac{\text{Proy. } X_i \times \text{Proy. } Y_i}{L_i} \right) K_2 \quad ; \quad Cy_i = \left( \frac{\text{Proy. } Y_i^2}{L_i} \right) K_2 + \left( \frac{\text{Proy. } X_i \times \text{Proy. } Y_i}{L_i} \right) K_1$$

$$K_2 = \frac{E_y - \left( \frac{\text{Proy. } X_i \times \text{Proy. } Y_i}{L_i} \right) \cdot E_x}{\left( \frac{\text{Proy. } X_i^2}{L_i} \right) - \frac{\left( \frac{\text{Proy. } X_i \times \text{Proy. } Y_i}{L_i} \right)^2}{\left( \frac{\text{Proy. } Y_i^2}{L_i} \right)}} \quad ; \quad K_1 = \frac{E_x - \left( \frac{\text{Proy. } X_i \times \text{Proy. } Y_i}{L_i} \right) \cdot K_2}{\left( \frac{\text{Proy. } X_i^2}{L_i} \right)}$$

### 2.11. AJUSTE CON MÍNIMOS CUADRADOS

Abellan, M. (2013), La mayoría de las mediciones de levantamientos se deben ajustar a ciertas condiciones geométricas. Las magnitudes por las cuales las mediciones no satisfacen estas condiciones necesarias se denominan errores de cierre, e indican la presencia de errores aleatorios. Diversos procedimientos se aplican para distribuir esos errores y producir condiciones geométrica y matemáticamente perfectas. Algunos sencillamente aplican correcciones del mismo tamaño a todos los valores medidos, en estos casos, cada corrección es igual al error de cierre total (con el signo algebraico cambiado) dividido entre el número de mediciones. Otros corrigen las mediciones en proporción a las ponderaciones asignadas. Otros emplean métodos empíricos.

Debido a que los errores aleatorios en topografía ocurren con forme a las leyes matemáticas de la probabilidad y se “distribuyen normalmente”, el proceso de ajuste más adecuado deberá basarse en estas leyes. El procedimiento de los mínimos cuadrados es uno de tales métodos. No es algo nuevo, pues ya finales del siglo XVIII el matemático Alemán Karl Gauss lo había aplicado. Sin embargo, hasta antes de la llegada de las computadoras, este método se usó poco debido a lo extenso de los cálculos comprendidos.

El método de los mínimos cuadrados es adecuado para ajustar cualquiera de los tipos básicos de las mediciones y es aplicable a todos los procedimientos empleados comúnmente en topografía. El método refuerza la condición de que la suma de la ponderación de las mediciones, multiplicada por sus residuos correspondientes elevados al cuadrado, se minimiza. Esta condición fundamental, que se desarrolla a partir de la ecuación de la curva de distribución del error normal, proporciona los valores más probables para las cantidades ajustas. Además, también (a) determinas las precisiones de los valores ajustados, (b) revela la presencia de errores grandes y equivocaciones, de manera que pueden tomarse medidas para eliminarlos, y (c) se hace posible el diseño óptimo de procedimientos topográficos en el gabinete antes de proceder a tomar medidas en el campo.

Las hipótesis básicas en que se apoya la teoría de mínimos cuadrados son:

- Las equivocaciones en los errores sistemáticos han sido eliminadas, por lo que sólo quedan errores aleatorios;
- El número de observaciones que deben de ajustarse es grande y
- La distribución de frecuencias de los errores es normal.

Aunque estas hipótesis no siempre se cumplen, el ajuste por mínimos cuadrados proporciona el tratamiento más riguroso de los errores y por ello es tan popular e importante en la topografía moderna.

Los ajustes más rigurosos se hacen con el método de los mínimos cuadrados, que se basa en las leyes de probabilidad, desarrollado en el postremerías de la década de 1700. Debido a los largos cálculos implicados, el método no se usaba comúnmente antes del advenimiento de las computadoras. En lugar de eso se aplicaban métodos aleatorios o “preliminares”.

El ajuste con mínimos cuadrados ofrece varias ventajas sobre otros métodos arbitrarios. Primero que todo, como se basa en la teoría matemática de la probabilidad es el más riguroso de los procedimientos de ajuste. Permite que todas las observaciones se incluyan simultáneamente en un ajuste, y cada observación puede ponderarse de acuerdo con su precisión estimada. Además, los mínimos cuadrados son aplicables a cualquier problema de medición, independientemente de su naturaleza o configuración geométrica. Además de estas ventajas los mínimos cuadrados permiten que se hagan análisis estadísticos rigurosos de los resultados del ajuste. Los mínimos cuadrados permiten a un que se haga una planeación antes del levantamiento, de modo que se asegure la obtención de la precisión requerida de las cantidades ajustadas de la manera más económica.

### 2.11.1. ECUACIONES NO LINEALES

Abellan, M. (2013), Define En determinados trabajos topográficos se realizan ciertas observaciones que conducen a ecuaciones no lineales. Tal es el caso de la medida de ángulos y distancias. Para poder abordar el ajuste de estas observaciones por el método de los mínimos cuadrados y poder resolver un sistema de ecuaciones no lineales, es necesario proceder a su linealización mediante el desarrollo en serie de Taylor de primer orden. Consideremos la siguiente ecuación que relaciona un valor observado  $l$  con dos parámetros incógnitas  $x$  e  $y$ , mediante una función  $f$  no lineal.

$$l = f(x,y)$$

### 2.11.2. MATRIZ DE REDUNDANCIA

Abellan, M. (2013), Al analizar los resultados del ajuste de una red topográfica es necesario controlar, más allá de su precisión, la calidad de la red tomando en consideración el aspecto de la fiabilidad. La fiabilidad de la red se refiere al grado de control de las observaciones sobre la capacidad de detección de la presencia de errores groseros en ellas (fiabilidad interna) y a la posibilidad de estimar los efectos que las observaciones con errores

groseros indetectables tienen sobre las coordenadas finales obtenidas en el ajuste (fiabilidad externa). Las observaciones afectadas por la presencia de errores groseros pueden ser detectadas gracias a las medidas redundantes de comprobación. Los residuos de las observaciones tras el ajuste por mínimos cuadrados vienen dados por:

$$r = f - Ax$$

### 2.11.3. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE REFERENCIA A POSTERIORI

Abellan, M. (2013), La desviación estándar para un grupo de observaciones ponderadas es:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot r_i^2}{n - 1}}$$

Esta ecuación se aplica a un grupo de observaciones de una magnitud simple o individual, donde cada observación tiene un peso diferente. Sin embargo, en Topografía se realizan observaciones que relacionan varios parámetros a través de ecuaciones. Para este tipo de observaciones, la desviación estándar en el caso de pesos iguales es:

$$s_o = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{m - n}}$$

Que en forma matricial es,

$$s_o = \sqrt{\frac{r^t r}{m - n}}$$

En esta ecuación,  $\sum r_i^2$  se expresa en forma matricial como  $r^t \cdot r$ ,  $m$  es el número de observaciones y  $n$  el número de incógnitas. El valor  $m-n$  corresponde a las medidas redundantes y representa los grados de libertad del ajuste.

La desviación estándar para el caso de observaciones con pesos diferentes es,

$$s_o = \sqrt{\frac{\sum p_i r^2}{m - n}}$$

y en forma matricial,

$$s_o = \sqrt{\frac{r^t P_r}{m - n}}$$

Donde:

$$\sum p_i r_i^2$$

En forma matricial es  $r^t P_r$ . Como estas desviaciones estándar se refieren al ajuste global y no a una cantidad simple, se les denomina desviaciones estándar de referencia calculadas a posteriori.

#### 2.11.4. EL CONCEPTO DE PESO DE UNA OBSERVACIÓN

Abellan, M. (2013), El peso de una observación es una medida de su valor relativo comparado con el resto de observaciones. Como se ha comentado anteriormente, una medida de gran precisión tiene una varianza pequeña, hace que refleje un alto grado de cuidado en las observaciones y calidad del instrumento utilizado. Esta medida de gran precisión, en el proceso de ajuste, debería recibir una porción relativamente pequeña de la corrección global. Por el contrario, una medida de baja precisión tiene una varianza mayor y en el proceso de ajuste recibirá una corrección mayor.

Como el valor de la varianza varía en sentido opuesto al de la precisión, es necesario introducir una medida que varíe directamente con la precisión. De esta forma, a cada observación le asignamos un número positivo, denominado peso de la observación. Así, para una medida u observación dada, cuanto mayor es su precisión, mayor será el peso y viceversa. De acuerdo con esto, el peso de una observación simple se define

como una cantidad inversamente proporcional a la varianza de la observación,  $\sigma^2$ .

$$p = \frac{k}{\sigma^2}$$

Siendo  $k$  una constante positiva de proporcionalidad los pesos se utilizan para controlar el tamaño de las correcciones que se aplican a las medidas en el proceso de ajuste. Por tanto, las correcciones que se aplican son inversamente proporcionales a sus pesos.

### 2.11.5. PRINCIPIO DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

Garrido, N. (2014), Se considera el caso de varias mediciones directas de una misma magnitud  $X$ , estas pueden ser:  $l_1, l_2 \dots \dots \dots l_n$ . Esto indica los valores que se obtienen en una serie de observaciones. al no contar con un verdadero valor de  $x$  ya que los valores en algún momento siempre son distintos es necesario realizar una evaluación para poder obtener un valor confiable. Por esto se puede tomar un valor aproximado y se evalúa sus discrepancias:

$$x - l_n = v_1$$

$$\left. \begin{matrix} x - l_n = v_1 \\ x - l_n = v_1 \end{matrix} \right\} x - l_n = v_1 \quad i = 1, 2, \dots \dots \dots n$$

Estas discrepancias ( $V_1$ ) son los residuos, llamados también a priori que son los valores desconocidos, mismos que al ser calculados se los suman a las observaciones y se obtiene el valor de  $x$ .

De la misma manera que se trabajó anteriormente se puede tomar otro valor aproximado  $X'$  el mismo que da otro conjunto de residuos:

$$x' - l_i = v'_i$$

Y si se quiere se puede tener más valores:

$$x'' - v_i = v''$$

Estos valores de  $x, x', x'' \dots$  cuál es el valor ideal, esto implica escoger el valor más apropiado, es decir, en determinar un criterio que permita, a las observaciones repetidas  $l_i$ , en desacuerdos entre sí, extraer un valor único para representar el valor de  $X$ .

Lo que se quiere es que los residuos sean lo más bajo posibles y tiendan a cero por esta razón siguiendo el camino indicado por Gauss y Legendre, aceptan como la mejor estimación  $X$  de  $a$  un valor que haga mínima a la suma de los cuadrados de los residuos, de tal forma que (Gemael, 1994):

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min$$

Asimismo, cuando las observaciones no ofrecen un mismo grado de confianza se las homogeniza con pesos ( $p_i$ ), quedando de esta manera la ecuación:

$$\sum_{i=1}^n p_i v_i^2 = \min$$

Estas dos ecuaciones se determinan en forma de matriz de la siguiente manera (Gemael, 1994):

$$V^T V = \min$$

Donde  $V$  es el vector columna de los residuos:

$$V = [v_1, v_2 \dots v_n]^T$$

Y en el caso con los pesos:

$$V^T P V = \min$$

La matriz de pesos  $P$  es una matriz cuadrada y diagonal. La aplicación de mínimos cuadrados para un sistema de ecuaciones lineales es de la siguiente manera (Gemael, 1994):

L representa las observaciones ( $l_b$ ), y en geodesia las observaciones son mayores que las incógnitas:

$$nAx = L_b$$

$$n > u$$

De este modo, en este modelo matemático las observaciones no son compatibles por lo que hay que introducir las correcciones o residuos ( $V = [V_1, V_2, V_3 \dots V_n]^T$ ) de lo expuesto anteriormente, La ecuación lineal queda de esta manera:

$$A \tilde{x} = L_b + V = L_a$$

$L_b =$  Valores observados

$L_a =$  Valores de las observaciones corregidas

Y si aplicamos el mejor estimador  $x$  y  $\tilde{x}$  que satisface la condición.

$$V^T V = \min$$

$$\phi = (A \tilde{x} - L_b)^T (A \tilde{x} - L_b) = \min$$

$$\frac{d\phi}{dx} = A^T A \tilde{x} - A^T L_b = 0$$

$$A^T A \tilde{x} - A^T L_b = 0$$

Esta última ecuación matricial representa un conjunto de ecuaciones u incógnitas, quedando como solución única la siguiente:

$$\tilde{x} = (A^T A)^{-1} A^T L_b$$

Los pesos se dan para la precisión de las mediciones y se utilizan de acuerdo al trabajo que se requiere realizar.

$$\sum L_b = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 & & \\ & \cdot & \\ & & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

Al dividir  $\sum L_b$  para  $\sigma_1^2$  se obtiene la matriz de coeficiente de pesos

$$Q = \frac{1}{\sigma_0^2} * \sum L_b$$

Y de esta fórmula se tiene la matriz de pesos:

$$Q^{-1} = \sigma_0^2 \cdot \sum L_b^{-1} = P$$

$$P = Q^{-1} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & & \\ & \ddots & \\ & & \frac{1}{\sigma_n^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i & & \\ & \ddots & \\ & & P_n \end{bmatrix}$$

Se aplica la ecuación matricial única y se obtiene:

$$V^T P V = \min$$

Que es la forma cuadrática fundamental y se aplica la ecuación normal:

$$(A^T P A) \tilde{X} - A^T P L_b = 0$$

Da como solución (Gemael, 1994):

$$\tilde{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L_b$$

### 2.11.6. AJUSTE DE LAS OBSERVACIONES POR EL MÉTODO CORRELATIVO

El modelo matemático que caracteriza a las observaciones de condición que puede aplicarse en un ajuste por mínimos cuadrados en este método está dado por (Gemael, 1994):

$$F(L_a) = 0$$

Esta ecuación indica que presenta “r” ecuaciones naturales de condición ligado a “n” incógnitas ( $L_a$ ), las mismas que son independientes. Esta ecuación puede ser procesada con incógnitas (residuos,  $W$ ), que es el vector de las ecuaciones ajustadas la cual es:

$$L_a = L_b + V$$

Quedando de esta manera:

$$F(L_b + V) = 0$$

Aplicando una linealización de serie de Taylor en forma matricial se tiene:

$$F(L_a) = F(L_b + V) \cong F(L_b) + \frac{\partial F}{\partial L_a} L_b (L_a - L_b) = 0$$

La ecuación de los valores observados ( $F(L_b)$ ) que es la del error de cierre se la denomina mediante  $W$ .

$$W = F(L_b)$$

A la matriz de las derivadas parciales  $\left[ \frac{\partial F}{\partial L_a} \right]_{L_b}$  por  $B$

$$B = \left[ \frac{\partial F}{\partial L_a} \right]_{L_b}$$

Quedando de esta manera  $BV + W = 0$

Con las dimensiones queda de esta manera:

$$rBn \quad nV1 + rW1 = r01$$

Normalización de ecuaciones. - indica que las incógnitas se subordinen y que satisfagan los mínimos cuadrados, de igual forma que los residuales sean mínimos y para que se cumplan estos dos criterios se utiliza un artificio conocido como el método de LaGrange.

$$\phi = V^T P V - 2K^T (B V + W) = \text{minimo}$$

Entendiéndose de que K son los multiplicadores de LaGrange o “correlatos”. Igualando a cero las derivadas precisas en relación a V y a K para que esta función otorgue un valor mínimo es (Gemael, 1994):

$$\frac{\partial \phi}{\partial v} = 2P V - 2B^T K = 0$$

$$1. -P V - B^T K = 0$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial K} = -2(B V + W) = 0$$

$$2. -B V + W = 0$$

Despejando (V) de la ecuación (2.129) se obtiene, que es la ecuación de los residuos.

$$V = P^{-1} B^T K$$

Y esta ecuación se reemplaza y se obtiene:

$$B P^{-1} B^T K + W = 0$$

Se obtiene una ecuación matricial con los multiplicadores de LaGrange:

$$K = -(B P^{-1} B^T)^{-1} W = 0$$

Simplificándole un poco más queda la ecuación:

$$K = -M^{-1}W$$

Siendo:

$$M = BP^{-1}B^T$$

Las precisiones de los resultados se obtienen mediante una matriz varianza-covarianza de los valores ajustados:

$$\sum L_a = \sum L_a [I - B^T M^{-1} B P^{-1}]$$

Dónde:

$$I = P^{-1} B^T M^{-1} \frac{\partial W}{\partial L_b}$$

Y para los residuos de esta forma:

$$\sum V = \sigma_0^2 P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1}$$

Comparando resulta (Gemael, 1994):

$$\sum L_a = \sum L_b - \sum V$$

La varianza de observación de peso unitario a posteriori, indica (Gemael, 1994):

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{S_l}$$

$S_l = \text{Grados de libertad}$

$S_l = r_c \text{ Numero de ecuaciones de condicion}$

$$V^T P V = -K^T W$$

## 2.12. HIPÓTESIS

### 2.12.1. HIPÓTESIS GENERAL

En el ajuste de polígonos abiertos de apoyo mediante los métodos de Transito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida y Mínimos cuadrados con dos puntos fijos en los extremos en la carretera Ayaviri-Purina del Km 0+000 al Km 10+000, es el método de Mínimos cuadrados quien está dentro de los parámetros previstos en rangos de control aceptable.

### 2.12.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El método de Mínimos cuadrados para el ajuste de red de control horizontal en el polígono abierto, mejora la precisión y confiabilidad en el ajuste de red de apoyo.
- Al realizar un análisis comparativo, contrastando los resultados obtenidos con productos que provienen de la aplicación de otros métodos: Transito, Compass, Crandall, Rotar y escalar a la línea conocida en el control horizontal es el método de Mínimos cuadrados con menor diferencia significativa estadísticamente.

## CAPÍTULO III MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación que se empleó para este trabajo es del tipo descriptivo relacional, con el fin de cumplir la verificación de las hipótesis.

### 3.2. UNIDADES DE OBSERVACIÓN

En la presente investigación hemos construido el siguiente cuadro síntesis que permite visualizar los errores más comunes relacionados con los aspectos que se señala:

**Tabla 2. Unidades de Observación**

<b>Posibles errores de:</b>	<b>Debilidad determinada:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Observador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La observación en todo tramo de la red (10km).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Instrumento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las variables independientes en centímetro y milímetro, las variables dependientes, grados de precisión en centímetros y milímetros</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Objeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se empleara observaciones como mínimo 3 con estación total en cada vértice, se empleara promedio aritmético y el peso, esto se medirá en milímetros.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

En esta investigación durante la observación en el método estático se estableció con mínimo de cuatro satélites con GPS diferencial GR-5, cumpliendo con las especificaciones técnicas que menciona dicho equipo para el proceso de campo, este método es procesado en post proceso con el software Topcon Tools v8. Debido a su precisión centimétrica, este método está especialmente indicado para la observación de la red de vértices geodésicas, establecimiento de nuevas redes geodésicas locales, bases de control en puntos extremos en proyectos de trabajo.

En el post proceso de redes de control en polígono interno el ajuste de errores se ha dado la confiabilidad y validación con el software Micro Survey StarNet V8, las mismas se ha verificado manualmente y también con el software Gestor de Mediciones 3.1 PROFESIONAL, el Gestor de Mediciones es un software desarrollado por expertos docentes en topografía y geodesia en España. A través de su experiencia han aportado este software profesional, que minimice enormemente el tiempo de trabajo y, además han apostado muy fuerte por el desarrollo tecnológico, abriendo nuevos caminos y posibilidades que nunca antes visto en otros programas.

Aparte de gestor de Mediciones también se ha dado la validación con el software Micro Survey STAR\*NET, maneja redes que contengan observaciones convencionales y combinadas con vectores GPS con hasta 10,000 estaciones ajustables. Las observaciones de nivelación diferencial pueden también ser incluidas dentro de un ajuste 2D y 3D. Ya sea que el levantamiento consista en una poligonal de circuito simple o una red compleja o interconectando poligonales, todas las observaciones son ajustadas simultáneamente para producir una sola solución que mejor ajuste. STAR\*NET puede reducir observaciones a NAD27, NAD83 o UTM con factores de retícula separados calculados para todas las distancias y correcciones t-T calculadas para todos los ángulos.

### 3.4. HERRAMIENTAS Y MATERIALES EMPLEADOS

Para la determinación el Ajuste de redes por el método de mínimos cuadrados se utilizaron las siguientes herramientas:

- GPS Diferencial TopCon GR-5
- Estación Total Topcon GPT 3200NW
- Microsoft Excel 2010
- Civil 3D 2016 Metric
- Mathcad 15
- Gestor de Mediciones 3.1 PROFESIONAL
- MicroSurvey StarNet V8

### 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

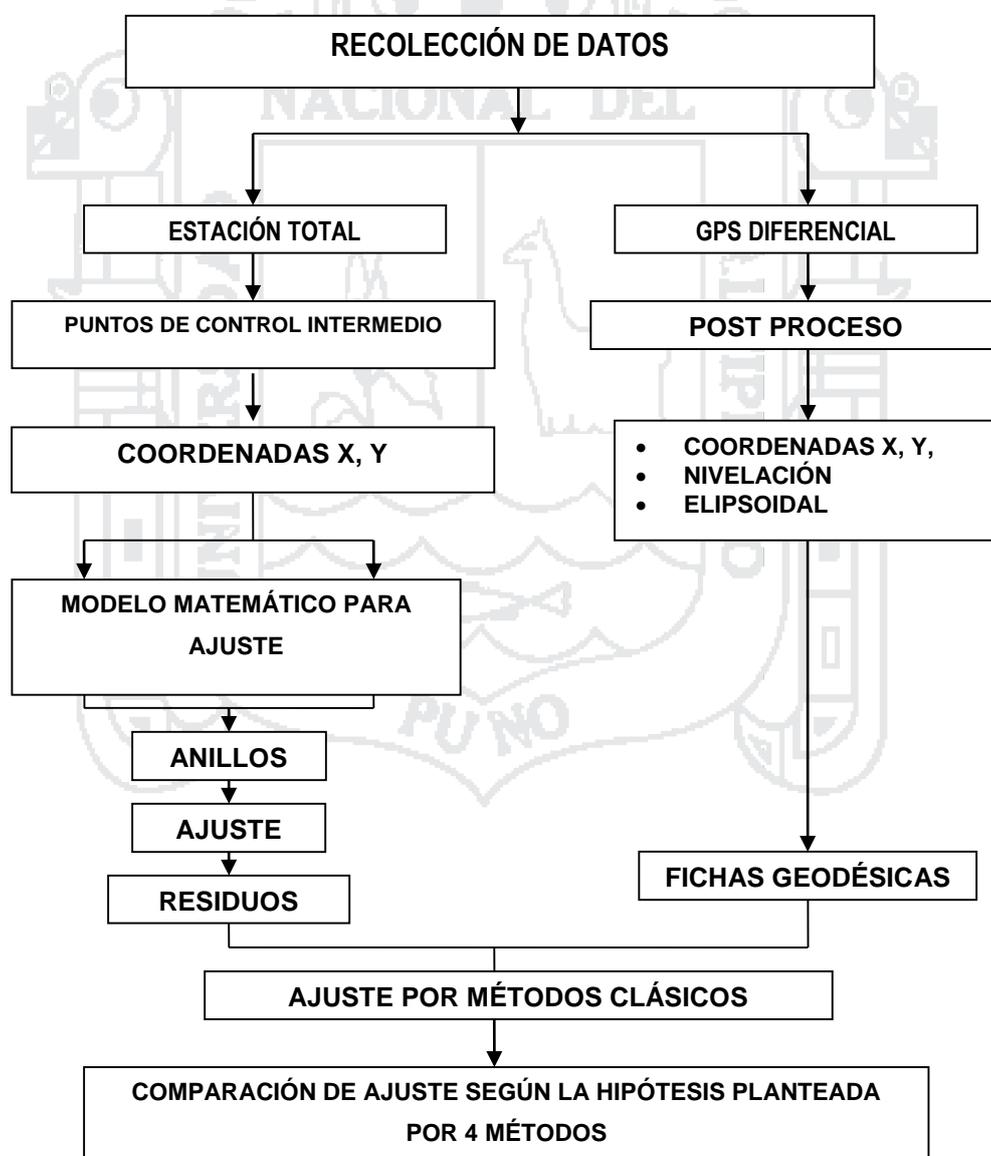
La base fundamental para la investigación, es la recolección de base de datos de campo con equipos topográficos. Presentando las diversas posibilidades que ofrece cada uno, así como su aplicación práctica a casos concretos. Cada uno de estos sistemas tiene su aplicabilidad en el terreno dependiendo del propósito hacia el cual va orientado a la poligonación abierta, el grado de precisión exigido, la topografía del terreno y del instrumental topográfico con que se cuente.

En esta investigación en recolección de datos topográficos tienen como fin obtener todos los datos necesarios del terreno o en campo para poder representar gráficamente el polígono en un plano a escala medida o con sus respectivos detalles naturales o artificiales como son los PIs, los BMs, el Kilometraje, entre otros.



**Figura 6. Recolección de datos con Estación Total**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 7. Etapas de Desarrollo de la Investigación**

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. MÉTODO DE PROCEDIMIENTO - PUNTOS DE CONTROL

#### 3.6.1. PUNTOS DE CONTROL BASE

Para el control Horizontal y Vertical, se utilizó el método Post Proceso Estático (PP) con GPS Geodésico Diferencial de doble frecuencia, el mismo que consiste en colocar un receptor GPS (BASE), en el Punto Geodésico con coordenadas conocidas, para esta investigación se utilizó el punto denominado AYV4 de Orden C del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), ubicado en uno de los jardines de la Plaza de Armas de Ayaviri, a 1m de la vereda del lado del Jr. Teatro frente a la Iglesia del Distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar y Departamento de Puno.



**Figura 8. Vista del punto AYV4 de Orden C del IGN**

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de las coordenadas y elevaciones, proporcionados por el IGN, en el Datum WGS-84, se muestran en el cuadro siguiente:

**Tabla 3. Coordenadas UTM punto AYV4**

COORDENADAS UTM ZONA 19-WGS84				
Nro.	PTO	NORTE	ESTE	ALTURA GEOIDAL
1	AYV4	8354157.049683 m	328947.468998 m	3908.9311

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

**Tabla 4. Coordenadas Geográficas Punto AYV4**

COORDENADAS GEOGRAFICAS19-WGS84				
Nro.	PTO	NORTE	ESTE	ALTURA ELIPSOIDAL
1	AYV4	14°52'53.850560"	70°35'24.093460"	3955.9971

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

**3.6.2. PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO ESTABLECIDO PARA LA CARRETERA AYAVIRI PURINA**

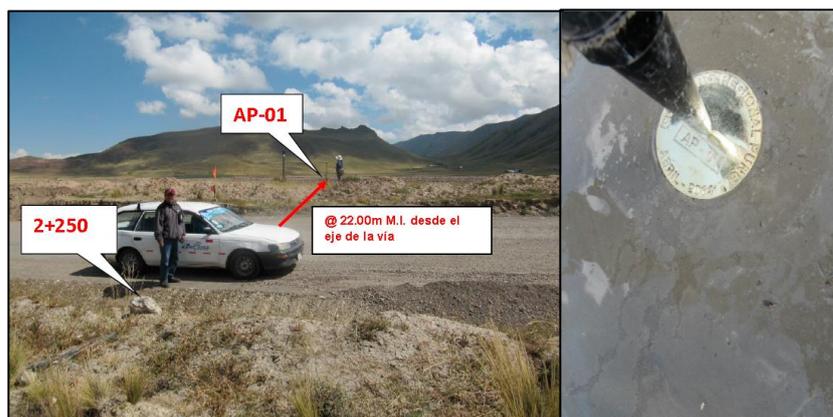
P1- AUX El punto Geodésico se ha establecido en el margen izquierdo de la Carretera Ayaviri – Purina, específicamente al costado del BM-0.5, se ubicó como referencia la señal informativa Pare Cruce Ferrocarril, se ha medido la referencia sobre el ferrocarril 49.2m desde la altura de la señal, luego perpendicularmente 7.05m hacia la derecha. La monumentación es establecido con Concreto  $F_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$ , con fierro de 3/8" de diámetro.



**Figura 9. Referencia del punto de control P1-AUX**

Fuente: Elaboración Propia

AP- 01: El punto Geodésico se ha establecido en el margen izquierdo de la Carretera Ayaviri – Purina, específicamente a la altura de la progresiva 2+250, de la carretera Ayaviri - Purina, el punto se encuentra monumentado con concreto y placa de bronce, dicho punto geodésico se encuentra a 22.00 metros desde el eje de la vía.



**Figura 10. Ubicación del Punto de Control AP-01**

Fuente: Elaboración Propia

AP- 02: El punto Geodésico se ha establecido en el margen izquierdo de la Carretera Ayaviri – Purina, específicamente a la altura de la progresiva 9+360, de la carretera Ayaviri - Purina, el punto se encuentra monumentado con concreto con placa de bronce, dicho punto geodésico se encuentra a 22.50 metros desde el eje de la vía.



**Figura 11. Ubicación del Punto de Control AP-02**

Fuente: Elaboración Propia

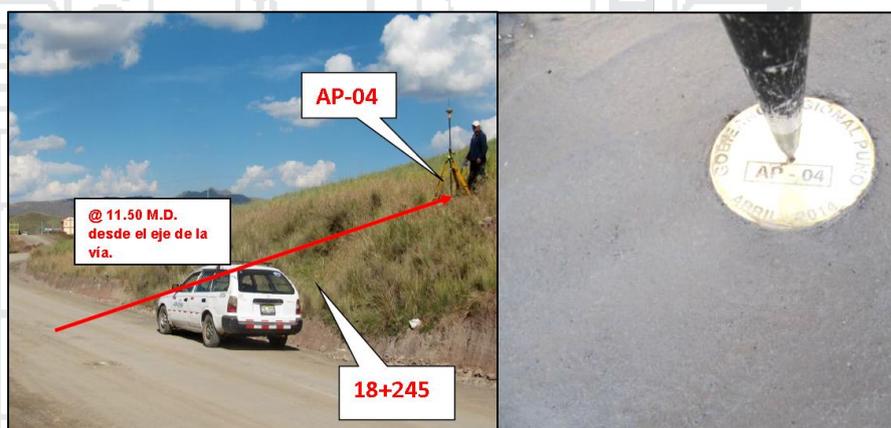
AP- 03: El punto Geodésico se ha establecido en el margen izquierdo de la Carretera Ayaviri – Purina, específicamente a la altura de la progresiva 16+430, (cerro munaypata) de la carretera Ayaviri - Purina, el punto se encuentra monumentado con concreto con placa de bronce, dicho punto geodésico se encuentra a 36.65 metros desde el eje de la vía.



**Figura 12. Ubicación del Punto de Control AP-03**

Fuente: Elaboración Propia

AP- 04: El punto Geodésico se ha establecido en el margen derecho de la Carretera Ayaviri – Purina, específicamente a la altura de la progresiva 18+245, de la carretera Ayaviri - Purina, el punto se encuentra monumentado con concreto con placa de bronce, dicho punto geodésico se encuentra a 11.50 metros desde el eje de la vía.



**Figura 13. Ubicación del Punto de Control AP-04**

Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de Control han sido pre establecidos, monumentado y codificados de acuerdo a las necesidades y requerimientos solicitados para la investigación, los mismos que cumplen con las siguientes características:

- Accesibilidad
- Libre de obstrucciones
- Estabilidad edafológica y geológica
- Visibilidad

CODIFICACIÓN:

- AP (AYAVIRI – PURINA)
- P1 AUX (PUNTO AUXILIAR UNO)

### 3.6.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

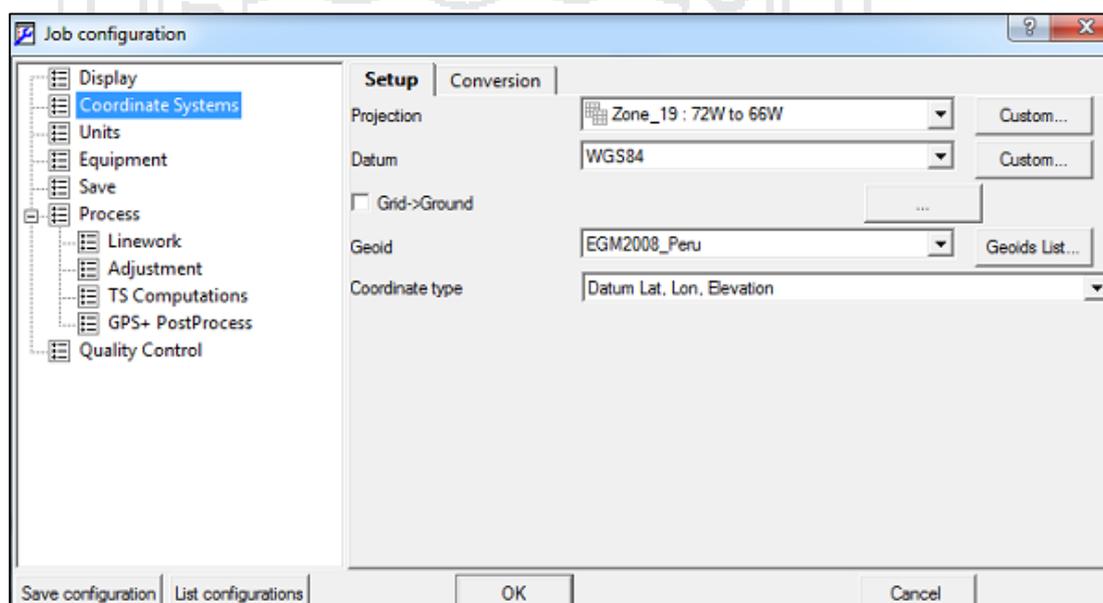
La información ha sido post procesada con apoyo del software TOPCON TOOLS v.8.2 de Topcon.



**Figura 14. Iniciando TOPCON Tools v8.2**

Fuente: Topcon Tools v8.2

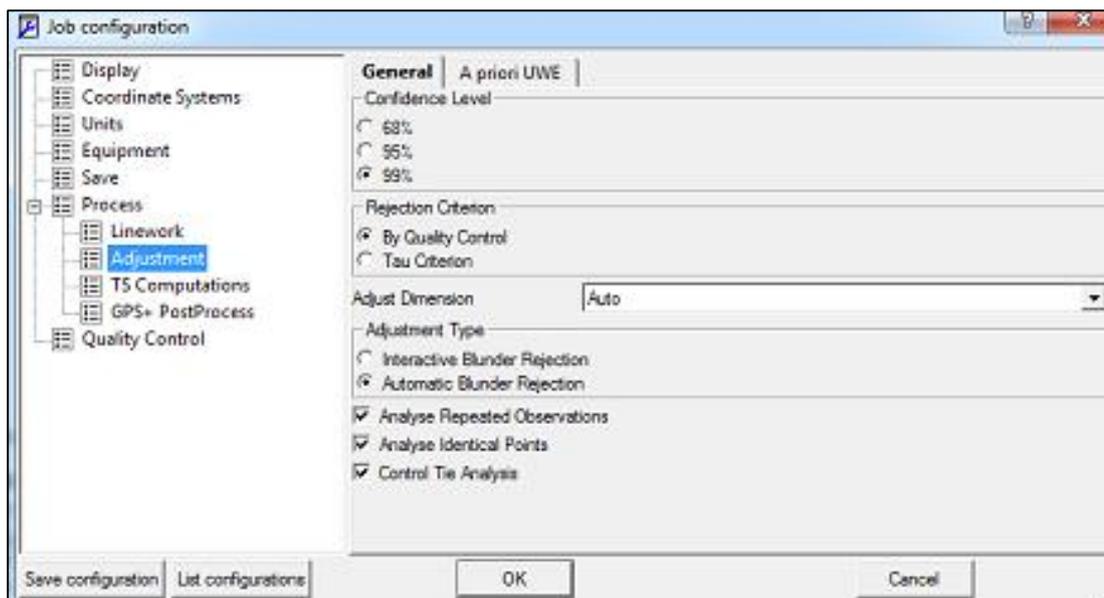
Toda la información ha sido analizada en el sistema WGS 84: En la zona 19 72w a 66W, con modelo geoid EGM 2008- Perú con Datum latitud, Longitud, Elevación.



**Figura 15. Configuración de sistema de Coordenadas y Datum de latitud, longitud y elevación**

Fuente: Topcon Tools v8.2

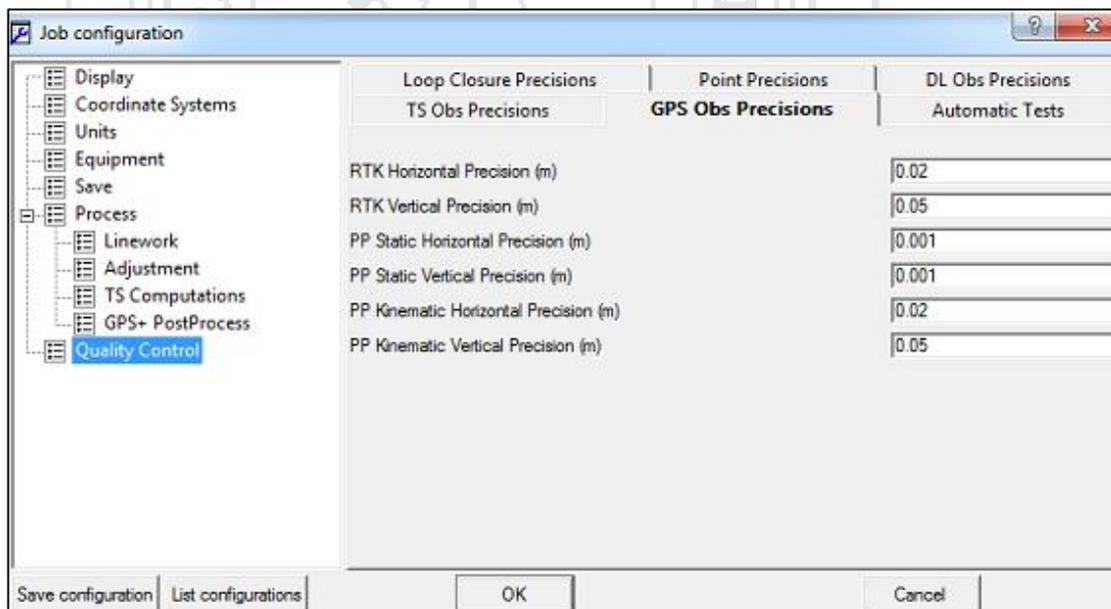
La información ha sido post procesada a un 99% de confiabilidad:



**Figura 16. Ajuste de Confiabilidad de red**

Fuente: Topcon Tools v8.2

El post proceso se ha realizado a una precisión de 0.001m en la fase PP (Post Proceso) ESTÁTICO Horizontal y Vertical.



**Figura 17. Control de calidad de las observaciones**

Fuente: Topcon Tools v8.2

Así mismo se ha verificado el comportamiento de los satélites los cuales fueron óptimos para el trabajo, la misma que nos da la confiabilidad para el cálculo de coordenadas:

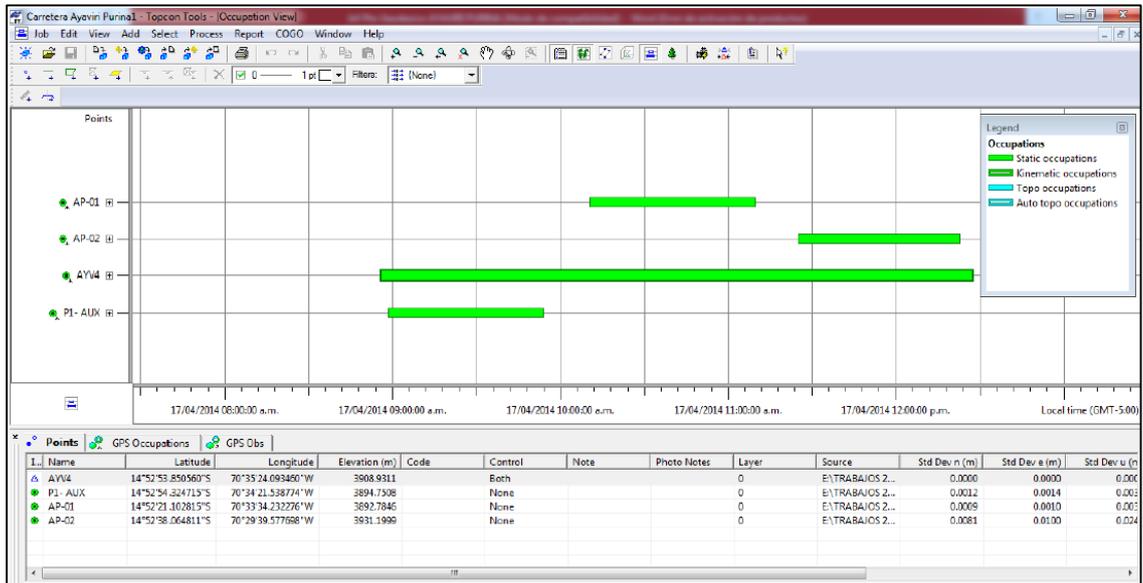


Figura 18. Ocupación de Satélites (1)

Fuente: Topcon Tools v8.2

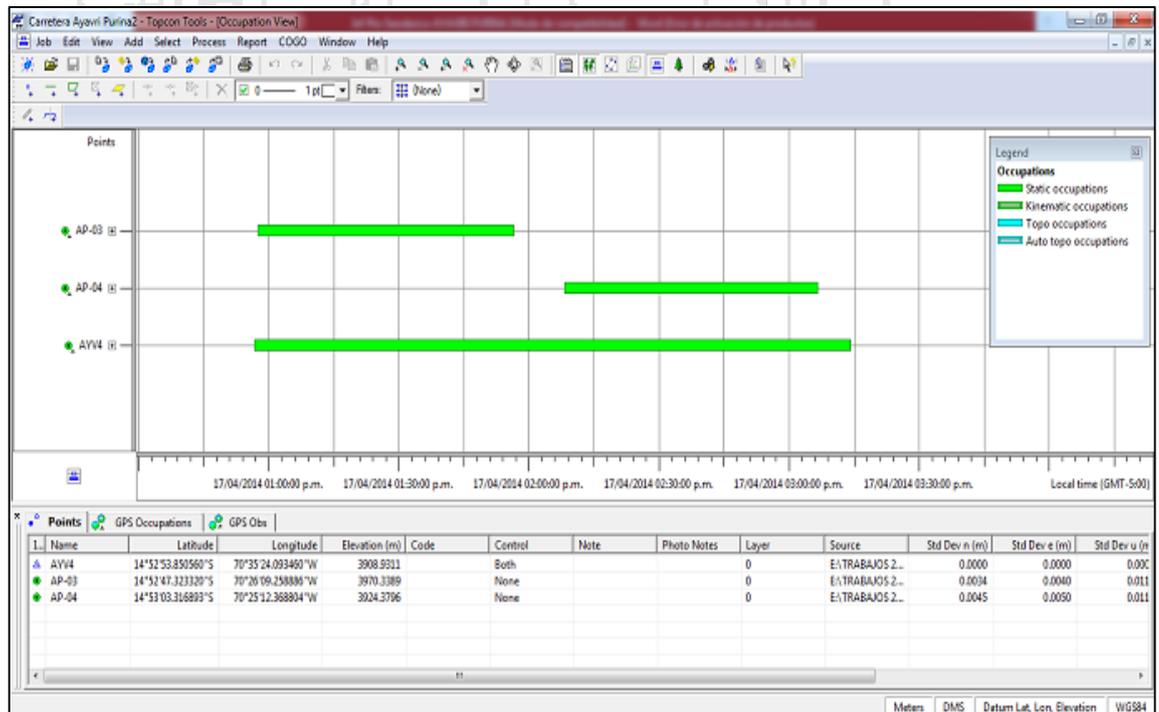


Figura 19. Ocupación de Satélites (2)

Fuente: Topcon Tools v8.2

La información es analizada y se realiza el post proceso de las líneas bases generadas a través de las estaciones GPS con el método PP Estático.

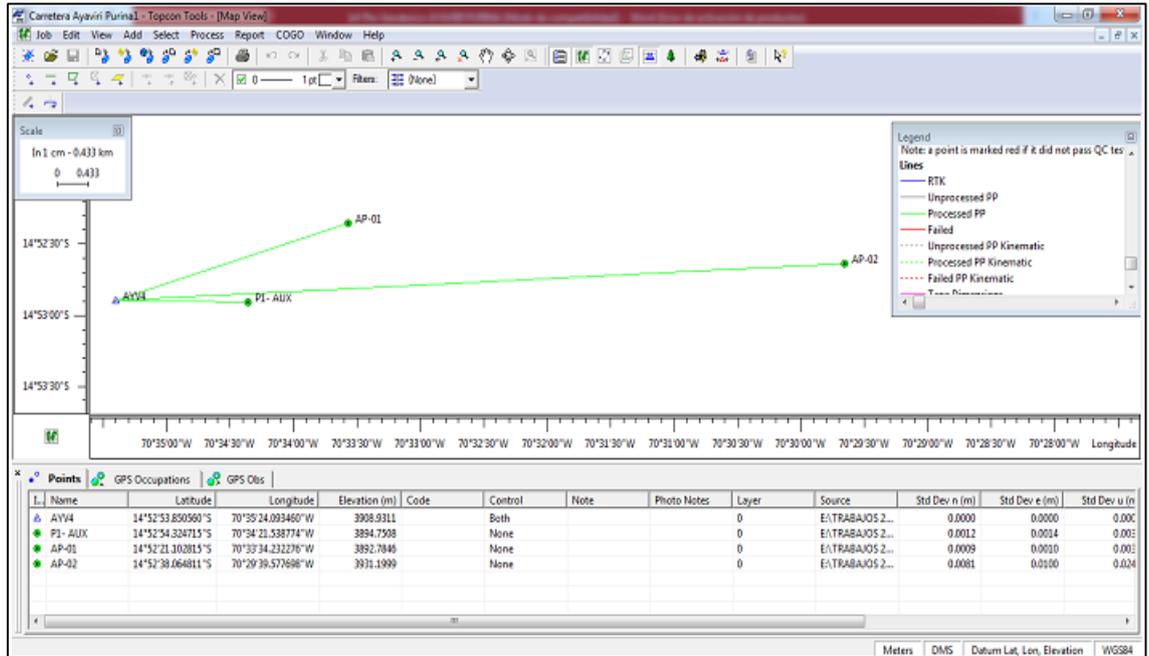


Figura 20. Vista de los puntos en el mapa (1)  
Fuente: Topcon Tools v8.2

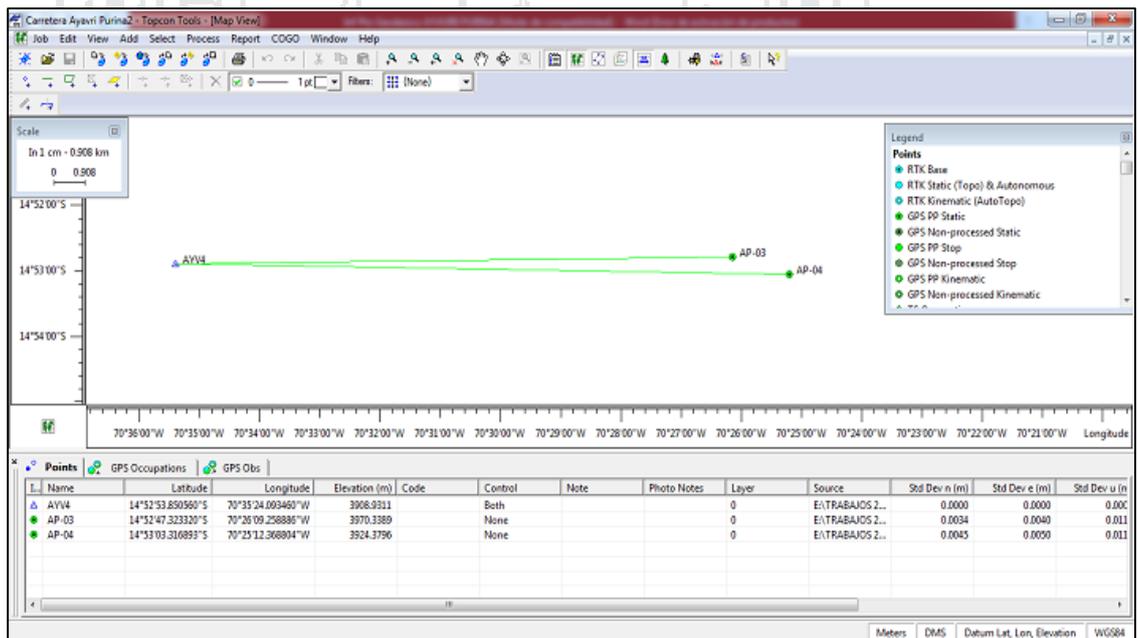


Figura 21. Vista de los puntos en el mapa (2)  
Fuente: Topcon Tools v8.2

### 3.7. AJUSTE DE POLÍGONOS POR MÍNIMOS CUADRADOS

El método empleado en la presente investigación es por el método de Mínimos Cuadrados, por lo tanto, se requiere de ecuaciones de condición. Para poder iniciar con el ajuste de la nueva Red de Control, que los anillos elipsoidales deben estar dentro de la tolerancia topográficas que se planteó en la hipótesis, se supuso los valores de tolerancia de cada anillo, requerida para cada una de los vectores lineales con la tolerancia de error que es  $T_o = 4 \text{ mm}\sqrt{k}$ .

El error estándar "ResStd" que vamos a ver más adelante es el residual estandarizado, es el residual real dividido por su valor de error estándar también podemos decir en este valor como la proporción entre cómo encaja realmente la observación en el ajuste (su residual), y su estimado de fortaleza (su error estándar de entrada). Si la proporción es menor que 1.0, está realmente encaja mejor que lo que tenía estimado. Si es mayor que uno, esta no encajó muy bien. Sin embargo, los Residuales Estandarizados usualmente tienen un valor mayor que 3.0 antes de que podamos decir que realmente hay un problema. Los valores mayores que 3.0 están marcados con "\*" para ayudarle a ubicarlos rápidamente. La causa de cualquier valor marcado deberá ser investigada. Sin embargo, ninguna observación deberá ser eliminada hasta que una buena razón sea encontrada para el problema. Un residual grande en una observación en particular puede ser el resultado de una equivocación en alguna otra observación. Si el ajuste pasa la prueba Chi Cuadrado, las desviaciones estándar de coordenadas ajustadas son usadas para calcular las elipses de error directamente. Sin embargo, si el ajuste falla la prueba de Chi Cuadrado, las desviaciones estándar son incrementadas por el Factor de error total calculado, para reflejar el ajuste débil. Esto es hecho para protegerlo de elipses pequeñas generadas artificialmente por medio de reducir sus errores estándar de observación global al punto en donde el ajuste ya no es válido.

El Elipses de Error Relativas es el resultante de propagación de error, muestra confianza de elipses relativas y diferencia vertical. De manera predeterminada, la información de elipses de error relativas es calculada entre cada estación conectada por una observación. Alternativamente, las opciones en línea "RELATIVE" pueden ser usadas para controlar exactamente cuales elipses calcular. Las elipses relativas proporcionan un estimado de la exactitud de las posiciones relativas de dos estaciones. Dos estaciones pueden tener elipses de error grandes pero una elipse relativa entre ellas, si sus posiciones están altamente correlacionadas, tenga en cuenta que las elipses relativas son también exageradas por el factor de error total si el ajuste falla la prueba de Chi Cuadrado. Después de este comentario se tiene el siguiente Cálculo:

### 3.7.1. PARÁMETROS DE OPCIÓN DE AJUSTE

Ajuste con Propagación de Error

Tipo de Ajuste	: 2D
Unidades	: Metros; GMS
Sistema de Coordenadas	: LOCAL
Elevación Predeterminada	: 0.0000 Metros
Aplicar Factor de Escala Promedio	: 1.0
Orden de Coordenadas Entrada/Salida	: Este-Norte
Orden de Dato Angular en Estación	: En-Desde-A
Tipo de Datos Distancia/Vertical	: Inclineda/Cenit
Límite de Conv; Iteraciones Máx	: 0.004; 50
Coef. de Refracción Predeterminado	: 0.000010
Radio Terrestre	: 6372000.00 Metros
Archivo de Coordenadas	: Si
Archivo de Coordenadas Escala Terreno	: Si
Archivo de Volcado	: Si

### 3.7.2. CONFIGURACIÓN DE ERROR ESTÁNDAR DE INSTRUMENTO

Instrumento Predeterminado

Distancias (Constante)	: 1.000000 Metros
------------------------	-------------------

Distancias (PPM)	:	0.000000
Ángulos	:	1.000000 Segundos
Direcciones	:	1.000000 Segundos
Azimuts & Rumbos	:	1.000000 Segundos
Error de Centrado de Instrumento	:	0.001000 Metros
Error de Centrado de Prisma	:	0.002000 Metros



**Figura 22. Configuración de parámetros de Estación Total**

Fuente: Elaboración propia

Después de haber colocado y monumentado los puntos de control, se procede a la recolección de datos con Estación Total de los puntos intermedios o de red de apoyo mediante la lectura de ángulos y distancias, así como las lecturas en coordenadas Norte y Este con una repetición de cinco veces para el promedio de estas.

Para la red de apoyo en las poligonales abiertas se configuro el equipo con parámetros estándar estableciendo para las lecturas estacas monumentadas de fierro corrugado de 3/8" de diámetro, donde se adjunta en el anexo C el modo de trabajo que se hizo en la investigación.

Las lecturas con Estación Total se encuentran en el anexo D (ángulos y distancias) y en el anexo E (coordenadas Norte y Este) para la respectiva evaluación de los métodos planteados.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

#### 4.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Investigación está localizada en la ruta PU-102: trayectoria: EMP. PE-3S Ayaviri - Purina - EMP. PE 3S H (DV. Purina). La vía tiene como inicio el km. 0+000 a la salida de la localidad de Ayaviri hasta llegar al km 19+375. Ubicado en la comunidad de Purina. La investigación se realizó dentro del ámbito mencionado considerando el tramo del Km: 0+000 al Km: 10+000, con un total de 10 kilómetros con fines de investigación. El cual se puede apreciar en el plano de ubicación adjuntado en anexos.



Figura 23. Imagen Satelital de la Zona de Investigación

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Lugar	: Ayaviri - Purina
Distrito	: Ayaviri
Provincia	: Melgar
Departamento	: Puno

#### 4.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Ayaviri, se encuentra en la provincia de Melgar, Puno, Perú. Está ubicada en la meseta del Kollao o del Titikaka – Puno. Ayaviri se encuentra ubicado a una altitud de 3,925 msnm. Se llega por carretera asfaltada desde Juliaca, con un recorrido de 96 Km.

Longitud	: 70°35'24" longitud oeste.
Latitud	: 14°52'55" latitud sur.
Altitud	: 3925 m.s.n.m.

#### 4.4. ZONA DE ESTUDIO

Este	: UTM 340478.5563 m.
Norte	: UTM 8354847.5601 m.
Cota	: 3950.214 m.s.n.m.
Longitud de Tramo	: 10 Km.

#### 4.5. IMPORTANCIA DE LA VÍA

La Carretera en mención es una vía que une a la ciudad de Ayaviri con la carretera que parte de José Domingo Choquehuanca hacia el distrito de Asillo empalmado a la Carretera Interoceánica que unirá el Atlántico Brasileño con las costas del Pacífico en Perú (Puerto de Ilo); Debe resaltarse también que en el tramo se ubican diversos caseríos y pueblos como Baños

termales de Poqpoquella, Comunidad de Villapampa y la comunidad de Jila-Purina.

#### **4.6. CLIMA**

El área de la investigación tiene un clima que corresponde al sub-tipo Altiplánico semilluvioso y semifrigido la temperatura media anual  $7C^{\circ}$ , el promedio diario de temperatura anual es de  $-6.9C^{\circ}$  registrándose temperaturas máximas y mínimas de  $20C^{\circ}$  y  $-8C^{\circ}$  respectivamente la precipitación promedio anual es de 651.44 mm

#### **4.7. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS**

Actualmente el tramo conserva sus características geométricas establecidas hace mucho tiempo y que corresponden a una carretera de tercer orden con una superficie de rodadura de 5.0 m. de promedio. No cuenta con bermas laterales.

La sección transversal actual no cuenta con ningún tipo de berma, su trazo geométrico presenta un tramo entre las progresivas 14+600 hasta 16+700 donde se tiene curvas de radios pequeños con pendientes altas donde se considera una mejora al diseño geométrico en el resto no hay problemas ya que se desarrolla en zonas de topografía plana, sin problemas de pendientes ni de secciones transversales con taludes inestables.

Es necesario resaltar que no existe señalización horizontal ni vertical.

#### **4.8. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES**

Actualmente la rasante y especialmente el pavimento superficial de la carretera presentan numerosas fallas que requieren su recuperación inmediata. Por dicha razón era necesario efectuar los Estudios Definitivos

de Ingeniería para el mejoramiento a Nivel de Asfaltado de la Carretera PU-102: TRAYECTORIA: EMP. PE-3S (AYAVIRI) - PURINA - EMP. PE 3S H (DV. PURINA)

Para tal fin, se han realizado calicatas a cielo abierto tomando muestras para luego ser llevada al laboratorio y mediante ensayos obtener una completa información que nos permita efectuar el diseño de la nueva plataforma y su respectivo pavimento.

#### 4.9. CARACTERISTICAS DEL DRENAJE

El principal problema de drenaje que se presenta en el tramo es la baja pendiente longitudinal que dificulta el establecimiento de un sistema de drenaje superficial. Las alcantarillas que se presentan en la zona de la investigación son de piedra, marco de concreto y de TMC, de las cuales en su mayoría no tienen en buenas condiciones a excepción de las de TMC.

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ESTADÍSTICA

En el tipo de investigación se emplea la investigación relacional con prueba de significancia 95% de probabilidad con chi cuadrado en el ajuste de poligonal y en la comparación de métodos de ajuste con análisis de varianza (ANOVA).

Para probar la significación de la varianza (de los errores) se hará haciendo uso de un intervalo de confianza para la varianza de una población normal, cuyo estadístico de prueba con un el nivel confianza  $1 - \alpha$ ; en la distribución  $\chi^2(n - 1)$  se puede encontrar los valores  $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$  y  $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$ , lo que permite establecer el límite de confianza de (1-100) % requerido para efectuar la prueba:

$$\frac{(n - 1)s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n - 1)s^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}}$$

Donde:

$$\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1} : y \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}}$$

Son los valores de la tabla chi-cuadrado con  $n-1$  grados de libertad con áreas a la izquierda respectivas de  $\frac{\alpha}{2}$  y  $1 - \frac{\alpha}{2}$ .

Entonces las hipótesis serían de la siguiente manera:

**Hipótesis nula:**

$$H_0 = \alpha \leq \sigma_0^2, \text{ cuando los residuos son iguales a } 0.$$

**Hipótesis alternativa:**

$$H_a = \alpha < \sigma_0^2, \text{ cuando los residuos son menores a } 1.$$

Para la comparación de los métodos se utilizó el siguiente diseño:

**Tabla 5. Diseño Estadístico**  
**MÉTODO DE TRABAJO**

MMC	M2	M3	M4	M5
$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$	$X_{41}$	$X_{51}$
$X_{22}$	$X_{22}$	$X_{32}$	$X_{42}$	$X_{52}$
$X_{33}$	$X_{23}$	$X_{33}$	$X_{43}$	$X_{53}$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
$X_{m n}$	$X_{2 n}$	$X_{3 n}$	$X_{4 n}$	$X_{5 n}$

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se analizarán bajo el diseño completamente al azar con 16 tratamientos y 5 repeticiones para cada tratamiento, con un total de 80 unidades experimentales.

El modelo lineal aditivo corresponde a:

$$X_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

$i = i, 4$  métodos de ajuste de errores

$j = i, r$  repeticiones

Donde:

Xij = valor de la variable de respuesta observada

μ: efecto de la media general

ti: efecto del i-ésimo método de ajuste.

La partición de los grados de libertad corresponde a:

**Tabla 6. Análisis de varianza: Fórmulas**

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc
Tratamientos	t-1 = 15	$\sum_i (X_i^2/r) - (X^2../rt)$	SCTr/GLTr	CMTr/CMError
Error	t(r-1)	$\sum_i \sum_j X_{ij}^2 - \sum_i (X_i^2/r)$	SCError/GLError	
Total	rt-1	$\sum_i \sum_j X_{ij}^2 - (X^2../rt)$		

$$CV = \sqrt{CM_{error}/Media\ general} \times 100\%$$

Variable de respuesta: según el parámetro estudiado (en unidades adecuadas).

En caso de alcanzar significación estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) se efectuará la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey y Duncan ( $\alpha = 5\%$ ); se empleará el paquete de cómputo estadístico, SPSS v23.

Por lo tanto, según los tratamientos se dará el siguiente modelo de hipótesis:

$$H_o = \sigma_0^2 = 0$$

$$H_a = \sigma_0^2 \neq 0$$

**Análisis de Muestras:**

- X1 = Método de Mínimos Cuadrados.
- X2 = Método de Transito
- X3 = Método del Compass
- X4 = Método de Crandall
- X5 = Método de Rotación y escalar lineal

Donde para cada uno se encontrará los errores y se hará la comparación respectiva.

**5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Las variables independientes son la diferencia de las coordenadas ( $X_1, Y_1; X_2, Y_2; \dots; X_n, Y_n$ ) con datos de diferencia de desplazamientos y residuos de los métodos planteados en los vértices intermedios (metros).

**5.3. VARIABLES DEPENDIENTES**

Las variables dependientes son las coordenadas de datos extremos (P1-AUX, AP-01, AP-02, AP-03 y AP-04) establecidos con GPS Diferencial y los residuos ajustados en los nudos por mínimos cuadrados de poligonal (metros y milímetros).

**5.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 7. Operacionalización de variables**

VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependiente (Y) Coordenadas Geodésicas: P1-AUX, AP-01, AP-02, AP-03 y AP-04</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (x, y, z)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS Diferencial</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Independiente (X)</li> <li>• Diferencia de Elevación y</li> <li>• Coordenadas</li> <li>• Planas:</li> <li>• Puntos d control 1, 2,3, ...,n</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (x, y, z)</li> <li>• Ángulos</li> <li>• Distancias</li> <li>• Cotas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estación Total</li> </ul>
--	---	--

Fuente: Elaboración propia

### 5.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Por la naturaleza de la investigación para la Carretera Ayaviri – Purina se considera como población 16 nudos o vértices de poligonal que viene a ser 10 Km. de vía en estudio, el control en extremos, con GPS-D.

Para la obtención de una muestra de vértices recolectados con estación total se utilizará la siguiente fórmula de muestreo:

Población (N) = Número de vértices y numero de ecuaciones de anillos (residuos de lados).

Muestra (n) = Para estimar el tamaño de muestra se usará el modelo matemático de muestreo aleatorio para proporciones:

$$n = \frac{N * z_{\infty}^2 * p * q}{d^2 * N + z_{\infty}^2 * p * q}$$

Dónde:

- N = total de población.
- $z_{\infty}^2 = 1.96^2$  (con un nivel de confianza del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 10%)
- q = 1 - p (en este caso 1 - 0.1 = 0.90)
- d = precisión (en este caso deseamos de un 5%)

En el proceso se obtendrá que el tamaño de muestra a analizarse sea de unidades milimétricas esto con un nivel de seguridad del 95% y un error de 4ppm.

5.6. RESUMEN DE OBSERVACIONES DE ENTRADA

Se obtuvieron las coordenadas finales calculadas:

**Tabla 8. Coordenadas Geográficas WGS-84 (1)**

Name	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Eil.Height (m)
AP-01	14°52'21.102815"S	70°33'34.232276"W	3892.7846	3940.0038
AP-02	14°52'38.064811"S	70°29'39.577698"W	3931.1999	3978.6469
AYV4	14°52'53.850560"S	70°35'24.093460"W	3908.9311	3955.9996
P1- AUX	14°52'54.324715"S	70°34'21.538774"W	3894.7508	3941.8952

Fuente: Topcon Tools v8.2

**Tabla 9. Coordenadas UTM WGS-84 (1)**

Name	Grid Easting (m)	Grid Northing (m)	Elevation (m)	Eil.Height (m)
AP-01	332224.1206	8355186.6737	3892.7846	3940.0038
AP-02	339241.4560	8354713.3808	3931.1999	3978.6469
AYV4	328947.4689	8354157.0502	3908.9311	3955.9996
P1- AUX	330817.2999	8354155.7343	3894.7508	3941.8952

Fuente: Topcon Tools v8.2

**Tabla 10. Factor combinado (1)**

Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor
AP-01	1.000670306011	0.999330142998647
AP-02	1.000704909778	0.999295586769534
AYV4	1.000659074903	0.999341359190679
P1- AUX	1.000664735575	0.999335706004861

Fuente: Topcon Tools v8.2

**Tabla 11. Coordenadas Geográficas WGS-84 (2)**

Name	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Eil.Height (m)
AP-03	14°52'47.323320"S	70°26'09.258886"W	3970.3389	4017.9285
AP-04	14°53'03.316893"S	70°25'12.368804"W	3924.3796	3971.9957
AYV4	14°52'53.850560"S	70°35'24.093460"W	3908.9311	3955.9996

Fuente: Topcon Tools v8.2

**Tabla 12. Coordenadas UTM WGS-84 (2)**

Name	Grid Easting (m)	Grid Northing (m)	Elevation (m)	Eil.Height (m)
AP-03	345529.4425	8354470.1324	3970.3389	4017.9285
AP-04	347232.8977	8353989.5123	3924.3796	3971.9957
AYV4	328947.4689	8354157.0502	3908.9311	3955.9996

Fuente: Topcon Tools v8.2

**Tabla 13. Factor Combinado (2)**

Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor
AP-03	1.000735613366	0.999264927363598
AP-04	1.000734882008	0.999265657646940
AYV4	1.000659074903	0.999341359190679

Fuente: Topcon Tools v8.2

Las consideraciones tomadas para el proceso son las siguientes:

- Examinar los detalles de la solución de línea base que no están disponibles en el resumen de una línea, tales como los errores en NEA (Norte, Este, Altura), o el número de mediciones utilizadas y/o rechazadas.
- Verificar la información de estación de la solución con respecto a las notas tomadas en el campo.
  - Los nombres de estación
  - Las alturas de antena, tipos y métodos de medición
  - Los tiempos de inicio y parada
- Comprobar el resumen de seguimiento (rastreo) de fase del satélite de cada estación, para notar cualquier interrupción o vacío en las señales L1 o L2.
- Comprobar el resumen de seguimiento de fases del satélite combinado.

**Tabla 14. Número de Estaciones Ingresadas (Metros) = 5**

Fijo Estaciones	E	N
A	328947.4689	8354157.0502
B	330817.2999	8354155.7343
D	332224.1206	8355186.6737
E	339241.4560	8354713.3808
F	340041.6660	8354821.1740

Fuente: Elaboración propia

5.7. ANUNCIO DE LOS DATOS DE ENTRADA

**Tabla 15. Coordenadas con GPS-D UTM WGS-84**

Puntos de Control			
C	A	328947.4689	8354157.0502
C	B	330817.2999	8354155.7343
C	D	332224.1206	8355186.6737
C	E	339241.4560	8354713.3808
C	F	340041.6660	8354821.1740

Fuente: Elaboración propia

Datos de entrada de polígono

**Tabla 16. Polígono 01**

DE	A	# Vista Atrás (GMS)	Distancia Horizontal
T	B	160°06'56"	38.623
T	2	163°32'41"	908.555
M	2-B-1	343°32'41"	541.866
T	3	179°22'15"	798.436
TE	D	# Llegada	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17. Polígono 02**

DE	A	# Vista Atrás (GMS)	Distancia Horizontal
T	D	207°09'59"	421.062
T	5	189°35'45"	722.418
T	6	183°53'12"	631.898
T	7	176°20'55"	359.758
T	8	183°34'34"	350.571
T	9	177°31'41"	503.383
T	10	194°17'15"	501.953
T	11	173°46'30"	913.383
T	12	174°01'42"	447.467

T	13	166°31'32"	84.465
T	14	187°15'20"	266.023
T	15	185°14'21"	513.722
T	16	177°01'26"	300.003
T	17	185°11'30"	665.415
T	18	181°39'50"	386.239
TE	E	#Llegada	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18. Polígono 03**

DE	A	# Vista Atrás (GMS)	Distancia Horizontal
T	E	165-28-15	807.233
TE	F	# Llegada	

Fuente: Elaboración propia

### 5.7.1. ITERACIONES DE SOLUCIÓN DE AJUSTE

#### Iteración # 1

Cambios desde la Última Iteración (Metros)

**Tabla 19. Primera Iteración**

Estación	dE	dN
A	-0.000000	-0.000000
B	-0.000000	0.000000
D	0.000000	-0.000000
E	-0.000000	0.000000
F	0.000000	-0.000000
2	-0.462332	-0.166189
1	-0.457150	-0.173243
3	-0.244609	0.029938
5	-0.006817	-0.001032
6	0.001922	-0.000902

7	0.016922	-0.001798
8	0.026044	-0.001696
9	0.040928	-0.002501
10	0.051852	-0.002269
11	0.084196	-0.010931
12	0.107894	-0.013693
13	0.122200	-0.013939
14	0.114628	-0.014876
15	0.118758	-0.013022
16	0.131628	-0.010240
17	0.139512	-0.008132
18	0.156163	-0.004756

Fuente: Elaboración propia

Sigma Anterior : 1553.163364

Sigma Actual : 0.648214

Prueba de Convergencia : 1552.515150

**Iteración # 2**

Cambios desde la Última Iteración (Metros)

**Tabla 20. Segunda Iteración**

Estación	dE	dN
A	-0.000000	-0.000000
B	-0.000000	0.000000
D	0.000000	-0.000000
E	-0.000000	0.000000
F	0.000000	-0.000000
2	-0.000025	-0.000017
1	-0.000023	-0.000020
3	0.000243	0.000212
5	-0.000006	-0.000001

6	-0.000007	-0.000001
7	-0.000006	-0.000001
8	-0.000007	-0.000001
9	-0.000006	-0.000001
10	-0.000006	-0.000001
11	0.000001	-0.000003
12	0.000004	-0.000004
13	0.000005	-0.000004
14	-0.000002	-0.000005
15	-0.000005	-0.000005
16	-0.000005	-0.000005
17	-0.000007	-0.000005
18	-0.000006	-0.000005

Fuente: Elaboración propia

Sigma Anterior : 0.648214

Sigma Actual : 0.648084

Prueba de Convergencia : 0.000130

**Información de Estación Ajustada**

**Tabla 21. Cambios de Coordenadas de las Provisionales Ingresadas (Metros)**

Estación	dE	dN
A	-0.000000	-0.000000
B	-0.000000	-0.000000
D	-0.000000	-0.000000
E	-0.000000	-0.000000
F	-0.000000	-0.000000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Ajustadas Coordenadas (Metros)**

Estación	E	N
A	328947.468900	8354157.050200
B	330817.299900	8354155.734300
D	332224.120600	8355186.673700
E	339241.456000	8354713.380800
F	340041.666000	8354821.174000
2	330853.167095	8354168.679149
1	330416.463786	8353847.884851
3	331585.620888	8354706.744373
5	332639.913183	8355253.035775
6	333362.309281	8355246.382463
7	333992.347747	8355197.744996
8	334352.082971	8355192.954536
9	334701.664032	8355166.429876
10	335204.790691	8355150.028863
11	335686.956046	8355010.361396
12	336586.680491	8354852.856006
13	337033.094564	8354821.969437
14	337116.389587	8354835.933188
15	337382.209627	8354846.429679
16	337895.250625	8354819.741033
17	338195.261507	8354819.731916
18	338857.961087	8354759.498600

Fuente: Elaboración propia

**Observaciones Ajustadas y Residuales**

**Tabla 23. Ajustadas Angulo Observaciones (G-M-S)**

En	De	A	Angulo	Residual	Err. Std.	Res. Std.	Archivo: Línea
B	A	2	160°06'52.67"	-0°00'03.33"	12.03	0.3	1:11
2	B	1	343°32'41.00"	-0°00'00.00"	11.85	0.0	1:13
2	B	3	163°32'37.71"	-0°00'03.29"	12.09	0.3	1:12

3	2	D	179°22'14.98"	-0°00'00.02"	1.31	0.0	1:14
D	B	5	207°09'58.97"	-0°00'00.03"	1.54	0.0	1:18
5	D	6	189°35'44.97"	-0°00'00.03"	1.70	0.0	1:19
6	5	7	183°53'11.97"	-0°00'00.03"	1.46	0.0	1:20
7	6	8	176°20'54.96"	-0°00'00.04"	1.88	0.0	1:21
8	7	9	183°34'33.94"	-0°00'00.06"	2.25	0.0	1:22
9	8	10	177°31'40.95"	-0°00'00.05"	2.01	0.0	1:23
10	9	11	194°17'14.96"	-0°00'00.04"	1.73	0.0	1:24
11	10	12	173°46'29.97"	-0°00'00.03"	1.51	0.0	1:25
12	11	13	174°01'41.97"	-0°00'00.03"	1.59	0.0	1:26
13	12	14	166°31'31.54"	-0°00'00.46"	5.84	0.1	1:27
14	13	15	187°15'19.49"	-0°00'00.51"	6.13	0.1	1:28
15	14	16	185°14'20.93"	-0°00'00.07"	2.33	0.0	1:29
16	15	17	177°01'25.93"	-0°00'00.07"	2.17	0.0	1:30
17	16	18	185°11'29.94"	-0°00'00.06"	2.07	0.0	1:31
18	17	E	181°39'49.95"	-0°00'00.05"	1.80	0.0	1:32
E	18	F	165°28'14.96"	-0°00'00.04"	1.74	0.0	1:35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Ajustadas Distancia Observaciones (Metros)**

De	A	Distancia	Residual	Err. Std.	ResStd	Archivo:Línea
B	2	38.131677	-0.491323	1.000002	0.5	1:11
2	1	541.866000	0.000000	1.000002	0.0	1:13
2	3	908.846931	0.291931	1.000002	0.3	1:12
3	D	798.757811	0.321811	1.000002	0.3	1:14
D	5	421.055099	-0.006901	1.000002	0.0	1:18
5	6	722.426737	0.008737	1.000002	0.0	1:19
6	7	631.913025	0.015025	1.000002	0.0	1:20
7	8	359.767119	0.009119	1.000002	0.0	1:21
8	9	350.585904	0.014904	1.000002	0.0	1:22
9	10	503.393910	0.010910	1.000002	0.0	1:23
10	11	501.986485	0.033485	1.000002	0.0	1:24
11	12	913.406823	0.023823	1.000002	0.0	1:25
12	13	447.481290	0.014290	1.000002	0.0	1:26

13	14	84.457370	-0.007630	1.000002	0.0	1:27
14	15	266.027198	0.004198	1.000002	0.0	1:28
15	16	513.734707	0.012707	1.000002	0.0	1:29
16	17	300.010882	0.007882	1.000002	0.0	1:30
17	18	665.431278	0.016278	1.000002	0.0	1:31
18	E	386.257944	0.018944	1.000002	0.0	1:32
E	F	807.437563	0.204563	1.000002	0.2	1:35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25. Ajustadas Rumbos (GMS) y Distancias Horizontales (Metros)**

De	A	Rumbo	Distancia	95% Confianza Rel		
				Rbo (")	Dist (m)	PPM
1	2	N53°41'58.83"E	541.866000	39.91	2.447753	4517.2662
2	3	N53°41'55.53"E	908.846931	35.85	1.822805	2005.6238
2	B	S70°09'17.83"W	38.131677	27.41	1.040933	27298.3686
3	D	N53°04'10.51"E	798.757811	35.96	1.778189	2226.1931
5	6	S89°28'20.34"E	722.426737	5.45	2.356386	3261.7653
5	D	S80°55'54.69"W	421.055099	3.72	2.076959	4932.7496
6	7	S85°35'08.37"E	631.913025	6.39	2.355409	3727.4257
7	8	S89°14'13.41"E	359.767119	7.64	2.358111	6554.5486
8	9	S85°39'39.47"E	350.585904	9.01	2.356024	6720.2477
10	9	N88°07'58.52"W	503.393910	9.87	2.363129	4694.3928
10	11	S73°50'43.56"E	501.986485	10.42	1.942179	3868.9861
11	12	S80°04'13.59"E	913.406823	10.80	2.244241	2457.0007
12	13	S86°02'31.62"E	447.481290	11.18	2.358775	5271.2261
13	14	N80°28'59.92"E	84.457370	13.34	2.052743	24305.0820
14	15	N87°44'19.41"E	266.027198	10.09	2.318177	8714.0620
15	16	S87°01'19.67"E	513.734707	8.90	2.363074	4599.7934
16	17	S89°59'53.73"E	300.010882	7.56	2.351695	7838.6981
17	18	S84°48'23.79"E	665.431278	5.94	2.347651	3528.0140
18	E	S83°08'33.84"E	386.257944	4.19	2.322489	6012.7933
A	B	S89°57'34.84"E	1869.831463	0.00	0.000000	0.0002
B	D	N53°45'55.72"E	1744.127440	0.00	0.000000	0.0002
E	F	N82°19'41.12"E	807.437563	0.00	0.000000	0.0004

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26. Número de Ángulos: Observaciones (GMS) = 20**

En	De	A	Angulo	ErrStd
B	A	2	160°06'56"	12.03
2	B	1	343°32'41"	11.85
2	B	3	163°32'41"	12.09
3	2	D	179°22'15"	1.31
D	B	5	207°09'59"	1.54
5	D	6	189°35'45"	1.70
6	5	7	183°53'12"	1.46
7	6	8	176°20'55"	1.88
8	7	9	183°34'34"	2.25
9	8	10	177°31'41"	2.01
10	9	11	194°17'15"	1.73
11	10	12	173°46'30"	1.51
12	11	13	174°01'42"	1.59
13	12	14	166°31'32"	5.84
14	13	15	187°15'20"	6.13
15	14	16	185°14'21"	2.33
16	15	17	177°01'26"	2.17
17	16	18	185°11'30"	2.07
18	17	E	181°39'50"	1.80
E	18	F	165°28'15"	1.74

**Tabla 27. Número de Distancia Observaciones (Metros) = 20**

De	A	Distancia	ErrStd
B	2	38.623000	1.000002
2	1	541.866000	1.000002
2	3	908.555000	1.000002
3	D	798.436000	1.000002
D	5	421.062000	1.000002
5	6	722.418000	1.000002
6	7	631.898000	1.000002
7	8	359.758000	1.000002
8	9	350.571000	1.000002
9	10	503.383000	1.000002

10	11	501.953000	1.000002
11	12	913.383000	1.000002
12	13	447.467000	1.000002
13	14	84.465000	1.000002
14	15	266.023000	1.000002
15	16	513.722000	1.000002
16	17	300.003000	1.000002
17	18	665.415000	1.000002
18	E	386.239000	1.000002
E	F	807.233000	1.000002

### Resumen Estadístico del Ajuste

Iteraciones	=	2
Número de Estaciones	=	22
Número de Observaciones	=	40
Número de Incógnitas	=	34
Número de Obs. Redundante	=	6

**Tabla 28. Análisis de Varianza**

Observación	Conteo	Suma Cuadrados de Res. Std.	Error Factor
Ángulos	20	0.172	0.240
Distancias	20	0.476	0.398
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>0.648</b>	<b>0.329</b>

Fuente: Elaboración propia

Advertencia: La Prueba Chi-Cuadrado en Nivel 5.00% Excedió el Límite Inferior.

Límites Bajo/Alto (0.454/1.552)

### Cierres de Poligonal de Observaciones No Ajustadas

Inicio y Final sobre Estaciones Ajustadas

**POLIGONAL 1**

Error Lineal = 0.2441 S, 0.0026 E

Precisión Horizontal= 0.2441 Error en 1745.6140, 1:7152, 139.83 PPM

**Tabla 29. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 01**

De	A	No Ajuste Rumbo	Distancia No Ajustada
B	A	N89°57'34.84"W	AT
B	2	N70°09'21.16"E	38.623000
2	3	N53°42'02.16"E	908.555000
3	D	N53°04'17.16"E	798.436000

**POLIGONAL 2**

Error Lineal = 0.0041 N, 0.1753 W

Precisión Horizontal= 0.1754, Error en 7067.7600, 1:40304, 24.81 PPM

**Tabla 30. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 02**

De	A	No Ajust Rumbo	Dist No Ajust
D	B	S53°45'55.72"W	AT
D	5	N80°55'54.72"E	421.062000
5	6	S89°28'20.28"E	722.418000
6	7	S85°35'08.28"E	631.898000
7	8	S89°14'13.28"E	359.758000
8	9	S85°39'39.28"E	350.571000
9	10	S88°07'58.28"E	503.383000
10	11	S73°50'43.28"E	501.953000
11	12	S80°04'13.28"E	913.383000
12	13	S86°02'31.28"E	447.467000
13	14	N80°29'00.72"E	84.465000
14	15	N87°44'20.72"E	266.023000
15	16	S87°01'18.28"E	513.722000
16	17	S89°59'52.28"E	300.003000
17	18	S84°48'22.28"E	665.415000
18	E	S83°08'32.28"E	386.239000

**POLIGONAL 3**

Error Lineal = 0.0275 S, 0.2027 W

Precisión Horizontal= 0.2046, Error en 807.2330, 1:3946, 253.41 PPM

**Tabla 31. Observaciones no ajustadas de la Poligonal 03**

De	A	No Ajus Rumbo	Dist No Ajus
E	18	N83°08'33.84"W	AT
E	F	N82°19'41.16"E	807.233000

**ERROR DE PROPAGACIÓN**

**Tabla 32. Coordenada de Estación Desviaciones Estándar (Metros)**

Estación	E	N
A	0.000000	0.000000
B	0.000000	0.000000
D	0.000000	0.000000
E	0.000000	0.000000
F	0.000000	0.000000
2	0.399547	0.145651
1	0.904936	0.606887
3	0.591720	0.425261
5	0.837935	0.133639
6	1.195038	0.134905
7	1.473418	0.155907
8	1.624320	0.157456
9	1.762960	0.172522
10	1.830480	0.176021
11	1.917181	0.224432
12	1.882339	0.205082
13	1.833733	0.198580
14	1.816749	0.148975
15	1.690499	0.140625
16	1.529464	0.136384
17	1.275348	0.136148
18	0.942044	0.113300

**Tabla 33. Coordenada de Estación Error Elipses (Metros)**  
Región de Confianza = 95%

Estación	Semi-Mayor	Semi-Menor	Acimut de
	Eje	Eje	Mayor Eje
A	0.000000	0.000000	0-00
B	0.000000	0.000000	0-00
D	0.000000	0.000000	0-00
E	0.000000	0.000000	0-00
F	0.000000	0.000000	0-00
2	1.040938	0.003827	69-58
1	2.647005	0.326434	56-31
3	1.778669	0.132975	54-24
5	2.076959	0.007591	80-56
6	2.930728	0.276372	86-27
7	3.606700	0.380245	89-29
8	3.975924	0.385412	90-00
9	4.315864	0.416276	90-57
10	4.481575	0.420066	91-14
11	4.696834	0.513470	92-24
12	4.609981	0.478555	91-54
13	4.490098	0.471216	91-32
14	4.451275	0.307278	92-32
15	4.146392	0.219670	93-40
16	3.752534	0.213392	93-56
17	3.138966	0.056090	96-00
18	2.322489	0.007848	96-51

**Tabla 34. Relativa Error Elipses (Metros)**  
Región de Confianza = 95%

Estaciones		Semi-Mayor	Semi-Menor	Acimut de
De	A	Eje	Eje	Mayor Eje
1	2	2.447753	0.104847	53-42
2	3	1.823260	0.152612	54-59
2	B	1.040938	0.003827	69-58
3	D	1.778669	0.132975	54-24

5	6	2.356386	0.019101	90-32
5	D	2.076959	0.007591	80-56
6	7	2.355409	0.019585	94-25
7	8	2.358111	0.013330	90-46
8	9	2.356024	0.015306	94-20
10	9	2.363129	0.024094	91-52
10	11	1.942181	0.025199	106-04
11	12	2.244243	0.047748	99-52
12	13	2.358775	0.024257	93-57
13	14	2.052743	0.005451	80-30
14	15	2.318178	0.013009	87-45
15	16	2.363074	0.022157	92-59
16	17	2.351695	0.010995	90-00
17	18	2.347651	0.019175	95-11
18	E	2.322489	0.007848	96-51
A	B	0.000000	0.000000	0-00
B	D	0.000000	0.000000	0-00
E	F	0.000000	0.000000	0-00

**5.8. AJUSTE DE POLÍGONO POR LOS MÉTODOS PLANTEADOS**

**1. Método: Compás / Bowditch Adjustment**

**Tabla 35. Ajuste por método del Compás del Polígono 01**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 70°08'54" E	38.624	0.0054	0	0°00'27"	0.002	8354168.850	330853.629
2	N 53°41'39" E	908.629	0.1268	-0.0008	0°00'23"	0.074	8354706.847	331585.864
3	N 53°03'54" E	798.503	0.1114	-0.0007	0°00'23"	0.066	8355186.674	332224.121

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36. Ajuste por método del Compás del Polígono 02**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 80°55'56" E	421.072	-0.001	0.0105	0°00'01"	0.01	8355253.0355	332639.9306
2	S 89°28'20" E	722.436	-0.0017	0.018	0°00'00"	0.018	8355246.3794	333362.3355
3	S 85°35'08" E	631.913	-0.0015	0.0157	0°00'00"	0.016	8355197.7405	333992.3742

4	S 89°14'13" E	359.767	-0.0008	0.0089	0°00'00"	0.009	8355192.9486	334352.1091
5	S 85°39'39" E	350.58	-0.0008	0.0087	0°00'00"	0.009	8355166.4235	334701.6838
6	S 88°07'58" E	503.396	-0.0012	0.0125	0°00'00"	0.013	8355150.0204	335204.8123
7	S 73°50'44" E	501.965	-0.0012	0.0125	0°00'01"	0.012	8355010.3597	335686.9577
8	S 80°04'13" E	913.406	-0.0022	0.0227	0°00'00"	0.023	8354852.8536	336586.6810
9	S 86°02'32" E	447.478	-0.0011	0.0111	0°00'00"	0.011	8354821.9678	337033.0921
10	N 80°29'01" E	84.467	-0.0002	0.0021	0°00'01"	0.002	8354835.9327	337116.3971
11	N 87°44'21" E	266.03	-0.0006	0.0066	0°00'01"	0.007	8354846.4276	337382.2197
12	S 87°01'20" E	513.735	-0.0012	0.0128	0°00'00"	0.013	8354819.7393	337895.2605
13	S 89°59'54" E	300.01	-0.0007	0.0075	0°00'00"	0.007	8354819.7298	338195.2710
14	S 84°48'24" E	665.431	-0.0016	0.0165	0°00'00"	0.017	8354759.4971	338857.9706
15	S 83°08'34" E	386.248	-0.0009	0.0096	0°00'00"	0.01	8354713.3810	339241.4560

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37. Ajuste por método del Compás del Polígono 03**

Lado	Rumbo	Distancia	Δ Y	Δ X	Δ Angulo	Δ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 82°19'41" E	807.438	0.0266	0.2028	0°00'00"	0.205	8354821.17	340041.6660

Fuente: Elaboración propia

**2. Método: Ajuste Regla de tránsito**

**Tabla 38. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 01**

Lado	Rumbo	Dist.	Δ Y	Δ X	Δ Angulo	Δ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 70°09'05" E	38.624	0.0031	0.0000	0°00'16"	0.001	8354168.8481	330853.6291
2	N 53°41'39" E	908.63	-0.1271	-0.0008	0°00'23"	0.075	8354706.8446	331585.8636
3	N 53°03'53" E	798.504	0.1134	-0.0007	0°00'24"	0.068	8355186.6740	332224.1206

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 39. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 02**

Lado	Rumbo	Dist.	Δ Y	Δ X	Δ Angulo	Δ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 80°55'57" E	421.072	-0.0017	0.0104	0°00'02"	0.01	8355253.03	332639.9305
2	S 89°28'20" E	722.436	-0.0002	0.0181	0°00'00"	0.018	8355246.38	333362.3355
3	S 85°35'08" E	631.913	-0.0012	0.0158	0°00'00"	0.016	8355197.74	333992.3743
4	S 89°14'13" E	359.767	-0.0001	0.009	0°00'00"	0.009	8355192.95	334352.1093
5	S 85°39'39" E	350.58	-0.0007	0.0087	0°00'00"	0.009	8355166.43	334701.6840
6	S 88°07'58" E	503.396	-0.0004	0.0126	0°00'00"	0.013	8355150.02	335204.8126
7	S 73°50'43" E	501.966	-0.0036	0.0121	0°00'00"	0.013	8355010.36	335686.9576
8	S 80°04'13" E	913.406	-0.004	0.0225	0°00'00"	0.023	8354852.85	336586.6807
9	S 86°02'32" E	447.478	-0.0008	0.0112	0°00'00"	0.011	8354821.97	337033.0919
10	N 80°29'02" E	84.467	-0.0004	0.0021	0°00'02"	0.002	8354835.93	337116.3969
11	N 87°44'20" E	266.03	-0.0003	0.0067	0°00'00"	0.007	8354846.43	337382.2195

12	S 87°01'20" E	513.735	-0.0007	0.0128	0°00'00"	0.013	8354819.74	337895.2604
13	S 89°59'54" E	300.011	0	0.0075	0°00'00"	0.008	8354819.73	338195.2709
14	S 84°48'24" E	665.431	-0.0015	0.0166	0°00'00"	0.017	8354759.5	338857.9706
15	S 83°08'34" E	386.248	-0.0012	0.0096	0°00'00"	0.01	8354713.38	339241.4560

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40. Ajuste por método de Tránsito del Polígono 03**

Lado	Rumbo	Dist.	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Angulo$	$\Delta Dist.$	Norte (Y)	Este (X)
1	N 82°19'41" E	807.438	0.0266	0.2028	0°00'00"	0.205	8354821.17	340041.6660

Fuente: Elaboración propia

### 3. Método: Ajuste Regla Crandall

**Tabla 41. Ajuste por método de Crandall del Polígono 01**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Angulo$	$\Delta Dist.$	Norte (Y)	Este (X)
1	N 70°09'21" E	37.952	-0.2278	0.6311	0°00'00"	-0.671	8354168.62	330852.998
2	N 53°42'02" E	908.685	-0.0771	-0.1049	0°00'00"	0.13	8354706.56	331585.338
3	N 53°04'17" E	799.093	-0.3943	-0.5247	0°00'00"	0.656	8355186.67	332224.121

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 42. Ajuste por método de Crandall del Polígono 02**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Angulo$	$\Delta Dist.$	Norte (Y)	Este (X)
1	N 80°55'55" E	421.066	-0.0006	-0.0037	0°00'00"	0.004	8355253.04	332639.9238
2	S 89°28'20" E	722.433	0.0001	-0.0152	0°00'00"	0.015	8355246.38	333362.3260
3	S 85°35'08" E	631.914	0.0013	-0.0163	0°00'00"	0.016	8355197.74	333992.3653
4	S 89°14'13" E	359.766	0.0001	-0.0077	0°00'00"	0.008	8355192.95	334352.0990
5	S 85°39'39" E	350.58	0.0007	-0.009	0°00'00"	0.009	8355166.43	334701.6739
6	S 88°07'58" E	503.395	0.0004	-0.0114	0°00'00"	0.011	8355150.03	335204.8014
7	S 73°50'43" E	501.973	0.0055	-0.019	0°00'00"	0.02	8355010.36	335686.9534
8	S 80°04'13" E	913.413	0.0051	-0.0292	0°00'00"	0.03	8354852.85	336586.6832
9	S 86°02'32" E	447.478	0.0008	-0.0113	0°00'00"	0.011	8354821.97	337033.0944
10	N 80°29'00" E	84.466	-0.0001	-0.0007	0°00'00"	0.001	8354835.93	337116.3981
11	N 87°44'20" E	266.028	-0.0002	-0.0047	0°00'00"	0.005	8354846.43	337382.2187
12	S 87°01'20" E	513.734	0.0006	-0.0124	0°00'00"	0.012	8354819.74	337895.2592
13	S 89°59'54" E	300.009	0.0000	-0.0061	0°00'00"	0.006	8354819.73	338195.2683
14	S 84°48'24" E	665.432	0.0016	-0.0178	0°00'00"	0.018	8354759.5	338857.9691
15	S 83°08'34" E	386.25	0.0013	-0.0111	0°00'00"	0.011	8354713.38	339241.4560

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43. Ajuste por método de Crandall del Polígono 03**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dist.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 82°19'41" E	807.572	-0.0444	-0.3359	0°00'00"	0.339	8354821.19	340041.7991

Fuente: Elaboración propia

**4. Método: Rotar y escalar a la Línea Conocida**

**Tabla 44. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 01**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dista.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 70°08'58" E	38.626	0.0052	-0.0015	0°00'23"	0.003	8354168.85	330853.631
2	N 53°41'39" E	908.629	0.1269	-0.001	0°00'23"	0.074	8354706.85	331585.865
3	N 53°03'54" E	798.502	0.1115	-0.0021	0°00'23"	0.065	8355186.67	332224.121

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 02**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dista.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 80°55'55" E	421.073	0.0014	0.0105	0°00'00"	0.011	8355253.04	332639.9306
2	S 89°28'20" E	722.436	-0.0007	0.0181	0°00'00"	0.018	8355246.38	333362.3356
3	S 85°35'08" E	631.913	-0.0017	0.0158	0°00'00"	0.016	8355197.74	333992.3744
4	S 89°14'13" E	359.767	-0.0004	0.009	0°00'00"	0.009	8355192.95	334352.1094
5	S 85°39'39" E	350.58	-0.0009	0.0087	0°00'00"	0.009	8355166.43	334701.6841
6	S 88°07'58" E	503.396	-0.0008	0.0126	0°00'00"	0.013	8355150.02	335204.8127
7	S 73°50'43" E	501.966	-0.0038	0.012	0°00'00"	0.013	8355010.36	335686.9576
8	S 80°04'13" E	913.406	-0.0046	-0.0225	0°00'00"	0.023	8354852.85	336586.6807
9	S 86°02'32" E	447.478	-0.0011	0.0112	0°00'00"	0.011	8354821.97	337033.0918
10	N 80°29'00" E	84.468	0.0003	0.0021	0°00'00"	0.002	8354835.93	337116.3969
11	N 87°44'20" E	266.03	0.0001	0.0067	0°00'00"	0.007	8354846.43	337382.2195
12	S 87°01'20" E	513.735	-0.001	0.0128	0°00'00"	0.013	8354819.74	337895.2604
13	S 89°59'54" E	300.011	-0.0002	0.0075	0°00'00"	0.008	8354819.73	338195.2710
14	S 84°48'24" E	665.431	-0.002	0.0166	0°00'00"	0.017	8354759.5	338857.9706
15	S 83°08'34" E	386.248	-0.0014	0.0096	0°00'00"	0.01	8354713.38	339241.4560

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46. Ajuste por método de Rotar y Escalar del Polígono 03**

Lado	Rumbo	Distancia	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta$ Angulo	$\Delta$ Dista.	Norte (Y)	Este (X)
1	N 82°19'41"E	807.438	0.0266	0.2028	0°00'00"	0.205	8354821.17	340041.6660

Fuente: Elaboración propia

**5.9. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE COMPARACIÓN DE LOS CINCO MÉTODOS PLANTEADOS**

Para la evaluación de resultados del presente trabajo de investigación se ha adoptado a un modelo de arreglo factorial 16x5, por los métodos de Mínimos Cuadrados, Compass, Transito, Crandall, Rotación y Escalar en las coordenadas (x,y), como también el desplazamiento lineal en el lado Este y Norte, es decir se han probado 64 grados de libertad en cada una de ellas experimentales, de los cuales los datos se han evaluado a través del análisis de varianza que se detalla a continuación de acuerdo a los resultados promedios obtenidos de todas las unidades experimentales.

**Tabla 47. Resumen de Factores para la Coordenada Norte**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
2	5	0.4073	0.08146	0.01156741
3	5	0.5734	0.11468	0.00235237
5	5	0.0058	0.00116	5.48E-07
6	5	0.0124	0.00248	2.437E-06
7	5	0.0202	0.00404	3.413E-06
8	5	0.0214	0.00428	5.157E-06
9	5	0.0264	0.00528	5.832E-06
10	5	0.0278	0.00556	9.733E-06
11	5	0.0524	0.01048	5.17E-07
12	5	0.0791	0.01582	3.122E-06
13	5	0.0835	0.0167	0.00000184
14	5	0.0846	0.01692	8.57E-07
15	5	0.0865	0.0173	0.00000151
16	5	0.0872	0.01744	7.63E-07
17	5	0.0873	0.01746	6.93E-07
18	5	0.0968	0.01936	3.23E-07

**Tabla 48. Análisis de varianza para los cinco métodos planteados de la Coordenada Norte**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.07210955	15	0.0048073	5.51117708	5.5778E-07	1.82558574
Dentro de lo	0.05582608	64	0.00087228			
Total	0.12793563	79				

De acuerdo al cuadro del análisis de varianza, en la cual se ha considerado un nivel de significancia del 95% equivalente a  $\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$ , se obtiene una probabilidad de  $P = 5.5778E-07$ ; con lo cual comparando  $P = 0.05 < 5.5778E-07$  se determina rechazar la hipótesis nula que en al menos uno de los métodos es distinto, con 95% de confiabilidad. Es decir, existe al menos uno de los métodos que es diferente y confiable en los tratamientos de ajuste.

Esto implica que, de los 5 métodos de ajuste en Coordenadas Norte, uno de ellos es diferente estadísticamente. De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para las resistencias se realizó la prueba de significancia de Tukey – Duncan.

En la tabla, se muestra las diferencias lineales en la coordenada Norte a partir de las coordenadas sin ajustar.

- Cálculo de rango de menor significancia:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

- Para 5 tratamientos y 16 grados de libertad se obtiene utilizando la siguiente tabla:  $r_p = 4.95$

**Tabla 49. Valores críticos para la prueba de Tukey**

$v_2$ l	$\alpha$ l	$v_1$								
		12	13	14	15	16	17	18	19	20
40	0.05	4.91	4.98	5.05	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36
	0.01	5.77	5.84	5.90	5.96	6.02	6.07	6.12	6.17	6.21
60	0.05	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.16	5.20	5.24
	0.01	5.60	5.67	5.73	5.79	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02
120	0.05	4.72	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.05	5.09	5.13
	0.01	5.44	5.51	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83
$\infty$	0.05	4.62	4.68	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01
	0.01	5.29	5.35	5.40	5.45	5.49	5.54	5.57	5.61	5.65

Obteniéndose:  $R_p = 0.037$

**Tabla 50. Prueba de Tukey con HSD en la coordenada Norte**

COORDENADA NORTE																	
DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA ENTRE GRUPOS																	
HSD=	0.037																
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2		-0.033	0.080	0.079	0.077	0.077	0.076	0.076	0.071	0.066	0.065	0.065	0.064	0.064	0.064	0.062	
3			0.114	0.112	0.111	0.110	0.109	0.109	0.104	0.099	0.098	0.098	0.097	0.097	0.097	0.095	
5				-0.001	-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.009	-0.015	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016	-0.018	
6					-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.008	-0.013	-0.014	-0.014	-0.015	-0.015	-0.015	-0.017	
7						0.000	-0.001	-0.002	-0.006	-0.012	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.015	
8							-0.001	-0.001	-0.006	-0.012	-0.012	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.015	
9								0.000	-0.005	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.014	
10									-0.005	-0.010	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.014	
11										-0.005	-0.006	-0.006	-0.007	-0.007	-0.007	-0.009	
12											-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.004	
13												0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.003	
14													0.000	-0.001	-0.001	-0.002	
15														0.000	0.000	-0.002	
16															0.000	0.000	
17																-0.002	
18																	

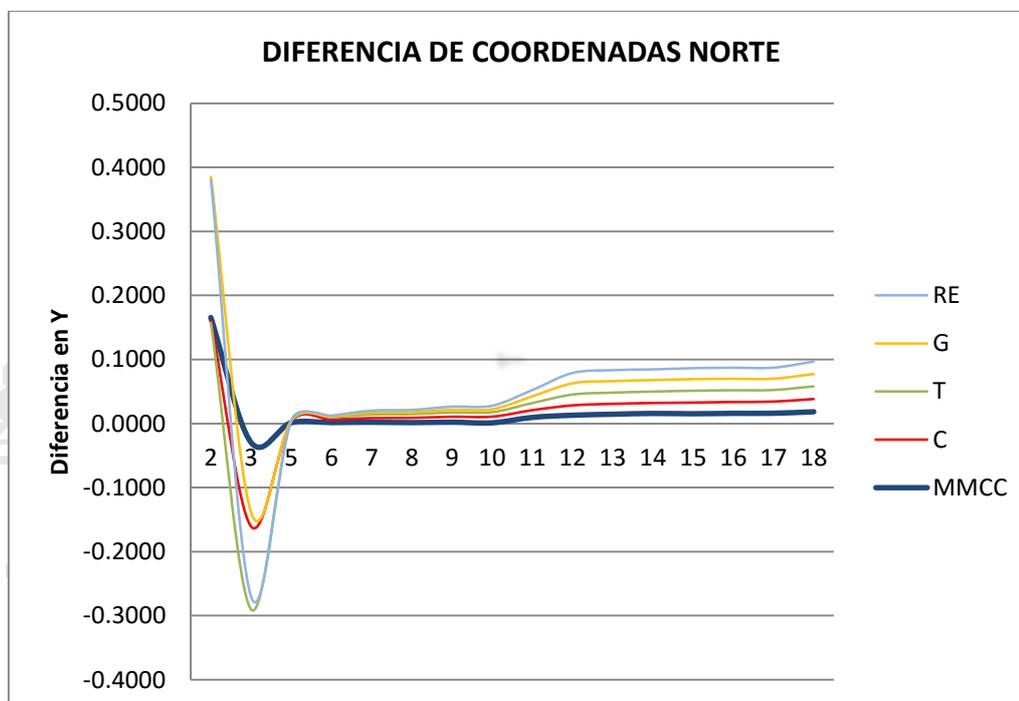
SI HAY DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA

Según los análisis de SPSS Pruebas post hoc y Subconjuntos homogéneos se tiene promedios de grupos:

- De acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que no hay diferencias significativas, se encuentran diferencias entre los grupos 2 y (5 al 11), 3 y (5 al 18), lo grupos 5 al 18 y (2 y 3)  $p < 0.05$ .
- De acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que, si hay diferencias significativas, se encuentran entre los grupos no mencionadas anterior  $p > 0.05$  estos lo podemos apreciar en la tabla de ANOVA en anexo.
- En subconjunto de homogéneos en resultados de SPSS de los vértices de control de 2, 3, 5 al 18 forman un grupo homogéneo sus medias son similares resulta claramente que la primera columna nos dice que no hay diferencias (Tukey  $p = 0.915$ ) y las columnas 2 y 3 hay diferencias entre los vértices; mientras Duncan los vértices 2 y 3 se diferencian con restos de columna 2 (Duncan  $p = 0.08$ ).
- Los resultados obtenidos de las coordenadas Norte si difieren de los métodos y el método mínimos cuadrados más se aproxima a la realidad

según el gráfico. Por lo cual los resultados son aceptables estadísticamente.

**Gráfica 1. Diferencia entre los métodos de ajuste en la Coordenada Norte**



**Tabla 51. Resumen de factores para la Coordenada Este**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
2	5	1.0947	0.21894	0.09296039
3	5	0.7707	0.15414	0.05419222
5	5	0.0423	0.00846	9.448E-06
6	5	0.1069	0.02138	0.00013081
7	5	0.1859	0.03718	0.00013378
8	5	0.2298	0.04596	0.00013211
9	5	0.2798	0.05596	7.9913E-05
10	5	0.3397	0.06794	9.5843E-05
11	5	0.4273	0.08546	3.428E-06
12	5	0.5461	0.10922	1.257E-06
13	5	0.6048	0.12096	1.993E-06
14	5	0.6036	0.12072	1.1952E-05
15	5	0.632	0.1264	0.00001916
16	5	0.6961	0.13922	1.8432E-05
17	5	0.7327	0.14654	1.6823E-05
18	5	0.817	0.1634	1.7075E-05

**Tabla 52. Análisis de Varianza de los cinco métodos planteados para la Coordenada Este**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.25514209	15	0.01700947	1.84104338	0.04766608	1.82558574
Dentro de lo	0.59129853	64	0.00923904			
Total	0.84644062	79				

De acuerdo al cuadro del análisis de varianza, en la cual se ha considerado un nivel de significancia del 95% equivalente a  $\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$ , se obtiene una probabilidad de  $P = 0.047667$ ; con lo cual comparando  $P = 0.05 < 0.047667$  se determina rechazar la hipótesis nula que en al menos uno de los métodos es distinto, con 95% de confiabilidad. Es decir, existe al menos uno de los métodos que es diferente y confiable en los tratamientos de ajuste.

Esto implica que, de los 5 métodos de ajuste en **Coordenadas Este**, uno de ellos es diferente estadísticamente. De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para las resistencias se realizó la prueba de significancia de Tukey – Duncan

En la tabla, se muestra las diferencias lineales en la coordenada Este a partir de las coordenadas sin ajustar.

- Cálculo de rango de menor significancia:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

- Para 5 tratamientos y 16 grados de libertad se obtiene utilizando la siguiente tabla:  $r_p = 4.95$   
Obteniéndose:  **$R_p = 0.119$**

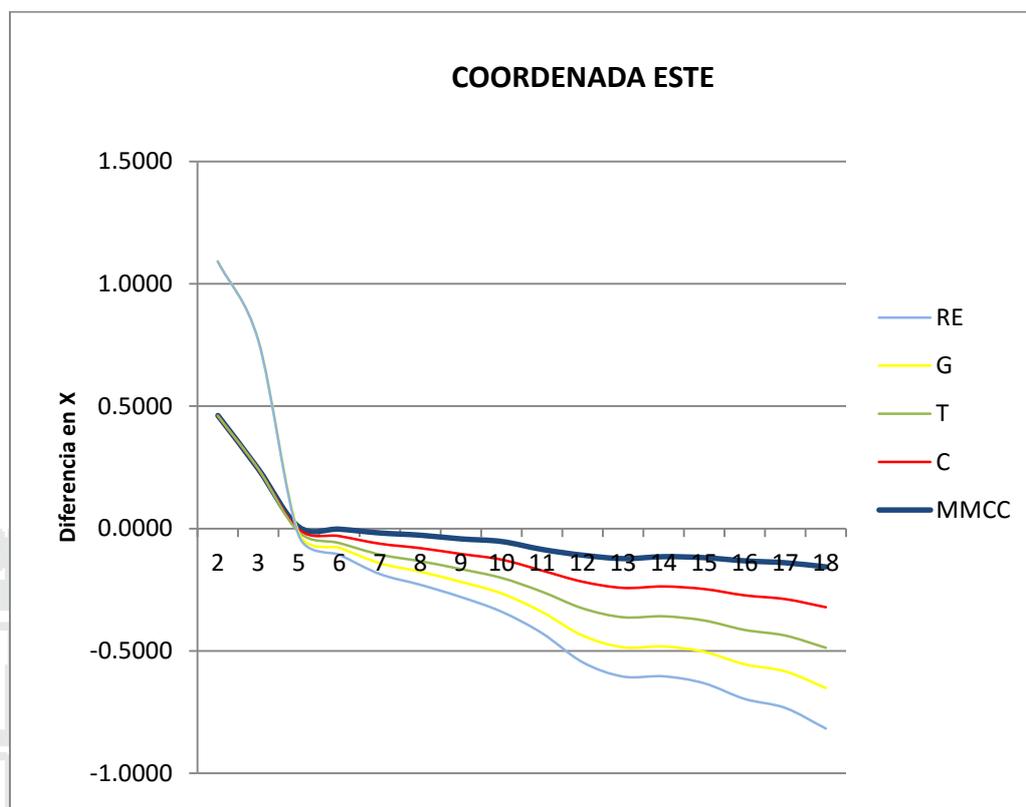
**Tabla 53. Prueba de Tukey con HSD en la coordenada Norte**

COORDENADA ESTE																	
DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA ENTRE GRUPOS																	
HSD=	0.119																
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2		0.065	0.210	0.198	0.182	0.173	0.163	0.151	0.133	0.110	0.098	0.098	0.093	0.080	0.072	0.056	
3			0.146	0.133	0.117	0.108	0.098	0.086	0.069	0.045	0.033	0.033	0.028	0.015	0.008	-0.009	
5				-0.013	-0.029	-0.038	-0.048	-0.059	-0.077	-0.101	-0.113	-0.112	-0.118	-0.131	-0.138	-0.155	
6					-0.016	-0.025	-0.035	-0.047	-0.064	-0.088	-0.100	-0.099	-0.105	-0.118	-0.125	-0.142	
7						-0.009	-0.019	-0.031	-0.048	-0.072	-0.084	-0.084	-0.089	-0.102	-0.109	-0.126	
8							-0.010	-0.022	-0.040	-0.063	-0.075	-0.075	-0.080	-0.093	-0.101	-0.117	
9								-0.012	-0.030	-0.053	-0.065	-0.065	-0.070	-0.083	-0.091	-0.107	
10									-0.018	-0.041	-0.053	-0.053	-0.058	-0.071	-0.079	-0.095	
11										-0.024	-0.036	-0.035	-0.041	-0.054	-0.061	-0.078	
12											-0.012	-0.012	-0.017	-0.030	-0.037	-0.054	
13												0.000	-0.005	-0.018	-0.026	-0.042	
14														-0.006	-0.019	-0.026	-0.043
15															-0.013	-0.020	-0.037
16																-0.013	-0.020
17																	-0.017
18																	
SI HAY DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA																	

Según los análisis de SPSS Pruebas post hoc y Subconjuntos homogéneos se tiene promedios de grupos:

- De acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que todos los vértices tienen diferencias significativas,  $p > 0.05$  estos lo podemos apreciar en la tabla de ANOVA en anexo.
- En subconjunto de homogéneos en resultados de SPSS de los vértices de control de 2, 3, 5 al 18 forman un grupo homogéneo sus medias son similares resulta claramente que están en la primera columna nos dice que hay diferencias (Tukey  $p = 0.066$ ); mientras Duncan los vértices 2 y 3 se diferencian con restos de columna 1 (Duncan  $p = 0.068$ ).
- Los resultados obtenidos de las coordenadas Este si difieren de los métodos y el método mínimos cuadrados más se aproxima a la realidad según el grafico. Por lo cual los resultados son aceptables estadísticamente.

**Gráfica 2. Diferencia entre los métodos de ajuste en la Coordenada Este**



**Tabla 54. Resumen de factores para el Error Lineal**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
2	5	1.17556	0.235112	0.10364465
3	5	1.18463	0.236926	0.0325141
5	5	0.04277	0.008554	9.7378E-06
6	5	0.10804	0.021608	0.00012877
7	5	0.18708	0.037416	0.00013589
8	5	0.23089	0.046178	0.00013491
9	5	0.28115	0.05623	8.2574E-05
10	5	0.34103	0.068206	9.9179E-05
11	5	0.43051	0.086102	3.4416E-06
12	5	0.55185	0.11037	1.6258E-06
13	5	0.61058	0.122116	1.8473E-06
14	5	0.6095	0.1219	1.2397E-05
15	5	0.6379	0.12758	2.0123E-05
16	5	0.70154	0.140308	1.898E-05
17	5	0.73789	0.147578	1.7296E-05
18	5	0.82271	0.164542	1.7365E-05

**Tabla 55. Análisis de Varianza de los cinco métodos planteados para el Error Lineal**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.3513398	15	0.02342265	2.73863299	0.00266122	1.82558574
Dentro de lo	0.54737156	64	0.00855268			
Total	0.89871136	79				

De acuerdo al cuadro del análisis de varianza, en la cual se ha considerado un nivel de significancia del 95% equivalente a  $\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$ , se obtiene una probabilidad de  $P = 0.00266$ ; con lo cual comparando  $P = 0.05 < 0.00266$  se determina rechazar la hipótesis nula que en al menos uno de los métodos es distinto, con 95% de confiabilidad. Es decir, existe al menos uno de los métodos que es diferente y confiable en los tratamientos de ajuste.

Esto implica que, de los 5 métodos de ajuste en **Error lineal**, uno de ellos es diferente estadísticamente. De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para las resistencias se realizó la prueba de significancia de Tukey – Duncan.

En la tabla, se muestra las diferencias lineales a partir de las coordenadas sin ajustar.

- Cálculo de rango de menor significancia:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

- Para 5 tratamientos y 16 grados de libertad se obtiene utilizando la siguiente tabla:  $r_p = 4.95$   
Obteniéndose:  **$R_p = 0.114$**

**Tabla 56. Prueba de Tukey con HSD en la Diferencia Lineal**

LINEAL																	
DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA ENTRE GRUPOS																	
HSD=	0.114																
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2		-0.002	0.227	0.214	0.198	0.189	0.179	0.167	0.149	0.125	0.113	0.113	0.108	0.095	0.088	0.071	
3			0.228	0.215	0.200	0.191	0.181	0.169	0.151	0.127	0.115	0.115	0.109	0.097	0.089	0.072	
5				-0.013	-0.029	-0.038	-0.048	-0.060	-0.078	-0.102	-0.114	-0.113	-0.119	-0.132	-0.139	-0.156	
6					-0.016	-0.025	-0.035	-0.047	-0.064	-0.089	-0.101	-0.100	-0.106	-0.119	-0.126	-0.143	
7						-0.009	-0.019	-0.031	-0.049	-0.073	-0.085	-0.084	-0.090	-0.103	-0.110	-0.127	
8							-0.010	-0.022	-0.040	-0.064	-0.076	-0.076	-0.081	-0.094	-0.101	-0.118	
9								-0.012	-0.030	-0.054	-0.066	-0.066	-0.071	-0.084	-0.091	-0.108	
10									-0.018	-0.042	-0.054	-0.054	-0.059	-0.072	-0.079	-0.096	
11										-0.024	-0.036	-0.036	-0.041	-0.054	-0.061	-0.078	
12											-0.012	-0.012	-0.017	-0.030	-0.037	-0.054	
13												0.000	-0.005	-0.018	-0.025	-0.042	
14														-0.018	-0.026	-0.043	
15															-0.013	-0.037	
16																-0.020	
17																	-0.017
18																	

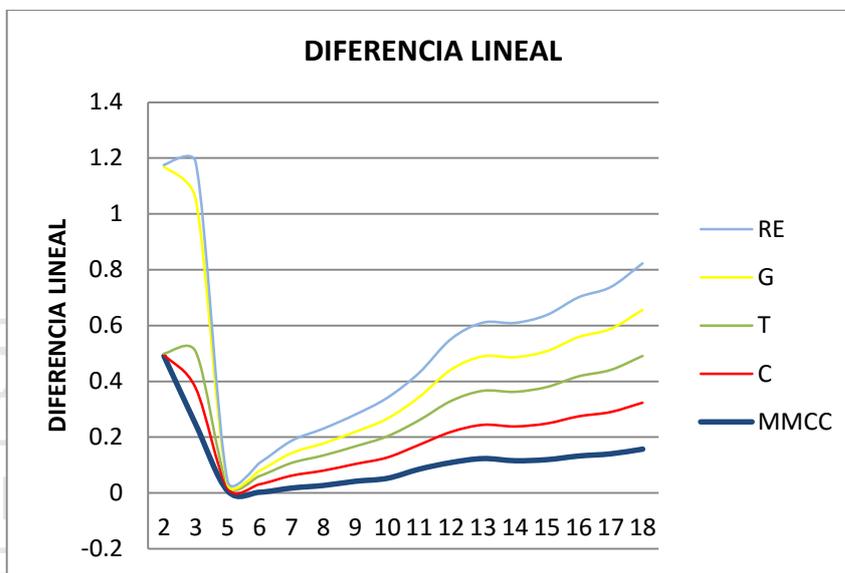
SI HAY DIFERENCIA ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVA

Según los análisis de SPSS Pruebas post hoc y Subconjuntos homogéneos se tiene promedios de grupos:

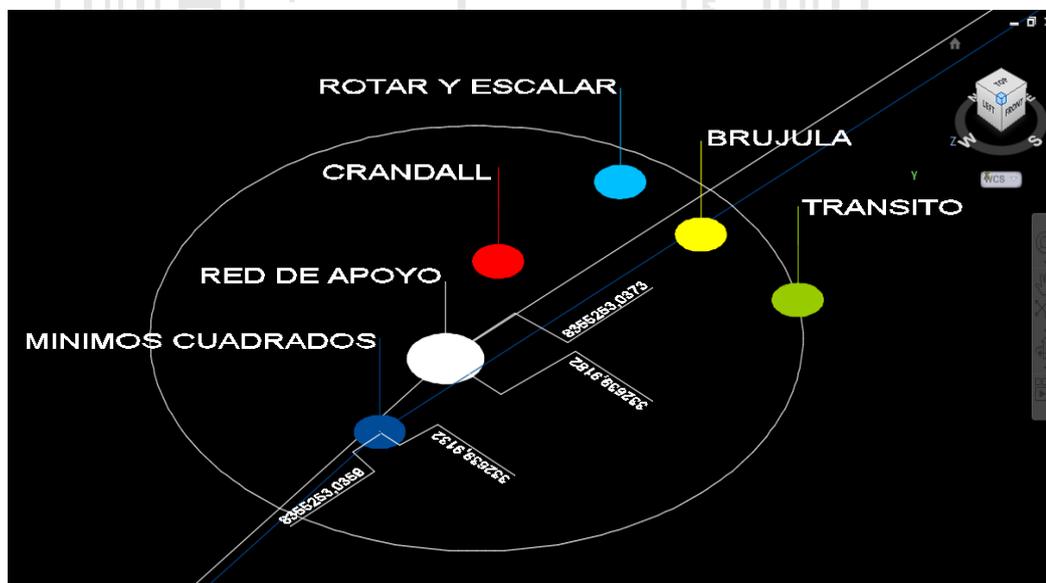
- De acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que no hay diferencias significativas, se encuentran entre los grupos 2 y (5, 6), 5 y (2, 3), 6 y (2, 3), 7 y (2, 3),  $p < 0.05$ .
- De acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que hay diferencias significativas, entre los grupos restantes en los vértices,  $p > 0.05$  (0.78 -1), estos lo podemos apreciar en la tabla de ANOVA en anexo.
- En subconjunto de homogéneos en resultados de SPSS de los vértices de control de 2, 3, 5 al 18 forman un grupo homogéneo sus medias son similares resulta claramente que la primera columna nos dice que no hay diferencias (Tukey  $p = 0.075$ ) y las columnas 2 hay diferencias entre los vértices; mientras Duncan los vértices 2 y 3 se diferencian con restos de columna 3 (Duncan  $p = 0.07$ ).

- Los resultados obtenidos de la diferencia lineal si difieren de los métodos y el método mínimos cuadrados más se aproxima a la realidad según el grafico. Por lo cual los resultados son aceptables estadísticamente.

**Gráfica 3. Diferencia lineal entre los métodos de ajuste planteados**



**Gráfica 4. Vista Detallada de los métodos de ajuste en AUTOCAD**



En la gráfica 4 se puede apreciar que el Método de Mínimos Cuadrados es la que tiene menos diferencia significativa, seguido del método de Crandall en el ajuste de la poligonal abierta de apoyo de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000.

## CONCLUSIONES

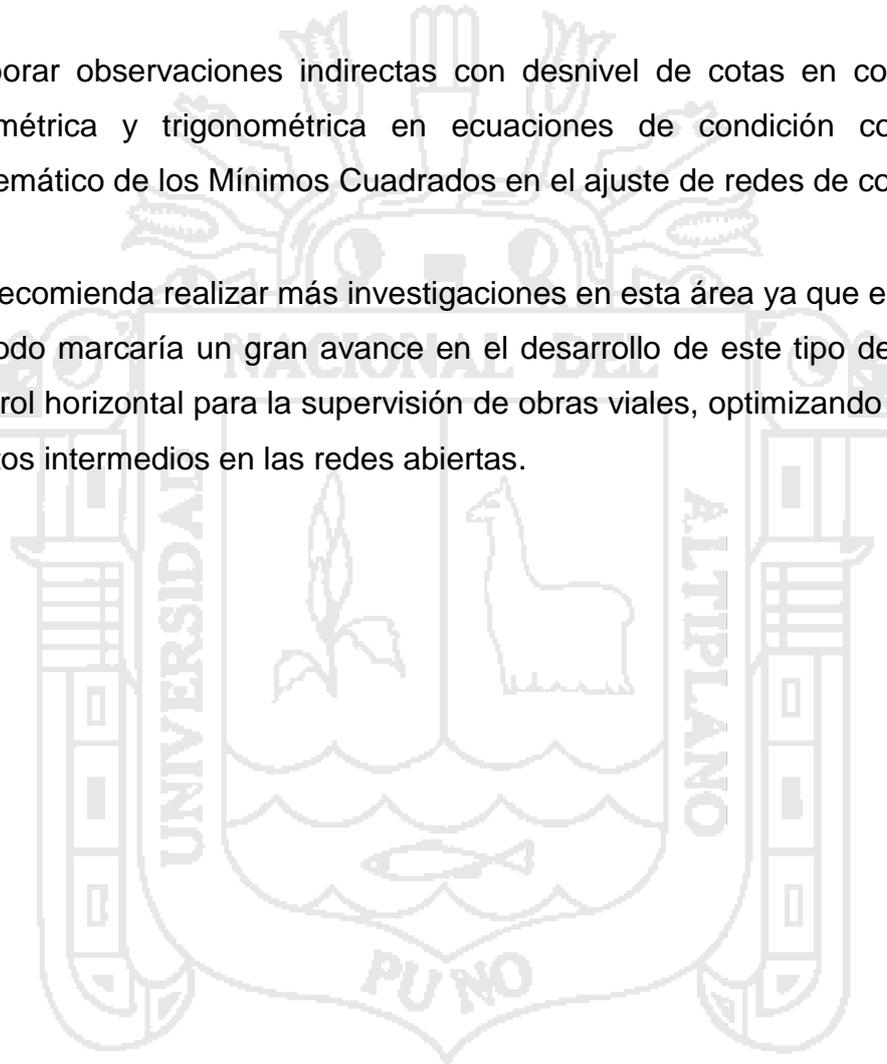
- Al determinar la diferencia de los cinco métodos en el ajuste de la poligonal abierta de apoyo de la carretera Ayaviri – Purina del Km 0+000 al Km 10+000, es el método de Mínimos cuadrados que posee errores de ajuste aceptable en el cual es suficiente 2 iteraciones, en la primera iteración las máximas y mínimas en coordenada Este es (-0.462332m., 0.156163 m.), mientras en Coordenada Norte (-0.173243 m., 0.029938 m.); en la segunda iteración la coordenada Este (-0.000007 m., 0.000000), y la coordenada Norte (-0.000000, 0.000000), el ajuste se ha considerado el error de propagación y error estándar de instrumento en el cual nos manifiesta el Chi-cuadrado con suma de cuadrados de 0.648 y el error factorial de 0.329 que nos da la advertencia: La Prueba Chi-Cuadrado en Nivel 5.00% Excedió el Límite Inferior, Límites Bajo/Alto (0.454/1.552) quiere decir que los errores de ajuste son muy pequeños.
- Al determinar la precisión y confiabilidad por el método de mínimos cuadrados para el ajuste de la red de control horizontal, en las observaciones ajustadas y residuales en ángulos (GMS) es de 0" a 0.3" y precisión de 1/11 a 1/35, mientras en ajuste de distancias (Metros) es de 0.00m. a 0.50m, la precisión de 1/11 a 1/35, en lo que la probabilidad relativa a un nivel de confianza de 95% se tiene las mínimas y máximas (1.040933, 2.363074) estamos dentro de los parámetros permitidos que la teoría nos indica los rangos es 1 a 2.5, a lo que es la precisión por tramos es de 1/7000 y 1/40000, lo que apreciamos en nuestra conclusión cuando la distancia es corta más error se comete.
- Al evaluar los resultados obtenidos con productos que provienen de la aplicación de otros métodos: Transito, Compás, Crandall, Rotar y escalar a la Línea Conocida; en el control horizontal si hay diferencias significativas según análisis estadístico de análisis de varianza de un factor "ANOVA" para lo cual se analizó 5 métodos en 16 vértices de control con respecto a 4 puntos de control con GPS Diferencial en 10 Km. de polígono con diferentes distancias en el tramo, estadísticamente el error de desplazamiento de ajuste en coordenada norte nos manifiesta que de acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que,

se encuentran diferencias significativas entre los grupos 2 y (5 al 11), 3 y (5 al 18) , lo grupos 5 al 18 y (2 y 3)  $p < 0.05$ , en la coordenada Este de acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que todo los vértices tienen diferencias significativas,  $p > 0.05$  podemos ver en el Anexo D, mientras que en error lineal se observa que de acuerdo con la prueba de post-host de Tukey se observa que hay diferencias significativas, se encuentran entre los grupos 2 y (5, 6), 5 y (2, 3) , 6 y (2, 3), 7 y (2, 3),  $p < 0.05$  el resto de polígonos tanto en las coordenadas Este y Norte hay diferencias significativas esto quiere decir según la hipótesis son diferentes esto valida que en distancias cortas no hay diferencias por los métodos, pero en las distancias mayores si existe diferencia en los 5 tratados reflejando con menor significancia el método de los Mínimos cuadrados.



## RECOMENDACIONES

- Elaborar observaciones indirectas o variación de coordenadas en ecuaciones de condición con algoritmo matemático de los Mínimos Cuadrados en el ajuste de 2D y 3D dando lugar a un similar procedimiento.
- Elaborar observaciones indirectas con desnivel de cotas en control vertical geométrica y trigonométrica en ecuaciones de condición con algoritmo matemático de los Mínimos Cuadrados en el ajuste de redes de control.
- Se recomienda realizar más investigaciones en esta área ya que el uso de este método marcaría un gran avance en el desarrollo de este tipo de trabajos de control horizontal para la supervisión de obras viales, optimizando el control de puntos intermedios en las redes abiertas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLAN, M. (2013). Metodología de cálculos de redes topográficas. Primera Edición. España
- ALCÁNTARA, D. (1990). Topografía. México: Mc Graw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V.
- E. COYAGO R. D. (2010), Título de ingeniería. Ajuste de la red de control básico vertical en función de números geopotenciales.
- FERNÁNDEZ, C. y COPEL, I. (2001). Las coordenadas geográficas, la proyección UTM y el Datum, Universidad de Valladolid. España.
- GARRIDO, N. (2014), Mínimos Cuadrados para Topografía. Ed. Investigación. España.
- GEMAEL, C (1994). Introducción al Ajustamiento de Observaciones: Aplicaciones Geodésicas. Curitiba: Ed UFPR. Brasil.
- GUIZADO, M. (2011). Puntos Geodésicos y estación de Rastreo Permanente a nivel nacional y Aplicaciones en el catastro. SNCP-Perú.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN) (2009), Normas Peruanas. Perú.
- JIMENEZ L. (2014), CÁLCULO DE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS MEDIANTE UN PROGRAMA DESARROLLADO EN LENGUAJE C++. México.
- JORGE MOYA ZAMORA (2014), Artículo. Cálculo, mediante la aplicación del algoritmo de ajuste por mínimos cuadrados, de los componentes de velocidad para estaciones GNSS continuas.
- MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMÉTRICO (DG - 2014), Normas Peruanas. Perú.
- MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN (EG - 2013), Normas Peruanas. Perú
- NÚÑEZ, AMPARO (2006), Tesis Doctoral. Determinación de un geoide de precisión en áreas de pequeña extensión. Aplicación en el parque nacional de Doñana. España.

- SZENTESI, A. (1980). Mediciones Topográficas. Fabricas Ópticas de Hungría. Hungría.
- TORRES, A. y VILLATE, E. (2001). Topografía: Prensa Moderna Impresores S.A. Colombia.
- WOLF, P.R. y GHILANI, Ch. D. (2012). Topografía: Alfa Omega Grupo Editor S.A. de C.V. México.
- ZÚÑIGA, W. (2010). Topografía Geodesia y Cartografía. Primera edición. Grupo universitario S.A.C. Perú.





ANEXO A. PUNTO GEODÉSICO AYW4



**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL**  
**DIRECCIÓN DE GEODESIA**  
**DESCRIPCION MONOGRÁFICA**

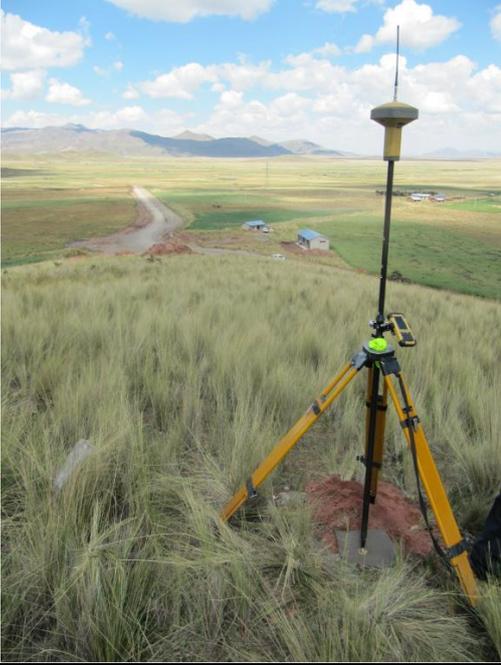
PROYECTO CONSOLIDACIÓN DE LOS DERECHOS DE PROPIEDAD INMUEBLE

<b>CODIGO:</b> AYV4	<b>LOCALIDAD:</b> AYAVIRI	<b>ESTABLECIDA POR:</b> INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	
<b>UBICACIÓN:</b> PLAZA DE ARMAS		<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA:</b> DISCO DE BRONCE 5 CM	
<b>LATITUD ( S ) WGS-84</b> 14°52'53.850560"		<b>LONGITUD ( O ) WGS-84</b> 70°35'24.093460"	
<b>NORTE ( Y ) WGS-84</b> 8354157.049683 m		<b>ESTE ( X ) WGS-84</b> 328947.468998 m	
<b>ALTURA ELIPSOIDAL</b> 3955.9971 m	<b>ELEV. REFERENCIAL (EGM 2008)</b> 3908.9311 m	<b>ZONA UTM</b> 19 SUR	<b>ORDEN</b> C
<p><b>CROQUIS</b></p>			
<p><b>LOCALIZACIÓN:</b> Distrito: AYAVIRI Provincia: MELGAR Departamento: PUNO</p> <p><b>DESCRIPCIÓN:</b> La Estación "AYV4" se encuentra ubicada en uno de los jardines de la Plaza de Armas, a 1 m de la vereda del lado del Jr. Teatro, frente a la iglesia.</p> <p><b>MARCA DE LA ESTACIÓN:</b> Es un disco de bronce de 5 cm de diámetro, incrustado en un bloque de concreto de 20 cm de ancho, 20 cm de largo, 40 cm de alto y lleva grabado la siguiente inscripción: "IGN - PCDPI - AYW4 - C - 2009"</p> <p><b>REFERENCIA:</b> Carta Nacional Escala 1/100000, Hoja 30-u Ayaviri</p>			
<b>DESCRITA POR:</b> Bravo / Jorge	<b>REVISADO:</b> TcoJ. C. Silva Q.	<b>JEFE PROYECTO:</b> Cap. Ing. H. Segura M.	<b>FECHA:</b> Noviembre 2009

ANEXO B. RED GEODÉSICA

"ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS GEODÉSICOS PARA LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA"			
GEOREFERENCIACION			
CÓDIGO: <b>P1-AUX</b>		UBICACIÓN: <b>BM 0.5 (CARRETERA AYAVIRI-PURINA)</b>	REFERENCIA: CARTA NACIONAL 30U AYAVIRI – 30V AZANGARO JULIACA1:100000
LATITUD: <b>14°52'54.324715"S</b> (WGS-84)	LONGITUD: <b>70°34'21.538774"W</b> (WGS-84)	ALTITUD GEOIDAL: <b>3894.7508 m.s.n.m</b> EGM2008	ALTITUD ELIPSOIDAL: <b>3941.8952 m.s.n.m</b> EGM2008
ESTE (WGS-84): <b>330817.2999</b>	NORTE (WGS-84): <b>8354155.7343</b>	ZONA: <b>19 SUR</b>	ORDEN: <b>C</b>
FACTOR COMBINADO UTM - TOPOGRAFICAS: <b>1.000664735575</b>		FACTOR COMBINADO TOPOGRAFICAS – UTM: <b>0.999335706004861</b>	
<p><b>CARACTERISTICAS DEL PUNTO GEODESICO:</b></p> <p>EL PUNTO GEODÉSICO SE HA ESTABLECIDO EN EL MARGEN IZQUIERDO DE LA CARRETERA <b>AYAVIRI – PURINA</b>, ESPECÍFICAMENTE AL <b>COSTADO DEL BM-0.5</b>, SE UBICÓ COMO REFERENCIA LA SEÑAL INFORMATIVA PARE CRUCE FERROCARRIL, SE HA MEDIDO LA REFERENCIA SOBRE EL FERROCARRIL <b>49.2M</b> DESDE LA ALTURA DE LA SEÑAL, LUEGO PERPENDICULARMENTE <b>7.05M</b> HACIA LA DERECHA.</p>			
<p>UBICACIÓN:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
DEPARTAMENTO: <b>PUNO</b>	PROVINCIA: <b>MELGAR</b>	DISTRITO: <b>AYAVIRI</b>	LUGAR: <b>AYAVIRI - PURINA</b> (CARRETERA)

<b>“ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS GEODÉSICOS PARA LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA”</b>			
<b>GEOREFERENCIACION</b>			
<b>CÓDIGO:</b> <b>AP-01</b>	<b>UBICACIÓN:</b> <b>2+250 (CARRETERA AYAVIRI-PURINA)</b>	<b>REFERENCIA:</b> CARTA NACIONAL 30U AYAVIRI – 30V AZANGARO JULIACA1:100000	
<b>LATITUD:</b> <b>14°52'21.102815"S</b> <b>(WGS-84)</b>	<b>LONGITUD:</b> <b>70°33'34.232276"W</b> <b>(WGS-84)</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL:</b> <b>3892.7846 m.s.n.m</b> <b>EGM2008</b>	<b>ALTITUD ELIPSOIDAL:</b> <b>3940.0038 m.s.n.m</b> <b>EGM2008</b>
<b>ESTE (WGS-84):</b> <b>332224.1206</b>	<b>NORTE (WGS-84):</b> <b>8355186.6737</b>	<b>ZONA:</b> <b>19 SUR</b>	<b>ORDEN:</b> <b>C</b>
<b>FACTOR COMBINADO UTM - TOPOGRAFICAS:</b> <b>1.000670306011</b>		<b>FACTOR COMBINADO TOPOGRAFICAS – UTM:</b> <b>0.999330142998647</b>	
<b>CARACTERISTICAS DE PUNTO GEODESICO:</b> EL PUNTO GEODÉSICO SE HA ESTABLECIDO EN EL <b>MARGEN IZQUIERDO DE LA CARRETERA AYAVIRI – PURINA</b> , ESPECÍFICAMENTE A LA ALTURA DE LA PROGRESIVA <b>2+250</b> , <b>DE LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA</b> , EL PUNTO SE ENCUENTRA MONUMENTADO CON CONCRETO Y SU PLACA DE BRONCE, DICHO PUNTO GEODÉSICO SE <b>ENCUENTRA A 22.00 METROS DESDE EL EJE DE LA VÍA.</b>			
<b>UBICACIÓN:</b>			
			
<b>DEPARTAMENTO:</b> <b>PUNO</b>	<b>PROVINCIA:</b> <b>MELGAR</b>	<b>DISTRITO:</b> <b>AYAVIRI</b>	<b>LUGAR:</b> <b>AYAVIRI - PURINA</b> <b>(CARRETERA)</b>

<b>“ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS GEODÉSICOS PARA LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA”</b>			
<b>GEOREFERENCIACION</b>			
<b>CÓDIGO:</b> <b>AP-03</b>	<b>UBICACIÓN:</b> <b>16+430 (CARRETERA AYAVIRI-PURINA)</b>	<b>REFERENCIA:</b> CARTA NACIONAL 30U AYAVIRI – 30V AZANGARO JULIACA1:100000	
<b>LATITUD:</b> <b>14°52'47.323320"S</b> <b>(WGS-84)</b>	<b>LONGITUD:</b> <b>70°26'09.258886"W</b> <b>(WGS-84)</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL:</b> <b>3970.3389 m.s.n.m</b> <b>EGM2008</b>	<b>ALTITUD ELIPSOIDAL:</b> <b>4017.9285 m.s.n.m</b> <b>EGM2008</b>
<b>ESTE (WGS-84):</b> <b>345529.4425</b>	<b>NORTE (WGS-84):</b> <b>8354470.1324</b>	<b>ZONA:</b> <b>19 SUR</b>	<b>ORDEN:</b> <b>C</b>
<b>FACTOR COMBINADO UTM - TOPOGRAFICAS:</b> <b>1.000735613366</b>		<b>FACTOR COMBINADO TOPOGRAFICAS – UTM:</b> <b>0.999264927363598</b>	
<b>CARACTERISTICAS DE PUNTO GEODESICO:</b>			
<p>EL PUNTO GEODÉSICO SE HA ESTABLECIDO EN EL <b>MARGEN IZQUIERDO DE LA CARRETERA AYAVIRI – PURINA</b>, ESPECÍFICAMENTE A LA ALTURA DE LA PROGRESIVA <b>16+430, (CERRO MUNAYPATA) DE LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA</b>, EL PUNTO SE ENCUENTRA MONUMENTADO CON CONCRETO CON SU PLACA DE BRONCE, DICHO PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA <b>A 36.65 METROS DESDE EL EJE DE LA VÍA.</b></p>			
<b>UBICACIÓN:</b>			
			
<b>DEPARTAMENTO:</b> <b>PUNO</b>	<b>PROVINCIA:</b> <b>MELGAR</b>	<b>DISTRITO:</b> <b>AYAVIRI</b>	<b>LUGAR:</b> <b>AYAVIRI - PURINA</b> <b>(CARRETERA)</b>

<b>“ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS GEODÉSICOS PARA LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA” GEOREFERENCIACION</b>			
<b>CÓDIGO:</b> <b>AP-04</b>	<b>UBICACIÓN:</b> <b>18+245 (CARRETERA AYAVIRI- PURINA)</b>	<b>REFERENCIA:</b> CARTA NACIONAL 30U AYAVIRI – 30V AZANGARO JULIACA1:100000	
<b>LATITUD:</b> <b>14°53'03.316893"S (WGS-84)</b>	<b>LONGITUD:</b> <b>70°25'12.368804"W (WGS-84)</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL:</b> <b>3924.3796 m.s.n.m.m EGM2008</b>	<b>ALTITUD ELIPSOIDAL:</b> <b>3971.9957 m.s.n.m.m EGM2008</b>
<b>ESTE (WGS-84):</b> <b>347232.8977</b>	<b>NORTE (WGS-84):</b> <b>8353989.5123</b>	<b>ZONA:</b> <b>19 SUR</b>	<b>ORDEN:</b> <b>C</b>
<b>FACTOR COMBINADO UTM - TOPOGRAFICAS:</b> <b>1.000734882008</b>		<b>FACTOR COMBINADO TOPOGRAFICAS – UTM:</b> <b>0.999265657646940</b>	
<p><b>CARACTERÍSTICAS DE PUNTO GEODESICO:</b>                      EL PUNTO GEODÉSICO SE HA ESTABLECIDO EN EL <b>MARGEN DERECHO DE LA CARRETERA AYAVIRI – PURINA</b>, ESPECÍFICAMENTE A LA ALTURA DE LA <b>PROGRESIVA 18+245</b>, DE LA CARRETERA AYAVIRI - PURINA, EL PUNTO SE ENCUENTRA MONUMENTADO CON CONCRETO CON SU PLACA DE BRONCE, DICHO PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA A <b>11.50 METROS DESDE EL EJE DE LA VÍA</b>.</p>			
<b>UBICACIÓN:</b>			
			
<b>DEPARTAMENTO:</b> <b>PUNO</b>	<b>PROVINCIA:</b> <b>MELGAR</b>	<b>DISTRITO:</b> <b>AYAVIRI</b>	<b>LUGAR:</b> <b>AYAVIRI - PURINA (CARRETERA)</b>

ANEXO C. RECOLECCION DE DATOS PARA LA POLIGONAL ABIERTA

Descripción	Vista Fotográfica
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconocimiento de campo para dar inicio y recolección de datos para la Investigación.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Inicio del levantamiento de la poligonal abierta en la estación de referencia, para posteriormente dar lectura a las distancias y ángulos y seguidamente el proceso en gabinete por el método de Mínimos Cuadrados.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Punto de Control inicial monumentado para la lectura de ángulos y distancias con el prisma de la Estación Total.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Personal de apoyo realizando el levantamiento de puntos de control con el prisma de la Estación Total para la medición de ángulos y distancias de la poligonal abierta.</li> </ul>	

ANEXO D

LIBRETA DE CAMPO DE MEDICIÓN DE ÁNGULOS PARA EL AJUSTE DE LA  
POLIGONAL ABIERTA DE LA CARRETERA AYAVIRI – PURINA

Punto		Angulo Horizontal (GMS)	Angulo Vertical (GMS)	Distancia Horizontal (m)
Del	Al			
B	A	00° 00' 00"	90° 26' 4.23"	0.000
B	2	160° 06' 55.81"	68° 27' 31.20"	41.523
2	B	00° 00' 00"	111° 32' 28.80"	41.523
2	1	343° 32' 40.84"	89° 36' 26.45"	541.879
2	3	163° 32' 40.84"	90° 31' 24.26"	908.593
3	2	00° 00' 00"	89° 28' 35.74"	908.593
3	C	179° 21' 24.84"	89° 29' 33.87"	798.468
C	3	00° 00' 00"	90° 30' 26.13"	798.468
C	5	207° 52' 28.11"	90° 0' 59.76"	421.100
5	4	00° 00' 00"	89° 59' 0.24"	421.100
5	6	189° 35' 44.82"	89° 46' 31.41"	722.424
6	5	00° 00' 00"	90° 13' 28.59"	722.424
6	7	183° 53' 12.28"	89° 9' 40.82"	631.966
7	6	00° 00' 00"	90° 50' 19.18"	631.966
7	8	176° 20' 55.10"	89° 16' 3.91"	359.787
8	7	00° 00' 00"	90° 43' 56.09"	359.787
8	9	183° 34' 33.84"	89° 14' 54.84"	350.601
9	8	00° 00' 00"	90° 45' 5.16"	350.601
9	10	177° 31' 41.21"	89° 33' 35.50"	503.398
10	9	00° 00' 00"	90° 26' 24.50"	503.398
10	11	194° 17' 14.77"	88° 19' 48.64"	502.166
11	10	00° 00' 00"	91° 40' 11.36"	502.166
11	12	173° 46' 29.77"	89° 52' 49.80"	913.385
12	11	00° 00' 00"	90° 7' 10.20"	913.385
12	13	174° 01' 41.53"	90° 20' 32.59"	447.475
13	12	00° 00' 00"	89° 39' 27.41"	447.475
13	14	166° 31' 32.03"	89° 28' 27.49"	84.469
14	13	00° 00' 00"	90° 31' 32.51"	84.469
14	15	187° 15' 19.54"	90° 48' 6.49"	266.049
15	14	00° 00' 00"	89° 11' 53.51"	266.049
15	16	185° 14' 20.68"	90° 35' 1.84"	513.749
16	15	00° 00' 00"	89° 24' 58.16"	513.749
16	17	177° 01' 25.84"	89° 23' 25.45"	300.020

17	16	00° 00' 00"	90° 36' 34.55"	300.020
17	18	185° 11' 29.77"	89° 45' 46.94"	665.421
18	17	00° 00' 00"	90° 14' 13.06"	665.421
18	E	181° 40' 31.86"	89° 44' 30.40"	386.084
D	18	00° 00' 00"	90° 15' 29.60"	386.084
D	19	165° 27' 35.41"	89° 52' 53.32"	807.784
D	E	175° 20' 47.50"	89° 38' 37.10"	0.000



ANEXO E. COORDENADAS PROMEDIADAS TOMADAS CON ESTACION  
TOTAL

Toma de Datos con Estación Total

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8353882.245	330393.762	
	8353882.250	330393.750	
	8353882.250	330393.757	
	8353882.253	330393.757	
Sumatoria	33415528.998	1321575.026	
Promedio	8353882.250	330393.757	1

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354168.840	330853.629	
	8354168.844	330853.629	
	8354168.845	330853.629	
	8354168.845	330853.629	
	8354168.849	330853.629	
Sumatoria	41770844.223	1654268.146	
Promedio	8354168.845	330853.629	2

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354706.712	331585.861	
	8354706.715	331585.865	
	8354706.714	331585.864	
	8354706.714	331585.864	
	8354706.713	331585.863	
	8354706.719	331585.866	
Sumatoria	50128240.29	1989515.183	
Promedio	8354706.715	331585.8638	3

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355186.432	332224.120	
	8355186.434	332224.123	
	8355186.433	332224.121	
	8355186.434	332224.122	
	8355186.432	332224.121	
	8355186.433	332224.120	
Sumatoria	50131118.5980	1993344.7270	
Promedio	8355186.433	332224.1212	4

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355253.037	332639.921	
	8355253.037	332639.920	
	8355253.039	332639.921	
	8355253.037	332639.920	
	8355253.036	332639.920	
	8355253.037	332639.920	
	8355253.038	332639.918	
	8355253.037	332639.919	
Sumatoria	66842024.3	2661119.359	
Promedio	8355253.037	332639.9199	5

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355246.385	333362.305	
	8355246.384	333362.306	
	8355246.383	333362.307	
	8355246.384	333362.307	
	8355246.384	333362.309	
Sumatoria	41776231.920	1666811.534	
Promedio	8355246.384	333362.3068	6

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355197.749	333992.331	
	8355197.747	333992.330	
	8355197.745	333992.329	
	8355197.746	333992.329	
Sumatoria	33420790.987	1335969.319	
Promedio	8355197.747	333992.3298	7

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355192.956	334352.055	
	8355192.955	334352.057	
	8355192.958	334352.054	
	8355192.956	334352.057	
	8355192.956	334352.055	
	8355192.953	334352.056	
Sumatoria	50131157.734	2006112.334	
Promedio	8355192.956	334352.0557	8

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355166.432	334701.621	
	8355166.430	334701.621	
	8355166.430	334701.622	
	8355166.432	334701.622	
	8355166.432	334701.622	
	8355166.434	334701.624	
Sumatoria	50130998.590	2008209.732	
<b>Promedio</b>	<b>8355166.432</b>	<b>334701.622</b>	<b>9</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355150.029	335204.739	
	8355150.031	335204.738	
	8355150.030	335204.737	
Sumatoria	25065450.090	1005614.214	
<b>Promedio</b>	<b>8355150.03</b>	<b>335204.738</b>	<b>10</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8355010.371	335686.870	
	8355010.374	335686.873	
	8355010.369	335686.872	
	8355010.371	335686.870	
Sumatoria	33420041.485	1342747.485	
<b>Promedio</b>	<b>8355010.371</b>	<b>335686.8713</b>	<b>11</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354852.868	336586.571	
	8354852.869	336586.572	
Sumatoria	16709705.737	673173.143	
<b>Promedio</b>	<b>8354852.869</b>	<b>336586.5715</b>	<b>12</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354821.983	337032.973	
	8354821.984	337032.972	
	8354821.982	337032.970	
	8354821.985	337032.972	
Sumatoria	33419287.93	1348131.887	
<b>Promedio</b>	<b>8354821.984</b>	<b>337032.9718</b>	<b>13</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354835.948	337116.276	
	8354835.951	337116.273	
	8354835.951	337116.276	
	8354835.945	337116.275	
	8354835.951	337116.275	
Sumatoria	41774179.75	1685581.375	
<b>Promedio</b>	<b>8354835.949</b>	<b>337116.275</b>	<b>14</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354846.443	337382.091	
	8354846.444	337382.09	
	8354846.446	337382.087	
	8354846.445	337382.091	
	8354846.445	337382.094	
	8354846.445	337382.093	
Sumatoria	50129078.67	2024292.546	
<b>Promedio</b>	<b>8354846.445</b>	<b>337382.091</b>	<b>15</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354819.759	337895.118	
	8354819.755	337895.119	
	8354819.758	337895.119	
	8354819.759	337895.119	
	8354819.755	337895.122	
Sumatoria	41774098.79	1689475.597	
<b>Promedio</b>	<b>8354819.757</b>	<b>337895.1194</b>	<b>16</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354819.748	338195.122	
	8354819.748	338195.122	
	8354819.747	338195.123	
	8354819.747	338195.123	
	8354819.748	338195.121	
Sumatoria	41774098.74	1690975.611	
<b>Promedio</b>	<b>8354819.748</b>	<b>338195.1222</b>	<b>17</b>

Coordenada	Norte	Este	Punto
	8354759.517	338857.805	
	8354759.516	338857.805	
	8354759.517	338857.804	
	8354759.517	338857.805	
Sumatoria	33419038.07	1355431.219	
<b>Promedio</b>	<b>8354759.517</b>	<b>338857.8048</b>	<b>18</b>

ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON SSPS

DESCRIPTIVOS

COORDENADA NORTE

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
2	5	,081460	,1075519	,0480987	-,052083	,215003	,0031	,2278
3	5	,114680	,0485012	,0216904	,054458	,174902	,0294	,1514
5	5	,001160	,0007403	,0003311	,000241	,002079	,0001	,0021
6	5	,002480	,0015611	,0006981	,000542	,004418	,0012	,0046
7	5	,004040	,0018474	,0008262	,001746	,006334	,0020	,0065
8	5	,004280	,0022709	,0010156	,001460	,007100	,0015	,0074
9	5	,005280	,0024150	,0010800	,002281	,008279	,0021	,0085
10	5	,005560	,0031198	,0013952	,001686	,009434	,0011	,0096
11	5	,010480	,0007190	,0003216	,009587	,011373	,0096	,0113
12	5	,015820	,0017669	,0007902	,013626	,018014	,0130	,0176
13	5	,016700	,0013565	,0006066	,015016	,018384	,0146	,0181
14	5	,016920	,0009257	,0004140	,015771	,018069	,0158	,0180
15	5	,017300	,0012288	,0005495	,015774	,018826	,0153	,0184
16	5	,017440	,0008735	,0003906	,016355	,018525	,0160	,0182
17	5	,017460	,0008325	,0003723	,016426	,018494	,0161	,0182
18	5	,019360	,0005683	,0002542	,018654	,020066	,0184	,0199
Total	80	,021901	,0402422	,0044992	,012946	,030857	,0001	,2278

Prueba de homogeneidad de varianzas

COORDENADA NORTE

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
24,566	15	64	,000

ANOVA

COORDENADA NORTE

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,072	15	,005	5,511	5,5778E-7
Dentro de grupos	,056	64	,001		
Total	,128	79			

**Pruebas robustas de igualdad de medias**

COORDENADA NORTE

	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	141,824	15	24,068	,000

a. F distribuida de forma asintótica

**Pruebas Post Hoc**

COMPARACIONES MÚLTIPLES							
Variable dependiente: COORDENADA NORTE							
	(I) PIS	(J) PIS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	2	3	-,0332200	,0186792	,915	-,099821	,033381
		5	,0803000*	,0186792	,005	,013699	,146901
		6	,0789800*	,0186792	,007	,012379	,145581
		7	,0774200*	,0186792	,009	,010819	,144021
		8	,0771800*	,0186792	,009	,010579	,143781
		9	,0761800*	,0186792	,011	,009579	,142781
		10	,0759000*	,0186792	,012	,009299	,142501
		11	,0709800*	,0186792	,026	,004379	,137581
		12	,0656400	,0186792	,057	-,000961	,132241
		13	,0647600	,0186792	,065	-,001841	,131361
		14	,0645400	,0186792	,067	-,002061	,131141
		15	,0641600	,0186792	,071	-,002441	,130761
		16	,0640200	,0186792	,072	-,002581	,130621
		17	,0640000	,0186792	,072	-,002601	,130601
		18	,0621000	,0186792	,094	-,004501	,128701
			3	2	,0332200	,0186792	,915
5	,1135200*			,0186792	,000	,046919	,180121
6	,1122000*			,0186792	,000	,045599	,178801
7	,1106400*			,0186792	,000	,044039	,177241
8	,1104000*			,0186792	,000	,043799	,177001
9	,1094000*			,0186792	,000	,042799	,176001
10	,1091200*			,0186792	,000	,042519	,175721
11	,1042000*			,0186792	,000	,037599	,170801
12	,0988600*			,0186792	,000	,032259	,165461
13	,0979800*			,0186792	,000	,031379	,164581
14	,0977600*			,0186792	,000	,031159	,164361
15	,0973800*			,0186792	,000	,030779	,163981
16	,0972400*			,0186792	,000	,030639	,163841

5	17	,0972200*	,0186792	,000	,030619	,163821	
	18	,0953200*	,0186792	,000	,028719	,161921	
	2	-,0803000*	,0186792	,005	-,146901	-,013699	
	3	-,1135200*	,0186792	,000	-,180121	-,046919	
	6	-,0013200	,0186792	1,000	-,067921	,065281	
	7	-,0028800	,0186792	1,000	-,069481	,063721	
	8	-,0031200	,0186792	1,000	-,069721	,063481	
	9	-,0041200	,0186792	1,000	-,070721	,062481	
	10	-,0044000	,0186792	1,000	-,071001	,062201	
	11	-,0093200	,0186792	1,000	-,075921	,057281	
	12	-,0146600	,0186792	1,000	-,081261	,051941	
	13	-,0155400	,0186792	1,000	-,082141	,051061	
	14	-,0157600	,0186792	1,000	-,082361	,050841	
	15	-,0161400	,0186792	1,000	-,082741	,050461	
	16	-,0162800	,0186792	1,000	-,082881	,050321	
	17	-,0163000	,0186792	1,000	-,082901	,050301	
	18	-,0182000	,0186792	1,000	-,084801	,048401	
	6	2	-,0789800*	,0186792	,007	-,145581	-,012379
3		-,1122000*	,0186792	,000	-,178801	-,045599	
5		,0013200	,0186792	1,000	-,065281	,067921	
7		-,0015600	,0186792	1,000	-,068161	,065041	
8		-,0018000	,0186792	1,000	-,068401	,064801	
9		-,0028000	,0186792	1,000	-,069401	,063801	
10		-,0030800	,0186792	1,000	-,069681	,063521	
11		-,0080000	,0186792	1,000	-,074601	,058601	
12		-,0133400	,0186792	1,000	-,079941	,053261	
13		-,0142200	,0186792	1,000	-,080821	,052381	
14		-,0144400	,0186792	1,000	-,081041	,052161	
15		-,0148200	,0186792	1,000	-,081421	,051781	
16		-,0149600	,0186792	1,000	-,081561	,051641	
17		-,0149800	,0186792	1,000	-,081581	,051621	
18		-,0168800	,0186792	1,000	-,083481	,049721	
7		2	-,0774200*	,0186792	,009	-,144021	-,010819
		3	-,1106400*	,0186792	,000	-,177241	-,044039
		5	,0028800	,0186792	1,000	-,063721	,069481
	6	,0015600	,0186792	1,000	-,065041	,068161	
	8	-,0002400	,0186792	1,000	-,066841	,066361	
	9	-,0012400	,0186792	1,000	-,067841	,065361	
	10	-,0015200	,0186792	1,000	-,068121	,065081	
	11	-,0064400	,0186792	1,000	-,073041	,060161	
	12	-,0117800	,0186792	1,000	-,078381	,054821	
	13	-,0126600	,0186792	1,000	-,079261	,053941	

		14	-,0128800	,0186792	1,000	-,079481	,053721
		15	-,0132600	,0186792	1,000	-,079861	,053341
		16	-,0134000	,0186792	1,000	-,080001	,053201
		17	-,0134200	,0186792	1,000	-,080021	,053181
		18	-,0153200	,0186792	1,000	-,081921	,051281
	8	2	-,0771800*	,0186792	,009	-,143781	-,010579
		3	-,1104000*	,0186792	,000	-,177001	-,043799
		5	,0031200	,0186792	1,000	-,063481	,069721
		6	,0018000	,0186792	1,000	-,064801	,068401
		7	,0002400	,0186792	1,000	-,066361	,066841
		9	-,0010000	,0186792	1,000	-,067601	,065601
		10	-,0012800	,0186792	1,000	-,067881	,065321
		11	-,0062000	,0186792	1,000	-,072801	,060401
		12	-,0115400	,0186792	1,000	-,078141	,055061
		13	-,0124200	,0186792	1,000	-,079021	,054181
		14	-,0126400	,0186792	1,000	-,079241	,053961
		15	-,0130200	,0186792	1,000	-,079621	,053581
		16	-,0131600	,0186792	1,000	-,079761	,053441
		17	-,0131800	,0186792	1,000	-,079781	,053421
		18	-,0150800	,0186792	1,000	-,081681	,051521
	9	2	-,0761800*	,0186792	,011	-,142781	-,009579
		3	-,1094000*	,0186792	,000	-,176001	-,042799
		5	,0041200	,0186792	1,000	-,062481	,070721
		6	,0028000	,0186792	1,000	-,063801	,069401
		7	,0012400	,0186792	1,000	-,065361	,067841
		8	,0010000	,0186792	1,000	-,065601	,067601
		10	-,0002800	,0186792	1,000	-,066881	,066321
		11	-,0052000	,0186792	1,000	-,071801	,061401
		12	-,0105400	,0186792	1,000	-,077141	,056061
		13	-,0114200	,0186792	1,000	-,078021	,055181
		14	-,0116400	,0186792	1,000	-,078241	,054961
		15	-,0120200	,0186792	1,000	-,078621	,054581
		16	-,0121600	,0186792	1,000	-,078761	,054441
		17	-,0121800	,0186792	1,000	-,078781	,054421
		18	-,0140800	,0186792	1,000	-,080681	,052521
	10	2	-,0759000*	,0186792	,012	-,142501	-,009299
		3	-,1091200*	,0186792	,000	-,175721	-,042519
		5	,0044000	,0186792	1,000	-,062201	,071001
		6	,0030800	,0186792	1,000	-,063521	,069681
		7	,0015200	,0186792	1,000	-,065081	,068121
		8	,0012800	,0186792	1,000	-,065321	,067881

		9	,0002800	,0186792	1,000	-,066321	,066881
		11	-,0049200	,0186792	1,000	-,071521	,061681
		12	-,0102600	,0186792	1,000	-,076861	,056341
		13	-,0111400	,0186792	1,000	-,077741	,055461
		14	-,0113600	,0186792	1,000	-,077961	,055241
		15	-,0117400	,0186792	1,000	-,078341	,054861
		16	-,0118800	,0186792	1,000	-,078481	,054721
		17	-,0119000	,0186792	1,000	-,078501	,054701
		18	-,0138000	,0186792	1,000	-,080401	,052801
	11	2	-,0709800*	,0186792	,026	-,137581	-,004379
		3	-,1042000*	,0186792	,000	-,170801	-,037599
		5	,0093200	,0186792	1,000	-,057281	,075921
		6	,0080000	,0186792	1,000	-,058601	,074601
		7	,0064400	,0186792	1,000	-,060161	,073041
		8	,0062000	,0186792	1,000	-,060401	,072801
		9	,0052000	,0186792	1,000	-,061401	,071801
		10	,0049200	,0186792	1,000	-,061681	,071521
		12	-,0053400	,0186792	1,000	-,071941	,061261
		13	-,0062200	,0186792	1,000	-,072821	,060381
		14	-,0064400	,0186792	1,000	-,073041	,060161
		15	-,0068200	,0186792	1,000	-,073421	,059781
		16	-,0069600	,0186792	1,000	-,073561	,059641
		17	-,0069800	,0186792	1,000	-,073581	,059621
		18	-,0088800	,0186792	1,000	-,075481	,057721
	12	2	-,0656400	,0186792	,057	-,132241	,000961
		3	-,0988600*	,0186792	,000	-,165461	-,032259
		5	,0146600	,0186792	1,000	-,051941	,081261
		6	,0133400	,0186792	1,000	-,053261	,079941
		7	,0117800	,0186792	1,000	-,054821	,078381
		8	,0115400	,0186792	1,000	-,055061	,078141
		9	,0105400	,0186792	1,000	-,056061	,077141
		10	,0102600	,0186792	1,000	-,056341	,076861
		11	,0053400	,0186792	1,000	-,061261	,071941
		13	-,0008800	,0186792	1,000	-,067481	,065721
		14	-,0011000	,0186792	1,000	-,067701	,065501
		15	-,0014800	,0186792	1,000	-,068081	,065121
		16	-,0016200	,0186792	1,000	-,068221	,064981
		17	-,0016400	,0186792	1,000	-,068241	,064961
		18	-,0035400	,0186792	1,000	-,070141	,063061
	13	2	-,0647600	,0186792	,065	-,131361	,001841
		3	-,0979800*	,0186792	,000	-,164581	-,031379

		5	,0155400	,0186792	1,000	-,051061	,082141
		6	,0142200	,0186792	1,000	-,052381	,080821
		7	,0126600	,0186792	1,000	-,053941	,079261
		8	,0124200	,0186792	1,000	-,054181	,079021
		9	,0114200	,0186792	1,000	-,055181	,078021
		10	,0111400	,0186792	1,000	-,055461	,077741
		11	,0062200	,0186792	1,000	-,060381	,072821
		12	,0008800	,0186792	1,000	-,065721	,067481
		14	-,0002200	,0186792	1,000	-,066821	,066381
		15	-,0006000	,0186792	1,000	-,067201	,066001
		16	-,0007400	,0186792	1,000	-,067341	,065861
		17	-,0007600	,0186792	1,000	-,067361	,065841
		18	-,0026600	,0186792	1,000	-,069261	,063941
14		2	-,0645400	,0186792	,067	-,131141	,002061
		3	-,0977600*	,0186792	,000	-,164361	-,031159
		5	,0157600	,0186792	1,000	-,050841	,082361
		6	,0144400	,0186792	1,000	-,052161	,081041
		7	,0128800	,0186792	1,000	-,053721	,079481
		8	,0126400	,0186792	1,000	-,053961	,079241
		9	,0116400	,0186792	1,000	-,054961	,078241
		10	,0113600	,0186792	1,000	-,055241	,077961
		11	,0064400	,0186792	1,000	-,060161	,073041
		12	,0011000	,0186792	1,000	-,065501	,067701
		13	,0002200	,0186792	1,000	-,066381	,066821
		15	-,0003800	,0186792	1,000	-,066981	,066221
		16	-,0005200	,0186792	1,000	-,067121	,066081
		17	-,0005400	,0186792	1,000	-,067141	,066061
		18	-,0024400	,0186792	1,000	-,069041	,064161
15		2	-,0641600	,0186792	,071	-,130761	,002441
		3	-,0973800*	,0186792	,000	-,163981	-,030779
		5	,0161400	,0186792	1,000	-,050461	,082741
		6	,0148200	,0186792	1,000	-,051781	,081421
		7	,0132600	,0186792	1,000	-,053341	,079861
		8	,0130200	,0186792	1,000	-,053581	,079621
		9	,0120200	,0186792	1,000	-,054581	,078621
		10	,0117400	,0186792	1,000	-,054861	,078341
		11	,0068200	,0186792	1,000	-,059781	,073421
		12	,0014800	,0186792	1,000	-,065121	,068081
		13	,0006000	,0186792	1,000	-,066001	,067201
		14	,0003800	,0186792	1,000	-,066221	,066981
		16	-,0001400	,0186792	1,000	-,066741	,066461
		17	-,0001600	,0186792	1,000	-,066761	,066441

16	18	-,0020600	,0186792	1,000	-,068661	,064541	
	2	-,0640200	,0186792	,072	-,130621	,002581	
	3	-,0972400*	,0186792	,000	-,163841	-,030639	
	5	,0162800	,0186792	1,000	-,050321	,082881	
	6	,0149600	,0186792	1,000	-,051641	,081561	
	7	,0134000	,0186792	1,000	-,053201	,080001	
	8	,0131600	,0186792	1,000	-,053441	,079761	
	9	,0121600	,0186792	1,000	-,054441	,078761	
	10	,0118800	,0186792	1,000	-,054721	,078481	
	11	,0069600	,0186792	1,000	-,059641	,073561	
	12	,0016200	,0186792	1,000	-,064981	,068221	
	13	,0007400	,0186792	1,000	-,065861	,067341	
	14	,0005200	,0186792	1,000	-,066081	,067121	
	15	,0001400	,0186792	1,000	-,066461	,066741	
	17	17	-,0000200	,0186792	1,000	-,066621	,066581
	18	18	-,0019200	,0186792	1,000	-,068521	,064681
	17	2	-,0640000	,0186792	,072	-,130601	,002601
		3	-,0972200*	,0186792	,000	-,163821	-,030619
5		,0163000	,0186792	1,000	-,050301	,082901	
6		,0149800	,0186792	1,000	-,051621	,081581	
7		,0134200	,0186792	1,000	-,053181	,080021	
18		8	,0131800	,0186792	1,000	-,053421	,079781
		9	,0121800	,0186792	1,000	-,054421	,078781
		10	,0119000	,0186792	1,000	-,054701	,078501
		11	,0069800	,0186792	1,000	-,059621	,073581
		12	,0016400	,0186792	1,000	-,064961	,068241
		13	,0007600	,0186792	1,000	-,065841	,067361
		14	,0005400	,0186792	1,000	-,066061	,067141
		15	,0001600	,0186792	1,000	-,066441	,066761
		16	,0000200	,0186792	1,000	-,066581	,066621
		18	18	-,0019000	,0186792	1,000	-,068501
18		2	-,0621000	,0186792	,094	-,128701	,004501
		3	-,0953200*	,0186792	,000	-,161921	-,028719
		5	,0182000	,0186792	1,000	-,048401	,084801
	6	,0168800	,0186792	1,000	-,049721	,083481	
	7	,0153200	,0186792	1,000	-,051281	,081921	
	8	,0150800	,0186792	1,000	-,051521	,081681	
	9	,0140800	,0186792	1,000	-,052521	,080681	
	10	,0138000	,0186792	1,000	-,052801	,080401	
	11	,0088800	,0186792	1,000	-,057721	,075481	
	12	,0035400	,0186792	1,000	-,063061	,070141	

	13	,0026600	,0186792	1,000	-,063941	,069261
	14	,0024400	,0186792	1,000	-,064161	,069041
	15	,0020600	,0186792	1,000	-,064541	,068661
	16	,0019200	,0186792	1,000	-,064681	,068521
	17	,0019000	,0186792	1,000	-,064701	,068501

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Subconjuntos homogéneos**

**COORDENADA NORTE**

	PIS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
			HSD Tukey <sup>a</sup>	5	5
	6	5	,002480		
	7	5	,004040		
	8	5	,004280		
	9	5	,005280		
	10	5	,005560		
	11	5	,010480		
	12	5	,015820	,015820	
	13	5	,016700	,016700	
	14	5	,016920	,016920	
	15	5	,017300	,017300	
	16	5	,017440	,017440	
	17	5	,017460	,017460	
	18	5	,019360	,019360	
	2	5		,081460	,081460
	3	5			,114680
	Sig.		1,000	,057	,915
Duncan <sup>a</sup>	5	5	,001160		
	6	5	,002480		
	7	5	,004040		
	8	5	,004280		
	9	5	,005280		
	10	5	,005560		
	11	5	,010480		
	12	5	,015820		
	13	5	,016700		
	14	5	,016920		

15	5	,017300		
16	5	,017440		
17	5	,017460		
18	5	,019360		
2	5		,081460	
3	5		,114680	
Sig.		,428	,080	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

**DESCRIPTIVOS**

**COORDENADA ESTE**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
2	5	,2189400	,30489407	,13635277	-,1596360	,5975160	,00010	,63100
3	5	,1541400	,23279222	,10410785	-,1349097	,4431897	,00040	,52580
5	5	,0084600	,00307376	,00137463	,0046434	,0122766	,00380	,01060
6	5	,0213800	,01143709	,00511482	,0071790	,0355810	,00230	,02860
7	5	,0371800	,01156620	,00517256	,0228187	,0515413	,01770	,04440
8	5	,0459600	,01149404	,00514029	,0316883	,0602317	,02700	,05340
9	5	,0559600	,00893941	,00399782	,0448603	,0670597	,04200	,06210
10	5	,0679400	,00978994	,00437820	,0557842	,0800958	,05270	,07470
11	5	,0854600	,00185149	,00082801	,0831611	,0877589	,08240	,08670
12	5	,1092200	,00112116	,00050140	,1078279	,1106121	,10850	,11120
13	5	,1209600	,00141174	,00063135	,1192071	,1227129	,11980	,12260
14	5	,1207200	,00345717	,00154609	,1164274	,1250126	,11460	,12310
15	5	,1264000	,00437721	,00195755	,1209650	,1318350	,11860	,12870
16	5	,1392200	,00429325	,00192000	,1338892	,1445508	,13160	,14150
17	5	,1465400	,00410159	,00183428	,1414472	,1516328	,13950	,14900
18	5	,1634000	,00413219	,00184797	,1582692	,1685308	,15610	,16560
<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>,1013675</b>	<b>,10351057</b>	<b>,01157283</b>	<b>,0783324</b>	<b>,1244026</b>	<b>,00010</b>	<b>,63100</b>

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

**COORDENADA ESTE**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
24,269	15	64	,000

**ANOVA**

**COORDENADA ESTE**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,255	15	,017	1,841	,048
Dentro de grupos	,591	64	,009		
Total	,846	79			

**Pruebas robustas de igualdad de medias**

**COORDENADA ESTE**

	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	432,481	15	23,879	,000

a. F distribuida de forma asintótica

**Pruebas Post Hoc**

**COMPARACIONES MÚLTIPLES**

Variable dependiente: COORDESTE

	(I) PIS	(J) PIS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
						HSD Tukey	2
		5	,21048000	,06079158	,066	-,0062739	,4272339
		6	,19756000	,06079158	,113	-,0191939	,4143139
		7	,18176000	,06079158	,203	-,0349939	,3985139
		8	,17298000	,06079158	,271	-,0437739	,3897339
		9	,16298000	,06079158	,365	-,0537739	,3797339
		10	,15100000	,06079158	,496	-,0657539	,3677539
		11	,13348000	,06079158	,697	-,0832739	,3502339
		12	,10972000	,06079158	,906	-,1070339	,3264739
		13	,09798000	,06079158	,960	-,1187739	,3147339
		14	,09822000	,06079158	,959	-,1185339	,3149739
		15	,09254000	,06079158	,976	-,1242139	,3092939
		16	,07972000	,06079158	,994	-,1370339	,2964739
		17	,07240000	,06079158	,998	-,1443539	,2891539
		18	,05554000	,06079158	1,000	-,1612139	,2722939
	3	2	-,06480000	,06079158	,999	-,2815539	,1519539
		5	,14568000	,06079158	,557	-,0710739	,3624339
		6	,13276000	,06079158	,704	-,0839939	,3495139
		7	,11696000	,06079158	,855	-,0997939	,3337139

		8	,10818000	,06079158	,915	-,1085739	,3249339
		9	,09818000	,06079158	,960	-,1185739	,3149339
		10	,08620000	,06079158	,987	-,1305539	,3029539
		11	,06868000	,06079158	,999	-,1480739	,2854339
		12	,04492000	,06079158	1,000	-,1718339	,2616739
		13	,03318000	,06079158	1,000	-,1835739	,2499339
		14	,03342000	,06079158	1,000	-,1833339	,2501739
		15	,02774000	,06079158	1,000	-,1890139	,2444939
		16	,01492000	,06079158	1,000	-,2018339	,2316739
		17	,00760000	,06079158	1,000	-,2091539	,2243539
		18	-,00926000	,06079158	1,000	-,2260139	,2074939
5		2	-,21048000	,06079158	,066	-,4272339	,0062739
		3	-,14568000	,06079158	,557	-,3624339	,0710739
		6	-,01292000	,06079158	1,000	-,2296739	,2038339
		7	-,02872000	,06079158	1,000	-,2454739	,1880339
		8	-,03750000	,06079158	1,000	-,2542539	,1792539
		9	-,04750000	,06079158	1,000	-,2642539	,1692539
		10	-,05948000	,06079158	1,000	-,2762339	,1572739
		11	-,07700000	,06079158	,996	-,2937539	,1397539
		12	-,10076000	,06079158	,950	-,3175139	,1159939
		13	-,11250000	,06079158	,888	-,3292539	,1042539
		14	-,11226000	,06079158	,889	-,3290139	,1044939
		15	-,11794000	,06079158	,847	-,3346939	,0988139
		16	-,13076000	,06079158	,726	-,3475139	,0859939
		17	-,13808000	,06079158	,645	-,3548339	,0786739
		18	-,15494000	,06079158	,451	-,3716939	,0618139
6		2	-,19756000	,06079158	,113	-,4143139	,0191939
		3	-,13276000	,06079158	,704	-,3495139	,0839939
		5	,01292000	,06079158	1,000	-,2038339	,2296739
		7	-,01580000	,06079158	1,000	-,2325539	,2009539
		8	-,02458000	,06079158	1,000	-,2413339	,1921739
		9	-,03458000	,06079158	1,000	-,2513339	,1821739
		10	-,04656000	,06079158	1,000	-,2633139	,1701939
		11	-,06408000	,06079158	,999	-,2808339	,1526739
		12	-,08784000	,06079158	,985	-,3045939	,1289139
		13	-,09958000	,06079158	,955	-,3163339	,1171739
		14	-,09934000	,06079158	,956	-,3160939	,1174139
		15	-,10502000	,06079158	,931	-,3217739	,1117339
		16	-,11784000	,06079158	,848	-,3345939	,0989139
		17	-,12516000	,06079158	,783	-,3419139	,0915939
		18	-,14202000	,06079158	,600	-,3587739	,0747339
7		2	-,18176000	,06079158	,203	-,3985139	,0349939
		3	-,11696000	,06079158	,855	-,3337139	,0997939

		5	,02872000	,06079158	1,000	-,1880339	,2454739
		6	,01580000	,06079158	1,000	-,2009539	,2325539
		8	-,00878000	,06079158	1,000	-,2255339	,2079739
		9	-,01878000	,06079158	1,000	-,2355339	,1979739
		10	-,03076000	,06079158	1,000	-,2475139	,1859939
		11	-,04828000	,06079158	1,000	-,2650339	,1684739
		12	-,07204000	,06079158	,998	-,2887939	,1447139
		13	-,08378000	,06079158	,990	-,3005339	,1329739
		14	-,08354000	,06079158	,991	-,3002939	,1332139
		15	-,08922000	,06079158	,982	-,3059739	,1275339
		16	-,10204000	,06079158	,945	-,3187939	,1147139
		17	-,10936000	,06079158	,908	-,3261139	,1073939
		18	-,12622000	,06079158	,772	-,3429739	,0905339
	8	2	-,17298000	,06079158	,271	-,3897339	,0437739
		3	-,10818000	,06079158	,915	-,3249339	,1085739
		5	,03750000	,06079158	1,000	-,1792539	,2542539
		6	,02458000	,06079158	1,000	-,1921739	,2413339
		7	,00878000	,06079158	1,000	-,2079739	,2255339
		9	-,01000000	,06079158	1,000	-,2267539	,2067539
		10	-,02198000	,06079158	1,000	-,2387339	,1947739
		11	-,03950000	,06079158	1,000	-,2562539	,1772539
		12	-,06326000	,06079158	1,000	-,2800139	,1534939
		13	-,07500000	,06079158	,997	-,2917539	,1417539
		14	-,07476000	,06079158	,997	-,2915139	,1419939
		15	-,08044000	,06079158	,993	-,2971939	,1363139
		16	-,09326000	,06079158	,974	-,3100139	,1234939
		17	-,10058000	,06079158	,951	-,3173339	,1161739
		18	-,11744000	,06079158	,851	-,3341939	,0993139
	9	2	-,16298000	,06079158	,365	-,3797339	,0537739
		3	-,09818000	,06079158	,960	-,3149339	,1185739
		5	,04750000	,06079158	1,000	-,1692539	,2642539
		6	,03458000	,06079158	1,000	-,1821739	,2513339
		7	,01878000	,06079158	1,000	-,1979739	,2355339
		8	,01000000	,06079158	1,000	-,2067539	,2267539
		10	-,01198000	,06079158	1,000	-,2287339	,2047739
		11	-,02950000	,06079158	1,000	-,2462539	,1872539
		12	-,05326000	,06079158	1,000	-,2700139	,1634939
		13	-,06500000	,06079158	,999	-,2817539	,1517539
		14	-,06476000	,06079158	,999	-,2815139	,1519939
		15	-,07044000	,06079158	,998	-,2871939	,1463139
		16	-,08326000	,06079158	,991	-,3000139	,1334939
		17	-,09058000	,06079158	,980	-,3073339	,1261739
		18	-,10744000	,06079158	,919	-,3241939	,1093139

10	2	-,15100000	,06079158	,496	-,3677539	,0657539	
	3	-,08620000	,06079158	,987	-,3029539	,1305539	
	5	,05948000	,06079158	1,000	-,1572739	,2762339	
	6	,04656000	,06079158	1,000	-,1701939	,2633139	
	7	,03076000	,06079158	1,000	-,1859939	,2475139	
	8	,02198000	,06079158	1,000	-,1947739	,2387339	
	9	,01198000	,06079158	1,000	-,2047739	,2287339	
	11	-,01752000	,06079158	1,000	-,2342739	,1992339	
	12	-,04128000	,06079158	1,000	-,2580339	,1754739	
	13	-,05302000	,06079158	1,000	-,2697739	,1637339	
	14	-,05278000	,06079158	1,000	-,2695339	,1639739	
	15	-,05846000	,06079158	1,000	-,2752139	,1582939	
	16	-,07128000	,06079158	,998	-,2880339	,1454739	
	17	-,07860000	,06079158	,995	-,2953539	,1381539	
	18	-,09546000	,06079158	,968	-,3122139	,1212939	
	11	2	-,13348000	,06079158	,697	-,3502339	,0832739
		3	-,06868000	,06079158	,999	-,2854339	,1480739
		5	,07700000	,06079158	,996	-,1397539	,2937539
6		,06408000	,06079158	,999	-,1526739	,2808339	
7		,04828000	,06079158	1,000	-,1684739	,2650339	
8		,03950000	,06079158	1,000	-,1772539	,2562539	
9		,02950000	,06079158	1,000	-,1872539	,2462539	
10		,01752000	,06079158	1,000	-,1992339	,2342739	
12		-,02376000	,06079158	1,000	-,2405139	,1929939	
13		-,03550000	,06079158	1,000	-,2522539	,1812539	
14		-,03526000	,06079158	1,000	-,2520139	,1814939	
15		-,04094000	,06079158	1,000	-,2576939	,1758139	
16		-,05376000	,06079158	1,000	-,2705139	,1629939	
17		-,06108000	,06079158	1,000	-,2778339	,1556739	
18		-,07794000	,06079158	,995	-,2946939	,1388139	
12		2	-,10972000	,06079158	,906	-,3264739	,1070339
		3	-,04492000	,06079158	1,000	-,2616739	,1718339
		5	,10076000	,06079158	,950	-,1159939	,3175139
	6	,08784000	,06079158	,985	-,1289139	,3045939	
	7	,07204000	,06079158	,998	-,1447139	,2887939	
	8	,06326000	,06079158	1,000	-,1534939	,2800139	
	9	,05326000	,06079158	1,000	-,1634939	,2700139	
	10	,04128000	,06079158	1,000	-,1754739	,2580339	
	11	,02376000	,06079158	1,000	-,1929939	,2405139	
	13	-,01174000	,06079158	1,000	-,2284939	,2050139	
	14	-,01150000	,06079158	1,000	-,2282539	,2052539	
	15	-,01718000	,06079158	1,000	-,2339339	,1995739	
	16	-,03000000	,06079158	1,000	-,2467539	,1867539	

13	17	-,03732000	,06079158	1,000	-,2540739	,1794339	
	18	-,05418000	,06079158	1,000	-,2709339	,1625739	
	2	-,09798000	,06079158	,960	-,3147339	,1187739	
	3	-,03318000	,06079158	1,000	-,2499339	,1835739	
	5	,11250000	,06079158	,888	-,1042539	,3292539	
	6	,09958000	,06079158	,955	-,1171739	,3163339	
	7	,08378000	,06079158	,990	-,1329739	,3005339	
	8	,07500000	,06079158	,997	-,1417539	,2917539	
	9	,06500000	,06079158	,999	-,1517539	,2817539	
	10	,05302000	,06079158	1,000	-,1637339	,2697739	
	11	,03550000	,06079158	1,000	-,1812539	,2522539	
	12	,01174000	,06079158	1,000	-,2050139	,2284939	
	14	,00024000	,06079158	1,000	-,2165139	,2169939	
	15	-,00544000	,06079158	1,000	-,2221939	,2113139	
	16	-,01826000	,06079158	1,000	-,2350139	,1984939	
	17	-,02558000	,06079158	1,000	-,2423339	,1911739	
	18	-,04244000	,06079158	1,000	-,2591939	,1743139	
	14	2	-,09822000	,06079158	,959	-,3149739	,1185339
3		-,03342000	,06079158	1,000	-,2501739	,1833339	
5		,11226000	,06079158	,889	-,1044939	,3290139	
6		,09934000	,06079158	,956	-,1174139	,3160939	
7		,08354000	,06079158	,991	-,1332139	,3002939	
8		,07476000	,06079158	,997	-,1419939	,2915139	
9		,06476000	,06079158	,999	-,1519939	,2815139	
10		,05278000	,06079158	1,000	-,1639739	,2695339	
11		,03526000	,06079158	1,000	-,1814939	,2520139	
12		,01150000	,06079158	1,000	-,2052539	,2282539	
13		-,00024000	,06079158	1,000	-,2169939	,2165139	
15		-,00568000	,06079158	1,000	-,2224339	,2110739	
16		-,01850000	,06079158	1,000	-,2352539	,1982539	
17		-,02582000	,06079158	1,000	-,2425739	,1909339	
18		-,04268000	,06079158	1,000	-,2594339	,1740739	
15		2	-,09254000	,06079158	,976	-,3092939	,1242139
		3	-,02774000	,06079158	1,000	-,2444939	,1890139
		5	,11794000	,06079158	,847	-,0988139	,3346939
	6	,10502000	,06079158	,931	-,1117339	,3217739	
	7	,08922000	,06079158	,982	-,1275339	,3059739	
	8	,08044000	,06079158	,993	-,1363139	,2971939	
	9	,07044000	,06079158	,998	-,1463139	,2871939	
	10	,05846000	,06079158	1,000	-,1582939	,2752139	
	11	,04094000	,06079158	1,000	-,1758139	,2576939	
	12	,01718000	,06079158	1,000	-,1995739	,2339339	
	13	,00544000	,06079158	1,000	-,2113139	,2221939	

		14	,00568000	,06079158	1,000	-,2110739	,2224339
		16	-,01282000	,06079158	1,000	-,2295739	,2039339
		17	-,02014000	,06079158	1,000	-,2368939	,1966139
		18	-,03700000	,06079158	1,000	-,2537539	,1797539
	16	2	-,07972000	,06079158	,994	-,2964739	,1370339
		3	-,01492000	,06079158	1,000	-,2316739	,2018339
		5	,13076000	,06079158	,726	-,0859939	,3475139
		6	,11784000	,06079158	,848	-,0989139	,3345939
		7	,10204000	,06079158	,945	-,1147139	,3187939
		8	,09326000	,06079158	,974	-,1234939	,3100139
		9	,08326000	,06079158	,991	-,1334939	,3000139
		10	,07128000	,06079158	,998	-,1454739	,2880339
		11	,05376000	,06079158	1,000	-,1629939	,2705139
		12	,03000000	,06079158	1,000	-,1867539	,2467539
		13	,01826000	,06079158	1,000	-,1984939	,2350139
		14	,01850000	,06079158	1,000	-,1982539	,2352539
		15	,01282000	,06079158	1,000	-,2039339	,2295739
		17	-,00732000	,06079158	1,000	-,2240739	,2094339
		18	-,02418000	,06079158	1,000	-,2409339	,1925739
	17	2	-,07240000	,06079158	,998	-,2891539	,1443539
		3	-,00760000	,06079158	1,000	-,2243539	,2091539
		5	,13808000	,06079158	,645	-,0786739	,3548339
		6	,12516000	,06079158	,783	-,0915939	,3419139
		7	,10936000	,06079158	,908	-,1073939	,3261139
		8	,10058000	,06079158	,951	-,1161739	,3173339
		9	,09058000	,06079158	,980	-,1261739	,3073339
		10	,07860000	,06079158	,995	-,1381539	,2953539
		11	,06108000	,06079158	1,000	-,1556739	,2778339
		12	,03732000	,06079158	1,000	-,1794339	,2540739
		13	,02558000	,06079158	1,000	-,1911739	,2423339
		14	,02582000	,06079158	1,000	-,1909339	,2425739
		15	,02014000	,06079158	1,000	-,1966139	,2368939
		16	,00732000	,06079158	1,000	-,2094339	,2240739
		18	-,01686000	,06079158	1,000	-,2336139	,1998939
	18	2	-,05554000	,06079158	1,000	-,2722939	,1612139
		3	,00926000	,06079158	1,000	-,2074939	,2260139
		5	,15494000	,06079158	,451	-,0618139	,3716939
		6	,14202000	,06079158	,600	-,0747339	,3587739
		7	,12622000	,06079158	,772	-,0905339	,3429739
		8	,11744000	,06079158	,851	-,0993139	,3341939
		9	,10744000	,06079158	,919	-,1093139	,3241939
		10	,09546000	,06079158	,968	-,1212939	,3122139
		11	,07794000	,06079158	,995	-,1388139	,2946939

	12	,05418000	,06079158	1,000	-,1625739	,2709339
	13	,04244000	,06079158	1,000	-,1743139	,2591939
	14	,04268000	,06079158	1,000	-,1740739	,2594339
	15	,03700000	,06079158	1,000	-,1797539	,2537539
	16	,02418000	,06079158	1,000	-,1925739	,2409339
	17	,01686000	,06079158	1,000	-,1998939	,2336139
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.						

**SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS**

**COORDENADA ESTE**

	PIS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD Tukey <sup>a</sup>	5	5	,0084600		
	6	5	,0213800		
	7	5	,0371800		
	8	5	,0459600		
	9	5	,0559600		
	10	5	,0679400		
	11	5	,0854600		
	12	5	,1092200		
	14	5	,1207200		
	13	5	,1209600		
	15	5	,1264000		
	16	5	,1392200		
	17	5	,1465400		
	3	5	,1541400		
	18	5	,1634000		
	2	5	,2189400		
	Sig.		,066		
Duncan <sup>a</sup>	5	5	,0084600		
	6	5	,0213800	,0213800	
	7	5	,0371800	,0371800	
	8	5	,0459600	,0459600	
	9	5	,0559600	,0559600	
	10	5	,0679400	,0679400	
	11	5	,0854600	,0854600	,0854600
	12	5	,1092200	,1092200	,1092200
	14	5	,1207200	,1207200	,1207200
	13	5	,1209600	,1209600	,1209600
	15	5	,1264000	,1264000	,1264000

16	5	,1392200	,1392200	,1392200
17	5	,1465400	,1465400	,1465400
3	5	,1541400	,1541400	,1541400
18	5		,1634000	,1634000
2	5			,2189400
Sig.		,051	,057	,068

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

**DESCRIPTIVOS**

**ERROR LINEAL**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
2	5	,2351120	,32193890	,14397545	-,1646279	,6348519	,00310	,67086
3	5	,2369260	,18031666	,08064006	,0130333	,4608187	,12960	,54716
5	5	,0085540	,00312055	,00139555	,0046793	,0124287	,00380	,01071
6	5	,0216080	,01134767	,00507483	,0075180	,0356980	,00275	,02887
7	5	,0374160	,01165734	,00521332	,0229415	,0518905	,01781	,04468
8	5	,0461780	,01161498	,00519438	,0317561	,0605999	,02704	,05361
9	5	,0562300	,00908702	,00406384	,0449470	,0675130	,04205	,06238
10	5	,0682060	,00995889	,00445375	,0558404	,0805716	,05271	,07492
11	5	,0861020	,00185516	,00082965	,0837985	,0884055	,08308	,08743
12	5	,1103700	,00127507	,00057023	,1087868	,1119532	,10928	,11258
13	5	,1221160	,00135915	,00060783	,1204284	,1238036	,12103	,12373
14	5	,1219000	,00352093	,00157461	,1175282	,1262718	,11568	,12441
15	5	,1275800	,00448581	,00200612	,1220101	,1331499	,11958	,12987
16	5	,1403080	,00435662	,00194834	,1348985	,1457175	,13257	,14260
17	5	,1475780	,00415884	,00185989	,1424141	,1527419	,14043	,15011
18	5	,1645420	,00416715	,00186361	,1593678	,1697162	,15718	,16679
Total	80	,1081704	,10665877	,01192481	,0844346	,1319061	,00275	,67086

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

**ERROR LINEAL**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
20,695	15	64	,000

ANOVA

ERROR LINEAL

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,351	15	,023	2,739	,003
Dentro de grupos	,547	64	,009		
Total	,899	79			

Pruebas robustas de igualdad de medias

ERROR LINEAL

	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	432,087	15	23,911	,000

a. F distribuida de forma asintótica

COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente: ERRLINEAL							
	(I) PIS	(J) PIS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	2	3	-,00181400	,05848993	1,000	-,2103613	,2067333
		5	,22655800*	,05848993	,021	,0180107	,4351053
		6	,21350400*	,05848993	,040	,0049567	,4220513
		7	-,19769600	,05848993	,082	-,0108513	,4062433
		8	,18893400	,05848993	,118	-,0196133	,3974813
		9	-,17888200	,05848993	,175	-,0296653	,3874293
		10	,16690600	,05848993	,267	-,0416413	,3754533
		11	,14901000	,05848993	,452	-,0595373	,3575573
		12	,12474200	,05848993	,738	-,0838053	,3332893
		13	,11299600	,05848993	,851	-,0955513	,3215433
		14	,11321200	,05848993	,849	-,0953353	,3217593
		15	,10753200	,05848993	,893	-,1010153	,3160793
	16	,09480400	,05848993	,958	-,1137433	,3033513	
	17	,08753400	,05848993	,979	-,1210133	,2960813	
	18	,07057000	,05848993	,998	-,1379773	,2791173	
	3	2	,00181400	,05848993	1,000	-,2067333	,2103613
		5	,22837200*	,05848993	,019	,0198247	,4369193
		6	,21531800*	,05848993	,036	,0067707	,4238653

	7	,19951000	,05848993	,075	-,0090373	,4080573
	8	,19074800	,05848993	,110	-,0177993	,3992953
	9	,18069600	,05848993	,163	-,0278513	,3892433
	10	,16872000	,05848993	,251	-,0398273	,3772673
	11	,15082400	,05848993	,431	-,0577233	,3593713
	12	,12655600	,05848993	,718	-,0819913	,3351033
	13	,11481000	,05848993	,836	-,0937373	,3233573
	14	,11502600	,05848993	,834	-,0935213	,3235733
	15	,10934600	,05848993	,880	-,0992013	,3178933
	16	,09661800	,05848993	,951	-,1119293	,3051653
	17	,08934800	,05848993	,975	-,1191993	,2978953
	18	,07238400	,05848993	,997	-,1361633	,2809313
5	2	-,22655800*	,05848993	,021	-,4351053	-,0180107
	3	-,22837200*	,05848993	,019	-,4369193	-,0198247
	6	-,01305400	,05848993	1,000	-,2216013	,1954933
	7	-,02886200	,05848993	1,000	-,2374093	,1796853
	8	-,03762400	,05848993	1,000	-,2461713	,1709233
	9	-,04767600	,05848993	1,000	-,2562233	,1608713
	10	-,05965200	,05848993	1,000	-,2681993	,1488953
	11	-,07754800	,05848993	,993	-,2860953	,1309993
	12	-,10181600	,05848993	,927	-,3103633	,1067313
	13	-,11356200	,05848993	,846	-,3221093	,0949853
	14	-,11334600	,05848993	,848	-,3218933	,0952013
	15	-,11902600	,05848993	,797	-,3275733	,0895213
	16	-,13175400	,05848993	,658	-,3403013	,0767933
	17	-,13902400	,05848993	,571	-,3475713	,0695233
	18	-,15598800	,05848993	,374	-,3645353	,0525593
6	2	-,21350400*	,05848993	,040	-,4220513	-,0049567
	3	-,21531800*	,05848993	,036	-,4238653	-,0067707
	5	,01305400	,05848993	1,000	-,1954933	,2216013
	7	-,01580800	,05848993	1,000	-,2243553	,1927393
	8	-,02457000	,05848993	1,000	-,2331173	,1839773
	9	-,03462200	,05848993	1,000	-,2431693	,1739253
	10	-,04659800	,05848993	1,000	-,2551453	,1619493
	11	-,06449400	,05848993	,999	-,2730413	,1440533
	12	-,08876200	,05848993	,976	-,2973093	,1197853
	13	-,10050800	,05848993	,934	-,3090553	,1080393
	14	-,10029200	,05848993	,935	-,3088393	,1082553
	15	-,10597200	,05848993	,903	-,3145193	,1025753

		16	-,11870000	,05848993	,800	-,3272473	,0898473
		17	-,12597000	,05848993	,724	-,3345173	,0825773
		18	-,14293400	,05848993	,524	-,3514813	,0656133
	7	2	-,19769600	,05848993	,082	-,4062433	,0108513
		3	-,19951000	,05848993	,075	-,4080573	,0090373
		5	,02886200	,05848993	1,000	-,1796853	,2374093
		6	,01580800	,05848993	1,000	-,1927393	,2243553
		8	-,00876200	,05848993	1,000	-,2173093	,1997853
		9	-,01881400	,05848993	1,000	-,2273613	,1897333
		10	-,03079000	,05848993	1,000	-,2393373	,1777573
		11	-,04868600	,05848993	1,000	-,2572333	,1598613
		12	-,07295400	,05848993	,996	-,2815013	,1355933
		13	-,08470000	,05848993	,984	-,2932473	,1238473
		14	-,08448400	,05848993	,985	-,2930313	,1240633
		15	-,09016400	,05848993	,973	-,2987113	,1183833
		16	-,10289200	,05848993	,921	-,3114393	,1056553
		17	-,11016200	,05848993	,874	-,3187093	,0983853
		18	-,12712600	,05848993	,711	-,3356733	,0814213
	8	2	-,18893400	,05848993	,118	-,3974813	,0196133
		3	-,19074800	,05848993	,110	-,3992953	,0177993
		5	,03762400	,05848993	1,000	-,1709233	,2461713
		6	,02457000	,05848993	1,000	-,1839773	,2331173
		7	,00876200	,05848993	1,000	-,1997853	,2173093
		9	-,01005200	,05848993	1,000	-,2185993	,1984953
		10	-,02202800	,05848993	1,000	-,2305753	,1865193
		11	-,03992400	,05848993	1,000	-,2484713	,1686233
		12	-,06419200	,05848993	,999	-,2727393	,1443553
		13	-,07593800	,05848993	,995	-,2844853	,1326093
		14	-,07572200	,05848993	,995	-,2842693	,1328253
		15	-,08140200	,05848993	,989	-,2899493	,1271453
		16	-,09413000	,05848993	,961	-,3026773	,1144173
		17	-,10140000	,05848993	,929	-,3099473	,1071473
		18	-,11836400	,05848993	,803	-,3269113	,0901833
	9	2	-,17888200	,05848993	,175	-,3874293	,0296653
		3	-,18069600	,05848993	,163	-,3892433	,0278513
		5	,04767600	,05848993	1,000	-,1608713	,2562233
		6	,03462200	,05848993	1,000	-,1739253	,2431693
		7	,01881400	,05848993	1,000	-,1897333	,2273613
		8	,01005200	,05848993	1,000	-,1984953	,2185993

		10	-,01197600	,05848993	1,000	-,2205233	,1965713
		11	-,02987200	,05848993	1,000	-,2384193	,1786753
		12	-,05414000	,05848993	1,000	-,2626873	,1544073
		13	-,06588600	,05848993	,999	-,2744333	,1426613
		14	-,06567000	,05848993	,999	-,2742173	,1428773
		15	-,07135000	,05848993	,997	-,2798973	,1371973
		16	-,08407800	,05848993	,985	-,2926253	,1244693
		17	-,09134800	,05848993	,969	-,2998953	,1171993
		18	-,10831200	,05848993	,887	-,3168593	,1002353
	10	2	-,16690600	,05848993	,267	-,3754533	,0416413
		3	-,16872000	,05848993	,251	-,3772673	,0398273
		5	,05965200	,05848993	1,000	-,1488953	,2681993
		6	,04659800	,05848993	1,000	-,1619493	,2551453
		7	,03079000	,05848993	1,000	-,1777573	,2393373
		8	,02202800	,05848993	1,000	-,1865193	,2305753
		9	,01197600	,05848993	1,000	-,1965713	,2205233
		11	-,01789600	,05848993	1,000	-,2264433	,1906513
		12	-,04216400	,05848993	1,000	-,2507113	,1663833
		13	-,05391000	,05848993	1,000	-,2624573	,1546373
		14	-,05369400	,05848993	1,000	-,2622413	,1548533
		15	-,05937400	,05848993	1,000	-,2679213	,1491733
		16	-,07210200	,05848993	,997	-,2806493	,1364453
		17	-,07937200	,05848993	,992	-,2879193	,1291753
		18	-,09633600	,05848993	,953	-,3048833	,1122113
	11	2	-,14901000	,05848993	,452	-,3575573	,0595373
		3	-,15082400	,05848993	,431	-,3593713	,0577233
		5	,07754800	,05848993	,993	-,1309993	,2860953
		6	,06449400	,05848993	,999	-,1440533	,2730413
		7	,04868600	,05848993	1,000	-,1598613	,2572333
		8	,03992400	,05848993	1,000	-,1686233	,2484713
		9	,02987200	,05848993	1,000	-,1786753	,2384193
		10	,01789600	,05848993	1,000	-,1906513	,2264433
		12	-,02426800	,05848993	1,000	-,2328153	,1842793
		13	-,03601400	,05848993	1,000	-,2445613	,1725333
		14	-,03579800	,05848993	1,000	-,2443453	,1727493
		15	-,04147800	,05848993	1,000	-,2500253	,1670693
		16	-,05420600	,05848993	1,000	-,2627533	,1543413
		17	-,06147600	,05848993	,999	-,2700233	,1470713
		18	-,07844000	,05848993	,993	-,2869873	,1301073

12	2	-,12474200	,05848993	,738	-,3332893	,0838053	
	3	-,12655600	,05848993	,718	-,3351033	,0819913	
	5	,10181600	,05848993	,927	-,1067313	,3103633	
	6	,08876200	,05848993	,976	-,1197853	,2973093	
	7	,07295400	,05848993	,996	-,1355933	,2815013	
	8	,06419200	,05848993	,999	-,1443553	,2727393	
	9	,05414000	,05848993	1,000	-,1544073	,2626873	
	10	,04216400	,05848993	1,000	-,1663833	,2507113	
	11	,02426800	,05848993	1,000	-,1842793	,2328153	
	13	-,01174600	,05848993	1,000	-,2202933	,1968013	
	14	-,01153000	,05848993	1,000	-,2200773	,1970173	
	15	-,01721000	,05848993	1,000	-,2257573	,1913373	
	16	-,02993800	,05848993	1,000	-,2384853	,1786093	
	17	-,03720800	,05848993	1,000	-,2457553	,1713393	
	18	-,05417200	,05848993	1,000	-,2627193	,1543753	
	13	2	-,11299600	,05848993	,851	-,3215433	,0955513
		3	-,11481000	,05848993	,836	-,3233573	,0937373
		5	,11356200	,05848993	,846	-,0949853	,3221093
6		,10050800	,05848993	,934	-,1080393	,3090553	
7		,08470000	,05848993	,984	-,1238473	,2932473	
8		,07593800	,05848993	,995	-,1326093	,2844853	
9		,06588600	,05848993	,999	-,1426613	,2744333	
10		,05391000	,05848993	1,000	-,1546373	,2624573	
11		,03601400	,05848993	1,000	-,1725333	,2445613	
12		,01174600	,05848993	1,000	-,1968013	,2202933	
14		,00021600	,05848993	1,000	-,2083313	,2087633	
15		-,00546400	,05848993	1,000	-,2140113	,2030833	
16		-,01819200	,05848993	1,000	-,2267393	,1903553	
17		-,02546200	,05848993	1,000	-,2340093	,1830853	
18		-,04242600	,05848993	1,000	-,2509733	,1661213	
14		2	-,11321200	,05848993	,849	-,3217593	,0953353
		3	-,11502600	,05848993	,834	-,3235733	,0935213
		5	,11334600	,05848993	,848	-,0952013	,3218933
	6	,10029200	,05848993	,935	-,1082553	,3088393	
	7	,08448400	,05848993	,985	-,1240633	,2930313	
	8	,07572200	,05848993	,995	-,1328253	,2842693	
	9	,06567000	,05848993	,999	-,1428773	,2742173	
	10	,05369400	,05848993	1,000	-,1548533	,2622413	
	11	,03579800	,05848993	1,000	-,1727493	,2443453	

		12	,01153000	,05848993	1,000	-,1970173	,2200773
		13	-,00021600	,05848993	1,000	-,2087633	,2083313
		15	-,00568000	,05848993	1,000	-,2142273	,2028673
		16	-,01840800	,05848993	1,000	-,2269553	,1901393
		17	-,02567800	,05848993	1,000	-,2342253	,1828693
		18	-,04264200	,05848993	1,000	-,2511893	,1659053
	15	2	-,10753200	,05848993	,893	-,3160793	,1010153
		3	-,10934600	,05848993	,880	-,3178933	,0992013
		5	,11902600	,05848993	,797	-,0895213	,3275733
		6	,10597200	,05848993	,903	-,1025753	,3145193
		7	,09016400	,05848993	,973	-,1183833	,2987113
		8	,08140200	,05848993	,989	-,1271453	,2899493
		9	,07135000	,05848993	,997	-,1371973	,2798973
		10	,05937400	,05848993	1,000	-,1491733	,2679213
		11	,04147800	,05848993	1,000	-,1670693	,2500253
		12	,01721000	,05848993	1,000	-,1913373	,2257573
		13	,00546400	,05848993	1,000	-,2030833	,2140113
		14	,00568000	,05848993	1,000	-,2028673	,2142273
		16	-,01272800	,05848993	1,000	-,2212753	,1958193
		17	-,01999800	,05848993	1,000	-,2285453	,1885493
		18	-,03696200	,05848993	1,000	-,2455093	,1715853
	16	2	-,09480400	,05848993	,958	-,3033513	,1137433
		3	-,09661800	,05848993	,951	-,3051653	,1119293
		5	,13175400	,05848993	,658	-,0767933	,3403013
		6	,11870000	,05848993	,800	-,0898473	,3272473
		7	,10289200	,05848993	,921	-,1056553	,3114393
		8	,09413000	,05848993	,961	-,1144173	,3026773
		9	,08407800	,05848993	,985	-,1244693	,2926253
		10	,07210200	,05848993	,997	-,1364453	,2806493
		11	,05420600	,05848993	1,000	-,1543413	,2627533
		12	,02993800	,05848993	1,000	-,1786093	,2384853
		13	,01819200	,05848993	1,000	-,1903553	,2267393
		14	,01840800	,05848993	1,000	-,1901393	,2269553
		15	,01272800	,05848993	1,000	-,1958193	,2212753
		17	-,00727000	,05848993	1,000	-,2158173	,2012773
		18	-,02423400	,05848993	1,000	-,2327813	,1843133
	17	2	-,08753400	,05848993	,979	-,2960813	,1210133
		3	-,08934800	,05848993	,975	-,2978953	,1191993
		5	,13902400	,05848993	,571	-,0695233	,3475713

	6	,12597000	,05848993	,724	-,0825773	,3345173
	7	,11016200	,05848993	,874	-,0983853	,3187093
	8	,10140000	,05848993	,929	-,1071473	,3099473
	9	,09134800	,05848993	,969	-,1171993	,2998953
	10	,07937200	,05848993	,992	-,1291753	,2879193
	11	,06147600	,05848993	,999	-,1470713	,2700233
	12	,03720800	,05848993	1,000	-,1713393	,2457553
	13	,02546200	,05848993	1,000	-,1830853	,2340093
	14	,02567800	,05848993	1,000	-,1828693	,2342253
	15	,01999800	,05848993	1,000	-,1885493	,2285453
	16	,00727000	,05848993	1,000	-,2012773	,2158173
	18	-,01696400	,05848993	1,000	-,2255113	,1915833
18	2	-,07057000	,05848993	,998	-,2791173	,1379773
	3	-,07238400	,05848993	,997	-,2809313	,1361633
	5	,15598800	,05848993	,374	-,0525593	,3645353
	6	,14293400	,05848993	,524	-,0656133	,3514813
	7	,12712600	,05848993	,711	-,0814213	,3356733
	8	,11836400	,05848993	,803	-,0901833	,3269113
	9	,10831200	,05848993	,887	-,1002353	,3168593
	10	,09633600	,05848993	,953	-,1122113	,3048833
	11	,07844000	,05848993	,993	-,1301073	,2869873
	12	,05417200	,05848993	1,000	-,1543753	,2627193
	13	,04242600	,05848993	1,000	-,1661213	,2509733
	14	,04264200	,05848993	1,000	-,1659053	,2511893
	15	,03696200	,05848993	1,000	-,1715853	,2455093
	16	,02423400	,05848993	1,000	-,1843133	,2327813
	17	,01696400	,05848993	1,000	-,1915833	,2255113

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**ERROR LINEAL**

	PIS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD Tukey <sup>a</sup>	5	5	,0085540		
	6	5	,0216080		
	7	5	,0374160	,0374160	
	8	5	,0461780	,0461780	
	9	5	,0562300	,0562300	
	10	5	,0682060	,0682060	
	11	5	,0861020	,0861020	

12	5	,1103700	,1103700	
14	5	,1219000	,1219000	
13	5	,1221160	,1221160	
15	5	,1275800	,1275800	
16	5	,1403080	,1403080	
17	5	,1475780	,1475780	
18	5	,1645420	,1645420	
2	5		,2351120	
3	5		,2369260	
Sig.		,374	,075	
Duncan <sup>a</sup>	5	,0085540		
	6	,0216080		
	7	,0374160	,0374160	
	8	,0461780	,0461780	
	9	,0562300	,0562300	
	10	,0682060	,0682060	
	11	,0861020	,0861020	
	12	,1103700	,1103700	,1103700
	14	,1219000	,1219000	,1219000
	13	,1221160	,1221160	,1221160
	15	,1275800	,1275800	,1275800
	16	,1403080	,1403080	,1403080
	17	,1475780	,1475780	,1475780
	18		,1645420	,1645420
	2			,2351120
	3			,2369260
Sig.		,052	,075	,070

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

ANEXO G.

**EQUIPOS DE TRABAJO USADOS EN LA ETAPA DE CAMPO**

Para la etapa de trabajo en campo se utilizaron equipos: receptor geodésico GPSD y estación total.

- 01 receptores geodésicos marca Topcon modelo GR-5.
- 01 estación total marca Topcon modelo GPT 3200NW.

**RECEPTORES GEODÉSICOS MARCA TOPCON MODELO GR-5.**



**GPS diferencial TOPCON modelo GR-5.**

**Especificaciones técnicas:**

<b>ESPECIFICACIONES DE GR-5 Receptor GNSS Avanzado</b>	
<b>SEGUIMIENTO</b>	
Número de canales	216 canales universales
Señales rastreadas	Tecnología G3 - GPS, GLONASS y GALILEO
<b>WAAS/EGNOS/MSAS</b>	<b>Si</b>
Tipo de antena	Antena receptora™ integrada micro-centrada con plano de tierra
<b>PRECISIÓN</b>	
RTK	H: 10 mm + 1 ppm
	V: 15 mm + 1 ppm
Estático/Estático rápido	H: 3 mm + 0.5 ppm
	V: 5 mm + 0.5 ppm

<b>COMUNICACIONES</b>	
Tipo de radio opcional	UHF TX/RX integrado, o 915 MHz de espectro ensanchado
Base de salida de radio	0.01 - 1.0W, seleccionable por el usuario
Comunicación celular	GSM/GPRS integrado o CDMA
Comunicaciones inalámbricas	Bluetooth® integrado compatible 2.0
<b>DATOS Y MEMORIA</b>	
Memoria	Interna, tarjeta de memoria SD/ SDHC extraíble
Data update/output rate	1Hz – 100Hz seleccionable
Salida de datos en tiempo real	TPS, RTCM SC104, CMR, CMR+
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 2.x y 3.0
<b>AMBIENTE</b>	
Carcasa	Cubierta en magnesio I-Beam
Temperatura de operación	De -40° C a +70° C
Protección de agua y polvo	IP66
Resistencia a caídas	Caída sobre el concreto desde 2 metros en el jalón IEC 60068-2-29, IEC 60068-2-27
Rango de vibración	SAE J1211, sección 4.7
	MIL-STD 202G, método 214A

**ESTACIÓN TOTAL MARCA TOPCON GPT 3200NW**



**Especificaciones técnicas:**

Imagen	Real Directa
Aumentos	30X
Abertura del Objetivo	45mm
Longitud del Telescopio	150mm
Campo visual	1°30'
Enfoque Mínimo	1.3 mt
Precisión	7" o 5"
Lectura Angular Directa	1" / 5"
Medición de Angulo	Absolute Encoding
Alcance medición	1 prisma: 3,000mts 3prismas: 4,000mts
Alcance medición sin prisma	350 mts
Clase láser	Clase 1M
Precisión con prisma	$\pm(2+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$
Precisión sin prisma	$\pm(3+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$
Pantalla LCD	01 display, alfanumérico
Batería	5Hrs./Aprox. (Dist. y Ángulos) 45 Hrs. (Para Ángulos)
Memoria interna	24,000 puntos
Compensador	Doble ejes, líquido
Plomada	Óptica
Protección	IP66
Temperatura de trabajo	-20°C a + 50°C.











PLANO DE POLIGONAL ABIERTA RED DE APOYO PA-01