

DETERMINACIÓN MÁXIMA DE UNA CUADRÍCULA EN FUNCIÓN DE LA
PENDIENTE Y EL VOLUMEN

FRANCISCO JAVIER MORALES UBILLUS
JULIAN ANDRES DEL RIO CAÑÓN

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTA DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA
ARMENIA
2006

DETERMINACIÓN MÁXIMA DE UNA CUADRÍCULA EN FUNCIÓN DE LA
PENDIENTE Y EL VOLUMEN

FRANCISCO JAVIER MORALES UBILLUS
JULIAN ANDRES DEL RIO CAÑÓN

Proyecto de grado para optar al título de
Tecnólogo en Topografía

Director
GONZALO JIMÉNEZ CLEVES
Topógrafo, Esp, MSc

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN TOPOGRAFÍA
ARMENIA
2006

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Armenia, Octubre de 2006

Este proyecto lo dedico a mis Padres
Y hermano; porque con esfuerzo y
dedicación hicieron que lograra unas
de mis metas. A Dios por darme la
oportunidad de superarme y guiarme
por el camino correcto.

Francisco

A Dios por darme esta oportunidad,
a mis padres, porque con esfuerzo y
dedicación hicieron posible alcanzar
una de mis metas y a mis hermanas
que son la fuerza de seguir adelante.

Julián

AGRADECIMIENTOS

Con alegría y esperanza damos gracias a:

A DIOS.

Nuestras familias que nos apoyaron incondicionalmente.

Nuestro director Gonzalo Jiménez Cleves por brindarnos sus conocimientos y guiarnos por un muy buen camino en la realización de este proyecto.

Nuestros asesores, Iván Rene Galindo, Julián Garzón, Jairo Díaz Jurado y Joaquín Vila quienes nos aportaron ideas y parte de su tiempo para permitirnos realizar este proyecto.

El programa de Topografía por habernos brindado los conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

La Universidad del Quindío

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1 DETERMINACIÓN MÁXIMA DE UNA CUADRICULA EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE Y EL VOLUMEN	18
1.2 ALCANCE Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.2.1 Objetivo General	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 PROBLEMA	20
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 MODELOS DIGITALES	22
2.2 PENDIENTE	23
2.3 VOLÚMENES	24
2.4 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN	28
2.4.1 Base Radial	28
2.4.2 Tin	28
2.4.3 Kriging	29
2.4.4 IDW (Inverse Distance Weighting)	30
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
4. CALCULO DE PENDIENTES Y ÁREAS	32
5. ANÁLISIS GRAFICO	33

5.1	BASE RADIAL	33
5.2	TIN	43
5.3	KRIGING	53
5.4	IDW (Inverse Distance Weighting)	65
5.5	OTRAS RELACIONES POR EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN TIN	77
5.6	GRAFICAS OBTENIDAS POR EL PROGRAMA LISA 2.2	84
	TABLAS RESUMEN	92
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
6.1	CONCLUSIONES	97
6.2	RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS	98
	BIBLIOGRAFÍA	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Estación total I Parte.	33
Figura 2. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Estación total II Parte.	34
Figura 3. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Nivel de Precisión I parte.	36
Figura 4. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Nivel de Precisión II Parte.	37
Figura 5. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base radial NI 007 I Parte.	38
Figura 6. Relación Cuadrícula – Pendiente, Base Radial NI 007 II Parte.	39
Figura 7. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Tránsito I Parte.	41
Figura 8. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Tránsito II Parte.	42
Figura 9. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin-Estación Total I Parte.	43
Figura 10. Relación Cuadrícula Pendiente. Tin-Estación Total II Parte.	44
Figura 11. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Nivel de Precisión I Parte.	46
Figura 12. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Nivel de Precisión II Parte.	47
Figura 13. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin NI 007 I Parte.	48
Figura 14. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin NI 007 II Parte.	49
Figura 15. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Transito I Parte.	51
Figura 16. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Transito II Parte.	52
Figura 17. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Estación Total I parte	53.

Figura 18. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Estación Total II parte.	54
Figura 19. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Nivel de Precisión I Parte	56
Figura 20. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Nivel de Precisión II Parte	57
Figura 21. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging NI 007 I parte	59
Figura 22. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging NI 007 II Parte	60
Figura 23. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging Tránsito I Parte.	62
Figura 24. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging Tránsito II Parte.	63
Figura 25. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Estación Total I parte.	65
Figura 26. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Estación total II Parte.	66
Figura 27. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Nivel de Precisión I Parte.	68
Figura 28. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Nivel de Precisión II Parte.	69
Figura 29. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW NI 007 I Parte.	71
Figura 30. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW NI 007 II Parte.	72
Figura 31. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Transito I Parte.	74
Figura 32. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Tránsito II Parte.	75
Figura 33. Relación Pendiente – Volumen, Tin Estación Total.	77
Figura 34. Relación Pendiente – Volumen, Tin Nivel de Precisión.	78
Figura 35. Relación Pendiente – Volumen, Tin NI 007.	78
Figura 36. Relación Pendiente – Volumen, Tin Tránsito.	79
Figura 37. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Estación Total.	80
Figura 38. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin Nivel de Precisión.	80
Figura 39. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin NI 007.	81

Figura 40. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin Tránsito.	81
Figura 41. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Estación Total.	82
Figura 42. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Nivel de Precisión.	82
Figura 43. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin NI 007.	83
Figura 44. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Tránsito.	83
Figura 45. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Estación Total.	84
Figura 46. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	85
Figura 47. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa NI 007.	85
Figura 48. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Tránsito.	86
Figura 49. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Estación Total.	87
Figura 50. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	87
Figura 51. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa NI 007.	88
Figura 52. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Tránsito.	88
Figura 53. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Estación Total.	89
Figura 54. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	90
Figura 55. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa NI 007.	90
Figura 56. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Tránsito	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Estación total I Parte.	33
TABLA 2. Determinación del Δ Pendiente	34
Tabla 3. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Estación total II Parte.	34
Tabla 4. Determinación del Δ Pendiente.	35
Tabla 5. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Nivel de Precisión I parte.	35
Tabla 6. Determinación del Δ Pendiente	36
Tabla 7. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Nivel de Precisión II Parte.	37
Tabla 8. Determinación del Δ Pendiente	37
Tabla 9. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base radial NI 007 I Parte.	38
Tabla 10. Determinación del Δ Pendiente	38
Tabla 11. Relación Cuadrícula – Pendiente, Base Radial NI 007 II Parte.	39
Tabla 12. Determinación del Δ Pendiente	40
Tabla 13. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Tránsito I Parte.	40
Tabla 14 Determinación del Δ Pendiente	41
Tabla 15. Relación Cuadrícula - Pendiente, Base Radial Tránsito II Parte.	42
Tabla 16 Determinación del Δ Pendiente	42
Tabla 17. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin-Estación Total I Parte.	43

Tabla 18. Determinación del Δ Pendiente	44
Tabla 19. Relación Cuadrícula Pendiente. Tin-Estación Total II Parte.	44
Tabla 20. Determinación del Δ Pendiente	45
Tabla 21. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Nivel de Precisión I Parte.	45
Tabla 22. Determinación del Δ Pendiente	46
Tabla 23. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Nivel de Precisión II Parte.	46
Tabla 24. Determinación del Δ Pendiente	47
Tabla 25. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin NI 007 I Parte.	48
Tabla 26. Determinación del Δ Pendiente	49
Tabla 27. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin NI 007 II Parte.	49
Tabla 28. Determinación del Δ Pendiente	50
Tabla 29. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Tránsito I Parte.	50
Tabla 30. Determinación del Δ Pendiente	51
Tabla 31. Relación Cuadrícula - Pendiente, Tin Tránsito II Parte.	52
Tabla 32. Determinación del Δ Pendiente	52
Tabla 33. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Estación Total I parte.	53
Tabla 34. Determinación del Δ Pendiente	54
Tabla 35. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Estación Total II parte.	54
Tabla 36. Determinación del Δ Pendiente	55
Tabla 37. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Nivel de Precisión I Parte	56
Tabla 38. Determinación del Δ Pendiente	57
Tabla 39. Relación Cuadrícula - Pendiente, Kriging Nivel de Precisión II Parte	57

Tabla 40. Determinación del Δ Pendiente	58
Tabla 41. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging NI 007 I parte	59
Tabla 42. Determinación del Δ Pendiente	60
Tabla 43. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging NI 007 II Parte	60
Tabla 44. Determinación del Δ Pendiente	61
Tabla 45. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging Tránsito I Parte.	62
Tabla 46. Determinación del Δ Pendiente	63
Tabla 47. Relación Cuadrícula – Pendiente, Kriging Tránsito II Parte.	63
Tabla 48. Determinación del Δ Pendiente.	64
Tabla 49. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Estación Total I parte.	65
Tabla 50. Determinación del Δ Pendiente.	66
Tabla 51. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Estación total II Parte.	66
Tabla 52. Determinación del Δ Pendiente.	67
Tabla 53. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Nivel de Precisión I Parte.	68
Tabla 54. Determinación del Δ Pendiente.	69
Tabla 55. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Nivel de Precisión II Parte.	69
Tabla 56. Determinación del Δ Pendiente.	70
Tabla 57. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW NI 007 I Parte.	71
Tabla 58. Determinación del Δ Pendiente.	72
Tabla 59. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW NI 007 II Parte.	72
Tabla 60. Determinación del Δ Pendiente.	73
Tabla 61. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Tránsito I Parte.	74

Tabla 62. Determinación del Δ Pendiente.	75
Tabla 63. Relación Cuadrícula – Pendiente, IDW Tránsito II Parte.	75
Tabla 64. Determinación del Δ Pendiente.	76
Tabla 65. Relación Pendiente – Volumen, Tin Estación Total.	77
Tabla 66. Relación Pendiente – Volumen, Tin Nivel de Precisión.	78
Tabla 67. Relación Pendiente – Volumen, Tin NI 007.	78
Tabla 68. Relación Pendiente – Volumen, Tin Tránsito.	79
Tabla 69. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Estación Total.	80
Tabla 70. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin Tránsito.	80
Tabla 71. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin Nivel de Precisión.	81
Tabla 72. Relación Pendiente – Δ Volumen, Tin NI 007.	81
Tabla 73. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Estación Total.	82
Tabla 74. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Nivel de Precisión.	82
Tabla 75. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin NI 007.	83
Tabla 76. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Transito.	83
Tabla 77. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Estación Total.	84
Tabla 78. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	85
Tabla 79. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa NI 007.	85
Tabla 80. Relación Pendiente – Volumen, Tin Lisa Tránsito.	86
Tabla 81. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Estación Total.	87
Tabla 82. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	87
Tabla 83. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa NI 007.	88

Tabla 84. Relación Pendiente – Δ volumen, Tin Lisa Tránsito.	88
Tabla 85. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Estación Total.	89
Tabla 86. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Nivel de Precisión.	90
Tabla 87. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa NI 007.	90
Tabla 88. Relación Δ Pendiente – Δ Volumen, Tin Lisa Tránsito.	91
Tabla 89. Cuadrícula 1x1.	92
Tabla 90. Cuadrícula 2x2.	92
Tabla 91. Cuadrícula 4x4.	93
Tabla 92. Cuadrícula 5x5.	93
Tabla 93. Cuadrícula 8x8.	94
Tabla 94. Cuadrícula 10x10.	94
Tabla 95. Cuadrícula 20x20.	95
Tabla 96. Cuadrícula 40x40.	95
Tabla 97. Resultados de R (Correlación).	96

INTRODUCCIÓN

En este momento el programa de Tecnología en Topografía de la Universidad del Quindío esta buscando alternativas con el fin de promover el espíritu y la conciencia de la investigación, con base en la descripción del relieve y la verdadera forma de un terreno.

Es nuestro propósito en este trabajo de investigación realizar un análisis sobre el comportamiento de un terreno de acuerdo a la relación entre la pendiente y el volumen en función de la densidad de puntos evaluados en una superficie ligeramente ondulada, con cuatro equipos, localizada en predios de la Universidad del Quindío (Planta Piloto).

Teniendo en cuenta investigaciones anteriores sobre la caracterización morfológica de un terreno, se busca establecer la relación entre la pendiente y el volumen mediante un análisis de la información, instrumentándose con el mayor cuidado posible y tiempo necesario para obtener una sobre valoración de la información en forma objetiva y exhaustiva de la superficie.

Además se describen conocimientos basados en la experiencia realizada en el segundo semestre del 2005 y el primer semestre del 2006, esto aumenta y mejora los conocimientos en Topografía en el área específica.

Este Proyecto pertenece a la línea de investigación de Modelación de superficies Terrestres.

1.0 PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DETERMINACIÓN MÁXIMA DE UNA CUADRICULA EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE Y EL VOLUMEN.

Teniendo en cuenta la escasa información en la aplicación de la teoría sobre la Densidad máxima de una cuadrícula en función de la pendiente y el volumen, se realizó un análisis estadístico para la caracterización de un terreno en función de la cantidad de puntos que se requieren trabajar.

El contenido de este proyecto es de interés social ya que se determinaran aplicaciones para la enseñanza, consulta, educación y cálculos de las pendientes de un terreno, pues será usado por un número indefinido de profesionales para indeterminadas labores, y a la vez generar un aporte significativo en la disciplina topográfica.

Este proyecto será soportado en métodos y procedimientos que ayudaran a describir la densidad de la superficie para mejorar la descripción de la misma, y así realizar una representación gráfica mas exacta de modelos digitales y a demás como incide la densidad de la misma en función de la pendiente y el volumen, todo esto es apoyado en los conceptos de Felicísimo en su libro Cursos de Modelos Digitales del Terreno.

1.2 ALCANCES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General.

Determinación de la densidad máxima de una cuadrícula a partir del análisis de las pendientes y volúmenes de un terreno.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Procesamiento de la pendiente con el programa Lisa 2.2.
- Procesamiento del volumen con el programa Surfer 8.0.
- Cálculo matemático de las pendientes generales de cada terreno.
- Determinación de la relación en la densidad de la cuadrícula y la pendiente.
- Determinación de la relación en la cuadrícula de la pendiente y el volumen.
- Determinación de la relación en la cuadrícula de la pendiente y Δ volumen.
- Determinación de la relación en la cuadrícula de Δ pendiente y Δ volumen.

1.3 PROBLEMA

Ya que no se tiene ninguna teoría que relacione la densidad de la cuadrícula, la pendiente del terreno y el cálculo de volúmenes, se busca realizar un estudio que nos permita observar el comportamiento de estas tres variables, y así, generar resultados que ayuden al topógrafo y a otros profesionales interesados en el tema.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

Este proyecto es pertinente teniendo en cuenta que la sociedad será la directamente beneficiada, ya que brindará información y desarrollos a las nuevas tecnologías, dando así conocimientos basados en la experiencia, favoreciendo a los topógrafos y demás profesionales interesados en el tema, proyectando esta investigación como un paso para fomentar el proceso, y adquirir nuevos parámetros y conocimientos que ayuden a su proyección laboral.

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto es analizar la densidad máxima de una cuadrícula en función de la pendiente y el volumen de los puntos observados en seis diferentes cuadrículas, dado esto el profesional contribuirá económicamente disminuyendo costos, para el bienestar de una determinada comunidad.

La institución en este caso la Universidad del Quindío se verá beneficiada con conocimientos para un proceso de investigación sin precedentes en el área, dando así una importancia educativa brindando a los docentes y estudiantes referencias teórico prácticas para la enseñanza, el aprendizaje y medios de consulta.

En el área administrativa se pueden dar posibilidades de mostrar conocimientos que incentiven a las empresas relacionadas con el tema en adquirir estos nuevos conceptos llevándolos así a la práctica comercial y obtener recursos que soporten la línea de investigación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MODELOS DIGITALES

Es una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades, un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica. Los modelos se construyen para conocer o predecir del objeto real¹ (Felicísimo1994).

En los modelos digitales el objeto real se codifica en cifras y se maneja con medios informáticos.

De los modelos digitales se derivan otros tipos de modelos como:

Modelo digital de terreno es la representación digital del relieve, que consiste en un conjunto de puntos, cuyas coordenadas x , y , z del terreno, han sido obtenidos por métodos directos o indirectos e interpolados matemáticamente a fin de permitir una descripción fiel y continua de una parte de la tierra² (Maya, 1991).

Modelo Digital de Elevaciones es una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. En la práctica, la función no es continua si no que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDE esta compuesto por un conjunto finito y explicito de elementos. Los valores de X e Y suelen corresponder a las abscisas y ordenadas de un sistema coordenadas plano y Z que representa la altitud del terreno en un punto de coordenadas (X, Y) .

¹ JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Capitulo 1, Pág.

² FELICÍSIMO, Ángel M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo, 2001. Capitulo 2, Pág. 2.

2.2 PENDIENTE

La definición tradicional usada en topografía es la inclinación del terreno (generalmente una línea) con respecto a un plano horizontal; se indica en porcentaje (%) o como una magnitud angular. Aunque esta no se aparta mucho de la usada para el trabajo en modelos digitales; la pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en este punto y la vertical. Su estimación es sencilla a partir del DTM (Modelos Digitales de Terreno) y se basa en el cálculo de la pendiente de un plano de ajuste a en cada punto o celda del modelo (Felicísimo 1994). La pendiente puede calcularse a partir de los componentes del gradiente mediante la siguiente expresión³:

$$Y = \text{tag}^{-1} \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2} \quad (4)$$

Calculamos la pendiente general del terreno, para este calculo recurrimos a la media ponderada, siendo esta la media aritmética de los valores heterogéneos o de diferente precisión de cualquier magnitud, calculamos teniendo en cuenta los pesos de éstos resultados. Si $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, son de resultados heterogéneos y $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, sus pesos respectivos, para nuestro caso la frecuencia, entonces la media ponderada será⁵:

$$MP = \frac{X_1P_1 + X_2P_2 + X_3P_3 + \dots + X_nP_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n} = \frac{\sum XP}{\sum P} \quad (6)$$

Para este caso tenemos que:

X= La pendiente general entre cada curva

P= El área entre cada curva

³ JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Capítulo 4, Pág. 33

⁴ FORMULA PARA CALCULAR LA PENDIENTE A PARTIR DEL GRADIENTE. FELICÍSIMO, Ángel M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo, 2001.

⁵ GÓMEZ GÓMEZ, GILBERTO y JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Introducción a la Topografía Analítica. Universidad del Quindío. Capítulo 2, Pág. 40

⁶ FORMULA PARA CALCULAR LA MEDIA PONDERADA A PARTIR DE SUS PESOS. Davis, Foote, Nelly. Tratado de Topografía

2.3 VOLÚMENES

Podemos decir que volumen es una magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

La medición directa de volúmenes por lo regular no se efectúa en topografía, ya que es difícil aplicar realmente una unidad de medida al material por cubicar. En su lugar se emplean mediciones indirectas determinando líneas y áreas que tengan relación con el volumen deseado.

El cálculo de volúmenes se hizo con la ayuda del programa SURFER 8.0 que utiliza tres métodos para dicho cálculo: regla de Simpson, regla de Simpson 3/8 y la regla Trapezoidal. Estos métodos emplean formulas que describiremos a continuación:

REGLA DE SIMPSON 3/8

El modelo de los coeficientes es (1,3,3,2,3,3,2,...,3,3,2,1):

$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 2G_{i,4} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (7)$$

$$Volumen \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (8)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

Los resultados de los volúmenes están dados en unidades cúbicas basadas en las unidades en que se encuentra los datos de la malla. Para una malla con valores XYZ en unidades de metro (m), las unidades para los resultados son:

Volumen neto: (metro * metro * metro)

⁷ FORMULA PARA CALCULAR AL AREA POR LA REGLA DE SIMPSON 3/8. Golden Software Surfer 8.0

⁸ FORMULA PARA CALCULAR EL VOLUMEN POR LA REGLA DE SIMPSIN 3/8. Golden Software Surfer 8.0

REGLA TRAPEZOIDAL

El modelo de los coeficientes es (1, 2, 2,2,..., 2, 2,1):

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (9)$$

$$Volumen \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (10)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

REGLA DE SIMPSON

El modelo de los coeficientes es (1, 4, 2, 4, 2, 4,2,..., 4, 2,1):

$$A_i = \frac{\Delta x}{3} [G_{i,1} + 4G_{i,2} + 2G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (11)$$

$$Volumen \approx \frac{\Delta y}{3} [A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (12)$$

Donde:

Δx es el espacio que hay entre las columnas de las mallas

Δy es el espacio que hay entre las filas de las mallas

G_{ij} es la intersección de la malla de los valores de las filas en i y de las columnas en j .

⁹ FORMULA PARA CALCULAR EL AREA POR LA REGLA TRAPEZOIDAL. Golden Software Surfer 8.0

¹⁰ FORMULA PARA CALCULAR EL VOLUMEN POR LA REGLA TRAPEZOIDAL. Golden Software Surfer 8.0

¹¹ FORMULA PARA CALCULAR EL AREA POR LA REGLA DE SIMPSON. Golden Software Surfer 8.0

¹² FORMULA PARA CALCULAR EL VOLUMEN POR LA REGLA DE SIMPSON. Golden Software Surfer 8.0

MÉTODO DE LA MALLA (GRID) Autocad Land Development Desktop 2i

El método de la malla intercala volúmenes que usan mallas cubiertas o sobrepuestas en las dos superficies que constituyen el campo actual. Este método calcula los volúmenes usando el volumen del prismoide de todas las mallas. Este método es muy exacto cuando ambas superficies tienen cierta cantidad de variación en ellos.

El método de la malla agrupa el sitio en la serie de celdas de la malla en filas y columnas que son determinadas por el comando **Define Site**. El método de la malla usa M y N para determinar la magnitud de las celdas de la malla que se especificaron con el comando **Define Site**. El método de la malla muestra las elevaciones existentes y plantea superficies a las esquinas (o nodos de la malla) de cada celda. Entonces éste método agrupa los resultados en dos prismas triangulares. Si algún punto de la celda no coincide con cualquiera de las superficies, el área de la celda entera se desecha. Entonces las celdas son divididas individualmente entre el prismoide.

Se debe tener en cuenta que este método usa aproximaciones controladas por el intervalo de la malla. Cuando usa volúmenes malla-base, se necesita que el sitio no sea demasiado pequeño, porque retrasaría el proceso de cálculo del volumen, y no demasiado grande, que podría producir un resultado impreciso del volumen.

En cualquier caso, puede usar el método de la malla o el método compuesto y decidir cual método es el apropiado.

MÉTODO COMPUESTO. AutoCAD Land Development Desktop 2i

Cuando se calculan los volúmenes usando este método, no usa una malla, se emplea una red de triángulos para una nueva superficie basada en puntos de dos superficies. Se usan los puntos de ambas superficies, en cualquier posición donde el triángulo corte las dos superficies. El comando entonces calcula la nueva superficie basada en la diferencia de elevaciones de las dos superficies.

Este método es el más preciso y da los volúmenes exactos entre las dos superficies.

Usando el comando Current Stratum del menú Terrain, podemos definir, seleccionar, y anular un estrato en el dibujo. Un estrato contiene dos superficies que existen en su proyecto, normalmente la superficie existente y la superficie del proyecto, y se usa para calcular el volumen.

2.4 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

2.4.1 BASE RADIAL

La función de base radial (**FBR**) comprende un amplio grupo de interpoladores exactos y locales que emplean una ecuación de base dependiendo de la distancia entre el punto interpolado y los puntos muestrales vecinos¹³. En general, el valor de la variable Z en un punto nos muestra X_0 viene dado por la siguiente expresión:

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot F(d_i) \quad (14)$$

Donde $f(d_i)$ denota a la función de base radial, d_i la distancia entre puntos y a_i los coeficientes que debe ser calculado mediante la resolución de un sistema lineal de n ecuaciones, siendo n el número de puntos muestrales vecinos que intervienen en la obtención de $Z(x_0)$.

2.4.2 TIN

Este modelo se basa en la generación de una red formada por triángulos irregulares cuyos vértices son los puntos originales obtenidos para la definición del terreno.

Consiste en generar sobre un plano horizontal una malla de triángulos, la cual resulta de la conexión, por medio de segmentos de rectas, de las proyecciones de los puntos del modelo sobre el plano¹⁵.

La solución aparentemente hasta el presente ha sido el tratamiento del relieve mediante una estructura vectorial especial: **La red irregular de triángulos o TIN-** siglas de triangulate irregular network-propuesta inicialmente Poiker *Et al.* (1978)¹⁶.

El modelo TIN tiene varias cualidades de gran interés para los MDE.

¹³JHONTSON, K et al. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands. 2001

¹⁴FORMULA PARA CALCULAR EL PUNTO INTERPOLADO Y LOS PUNTOS MUESTRALES. J. Murillo y otros. Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. Santander, España 2002.

¹⁵JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Capítulo 2, Pág. 10

¹⁶FELICÍSIMO, Ángel M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo, 2001. Capítulo 2, Pág. 23.

- No presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar.
- Puede generarse incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares, especialmente las líneas estructurales y de inflexión, que son incorporados en el modelo como lados de triángulos.
- Se adapta a la complejidad local del terreno, creando redes localmente más densas en función de la desigualdad del relieve.
- Respeta los valores de los datos, que son usados como vértices y mantienen su altitud exacta.

Como ya hemos visto, un TIN es un conjunto de triángulos adosados que recubren el terreno de forma completa. La creación de un TIN se compone de dos partes diferentes: la triangulación propiamente dicha y la selección de los puntos que deben usarse como vértices.

2.4.3 KRIGING

Es un método de interpolación exacta y local que pondera, al igual que los demás contemplados en este estudio, el peso de cada punto muestral x_i en el valor interpolado en un punto no muestral x_0 según una función estocástica de la distancia entre dichos puntos. Su Fundamento conceptual deriva de la teoría de variables regionalizadas, tratándose, en esencia, de un método geoestadístico consistente en la búsqueda de unos interpoladores óptimos que produce unos residuos in sesgados y con mínima varianza (Carvajal y Col., 1999).

La teoría de las variables regionalizadas asume que la variación espacial de una variable z , por ejemplo la cota de un terreno, puede ser expresada como la suma de tres componentes (Burrough y McDonnell, 1998)¹⁷.

$$Z(x) = m(x) + e'(x) + e'' \quad (18)$$

Donde $m(x)$ representa la componente determinística que define la tendencia general de Z , $e'(x)$ denota la componente estocástica, conocida como la variación de la variable regionalizada, y, por último, e'' engloba la componente residual o de error.

¹⁷ JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Capítulo 2, Pág. 11-12

¹⁸ FORMULA PARA CALCULAR LA COMPONENTE ESTOCÁSTICA. J. Murillo y otros. Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. Santander, España 2002.

Aunque este método de estimación es óptimo desde el punto de vista estadístico, presenta algunas dificultades a la hora de ser utilizado como método de construcción de los modelos digitales de terreno.

Este método presenta una ventaja sustancial con respecto a otros interpoladores, pues permite, una vez seleccionado el semivariograma que mejor explica la variabilidad espacial de la cota del terreno **Z** seleccionar el tipo de malla de muestreo y el número de puntos muestrales mínimo para obtener un error predeterminado en la estimación de la cota de cualquier otro punto de la superficie topográfica. De esta forma podemos disminuir el costo de futuros levantamientos topográficos si fuera necesario.

2.4.4 IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING)

Este método, estima los puntos del modelo realizando una asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión. De esta forma, se acepta que los puntos más próximos al centroide "z" intervienen de manera más relevante en la construcción del valor definitivo de altura para ese punto. De aquí, se deduce que la elección del exponente de ponderación (en este caso 0.5) es determinante en la contribución de los puntos circundantes al punto problema: cuanto mayor es el exponente, más contribuyen los puntos próximos¹⁹.

La formula general para la interpolación es la que sigue:

$$Z_j = \frac{\sum Z_i / d_{ij}^\beta}{\sum 1 / d_{ij}^\beta} \quad (20)$$

Donde z_j : punto problema; z_i : punto del entorno; β : exponente de ponderación; d_{ij} = distancia entre los puntos.

¹⁹ JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Capítulo 2, Pág. 13

²⁰ FORMULA GENERAL PARA LA INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO DE IDW. J. Murillo y otros. Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. Santander, España 2002.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto es de tipo exploratorio y en el cual se realiza un análisis cuantitativo, que cuenta con una base de datos de un estudio anterior. De igual manera es descriptivo pues mostrara la relación que existe entre la pendiente y el volumen en función de la densidad de los puntos observados.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó el programa **SURFER 8.0** con el cual se calcularon los volúmenes empleando cuatro métodos de interpolación en cada una de las ocho diferentes cuadrículas mencionadas anteriormente.

Al obtener los volúmenes se realizó el cálculo de P (pendiente) en cada una de las cuadrículas empleando el programa **LISA 2.2** y utilizando la formula (2) de **MP** citada previamente. Además se utilizó el programa Autocad Land Development Desktop 2i para el calculo de las áreas de cada cuadrícula.

Luego de adquirir estos datos con los procedimientos ya mencionados se hizo el análisis de las gráficas obtenidas de cada cuadrícula.

A partir de lo anterior se realizaron las conclusiones y recomendaciones.

4. CALCULO DE PENDIENTES Y ÁREAS

Se calcularon las pendientes con la formula de **MP** (Media ponderada) citada anteriormente y el programa **LISA 2.2** también empleamos el Autocad Land Development Desktop 2i²¹ para calcular las áreas de las diferentes cuadrículas.

Para realizar las gráficas fue necesario calcular el delta volumen (Δv) y el delta Pendiente (Δp), que se determinó mediante la siguiente formula aplicada en el Programa EXCEL²².

$$\Delta v = \frac{(V_m - V_i)}{V_i} \quad (23)$$

$$\Delta p = \frac{(P_m - P_i)}{P_i} \quad (24)$$

Donde:

Δv = Error del volumen

Δp = Error de la pendiente

V_m = Volumen medido

P_m = Pendiente medida

V_i = Volumen ideal

P_i = Pendiente ideal

²¹ AutoCAD land, Autodesk. Tutorial

²² Microsoft Office Excel 2003

5. ANÁLISIS GRÁFICO

En las figuras presentadas a continuación fueron graficadas en dos partes para realizar un análisis más detallado ya que a partir de un punto las gráficas se comportan de manera diferente.

Para todo el estudio se considera la cuadrícula 1x1 como la ideal sin error.

5.1 BASE RADIAL

INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 1. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Estación total I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,21
2X2	4,57
4X4	4,42
5X5	4,32
8X8	4,32
10X10	4,74

Figura 1. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Estación total I Parte

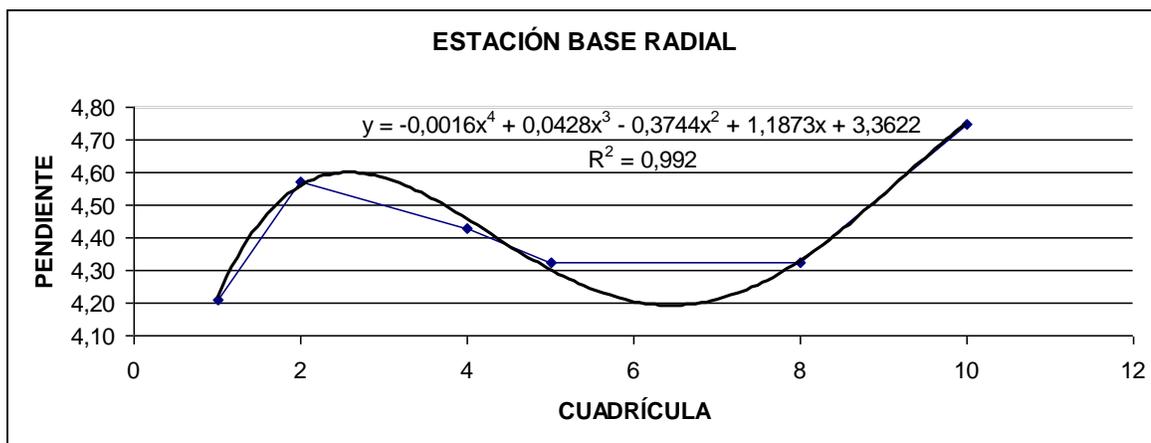


Tabla 2. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,21	4,21	$\Delta P=(4,21-4,21)/4,21$	0
4,57	4,21	$\Delta P=(4,57-4,21)/4,21$	0,09
4,43	4,21	$\Delta P=(4,43-4,21)/4,21$	0,05
4,32	4,21	$\Delta P=(4,32-4,21)/4,21$	0,03
4,32	4,21	$\Delta P=(4,32-4,21)/4,21$	0,03
4,75	4,21	$\Delta P=(4,75-4,21)/4,21$	0,13

En esta gráfica se observa que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 hasta la cuadrícula 10 x10 no presenta una variación significativa, ya que las pendientes son muy uniformes, con una variación de - 0.00 hasta 0.02

Tabla 3. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Estación total II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,74
20X20	3,38
40X40	2,45

Figura 2.Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Estación total II Parte

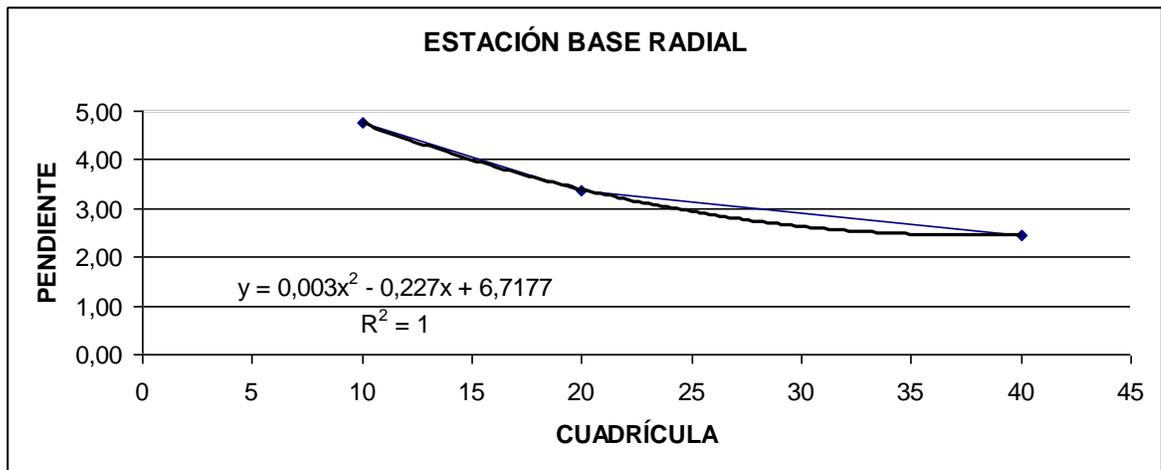


Tabla 4. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(VP-VP) / PI$	ΔP
4,75	4,21	$\Delta P=(4,75-4,21)/4,21$	0,12
3,38	4,21	$\Delta P=(3,38-4,21)/4,21$	-0,19
2,46	4,21	$\Delta P=(2,46-4,21)/4,21$	-0,41

En esta gráfica se observa que la pendiente sufre un aumento ya que en la cuadrícula de 10x10 el error en la pendiente comparado con la cuadrícula 1x1 es del 0.12%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de -0.19% y finalmente en la cuadrícula de 40x40 el error en la pendiente es del -0.41% y se considera muy significativo.

INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISIÓN

Tabla 5. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Nivel de precisión I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,10
2X2	4,42
4X4	4,34
5X5	4,28
8X8	4,32
10X10	4,74

Figura 3. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Nivel de precisión I Parte

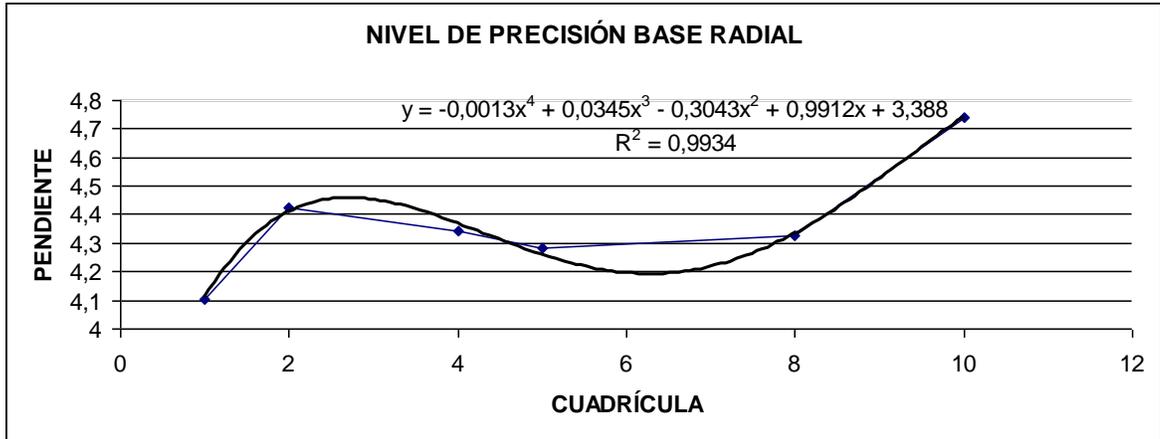


Tabla 6. Determinación Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM-PI) / PI$	ΔP
4,10	4,10	$\Delta P = (4,10 - 4,10) / 4,10$	0
4,42	4,10	$\Delta P = (4,42 - 4,10) / 4,10$	0,08
4,34	4,10	$\Delta P = (4,34 - 4,10) / 4,10$	0,06
4,28	4,10	$\Delta P = (4,28 - 4,10) / 4,10$	0,04
4,33	4,10	$\Delta P = (4,33 - 4,10) / 4,10$	0,06
4,74	4,10	$\Delta P = (4,74 - 4,10) / 4,10$	0,16

En esta gráfica se observa que la pendiente que hay entre las cuadrículas 1x1 considerada como la ideal hasta la cuadrícula 8x8 presenta una variación de 0.06% que no es significativa, desde allí y hasta la cuadrícula 10x10 la pendiente sufre una pequeña variación de 0.16%.

Tabla 7. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Nivel de precisión II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,74
20X20	3,34
40X40	2,50

Figura 4. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Nivel de precisión II Parte

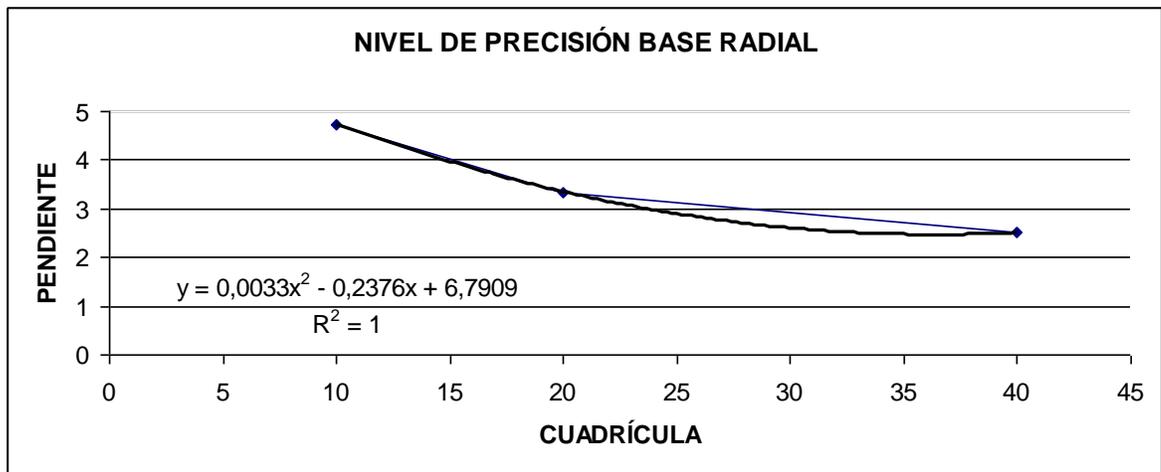


Tabla 8. Determinación Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,74	4,10	$\Delta P = (4,74 - 4,10) / 4,10$	0,16
3,34	4,10	$\Delta P = (3,34 - 4,10) / 4,10$	-0,19
2,50	4,10	$\Delta P = (2,50 - 4,10) / 4,10$	-0,39

En esta gráfica se puede observar que en la cuadrícula 10x10 el error en la pendiente comparada con la cuadrícula 1x1 considerada como la ideal es de 0.16%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de -0.19%, y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error en pendiente es de -0.39%.

INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 9. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-NI 007 I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,18
2X2X	4,42
4X4	4,36
5X5	4,21
8X8	4,38
10X10	4,83

Figura 5. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-NI 007 I Parte

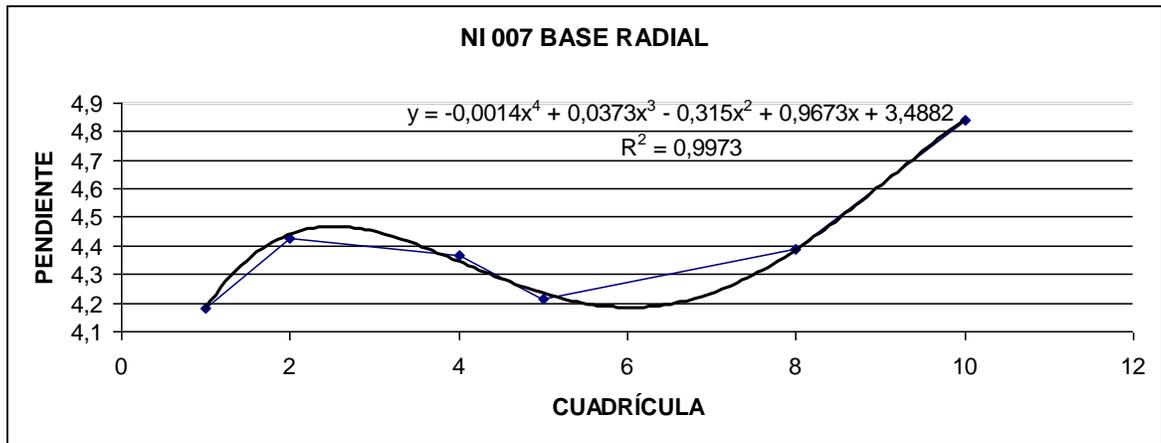


Tabla 10. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,18	4,18	$\Delta P = (4,18 - 4,18) / 4,18$	0
4,43	4,18	$\Delta P = (4,43 - 4,18) / 4,18$	0,06
4,36	4,18	$\Delta P = (4,36 - 4,18) / 4,18$	0,04
4,22	4,18	$\Delta P = (4,22 - 4,18) / 4,18$	0,01
4,39	4,18	$\Delta P = (4,39 - 4,18) / 4,18$	0,05
4,84	4,18	$\Delta P = (4,84 - 4,18) / 4,18$	0,16

En esta gráfica se puede observar que el comportamiento de la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como la ideal, hasta la cuadrícula 8x8 con un error de 0.05% no sufre cambios significativos, desde allí hasta la cuadrícula 10x10 la pendiente tiene un comportamiento de forma ascendente de 0.16%

Tabla 11. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-NI 007 II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,83
20X20	3,45
40X40	2,45

Figura 6. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-NI 007 II Parte

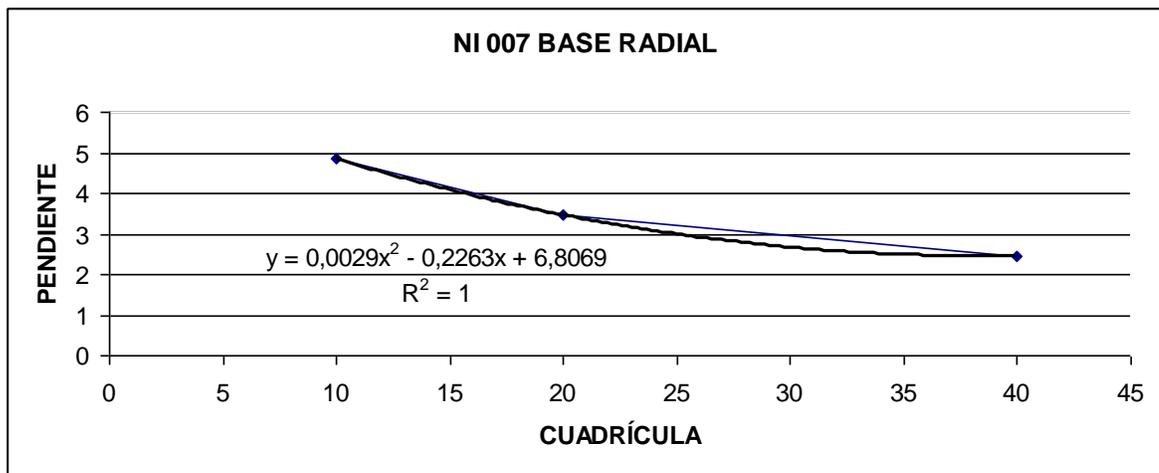


Tabla 12. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,84	4,18	$\Delta P=(4,84-4,18)/4,18$	0,16
3,46	4,18	$\Delta P=(3,46-4,18)/4,18$	-0,17
2,45	4,18	$\Delta P=(2,45-4,18)/4,18$	-0,41

En esta gráfica observamos que en la cuadrícula 10x10 el error de la pendiente comparada con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.16% mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de -0.17%, y finalmente en la cuadrícula de 40x40 el error de la pendiente es de -0.41% y se considera muy significativo.

INSTRUMENTO:

TRANSITO

Tabla 13. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Transito I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,10
2X2	4,60
4X4	4,32
5X5	4,31
8X8	4,29
10X10	4,72

Figura 7. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Transito I Parte

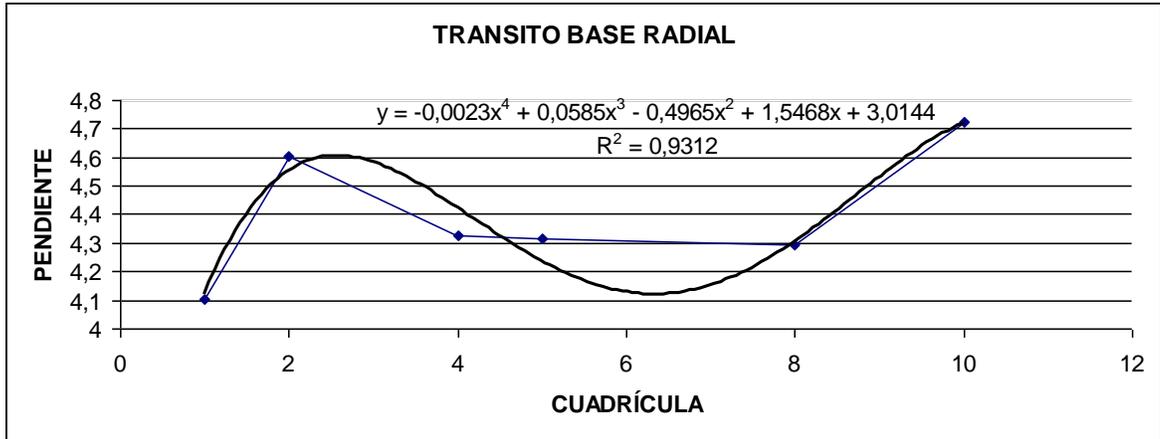


Tabla 14. Determinación del Δ Pendiente

P. MEDIDA	P. IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,10	4,10	$\Delta P = (4,10 - 4,10) / 4,10$	0
4,60	4,10	$\Delta P = (4,60 - 4,10) / 4,10$	0,12
4,33	4,10	$\Delta P = (4,33 - 4,10) / 4,10$	0,06
4,31	4,10	$\Delta P = (4,31 - 4,10) / 4,10$	0,05
4,29	4,10	$\Delta P = (4,29 - 4,10) / 4,10$	0,05
4,72	4,10	$\Delta P = (4,72 - 4,10) / 4,10$	0,15

En esta gráfica podemos observar que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como ideal hasta la cuadrícula 4x4 presenta un error de 0.06% que no es muy significativo, desde allí hasta la cuadrícula 8x8 la pendiente tiene un comportamiento muy similar, posteriormente en la cuadrícula 10x10 la pendiente tiene un aumento de 0.15%.

Tabla 15. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Transito II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,72
20X20	3,27
40X40	2,40

Figura 8. Relación Cuadrícula-Pendiente, Base Radial-Transito II Parte

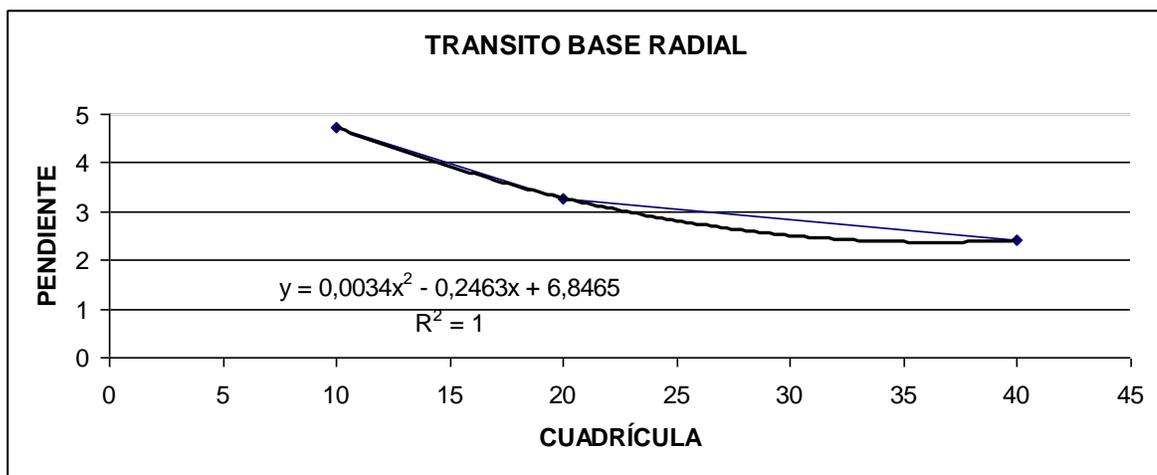


Tabla 16. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,72	4,10	$\Delta P = (4,72 - 4,10) / 4,10$	0,15
3,27	4,10	$\Delta P = (3,27 - 4,10) / 4,10$	-0,20
2,40	4,10	$\Delta P = (2,40 - 4,10) / 4,10$	-0,41

En esta gráfica se puede observar que en la cuadrícula 10x10 el error en la pendiente comparada con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.15%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de -0.20%, y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error en pendiente es de -0.41% esto significa que el error se ha incrementado considerablemente.

5.2 TIN

INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 17. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Estación Total I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,14
2X2	4,24
4X4	4,41
5X5	4,46
8X8	4,53
10X10	5,05

Figura 9. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Estación Total I Parte

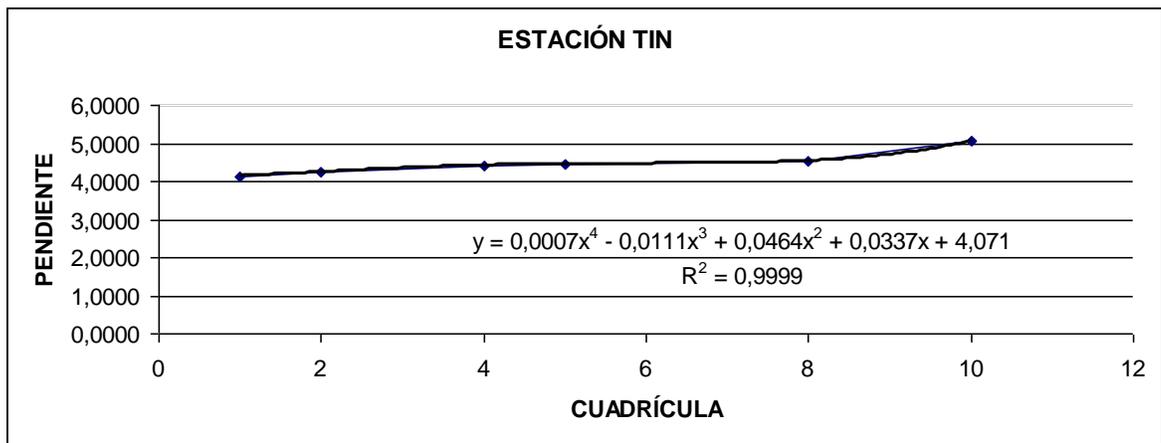


Tabla 18. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,14	4,14	$\Delta P = (4,14 - 4,14) / 4,14$	0
4,25	4,14	$\Delta P = (4,25 - 4,14) / 4,14$	0,03
4,42	4,14	$\Delta P = (4,42 - 4,14) / 4,14$	0,07
4,46	4,14	$\Delta P = (4,46 - 4,14) / 4,14$	0,08
4,54	4,14	$\Delta P = (4,54 - 4,14) / 4,14$	0,10
5,06	4,14	$\Delta P = (5,06 - 4,14) / 4,14$	0,22

En esta gráfica se puede observar que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como ideal hasta la cuadrícula 2X2 tiene un comportamiento muy similar, posteriormente hasta la cuadrícula 8x8 la pendiente tiene un aumento de 0.10%, desde allí hasta la cuadrícula 10x10 tiene un aumento de 0.22%.

Tabla 19. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Estación Total II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	5,05
20X20	3,51
40X40	2,36

Figura 10. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Estación Total II Parte

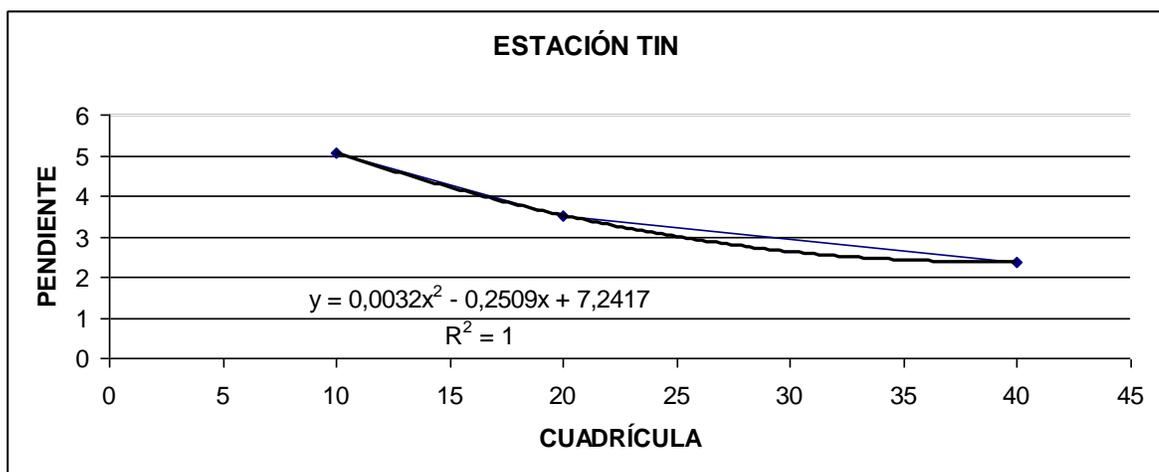


Tabla 20. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
5,06	4,14	$\Delta P = (5,06 - 4,14) / 4,14$	0,22
3,51	4,14	$\Delta P = (3,51 - 4,14) / 4,14$	-0,15
2,37	4,14	$\Delta P = (2,37 - 4,14) / 4,14$	-0,43

En esta gráfica se puede observar que en la cuadrícula 10x10 el error en la pendiente comparado con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.22%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de de -0.15%, y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error en pendiente es de -0.43%.

INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISIÓN

Tabla 21. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Nivel de Precisión I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,14
2X2	4,33
4X4	4,45
5X5	4,37
8X8	4,62
10X10	5,03

Figura 11. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Nivel de Precisión I Parte

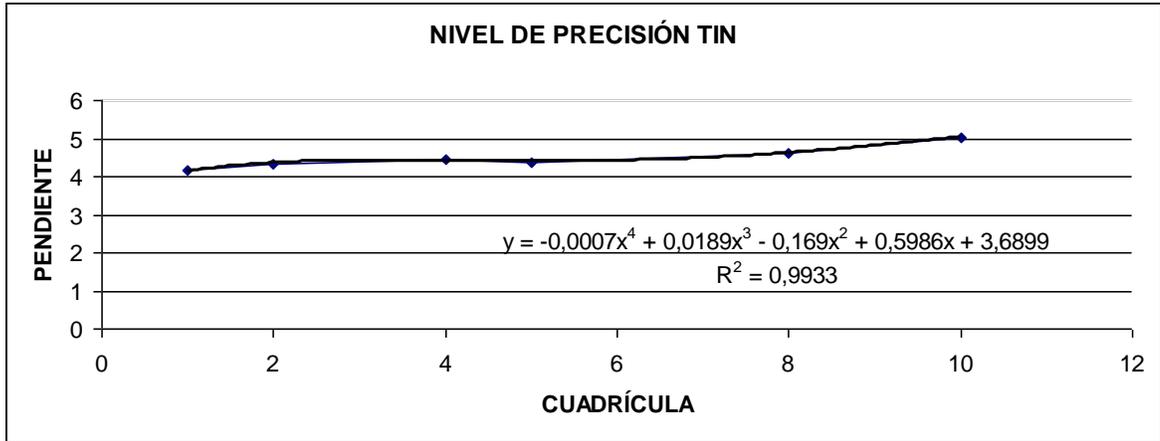


Tabla 22. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,15	4,15	$\Delta P = (4,15 - 4,15) / 4,15$	0
4,33	4,15	$\Delta P = (4,33 - 4,15) / 4,15$	0,04
4,46	4,15	$\Delta P = (4,46 - 4,15) / 4,15$	0,08
4,37	4,15	$\Delta P = (4,37 - 4,15) / 4,15$	0,05
4,62	4,15	$\Delta P = (4,62 - 4,15) / 4,15$	0,12
5,03	4,15	$\Delta P = (5,03 - 4,15) / 4,15$	0,21

En esta gráfica se puede observar que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como ideal hasta la cuadrícula 5x5 tiene un comportamiento muy similar, posteriormente la cuadrícula 8x8 la pendiente tiene un aumento de 0.12%, desde allí hasta la cuadrícula 10x10 la pendiente tienen un aumento de 0.21%.

Tabla 23. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Nivel de Precisión II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	5,03
20X20	3,64
40X40	2,32

Figura 12. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Nivel de Precisión II Parte

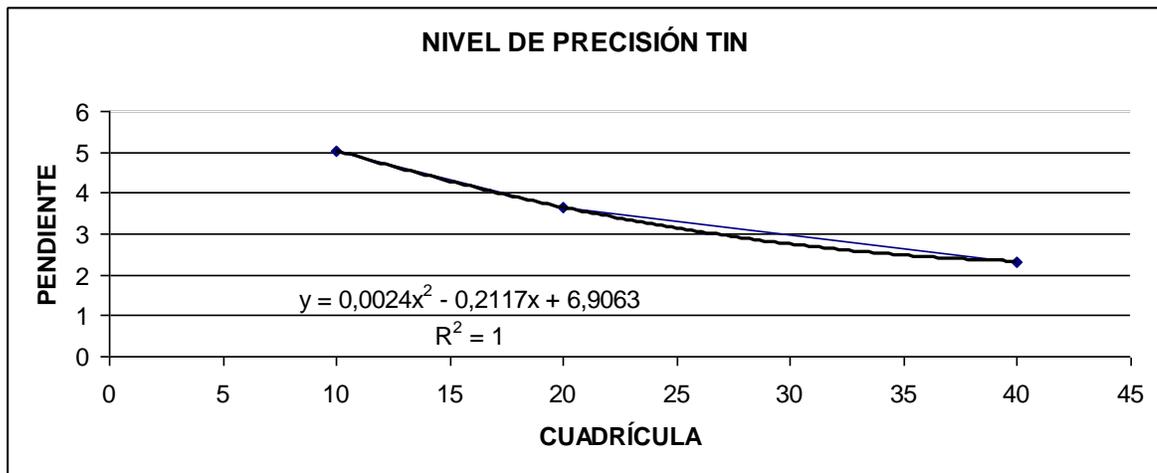


Tabla 24. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
5,03	4,15	$\Delta P = (5,03 - 4,15) / 4,15$	0,21
3,64	4,15	$\Delta P = (3,64 - 4,15) / 4,15$	-0,12
2,32	4,15	$\Delta P = (2,32 - 4,15) / 4,15$	-0,44

En esta gráfica se observa que en la cuadrícula 10x10 el error en pendiente comparado con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.21%, mientras que el error en la cuadrícula 20x20 es de -0.12% y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error es de -0.44%.

INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 25. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin- NI 007 I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,20
2X2	4,27
4X4	4,52
5X5	4,28
8X8	4,73
10X10	5,10

Figura 13. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-NI 007 I Parte

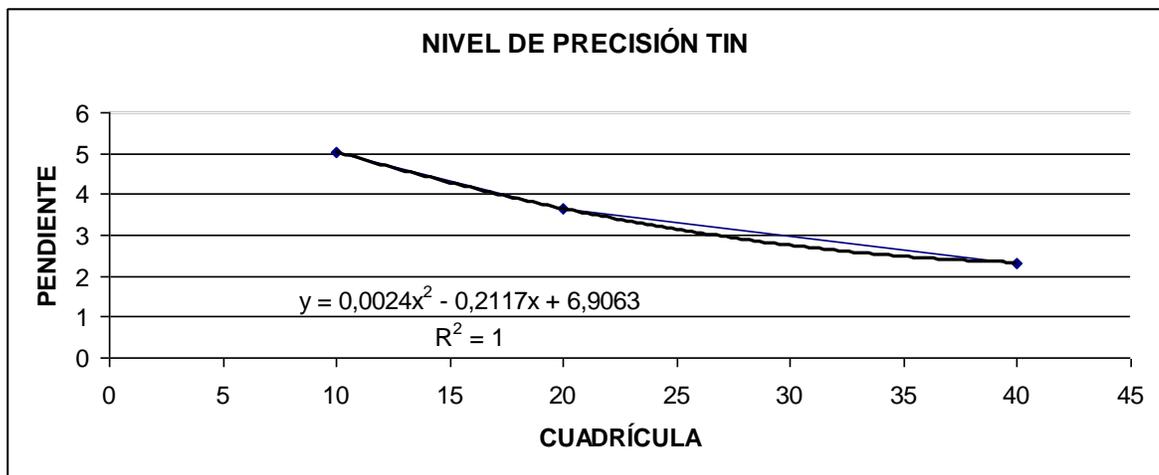


Tabla 26. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,20	4,20	$\Delta P = (4,20 - 4,20) / 4,20$	0
4,27	4,20	$\Delta P = (4,27 - 4,20) / 4,20$	0,02
4,52	4,20	$\Delta P = (4,52 - 4,20) / 4,20$	0,08
4,28	4,20	$\Delta P = (4,28 - 4,20) / 4,20$	0,02
4,73	4,20	$\Delta P = (4,73 - 4,20) / 4,20$	0,13
5,10	4,20	$\Delta P = (5,10 - 4,20) / 4,20$	0,22

En esta gráfica se puede observar que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como ideal hasta la cuadrícula 5x5 tiene un comportamiento muy similar, posteriormente hasta la cuadrícula 8x8 la pendiente tiene un aumento de 0.13%, y finalmente en la cuadrícula 10x10 la pendiente aumenta 0.22%.

Tabla 27. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin- NI 007 II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	5,10
20X20	3,72
40X40	2,42

Figura 14. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-NI 007 I Parte

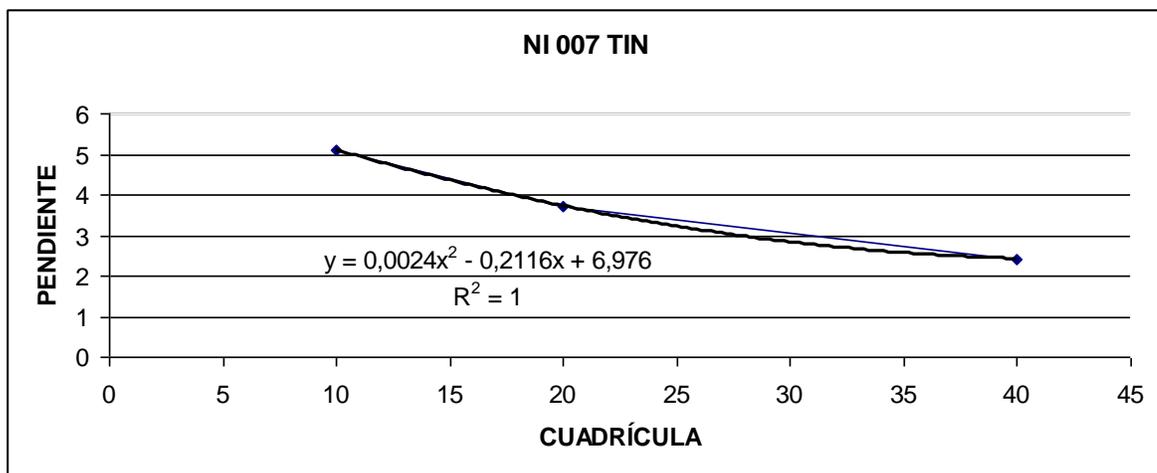


Tabla 28. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
5,10	4,20	$\Delta P = (5,10 - 4,20) / 4,20$	0,22
3,72	4,20	$\Delta P = (3,72 - 4,20) / 4,20$	-0,11
2,42	4,20	$\Delta P = (2,42 - 4,20) / 4,20$	-0,42

En esta gráfica se observa que en la cuadrícula 10x10 el error en pendiente comparado con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.22%, mientras que el error en la cuadrícula 20x20 es de -0.11% y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error es de -0.42%.

INSTRUMENTO:

TRANSITO

Tabla 29. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin- Transito I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,15
2X2	4,35
4X4	4,48
5X5	4,32
8X8	4,61
10X10	5,14

Figura 15. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Transito I Parte

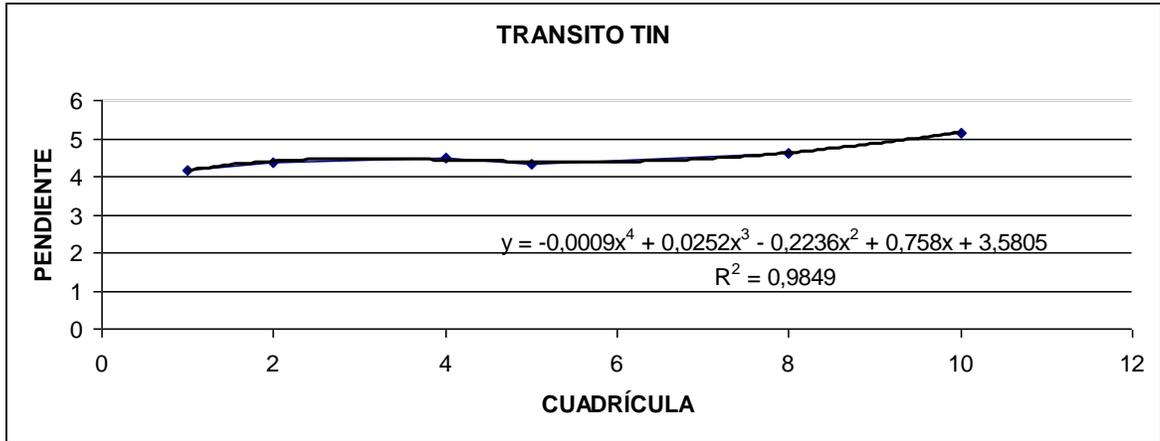


Tabla 30. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM-PI) / PI$	ΔP
4,15	4,15	$\Delta P = (4,15-4,15)/4,15$	0
4,36	4,15	$\Delta P = (4,36-4,15)/4,15$	0,05
4,49	4,15	$\Delta P = (4,49-4,15)/4,15$	0,08
4,32	4,15	$\Delta P = (4,32-4,15)/4,15$	0,04
4,62	4,15	$\Delta P = (4,62-4,15)/4,15$	0,11
5,14	4,15	$\Delta P = (5,14-4,15)/4,15$	0,24

En esta gráfica se puede observar que la pendiente entre las cuadrículas 1x1 considerada como ideal hasta la cuadrícula 5x5 tiene un comportamiento muy similar, desde allí hasta la cuadrícula 8x8 la pendiente tiene un aumento de 0.11%, pero este no se considera significativo y finalmente en la cuadrícula 10x10 la pendiente aumenta 0.24%.

Tabla 31. Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin- Transito II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	5,14
20X20	3,85
40X40	2,30

Figura 16.Relación Cuadrícula-Pendiente, Tin-Transito II Parte

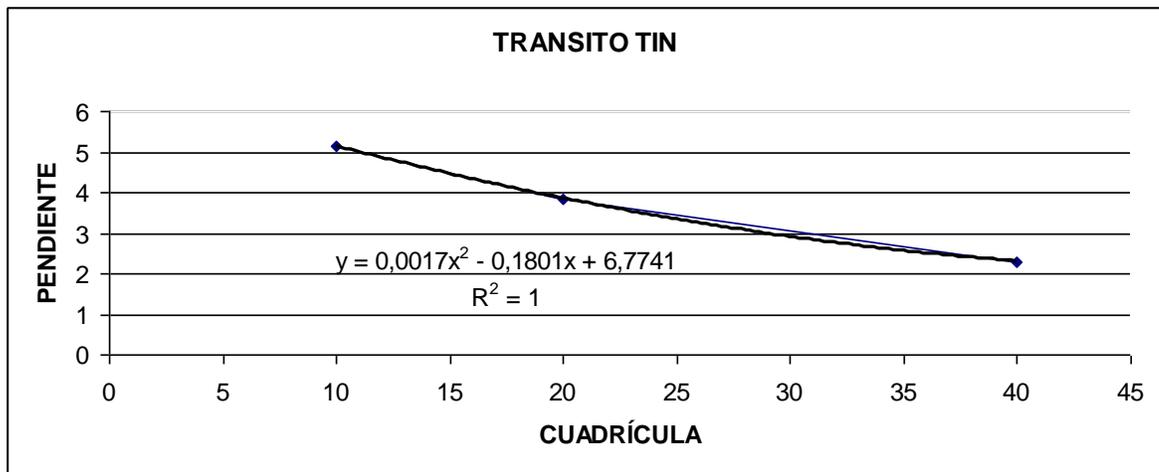


Tabla 32. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM-PI) / PI$	ΔP
5,14	4,15	$\Delta P = (5,14 - 4,15) / 4,15$	0,24
3,85	4,15	$\Delta P = (3,85 - 4,15) / 4,15$	-0,07
2,30	4,15	$\Delta P = (2,30 - 4,15) / 4,15$	-0,45

En esta gráfica se puede observar que en la cuadrícula 10x10 el error en pendiente comparado con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de 0.24%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de de -0.07%, y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error en pendiente es de -0.45%.

5.3 KRIGING

INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 33. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Estación Total I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,84
2X2	3,53
4X4	3,59
5X5	3,60
8X8	4,17
10X10	3,53

Figura 17. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Estación Total I Parte

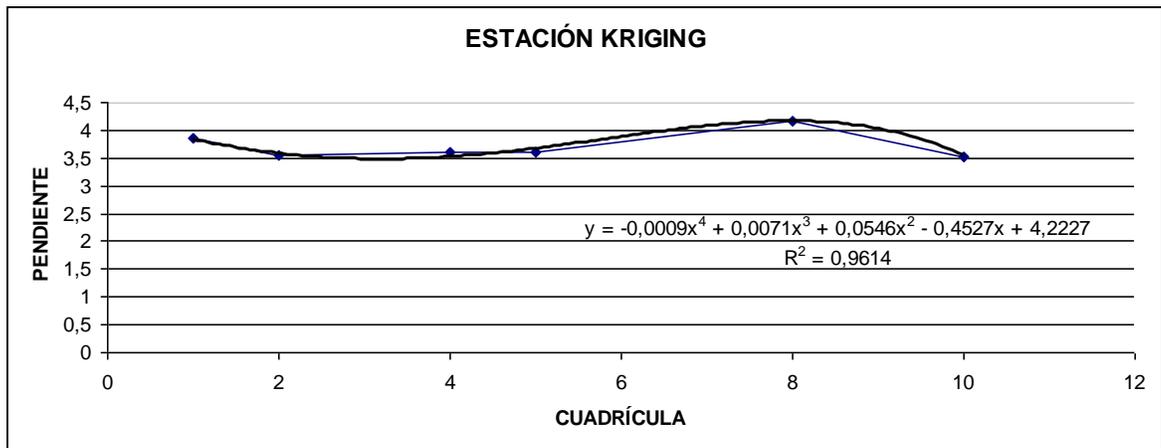


Tabla 34. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,84	3,85	$(3,85 - 3,85) / 3,85$	0,00
3,53	3,85	$(3,54 - 3,85) / 3,85$	-0,08
3,59	3,85	$(3,59 - 3,85) / 3,85$	-0,07
3,60	3,85	$(3,60 - 3,85) / 3,85$	-0,06
4,17	3,85	$(4,17 - 3,85) / 3,85$	0,08
3,53	3,85	$(3,53 - 3,85) / 3,85$	-0,08

En esta gráfica se puede observar que entre la cuadrícula 1x1 considerada como ideal y la cuadrícula 5x5 el error en la pendiente es de -0.06%, desde allí hasta la cuadrícula 8x8 el error es de 0.08% y finalmente en la cuadrícula 10x10 el error en pendiente es de -0.08%.

Tabla 35. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Estación Total II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	3,53
20X20	3,13
40X40	2,54

Figura 18. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Estación Total II Parte

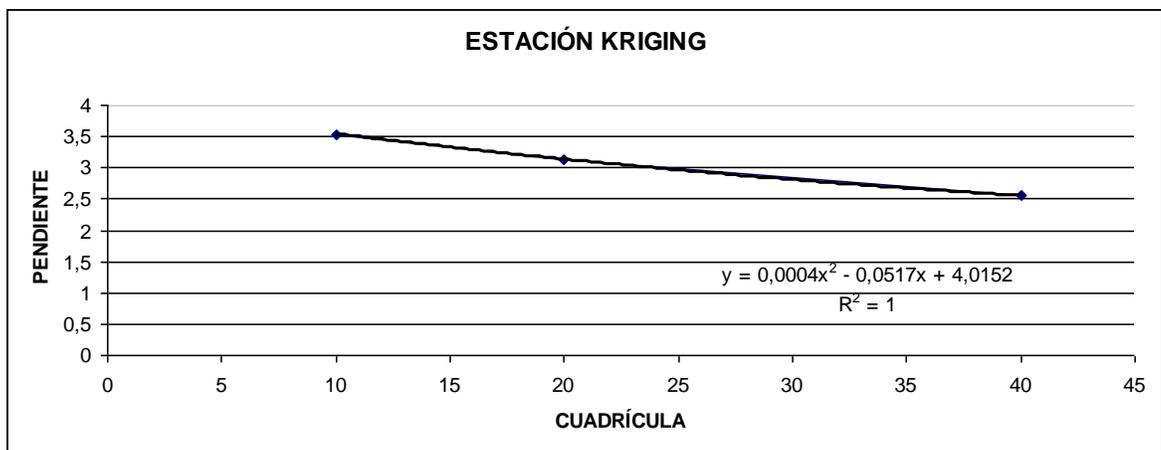


Tabla 36. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
3,53	3,85	$(3,53-3,85)/3,85$	-0,08
3,13	3,85	$(3,13-3,85)/3,85$	-0,19
2,54	3,85	$(2,54-3,85)/3,85$	-0,34

En esta gráfica se puede observar que en la cuadrícula 10x10 el error en la pendiente comparada con la cuadrícula 1x1 considerada como ideal es de -0.08%, mientras que el error en la cuadrícula de 20x20 es de -0.18%, y finalmente en la cuadrícula 40x40 el error en pendiente es de -0.33%.

INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISIÓN

Tabla 37. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Nivel de precisión I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	4,18
2X2	3,39
4X4	3,74
5X5	3,92
8X8	3,95
10X10	4,57

Figura 19. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Nivel de precisión I Parte

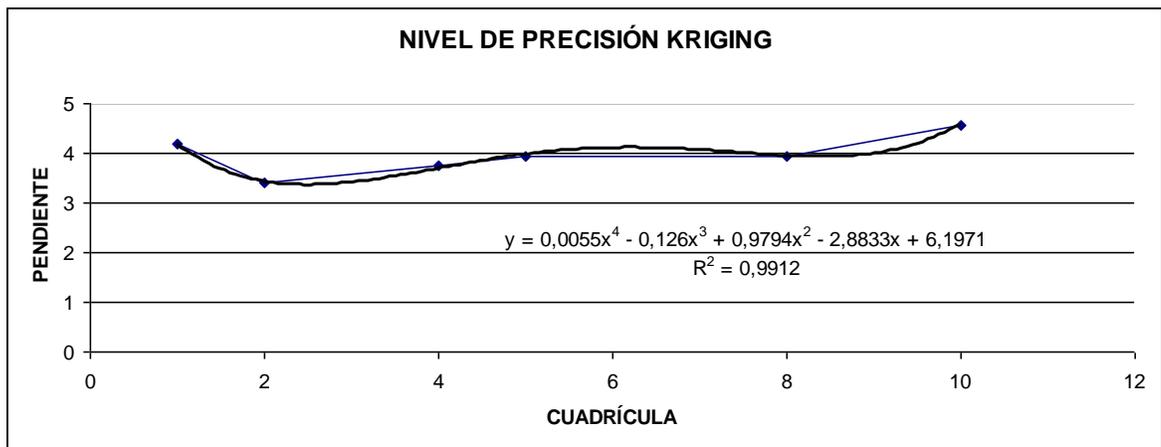


Tabla 38. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,18	4,18	$(4,18-4,18)/4,18$	0,00
3,39	4,18	$(3,39-4,18)/4,18$	-0,19
3,74	4,18	$(3,74-4,18)/4,18$	-0,11
3,92	4,18	$(3,92-4,18)/4,18$	-0,06
3,95	4,18	$(3,95-4,18)/4,18$	-0,06
4,57	4,18	$(4,57-4,18)/4,18$	0,09

En esta gráfica se puede observar que entre la cuadrícula 1x1 considerada como ideal y la cuadrícula 8x8 el error en la pendiente es de -0.06%, desde allí hasta la cuadrícula 10x10 el error es de 0.09%

Tabla 39. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Nivel de precisión II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,57
20X20	3,13
40X40	2,54

Figura 20. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Nivel de precisión II Parte

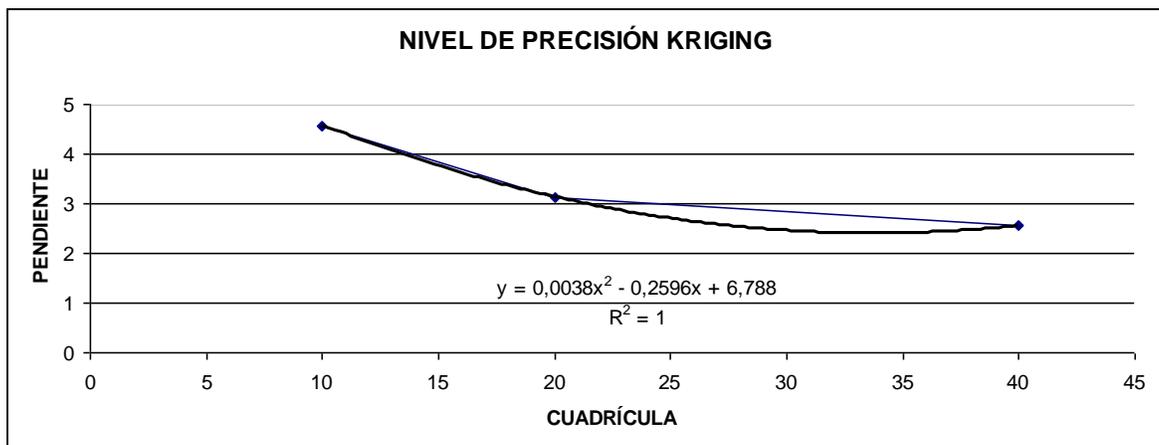


Tabla 40. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,57	4,18	$(4,57-4,18)/4,18$	0,09
3,13	4,18	$(3,13-4,18)/4,18$	-0,25
2,54	4,18	$(2,54-4,18)/4,18$	-0,39

En esta gráfica se puede analizar como el error en la pendiente va aumentando con signo negativo respecto a la cuadrícula de 1x1 considerada como la ideal, en la cuadrícula de 10x10 este es del 0.09%, en la cuadrícula de 20x20 es del -0.25% y finalmente la cuadrícula de 40x40 el error es del -0.39%

INSTRUMENTO:

NI 007

Tabla 41. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- NI 007 I Parte

CUADRICULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,48
2X2	3,69
4X4	3,63
5X5	3,94
8X8	3,96
10X10	4,58

Figura 21. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- NI 007 I Parte

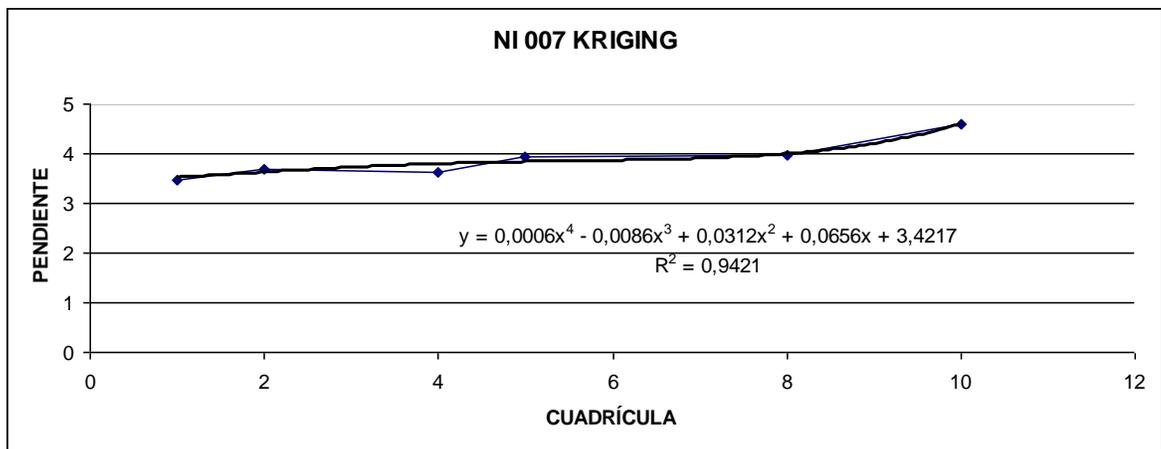


Tabla 42. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,48	3,48	$(3,48 - 3,48) / 3,48$	0,00
3,69	3,48	$(3,69 - 3,48) / 3,48$	0,06
3,63	3,48	$(3,63 - 3,48) / 3,48$	0,04
3,94	3,48	$(3,94 - 3,48) / 3,48$	0,13
3,96	3,48	$(3,96 - 3,48) / 3,48$	0,14
4,58	3,48	$(4,58 - 3,48) / 3,48$	0,32

En esta gráfica se puede observar como la pendiente se comporta de manera uniforme y el error en la pendiente no es tan alto por lo tanto no se considera, excepto en la cuadrícula de 10x10 donde el error es del 0.32% respecto a la cuadrícula de 1x1.

Tabla 43. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- NI 007 II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,58
20X20	3,41
40X40	2,61

Figura 22. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- NI 007 II Parte

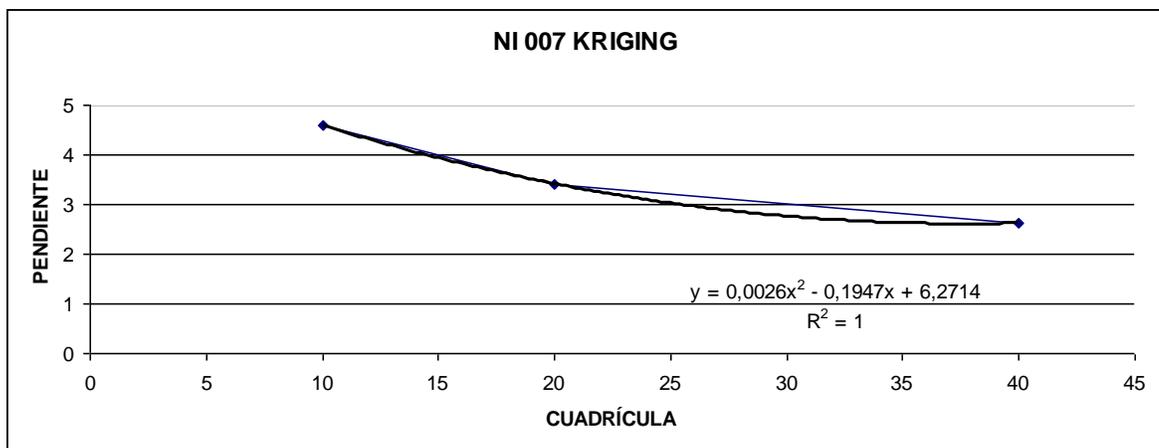


Tabla 44. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
4,58	3,48	$(4,58 - 3,48) / 3,48$	0,32
3,41	3,48	$(3,41 - 3,48) / 3,48$	-0,02
2,61	3,48	$(2,61 - 3,48) / 3,48$	-0,25

En esta gráfica se puede observar como los errores en la pendiente son considerables en las cuadrículas de 10x10 y 40x40, comparada con la cuadrícula ideal de 1x1.

El error en la cuadrícula de 10x10 es del 0.32% y el Δ pendiente en la cuadrícula de 40x40 es del -0.25%.

INSTRUMENTO:

TRANSITO

Tabla 45. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Transito I Parte

CUADRICULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,72
2X2	3,65
4X4	3,75
5X5	3,61
8X8	4,08
10X10	3,52

Figura 23. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Transito I Parte

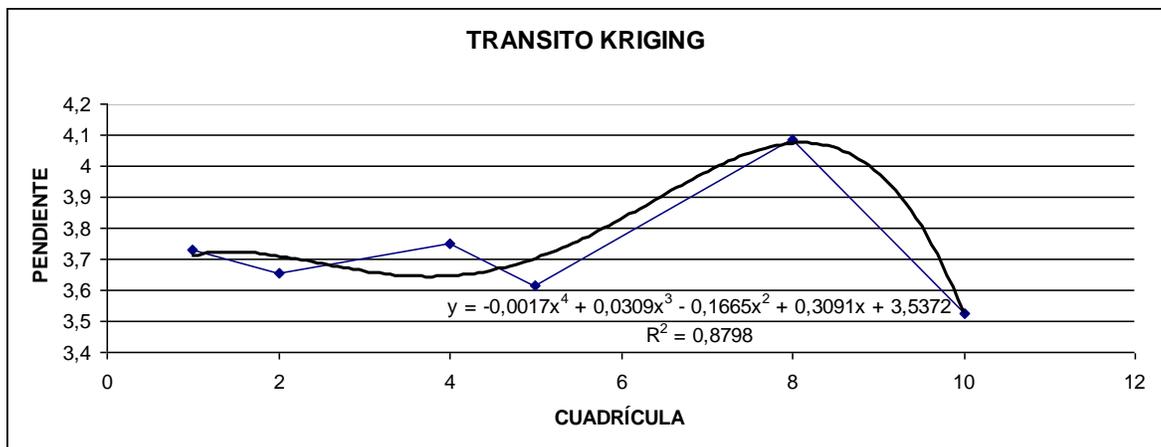


Tabla 46. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,72	3,72	$(3,72 - 3,72) / 3,72$	0,00
3,65	3,72	$(3,65 - 3,72) / 3,72$	-0,02
3,75	3,72	$(3,75 - 3,72) / 3,72$	0,01
3,61	3,72	$(3,61 - 3,72) / 3,72$	-0,03
4,08	3,72	$(4,08 - 3,72) / 3,72$	0,10
3,52	3,72	$(4,52 - 3,72) / 3,72$	-0,05

En esta gráfica se puede observar como las pendientes se comportan de forma uniforme y los errores en la pendiente no son considerables en ninguno de los casos. Ya que el rango que hay entre el error máximo y la cuadrícula de 1x1 es del 0.10%.

Tabla 47. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Transito II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	3,52
20X20	3,44
40X40	2,61

Figura 24. Relación Cuadrícula-Pendiente, Kriging- Transito II Parte

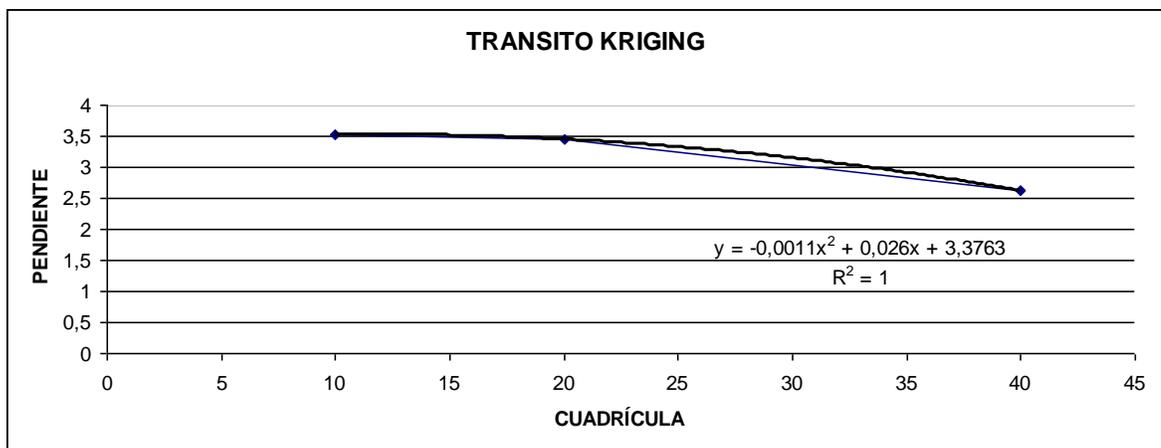


Tabla 48. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
3,52	3,72	$(4,52-3,72)/3,72$	-0,05
3,44	3,72	$(3,44-3,72)/3,72$	-0,08
2,61	3,72	$(2,61-3,72)/3,72$	-0,30

En esta gráfica se puede observar como las pendientes se comportan de manera uniforme y el error en la pendiente solo es considerable en la cuadrícula de 40x40 respecto a la cuadrícula de 1x1 pues esta es del -0.30%.

5.4 IDW

INSTRUMENTO:

ESTACIÓN TOTAL

Tabla 49. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Estación Total I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,86
2X2	3,50
4X4	3,65
5X5	3,62
8X8	4,10
10X10	3,50

Figura 25. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Estación Total I Parte

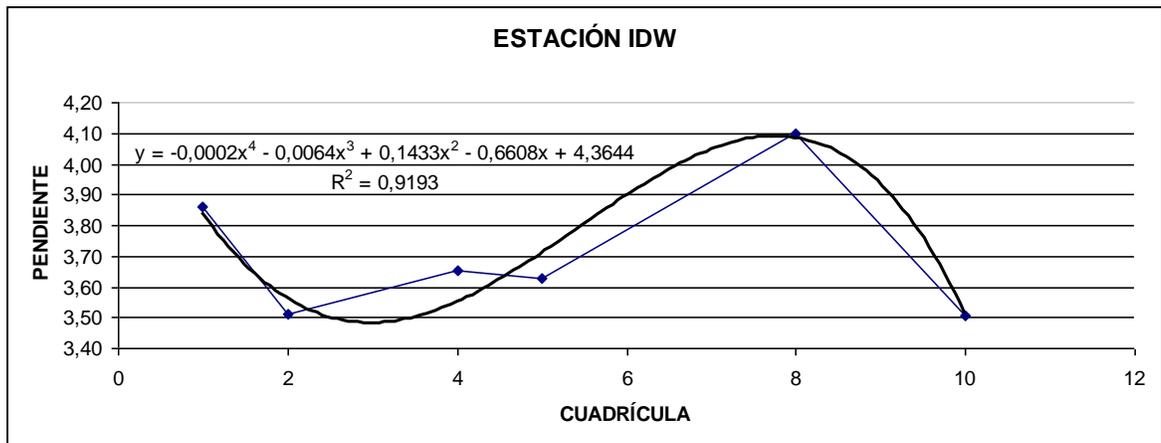


Tabla 50. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,86	3,86	$(3,86 - 3,86) / 3,86$	0,00
3,50	3,86	$(3,50 - 3,86) / 3,86$	-0,09
3,65	3,86	$(3,65 - 3,86) / 3,86$	-0,05
3,62	3,86	$(3,62 - 3,86) / 3,86$	-0,06
4,10	3,86	$(4,10 - 3,86) / 3,86$	0,06
3,50	3,86	$(3,50 - 3,86) / 3,86$	-0,09

En esta gráfica se puede observar como las pendientes se comportan de manera uniforme, mientras que el error en la pendiente no es considerable en ninguna de las cuadrículas ya que el rango entre la cuadrícula de 1x1 y la cuadrícula 10x10 el error máximo es del -0.09%.

Tabla 51. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Estación Total II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	3,50
20X20	3,10
40X40	2,50

Figura 50. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Estación Total II Parte

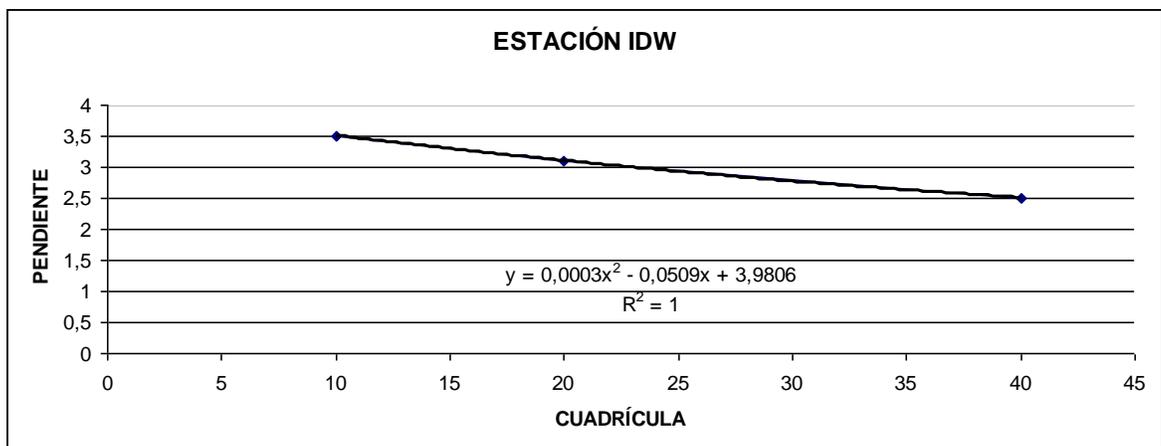


Tabla 52. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
3,50	3,86	$(3,50-3,86)/3,86$	-0,09
3,10	3,86	$(3,10-3,86)/3,86$	-0,20
2,50	3,86	$(2,50-3,86)/3,86$	-0,35

En esta gráfica se puede observar como las pendientes se comportan de manera descendente mientras que el error de la pendiente aumenta con signo negativo y solo es considerable en las cuadrículas de 20x20, ya que el error es de -0.20% y en la de 40x40 el error es de -0.35% con respecto a la cuadrícula de 1x1 considerada como la ideal.

INSTRUMENTO:

NIVEL DE PRECISIÓN

Tabla 53. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Nivel de Precisión I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,90
2X2	3,42
4X4	3,70
5X5	3,88
8X8	4,00
10X10	4,50

Figura 27. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Nivel de Precisión I Parte

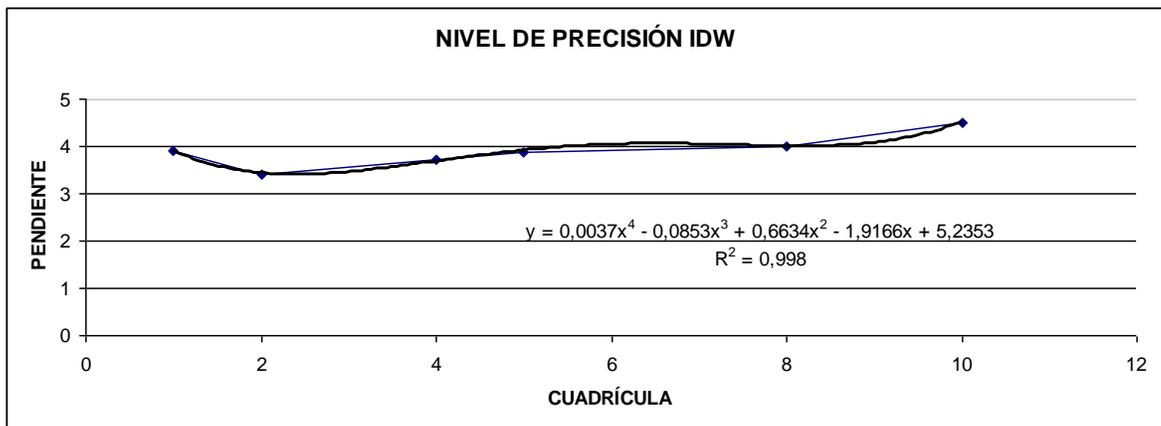


Tabla 54. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,90	3,90	$(3,90 - 3,90) / 3,90$	0,00
3,42	3,90	$(3,42 - 3,90) / 3,90$	-0,12
3,70	3,90	$(3,70 - 3,90) / 3,90$	-0,05
3,88	3,90	$(3,88 - 3,90) / 3,90$	-0,01
4,00	3,90	$(4,00 - 3,90) / 3,90$	0,03
4,50	3,90	$(4,50 - 3,90) / 3,90$	0,15

En esta gráfica se puede observar como la pendiente se comporta de manera uniforme hasta las cuadrícula de 8x8 donde comienza ascender, el error en la pendiente solo es considerable en las cuadrículas de 2x2 y 10x10 comparada con la cuadrícula de 1x1 considerada como la ideal, pues estos son del -0.12% y -0.15% respectivamente.

Tabla 55. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Nivel de Precisión II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,50
20X20	3,15
40X40	2,64

Figura 28. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- Nivel de Precisión II Parte

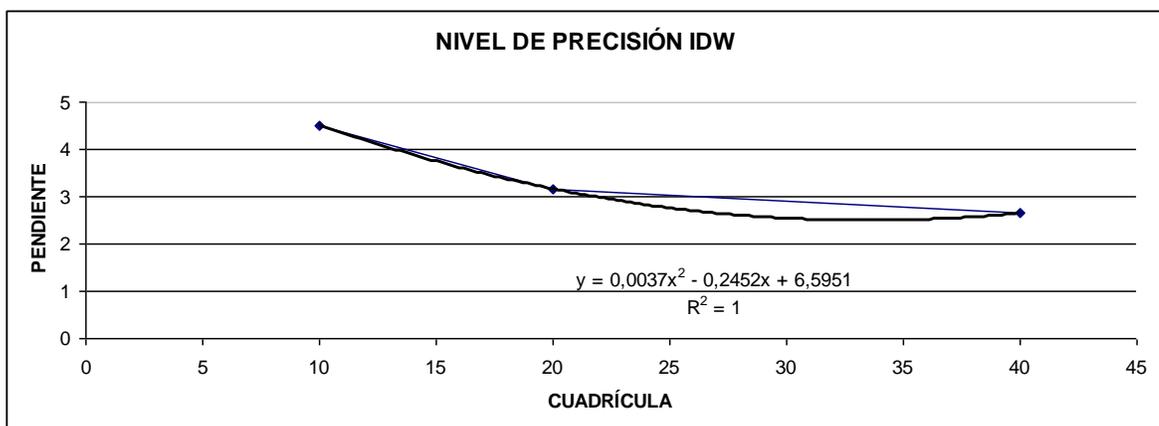


Tabla 56. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,50	3,90	$(4,50-3,90)/3,90$	0,15
3,15	3,90	$(3,15-3,90)/3,90$	-0,19
2,64	3,90	$(2,64-3,90)/3,90$	-0,32

En esta gráfica se puede observar como la pendiente se comporta de manera descendente mientras el error en la pendiente es bastante considerable en la cuadrícula de 40x40 respecto a la cuadrícula de 1x1 pues el Δ es del -0.32%.

INSTRUMENTO

NI 007

Tabla 57. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,85
2X2	3,58
4X4	3,58
5X5	3,90
8X8	4,25
10X10	4,60

Figura 29. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007I Parte

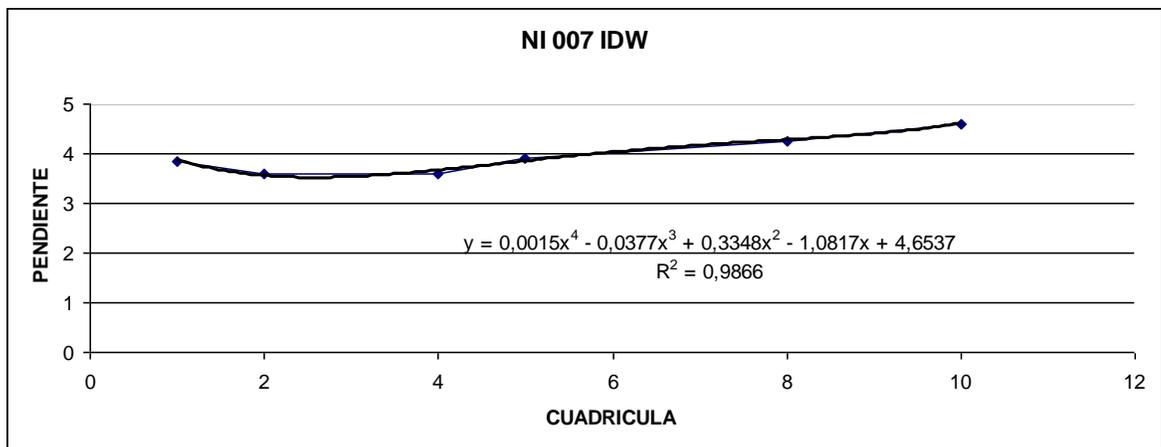


Tabla 58. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM-PI) / PI$	ΔP
3,85	3,85	$(3,85-3,85)/3,85$	0,00
3,58	3,85	$(3,58-3,85)/3,85$	-0,07
3,58	3,85	$(3,58-3,85)/3,85$	-0,07
3,90	3,85	$(3,90-3,85)/3,85$	0,01
4,25	3,85	$(4,25-3,85)/3,85$	0,10
4,60	3,85	$(4,60-3,85)/3,85$	0,19

En esta gráfica se puede observar como la pendiente comienza a comportarse de manera ascendente a partir de la cuadrícula de 5x5, mientras el error en la pendiente solo se considera para las cuadrículas de 8x8 pues es de 0.10% y en la de 10x10 es de 0.19% comparadas con la cuadrícula de 1x1 considerada libre de error.

Tabla 59. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	4,60
20X20	3,41
40X40	2,65

Figura 30. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007II Parte

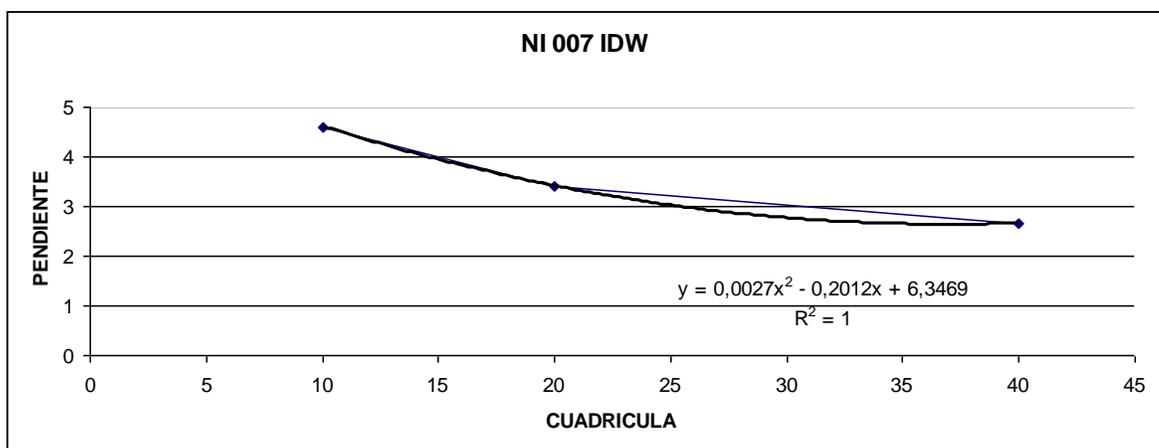


Tabla 60. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
4,60	3,85	$(4,60-3,85)/3,85$	0,19
3,41	3,85	$(3,41-3,85)/3,85$	-0,11
2,65	3,85	$(2,65-3,85)/3,85$	-0,31

En esta gráfica se puede observar como la pendiente se comporta de manera descendente mientras el error en la pendiente es bastante considerable en la cuadrícula de 40x40 comparada con la cuadrícula de 1x1 pues el error es del -0.31.

INSTRUMENTO:

TRANSITO

Tabla 61. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007I Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
1X1	3,75
2X2	3,60
4X4	3,70
5X5	3,59
8X8	3,89
10X10	3,60

Figura 31. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007I Parte

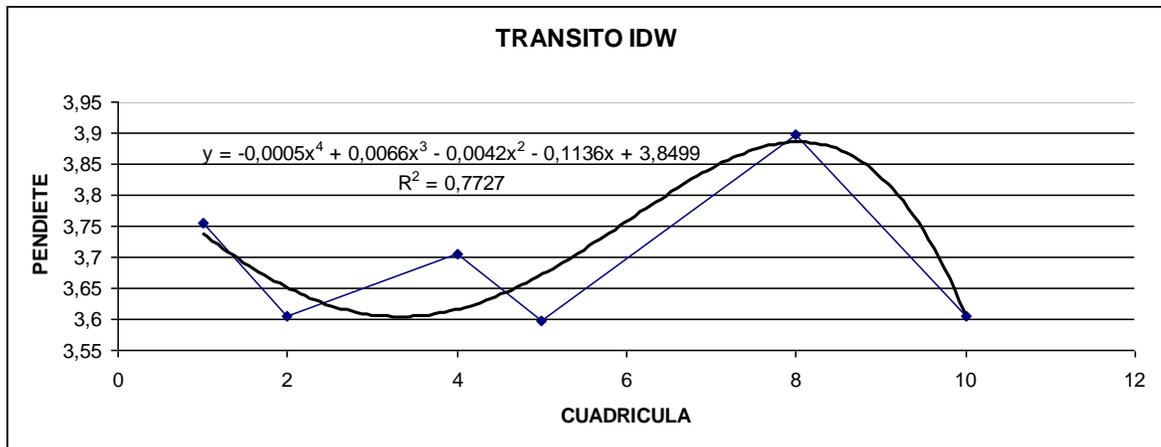


Tabla 62. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P = (PM - PI) / PI$	ΔP
3,75	3,75	$(3,75 - 3,75) / 3,75$	0,00
3,60	3,75	$(3,60 - 3,75) / 3,75$	-0,04
3,70	3,75	$(3,70 - 3,75) / 3,75$	-0,01
3,59	3,75	$(3,59 - 3,75) / 3,75$	-0,04
3,89	3,75	$(3,89 - 3,75) / 3,75$	0,04
3,60	3,75	$(3,60 - 3,75) / 3,75$	-0,04

En esta gráfica se puede observar como la pendiente se comporta de manera continua en todos los casos, mientras que el error de la pendiente no es considerable para ninguno de las cuadrículas ya que el rango entre la cuadrícula de 1x1 y el error máximo es del -0.04%.

Tabla 63. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007II Parte

CUADRÍCULA	PENDIENTE (%)
10X10	3,60
20X20	3,50
40X40	2,63

Figura 32. Relación Cuadrícula-Pendiente, IDW- NI 007II Parte

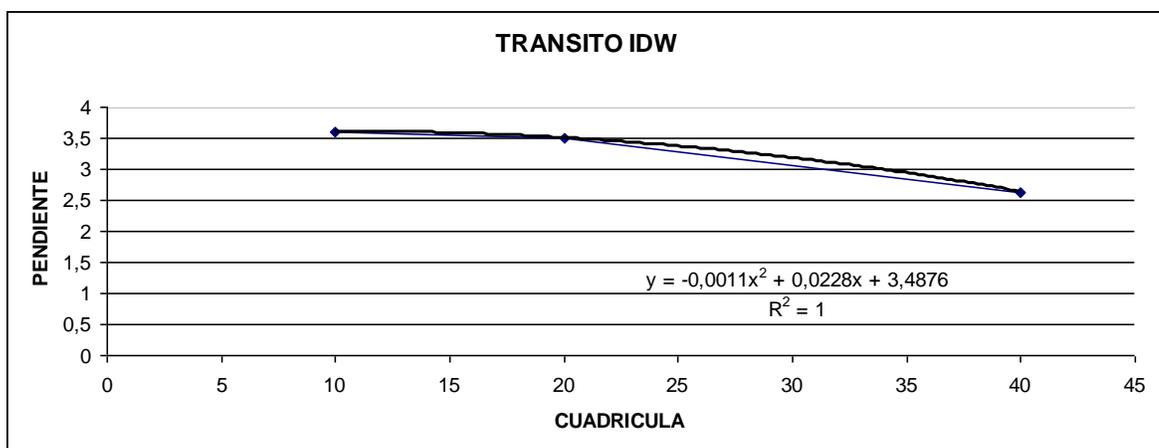


Tabla 64. Determinación del Δ Pendiente

P.MEDIDA	P.IDEAL	$\Delta P=(PM-PI) / PI$	ΔP
3,60	3,75	$(3,60-3,75)/3,75$	-0,04
3,50	3,75	$(3,50-3,75)/3,75$	-0,07
2,63	3,75	$(2,63-3,75)/3,75$	-0,30

En esta gráfica se observa como la pendiente se comporta de manera descendente mientras, que el error de la pendiente solo es considerable en la cuadrícula de 40x40 respecto a la cuadrícula ideal que es la del 1x1, ya que el Δ es del -0.30%.

5.5 OTRAS RELACIONES POR EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN TIN

Esta relación se realizó para demostrar que las gráficas de (pendiente-volumen, pendiente- Δ volumen, Δ pendiente- Δ volumen) no tienen un comportamiento óptimo.

Se utilizó el método de interpolación TIN, ya que este es uno de los más utilizados por los topógrafos en el mercado.

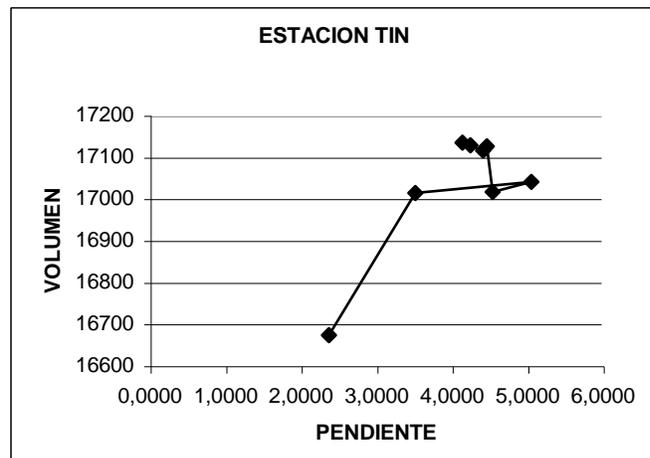
RELACIÓN PENDIENTE VOLUMEN

Relación Pendiente-Volumen, TIN-Estación Total

TABLA 65.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
4,14	17134,21
4,24	17127,9
4,41	17114,38
4,46	17124,86
4,53	17015,62
5,05	17039,82
3,51	17012,87
2,36	16672,24

FIGURA 33.

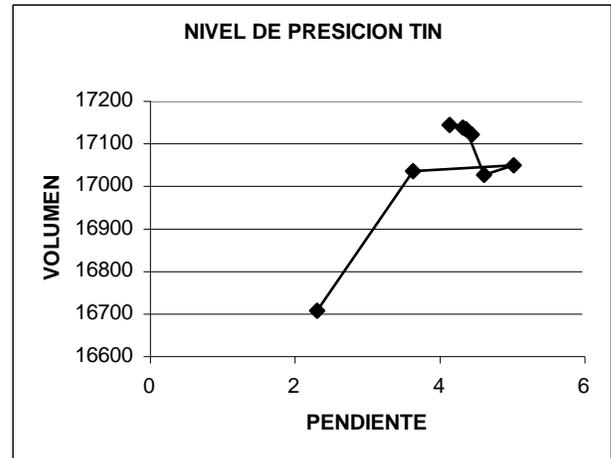


Relación Pendiente-Volumen, TIN-Nivel de Precisión

TABLA 66.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
4,14	17141,73
4,33	17134,85
4,45	17119,38
4,37	17131,15
4,62	17023,53
5,03	17046,05
3,64	17032,50
2,32	16705,40

FIGURA 34.

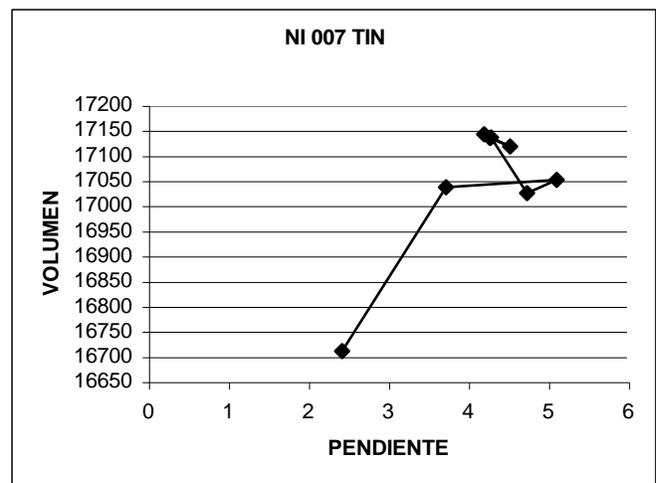


Relación Pendiente-Volumen, TIN-NI 007

TABLA 67.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
4,20	17141,54
4,27	17134,65
4,52	17118,07
4,28	17135,65
4,73	17025,06
5,10	17050,87
3,72	17036,43
2,42	16709,99

FIGURA 35.

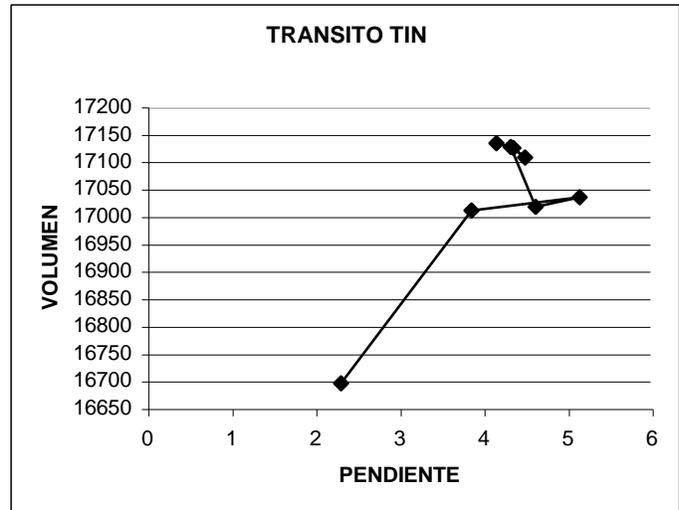


Relación Pendiente-Volumen, Transito

TABLA 68.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
4,15	17133,03
4,35	17124,25
4,48	17106,93
4,32	17126,20
4,61	17017,07
5,14	17034,96
3,85	17010,49
2,30	16695,20

FIGURA 36.



En las figuras 33, 34, 35 y 36 no se puede brindar una información concreta, ya que las gráficas nos muestran que no existe ninguna relación Pendiente-Volumen

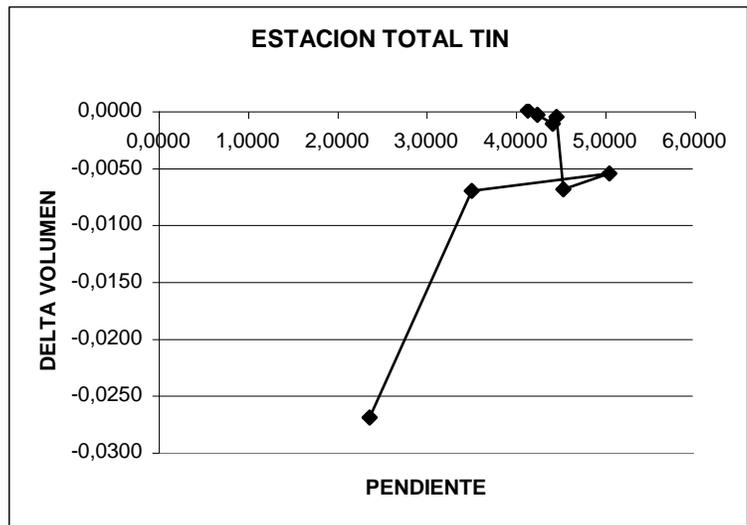
RELACIÓN PENDIENTE- Δ VOLUMEN

Relación Pendiente- Δ Volumen, Estación Total

TABLA 69.

PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
4,14	0,00
4,24	-0,00
4,41	-0,00
4,46	-0,00
4,53	-0,01
5,05	-0,01
3,51	-0,001
2,36	-0,02

FIGURA 37.

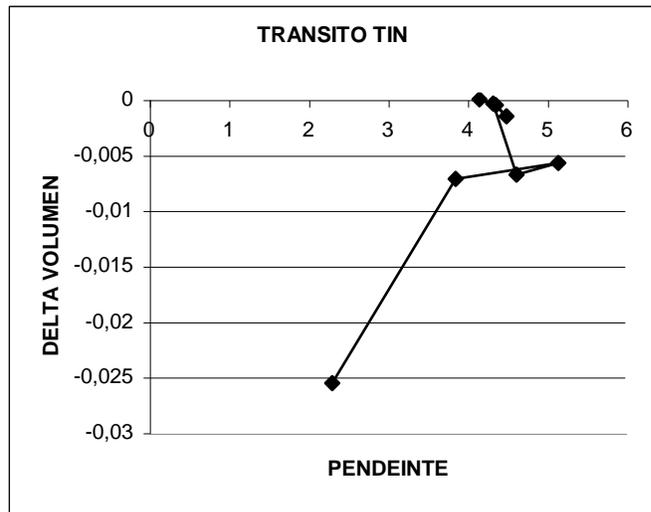


Relación Pendiente- Δ Volumen, Transito

TABLA 70.

PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
4,15	0
4,35	-0,00
4,48	-0,00
4,32	-0,00
4,61	-0,01
5,14	-0,01
3,85	-0,01
2,30	-0,02

FIGURA 38.

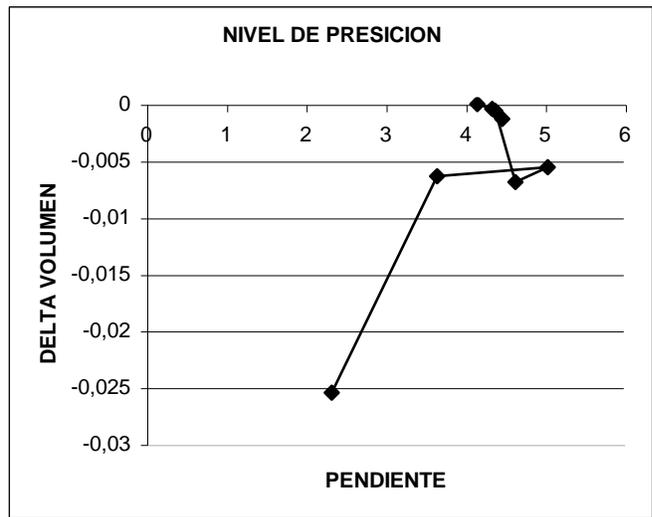


Relación Pendiente- Δ Volumen, Nivel de precisión

TABLA 71.

PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
4,14	0
4,33	-0,00
4,45	-0,00
4,37	-0,00
4,62	-0,01
5,03	-0,01
3,64	-0,01
2,32	-0,02

FIGURA 39.

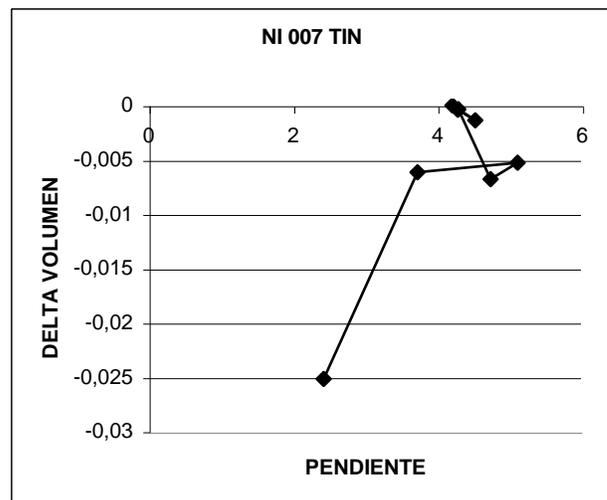


Relación Pendiente- Δ Volumen, NI 007

TABLA 72.

PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
4,20	0
4,27	-0,00
4,52	-0,00
4,28	-0,00
4,73	-0,01
5,10	-0,01
3,72	-0,01
2,42	-0,02

FIGURA 40.



En las figuras 37, 38, 39 y 40 la relación Pendiente- Δ Volumen no permite dar una información, ya que las gráficas tienen un comportamiento que no es el apropiado para este tipo de investigación.

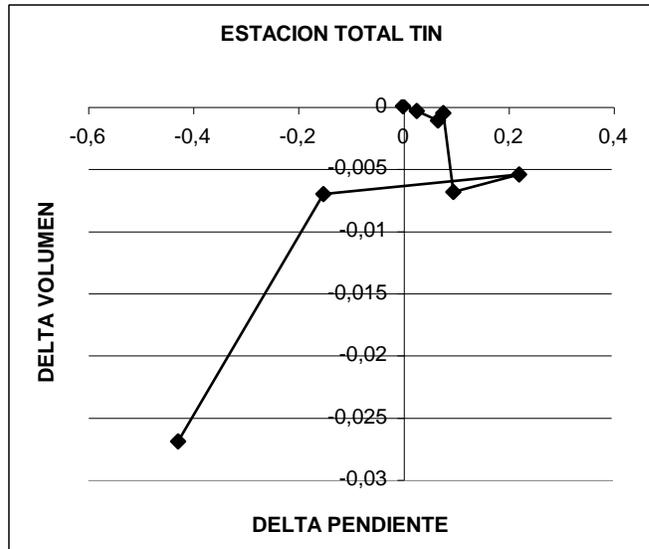
RELACIÓN Δ PENDIENTE - Δ VOLUMEN

Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Estación Total

TABLA 73.

Δ PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
0	0
0,02	-0,00
0,06	-0,00
0,07	-0,00
0,09	-0,01
0,22	-0,01
-0,15	-0,01
-0,42	-0,02

FIGURA 41.



Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Nivel de precisión

TABLA 74.

Δ PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
0	0
0,04	-0,00
0,07	-0,00
0,05	-0,00
0,11	-0,01
0,21	-0,01
-0,12	-0,01
-0,44	-0,02

FIGURA 42.

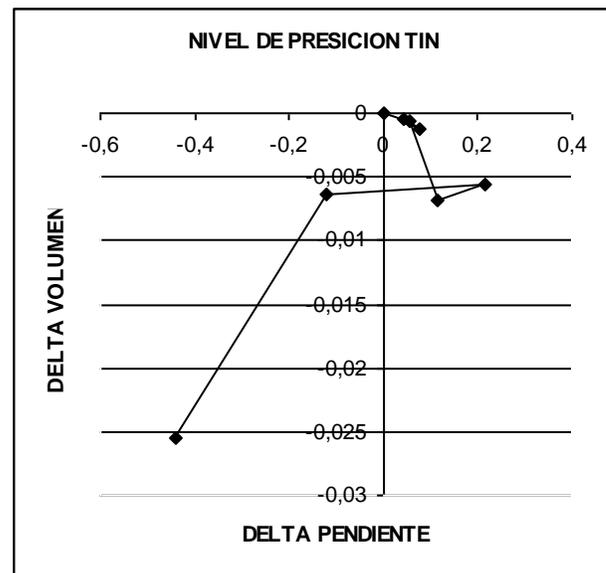
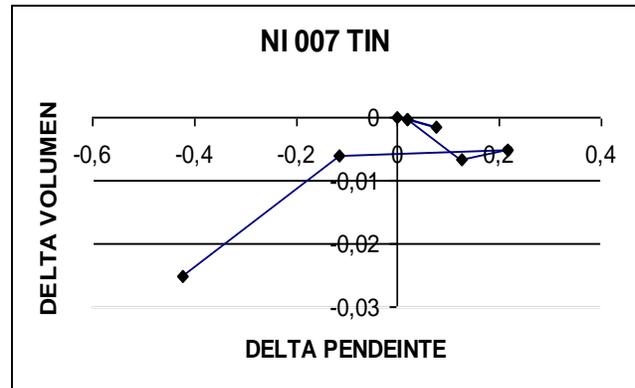


Tabla 75. Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, NI 007

Δ PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
0	0
0,01	-0,00
0,07	-0,00
0,01	-0,00
0,12	-0,01
0,21	-0,01
-0,11	-0,01
-0,42	-0,02

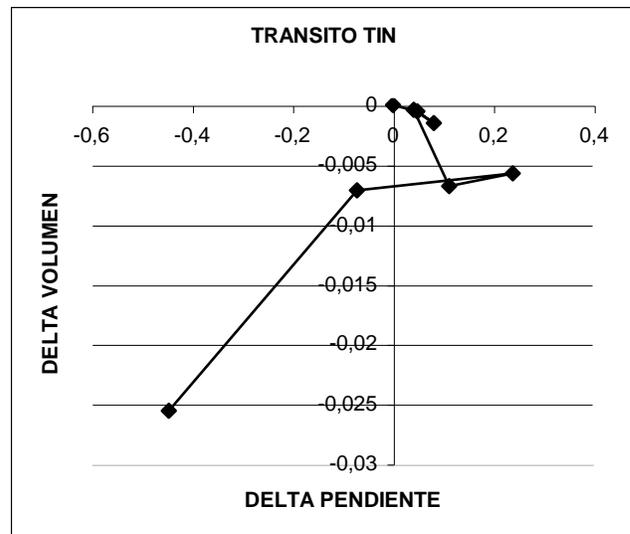


Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Transito

TABLA 76.

Δ PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
0	0
0,04	-0,00
0,08	-0,00
0,04	-0,00
0,11	-0,01
0,23	-0,01
-0,07	-0,01
-0,44	-0,02

FIGURA 44.



En las figuras 41, 42, 43 y 44 la relación Δ Pendiente- Δ Volumen no permite dar una información, ya que las gráficas tienen un comportamiento que no es el apropiado para este tipo de investigación.

5.6 GRÁFICAS OBTENIDAS CON EL PROGRAMA LISA 2.2

Estas gráficas se obtuvieron con el Programa **LISA 2.2**, para demostrar que las gráficas de (pendiente-volumen, pendiente- Δ volumen, Δ pendiente- Δ volumen) no tienen un comportamiento óptimo. Se utilizó el método de interpolación TIN, ya que este es uno de los más utilizados por los topógrafos en el mercado.

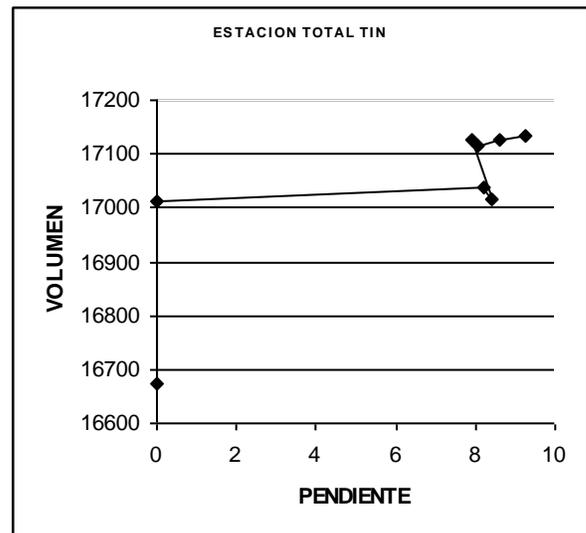
RELACIÓN PENDIENTE VOLUMEN

Relación Pendiente-Volumen, TIN-Estación Total

Tabla 77.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
9,26	17134,21
8,59	17127,99
8,03	17114,38
7,89	17124,86
8,39	17015,62
8,21	17039,82
0	17012,87
0	16672,24

Figura 45.

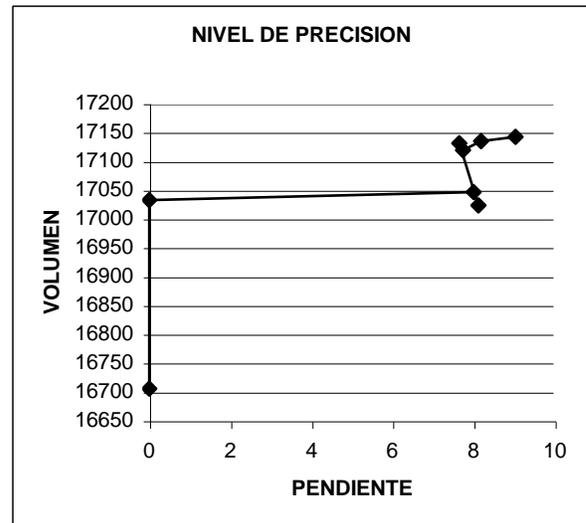


Relación Pendiente-Volumen, TIN-Nivel de Precisión

Tabla 78.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
9,03	17141,73
8,18	17134,85
7,73	17119,38
7,63	17131,15
8,11	17023,53
8,00	17046,05
0	17032,5
0	16705,49

Figura 46

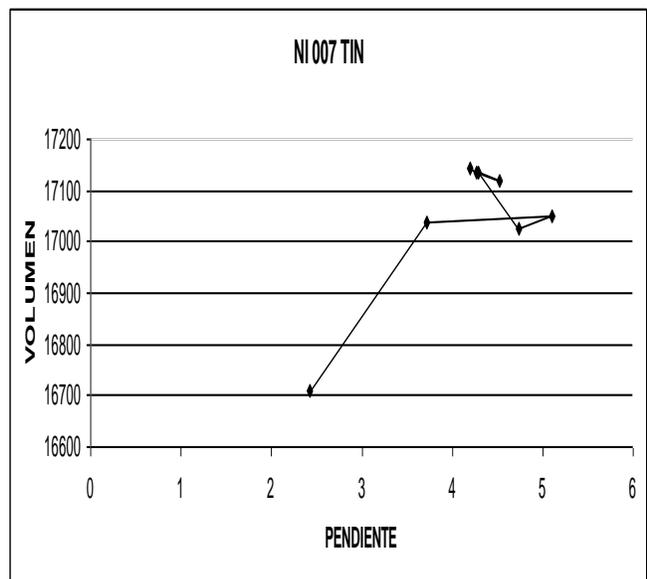


Relación Pendiente-Volumen, TIN-Nivel de Precisión

Tabla 79.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
8,89	17141,54
8,44	17134,65
7,96	17118,07
7,85	17135,65
8,36	17025,06
8,26	17050,87
0	17036,43
0	16709,99

Figura 47

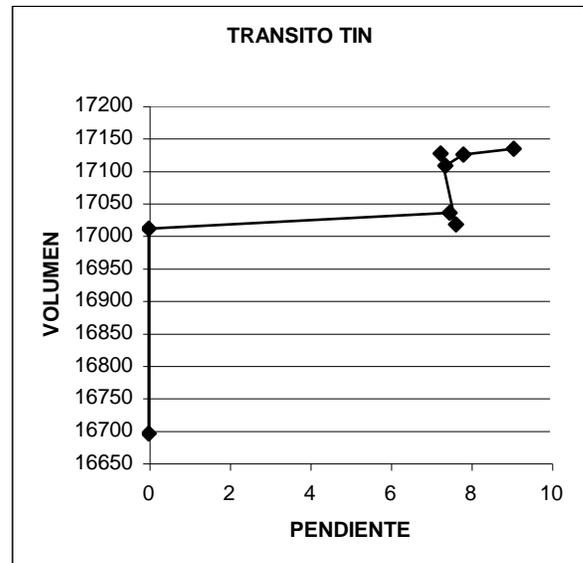


Relación Pendiente-Volumen, TIN-Transito

Tabla 80.

PENDIENTE (%)	VOLUMEN
9,07	17133,03
7,81	17124,25
7,36	17106,93
7,24	17126,2
7,62	17017,07
7,47	17034,96
0	17010,49
0	16695,2

Figura 48.



En las figuras 45, 46, 47 y 48 la relación Pendiente-Volumen no permite dar una información, ya que las gráficas tienen un comportamiento que no es el apropiado para este tipo de investigación.

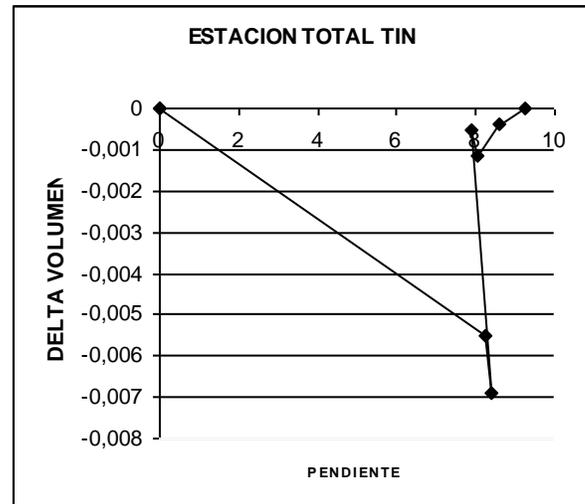
RELACIÓN PENDIENTE- Δ VOLUMEN

Relación Pendiente- Δ Volumen, Estación Tota

Tabla 81.

PENDIENTE (%)	Δ Volumen
9,26	0
8,59	-0,00
8,03	-0,00
7,89	-0,00
8,39	-0,01
8,21	-0,01
0	0
0	0

Figura 49

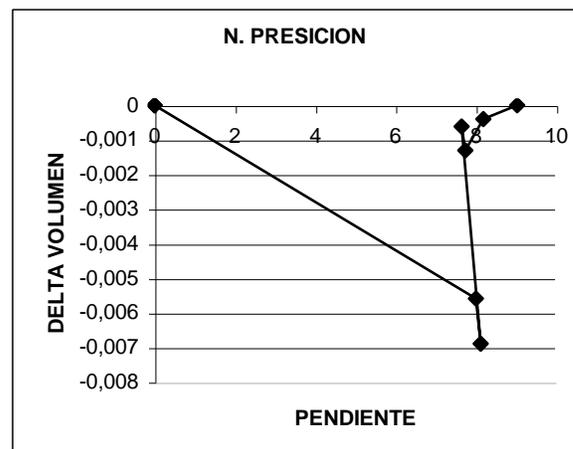


Relación Pendiente- Δ Volumen, Nivel de Precisión

Tabla 82.

PENDIENTE (%)	Δ Volumen
9,03	0
8,18	-0,00
7,73	-0,00
7,63	-0,00
8,11	-0,01
8,00	-0,01
0	0
0	0

Figura 50.

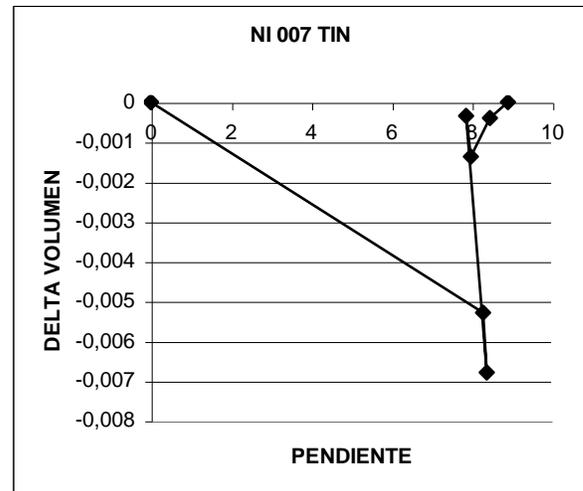


Relación Pendiente- Δ Volumen, NI 007

Tabla 83.

PENDIENTE (%)	Δ Volumen
8,89	0
8,44	-0,00
7,96	-0,00
7,85	-0,00
8,36	-0,01
8,26	-0,01
0	0
0	0

Figura 51

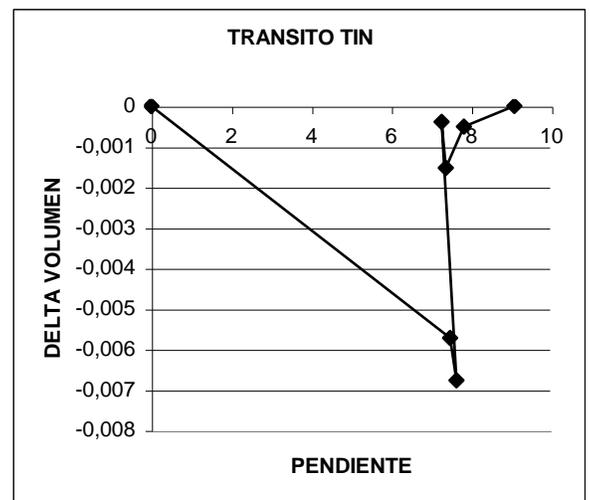


Relación Pendiente- Δ Volumen, Transito

Tabla 84

PENDIENTE (%)	Δ Volumen
9,07	0
7,81	-0,00
7,36	-0,00
7,24	-0,00
7,62	-0,01
7,47	-0,01
0	0
0	0

Figura 52



En las figuras 49, 50, 51 y 52 la relación Pendiente- Δ Volumen no permite dar una información, ya que las gráficas tienen un comportamiento que no es el apropiado para este tipo de investigación

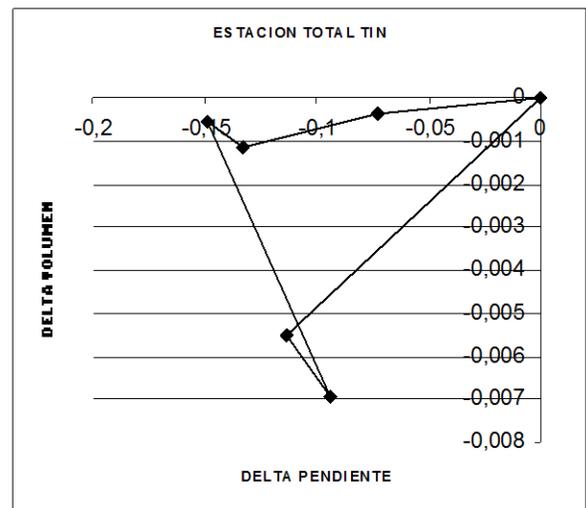
RELACIÓN Δ PENDIENTE - Δ VOLUMEN

Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Estación Total

Tabla 85

Δ PENDIENTE	Δ VOLUMEN
0	0
-0,07	-0,00
-0,13	-0,00
-0,14	-0,00
-0,09	-0,01
-0,11	-0,01
0	0
0	0

Figura 53.

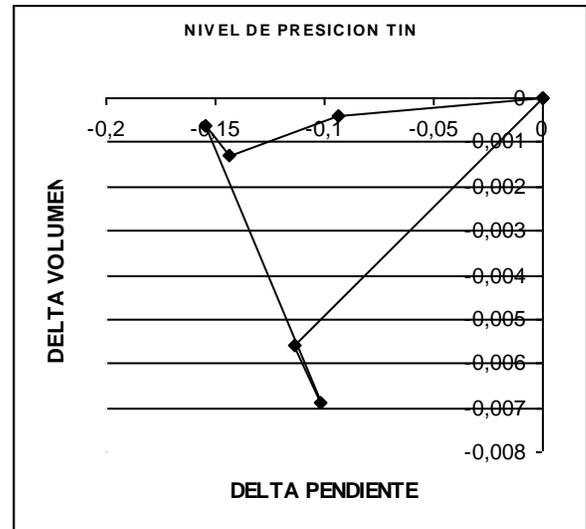


Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Nivel de Precisión

Tabla 86

Δ PENDIENTE	Δ VOLUMEN
0	0
-0,09	-0,00
-0,14	-0,00
-0,15	-0,00
-0,10	-0,01
-0,11	-0,01
0	0
0	0

Figura 54

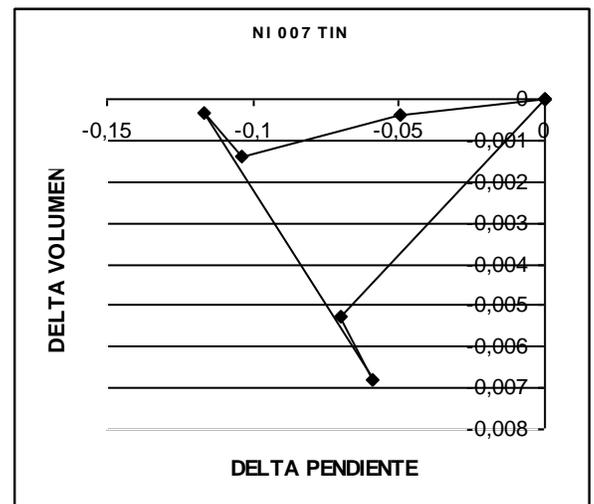


Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, NI 007

Tabla 87

Δ PENDIENTE	Δ VOLUMEN
0	0
-0,04	-0,00
-0,10	-0,00
-0,11	-0,00
-0,05	-0,01
-0,06	-0,01
0	0
0	0

Figura 55

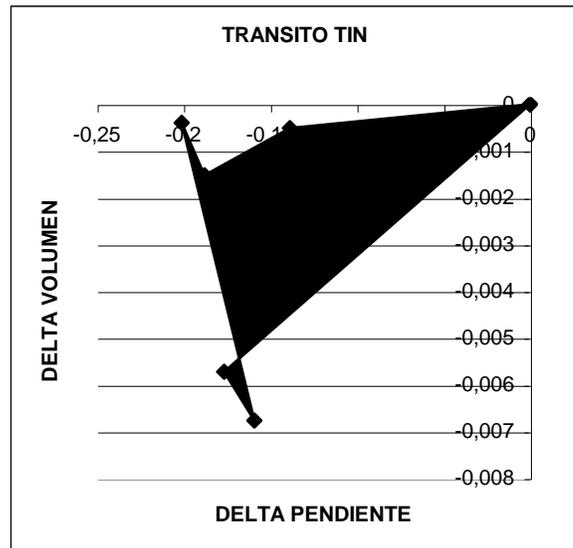


Relación Δ Pendiente- Δ Volumen, Transito

Tabla 88

Δ PENDIENTE (%)	Δ VOLUMEN
0	0
-0,13	-0,00
-0,18	-0,00
-0,20	-0,00
-0,15	-0,01
-0,17	-0,01
0	0
0	0

Figura 56



En las figuras 53, 54, 55 y 56 la relación Pendiente- Δ Volumen no permite dar una información, ya que las gráficas tienen un comportamiento que no es el apropiado para este tipo de investigación

TABLAS RESUMEN

TABLA 89. CUADRICULA 1X1

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
1X1	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,21	0
		TIN	4,14	0
		KRIGING	3,84	0
		IDW	3,86	0
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,10	0
		TIN	4,14	0
		KRIGING	4,18	0
		IDW	3,90	0
	NI 007	BASE RADIAL	4,18	0
		TIN	4,20	0
		KRIGING	3,48	0
		IDW	3,85	0
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,10	0
		TIN	4,15	0
		KRIGING	3,72	0
		IDW	3,75	0

TABLA 90. CUADRICULA 2X2

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
2X2	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,57	0,08
		TIN	4,24	0,02
		KRIGING	3,53	-0,07
		IDW	3,50	-0,09
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,42	0,07
		TIN	4,33	0,04
		KRIGING	3,39	-0,18
		IDW	3,42	-0,12
	NI 007	BASE RADIAL	4,42	0,05
		TIN	4,27	0,01
		KRIGING	3,69	0,06
		IDW	3,58	-0,06
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,60	0,12
		TIN	4,35	0,04
		KRIGING	3,65	-0,02
		IDW	3,60	-0,04

TABLA 91. CUADRICULA 4X4

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
4X4	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,42	0,05
		TIN	4,41	0,06
		KRIGING	3,59	-0,06
		IDW	3,65	-0,05
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,34	0,05
		TIN	4,45	0,07
		KRIGING	3,74	-0,10
		IDW	3,70	-0,05
	NI 007	BASE RADIAL	4,36	0,04
		TIN	4,52	0,07
		KRIGING	3,63	0,04
		IDW	3,58	-0,07
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,32	0,05
		TIN	4,48	0,08
		KRIGING	3,75	0,00
		IDW	3,70	-0,01

TABLA 92. CUADRICULA 5X5

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
5X5	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,32	0,02
		TIN	4,46	0,07
		KRIGING	3,60	-0,06
		IDW	3,62	-0,06
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,28	0,04
		TIN	4,37	0,05
		KRIGING	3,92	-0,06
		IDW	3,88	-0,00
	NI 007	BASE RADIAL	4,21	0,00
		TIN	4,28	0,02
		KRIGING	3,94	0,13
		IDW	3,90	0,01
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,31	0,05
		TIN	4,32	0,04
		KRIGING	3,61	-0,03
		IDW	3,59	-0,04

TABLA 93. CUADRICULA 8X8

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
8X8	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,32	0,02
		TIN	4,53	0,09
		KRIGING	4,17	0,08
		IDW	4,10	0,06
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,32	0,05
		TIN	4,62	0,11
		KRIGING	3,95	0,05
		IDW	4,00	0,02
	NI 007	BASE RADIAL	4,38	0,04
		TIN	4,73	0
		KRIGING	3,96	0,13
		IDW	4,25	0,10
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,29	0,04
		TIN	4,61	0,11
		KRIGING	4,08	0,09
		IDW	3,89	0,03

TABLA 94. CUADRICULA 10X10

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
10X10	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	4,74	0,12
		TIN	5,05	0,22
		KRIGING	3,53	-0,08
		IDW	3,50	-0,09
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	4,74	0,15
		TIN	5,03	0,21
		KRIGING	4,57	0,09
		IDW	4,50	0,15
	NI 007	BASE RADIAL	4,83	0,15
		TIN	5,10	0,21
		KRIGING	4,58	0,31
		IDW	4,60	0,19
	TRANSITO	BASE RADIAL	4,72	0,15
		TIN	5,14	0,23
		KRIGING	3,52	-0,05
		IDW	3,60	-0,03

TABLA 95. CUADRICULA 20X20

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
20X20	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	3,38	-0,19
		TIN	3,51	-0,15
		KRIGING	3,13	-0,18
		IDW	3,10	-0,19
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	3,34	-0,18
		TIN	3,64	-0,12
		KRIGING	3,13	-0,25
		IDW	3,15	-0,19
	NI 007	BASE RADIAL	3,45	-0,17
		TIN	3,72	-0,11
		KRIGING	3,41	-0,02
		IDW	3,41	-0,11
	TRANSITO	BASE RADIAL	3,27	-0,20
		TIN	3,85	-0,07
		KRIGING	3,44	-0,07
		IDW	3,50	-0,06

TABLA 96. CUADRICULA 40X40

CUADRICULA	EQUIPO	MÉTODO	PENDIENTE	Δ PENDIENTE
40X40	ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	2,45	-0,41
		TIN	2,36	-0,42
		KRIGING	2,54	-0,33
		IDW	2,50	-0,35
	NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	2,50	-0,39
		TIN	2,32	-0,44
		KRIGING	2,54	-0,39
		IDW	2,60	-0,32
	NI 007	BASE RADIAL	2,44	-0,41
		TIN	2,42	-0,42
		KRIGING	2,61	-0,24
		IDW	2,65	-0,31
	TRANSITO	BASE RADIAL	2,40	-0,41
		TIN	2,30	-0,44
		KRIGING	2,61	-0,29
		IDW	2,63	-0,29

TABLA 97. RESULTADOS DE R (COORELACIÓN)

EQUIPO	MÉTODO	R (COORELACIÓN)
ESTACIÓN TOTAL	BASE RADIAL	0.99
	TIN	0.99
	KRIGING	0.96
	IDW	0.91
NIVEL DE PRECISIÓN	BASE RADIAL	0.99
	TIN	0.99
	KRIGING	0.99
	IDW	0.99
NI 007	BASE RADIAL	0.99
	TIN	0.94
	KRIGING	0.94
	IDW	0.98
TRANSITO	BASE RADIAL	0.93
	TIN	0.98
	KRIGING	0.87
	IDW	0.77

6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que los resultados del terreno estudiado en los predios de la Universidad del Quindío que fue medido con diferentes instrumentos, y al analizar los datos interpolados por los siguientes métodos: BASE RADIAL, Tin, IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING) Y KRIGING, se encontró que no existe relación entre la Pendiente y el Volumen de este Terreno, ya que los valores al graficarlos se cruzan y no proporcionan una información necesaria para esta investigación, véase en las figuras 33 a la 36, Pág. 77 a 79.
- Se realizó el proceso necesario para obtener los resultados del terreno estudiado y se encontró que no hay relación entre la pendiente y el delta volumen, ya que los valores se invierten y al graficarlos no producen un información clara para esta investigación, véase en las figuras 37 a la 40, Pág. 80 y 81.
- Se determinó que los valores obtenidos al realizar los respectivos estudios del terreno, se encontró que no existe relación entre el delta pendiente y el delta volumen, ya que los resultados se cruzan y al realizar la gráfica proporcionan una información inadecuada para investigación, véase figuras 41 a la 44, Pág. 82-83.
- Se encontró que los datos procesados con el programa lisa 2.2 del terreno estudiado, se logró establecer que no existe ninguna relación entre la pendiente y el volumen, ya que los datos se invierten y es imposible brindar datos precisos y confiables para esta investigación.
- Se determinó que al analizar los datos del terreno estudiado existe una relación entre en la cuadrícula y la pendiente, ya que al evaluar la línea de tendencia se obtuvo una ecuación polinomial de cuarto grado con la cual se pudo lograr el valor de R (Coeficiente de Regresión o correlación), este valor se considera optimo por lo que se encuentra en el rango establecido de 1 lo que significa que los valores obtenidos tiene una mayor semejanza a la realidad, pero para esta investigación se tomo la cuadrícula 1x1 como la ideal por ser tan densa con lo que implica que posee una información mas detallada del terreno, también se concluyó que el método de interpolación IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING) y el instrumento

nivel de precisión son los mas adecuados para este tipo de trabajo porque proporciona resultados de muy buena calidad.

6.2. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

- De acuerdo con lo obtenido en este terreno se recomienda realizar esta misma investigación en un terreno que tenga una topografía mas quebrada para realizar una comparación de resultados.
- Se recomienda que para el cálculo de las pendientes se utilice un software diferente.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS ZULUAGA, Carlos Andrés y SUÁREZ HINCAPIÉ, Víctor Raúl. Caracterización morfológica de un terreno de acuerdo a la relación entre la rugosidad y el volumen en función de la densidad de los puntos evaluados. Universidad del Quindío. Armenia 2006. 70 Pág.

AUTOCAD Land, Autodesk Tutorial.

BARRY Austin B. Topografía aplicada a la construcción. México 1976. 346 Pág.

FELICISIMO M. Curso de modelos digitales de terreno. Oviedo 2001. 122 Pág.

GÓMEZ GÓMEZ, Gilberto y JIMÉNEZ CLEVES, Gonzalo. Introducción a la Topografía Analítica. Universidad del Quindío. 2005. 289 Pág.

JHONTSON, K et al. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands. 2001

JIMÉNEZ CLEVES, GONZALO. Modelos Digitales. Universidad del Quindío. Armenia 2004. 47 Pág.

LOPÉZ, Deybi A. y VARGAS Edison E. Determinación del error medio cuadrático por el método de la cuadrícula con cinco equipos. Universidad del Quindío. Armenia, 2004. 121 Pág.

SURFER 8.0 (Golden Software, 2002).