



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

INFLUENCIA DE LA COMPLECIÓN DE LOS DATOS EN LA DETERMINACIÓN DE RUTAS EN ENTORNOS URBANOS

Alumno/a: Pantoja Cleves, Juan David

Tutor/a: Prof. D. Ureña Cámara, Manuel Antonio
Prof. D. Ariza López, Francisco Javier

Dpto: Ingeniería cartográfica, geodésica y
fotogrametría



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geo información

Estudiante:

Tutor:

Tutor:

Fdo. Juan David Pantoja
Cleves

Dr. Manuel Antonio Ureña
Cámara

Dr. Francisco Javier Ariza
López

Bogotá, 10 de 09 de 2022



ÍNDICE

1.	RESUMEN /ABSTRACT	15
2.	INTRODUCCIÓN	17
3.	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	18
3.1	JUSTIFICACIÓN	18
3.2	OBJETIVO GENERAL.....	18
3.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4.	ANTECEDENTES	19
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
5.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	27
5.2	PRUEBA DE USO	32
5.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISEÑOS DE EXPERIMENTO	35
5.3.1	Ejercicio 1:	35
5.3.2	Ejercicio 2:	35
5.4	MODIFICACIÓN DE LAS REDES VIALES	37
5.5	DESCRIPCIÓN DE LAS REDES VIALES FINALES	42
5.5.1	CD1 Teruel.....	42
5.5.2	CD2 Segovia.....	45
5.5.3	CD3 Cota.....	47
5.5.4	CD4 Sintéticas 1.....	49
5.5.5	CD5 Sintéticas 2.....	50
5.6	DESARROLLO DEL EJERCICIO 1: UNA ÚNICA RUTA PARA CADA RED VIAL	54
5.7	DESARROLLO DEL EJERCICIO 2: MÚLTIPLES RUTAS PARA CADA RED VIAL	62
6.	RESULTADOS	65
6.1	RESULTADOS PARA EL EJERCICIO 1	65
6.1.1	CD1 Teruel	66
6.1.2	CD2 Segovia.....	77
6.1.3	CD3 Cota.....	85
6.1.4	CD4 Sintéticas 1.....	93
6.1.5	CD5 Sintéticas 2.....	102
6.2	RESULTADOS PARA EL EJERCICIO 2.....	109
6.2.1	CD1 Teruel.....	111
6.2.2	CD2 Segovia.....	122
6.2.3	CD3 Cota.....	131
6.2.4	CD4 Sintéticas 1.....	140
6.2.5	CD5 Sintéticas 2.....	149
7.	ANÁLISIS	158



7.1	ANÁLISIS DEL EJERCICIO 1	158
7.1.1	Análisis CD1 Teruel	159
7.1.2	Análisis CD2 Segovia	165
7.1.3	Análisis CD3 Cota	172
7.1.4	Análisis CD 4 Sintéticas 1	179
7.1.5	Análisis CD5 Sintéticas 2	189
7.1.6	Análisis General del Ejercicio 1	196
7.2	ANÁLISIS DEL EJERCICIO 2	198
7.2.1	Análisis CD1 Teruel	198
7.2.2	Análisis CD2 Segovia	205
7.2.3	Análisis CD3 Cota	212
7.2.4	Análisis CD4 Sintéticas 1	219
7.2.5	Análisis CD5 Sintéticas 2	224
7.2.6	Análisis general de Ejercicio 2	230
8.	CONCLUIONES	233
9.	BIBLIOGRAFÍA	236
10.	ANEXOS	238



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elementos y subelementos de calidad de datos NTC 5043	21
Ilustración 2: Diagrama de flujo del proceso completo (Anexo 1.)	25
Ilustración 3: Esquema del método	26
Ilustración 4: Mapa de descargas ING España, Segovia	27
Ilustración 5: Mapa de descargas IGN España, Teruel	27
Ilustración 6: Geo visor de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi	28
Ilustración 7: Red vial basada en las ciudades de Brasilia (Brasil) y Buenos Aires (Argentina) CD4 Sintéticas 1	29
Ilustración 8: Red vial basada en la ciudad de Melbourne CD5 Sintéticas 2	29
Ilustración 9: Posibles puntos de origen y destino	32
Ilustración 10: Herramienta QNeat 3	33
Ilustración 11: Primer ejemplo de ruta más corta	33
Ilustración 12: Segundo ejemplo de ruta más corta	34
Ilustración 13: Selección del 20% de vías al azar	39
Ilustración 14: CD4 Sintéticas 1 menos 20%	39
Ilustración 15: Selección del 10% de vías al azar	40
Ilustración 16: CD4 Sintéticas 1 menos 10%	40
Ilustración 17: CD4 Sintéticas 1 original	41
Ilustración 18: CD4 Sintéticas 1 más 10 % de vías	41
Ilustración 19: CD4 Sintéticas 1 más 20% de tramos viales	42
Ilustración 20: CD1 Teruel	42
Ilustración 21: CD1 Teruel menos 10% de tramos viales	44
Ilustración 22: CD1 Teruel menos 20% de tramos viales	44
Ilustración 23: CD1 Teruel más 10% de tramos viales	44
Ilustración 24: CD1 Teruel más 20% de tramos viales	45
Ilustración 25: CD2 Segovia	45
Ilustración 26: CD2 Segovia menos 10% de tramos viales	46
Ilustración 27: CD2 Segovia menos 20% de tramos viales	46
Ilustración 28: CD2 Segovia más 10% de tramos viales	47
Ilustración 29: CD2 Segovia más 20% de tramos viales	47
Ilustración 30: CD3 Cota	47
Ilustración 31: CD3 Cota menos 10% de tramos viales	47
Ilustración 32: CD3 Cota menos 20% de tramos viales	48
Ilustración 33: CD3 Cota más 10% de tramos viales	48
Ilustración 34: CD3 Cota más 20% de tramos viales	48
Ilustración 35: CD5 Sintéticas 2	51
Ilustración 36: CD5 Sintéticas 2 menos 10% de tramos viales	51
Ilustración 37: CD5 Sintéticas 2 menos 20% de tramos viales	52
Ilustración 38: CD5 Sintéticas 2 más 10% de tramos viales	52
Ilustración 39: CD5 Sintéticas 2 más 20% de tramos viales	53
Ilustración 40: Paradas obligadas para CD4 Sintéticas 1	54
Ilustración 41: Ruta #1 para CD4 Sintéticas 1	55
Ilustración 42: Giro prohibido	56
Ilustración 43: CD4 Sintéticas 1 con 5% de giros restringidos	56
Ilustración 44: Ruta #2 para CD4 Sintéticas 1	57
Ilustración 45: CD4 Sintéticas 1 con 10 % de giros restringidos	58
Ilustración 46: Ruta # 3 para CD4 Sintéticas 1	58
Ilustración 47: Ruta # 4 para CD4 Sintéticas 1	59
Ilustración 48: Ruta # 5 para CD4 Sintéticas 1	60
Ilustración 49: Sección de la tabla con datos; factores y resultados del ejercicio 1 para CD1 Teruel	61
Ilustración 50: Primer model builder para la creación de rutas al azar dentro de una malla vial existente	63



Ilustración 51. Segundo model builder para la creación de rutas con puntos ya existentes en una malla vial	63
<i>Ilustración 52: Resumen del diseño del DOE.....</i>	<i>65</i>
Ilustración 53: selección de términos escalonada para la variable de tiempo en CD1 Teruel	67
Ilustración 54: niveles de los factores que intervienen	68
Ilustración 55: análisis de varianza para la variable tiempo en CD1 Teruel	69
Ilustración 56: resumen del modelo para la variable tiempo en CD1 Teruel	69
Ilustración 57: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD1 Teruel.....	70
Ilustración 58: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD1 Teruel.....	71
Ilustración 59: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD1 Teruel	73
Ilustración 60: niveles de los factores que intervienen	73
Ilustración 61: análisis de varianza para la variable distancia en CD1 Teruel	74
Ilustración 62: resumen del modelo para la variable distancia en CD1 Teruel	74
Ilustración 63: selección de términos para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	75
Ilustración 64: niveles de los factores que intervienen	75
Ilustración 65: análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	75
Ilustración 66: resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	76
Ilustración 67: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD2 Segovia	78
Ilustración 68. niveles de los factores que intervienen	78
Ilustración 69: análisis de varianza para la variable tiempo en CD2 Segovia	78
Ilustración 70: resumen de modelo para la variable tiempo en CD2 Segovia	79
Ilustración 71: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD2 Segovia	79
Ilustración 72: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD2 Segovia.....	80
Ilustración 73 selección de términos escalonada para la variable distancia en CD2 Segovia	81
Ilustración 74: niveles de los factores que intervienen.....	81
Ilustración 75: análisis de varianza para la variable distancia en CD2 Segovia	81
Ilustración 76: resumen del modelo para la variable distancia en CD2 Segovia	82
Ilustración 77: selección de términos escalonada para la variable de numero de giros CD2 Segovia	83
Ilustración 78: niveles de los factores que intervienen.....	83
Ilustración 79: análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD2 Segovia	83
Ilustración 80: resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD2 Segovia	84
Ilustración 81: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD3 Cota	86
Ilustración 82: niveles de los factores que intervienen.....	86
Ilustración 83: análisis de la varianza para la variable tiempo en CD3 Cota	86
Ilustración 84: resumen del modelo para la variable tiempo en CD3 Cota	87
Ilustración 85: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD3 Cota	87
Ilustración 86: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD3 Cota.....	87
Ilustración 87: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD3 Cota	89
Ilustración 88: niveles de los factores que intervienen.....	89
Ilustración 89: análisis de varianza para la variable distancia en CD3 Cota	89
Ilustración 90: resumen del modelo para la variable distancia en CD3 Cota	90
Ilustración 91: selección de términos escalonada para la variable de número de giros en CD3 Cota	91
Ilustración 92: niveles de los factores que intervienen.....	91
Ilustración 93: análisis de varianza para la variable de número de giros en CD3 Cota	91
Ilustración 94: resumen del modelo para la variable de número de giros en la CD3 Cota	92
Ilustración 95: diagrama de Pareto para la variable de número de giros en CD3 Cota.....	92
Ilustración 96. Selección de términos escalona para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	94
Ilustración 97: niveles de los factores que intervienen.....	94
Ilustración 98: Resumen del modelo	94
Ilustración 99: Diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1	95
Ilustración 100: Gráfica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	95
Ilustración 101: Selección de términos escalonada para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1.....	96
Ilustración 102: Niveles de los factores que intervienen.....	96
Ilustración 103 Análisis de varianza Ilustración para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1	96



Ilustración 104: Resumen del modelo Ilustración para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1	97
Ilustración 105: Diagrama de Pareto para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1	97
Ilustración 106: Selección de términos escalonada para la variable de número de giros en CD4 Sintéticas 1	99
Ilustración 107: Niveles de los factores que intervienen	99
Ilustración 108: Análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1	99
Ilustración 109: Resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1	100
Ilustración 110: Diagrama de Pareto para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1	100
Ilustración 111: Grafica de probabilidad normal para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1	101
Ilustración 112: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2	102
Ilustración 113: niveles de los factores que intervienen	103
Ilustración 114: análisis de la varianza para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2	103
Ilustración 115: resumen del modelo para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2	103
Ilustración 116: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2	104
Ilustración 117: grafica de probabilidad para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2	104
Ilustración 118: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2	105
Ilustración 119: niveles de los factores que intervienen	105
Ilustración 120: análisis de varianza para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2	105
Ilustración 121: resumen del modelo para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2	106
Ilustración 122: selección de términos escalonada para la variable de numero de giros en CD5 Sintéticas 2	107
Ilustración 123: niveles de factores que intervienen	107
Ilustración 124: análisis de la varianza para la variable de número de giros en CD5 Sintéticas 2	107
Ilustración 125: resumen del modelo para la variable de número de vías en CD5 Sintéticas 2	108
Ilustración 126: categorización de columnas en Desing Expert 13	109
Ilustración 127: rutas ignoradas por el software Design of Experiment para el desarrollo del ejercicio	110
Ilustración 128: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en el grafo Teruel	111
Ilustración 129: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD1 Teruel	111
Ilustración 130: Verificación del modelo para Tiempo en CD1 Teruel	112
Ilustración 131: Grafica de residuales para tiempo en CD1 Teruel	113
Ilustración 132: Valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD1 Teruel	114
Ilustración 133: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D	115
Ilustración 134: Ajuste de modelos polinómicos para Distancia en CD1 Teruel	116
Ilustración 135: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD1 Teruel	116
Ilustración 136: Verificación del modelo para Distancia en CD1 Teruel	116
Ilustración 137: Grafica de residuales para Distancia en CD1 Teruel	117
Ilustración 138: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD1 Teruel	117
Ilustración 139: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D	118
Ilustración 140: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD1 Teruel	119
Ilustración 141: Estadísticas descriptivas para número de giros en CD1 Teruel	119
Ilustración 142: Grafica de residuales para Número de giros en CD1 Teruel	120
Ilustración 143: Valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD1 Teruel	120
Ilustración 144: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D	121
Ilustración 145: grafica de residuales para tiempo en CD2 Segovia	123
Ilustración 146: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD2 Segovia	124
Ilustración 147: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros en CD2 Segovia	124
Ilustración 148: Gráfica de residuales para Distancia en CD2 Segovia	126
Ilustración 149: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD2 Segovia	127
Ilustración 150: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros en 2D para CD2 Segovia	127
Ilustración 151: Grafica de residuales para Número de giros en CD2 Segovia	129
Ilustración 152: Valores residuales Vs. predichos para Numero de Giros en CD2 Segovia	130
Ilustración 153: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en 2D para Red Vial	130



Segovia	130
Ilustración 154: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD3 Cota	131
Ilustración 155: Estadísticas descriptivas para tiempo en CD3 Cota	131
Ilustración 156: verificación del modelo para tiempo en CD3 Cota	131
Ilustración 157: Grafica de residuales para tiempo en CD3 Cota	132
Ilustración 158: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD3 Cota	132
Ilustración 159: Grafica de tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D	133
Ilustración 160: Ajuste de modelos polinómicos para distancia en CD3 Cota	134
Ilustración 161: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD3 Cota	134
Ilustración 162: verificación del modelo para Distancia en CD3 Cota	134
Ilustración 163: Grafica de residuales para Distancia en CD3 Cota	135
Ilustración 164: valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD3 Cota	135
Ilustración 165: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D	136
Ilustración 166: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en el grafo CD3 Cota	137
Ilustración 167: Estadísticas descriptivas para número de giros en el grafo CD3 Cota	137
Ilustración 168: verificación del modelo para número de giros en el grafo CD3 Cota	137
Ilustración 169: Grafica de residuales para número de giros en CD3 Cota	138
Ilustración 170: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD3 Cota	138
Ilustración 171: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D	139
Ilustración 172: grafica de residuales para tiempo en CD4 Sintéticas 1	141
Ilustración 173: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD4 Sintéticas 1	141
Ilustración 174: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D	142
Ilustración 175: Grafica de residuales para Distancia en CD4 Sintéticas 1	144
Ilustración 176: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD4 Sintéticas 1	144
Ilustración 177: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D	145
Ilustración 178: Grafica de residuales para Número de giros en CD4 Sintéticas 1	147
Ilustración 179: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD4 Sintéticas 1	147
Ilustración 180: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D	148
Ilustración 181: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD5 Sintéticas 2	149
Ilustración 182: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD5 Sintéticas 2	149
Ilustración 183: verificación del modelo para Tiempo en CD5 Sintéticas 1	149
Ilustración 184: Grafica de residuales para tiempo en CD5 Sintéticas 2	150
Ilustración 185: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD5 Sintéticas 2	150
Ilustración 186: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 2D	151
Ilustración 187: Ajuste de modelos polinómicos para distancia en CD5 Sintéticas 2	152
Ilustración 188: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD5 Sintéticas 2	152
Ilustración 189: verificación del modelo para Distancia en CD5 Sintéticas 1	152
Ilustración 190: Grafica de residuales para Distancia en CD5 Sintéticas 2	153
Ilustración 191: valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD5 Sintéticas 2	153
Ilustración 192: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 2D	154
Ilustración 193: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD5 Sintéticas 2	155
Ilustración 194: Estadísticas descriptivas para número de giros en CD5 Sintéticas 2	155
Ilustración 195: verificación del modelo para número de giros en CD5 Sintéticas 2	155
Ilustración 196: Grafica de residuales para número de giros en CD5 Sintéticas 2	156
Ilustración 197: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD5 Sintéticas 2	156
Ilustración 198: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 2D	157
Ilustración 199: grafica de efectos principales para la variable de tiempo en CD1 Teruel	159
Ilustración 200: grafica de interacción para la variable de tiempo en CD1 Teruel	160
Ilustración 201: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD1 Teruel	161
Ilustración 202: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	162
Ilustración 203: grafica de efectos principales para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	163
Ilustración 204: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD1 Teruel	164



Ilustración 205: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD2 Segovia	165
Ilustración 206: grafica de interacción para la variable tiempo en CD2 Segovia	166
Ilustración 207: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD2 Segovia.....	168
Ilustración 208: grafica de interacción para distancia en CD2 Segovia	169
Ilustración 209: grafica de efectos principales para la variable de numero de giros en CD2 Segovia	170
Ilustración 210: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD2 Segovia.....	171
Ilustración 211: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD3 Cota	172
Ilustración 212: grafica de interacción para la variable tiempo en CD3 Cota	173
Ilustración 213: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD3 Cota	175
Ilustración 214: grafica de interacción para la variable distancia en CD3 Cota.....	176
Ilustración 215: grafica de efectos principales para la variable de número de giros en CD3 Cota	177
Ilustración 216: grafica de interacción para la variable de número de giros en CD3 Cota	178
Ilustración 217: Graficas de efector principales para la variable tiempo en CD4 sintéticas 1.....	179
Ilustración 218: Graficas de interacción para la variable tiempo en CD4 sintéticas 1	181
Ilustración 219: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD4 sintéticas 1.....	184
Ilustración 220: grafica de interacción para la variable distancia en la red vial sintéticas 1.....	185
Ilustración 221: grafica de efectos principales para para la variable de numero de giros en CD4 sintéticas 1.....	186
Ilustración 222: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD4 sintéticas 1.....	187
Ilustración 223: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD5 sintéticas 2.....	189
Ilustración 224: grafica de interacción para la variable tiempo en CD5 sintéticas 2.....	190
Ilustración 225: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD5 sintéticas 2.....	192
Ilustración 226: grafica de interacción para la variable distancia en CD5 sintéticas 2.....	193
Ilustración 227: grafica de efectos principales para la variable de número de giros en CD5 sintéticas 2.....	194
Ilustración 228: grafica de interacción para la variable de número de giros en CD5 sintéticas 2.....	195
Ilustración 229: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D	198
Ilustración 230: Comportamiento de la ruta 64 de CD1 Teruel	200
Ilustración 231: Comportamiento de la ruta 133 del CD1 Teruel.....	201
Ilustración 232: Ruta 133 en CD1Teruel	202
Ilustración 233: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D	203
Ilustración 234: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D	204
Ilustración 235: insuficiencia de vías en CD1 Teruel	205
Ilustración 236: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia.....	206
Ilustración 237: Ruta 14 con aumento en tiempo por comisión de vías en CD2 Segovia	207
Ilustración 238: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia	208
Ilustración 239: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia	209
Ilustración 240: insuficiencia de vías en CD2 Segovia	211
Ilustración 241: Grafica de tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D	212
Ilustración 242: Comportamiento de la ruta 169 respecto a distancia en CD3 Cota	213
Ilustración 243: Ruta 169 en CD3 Cota	214
Ilustración 244: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D	215
Ilustración 245: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D	216
Ilustración 246: Saturación e insuficiencia viaria en CD3 Cota.....	217
Ilustración 247: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D	219
Ilustración 248: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D... ..	220
Ilustración 249: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D	221
Ilustración 250: Ruta 100 con aumento en Número de giros a medida que aumentan las vías en CD4 Sintéticas 1	221
Ilustración 251: Insuficiencia de vías en CD4 Sintéticas 1	223
Ilustración 252: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D	224
Ilustración 253. Comportamiento de la ruta 1 respecto a tiempo en grafo CD5 Sintéticas 2.....	225
Ilustración 254: Ruta 1 en el grafo CD5 Sintéticas 2	225



Ilustración 255: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D...	227
Ilustración 256: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D	228
Ilustración 257: Saturación de vías en CD5 Sintéticas 2	229
Ilustración 258: Ruta 12 inconclusa por omisión de vías en CD2 Segovia.....	230
Ilustración 259: Ruta 13 inconclusa por omisión de vías en CD4 Sintéticas 1.....	231



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de los conjuntos de datos	30
Tabla 2: información estadística de los conjuntos de datos.....	31
Tabla 3: Descripción DoE Ejercicio 1.....	35
Tabla 4: Descripción DoE Ejercicio 2.....	35
Tabla 5: Características de CD1 Teruel	42
Tabla 6: Características de CD1 Teruel menos 10% de tramos viales	44
Tabla 7: Características de CD1 Teruel menos 20% de tramos viales	44
Tabla 8: Características de CD1 Teruel más 10% de tramos viales.....	44
Tabla 9: Características de CD1 Teruel más 20% de tramos viales.....	45
Tabla 10: Características de CD2 Segovia	46
Tabla 11: Características de CD2 Segovia menos 10% de tramos viales	46
Tabla 12: Características del grafo Segovia menos 20% de tramos viales	46
Tabla 13: Características de CD2 Segovia más 10% de tramos viales	47
Tabla 14: Características de CD2 Segovia más 20% de tramos viales	47
Tabla 15: Características de CD3 Cota	47
Tabla 16: Características de CD3 Cota menos 10% de tramos viales	47
Tabla 17: Características de CD3 Cota menos 20% de tramos viales	48
Tabla 18: Características de CD3 Cota más 10% de tramos viales	48
Tabla 19: Características de CD3 Cota más 20% de tramos viales	49
Tabla 20: Características de CD4 Sintéticas 1	50
Tabla 21: Características de CD4 Sintéticas 1 menos 10% de tramos viales	50
Tabla 22: Características de CD4 Sintéticas 1 menos 20% de tramos viales	50
Tabla 23: Características de CD4 Sintéticas 1 más 10% de tramos viales	50
Tabla 24: Características de CD4 Sintéticas 1 más 20% de tramos viales	50
Tabla 25: Características de CD5 Sintéticas 2	51
Tabla 26: Características CD5 Sintéticas 2 menos 10% de tramos viales	51
Tabla 27: Características CD5 Sintéticas 2 menos 20% de tramos viales	52
Tabla 28: Características del CD5 Sintéticas 2 más 10% de tramos viales	52
Tabla 29: Características CD5 Sintéticas 2 más 20% de tramos viales	53
Tabla 30: Datos resultantes CD4 Sintéticas 1 sin modificación y 0 % de restricción de giros	64
Tabla 31: Verificación del modelo para Distancia en CD1 Teruel.....	119
Tabla 32: Ajuste de modelos polinómicos para Tiempo en CD2 Segovia	122
Tabla 33: estadísticas descriptivas para Tiempo en CD2 Segovia	122
Tabla 34: verificación del modelo para Tiempo en CD2 Segovia.....	123
Tabla 35: Ajuste de modelos polinómicos en Distancia para CD2 Segovia	125
Tabla 36: estadísticas descriptivas para Distancia en CD2 Segovia	125
Tabla 37: verificación del modelo para Distancia en CD2 Segovia	125
Tabla 38: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD2 Segovia.....	128
Tabla 39: Estadísticas descriptivas para Número de giros en CD2 Segovia.....	128
Tabla 40: verificación del modelo para Numero de Giros en CD2 Segovia	129
Tabla 41: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD4 Sintéticas 1	140
Tabla 42: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	140
Tabla 43: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	140
Tabla 44: Ajuste de modelos polinómicos para Distancia en CD4 Sintéticas 1	143
Tabla 45: estadísticas descriptivas para Distancia en CD4 Sintéticas 1	143
Tabla 46: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	143
Tabla 47: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD4 Sintéticas 1	146
Tabla 48: Estadísticas descriptivas para Número de giros en CD4 Sintéticas 1	146
Tabla 49: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1.....	146



1. RESUMEN EJECUTIVO

Explicación
Uno de los factores más influyentes en el desarrollo de una ciudad o un entorno es su red vial, la afectación que se produce por parte de este factor se ve en el transporte de mercancías, distribución de productos, desplazamiento de los pobladores, etc. Obviamente para una misma ciudad se podría tener un sinnúmero de configuraciones de redes viales y entre estas unas más eficientes que otras, la idea de este trabajo es analizar algunas redes viales ya existentes y otras ficticias con el fin de examinar la ausencia o exceso de tramos viales, y determinar cómo estos pueden afectar el funcionamiento de las redes cumpliendo los siguientes objetivos planteados: objetivo general: Determinar cómo influyen la comisión u omisión de datos en las bases de datos de redes viales sobre características fundamentales de las diferentes rutas de transporte dentro de una ciudad. objetivos específicos: ● Elaborar un diseño experimental que permita dar respuesta a cómo influye la comisión u omisión de datos de redes viales en el tráfico urbano. ● Definir las redes viales objeto de estudio en el presente trabajo. ● Definir las variables a utilizar en el diseño experimental. ● Ejecutar el experimento planteado para cada una de las redes viales. ● Analizar los resultados obtenidos. ● Concluir si el modelo aplicado a los datos trabajados muestra una afectación significativa en la funcionalidad del servicio en las rutas, después de haber modificado la compleción (omisión/comisión) de las redes viales.
Ejercicios realizados
1. Recolección de datos: se descargaron los datos geográficos en formato shapefile de las redes de transporte de las ciudades de Teruel, Segovia (España) y Cota (Colombia), estos conjuntos de datos se denominaron CD1 Teruel, CD2 Segovia y CD3 Cota respectivamente, además se digitalizaron otras dos redes viales en formato shapefile basadas en diferentes ciudades; CD4 Sintéticas 1 basada en Brasilia (Brasil) y Buenos Aires (Argentina), y CD5 Sintéticas 2 basada en la ciudad de Melbourne (Australia). 2. Prueba de uso: Por medio de las herramientas QGIS + QNeat3 y ArcGIS + Network Analyst se realizaron varias pruebas de uso en donde se dispusieron aleatoriamente algunos puntos de partida y otros puntos de finalización de rutas en los conjuntos de datos de las redes viales, en seguida se ejecutó el programa que encontró las rutas más eficientes en función de tiempo para conectar estos puntos, de esta manera se evidenció que tanto los ficheros de las redes viales como el programa fueran funcionales para el experimento. 3. Descripción general de los diseños de experimento: se definieron y describieron los dos diseños de experimentos a realizar para obtener resultados que permitirán ver cómo influyen la comisión u omisión de datos en los conjuntos de datos de redes viales sobre características fundamentales de las diferentes rutas de transporte dentro de una ciudad, dando como resultado dos diseños de experimento factoriales completos; el primero con para identificar la influencia de compleción de cada red vial para una sola gran ruta que atraviesa gran parte de la ciudad, este es un experimento factorial completo de 3 factores, cada uno de 5 niveles, y el segundo para identificar la influencia de compleción de cada red vial sobre un gran número de vías ubicadas al azar en la ciudad.



4. Modificación de las redes viales: Cada conjunto de datos fue modificado de manera que se quitaron y se adicionaron tramos viales al azar, además también se dispusieron giros restringidos en las intersecciones viales, esto con el fin de tener diferentes escenarios que cumplieran con las condiciones necesarias para llevar a cabo los experimentos planteados en el punto anterior y con base en los datos obtenidos descubrir que escenario arroja los datos más eficientes en términos de tiempo de recorrido, distancia y número de giros de cada ruta.
5. Descripción de las redes viales finales: Una vez se definieron los diferentes escenarios de cada conjunto de datos que se utilizarían en los ejercicios se hicieron tablas descriptivas para cada escenario con la información más relevante de los mismos.
6. Desarrollo del ejercicio 1: se ejecutó el programa para encontrar la mejor ruta en cada una de las ciudades con un punto de partida, un punto de finalización y diferentes paradas en diversos puntos de la ciudad previamente establecidos, esto se hizo para cada uno de los escenarios definidos, algunos con comisión de tramos viales y otros con omisión de las mismas, generando un total de 125 rutas para cada ciudad cada ruta con resultados (tiempo de recorrido, distancia y número de giros) y condiciones diferentes (en términos de compleción y restricciones en los conjuntos de datos).
7. Desarrollo de ejercicio 2: se dispusieron 200 puntos de partida y de meta al azar en cada uno de los conjuntos de datos de manera tal que se generara 200 rutas, luego en cada escenario condiciones de compleción y de restricciones diferentes se ejecutaron las mismas rutas, obteniendo conjuntos de datos de las 200 rutas (tiempo de recorrido, distancia y número de giros) diferentes para cada escenario, con un total de 5 000 resultados para cada red vial.

Resultados

Resultados del ejercicio 1:

Como se mencionó anteriormente en este ejercicio se obtuvo un total de 125 resultados para cada red vial, los resultados fueron los datos de tiempo de recorrido, distancia y número de giros, con ayuda del programa Minitab que es una herramienta estadística se pudo obtener datos estadísticos con los que se interpretar y comparar la diferencia de los resultados de una manera sencilla viendo cómo se diferenciaban los resultados entre los escenarios con mayor omisión o comisión de tramos viales. Estos datos fueron analizados para generar las conclusiones permanentes, como se trata de una gran cantidad de datos para ver la totalidad de ellos se debe consultar el “Anexo 02 Datos obtenidos en el ejercicio 1” del presente TFM.

Resultados del ejercicio 2:

De la misma manera que para el ejercicio 1 los resultados son los datos de tiempo de recorrido, distancia y número de giros que nos permiten ver el comportamiento de las rutas en cada escenario planteado, a diferencia del primer ejercicio por tener un gran número de rutas en cada red vial e este ejercicio se obtuvieron conjuntos de 5000 respuestas para cada red vial, estos se analizaron estadísticamente con la ayuda del programa Desing Expert 13 que cuenta con una gran capacidad de manejo de datos, los resultados completos de este ejercicio se encuentran en el “Anexo 05 Datos obtenidos en el ejercicio 2” del presente TFM

Conclusiones

- Para los dos ejercicios el factor que posee una mayor influencia sobre los enrutamientos es el porcentaje de tramos viales, en todos los escenarios donde se quitaron tramos viales (generando omisión de estos), la capacidad en términos de tiempo y distancia de las rutas bajo fuertemente, mientras que, al aumentar el número de vías, generando comisiones de tramos, la capacidad aumento solo un poco. De esto se puede concluir que aumentar el número de vías no significa necesariamente tener una mayor eficacia, solo redes superpobladas de vías, la capacidad respecto al aumentos de número de vías entonces solo mejora si este aumento se realiza de forma estratégica en términos de ubicación, también es importante decir que en



un escenario real el aumento masivo de vías es poco posible pues estas invadirían áreas destinadas para otras tareas diferentes al tránsito vehicular.

- El factor menos significativo en el primer ejercicio es el de velocidad. Teniendo en cuenta que es un factor que no se puede controlar en un escenario real, este factor solamente incide en el tiempo de recorrido y no genera afectación ninguna que modifique el comportamiento de las rutas.

- El factor menos significativo en el segundo ejercicio es el de las restricciones de giros, además viendo las maneras en que este valor afecta las rutas planteadas se puede concluir que, en una red vial con número y disposición ideal, las restricciones u obstáculos que se puedan llegar a presentar no deberían tener una gran afectación desde que estas no se ubiquen en lugares críticos como avenidas u autopistas.

- Las rutas más afectadas por los giros prohibidos se dieron en las zonas con menos tramos viales en todos los conjuntos de datos, siendo estas principalmente las zonas a las afueras de las ciudades, todas las rutas presentan insuficiencia de tramos viales en sus zonas periféricas, esto resulta normal pues en escenarios reales los ciudadanos suelen desplazarse más al interior de la ciudad.

- El conjunto de datos que presento los resultados más desiguales fue el de la ciudad de Cota, esto se debe a que su morfología es también la más desigual, y la menos funcional por tener una zona central con gran número de tramos viales y una amplia zona con un número limitado vías. También se concluye que en general este conjunto de datos cuenta con una insuficiencia grave de tramos viales, esto se evidencia en los resultados de tiempo y distancia de recorrido, que en lugar de tender a ser un valor constante disminuyen considerable con la adición de tramos viales.

- El conjunto de datos con mayor saturación de vías es CD2 Segovia, esto no implica que sea ineficiente, ya que los resultados en su red vial original son idóneos; sin embargo, el experimento muestra que añadir más tramos viales a este conjunto de datos sería contraproducente, esto lo evidencian los resultados de tiempo; en donde el tiempo aumenta a medida que lo hace los tramos viales ya que se sumó un segundo por cada intersección vial que atravesaran las rutas. Todos los otros conjuntos de datos podrían mejorar su servicio de enrutamiento si fuere posible adicionarles tramos viales, como se puede ver en los resultados obtenidos.

- En cuanto a las herramientas utilizadas resultó más útil el funcionamiento de “Network Analyst” de ArcGIS que el de “QNeat3” de Qgis, en parte porque esta última no permitía la ubicación de giros restringidos de manera sencilla por lo usarla resultaba más demorado y engorroso, también se debe aclarar que la herramienta “Network Analyst” no permite la creación masiva de rutas aleatoria, por lo que se debió crear un par de herramientas adicionales por medio de diagramas de flujo con “model builder” para llevar a cabo el trabajo. A pesar de lo anterior se debe resaltar también el hecho de que mi experiencia personal es más amplia en el uso de ArcGIS.

- Aunque los dos programas estadísticos son funcionales para el desarrollo de diseños de experimentos DoE, Minitab resulta más intuitivo y de fácil funcionamiento, lamentablemente este no cuenta con la potencia suficiente para llevar a cabo un ejercicio como el número 2 de este trabajo. Por otro lado, Design Experiment 13, a pesar de ser menos amigable con el usuario, tiene mayor capacidad de procesamiento de datos.

- En general para la mayoría de redes viales estos ejercicios darán una idea válida de las zonas en donde hay saturación o insuficiencia de tramos viales, aunque existan grafos puntualmente difíciles de evaluar de esta manera como fue el caso de CD5 Sintéticas 2, en donde condiciones como la forma del grafo, la disposición y tipo de vías del mismo arrojó muchos resultados no acordes a la realidad. Se debe resaltar también que el experimento no muestra puntualmente



que tramo vial sobra o falta, solo la zona en donde estos factores afectan la calidad de las rutas. En todo caso para tener los mejores resultados a la hora de evaluar una red vial o implementar una en un proceso de planeación de ordenamiento territorial se recomienda tener en cuenta más factores, como los son la cantidad de tráfico que suele incurrir en la ciudad dependiendo de su población, densidad y poblacional e indicadores de la misma a futuro y semaforización.



2. RESUMEN /ABSTRACT

RESUMEN:

Este trabajo busca determinar la influencia que puede tener la compleción de una red vial en los posibles enrutamientos que un ciudadano pueda establecer sobre dicha red en su vida cotidiana o en alguna ruta preestablecida como lo es una línea de autobús o la ruta de recolección de basuras, para esto se establecerán experimentos sobre varios conjuntos de datos pertenecientes a diferentes redes viales, algunas tomadas de la realidad y otras ficticias o sintéticas, se verán los procedimientos realizados en herramientas enfocadas a información geográfica y estadística, se analizarán datos estadísticos, y se verá el comportamiento final de las rutas durante varios escenarios.

Palabras clave:

(DOE) Diseño de Experimento, Red vial, Velocidad, Tiempo, Distancia, Giros, Restricción, Calidad, Vial, Ruta y ArcGIS.



ABSTRACT:

This work seeks to determine the influence that the completion of a road network can have on the possible routings that a citizen can establish on said network in their daily lives or on some pre-established route such as a bus line or the garbage collection route. For this, experiments will be established on several sets of data belonging to different road networks, some taken from reality and others fictitious or synthetic, the procedures carried out in tools focused on geographic and statistical information will be seen, statistical data will be analyzed, and it will be seen the final behavior of routes during various scenarios.

Keywords:

DOE) Design of Experiment, Road Network, Speed, Time, Distance, Turns, Restriction, Quality, Road, Route and ArcGIS.



3. INTRODUCCIÓN

Dentro de la dinámica de movilidad del entorno urbano, se evidencia la influencia de los diferentes factores que afectan o favorecen la calidad de servicio en las rutas de las redes viales. Aunque para el diseño de redes viales existen diferentes estándares y normativas, no existen estudios específicos que determinen cómo la comisión u omisión de datos dentro de dichas redes afectan el tráfico urbano, por lo anterior, en el presente trabajo se plantea un modelo estadístico aplicable en diferentes escenarios, advirtiendo dicha afectación en aspectos básicos como la distancia, tiempo de recorrido y número de giros dentro de rutas de tránsito.



4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

4.1 JUSTIFICACIÓN

Uno de los factores más influyentes en el desarrollo de una ciudad o un entorno es su red vial, la afectación que se produce por parte de este factor se ve en el transporte de mercancías, distribución de productos, desplazamiento de los pobladores, etc. Obviamente para una misma ciudad se podría tener un sinfín de configuraciones de redes viales y entre estas unas más eficientes que otras, la idea de este trabajo es analizar algunas redes viales ya existentes y otras ficticias con el fin de examinar la ausencia o exceso de tramos viales, y determinar cómo estos pueden afectar el funcionamiento de las redes.

4.2 OBJETIVO GENERAL

Determinar cómo influyen la comisión u omisión de datos en las bases de datos de redes viales sobre características fundamentales de las diferentes rutas de transporte dentro de una ciudad.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un diseño experimental que permita dar respuesta a cómo influye la comisión u omisión de datos de redes viales en el tráfico urbano.
- Definir las redes viales objeto de estudio en el presente trabajo.
- Definir las variables a utilizar en el diseño experimental.
- Ejecutar el experimento planteado para cada una de las redes viales.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Concluir si el modelo aplicado a los datos trabajados muestra una afectación significativa en la funcionalidad del servicio en las rutas, después de haber modificado la compleción (omisión/comisión) de las redes viales



5. ANTECEDENTES

En el presente apartado se muestran algunos antecedentes relacionados con el propósito de estudio y temáticas empleadas en el trabajo actual, esto ayudará a que el lector entienda los conceptos términos y metodologías, proporcionando un contexto para el TFM planteado.

Para el tema de diseño de experimentos o *desing of experiments*, por sus siglas en inglés DoE, se estudió el documento “Diseño de Experimentos, Métodos y Aplicaciones” de la universidad nacional de Colombia de Oscar O. Melo, Luis A. López y Sandra E. Melo, quienes hablan de manera detallada sobre las diferentes categorías de diseño de experimentos (DoE) y su aplicabilidad según los datos a usar, es decir, cada factor y sus diferentes niveles. Este libro explica que un diseño de experimento DoE es un estudio del efecto que distintas situaciones experimentales tienen sobre ciertas variables cuantitativas, además se explica que se tienen dos tipos de diseño de experimentos (DoE) principales; unifactorial, que como su nombre lo indica se aplica cuando en el experimento solo existe un factor a evaluar, este caso se puede ejemplificar con la producción textil de una prenda, en la que una empresa quiere saber cómo cambia la calidad del producto dependiendo del porcentaje que se use de un material determinado como el algodón, en otras palabras; cómo cambia la resistencia de la prenda dependiendo de qué porcentaje de algodón se utilice en su fabricación, el DoE entonces será un experimento de diferentes ensayos en donde cambia el porcentaje de algodón utilizado y se mide la calidad final de la prenda para cada caso, en esta oportunidad existe un solo factor que es el algodón, y tiene varios niveles correspondientes a los diferentes porcentajes de algodón evaluados. Por otra parte, el DoE factorial es el que incluye más de un factor o variable; continuando con el ejemplo anterior, la misma empresa desea medir la calidad de sus prendas, pero en esta ocasión viendo como es afectada por más de un material, existen entonces varios factores que así mismo cuentan con diferentes niveles. Lo ideal es que cada nivel de cada factor interactúe con todos los niveles de los demás factores, haciendo que la confiabilidad del experimento sea mayor, a esto se le llama un DoE factorial completo; sin embargo, cuando resulta imposible evaluar todas las combinaciones entre los niveles de los factores de interés, se tendría un DoE factorial fraccionado, que, a pesar de ser funcional, su confiabilidad es menor a la de un DoE factorial completo.

En el curso “¿Cómo viajamos por la ciudad? Asignación y equilibrio en redes de transporte” ofrecido por la Pontificie universidad católica de Chile y cuyos instructores son Homero Larrain,



Juan Carlos Muñoz y Sebastián Raveau, se explica que un grafo, también conocido informalmente como red, se define como una herramienta matemática formada por un conjunto de nodos o vértices y por arcos o aristas, cuando estos arcos tienen una dirección definida se conocen como arcos dirigidos, y un grafo compuesto únicamente por arcos dirigidos es un grafo dirigido, de esta manera una red de transporte puede ser modelada como un grafo dirigido, donde los nodos representan las intersecciones viales mientras que los arcos representan las calles, así mismo un grafo puede almacenar en sus nodos y arcos información adicional, para un grafo que representa una red vial esta información puede ser la distancia o el tiempo de recorrido entre dos nodos, los grafos que cuentan con este tipo de información se conocen como grafos ponderados. Con base en lo anterior se sabe entonces que los datos o entidades que compone una red vial representada por un grafo ponderado como es el caso de este trabajo, serán arcos dirigidos, nodos, e información contenida en estos dos últimos.

En el artículo científico “Calidad de datos geoespaciales básicos” publicado en la revista “UD y la geomática” de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y cuyo autor es Edilberto Niño Niño, se describe la calidad como un conjunto de parámetros subjetivos que se utilizan para comparar un servicio o producto con otros de su misma especie, asignándole a este un escalafón que lo define como bueno o malo, mejor, igual o peor que otros. En cuanto a la calidad de datos geoespaciales se mide con la exactitud, lógica y coherencia que tengan dichos datos tanto para el productor como para el consumidor de los mismos por medio de herramientas SIG, cartografía u otras fuentes de información, para Colombia existen unos lineamientos definidos que permiten medir la calidad en los datos geoespaciales, estos se encuentran en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5043, los elementos y subelementos que componen la calidad de este tipo de datos se encuentra a continuación.



Elementos de calidad	Subelementos de calidad
A- Grado de totalidad	a1- Comisión
	a2- Omisión
B- Consistencia lógica	b1- Consistencia de dominio
	b2- Consistencia topológica
	b3- Consistencia de formato
C- Exactitud de posición	c1- Exactitud absoluta o externa
	c2- Exactitud relativa o interna
	c3- Exactitud de posición de datos de celdas
D- Exactitud temporal	d1- Exactitud en la medición del tiempo
	d2- Consistencia temporal
	d3- Validez temporal
E- Exactitud temática	e1- Exactitud de clasificación
	e2- Exactitud de un atributo cualitativo
	e3- Exactitud del valor dado a un atributo cuantitativo

Ilustración 1: Elementos y subelementos de calidad de datos NTC 5043

De manera similar a la descripción de calidad vista anteriormente en el curso “Calidad en Cartografía” de la universidad Politécnica de Madrid dictado por el doctor Francisco Javier Ariza López en el año 2003 se describe que la calidad es una propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie. Con base en lo anterior se puede inferir que el concepto de calidad es uno mismo a nivel internacional, y así como la normativa NTC 5043 es la encargada de reglamentar la calidad de datos geográficos en Colombia, existe una normativa internacional encargada de regir la calidad enfocada a los datos geográficos, esta es la *Internacional Organization for Standardization* (ISO) 19157 de 2013 titulada “Información geográfica, calidad de datos”. Resulta importante resaltar de lo referente esta normativa la forma en que se mide la calidad en términos de compleción, es decir la omisión y comisión de datos, ya que este es uno de los temas más relevantes en el presente trabajo, en donde se verá qué efectos puede causar esta compleción de datos en grafos viales. Lo primero es decir que la normativa define la comisión



como datos excedentes presentes en un conjunto de datos, y la omisión como datos ausentes de un conjunto de datos. Esta normativa también aclara que cada entidad podrá definir este nivel de conformidad de acuerdo con los requerimientos del usuario y del proyecto, siempre y cuando se mantenga en el rango de 90% al 100%, por ejemplo, en lo que concierne a la producción de los datos que conforman la información de referencia de la ciudad de Bogotá debe ser mayor o igual al 97%, esto quiere decir que para la información geográfica de por ejemplo 100 casas, es válido en la producción de cartografía un dato entre 97 y 103 casas, un rango con máximo 3% de imprecisión, siempre será necesario medir el número de exceso o falta de ítems en la información geográfica con referencia al dato real para conocer su grado de comisiones u omisiones, nuevamente para el caso de la ciudad de Bogotá estos datos se registran en formatos de evaluación y reporte de calidad preestablecidos para llevar el control de esta variable de calidad, en todo caso, para evaluar la calidad de un proyecto se valoran en conjunto diversas variables, elemento y subelementos descritos en la norma ISO19157, dependiendo de la entidad productora del dato y las especificaciones técnicas del producto si es el caso.

Ampliando el tema de calidad de datos geográficos y los descrito en la norma ISO 19157, se puede traer a colación el trabajo “Los diferentes test para el control de calidad posicional en Cartografía” escrito por Atkinson Gordo, Alan D.J. García Balboa, José Luis y Ariza López, Francisco J., que como su nombre lo indica nos presenta una serie de posibles test o pruebas que se le pueden realizar a la información cartográfica final para conocer su grado o nivel de calidad, aunque en algunos métodos se utilicen ecuaciones preestablecidas, como es el caso de los métodos EMAS/ASPRS y NSSDA, todos estos test se basan en la comparación del dato geográfico a evaluar con uno tomado de una fuente más confiable. En todo caso este trabajo de la misma manera que la norma ISO 19157 y la norma NTC 5043 puntualiza que cada proyecto es diferente, y que en general la calidad que debe cumplir el dato geográfico depende del proyecto a realizar, sus objetivos y publico final. Cabe resaltar que la finalidad del presente trabajo no es la de evaluar la calidad de los datos geográficos analizados, puesto que no se tienen muestra tomadas en campo para su respectiva comparación, sino que la idea es hacer modificaciones a los datos geográficos de manera tal que su calidad pueda aumentar o disminuir, y con esto establecer la afectación que estas modificaciones puedan surtir en diversas rutas de transporte.



6. MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se describen los materiales, como programas (software), herramientas e información utilizada en el experimento planteado, además del método o flujo de trabajo para el desarrollo del mismo.

En cuanto al software para el tratamiento de la información geográfica, es bien sabido que los dos más populares y utilizados son ArcGIS y QGIS, con la diferencia de que este último es un software de uso abierto y gratuito, por lo que el planteamiento inicial fue utilizarlo en el desarrollo del presente experimento; sin embargo, al realizar las primeras pruebas se encontró con la dificultad de que en la herramienta de este software para el análisis de redes “QNeat3” no es posible agregar restricciones de giros en una red vial por lo menos de una manera rápida y eficiente. Teniendo en cuenta esto se tomó la decisión de utilizar la herramienta “*Network Analyst*” del software ArcGIS.

Para el análisis estadístico se utilizaron dos programas capaces de procesar DoE factoriales, el primero de ellos es Minitab 19, el cual se utilizó para procesar los datos del primer ejercicio, pero que lamentablemente presentó un problema al evaluar DoE con un rango de datos más amplio, pues solo acepta factores de máximo 100 niveles, esto hizo que para el segundo ejercicio se utilizara Desing Expert 13. Cada uno de ellos tienen debilidades y fortalezas como se evidenciará más adelante en el desarrollo de los dos ejercicios que componen este trabajo.

Para tener un mayor número de respuestas, además de una confiabilidad más alta en los resultados, este trabajo se dividió en dos experimentos o ejemplos de uso diferentes:

En este trabajo se muestran dos diseños de experimento (DoE) factoriales completos en los que se evalúan datos que componen diferentes redes viales, el primero con 3 factores cuantitativos (porcentaje de tramos viales, porcentaje de giros restringidos y velocidad), y el segundo con dos factores cuantitativos (porcentaje de tramos viales y porcentaje de giros restringidos) y uno cualitativo (No. de ruta), todos los factores cuantitativos tienen 5 niveles, mientras que el cualitativo tiene 200, este último por ser de naturaleza cualitativa no afecta en las respuestas obtenidas. Por otra parte, las respuestas a evaluar serán las mismas para los dos casos; tiempo de recorrido, distancia y número de giros.



En el primer caso se van a evaluar las redes viales como escenarios para una posible ruta y cómo ésta se puede ver afectada al modificar dicha red vial. Partiendo del planteamiento anterior para este primer ejercicio se dispuso una ruta para cada red vial con un número determinado de paradas por las que esta debe pasar en un orden específico y varía según el tamaño de cada red vial, este escenario se puede ver como el ejemplo de una ruta de mensajería que debe recorrer la ciudad y dejar paquetes en diferentes sitios específicos o la ruta de un bus que independientemente de los obstáculos que pueda encontrar durante su recorrido, debe parar en algunas estaciones puntuales para dejar o recorrer pasajeros. Este ejercicio mostrará entonces la afectación de una ruta puntual por los escenarios planteados que modifican las redes viales evaluadas.

Por otra parte, el segundo ejercicio funciona no solamente con una ruta para cada red vial, sino que para cada una de estas se dispusieron 200 rutas de manera aleatoria con el fin de cubrir la mayor extensión posible de la red, al igual que en el primer ejercicio, en este se hicieron modificaciones en cada red, pero se evaluó el comportamiento de todas las rutas como un mismo conjunto de datos. Este último ejercicio busca mostrar de una manera global cómo afecta la calidad de los datos en términos de compleción (omisión y comisión) a la funcionalidad de un servicio de enrutamiento.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo mencionando los pasos del proceso completo realizados.

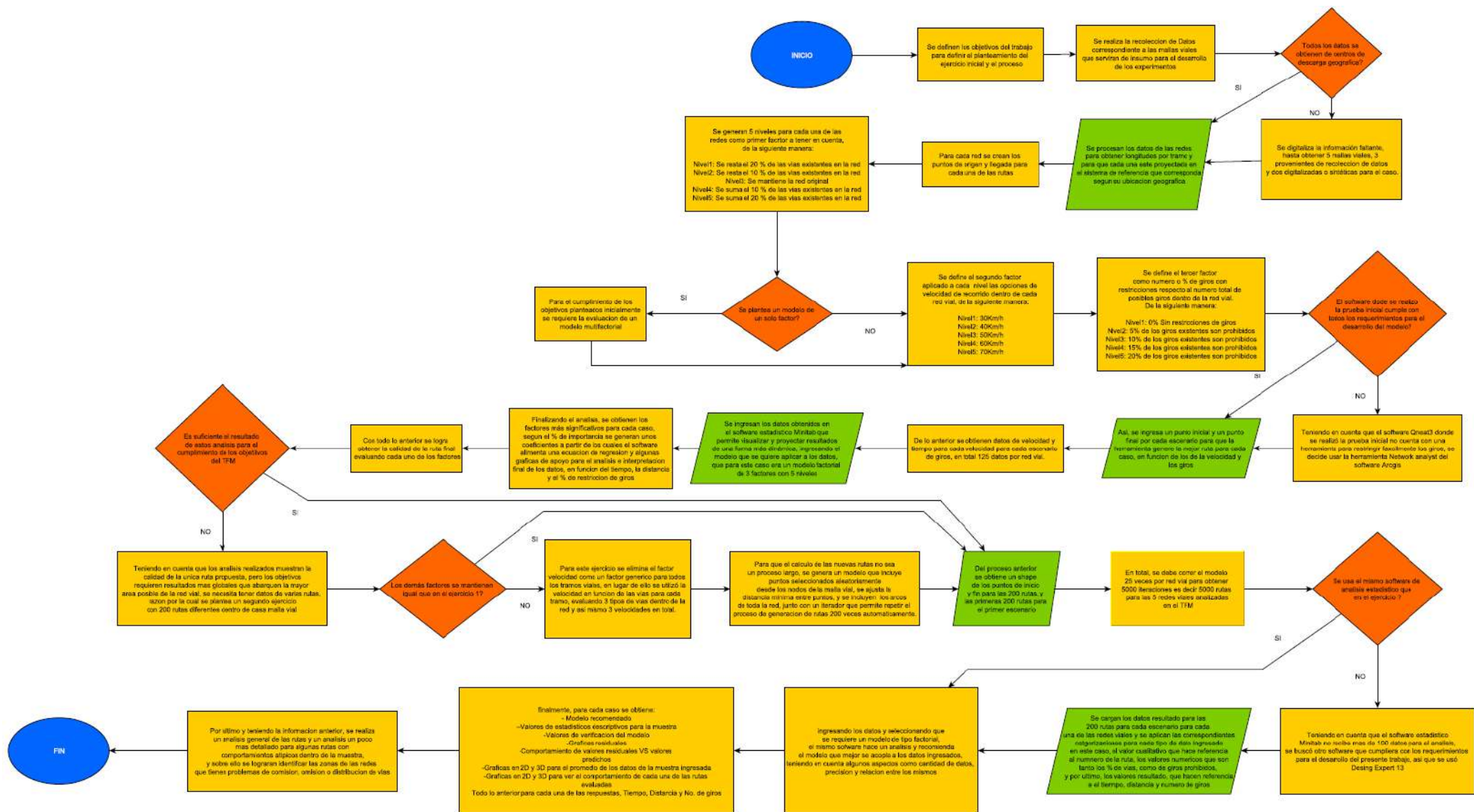


Ilustración 2: Diagrama de flujo del proceso completo (Anexo 1.)

El siguiente esquema muestra, paso a paso el proceso general de los dos experimentos descritos en los párrafos anteriores, que será explicado detalladamente en los posteriores apartados.

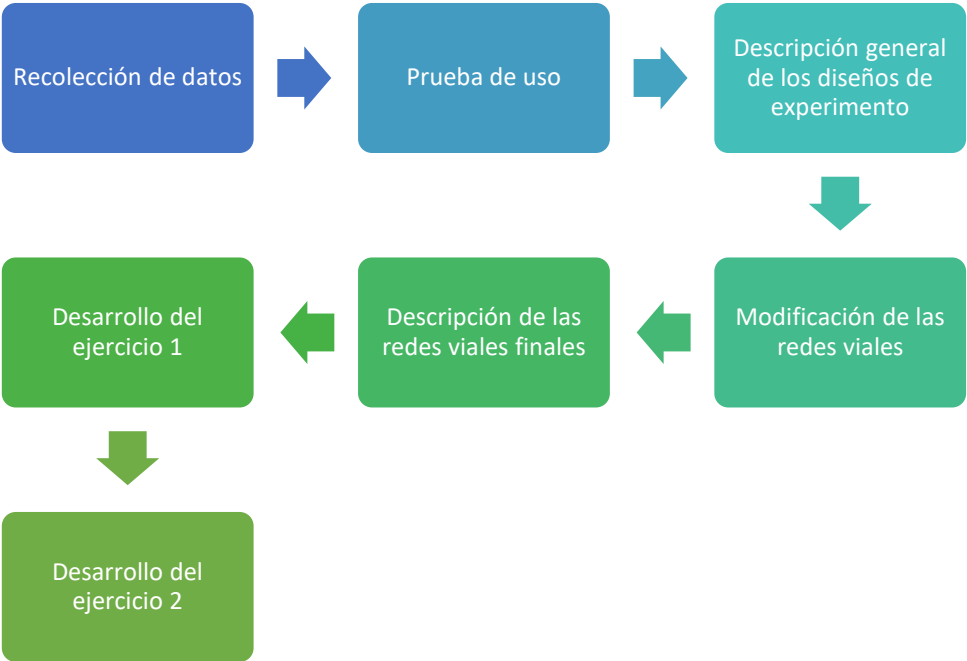


Ilustración 3: Esquema del método



6.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación, se describe la metodología por la cual se recolectaron los datos a usar en los dos ejercicios planteados.

Los primeros ficheros vectoriales, en formato shapefile, que se obtuvieron fueron los obtenidos a partir de ciudades reales, como la idea es que el estudio se realice para ciudades relativamente pequeñas se escogieron dos ciudades españolas y una colombiana que tuvieran una población no mayor a 50.000 habitantes, las ciudades españolas escogidas fueron Segovia y Teruel, para ambos casos la información se descargó por medio de la página del centro de descargas del instituto geográfico nacional de España.



Ilustración 4. Mapa de descargas ING España, Segovia

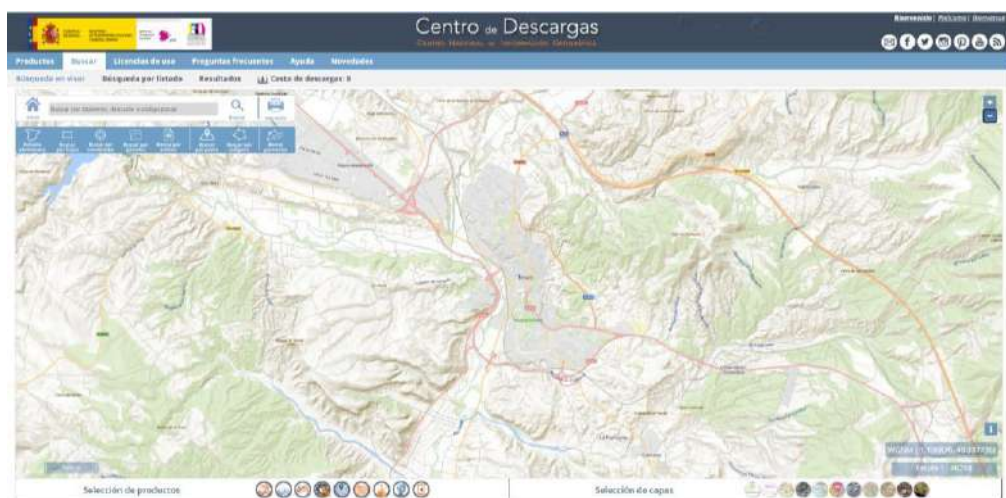


Ilustración 5. Mapa de descargas IGN España, Teruel



Al descargar la información se obtiene un archivo comprimido con un gran número de elementos, así que se depuro la información para obtener como que realmente interesa, para este caso se deja el archivo llamado RT_VIARIA con la red vial de las ciudades de Teruel y Segovia respectivamente, para identificar los conjuntos de datos de estas dos redes viales se les nombró “CD1 Teruel” y “CD2 Segovia” respectivamente.

Por otro lado, la ciudad colombiana de la cual se obtuvo la tercera red vial es la ciudad de Cota, ubicada en el departamento de Cundinamarca, esta información se obtuvo de la página oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), este conjunto de datos se nombró “CD3 Cota”

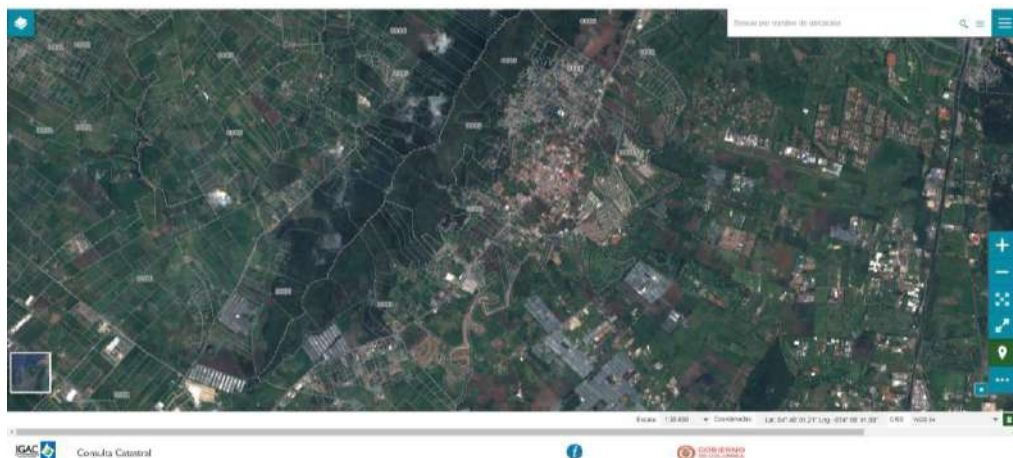


Ilustración 6: Geo visor de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Finalmente, los ficheros de las últimas dos redes viales se obtuvieron por medio de dibujo y digitalización, uno de ello está basado en algunas calles de Brasilia (Brasil) y Buenos aires (Argentina), mientras que el segundo se inspiró en las calles de Melbourne (Australia), estos dos últimos conjuntos de datos se nombraron “CD4 Sintéticas 1” y “CD5 Sintéticas 2”.

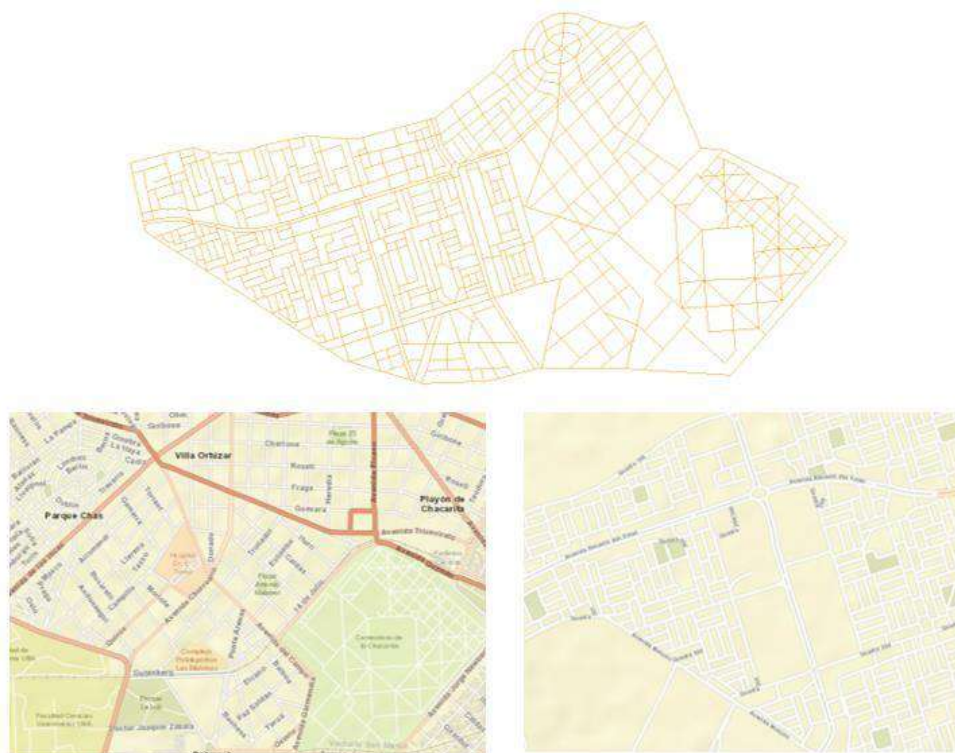


Ilustración 7: Red vial basada en las ciudades de Brasilia (Brasil) y Buenos Aires (Argentina) CD4 Sintéticas 1

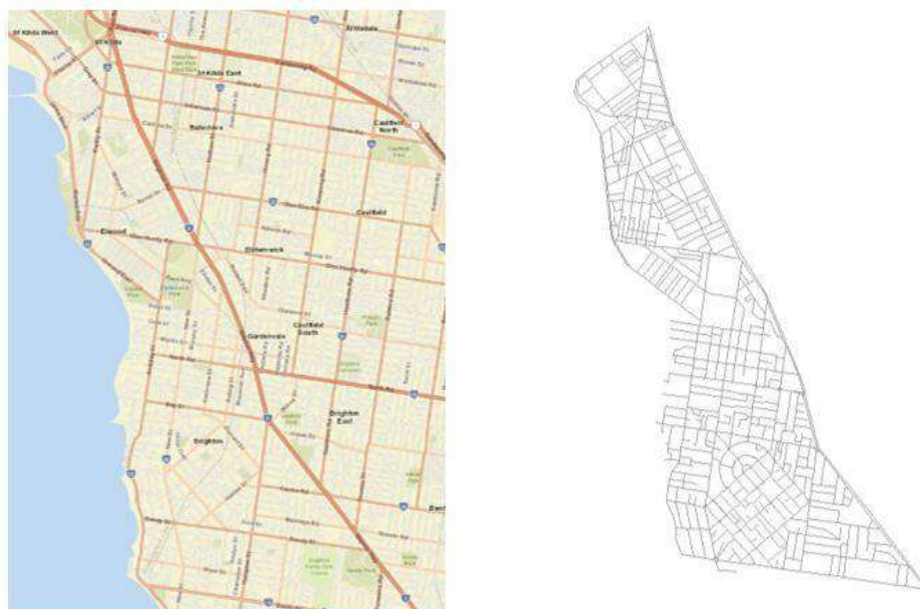


Ilustración 8: Red vial basada en la ciudad de Melbourne CD5 Sintéticas 2

Conjunto de datos	Productor	Fecha datos	Fecha Descarga	URL descarga	Formato	URL metadatos
-------------------	-----------	-------------	----------------	--------------	---------	---------------



CD1 Teruel	Instituto geográfico nacional (España)	1/4/2021	5/5/2021	https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscador.do	SHP	https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/linkUnMD
CD2 Segovia	Instituto geográfico nacional (España)	1/4/2021	5/5/2021	https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscador.do	SHP	https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/linkUnMD
CD3 Cota	Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	2018	5/5/2021	https://www.colombiaenmapas.gov.co/#	SHP	http://metadatos.igac.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/7cf26509-f938-4937-a097-f1168bd0bcb0
CD4 Sintéticas 1	Elaboración Propia	2019	N/A	N/A	SHP	N/A
CD4 Sintéticas 2	Elaboración Propia	2019	N/A	N/A	SHP	N/A

Tabla 1: Descripción de los conjuntos de datos

Para la preparación de los conjuntos de datos fue necesario calcular la longitud de las vías que conforman cada uno de estos, los dos conjuntos de datos que representan la redes viales de ciudades españolas se proyectaron en Universal Transversal Mercator (UTM) 30N para el cálculo de las longitudes de cada vía, por otra lado los otros 3 conjuntos de datos se proyectaron en el sistema de coordenadas del origen central de Colombia (Magna Colombia Bogotá), ya que se dibujaron ubicados geográficamente cerca de la ciudad de Bogotá Colombia, por lo que este origen cartesiano es el que calcula las longitudes más precisas para dichos ficheros. Después de asegurarse de que todas las vías contarán con un atributo almacenando la información referente a su longitud, se creó otro atributo para cada vía que albergará la información de su sentido, es decir si la vía es de doble sentido o de sentido único, este campo será muy importante en el futuro, ya que a la hora de hacer el estudio de recorrido de rutas las vías tienen que cumplir con las condiciones de un recorrido real, por lo que tendrán que cumplir con condicionantes tales como no ir en contravía o contrasentido, también se calculó la velocidad de cada tramo vial.

Conjunto de datos	Estadísticas		
	No tramos	No Cruces	Long. Media (m)
CD 1 Teruel	2022	1403	81,336
CD 2 Segovia	3647	2596	102,167



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

CD 3 Cota	556	373	257,024
CD 4 Sintéticas 1	1371	852	98,994
CD 4 Sintéticas 2	1086	722	183,258

Tabla 2: información estadística de los conjuntos de datos



6.2 PRUEBA DE USO

Para comprobar el buen funcionamiento de las redes viales se realizó una pequeña prueba de uso consistente en el cálculo de la ruta más corta. Se utilizó QGIS + QNeat3. En primer lugar, se prepararon dos archivos *shapefile* con geometría de puntos, uno con la información de posibles puntos de llegada y otro con posibles puntos de partida nombrados como “destinos” y “origen” respectivamente, ubicados dentro de la zona que abarca una de las redes viales creadas, en este caso “CD4 Sintéticas 1”.

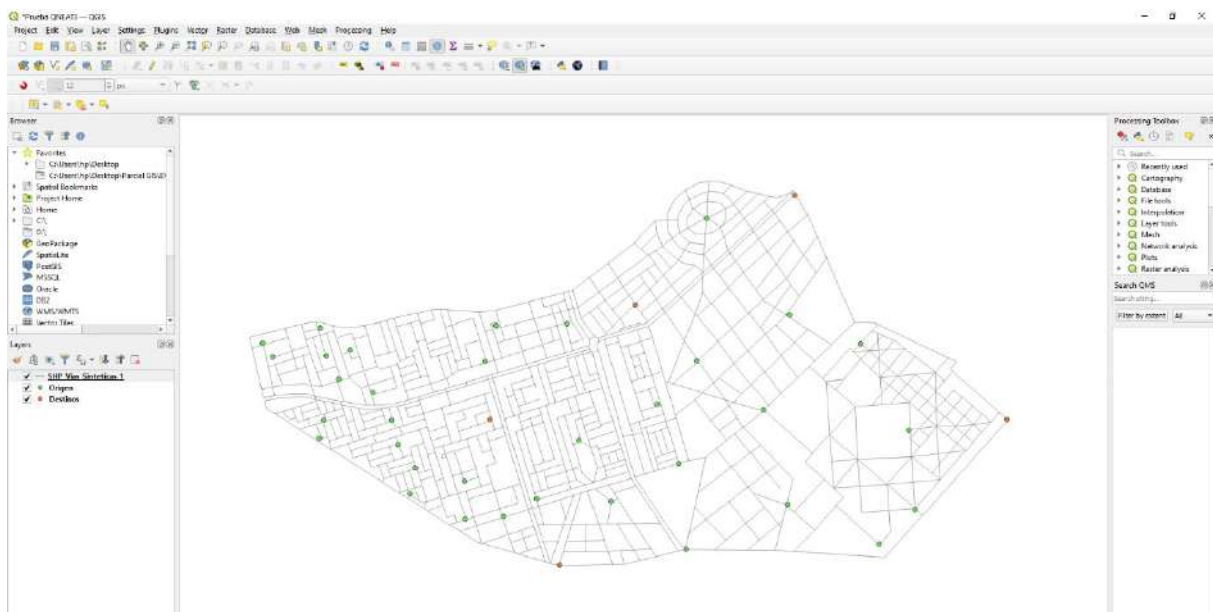


Ilustración 9: Posibles puntos de origen y destino

Después se ejecuta la herramienta mencionada anteriormente, la opción que se usa es la de ruta más corta (punto a punto), aquí se selecciona el fichero en el cual se calculará la ruta más corta entre puntos, para este caso “CD4 Sintéticas 1”, después se seleccionaron espacialmente los puntos elegidos, es decir el punto elegido como origen y como destino de la ruta a calcular, también se debe relacionar el sentido que tienen las vías, esto con el fin de que cualquier ruta calculada respete el sentido real de las vías, es decir que no se calcule una ruta que haga giros prohibidos o que vaya en sentido contrario al que tiene la vía realmente.



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

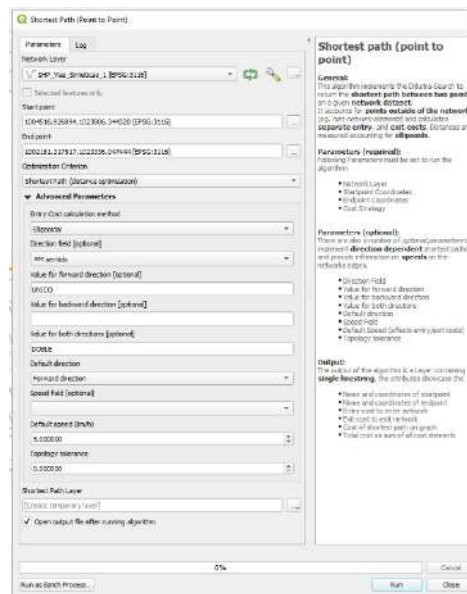


Ilustración 10: Herramienta QNeat 3

La herramienta QNeat3 realiza una serie de iteraciones de posibles rutas respetando el sentido de las vías como se explicó anteriormente, luego compara entre todas las rutas posibles y dibuja la más corta en términos de metros lineales.



Ilustración 11: Primer ejemplo de ruta más corta

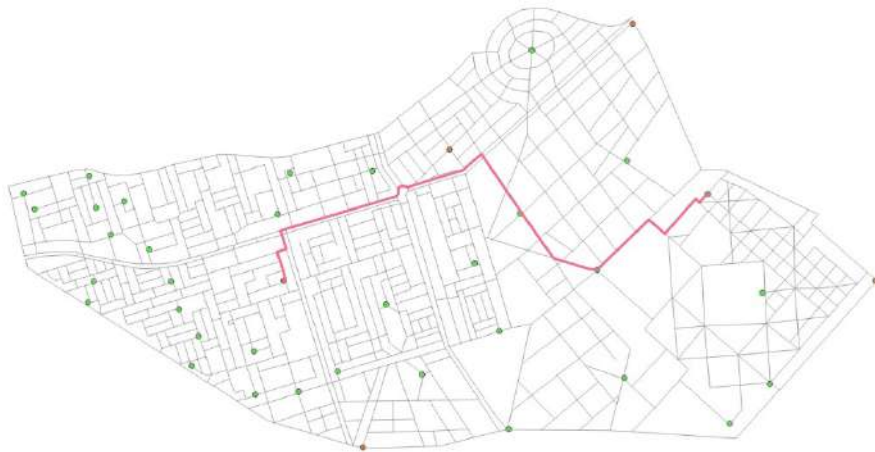


Ilustración 12: Segundo ejemplo de ruta más corta

Como se puede apreciar en las ilustraciones 11 y 12 se dibujó la ruta más corta en los dos ejemplos, en los que se aplicaron puntos de origen y partida diferentes, además de esto se puede evidenciar también en el segundo ejemplo cómo la ruta, al pasar por la avenida de dos carriles toma siempre el camino de la derecha (es decir el camino del costado norte, ya que la ruta inicia en el punto verde y termina en el punto rojo, viniendo de oriente a occidente), lo que muestra claramente que las rutas cumplen con el sentido impuesto en ellas. Después de realizar estas dos pruebas puede concluirse que las redes viales son confiables y se pueden utilizar para llevar a cabo el TFM propuesto.



6.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISEÑOS DE EXPERIMENTO

6.3.1 Ejercicio 1:

El primer ejercicio es un DoE factorial con las especificaciones descritas en la siguiente tabla.

Factores	Tramos Viales (%)					Giros Restringidos (%)					Velocidad (km)				
Niveles	-20	-10	0	10	20	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70
Respuestas															
Distancia de Recorrido						Numero de giros					Tiempo de recorrido				

Tabla 3: Descripción DoE Ejercicio 1

Como se trata de un DoE factorial completo de 3 factores con 5 niveles cada uno, por la interacción de los factores y cada uno de sus niveles se obtiene un total 125 resultados, cada uno con su respectivo número de giros, tiempo y distancia de recorrido. Dichos resultados ingresan al programa estadístico para su análisis. El siguiente apartado explica el proceso del DoE detalladamente, y cómo éste se aplica a las redes viales trabajadas.

6.3.2 Ejercicio 2:

El diseño experimental del segundo ejercicio es un DoE factorial con las especificaciones descritas en la siguiente tabla.

Factores	Tramos Viales (%)					Giros Restringidos (%)					No. de ruta (Factor Cualitativo)
Niveles	-20	-10	0	10	20	0	5	10	15	20	1 - 200
Respuestas											
Distancia de Recorrido						Numero de giros					Tiempo de recorrido

Tabla 4: Descripción DoE Ejercicio 2

Este también es un DoE factorial completo; sin embargo, a diferencia del ejercicio 1 no utiliza la velocidad como factor, para este ejercicio la velocidad de cada tramo vial es fija y depende del tipo de vía (calle, carretera, avenida o autopista), en lugar de esto se utiliza un factor llamado “número de ruta” de naturaleza cualitativa, lo que implica que no tiene significancia en las respuestas del experimento. Los otros dos factores son el porcentaje de tramos viales y el porcentaje de giros restringidos tal como el ejercicio anterior. El número total de respuestas para este caso es de 5000, cada uno con su respectivo número de giros, tiempo y distancia de recorrido, estas también se analizan en paquete estadístico con la diferencia de que son



evaluadas como un mismo conjunto de datos en lugar de respuestas independientes. Nuevamente la aplicación de este DoE a las redes viales trabajadas se explicará detalladamente más adelante.



6.4 MODIFICACIÓN DE LAS REDES VIALES

Para este punto ya se tienen las 5 redes viales de interés; sin embargo, estas son solo las bases de la información que trabajar. Por cada red vial se hará un diseño de experimento o DoE de tipo factorial, ya que en cada red vial se tienen diferentes factores que pueden cambiar el resultado de una posible ruta, estos son el número de tramos viales que compone la red y la cantidad de giros restringidos o prohibidos con los que se puede encontrar un vehículo. La idea es jugar con estos factores y cambiar sus valores, luego generar las rutas de estudio y analizar su impacto por los cambios de la red.

El número de cambios que se puede hacer a cada factor se llama nivel, para este trabajo se le dieron 5 niveles a cada factor, estos se describen brevemente a continuación:

- Primer factor: número o porcentaje de tramos viales que componen una malla vial respecto a su número de tramos viales original.
 - Nivel 1: -20%. En este nivel se quita aleatoriamente el 20 % de tramos viales a una malla vial, es decir, si por ejemplo una malla vial estuviera compuesta por 100 vías, para este nivel se eliminarían 20 vías al azar y se trabajaría con las 80 vías restantes.
 - Nivel 2: -10%. Funciona de la misma manera que el nivel anterior, con la diferencia de que se eliminan solo el 10 % de tramos viales a la red.
 - Nivel 3: 0%. No se quitan ni se añaden tramos viales de la malla vial, por lo que se trabaja con la malla vial real original.
 - Nivel 4: 10% Se añaden aleatoriamente a la malla vial el número de vías igual al 10% tramos viales que componen la malla vial original, es decir que, para una malla vial compuesta de 100 tramos viales, se agregarían 10 tramos viales al azar para trabajar con un total de 110.
 - Nivel 5: Funciona de la misma manera que el nivel anterior, pero en esta ocasión se adiciona el 20 % en lugar de 10%.



- Segundo Factor: Velocidad. La variación entre niveles de este factor es más sencilla que la anterior, simplemente se cambió la velocidad con la que un vehículo puede recorrer la malla vial
 - Nivel 1: 30 Km/h
 - Nivel 2: 40 Km/h
 - Nivel 3: 50 Km/h
 - Nivel 4: 60 Km/h
 - Nivel 5: 70 Km/h
- Tercer factor: número o porcentaje de giros con restricciones respecto al número total de posibles giros en cada malla vial, el proceso de selección de estas restricciones es aleatorio entre todos los vértices del grafo.
 - Nivel 1: 0%. No hay ningún tipo de restricción en los giros, es decir que un vehículo que transite esta malla vial puede hacer cualquier tipo de giro
 - Nivel 2: 5%. Para este nivel se restringieron el 5 % de posibles giros que se pueden hacer en toda la malla vial, si por ejemplo una malla vial tiene 100 intersecciones de tramos viales, entonces para este nivel se prohibirían los giros en 5 de estas intersecciones.
 - Nivel 3: 10%. Funciona de la misma manera que el nivel anterior, pero para este la restricción es del 10% de las intersecciones o posibles giros.
 - Nivel 4: 15% se restringen el 15 % de los posibles giros.
 - Nivel 5: 20% se restringen el 20 % de los posibles giros.

Para el tratamiento de datos se utilizó finalmente la herramienta “*Network Analyst*” del software ArcGIS. La idea original era utilizar la misma herramienta con la que se desarrolló la prueba de uso, es decir “*Qneat3*” + QGis; sin embargo, esta última aparentemente no cuenta con un sistema que permita restringir giros de una manera fácil, cosa que sí se puede hacer de manera rápida en ArcGIS.



Lo anterior se verá ejemplificado para “CD4 Sintéticas 1” a continuación:

Para modificar el primer factor, se cambió el porcentaje de vías a su nivel 1 es decir -20%, por lo que se seleccionó el 20% de tramos viales al azar y se eliminó



Ilustración 13: Selección del 20% de vías al azar



Ilustración 14: CD4 Sintéticas 1 menos 20%



Para el nivel 2 se utilizó el mismo procedimiento que se acabó de ver, solo que ahora se suprimen solamente el 10 % de tramos viales, seleccionados también de manera aleatoria.



Ilustración 15: Selección del 10% de vías al azar.

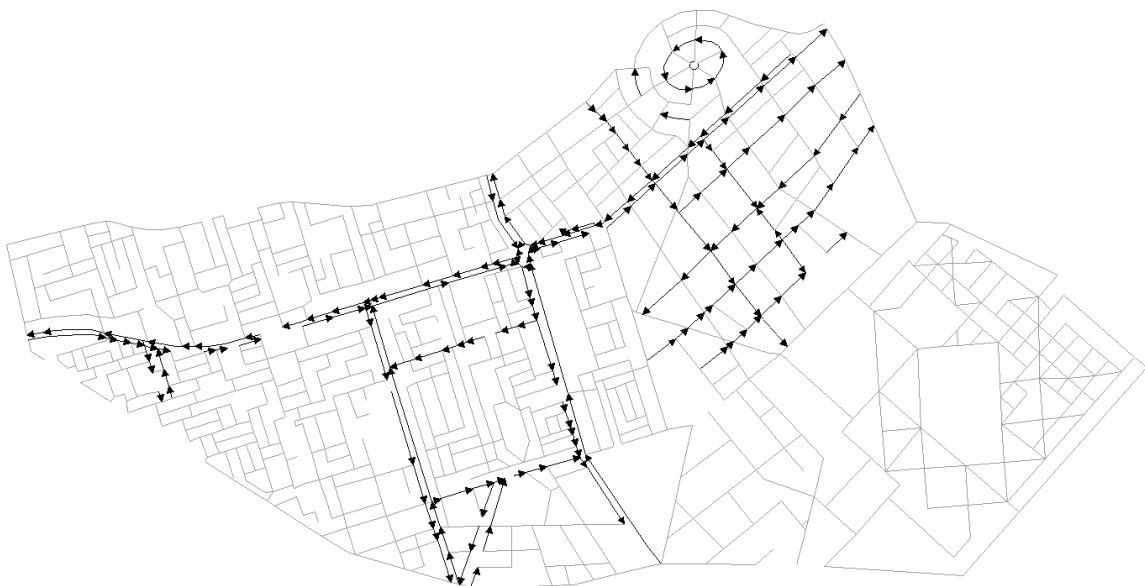


Ilustración 16: CD4 Sintéticas 1 menos 10%



Nuevamente se cambia de nivel el factor referente al porcentaje de vías, teniendo los resultados de los próximos tres niveles; la malla vial original, la malla vial más un 10% de vías y la malla vial más un 20% de vías, como se muestra en las siguientes ilustraciones respectivamente.



Ilustración 17: CD4 Sintéticas 1 original

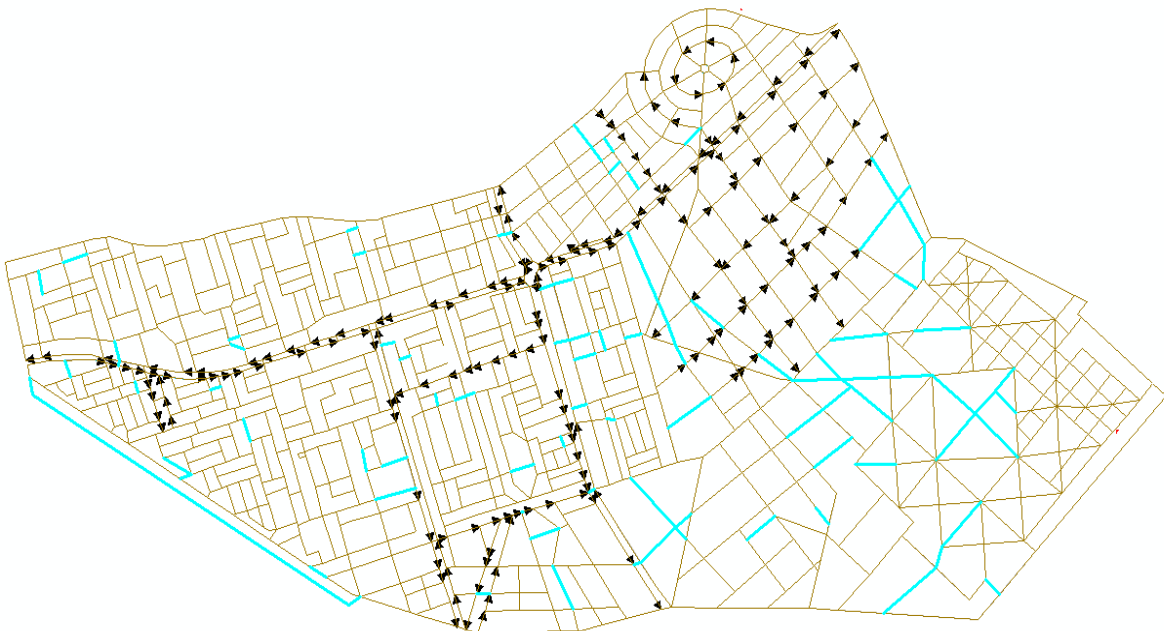


Ilustración 18: CD4 Sintéticas 1 más 10 % de vías

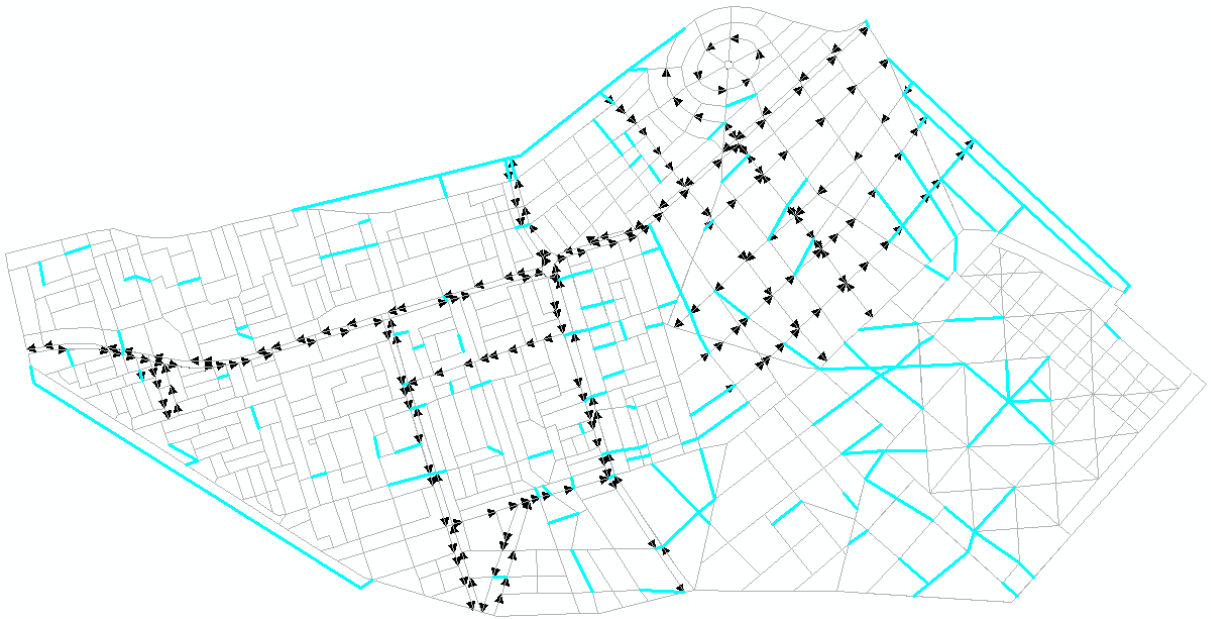


Ilustración 19: CD4 Sintéticas 1 más 20% de tramos viales

Aplicando la misma metodología a las otras redes viales se tienen las redes bases en las cuales se llevará a cabo el diseño de experimento y que se describirán con más detalle en el apartado a continuación.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LAS REDES VIALES FINALES

6.5.1 CD1 Teruel

Esta red vial es un poco más irregular que las demás, esto se debe posiblemente a la topografía de la zona, además se presenta mayor densificación vial en la parte central de la red ya que en los alrededores están las carreteras que rodean la ciudad.

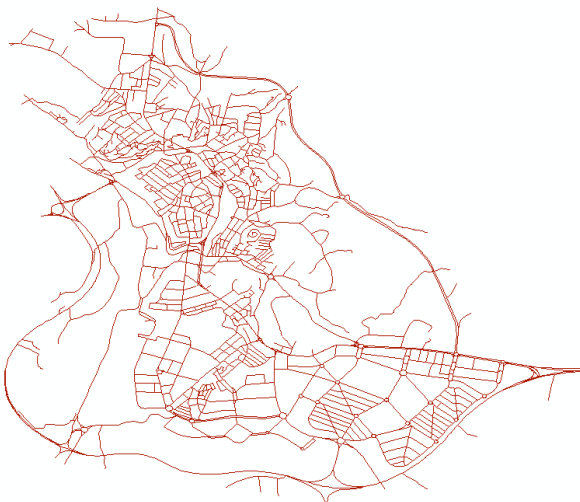


Ilustración 20: CD1 Teruel

CD1 Teruel	
No. de tramos viales o arcos	2 022
No. De intersecciones o nodos	1 403
longitud media de los tramos viales	81,33 m
longitud del tramo vial mas largo	1 523,44 m
longitud del tramo vial mas corto	1,87 m
longitud total de tramos viales	164,46 km
diametro del grafo	5,40 km
area	12,05 km ²
indice de conectividad	1,4
poblacion	36 608
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	24,76

Tabla 5: Características de CD1 Teruel



La tabla anterior muestra las características de la red vial “CD1 Teruel” cuando a esta no se le han hecho modificación y que se puede ver en la ilustración anterior. Además de los datos que se substrajeron de ArcGIS, también se calcularon dos índices que permiten monitorear la calidad de la red en un modo general, estos son el índice de conectividad y el de suficiencia vial. Para el índice de conectividad se usó la formula en índice β en donde solamente interactúan los arcos y nodos de la red, este índice describe el grado de conexión de la red a través del número de arcos sobre el número de nodos. Cuando su valor es equivalente a 0, indica una red nula. Si su valor es igual a 1, la red es de un solo circuito, y de 1 a 3 significa que son redes complejas; puede decirse que, a mayor número de arcos, mayor es la conexión que representa.

$$I\beta = \frac{N^{\circ} \text{ Arcos}}{N^{\circ} \text{ Nodos}}$$

Mientras que para el índice de suficiencia vial se calculó por la siguiente fórmula, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México.

$$IE = \frac{kmV}{\sqrt{AP}} 100$$

Donde:

IE: Índice de Engel (también conocido como índice de suficiencia vial)

KmV: Longitud vial en kilómetros

A: Área

P: Población

Este último índice determina un valor que muestra la saturación de una red vial en función del área y la población para las que está dispuesta dicha red, en teoría un resultado bajo indica una baja saturación de una red vial, por lo que la misma tiene posibilidades pobres de transporte, mientras que un resultado alto implica una red con una gran saturación, con una amplia posibilidad de transporte, sin embargo, la saturación no es siempre un valor que se pueda traducir en calidad, pues una red vial sobresaturada implicaría también una gran cantidad de cruces, intersecciones viales y en general obstáculos que pueden disminuir la calidad de la misma en términos de transporte.



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Las tablas 6, 7, 8 y 9 que se muestran a continuación contienen las características de la red “CD1 Teruel” después de sus modificaciones en el factor “% de redes viales” y que corresponden con las ilustraciones 21, 22, 23 y 24 respectivamente.

CD1 Teruel -10%	
No. de tramos viales o arcos	1 837
No. De intersecciones o nodos	1 403
longitud media de los tramos viales	79,04 m
longitud del tramo vial mas largo	1 523,44 m
longitud del tramo vial mas corto	1,87 m
longitud total de tramos viales	145,21 km
diametro del grafo	5,40 km
area	12,05 km ²
indice de conectividad	1,3
poblacion	36 608
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	21,86

Tabla 6: Características de CD1 Teruel menos 10% de tramos viales



Ilustración 21: CD1 Teruel menos 10% de tramos viales



Ilustración 22: CD1 Teruel menos 20% de tramos viales

CD1 Teruel -20%	
No. de tramos viales o arcos	1 639
No. De intersecciones o nodos	1 403
longitud media de los tramos viales	80,88 m
longitud del tramo vial mas largo	1 523,44 m
longitud del tramo vial mas corto	1,87 m
longitud total de tramos viales	132,57 km
diametro del grafo	5,40 km
area	12,05 km ²
indice de conectividad	1,2
poblacion	36 608
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	19,96

Tabla 7: Características de CD1 Teruel menos 20% de tramos viales

CD1 Teruel +10%	
No. de tramos viales o arcos	2 271
No. De intersecciones o nodos	1 403
longitud media de los tramos viales	77,82 m
longitud del tramo vial mas largo	1 523,44 m
longitud del tramo vial mas corto	1,87 m
longitud total de tramos viales	176,73 km
diametro del grafo	5,40 km
area	12,05 km ²
indice de conectividad	1,6
poblacion	36 608
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	26,61

Tabla 8: Características de CD1 Teruel más 10% de tramos viales





Ilustración 24: CD1 Teruel más 20% de tramos viales

En las tablas anteriores se subrayaron algunos valores en color rojo, estos corresponden con los valores que cambiaron respecto a la red vial normal o sin modificación con el propósito de que resulte más fácil su reconocimiento.

6.5.2 CD2 Segovia

La red vial de Segovia es la más grande de todas, es ligeramente alargada en sentido vertical, y tiene una mayor densidad vial en la parte sur, esto ya que su zona urbana se encuentra principalmente en esta parte, mientras que, en la zona norte, en donde hay menos vías parece ser una zona industrial o rural un poco retirada del casco urbano.



Ilustración 25: CD2 Segovia

CD1 Teruel +20%	
No. de tramos viales o arcos	2 462
No. De intersecciones o nodos	1 403
longitud media de los tramos viales	77,89 m
longitud del tramo vial mas largo	1 523,44 m
longitud del tramo vial mas corto	1,87 m
longitud total de tramos viales	191,78 km
diametro del grafo	5,40 km
area	12,05 km ²
indice de conectividad	1,8
poblacion	36 608
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	28,87

Tabla 9: Características de CD1 Teruel más 20% de tramos viales

CD2 Segovia	
No. de tramos viales o arcos	3 647
No. De intersecciones o nodos	2 542
longitud media de los tramos viales	112,49 m
longitud del tramo vial mas largo	2 520,92 m
longitud del tramo vial mas corto	2,23 m
longitud total de tramos viales	410,28 km
diametro del grafo	7,08 km
area	29,85 km ²
indice de conectividad	1,4
poblacion	51 683
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	33,03



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Tabla 10: Características de CD2 Segovia

CD2 Segovia -10%	
No. de tramos viales o arcos	3 352
No. De intersecciones o nodos	2 542
longitud media de los tramos viales	114,14 m
longitud del tramo vial mas largo	2 520,92 m
longitud del tramo vial mas corto	2,23 m
longitud total de tramos viales	382,59 km
diametro del grafo	7,08 km
area	29,85 km ²
indice de conectividad	1,3
pc	3
In	0



Ilustración 27: CD2 Segovia menos 20% de tramos viales



CD2 Segovia -20%	
No. de tramos viales o arcos	3 010
No. De intersecciones o nodos	2 542
longitud media de los tramos viales	110,08 m
longitud del tramo vial mas largo	2 520,92 m
longitud del tramo vial mas corto	2,23 m
longitud total de tramos viales	332,00 km
diametro del grafo	7,08 km
area	29,85 km ²
indice de conectividad	1,2
poblacion	51 683
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	26,73

Tabla 12: Características del grafo Segovia menos 20% de tramos viales

CD2 Segovia +10%	
No. de tramos viales o arcos	4 051
No. De intersecciones o nodos	2 542
longitud media de los tramos viales	102,66 m
longitud del tramo vial mas largo	2 520,92 m
longitud del tramo vial mas corto	0,96 m
longitud total de tramos viales	415,86 km
diametro del grafo	7,08 km
area	29,85 km ²
indice de conectividad	1,6
poblacion	51 683
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	33,48





Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Tabla 13: Características de CD2 Segovia más 10% de tramos viales



Ilustración 29: CD2 Segovia más 20% de tramos viales

Ilustración 28: CD2 Segovia más 10% de tramos viales

CD2 Segovia +20%	
No. de tramos viales o arcos	4 501
No. De intersecciones o nodos	2 542
longitud media de los tramos viales	99,14 m
longitud del tramo vial mas largo	2 520,92 m
longitud del tramo vial mas corto	0,90 m
longitud total de tramos viales	446,22 km
diametro del grafo	7,08 km
area	29,85 km ²
indice de conectividad	1,8
poblacion	51 683
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	35,93

Tabla 14: Características de CD2 Segovia más 20% de tramos viales

La red vial de la ciudad de Cota es la que está compuesta por un menor número de tramos viales, además su estructura es la más particular, como se puede ver en la siguiente ilustración es alargada en sentido vertical y mientras que su densidad vial es bastante pronunciada en el costado norte, el costado sur tiene muy pocas vías, debido a que es una zona rural a las afueras de la ciudad.

CD3 Cota	
No. de tramos viales o arcos	556
No. De intersecciones o nodos	373
longitud media de los tramos viales	257,57 m
longitud del tramo vial mas largo	7 543,80 m
longitud del tramo vial mas corto	3,12 m
longitud total de tramos viales	143,21 km
diametro del grafo	15,07 km
area	52,18 km ²
indice de conectividad	1,5
poblacion	24 916
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	12,56

Tabla 15: Características de CD3 Cota



Ilustración 30: CD3 Cota



CD3 Cota -10%	
No. de tramos viales o arcos	510
No. De intersecciones o nodos	373
longitud media de los tramos viales	260,61 m



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

CD3 Cota -20%	
No. de tramos viales o arcos	510
No. De intersecciones o nodos	373
longitud media de los tramos viales	262,85 m
longitud del tramo vial mas largo	7 543,80 m
longitud del tramo vial mas corto	3,12 m
longitud total de tramos viales	122,75 km
diametro del grafo	15,07 km
area	52,18 km ²
indice de conectividad	1,4
poblacion	24 916
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	10,76

Tabla 17: Características de CD3 Cota menos 20% de tramos viales



Ilustración 32: CD3 Cota menos 20% de tramos viales



Ilustración 33: CD3 Cota más 10% de tramos viales

CD3 Cota +10%	
No. de tramos viales o arcos	623
No. De intersecciones o nodos	373
longitud media de los tramos viales	248,47 m
longitud del tramo vial mas largo	7 543,80 m
longitud del tramo vial mas corto	3,12 m
longitud total de tramos viales	154,80 km
diametro del grafo	15,07 km
area	52,18 km ²
indice de conectividad	1,7
poblacion	24 916
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	13,58

Tabla 18: Características de CD3 Cota más 10% de tramos viales





CD3 Cota +20%	
No. de tramos viales o arcos	700
No. De intersecciones o nodos	373
longitud media de los tramos viales	257,46 m
longitud del tramo vial mas largo	7 543,80 m
longitud del tramo vial mas corto	3,12 m
longitud total de tramos viales	180,22 km
diametro del grafo	15,07 km
area	52,18 km ²
indice de conectividad	1,9
poblacion	24 916
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	15,81

Tabla 19: Características de CD3 Cota más 20% de tramos viales

6.5.4 CD4 Sintéticas 1

El grafo Vías Sintéticas 1 se digitalizó con base a las redes viales de dos ciudades diferentes, Brasilia (Brasil) y Buenos Aires (Argentina), tal como se describió anteriormente y como se muestra en la ilustración número 7. Esta es una red que tiene más saturación vial en el costado occidental que en el oriental; sin embargo, tiene una distribución regular de vías y es ligeramente alargada en sentido horizontal, el resto de sus características se ven en la siguiente tabla. Cabe aclarar que como se trata de un grafo sintético, no cuenta con una población real, por lo que para este dato lo que se hizo fue un promedio entre las áreas y la población de las redes viales de Segovia y de Teruel, y posterior a esto una regla de tres para el cálculo de población de este grafo.

CD4 Sintéticas 1	
No. de tramos viales o arcos	1 371
No. De intersecciones o nodos	852



Longitud media de los tramos viales	98,99 m
Longitud del tramo vial más largo	934,48 m
Longitud del tramo vial más corto	3,44 m
Longitud total de tramos viales	135,73 km
Diámetro del grafo	4,80 km
Área	6,87 km ²
Índice de conectividad	1,6
Población	14 476
Índice de Suficiencia vial (o de Engel)	43,04

Tabla 20: Características de CD4 Sintéticas 1

CD4 Sintéticas 1-10%		CD4 Sintéticas 1 +10%	
No. de tramos viales o arcos	1 240	No. de tramos viales o arcos	1 521
No. De intersecciones o nodos	852	No. De intersecciones o nodos	852
Longitud media de los tramos viales	99,07 m	Longitud media de los tramos viales	96,89 m
Longitud del tramo vial más largo	934,48 m	Longitud del tramo vial más largo	1532,87 m
Longitud del tramo vial más corto	3,44 m	Longitud del tramo vial más corto	3,44 m
Longitud total de tramos viales	122,85 km	Longitud total de tramos viales	147,37 km
Diámetro del grafo	4,80 km	Diámetro del grafo	4,80 km
Área	6,87 km ²	Área	6,87 km ²
Índice de conectividad	1,5	Índice de conectividad	1,8
Población	14 476	Población	14 476
Índice de Suficiencia vial (o de Engel)	38,96	Índice de Suficiencia vial (o de Engel)	46,73

Tabla 21: Características de CD4 Sintéticas 1
menos 10% de tramos viales

Tabla 23: Características de CD4 Sintéticas 1
más 10% de tramos viales

CD4 Sintéticas 1 -20%		CD4 Sintéticas 1 +20%	
No. de tramos viales o arcos	1 096	No. de tramos viales o arcos	1 641
No. De intersecciones o nodos	852	No. De intersecciones o nodos	852
Longitud media de los tramos viales	99,77 m	Longitud media de los tramos viales	96,45 m
Longitud del tramo vial más largo	934,48 m	Longitud del tramo vial más largo	1532,87 m
Longitud del tramo vial más corto	4,59 m	Longitud del tramo vial más corto	3,44 m
Longitud total de tramos viales	109,36 km	Longitud total de tramos viales	158,27 km
Diámetro del grafo	4,80 km	Diámetro del grafo	4,80 km
Área	6,87 km ²	Área	6,87 km ²
Índice de conectividad	1,3	Índice de conectividad	1,9
Población	14 476	Población	14 476
Índice de Suficiencia vial (o de Engel)	34,68	Índice de Suficiencia vial (o de Engel)	50,19

Tabla 22: Características de CD4 Sintéticas 1
menos 20% de tramos viales

Tabla 24: Características de CD4 Sintéticas 1
más 20% de tramos viales

6.5.5 CD5 Sintéticas 2

La red vial vías sintéticas 2 se digitalizo tomando como base la ciudad de Melbourne (Australia), esta red tiene una densidad vial regular y su forma es alargada en sentido vertical.





Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

CD5 Sintéticas 2	
No. de tramos viales o arcos	1 086
No. De intersecciones o nodos	722
longitud media de los tramos viales	183,25 m
longitud del tramo vial mas largo	3 673,43 m
longitud del tramo vial mas corto	1,67 m
longitud total de tramos viales	199,02 km
diametro del grafo	10,46 km
area	18,88 km ²
indice de conectividad	1,5
poblacion	39 784
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	22,96

Tabla 25: Características de CD5 Sintéticas 2

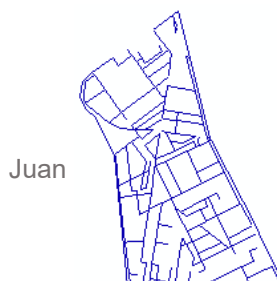
Ilustración 35: CD5 Sintéticas 2

CD5 Sintéticas 2 -10%	
No. de tramos viales o arcos	930
No. De intersecciones o nodos	722
longitud media de los tramos viales	187,22 m
longitud del tramo vial mas largo	3 673,43 m
longitud del tramo vial mas corto	1,67 m
longitud total de tramos viales	174,11 km
diametro del grafo	10,46 km
area	18,88 km ²
indice de conectividad	1,3
poblacion	39 784
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	20,09

Tabla 26: Características CD5 Sintéticas 2 menos 10% de tramos viales



Ilustración 36: CD5 Sintéticas 2 menos 10% de tramos viales



Juan

CD5 Sintéticas 2 -20%	
No. de tramos viales o arcos	873
No. De intersecciones o nodos	722
longitud media de los tramos viales	180,98 m
longitud del tramo vial mas largo	3 673,43 m
longitud del tramo vial mas corto	1,67 m
longitud total de tramos viales	158,00 km



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Tabla 27: Características CD5 Sintéticas 2 menos 20% de tramos viales

Ilustración 37: CD5 Sintéticas 2 menos 20% de tramos viales

CD5 Sintéticas 2 +10%	
No. de tramos viales o arcos	1 195
No. De intersecciones o nodos	722
longitud media de los tramos viales	176,67 m
longitud del tramo vial mas largo	3 673,43 m
longitud del tramo vial mas corto	1,67 m
longitud total de tramos viales	211,12 km
diametro del grafo	10,46 km
area	18,88 km ²
indice de conectividad	1,7
poblacion	39 784
Indice se Suficiencia vial (o de Engel)	24,36

Tabla 28: Características del CD5 Sintéticas 2 más 10% de tramos viales

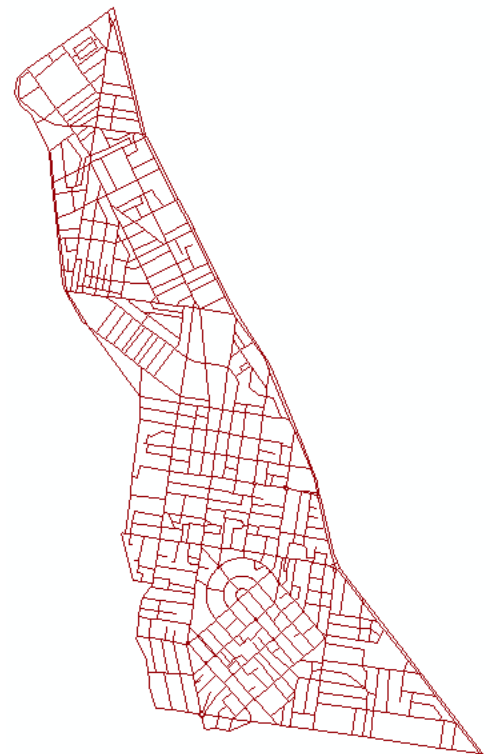
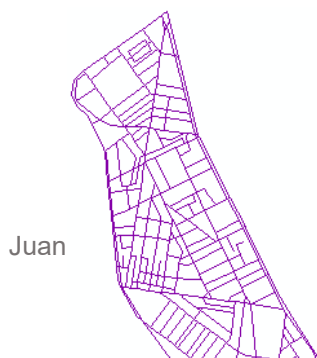


Ilustración 38: CD5 Sintéticas 2 más 10% de tramos viales



Juan

CD5 Sintéticas 2 +20%	
No. de tramos viales o arcos	1 336
No. De intersecciones o nodos	572
longitud media de los tramos viales	167,83 m
longitud del tramo vial mas largo	3 673,43 m
longitud del tramo vial mas corto	1,67 m
longitud total de tramos viales	224,23 km



Tabla 29: Características CD5 Sintéticas 2 más 20% de tramos viales

Ilustración 39: CD5 Sintéticas 2 más 20% de tramos viales



6.6 DESARROLLO DEL EJERCICIO 1: UNA ÚNICA RUTA PARA CADA RED VIAL

La idea de este primer ejercicio es ver cómo la calidad de datos, en términos de completión, pueden afectar escenarios puntuales como, por ejemplo, una ruta de autobús o la de un camión de basura. En este caso no podemos ver la afectación de la completión de una red vial a un conductor particular en una ruta aleatoria como la de cualquier ciudadano en un día cotidiano, pero si ver la afectación que un único enrutamiento predeterminado pueda tener. Para cualquier ciudad es de vital importancia mantener un flujo de tránsito eficiente, no solo para el transporte de sus pobladores en cada vehículo, sino para el transporte de mercancías, y puntualmente en situaciones como los ejemplos anteriores; transporte público y control residual. En esta línea, este ejercicio propone una metodología que podría ser de aplicación para analizar rutas concretas ya establecidas o por establecer. A continuación, se muestra cómo se aplica el ejercicio 1.

En primer lugar, se ubica las paradas por las cuales la ruta obligatoriamente tendrá que pasar, como se ve a continuación.

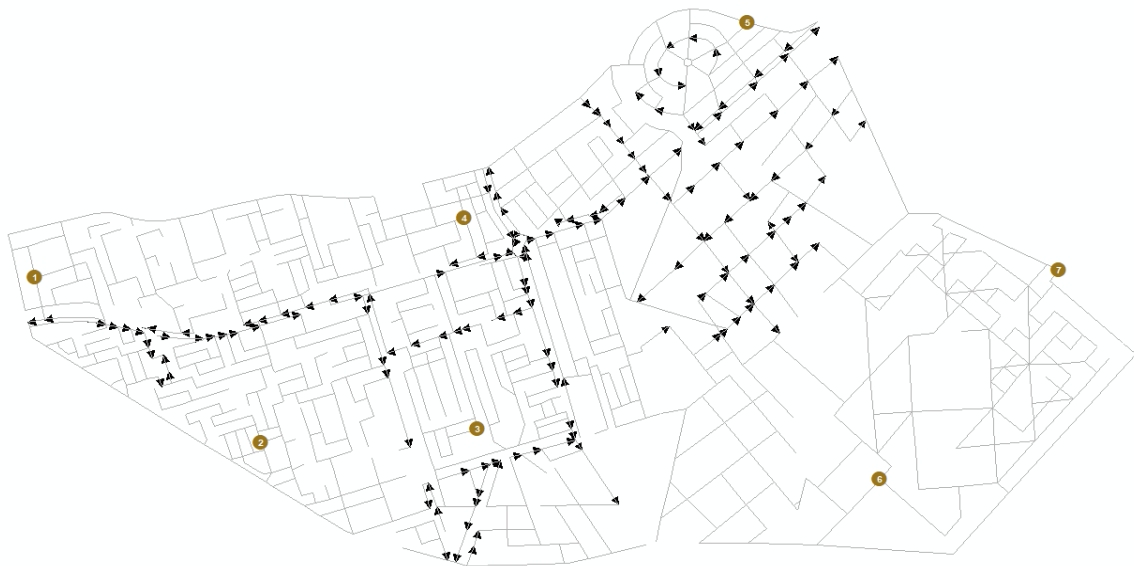


Ilustración 40: Paradas obligadas para CD4 Sintéticas 1

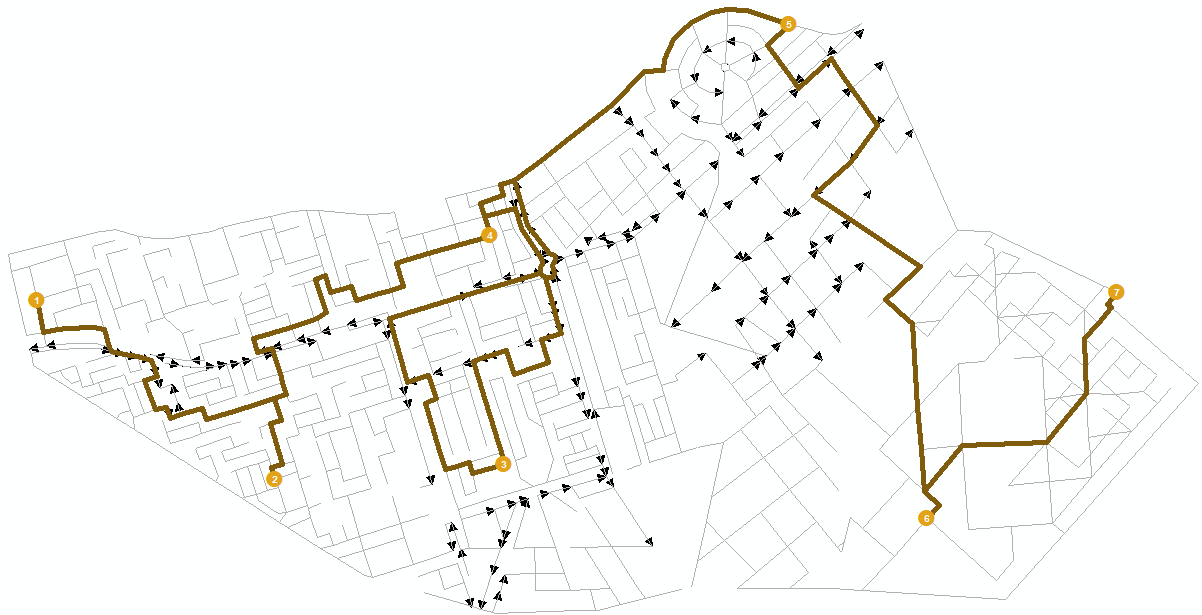


Ilustración 41: Ruta #1 para CD4 Sintéticas 1

En la imagen anterior se puede ver la primera de todas las rutas que se calculó para el experimento, la ruta que se visualiza fue creada sobre CD4 Sintéticas 1 -20 % de tramos viales, que como ya se mencionó es el primer nivel, es evidente que al haberse eliminado un porcentaje tan alto de tramos viales la ruta se vuelve larga y engorrosa, teniendo que pasar por algunas calles varias veces para terminar y realizar la paradas en los lugares deseados y en el orden indicado; sin embargo, de eso se hablará más adelante en el análisis de los resultados. Después de obtenida esta ruta se evaluaron los resultados, teniendo lo siguiente:

- Tiempo: 47,26 minutos
- Distancia: 23627,6 metros
- Número de giros: 96

Para la siguiente ruta el único factor al cual se le cambió de nivel fue el porcentaje de giros restringidos, esta malla vial tiene 840 intersecciones, lo que deja un resultado de 42 giros prohibidos, siendo 42 el 5% de 840. Estos giros se representaron con una línea roja para una fácil apreciación.

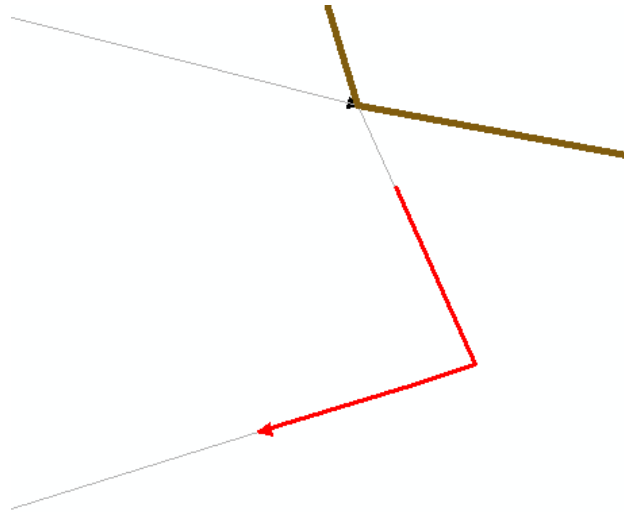


Ilustración 42: Giro prohibido

Los 42 giros prohibidos también se ubicaron de manera aleatoria entre todas las intersecciones posibles, el resultado se ve en la siguiente ilustración. Cabe aclarar que debido a la escala algunos de los giros prohibidos parecen puntos rojos, sin embargo, la única convención con este color es la de dichos giros, por lo que no se puede confundir con ningún otro factor.

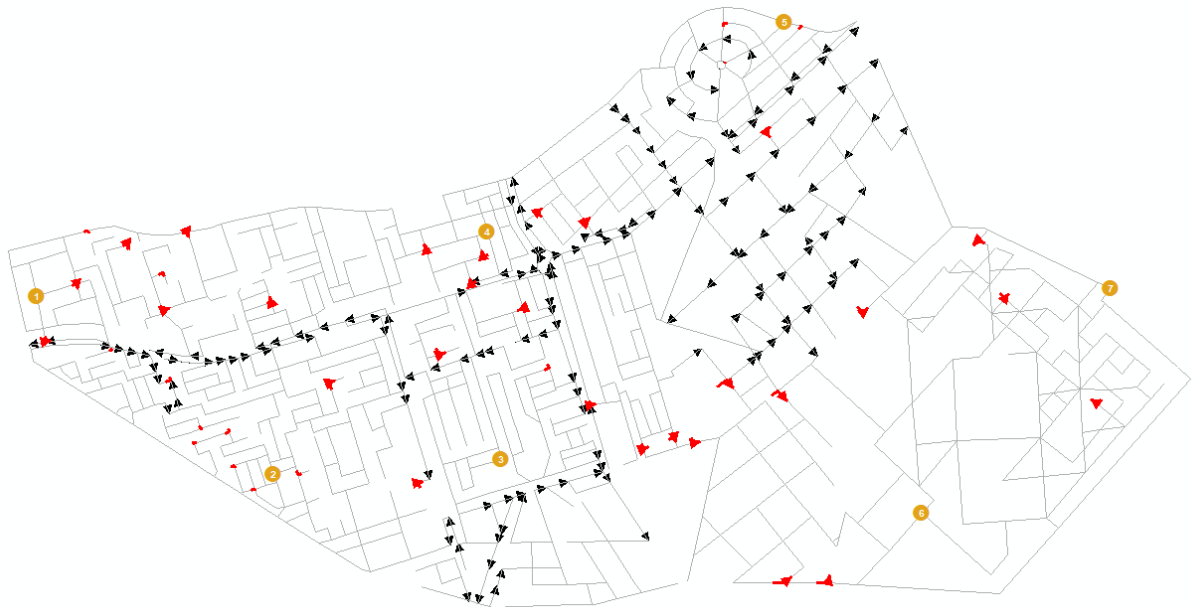


Ilustración 43: CD4 Sintéticas 1 con 5% de giros restringidos

Habiendo cambiado el factor de giros prohibidos se recalculó la ruta.

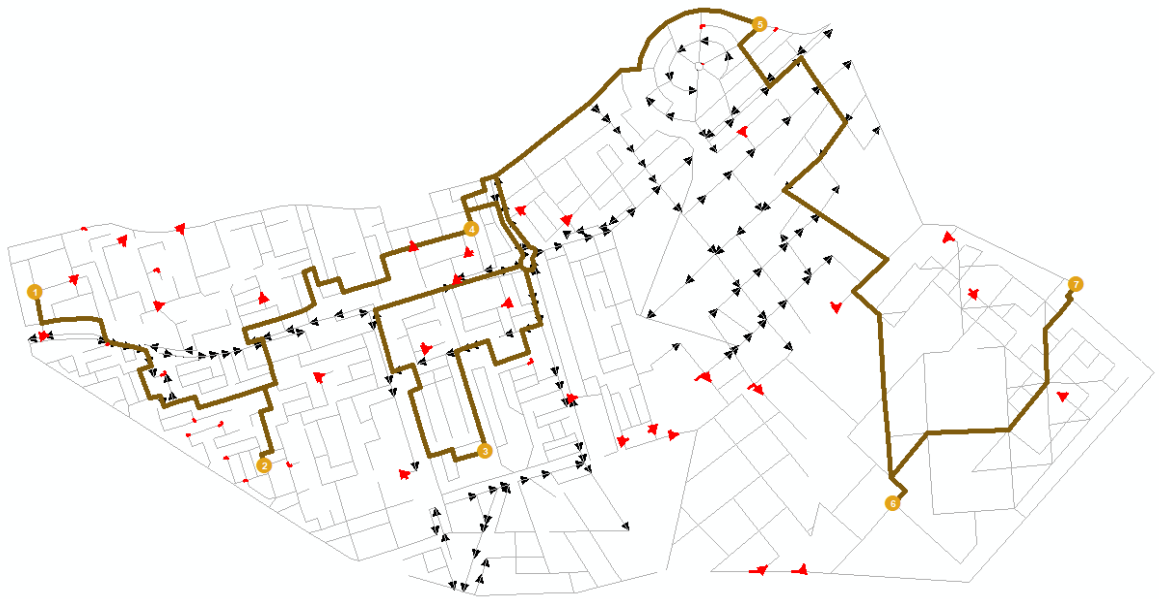


Ilustración 44: Ruta #2 para CD4 Sintéticas 1

Como el porcentaje de giros restringidos no es tan alto, lo que sucedió en este caso es que ninguno de estos giros afectó la ruta, por lo que los resultados para esta son los mismo que los obtenidos en la ruta anterior:

- Tiempo: 47,26 minutos
- Distancia: 23627,6 metros
- Número de giros: 96

Para la siguiente ruta se vuelve a cambiar de nivel al factor de giros prohibidos, esta vez con 84 restricciones en total.

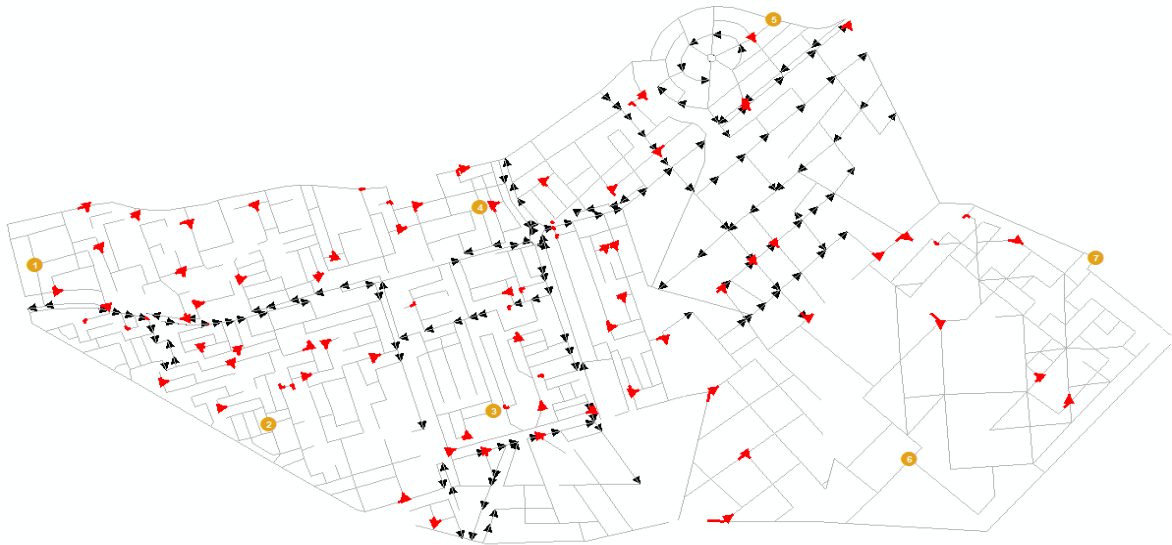


Ilustración 45: CD4 Sintéticas 1 con 10 % de giros restringidos

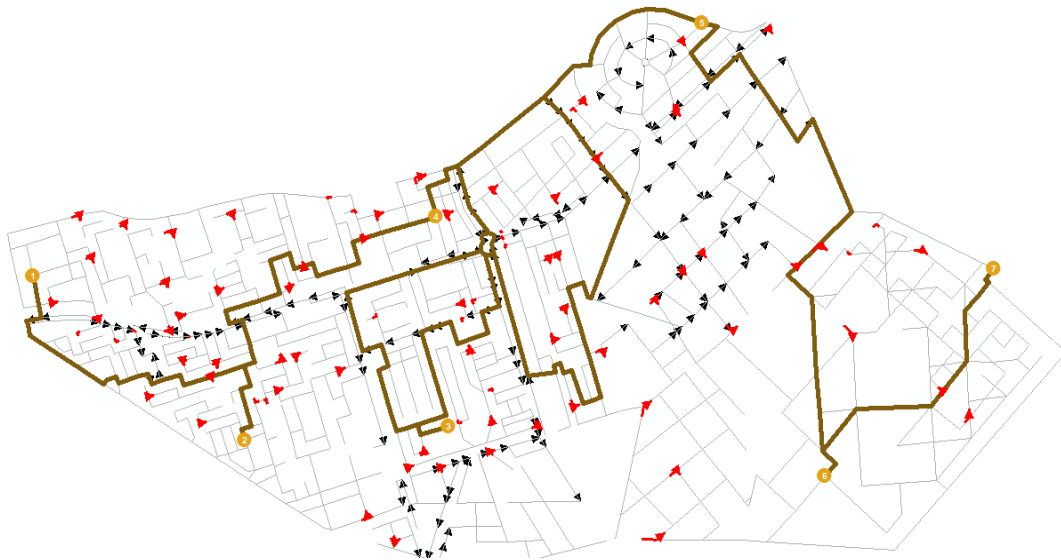


Ilustración 46: Ruta # 3 para CD4 Sintéticas 1

En esta ocasión y teniendo un porcentaje más alto de giros prohibidos la ruta si se vio modificada como se puede ver en la imagen anterior, los resultados para esta fueron los siguientes.

- Tiempo: 48,01 minutos
- Distancia: 24003,6 metros
- Número de giros: 65



Nuevamente se aumentó el porcentaje de giros prohibidos para llegar al nivel 4 del factor giros prohibidos y se recalculó la ruta.

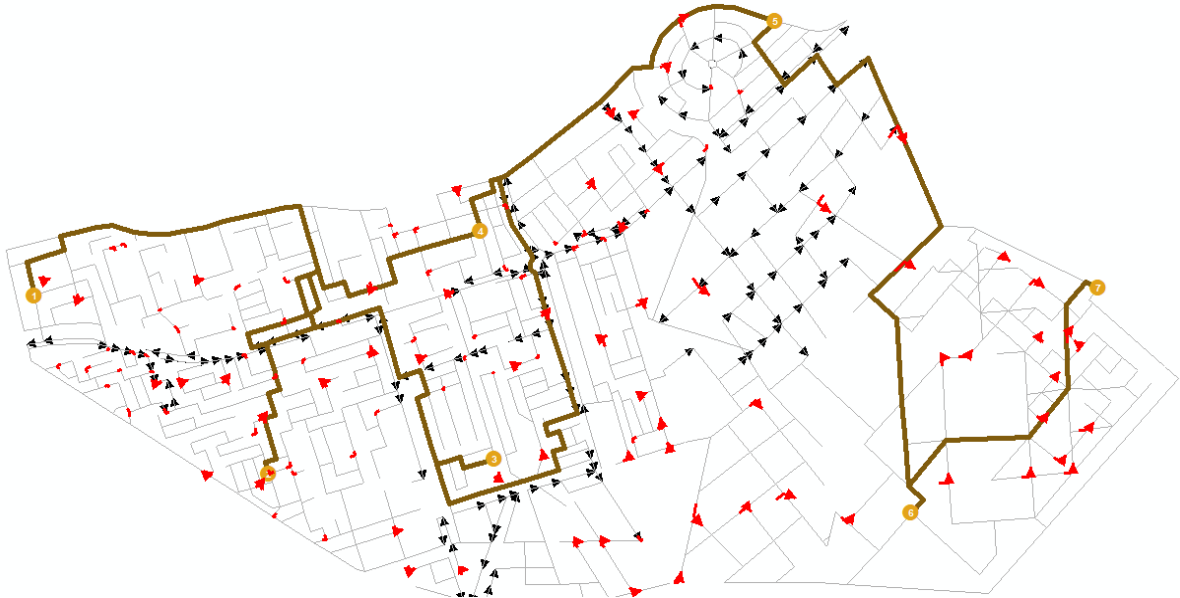


Ilustración 47: Ruta # 4 para CD4 Sintéticas 1

Resultados de las Ruta 4:

- Tiempo: 50,59 minutos
- Distancia: 25294,1 metros
- Número de giros: 100

El último nivel para el factor de giros prohibidos arrojó la ruta que se ve en la ilustración a continuación.

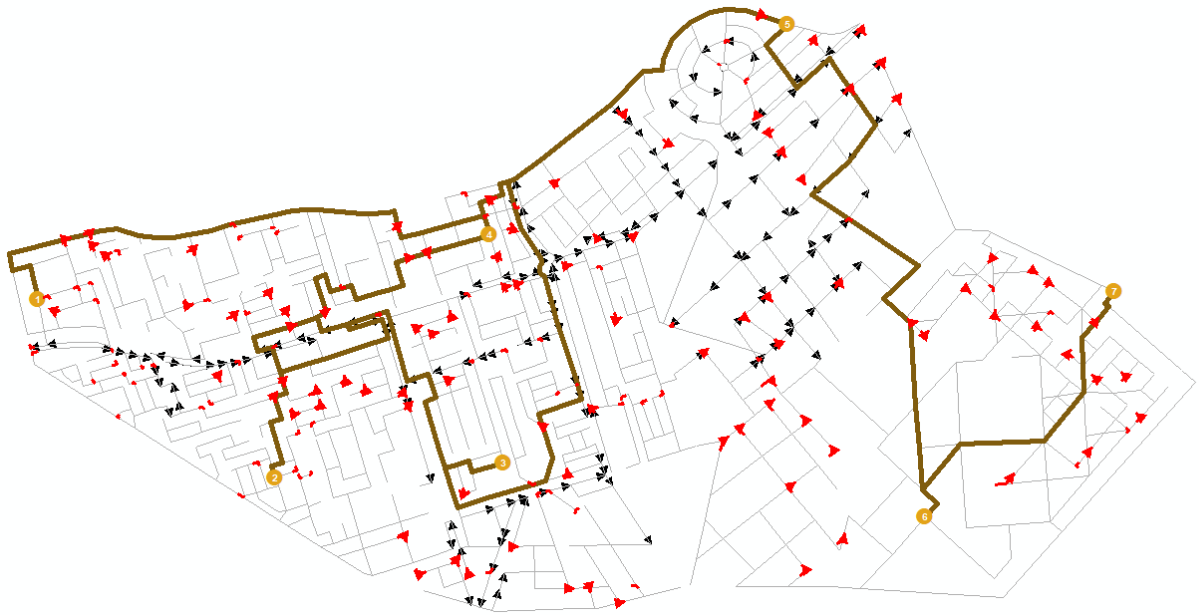


Ilustración 48: Ruta # 5 para CD4 Sintéticas 1

Resultados de la Ruta 5:

- Tiempo: 73,02 minutos
- Distancia: 36511,8 metros
- Número de giros: 98

Después de tener las primeras cinco rutas, se realizó el cambio de nivel en el segundo factor, por lo que todo el procedimiento descrito anteriormente se repitió combinado las velocidades. El procedimiento con la velocidad de recorrido igual a 40 km/h, arrojó como resultados las rutas 6, 7, 8, 9 y 10, el procedimiento con la velocidad de recorrido igual a 50 km/h, arrojó como resultados las rutas 11, 12, 13, 14 y 15, la velocidad igual a 60 km/h, mostró las rutas 16, 17, 18, 19 y 20, y finalmente la velocidad igual a 70 km/h, dio las rutas 21, 22, 23, 24 y 25.

Este mismo ejercicio se repitió para cada una de las redes viales que fueron modificadas al eliminar y al agregar tramos viales.



Con la malla vial CD4 Sintéticas 1 menos 10% tramos viales se repite todo el procedimiento que se había realizado hasta ahora, cambiando de niveles los factores referentes a los giros prohibidos y la velocidad de recorrido, así se obtuvieron las rutas de la 26 a la 50.

Iterando los factores de la misma manera, pero en los otros escenarios con más porcentaje de tramos viales se obtuvieron los resultados de todas las demás rutas, de la 51 a la 125, a continuación se puede ver la sección de una tabla en donde se encuentran plasmados estos resultados con el fin de explicar la misma, por su amplio tamaño y gran número de datos las tablas completas para cada conjunto de datos se encuentran anexas al presente trabajo en un documento de Excel con el nombre "Anexo 2 Datos obtenidos en el ejercicio 1". Además de lo anterior cada vez que se calculó una ruta se generó un reporte de la misma en ArcGIS, estos se pueden ver en el documento anexo nombrado "Anexo 3 Reportes de Rutas".

CD1 Teruel						
Ruta #	% vías	velocidad (km/h)	% Giros Prohibidos	Tiempo (min)	Distancia (m)	Numero Giros
1	-20	30	0	25,63	12814,8	120
...						
125	20	70	20	6,12	7139,5	59

Ilustración 49: Sección de la tabla con datos; factores y resultados del ejercicio 1 para CD1 Teruel

En la ilustración anterior se puede ver una pequeña sección de la tabla de resultados para CD1 Teruel, en rojo se encuentran resaltados los resultados para los dos escenarios que se ven en dicha sección de la tabla; escenario 1, en donde la red vial tiene 20% menos de tramos viales, las rutas se desarrollan con una velocidad de 30 km/h y no existen giros restringidos, y el escenario 125 en donde la red vial cuenta con 20 por ciento adicional de tramos viales, una velocidad de 70 km/h y además el 20 por ciento de las intersecciones tienen restricción de giro. Estos resultados además de los correspondientes a los otros 123 escenarios se ingresaron al software estadístico Minitab, que nos arroja gráficas y más resultados estadísticos que se verán presentados y analizados en los próximos apartados.



6.7 DESARROLLO DEL EJERCICIO 2: MÚLTIPLES RUTAS PARA CADA RED VIAL

Para este caso se dispusieron 200 rutas en cada red vial, pero esta no es la única diferencia respecto al ejercicio 1, otra diferencia importante es que en este DoE no se utilizó la velocidad como uno de los factores, en lugar de eso, la velocidad se dejó fija en función del tipo de vía que tenga cada tramo vial, para este ejercicio todo los tramos viales correspondientes a carretera tienen definida una velocidad de recorrido de 70 km/h, las avenidas una velocidad de 50 km/h y las calles de 40 km/h, y como factor adicional se utilizó el número de ruta, con la diferencia obvia de que este no es un factor de tipo cuantitativo, sino de tipo cualitativo. Esto dejó 3 factores; el de porcentaje de vías y el de porcentaje de giros restringido cada uno con 5 niveles como en el ejercicio anterior, y otro denominado Ruta No. con 200 niveles. Finalmente, una última diferencia entre este y el ejercicio anterior, es que como este busca un análisis general de la calidad de enrutamientos en cada red vial, se agregó un tiempo adicional de 1 segundo para cada intersección, que corresponde al tiempo de reacción que tiene un conductor promedio, este valor se agregó por dos razones, la primer fue acercar el experimento a un escenario más real, en donde un conductor tiene que detenerse un segundo por intersección para ver el flujo vial antes de continuar, la segunda razón es determinar de una manera más fácil la sobresaturación de vías, pues cuando la red este sobresaturada, el tiempo de cada ruta tendera a aumentar por la cantidad de intersecciones viales que atraviesa.

Para poder generar las 200 rutas en cada una de las redes viales de una manera rápida y eficiente se diseñaron dos flujos de procesos con la herramienta *model builder* en ArcGIS, el primer flujo genera 200 rutas aleatorias en una red vial, el segundo selecciona los mismos puntos de inicio y de fin de las rutas generadas con el primer flujo de proceso, y genera nuevamente 200 rutas conectando estos puntos, este último se creó con el fin de generar las rutas de las redes viales modificadas sin cambiar los puntos de inicio y final respecto a la red original.

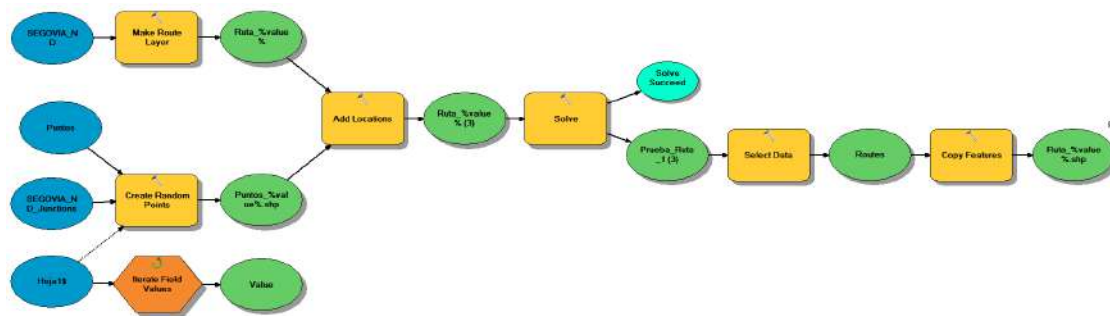


Ilustración 50: Primer flujo de procesos para la creación de rutas al azar dentro de una malla vial existente

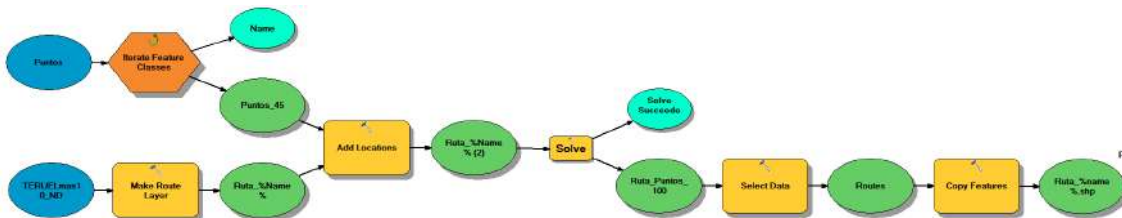


Ilustración 51. Segundo flujo de procesos para la creación de rutas con puntos ya existentes en una malla vial

Anexo a este trabajo se entrega un documento Word denominado “Anexo 04 Creación y funcionamiento de los flujos de proceso”, como su nombre lo sugiere en este documento se explica la elaboración y el funcionamiento de los flujos de proceso que se ven en las ilustraciones anteriores.

Los ficheros *shapefile* de las rutas creadas ya tienen por defecto los valores de tiempo y distancia de recorrido. Para calcular el número de giros se seccionó cada ruta en las intersecciones entre sus líneas. Teniendo estos tres valores de respuesta para cada ruta se consolidó la información en tablas de Excel.

A continuación, se encuentra una sección de una de las tablas con los resultados; tiempo y distancia de recorrido y número de giros, las tablas completas con la información y las respuestas de cada una de las rutas se encuentra adjuntas en el documento anexo denominado “Anexo 05 Datos obtenidos en el ejercicio 2”.



0 % de Restricciones de giros Red Vial sin modificaciones			
Ruta No.	Tiempo (min)	Distancia (m)	No. Giros
1	2,54	2248,486	13
200	3,81	2540,540	11

Tabla 30. Datos resultantes CD4 Sintéticas 1 sin modificación y 0 % de restricción de giros

En este caso y a diferencia del ejercicio anterior, en donde se elaboró una tabla para cada conjunto de datos, aquí se elaboraron 25 tablas para cada red vial, una tabla para cada escenario formado por la interacción de los factores porcentaje de tramos viales y porcentaje de giros restringidos, cada tabla tiene una fila para las tres respuestas (tiempo y distancia de recorrido, y número de giros) obtenidas para cada una de las 200 rutas.

En algunas de las tablas se evidencia que no hay resultados para determinadas rutas, esto se debe a que, por las restricciones y falta de tramos viales, estas no se pudieron completar.



7. RESULTADOS

7.1 RESULTADOS PARA EL EJERCICIO 1

Una vez obtenidos los resultados del experimento 1º, con ayuda de Minitab, se pueden visualizar y proyectar los resultados de una manera más dinámica.

En primer lugar y para todas las redes viales se debe crear en la herramienta un diseño factorial completo que se acople a las necesidades de los datos que se tienen, para el presente proyecto recordemos que se definen 3 factores (Vías, Velocidad y Giros prohibidos), 1 réplica, y cada uno de estos con 5 niveles para un total de 125 corridas (ejecuciones), como se muestra a continuación:

Resumen del diseño			
Factores:	3	Réplicas:	1
Corridas base:	125	Total de corridas:	125
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Ilustración 52: Resumen del diseño del DOE

Luego dentro del software se debe diligenciar la información de los datos obtenidos por cada red vial, y así se procede a realizar el análisis del diseño factorial previamente creado, obteniendo los resultados para cada caso.

Dentro de cada red vial se realizan 3 análisis, uno para cada uno de los datos de respuesta Vs los tres factores.

En los siguientes apartados se muestran los resultados para cada una de las respuestas obtenidas en el DOE. Minitab ofrece una gran cantidad de resultados y tablas con análisis y respuestas estadísticas, por lo que para el presente trabajo se muestran y explican solo los más relevantes, el resto de datos se entrega en el “Anexo 06 Datos estadísticos ejercicio 1.



7.1.1 CD1 Teruel

7.1.1.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada				
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	11,926		11,926	
Velocidad (Km/h)	6,262	0,000	6,262	0,000
Vías (%)			5,892	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)				
Giros Prohibidos (%)				
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	3,54313		1,28091	
R-cuadrado	53,11%		94,08%	
R-cuadrado(ajustado)	51,55%		93,67%	
R-cuadrado (pred)	49,12%		93,12%	
AICc	678,60		429,22	
BIC	694,85		455,57	

	-----Paso 3-----		-----Paso 4-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	11,9257		11,9257	
Velocidad (Km/h)	6,262	0,000	6,2615	0,000
Vías (%)	5,892	0,000	5,8921	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	3,094	0,000	3,094	0,000
Giros Prohibidos (%)			0,8102	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	0,799928		0,543004	
R-cuadrado	98,01%		99,12%	
R-cuadrado(ajustado)	97,53%		98,86%	
R-cuadrado (pred)	96,89%		98,51%	
AICc	337,36		248,87	
BIC	396,57		313,93	



	-----Paso 5-----		-----Paso 6-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	11,9257		11,9257	
Velocidad (Km/h)	6,2615	0,000	6,2615	0,000
Vías (%)	5,8921	0,000	5,8921	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	3,0936	0,000	3,0936	0,000
Giros Prohibidos (%)	0,8102	0,000	0,8102	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	1,036	0,000	1,036	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)			0,4254	0,000
S	0,264679		0,184523	
R-cuadrado	99,83%		99,93%	
R-cuadrado(ajustado)	99,73%		99,87%	
R-cuadrado (pred)	99,57%		99,74%	
AICc	114,08		98,56	
BIC	188,74		147,92	

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 53: selección de términos escalonada para la variable de tiempo en CD1 Teruel

El valor “P” que se puede ver en las ilustraciones anteriores es un valor predictor que funciona de la siguiente manera: se realizan ajustes del modelo (sus parámetros) de manera iterativa obteniendo en cada iteración un valor P correspondiente a esos coeficientes, las iteraciones continúan hasta que el valor P sea menor o igual a α . Si P menor que α significa que el valor de un coeficiente es estadísticamente significativo respecto a la respuesta dada, si en las iteraciones no se encuentra una mínima relación significativa entre una variable y la respuesta dada, el software, arroja un valor P mayor a α . Los valores evaluados o “términos” no son solo los factores individuales, sino la combinación de los mismos.

Para este caso en donde la variable resultante es “Tiempo”, Minitab realizó 6 iteraciones, y encontró que los valores con mayor significancia son los que se ven resaltados por el cuadro azul en la ilustración anterior.

En la siguiente ilustración, se tiene la información de cada uno de los factores, las vías se plantean como se explicaba en el desarrollo y ejecución del experimento con un porcentaje; la velocidad en 5 niveles, a partir de los 30 km/h y hasta los 70 km/h; y por último los giros prohibidos también se plantean en % sobre el total de los cruces dentro de la red vial.



Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Velocidad (Km/h)	5	30; 40; 50; 60; 70
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 54: niveles de los factores que intervienen

Es importante evaluar el valor de p del término con el nivel de significancia, si el coeficiente del término es igual a cero, esto implica que no existe asociación entre el término y la respuesta.

Valor $p \leq \alpha$: La asociación es estadísticamente significativa

Si el valor p es menor o igual al nivel de significancia, se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término.

Valor $p > \alpha$: La asociación no es estadísticamente significativa

Si el valor p es mayor que el nivel de significancia, no se puede concluir que existe una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término. Convendría volver a ajustar el modelo sin el término.

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, se examinan los datos estadísticos de bondad de ajuste en la tabla Resumen del modelo:

- **S:** se usa para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta. Se mide en las unidades de la variable de respuesta y representa la distancia que separa a los valores de los datos de los valores ajustados. Mientras más bajo sea el valor de S mejor describe el modelo la respuesta. Sin embargo, un valor de S bajo no indica por sí solo que el modelo cumple con los supuestos del modelo. Debe examinar las gráficas de residuos para verificar los supuestos.
- **R-cuad:** Mientras mayor sea el valor de R^2 , mejor se ajustará el modelo a los datos. R^2 siempre está entre 0% y 100%, siempre aumenta cuando se agregan más predictores a un modelo. R^2 es más útil cuando se comparan modelos del mismo tamaño.
- **R-cuad. (ajust):** sirve para comparar modelos que tengan diferentes números de predictores. R^2 siempre aumenta cuando se agrega un predictor al modelo, incluso



cuando no haya una mejora real en el modelo. El valor de R^2 ajustado incorpora el número de predictores del modelo para ayudar a elegir el modelo correcto.

- **R-cuad.(pred):** se usa para determinar qué tan bien el modelo predice la respuesta para nuevas observaciones. Los modelos que tienen valores más grandes de R^2 pronosticado tienen mejor capacidad de predicción. Un R^2 pronosticado que sea sustancialmente menor que R^2 puede indicar que el modelo está sobre ajustado.

En estos resultados, el modelo explica un 99.69% de la variación. Para estos datos, el valor de R^2 indica que el modelo ofrece un ajuste adecuado a los datos.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	60	3210,79	53,513	1571,67	0,000
Lineal	12	3058,33	254,861	7485,18	0,000
Vías (%)	4	1316,13	329,033	9663,59	0,000
Velocidad (Km/h)	4	1706,51	426,629	12529,95	0,000
Giros Prohibidos (%)	4	35,68	8,921	262,00	0,000
Interacciones de 2 términos	48	152,46	3,176	93,29	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	16	126,34	7,896	231,90	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	22,70	1,419	41,67	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)	16	3,43	0,214	6,29	0,000
Error	64	2,18	0,034		
Total	124	3212,97			

Ilustración 55: análisis de varianza para la variable tiempo en CD1 Teruel

Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,184523	99,93%	99,87%	99,74%

Ilustración 56: resumen del modelo para la variable tiempo en CD1 Teruel

Se sabe que el modelo es estadísticamente significativo teniendo en cuenta las siguientes interpretaciones.



- Si 1 coeficiente de un factor es significativo, se puede concluir que no todas las medias de nivel son iguales.
- Si 1 coeficiente de una variable es significativo, los cambios en el valor de la variable están asociados a los cambios en el valor de la media de respuesta.
- Si 1 coeficiente de un término de interacción es significativo, la relación entre un factor y la respuesta depende del resto de los factores incluidos en el término.

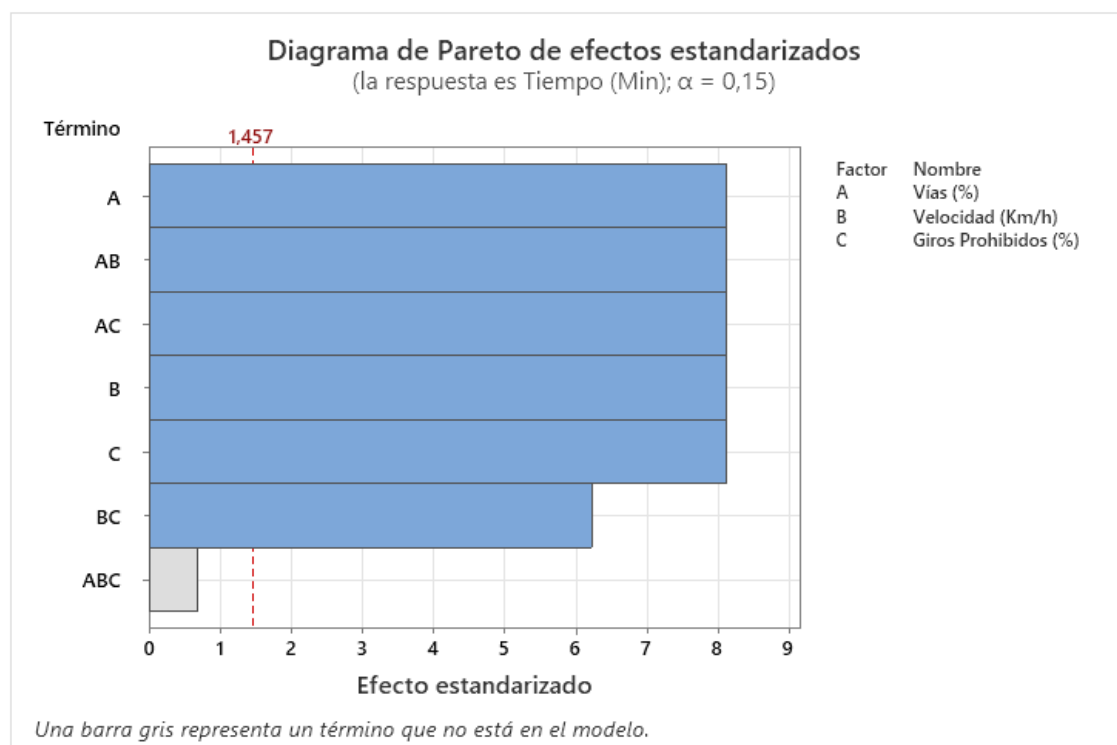


Ilustración 57: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD1 Teruel

La ilustración anterior muestra un diagrama de Pareto con los términos que intervienen en el modelo creado, dichos términos se comparan con un valor que el software calcula según la variabilidad de las respuestas obtenidas (en este caso el tiempo), este valor de referencia para este experimento es 1.457 como se puede ver, mientras que los términos son los que se describen a continuación:

- A: Vías
- AB: Relación entre vías y velocidad



- AC: Relación entre vías y giros prohibidos
- B: Velocidad
- C: Giros prohibidos
- BC: Relación entre velocidad y giros prohibidos
- ABC: Relación entre Vías, Velocidad y Giros Prohibidos

Se observa que los términos con mayor grado de significancia son vías, relación entre vías y velocidad, relación entre vías y giros prohibidos, velocidad, giros prohibidos, todos al mismo nivel, y el que menos influye en la respuesta “tiempo” es la relación entre velocidad y giros prohibidos, finalmente para el término en el que se relaciona lo tres factores que intervienen en el experimento no se encuentra un grado de significancia suficiente como para que valga la pena ser tenido en cuenta.

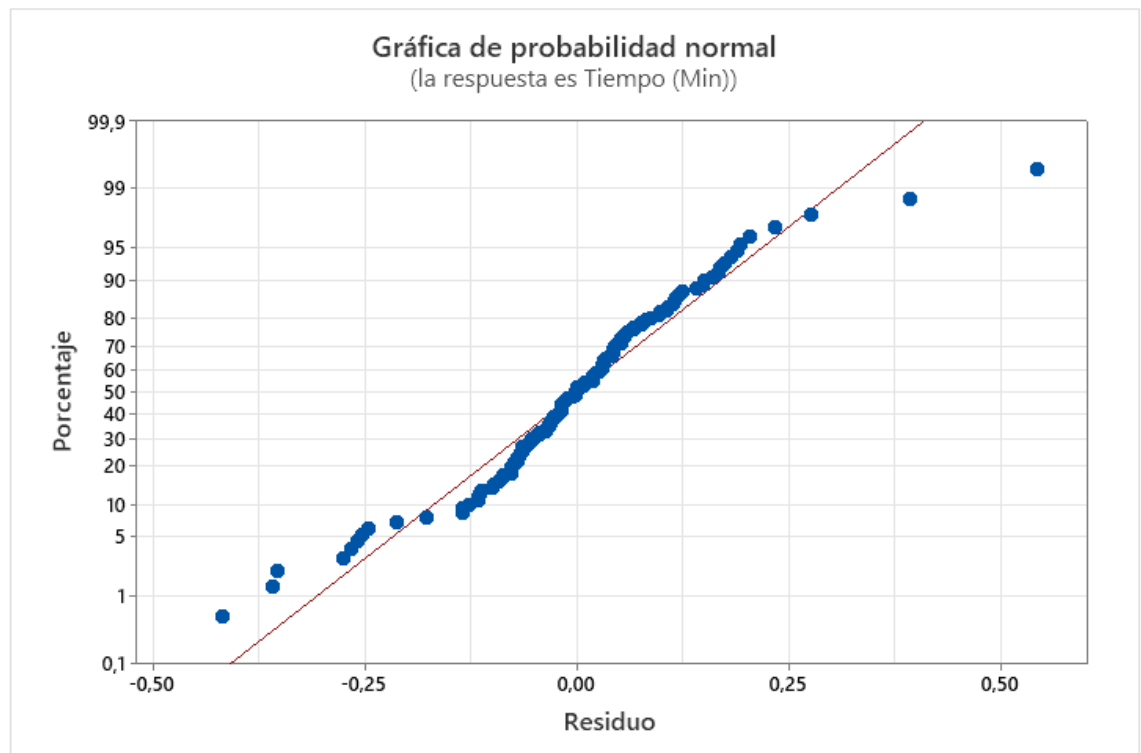


Ilustración 58: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD1 Teruel



De esta gráfica no se puede concluir que los valores se encuentran dentro de una distribución normal de manera estricta. Se observa que los puntos en la gráfica se asemejan a una forma “S”, esta distribución se conoce también como diagrama de colas largas, quiere decir que la mayoría de los valores son valores comunes puesto que se acercan considerablemente a la línea recta, sin embargo, en los extremos hay algunos valores atípicos, lo que es perfectamente normal en este tipo de experimentos y que supone una normalidad algo laxa.



7.1.1.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Para las gráficas que hacen referencia al procedimiento estadístico que realiza el software Minitab y que se encuentran de ahora en adelante, no se hará un análisis a menos que se observe un comportamiento atípico, esto debido a que dicho análisis sería muy similar a los que describen las gráficas anteriores e implicaría la repetición y redundancia de información. En el apartado de análisis se describen las gráficas factoriales que resultan más decisorias.

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	9093,7		9093,7		9094	
Vías (%)	4492,9	0,000	4492,9	0,000	4493	*
Giros Prohibidos (%)			617,8	0,000	617,8	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					790,3	*
S	531,878		337,330		0	
R-cuadrado	95,75%		98,35%		100,00%	
R-cuadrado(ajustado)	95,61%		98,23%		100,00%	
R-cuadrado (pred)	95,39%		98,08%		100,00%	
AICc	1931,45		1822,59		*	
BIC	1947,71		1848,94		*	
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 59: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD1 Teruel

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 60: niveles de los factores que intervienen



Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	799214379	33300599	*	*
Lineal	8	786014542	98251818	*	*
Vías (%)	4	765267036	191316759	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	20747505	5186876	*	*
Interacciones de 2 términos	16	13199837	824990	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	13199837	824990	*	*
Error	100	0	0		
Total	124	799214379			

Ilustración 61: análisis de varianza para la variable distancia en CD1 Teruel

Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 62: resumen del modelo para la variable distancia en CD1 Teruel

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-5e-12$ y $7,5 e-12$, lo cual es totalmente predecible.



7.1.1.3 Regresión factorial general: Número de Giros vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)

	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	79,480		79,480		79,48	
Vías (%)	49,32	0,000	49,320	0,000	49,32	*
Giros Prohibidos (%)			5,120	0,000	5,120	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					-10,92	*
S	6,18061		5,02648		0	
R-cuadrado	95,65%		97,22%		100,00%	
R-cuadrado(ajustado)	95,51%		97,03%		100,00%	
R-cuadrado (pred)	95,28%		96,77%		100,00%	
AICc	817,70		771,00		*	
BIC	833,96		797,36		*	

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15

Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 63: selección de términos para la variable de numero de giros en CD1 Teruel

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 64: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	105451	4393,8	*	*
Lineal	8	102520	12815,1	*	*
Vías (%)	4	100867	25216,8	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	1653	413,3	*	*
Interacciones de 2 términos	16	2931	183,2	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	2931	183,2	*	*
Error	100	0	0,0		
Total	124	105451			

Ilustración 65: análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD1 Teruel



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 66: resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD1 Teruel.

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-5e-14$ y $5e-14$.



7.1.2 CD2 Segovia

7.1.2.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%)

Selección de términos escalonada				
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	16,872		16,8722	
Velocidad (Km/h)	8,859	0,000	8,859	0,000
Vías (%)			3,014	0,000
Giros Prohibidos (%)				
Vías (%)*Velocidad (Km/h)				
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	2,15588		0,950640	
R-cuadrado	85,96%		97,36%	
R-cuadrado(ajustado)	85,50%		97,18%	
R-cuadrado (pred)	84,77%		96,94%	
AIcC	554,39		354,67	
BIC	570,65		381,02	

	-----Paso 3-----		-----Paso 4-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	16,8722		16,8722	
Velocidad (Km/h)	8,859	0,000	8,8587	0,000
Vías (%)	3,014	0,000	3,0138	0,000
Giros Prohibidos (%)	0,912	0,000	0,9123	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)			1,582	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	0,750179		0,451328	
R-cuadrado	98,41%		99,51%	
R-cuadrado(ajustado)	98,24%		99,36%	
R-cuadrado (pred)	98,02%		99,17%	
AIcC	300,97		202,64	
BIC	336,74		267,70	



	-----Paso 5-----		-----Paso 6-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	16,8722		16,8722	
Velocidad (Km/h)	8,8587	0,000	8,8587	0,000
Vías (%)	3,0138	0,000	3,0138	0,000
Giros Prohibidos (%)	0,9123	0,000	0,9123	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	1,5824	0,000	1,5824	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	0,6708	0,000	0,6708	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)			0,4790	0,000
S		0,259177		0,145847
R-cuadrado		99,86%		99,97%
R-cuadrado(ajustado)		99,79%		99,93%
R-cuadrado (pred)		99,67%		99,87%
AICc		108,82		39,76
BIC		183,49		89,11

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 67: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD2 Segovia

Información del factor	
Factor	Niveles Valores
Vías (%)	5 -20; -10; 0; 10; 20
Velocidad (Km/h)	5 30; 40; 50; 60; 70
Giros Prohibidos (%)	5 0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 68. niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	60	3972,14	66,202	3112,26	0,000
Lineal	12	3910,47	325,872	15319,68	0,000
Vías (%)	4	452,91	113,227	5322,93	0,000
Velocidad (Km/h)	4	3415,76	853,940	40144,84	0,000
Giros Prohibidos (%)	4	41,80	10,450	491,28	0,000
Interacciones de 2 términos	48	61,67	1,285	60,40	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	16	43,48	2,717	127,74	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	14,18	0,886	41,67	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)	16	4,01	0,251	11,79	0,000
Error	64	1,36	0,021		
Total	124	3973,50			

Ilustración 69: análisis de varianza para la variable tiempo en CD2 Segovia



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,145847	99,97%	99,93%	99,87%

Ilustración 70: resumen de modelo para la variable tiempo en I CD2 Segovia

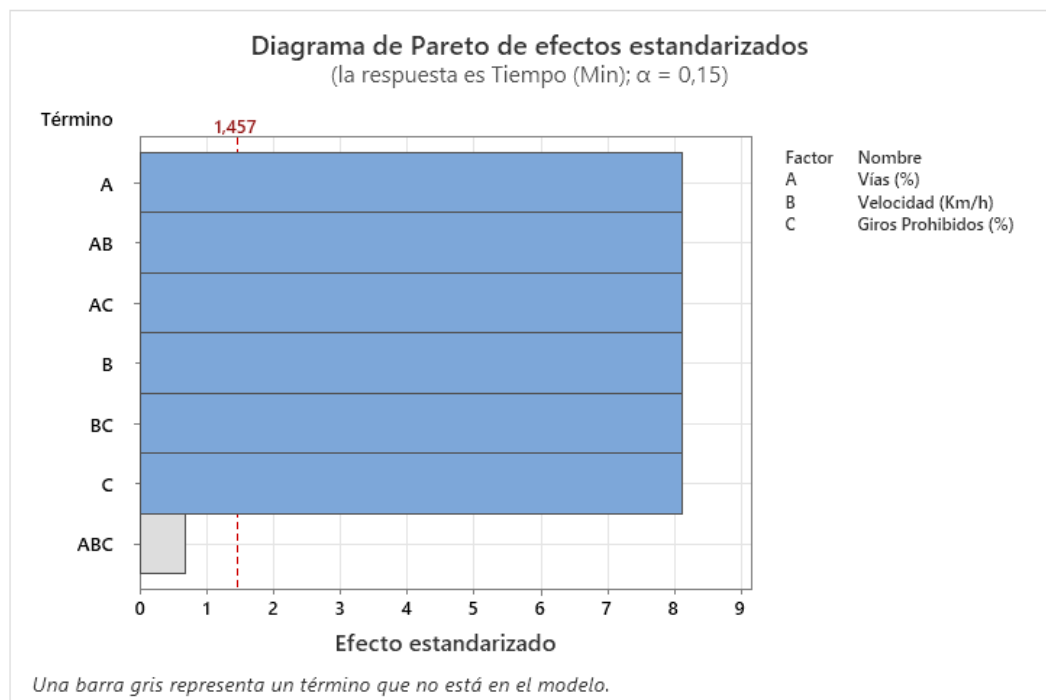


Ilustración 71: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD2 Segovia

Para la respuesta de tiempo en esta malla vial los términos que intervienen son todos menos el que relaciona los tres factores iniciales, aparentemente y debido a la aleatoriedad del porcentaje de número de giros nunca llega a ser significativo, este término en el que intervienen los tres factores.

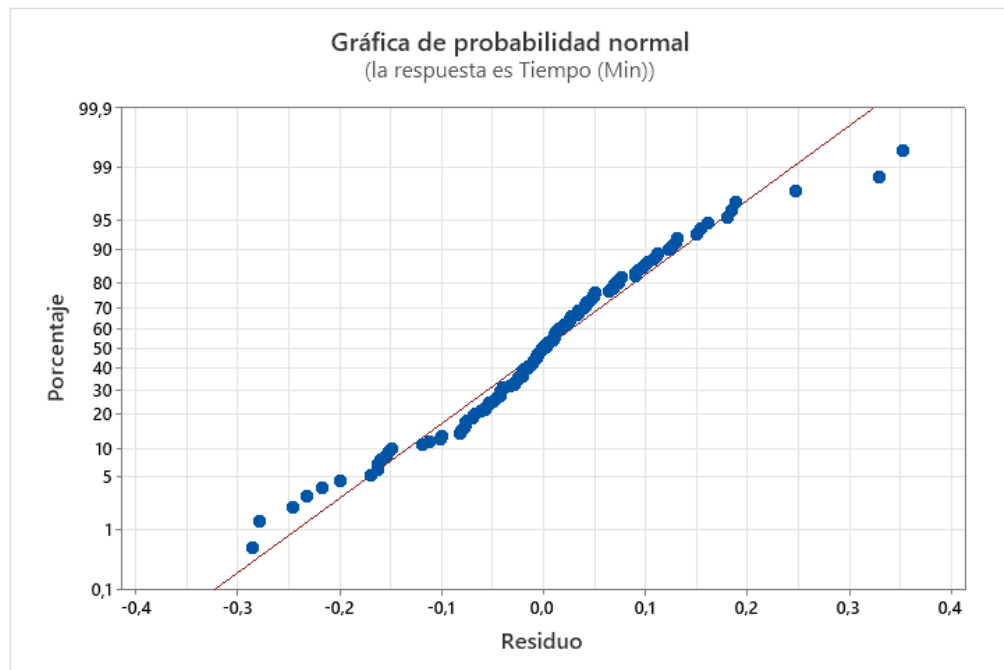


Ilustración 72: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD2 Segovia



7.1.2.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	12865,5		12865,5		12866	
Vías (%)	2298,1	0,000	2298,1	0,000	2298	*
Giros Prohibidos (%)			695,6	0,000	695,6	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					511,5	*
S		520,823		266,611		0
R-cuadrado		89,00%		97,21%		100,00%
R-cuadrado(ajustado)		88,63%		97,02%		100,00%
R-cuadrado (pred)		88,06%		96,76%		100,00%
AICc		1926,20		1763,77		*
BIC		1942,45		1790,13		*
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 73 selección de términos escalonada para la variable distancia en CD2 Segovia

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 74: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	295893637	12328902	*	*
Lineal	8	287648188	35956023	*	*
Vías (%)	4	263342783	65835696	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	24305405	6076351	*	*
Interacciones de 2 términos	16	8245449	515341	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	8245449	515341	*	*
Error	100	0	0		
Total	124	295893637			

Ilustración 75: análisis de varianza para la variable distancia en CD2 Segovia



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 76: resumen del modelo para la variable distancia en CD2 Segovia

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-5e-12$ y $7,5 e-12$.



7.1.2.3 Regresión factorial general: Número giros (%) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h);
GIROS PROHIBIDOS (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	72,880		72,880		72,88	
Vías (%)	13,92	0,000	13,92	0,000	13,92	*
Giros Prohibidos (%)			9,52	0,000	9,520	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					17,28	*
S	9,62808		7,44682		0	
R-cuadrado	45,51%		68,49%		100,00%	
R-cuadrado(ajustado)	43,69%		66,31%		100,00%	
R-cuadrado (pred)	40,87%		63,41%		100,00%	
AlCc	928,51		869,27		*	
BIC	944,77		895,62		*	
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 77: selección de términos escalonada para la variable de numero de giros CD2 Segovia

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 78: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	20413,2	850,55	*	*
Lineal	8	13980,4	1747,55	*	*
Vías (%)	4	9289,2	2322,30	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	4691,2	1172,80	*	*
Interacciones de 2 términos	16	6432,8	402,05	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	6432,8	402,05	*	*
Error	100	0,0	0,00		
Total	124	20413,2			

Ilustración 79: análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD2 Segovia



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 80: resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD2 Segovia

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-5e-14$ y $5e-14$.



7.1.3 CD3 Cota

7.1.3.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada				
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	23,572		23,572	
Velocidad (Km/h)	12,376	0,000	12,376	0,000
Vías (%)			7,970	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)				
Giros Prohibidos (%)				
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	4,69364		1,46589	
R-cuadrado	71,61%		97,32%	
R-cuadrado(ajustado)	70,66%		97,14%	
R-cuadrado (pred)	69,19%		96,89%	
AICc	748,90		462,94	
BIC	765,15		489,29	

	-----Paso 3-----		-----Paso 4-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	23,5716		23,5716	
Velocidad (Km/h)	12,3763	0,000	12,3763	0,000
Vías (%)	7,9704	0,000	7,9704	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	4,185	0,000	4,185	0,000
Giros Prohibidos (%)			0,3281	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)				
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)				
S	0,440626		0,374863	
R-cuadrado	99,79%		99,86%	
R-cuadrado(ajustado)	99,74%		99,81%	
R-cuadrado (pred)	99,67%		99,75%	
AICc	188,28		156,23	
BIC	247,49		221,29	



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

	-----Paso 5-----		-----Paso 6-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	23,5716		23,5716	
Velocidad (Km/h)	12,3763	0,000	12,3763	0,000
Vías (%)	7,9704	0,000	7,9704	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	4,1850	0,000	4,1850	0,000
Giros Prohibidos (%)	0,3281	0,000	0,3281	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	0,8173	0,000	0,8173	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)			0,1723	0,026
S	0,145797		0,132979	
R-cuadrado	99,98%		99,99%	
R-cuadrado(ajustado)	99,97%		99,98%	
R-cuadrado (pred)	99,96%		99,95%	
AICc	-35,00		16,66	
BIC	39,67		66,02	

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 81: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD3 Cota

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Velocidad (Km/h)	5	30; 40; 50; 60; 70
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 82: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	60	9309,40	155,16	8774,17	0,000
Lineal	12	9067,20	755,60	42729,42	0,000
Vías (%)	4	2394,37	598,59	33850,59	0,000
Velocidad (Km/h)	4	6666,90	1666,73	94253,91	0,000
Giros Prohibidos (%)	4	5,92	1,48	83,76	0,000
Interacciones de 2 términos	48	242,21	5,05	285,35	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	16	229,85	14,37	812,38	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	11,79	0,74	41,67	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)	16	0,57	0,04	2,01	0,026
Error	64	1,13	0,02		
Total	124	9310,53			

Ilustración 83: análisis de la varianza para la variable tiempo en CD3 Cota



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,132979	99,99%	99,98%	99,95%

Ilustración 84: resumen del modelo para la variable tiempo en CD3 Cota

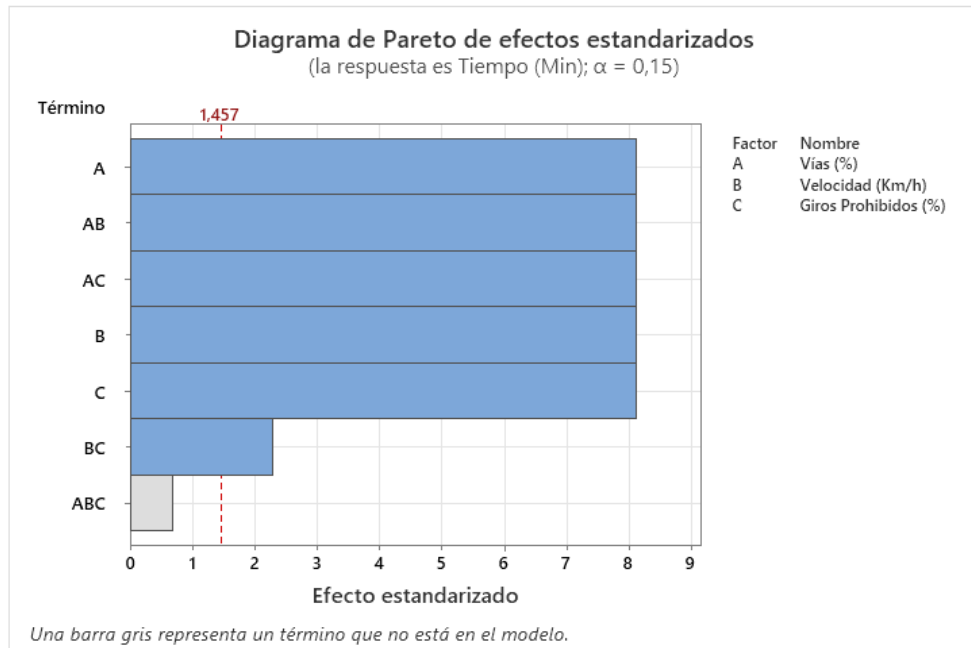


Ilustración 85: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD3 Cota

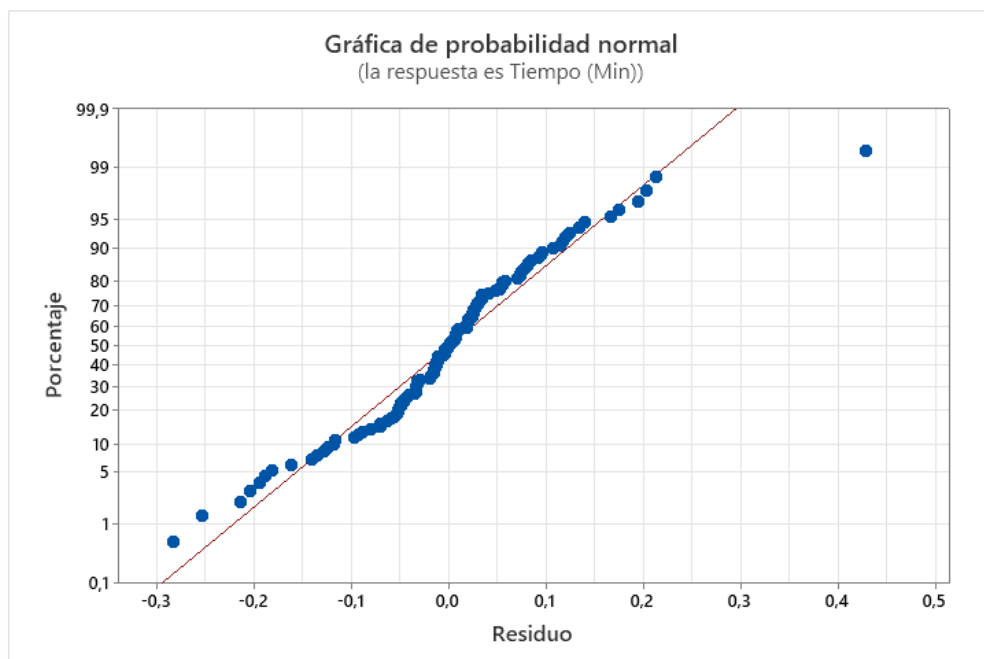


Ilustración 86: grafica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD3 Cota



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos



7.1.3.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	17974,0		17974,0		17974	
Vías (%)	6077,7	0,000	6077,7	0,000	6078	*
Giros Prohibidos (%)			250,2	0,000	250,2	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					623,2	*
S		292,974		243,093		0
R-cuadrado		99,27%		99,51%		100,00%
R-cuadrado(ajustado)		99,24%		99,48%		100,00%
R-cuadrado (pred)		99,20%		99,43%		100,00%
AICc		1782,36		1740,68		*
BIC		1798,62		1767,04		*
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 87: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD3 Cota

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 88: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	1402530003	58438750	*	*
Lineal	8	1395675088	174459386	*	*
Vías (%)	4	1392229968	348057492	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	3445120	861280	*	*
Interacciones de 2 términos	16	6854916	428432	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	6854916	428432	*	*
Error	100	0	0		
Total	124	1402530003			

Ilustración 89: análisis de varianza para la variable distancia en CD3 Cota



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 90: resumen del modelo para la variable distancia en CD3 Cota

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-2e-11$ y $-5e-12$.



7.1.3.3 Regresión factorial general: Número de Giros vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada

Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)

-----Paso 1-----

	Coef	P
Constante	23,280	
Vías (%)	-3,680	0,000
S		2,13307
R-cuadrado		48,26%
R-cuadrado(ajustado)		46,53%
R-cuadrado (pred)		43,85%
AICc		551,73
BIC		567,99

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15

Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 91: selección de términos escalonada para la variable de número de giros en CD3 Cota

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20

Ilustración 92: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	509,2	127,300	27,98	0,000
Lineal	4	509,2	127,300	27,98	0,000
Vías (%)	4	509,2	127,300	27,98	0,000
Error	120	546,0	4,550		
Total	124	1055,2			

Ilustración 93: análisis de varianza para la variable de número de giros en CD3 Cota



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2,13307	48,26%	46,53%	43,85%

Ilustración 94: resumen del modelo para la variable de número de giros en la CD3 Cota

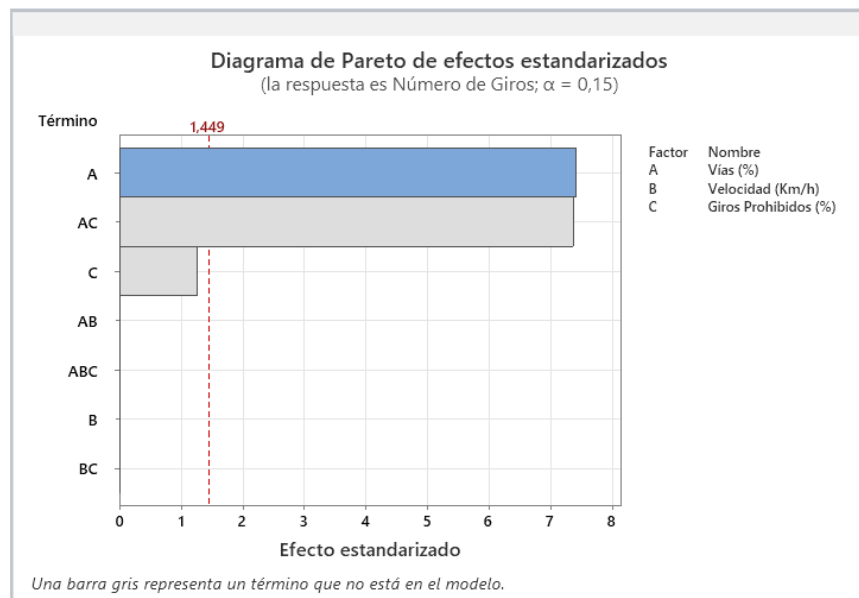
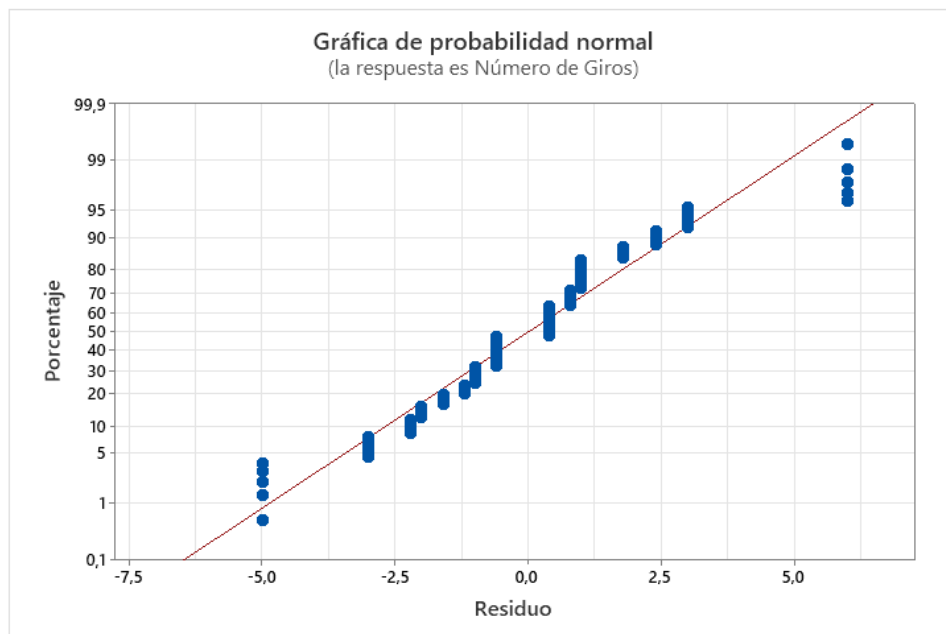


Ilustración 95: diagrama de Pareto para la variable de número de giros en CD3 Cota





7.1.4 CD4 Sintéticas 1

7.1.4.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%)

A continuación, se determinan cuáles términos contribuyen más a la variabilidad de la respuesta final.

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h); VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%); VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	15,226		15,226		15,226	
VELOCIDAD (Km/h)	7,998	0,000	7,998	0,000	7,998	0,000
VÍAS (%)			6,629	0,000	6,629	0,000
VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)					3,476	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)						
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)						
VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)						
S		4,02654		1,85974		1,59120
R-cuadrado		58,86%		91,52%		94,65%
R-cuadrado(ajustado)		57,49%		90,93%		93,36%
R-cuadrado (pred)		55,36%		90,15%		91,63%
AICc		710,57		522,43		509,29
BIC		726,83		548,79		568,50

	-----Paso 4-----		-----Paso 5-----	
	Coef	P	Coef	P
Constante	15,226		15,2255	
VELOCIDAD (Km/h)	7,998	0,000	7,9983	0,000
VÍAS (%)	6,629	0,000	6,6288	0,000
VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)	3,476	0,000	3,476	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)	1,289	0,000	1,289	0,000
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)			3,175	0,000
VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)				
S		1,34192		0,526555
R-cuadrado		96,34%		99,53%
R-cuadrado(ajustado)		95,28%		99,27%
R-cuadrado (pred)		93,80%		98,85%
AICc		475,05		286,03
BIC		540,11		360,70



-----Paso 6-----		
	Coef	P
Constante	15,2255	
VELOCIDAD (Km/h)	7,9983	0,000
VÍAS (%)	6,6288	0,000
VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)	3,476	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)	1,289	0,000
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)	3,175	0,000
VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)	0,6725	0,016
S		0,474774
R-cuadrado		99,69%
R-cuadrado(ajustado)		99,41%
R-cuadrado (pred)		98,84%
AICc		334,83
BIC		384,18

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 96. Selección de términos escalona para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
VÍAS (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
VELOCIDAD (Km/h)	5	30; 40; 50; 60; 70
GIROS PROHIBIDOS (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 97: niveles de los factores que intervienen

Resumen del modelo							
	S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)	AICc	BIC
	0,474774	99,69%	99,41%	55,0317	98,84%	334,83	384,18

Ilustración 98: Resumen del modelo

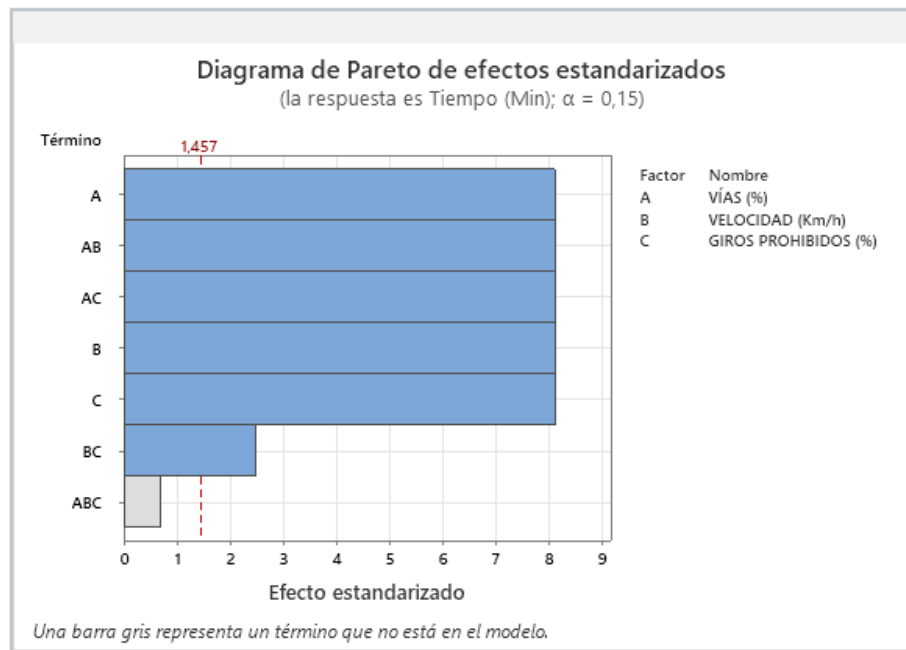


Ilustración 99: Diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1

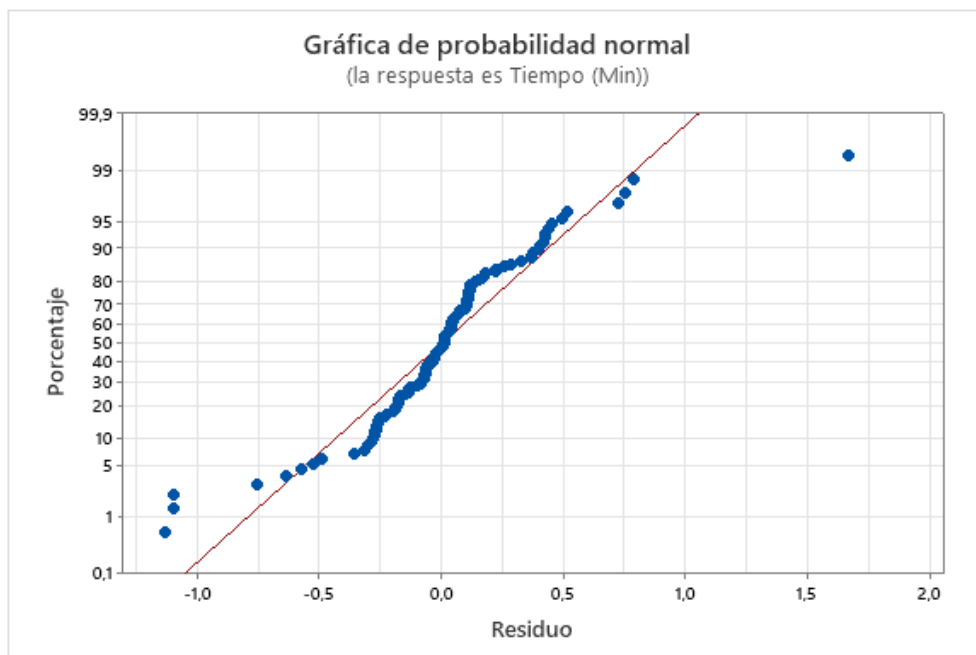


Ilustración 100: Gráfica de probabilidad normal para la variable tiempo en CD4 Sintéticas 1



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

7.1.4.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h); VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%); VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	11609,6		11609,6		11609,6	
VÍAS (%)	5055	0,000	5055	0,000	5054,95	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)			982,9	0,000	982,9	0,000
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)					2420	0,000
S		1058,02		869,228		6,60087
R-cuadrado		86,99%		91,51%		100,00%
R-cuadrado(ajustado)		86,55%		90,93%		100,00%
R-cuadrado (pred)		85,88%		90,14%		100,00%
AICc		2103,38		2059,23		864,97
BIC		2119,64		2085,58		924,18
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 101: Selección de términos escalonada para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
VÍAS (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
GIROS PROHIBIDOS (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 102: Niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
Modelo	24	1032387953	100,00%	1032387953	43016165
Lineal	8	944747698	91,51%	944747698	118093462
VÍAS (%)	4	898064448	86,99%	898064448	224516112
GIROS PROHIBIDOS (%)	4	46683250	4,52%	46683250	11670813
Interacciones de 2 términos	16	87640255	8,49%	87640255	5477516
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)	16	87640255	8,49%	87640255	5477516
Error	100	4357	0,00%	4357	44
Total	124	1032392311	100,00%		
Fuente	Valor F	Valor p			
Modelo	987254,17	0,000			
Lineal	2710336,07	0,000			
VÍAS (%)	5152817,99	0,000			
GIROS PROHIBIDOS (%)	267854,15	0,000			
Interacciones de 2 términos	125713,22	0,000			
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)	125713,22	0,000			
Error					
Total					

Ilustración 103 Análisis de varianza Ilustración para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1



Resumen del modelo						
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)	AICc	BIC
6,60087	100,00%	100,00%	6808,05	100,00%	864,97	924,18

Ilustración 104: Resumen del modelo Ilustración para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1

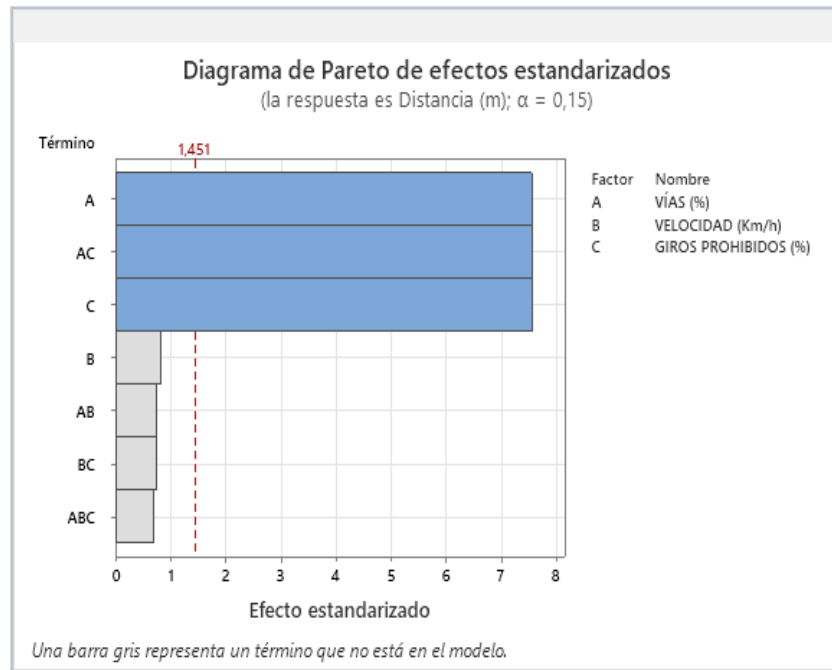


Ilustración 105. Diagrama de Pareto para la variable distancia en CD4 Sintéticas 1

Para este diagrama de Pareto se observa que los términos con mayor incidencia en la respuesta de distancia, no son necesariamente los mismos que en la respuesta de tiempo. Teniendo los mismos términos que intervienen en la respuesta y que se describen a continuación;

- A: Vías
- AB: Relación entre vías y velocidad
- AC: Relación entre vías y giros prohibidos
- B: Velocidad
- C: Giros prohibidos
- BC: Relación entre velocidad y giros prohibidos



- ABC: Relación entre Vías, Velocidad y Giros Prohibidos

Se puede decir que los términos con mayor grado de significación y que realmente son relevantes para esta respuesta son el porcentaje de vías, el porcentaje de giros prohibidos y la relación entre ellos. Se puede concluir entonces que el término de velocidad realmente no afecta en la distancia, algo obvio por la naturaleza de las relaciones entre esas variables.



7.1.4.3 Regresión factorial general: Número giros (%) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h);
GIROS PROHIBIDOS (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h); VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%); VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%); VÍAS (%)*VELOCIDAD (Km/h)*GIROS PROHIBIDOS (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	60,784		60,784		60,7840	
VÍAS (%)	35,82	0,000	35,816	0,000	35,8160	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)			3,816	0,002	3,816	0,000
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)					12,58	0,000
S	5,81739		5,51120		0,268328	
R-cuadrado	92,77%		93,73%		99,99%	
R-cuadrado(ajustado)	92,53%		93,29%		99,98%	
R-cuadrado (pred)	92,15%		92,72%		99,98%	
AICc	802,56		794,02		64,28	
BIC	818,81		820,37		123,49	

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 106: Selección de términos escalonada para la variable de número de giros en CD4 Sintéticas 1

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
VÍAS (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
GIROS PROHIBIDOS (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 107: Niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
Modelo	24	56154,0	99,99%	56154,0	2339,7
Lineal	8	52637,9	93,73%	52637,9	6579,7
VÍAS (%)	4	52100,1	92,77%	52100,1	13025,0
GIROS PROHIBIDOS (%)	4	537,7	0,96%	537,7	134,4
Interacciones de 2 términos	16	3516,1	6,26%	3516,1	219,8
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)	16	3516,1	6,26%	3516,1	219,8
Error	100	7,2	0,01%	7,2	0,1
Total	124	56161,2	100,00%		

Fuente	Valor F	Valor p
Modelo	32496,51	0,000
Lineal	91385,17	0,000
VÍAS (%)	180903,22	0,000
GIROS PROHIBIDOS (%)	1867,11	0,000
Interacciones de 2 términos	3052,18	0,000
VÍAS (%)*GIROS PROHIBIDOS (%)	3052,18	0,000
Error		
Total		

Ilustración 108: Análisis de varianza para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1



Resumen del modelo							
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (pred)	AICc	BIC	
0,268328	99,99%	99,98%	11,25	99,98%	64,28	123,49	

Ilustración 109: Resumen del modelo para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1

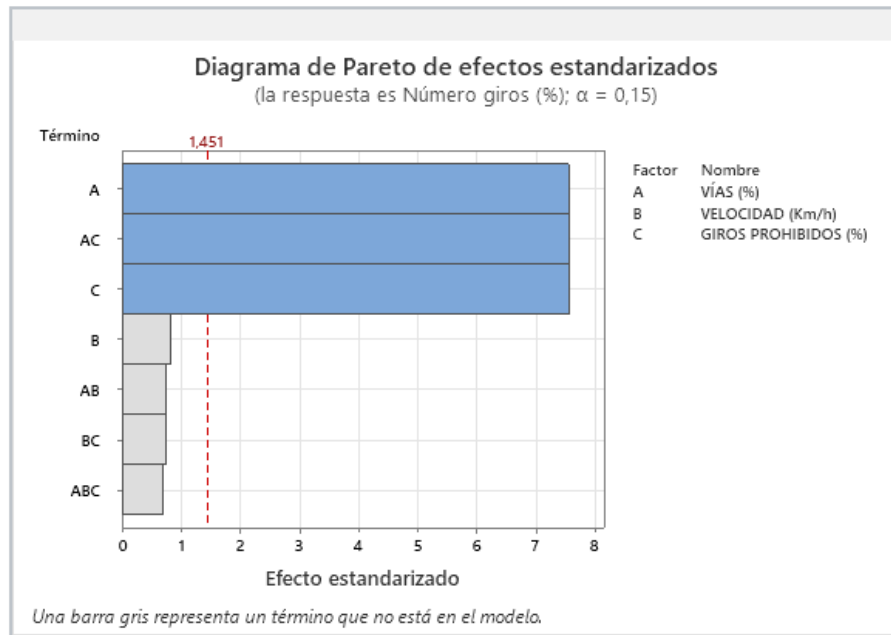


Ilustración 110: Diagrama de Pareto para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1

Para la respuesta de número de giros tampoco interfiere mucho la variable o el término de la velocidad, esta respuesta también se esperaba y una vez más se compara con un escenario real, no tienen nada de ver la velocidad con la que un vehículo recorre una vía con la cantidad de giros que deba tomar al recorrerla, por otro lado este valor si se puede ver afectado por el número de vías que haya en la malla vial, o la cantidad de restricciones que obliguen al vehículo a recorrer por caminos alternos, así como por la relación entre estas últimas dos variables.

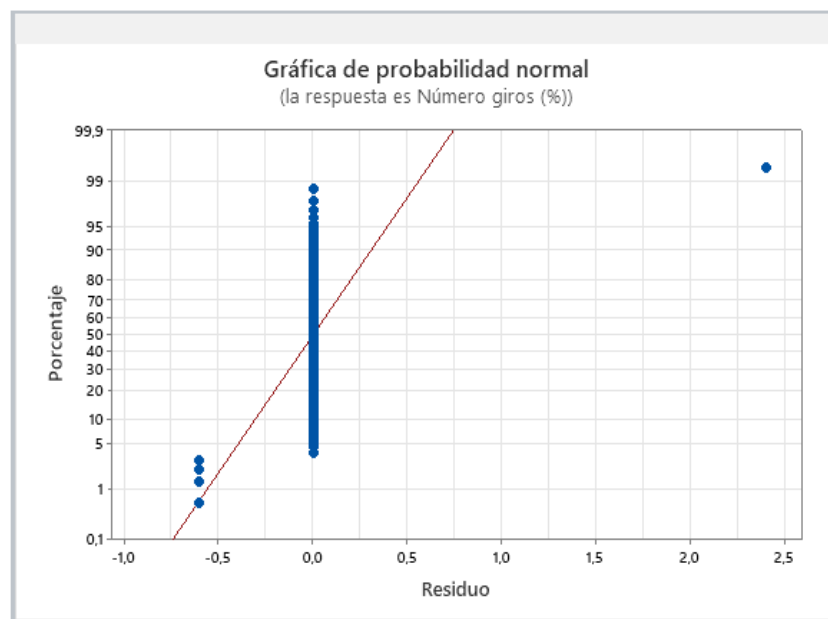


Ilustración 111: Grafica de probabilidad normal para la variable de numero de giros en CD4 Sintéticas 1



7.1.4.4 CD5 Sintéticas 2

7.1.4.5 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	22,755		22,755		22,755	
Velocidad (Km/h)	11,95	0,000	11,948	0,000	11,948	0,000
Vías (%)			12,145	0,000	12,145	0,000
Giros Prohibidos (%)					3,675	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)						
Vías (%)*Velocidad (Km/h)						
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
S	7,35880		3,83744		3,35320	
R-cuadrado	48,88%		86,56%		90,09%	
R-cuadrado(ajustado)	47,18%		85,63%		89,03%	
R-cuadrado (pred)	44,53%		84,40%		87,66%	
AICc	861,32		703,53		675,30	
BIC	877,58		729,88		711,08	

	-----Paso 4-----		-----Paso 5-----		-----Paso 6-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	22,755		22,755		22,755	
Velocidad (Km/h)	11,948	0,000	11,948	0,000	11,948	0,000
Vías (%)	12,145	0,000	12,145	0,000	12,145	0,000
Giros Prohibidos (%)	3,675	0,000	3,675	0,000	3,675	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	9,307	0,000	9,307	0,000	9,307	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)			6,377	0,000	6,377	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)					1,929	0,004
S	2,43490		1,16909		1,01744	
R-cuadrado	95,52%		99,14%		99,48%	
R-cuadrado(ajustado)	94,22%		98,67%		98,99%	
R-cuadrado (pred)	92,41%		97,90%		98,01%	
AICc	624,00		485,44		525,38	
BIC	689,06		560,11		574,73	

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 112: selección de términos escalonada para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2



Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Velocidad (Km/h)	5	30; 40; 50; 60; 70
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 113: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	60	12645,3	210,75	203,59	0,000
Lineal	12	11452,2	954,35	921,92	0,000
Vías (%)	4	4790,0	1197,50	1156,81	0,000
Velocidad (Km/h)	4	6213,3	1553,32	1500,54	0,000
Giros Prohibidos (%)	4	448,9	112,22	108,41	0,000
Interacciones de 2 términos	48	1193,1	24,86	24,01	0,000
Vías (%)*Velocidad (Km/h)	16	459,8	28,74	27,76	0,000
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	690,2	43,14	41,67	0,000
Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)	16	43,1	2,69	2,60	0,004
Error	64	66,3	1,04		
Total	124	12711,5			

Ilustración 114: análisis de la varianza para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1,01744	99,48%	98,99%	98,01%

Ilustración 115: resumen del modelo para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2

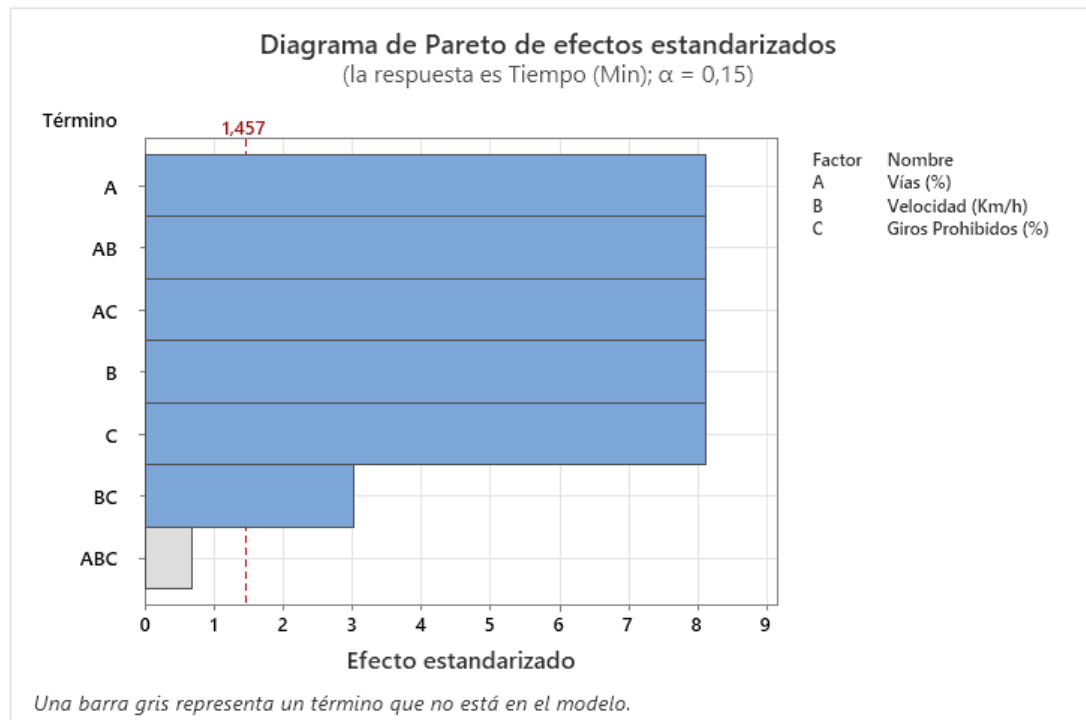


Ilustración 116: diagrama de Pareto para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2

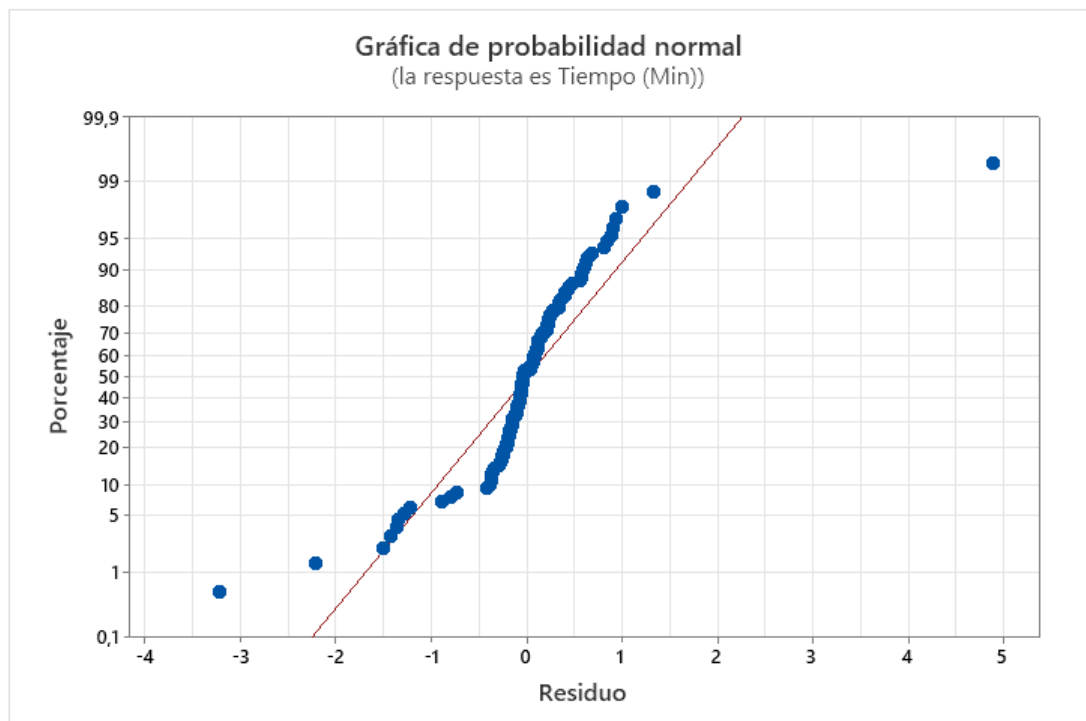


Ilustración 117: grafica de probabilidad para la variable tiempo en CD5 Sintéticas 2



7.1.4.6 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	----Paso 1----		----Paso 2----		----Paso 3----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	17352		17352		17352	
Vías (%)	9261	0,000	9261	0,000	9261	*
Giros Prohibidos (%)			2802	0,000	2802	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					7097	*
S		2349,29		1859,96		0
R-cuadrado		80,79%		88,36%		100,00%
R-cuadrado(ajustado)		80,15%		87,56%		100,00%
R-cuadrado (pred)		79,15%		86,48%		100,00%
AlCc		2302,81		2249,40		*
BIC		2319,07		2275,75		*

α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.

Ilustración 118: selección de términos escalonada para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 119: niveles de los factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	3447438928	143643289	*	*
Lineal	8	3046144141	380768018	*	*
Vías (%)	4	2785137828	696284457	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	261006312	65251578	*	*
Interacciones de 2 términos	16	401294788	25080924	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	401294788	25080924	*	*
Error	100	0	0		
Total	124	3447438928			

Ilustración 120: análisis de varianza para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 121: resumen del modelo para la variable distancia en CD5 Sintéticas 2

Para este caso la magnitud del error residual se encuentra entre los valores $-5e-11$ y $-2e-11$.



7.1.4.7 *Regresión factorial general: Número de Giros vs. Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%)*

Selección de términos escalonada						
Términos candidatos: Vías (%); Velocidad (Km/h); Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h); Vías (%)*Giros Prohibidos (%); Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%); Vías (%)*Velocidad (Km/h)*Giros Prohibidos (%)						
	-----Paso 1-----		-----Paso 2-----		-----Paso 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constante	45,720		45,720		45,72	
Vías (%)	37,48	0,000	37,48	0,000	37,48	*
Giros Prohibidos (%)			-7,12	0,000	-7,120	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)					-19,08	*
S		9,66868		7,70624		0
R-cuadrado		81,31%		88,53%		100,00%
R-cuadrado(ajustado)		80,69%		87,73%		100,00%
R-cuadrado (pred)		79,72%		86,68%		100,00%
AICc		929,57		877,83		*
BIC		945,82		904,19		*
α a entrar = 0,15; α a retirar = 0,15						
Si un término tiene más de un coeficiente, se muestra el más grande en magnitud.						

Ilustración 122: selección de términos escalonada para la variable de numero de giros en CD5 Sintéticas 2

Información del factor		
Factor	Niveles	Valores
Vías (%)	5	-20; -10; 0; 10; 20
Giros Prohibidos (%)	5	0; 5; 10; 15; 20

Ilustración 123: niveles de factores que intervienen

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	24	60035,2	2501,5	*	*
Lineal	8	53146,4	6643,3	*	*
Vías (%)	4	48817,2	12204,3	*	*
Giros Prohibidos (%)	4	4329,2	1082,3	*	*
Interacciones de 2 términos	16	6888,8	430,5	*	*
Vías (%)*Giros Prohibidos (%)	16	6888,8	430,5	*	*
Error	100	0,0	0,0		
Total	124	60035,2			

Ilustración 124: análisis de la varianza para la variable de número de giros en CD5 Sintéticas 2



Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0	100,00%	100,00%	100,00%

Ilustración 125: resumen del modelo para la variable de número de vías en CD5 Sintéticas 2



7.2 RESULTADOS PARA EL EJERCICIO 2

Para el procesamiento de los datos correspondientes al segundo ejercicio no fue posible usar Minitab, pues al intentar procesarlos surgió el inconveniente de que éste no es capaz de resolver un DoE factorial cuando uno de sus factores tiene más de 100 niveles, y cómo el factor “Ruta No.” está compuesto de 200 niveles se tuvo que buscar alguna alternativa, después de probar con varios softwares estadísticos se escogió Desing Expert 13 desarrollado por Stat-Easy Inc.

El cargue de la información en este programa es similar que en Minitab, básicamente se copió la tabla de resultados de Excel estructurada para cada malla vial y después se categorizo cada una de las columnas dependiendo de qué tipo de valor tuviese, se indicó que la columna correspondiente al número de ruta es un factor categórico, es decir cualitativo, los factores de porcentaje de vías y de restricción de giros se categorizaron como factores numéricos o cuantitativos, y las últimas tres columnas; tiempo, distancia, y número de giros se categorizaron como respuestas.

	Factor 1 A:Ruta No. categoric	Factor 2 B:% de Vías % numeric	Factor 3 C:% de Giros ... % numeric	Response 1 Tiempo min	Response 2 Distancia m	Response 3 Número de gir... unidad
1	1	-20	0	14.4137	10975	44
2	1	-20	5	14.4137	10975	44

Ilustración 126: categorización de columnas en Desing Expert 13

De manera similar a lo que hace Minitab, Desing Expert hace un modelo que relaciona los valores de cada respuesta con los factores que participaron en el mismo; sin embargo, por la diferencia de factores ingresados respecto al primer ejercicio, Desing Expert no arroja solamente los resultados de un modelo para el experimento, además de esto muestra las gráficas de la interacción entre factores y respuestas por cada una de las rutas evaluadas.

Con base en lo anterior se puede decir que el software muestra una salida grafica de los factores porcentaje de vías y porcentaje de giros restringidos, Vs. cada respuesta para cada una de las rutas, es decir, un total de 200 graficas para tiempo, 200 graficas para distancia y 200 graficas para número de giros.



Otra diferencia a tener en cuenta respecto al primer ejercicio son las rutas que no pudieron desarrollarse en algunos escenarios por falta de tramos viales o un gran número de restricciones, para que estas repuestas no afectaran el experimento se programó el software estadístico con el fin de ignorar las mismas como se muestra en la imagen a continuación.

Run	Factor 1 A:Ruta No	Factor 2 B:% de vías %	Factor 3 C:% de giros %	Response 1 Tiempo min	Response 2 Distancia m	Response 3 Número de giros unidad
82	4	10	5	2.88878	2326.52	38
83	4	10	10	0	0	0
84	4	10	15	2.97129	2336.62	36

Ilustración 127: rutas ignoradas por el software Design of Experiment para el desarrollo del ejercicio



7.2.1 CD1 Teruel

7.2.1.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

En la siguiente tabla se muestra el resumen del ajuste para los términos de todos los modelos polinómicos aplicables a los datos presentados, dentro de las estadísticas que se producen se tienen valores P, falta de ajuste y valores de R^2 para comparar los modelos, como ya se explicó, el software detecta automáticamente el modelo estadísticamente más significativo y lo subraya como modelo sugerido, para este caso y como se puede ver a continuación, el modelo sugerido fue el cubico.

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R^2	Predicted R^2	
	Linear	< 0.0001		0.4750	0.4509	
	2FI	< 0.0001		0.5782	0.4953	
	Quadratic	< 0.0001		0.8219	0.7887	
	Cubic	< 0.0001		0.9391	0.9067	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.9817		Aliased

Ilustración 128: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en el grafo Teruel

Una de las falencias que se encontraron en este software es la falta de un diagrama de Pareto, el cual muestra de manera resumida la significancia que tiene un factor en el modelo, a pesar de esto, este software muestra una tabla de estadísticas descriptivas, que arroja un valor P para cada factor dentro del modelo, cabe resaltar que la significancia de un factor es inversamente proporcional a su valor P; a menor valor en P, mayor importancia de este factor en el modelo.

Response 1: Tiempo

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	45750.29	1203	38.03	55.02	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	9297.55	199	46.72	67.60	< 0.0001	
	B-% de vías	13841.09	1	13841.09	20025.49	< 0.0001	
	C-% de giros	113.05	1	113.05	163.57	< 0.0001	
	AB	4305.01	199	21.63	31.30	< 0.0001	
	AC	56.75	199	0.2852	0.4126	1.0000	
	BC	220.39	1	220.39	318.86	< 0.0001	
	B ²	9848.33	1	9848.33	14248.70	< 0.0001	
	C ²	69.48	1	69.48	100.53	< 0.0001	
	ABC	66.52	199	0.3343	0.4836	1.0000	
	AB ²	2931.18	199	14.73	21.31	< 0.0001	
	AC ²	47.48	199	0.2386	0.3452	1.0000	
	B ² C	4.46	1	4.46	6.45	0.0111	
	BC ²	24.67	1	24.67	35.69	< 0.0001	
	B ³	1646.82	1	1646.82	2382.64	< 0.0001	
	C ³	2.69	1	2.69	3.89	0.0487	
	Residual	2081.81	3012	0.6912			
	Cor Total	47832.11	4215				

Ilustración 129: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD1 Teruel



Como verificaciones secundarias para comprobar la alta significación de este modelo, se comprueba que la diferencia entre R^2 previsto (para este caso 0.96), y el R^2 ajustado (0.94) sea inferior a 0.2, esto quiere decir que el modelo se ajusta a los datos y se puede utilizar de manera fiable. Además, se comprueba la precisión adecuada (51.69), si esta es mayor a 4 el modelo es adecuado.

Std. Dev.	0.8314		R²	0.9565
Mean	5.16		Adjusted R²	0.9391
C.V. %	16.11		Predicted R²	0.9067
			Adeq Precision	51.6934

The **Predicted R²** of 0.9067 is in reasonable agreement with the **Adjusted R²** of 0.9391; i.e. the difference is less than 0.2.

Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 51.693 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Ilustración 130: Verificación del modelo para Tiempo en CD1 Teruel

La siguiente grafica comprueba las variables ocultas que pueden haber influido en la respuesta durante el experimento. La distribución funciona de la misma manera que en el ejercicio 1 con el software Minitab.

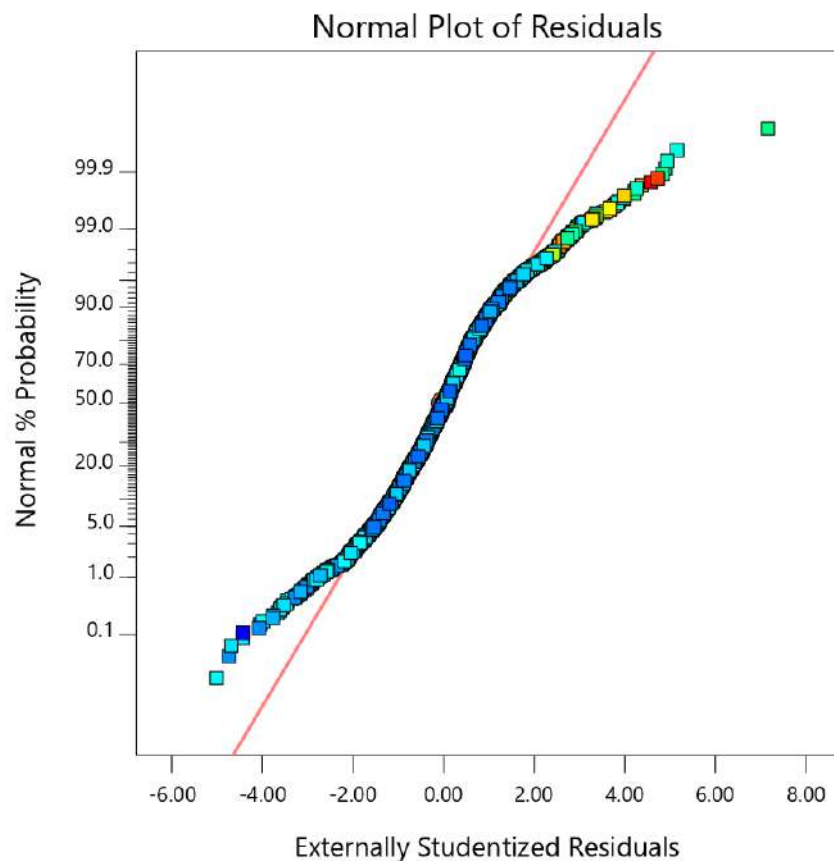


Ilustración 131: Grafica de residuales para tiempo en CD1 Teruel

En el diagrama presentado a continuación se pueden ver los valores residuales Vs. los valores de respuesta pronosticados, se muestra una dispersión aleatoria de datos donde se identifican los valores que no cumplen con el supuesto de varianza constante

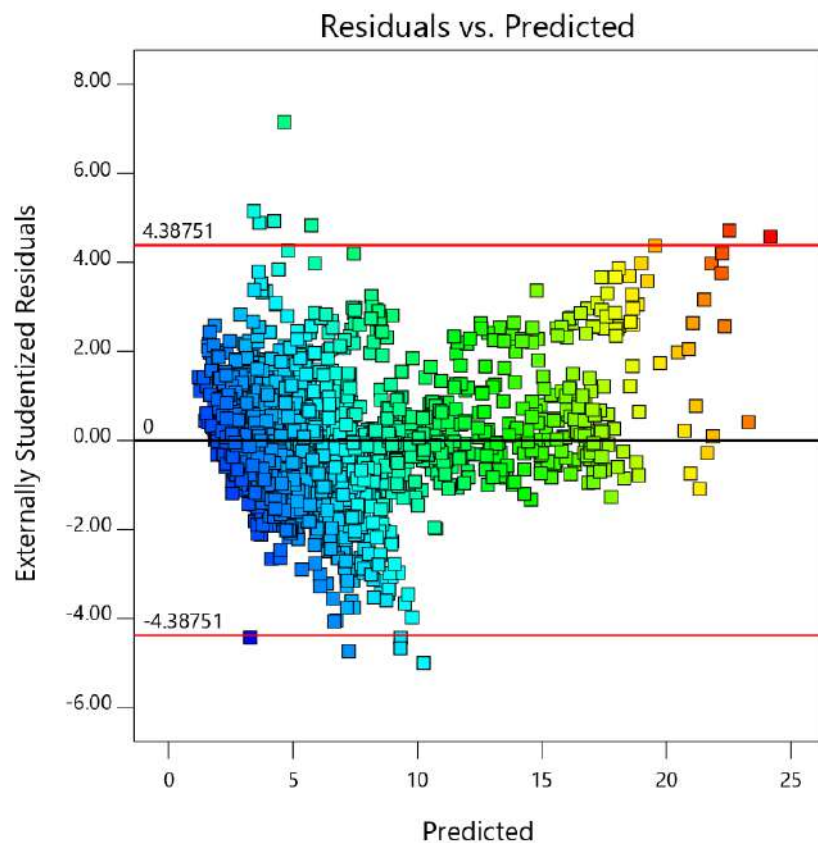


Ilustración 132: Valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD1 Teruel

Otras dos razones de peso para confiar en el modelo propuesto por esta herramienta para este experimento es que las gráficas anteriores muestran como la mayoría de los datos predichos se ajustan a la media de los valores obtenidos en el estudio.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento general que tuvo la respuesta de Tiempo respecto a los factores, de porcentaje de vías y porcentaje de giros prohibidos.

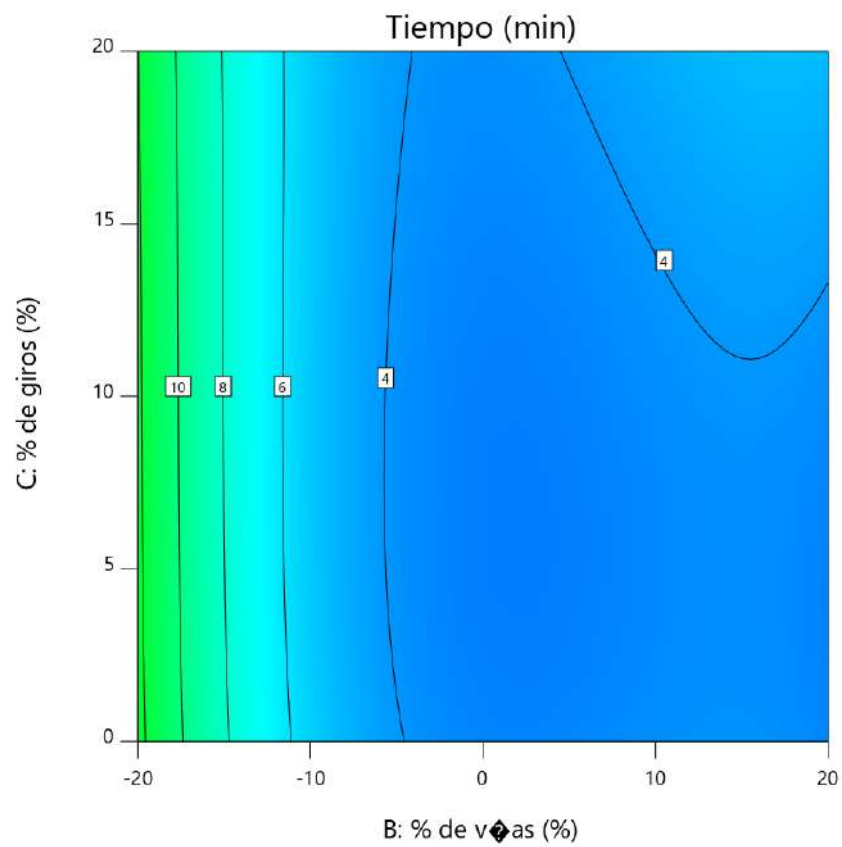


Ilustración 133: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D



7.2.1.2 Regresión factorial general: Distancia (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.5884	0.5695	
	2FI	< 0.0001		0.6769	0.6217	
	Quadratic	< 0.0001		0.8131	0.7814	
	Cubic	< 0.0001		0.9218	0.8983	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.9656		Aliased

Ilustración 134: Ajuste de modelos polinómicos para Distancia en CD1 Teruel

Para este modelo puntualmente, el software recomienda el modelo polinómico cubico.

Response 2: Distancia

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.262E+10	1203	1.049E+07	42.32	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	5.039E+09	199	2.532E+07	102.15	< 0.0001	
	B-% de vías	3.326E+09	1	3.326E+09	13416.83	< 0.0001	
	C-% de giros	1.270E+06	1	1.270E+06	5.13	0.0237	
	AB	1.366E+09	199	6.866E+06	27.70	< 0.0001	
	AC	1.762E+07	199	88522.98	0.3571	1.0000	
	BC	6.022E+06	1	6.022E+06	24.29	< 0.0001	
	B ²	1.543E+09	1	1.543E+09	6223.83	< 0.0001	
	C ²	6.848E+06	1	6.848E+06	27.63	< 0.0001	
	ABC	7.723E+06	199	38809.37	0.1566	1.0000	
	AB ²	9.112E+08	199	4.579E+06	18.47	< 0.0001	
	AC ²	1.102E+07	199	55383.98	0.2234	1.0000	
	B ² C	9.298E+05	1	9.298E+05	3.75	0.0529	
	BC ²	2.094E+05	1	2.094E+05	0.8449	0.3581	
	B ³	3.757E+08	1	3.757E+08	1515.71	< 0.0001	
	C ³	3.804E+06	1	3.804E+06	15.35	< 0.0001	
	Residual	7.466E+08	3012	2.479E+05			
	Cor Total	1.337E+10	4215				

Ilustración 135: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD1 Teruel

	Std. Dev.	497.87	R²	0.9441
	Mean	3720.16	Adjusted R²	0.9218
	C.V. %	13.38	Predicted R²	0.8983
			Adeq Precision	43.8373

Ilustración 136: Verificación del modelo para Distancia en CD1 Teruel

El modelo sigue siendo confiable, la primera razón es que la diferencia entre el valor R² predicho y R² ajustado es menor a 0.2, la segunda razón y en este caso la de más peso es que el valor de precisión adecuada sigue superando ampliamente su valor límite para un modelo no confiable que es 4.

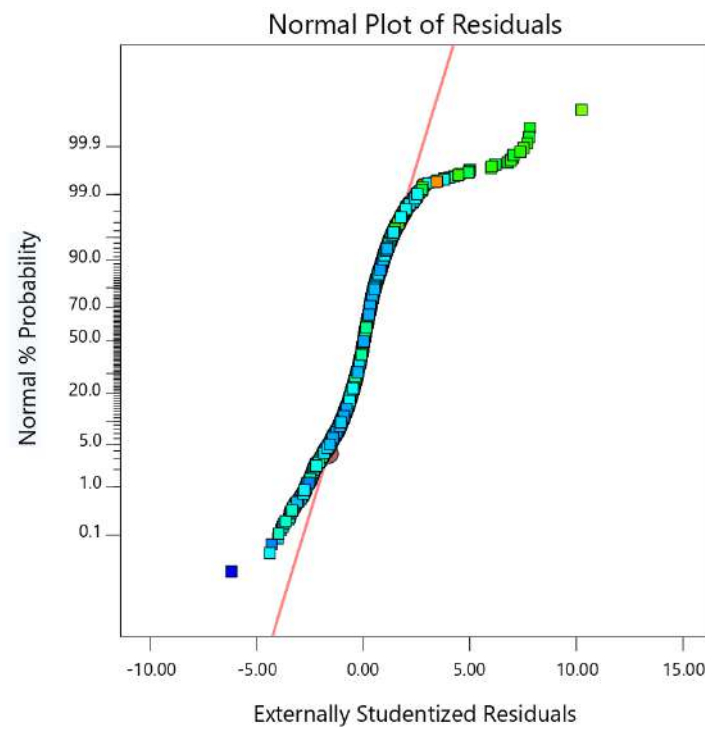


Ilustración 137: Grafica de residuales para Distancia en CD1 Teruel

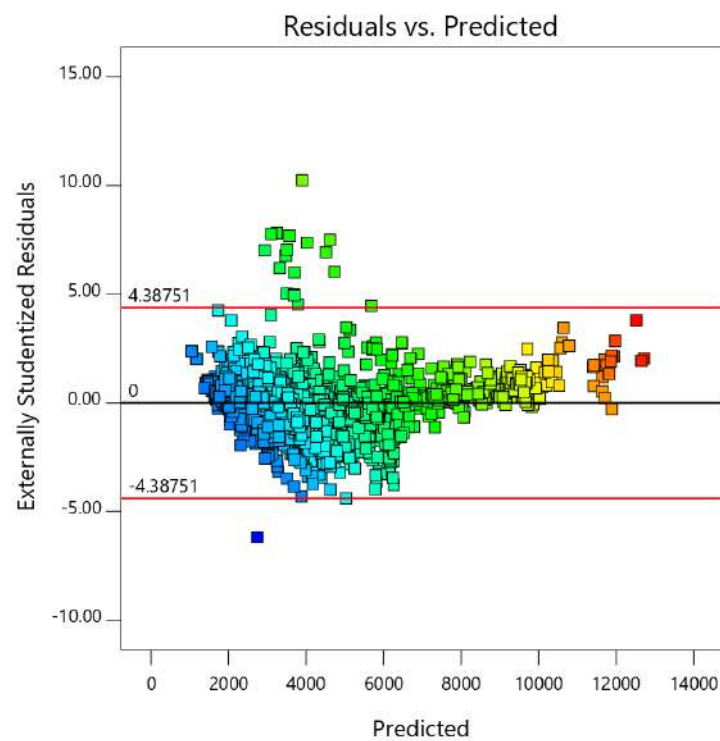


Ilustración 138: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD1 Teruel



Nuevamente los valore predichos se encuentran dentro del rango de la media que se tuvo a partir de los valores del experimento.

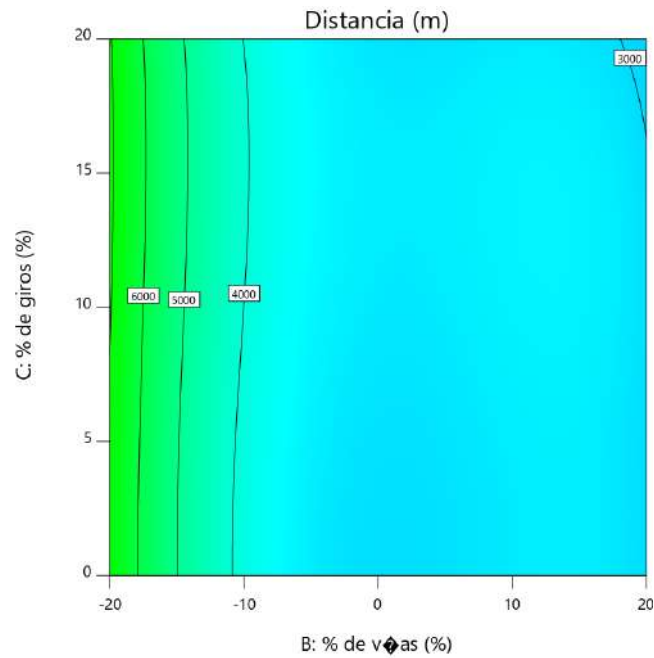


Ilustración 139: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D

|



7.2.1.3 Regresión factorial general: Número de giros (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001		0.5197	0.4966	
2FI	< 0.0001		0.5973	0.5379	
Quadratic	< 0.0001		0.6349	0.5807	
Cubic	< 0.0001		0.6897	0.5909	Suggested
Quartic	< 0.0001		0.7205		Aliased

Ilustración 140: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD1 Teruel

Nuevamente el modelo polinómico recomendado es el cubico

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	8.783E+05	1203	730.05	8.79	< 0.0001	significant
A-Ruta No	4.017E+05	199	2018.38	24.29	< 0.0001	
B-% de vías	1.967E+05	1	1.967E+05	2367.40	< 0.0001	
C-% de giros	5.36	1	5.36	0.0645	0.7995	
AB	1.041E+05	199	522.96	6.29	< 0.0001	
AC	12825.26	199	64.45	0.7757	0.9902	
BC	6549.62	1	6549.62	78.83	< 0.0001	
B ²	36089.70	1	36089.70	434.37	< 0.0001	
C ²	462.13	1	462.13	5.56	0.0184	
ABC	9280.31	199	46.63	0.5613	1.0000	
AB ²	47115.09	199	236.76	2.85	< 0.0001	
AC ²	7682.35	199	38.60	0.4646	1.0000	
B ² C	806.01	1	806.01	9.70	0.0019	
BC ²	2617.72	1	2617.72	31.51	< 0.0001	
B ³	26391.45	1	26391.45	317.64	< 0.0001	
C ³	3096.99	1	3096.99	37.27	< 0.0001	
Residual	2.503E+05	3012	83.08			
Cor Total	1.129E+06	4215				

Ilustración 141: Estadísticas descriptivas para número de giros en CD1 Teruel

Std. Dev.	9.12		R²	0.7782
Mean	54.05		Adjusted R²	0.6897
C.V. %	16.87		Predicted R²	0.5909
			Adeq Precision	17.2360

Tabla 31: Verificación del modelo para Distancia en CD1 Teruel

Es normal que este modelo sea el menos preciso, pues la respuesta “número de giros” es la rutas más ambigua y difícil de predecir, a pesar de esto los valores de precisión adecuada y la diferencia entre el R² ajustado y el R² predicho cumplen con los parámetros de confiabilidad.

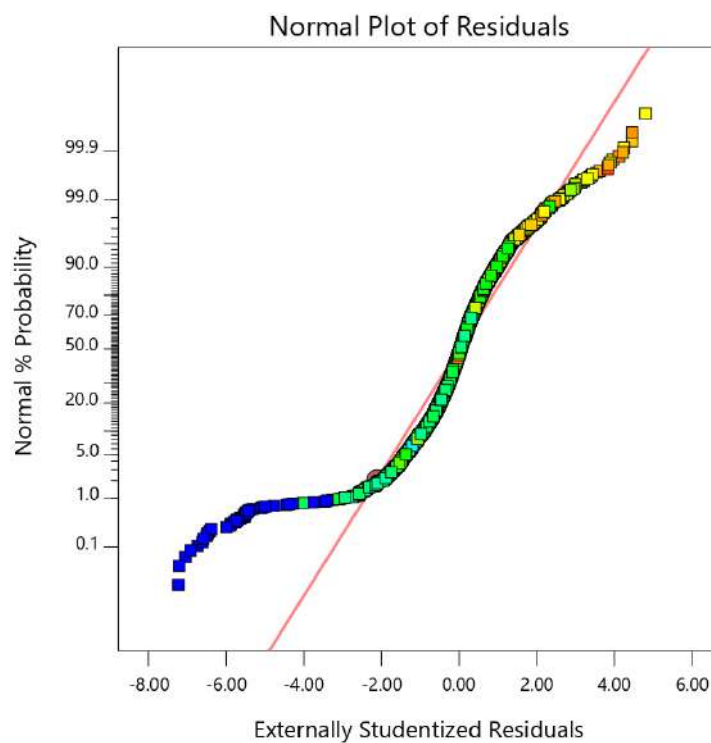


Ilustración 142: Grafica de residuales para Número de giros en CD1 Teruel

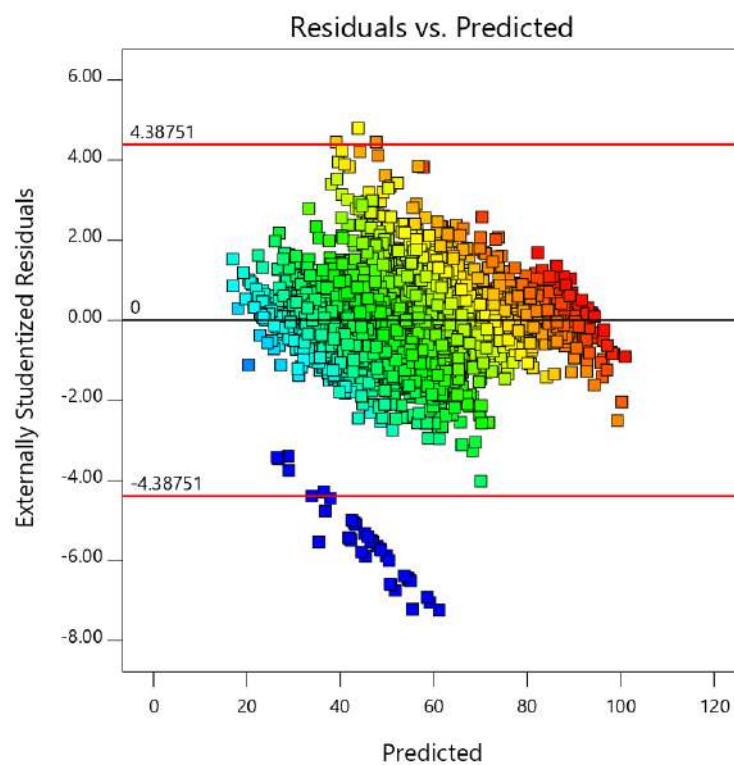


Ilustración 143: Valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD1 Teruel



Las gráficas muestran que los valores predichos están dentro del rango de la media de los datos de estudio.

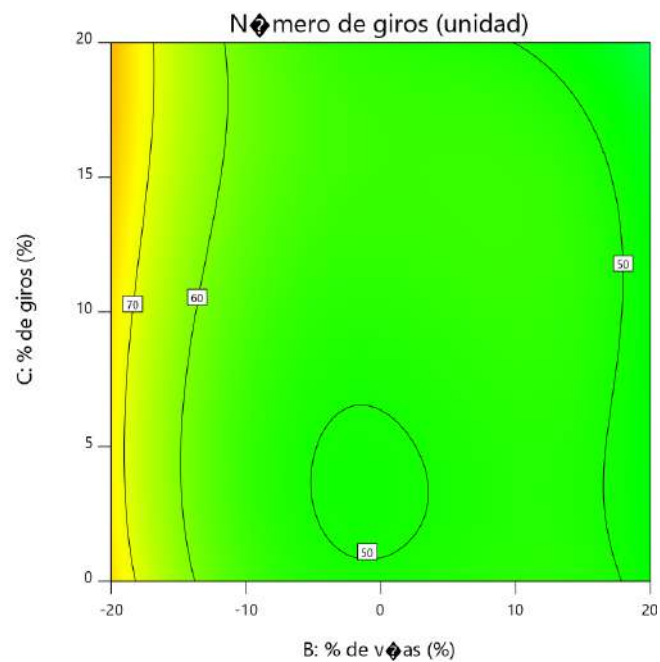


Ilustración 144: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 2D



7.2.2 CD2 Segovia

7.2.2.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

Para este caso, el modelo sugerido como se puede ver a continuación, es un modelo cuartico.

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.3443	0.3165	
	2FI	< 0.0001		0.5751	0.5195	
	Quadratic	0.0172		0.5757	0.5200	
	Cubic	< 0.0001		0.7348	0.6590	
	Quartic	< 0.0001		0.8356	0.7080	Suggested
	Fifth	< 0.0001		0.8995	0.5767	Aliased

Tabla 32: Ajuste de modelos polinómicos para Tiempo en CD2 Segovia

Response 1: Tiempo

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	41454.67	1975	20.99	75.24	< 0.0001	significant
	A-Vías	2252.62	1	2252.62	8074.91	< 0.0001	
	B-Giros_Prohibidos	23.59	1	23.59	84.57	< 0.0001	
	C-Rutas_No	23647.17	199	118.83	425.97	< 0.0001	
	AB	20.78	1	20.78	74.47	< 0.0001	
	AC	4173.63	198	21.08	75.56	< 0.0001	
	BC	58.19	198	0.2939	1.05	0.2984	
	A ²	6724.82	1	6724.82	24106.26	< 0.0001	
	B ²	77.51	1	77.51	277.84	< 0.0001	
	ABC	45.80	198	0.2313	0.8292	0.9562	
	A ² B	2.79	1	2.79	10.00	0.0016	
	A ² C	1555.15	198	7.85	28.15	< 0.0001	
	AB ²	22.59	1	22.59	80.99	< 0.0001	
	B ² C	180.19	198	0.9100	3.26	< 0.0001	
	A ³	0.0000	1	0.0000	0.0000	0.9944	
	B ³	4.17	1	4.17	14.93	0.0001	
	A ² B ²	4.88	1	4.88	17.49	< 0.0001	
	A ² BC	18.45	198	0.0932	0.3340	1.0000	
	AB ² C	88.81	198	0.4485	1.61	< 0.0001	
	A ³ B	1.08	1	1.08	3.87	0.0493	
	A ³ C	498.40	178	2.80	10.04	< 0.0001	
	AB ³	8.97	1	8.97	32.16	< 0.0001	
	B ³ C	91.44	198	0.4618	1.66	< 0.0001	
	A ⁴	67.77	1	67.77	242.95	< 0.0001	
	B ⁴	0.2948	1	0.2948	1.06	0.3041	
	Residual	602.01	2158	0.2790			
	Cor Total	42056.68	4133				

Tabla 33: estadísticas descriptivas para Tiempo en CD2 Segovia

Según la tabla anterior se tiene que, según el valor de F el modelo tiene significancia. Además, los valores P inferiores a 0,05 indican cuales de los términos son más representativos dentro del modelo.



Std. Dev.	1.52		R ²	0.9015
Mean	5.60		Adjusted R ²	0.8356
C.V. %	27.10		Predicted R ²	0.7080
			Adeq Precision	30.1285

Tabla 34: verificación del modelo para Tiempo en CD2 Segovia

Como verificaciones secundarias de la utilidad del presente modelo, se comprueba que la diferencia entre R² previsto (para este caso 0.71), y el R² ajustado (0.84) sea inferior a 0.2, esto quiere decir que el modelo se ajusta a los datos y se puede utilizar de manera fiable. Además de esto, se comprueba la precisión adecuada (30.13), si esta es mayor a 4 significa una gran precisión del modelo respecto a las respuestas del experimento.

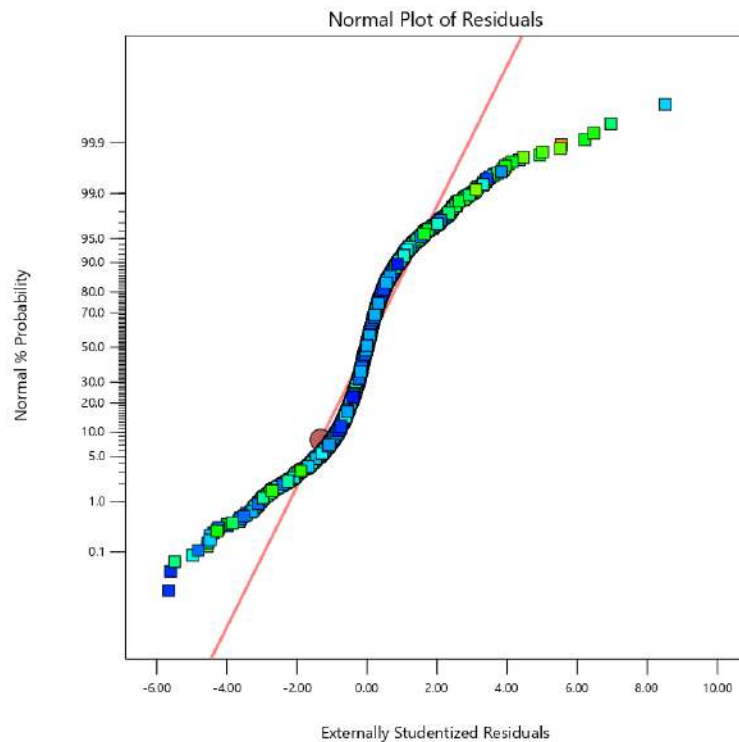


Ilustración 145: grafica de residuales para tiempo en CD2 Segovia

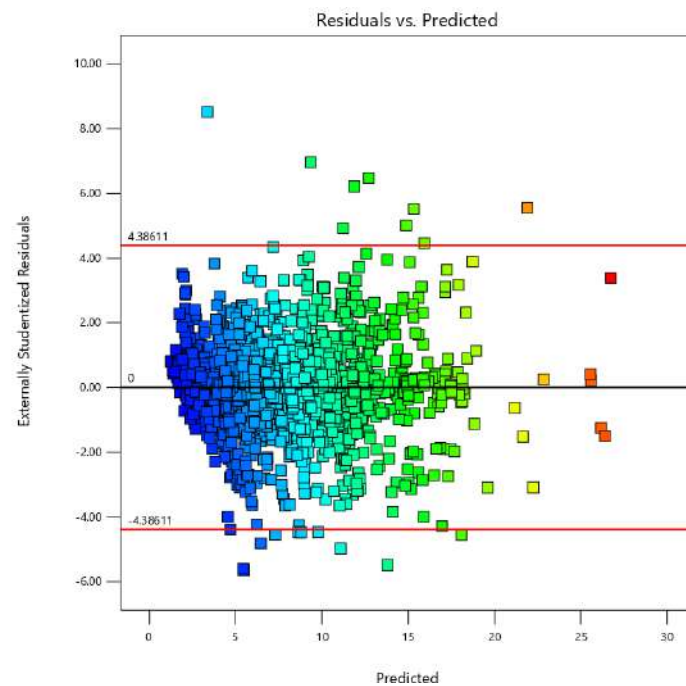


Ilustración 146: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD2 Segovia

La grafica anterior muestra que la gran mayoría de datos residuales están dentro del rango de los predichos por la ecuación propuesta por el software.

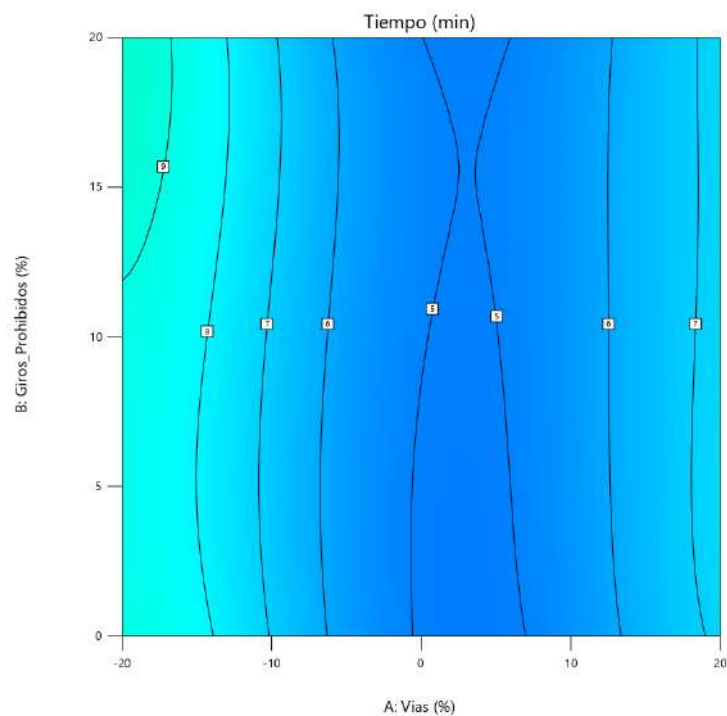


Ilustración 147: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros en CD2 Segovia



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

7.2.2.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h); GIROS PROHIBIDOS (%)

Para este caso, el modelo sugerido como se puede ver a continuación, es el modelo cuartico,

Response 2: Distancia

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.2896	0.2594	
	2FI	< 0.0001		0.4977	0.4274	
	Quadratic	< 0.0001		0.5611	0.5028	
	Cubic	< 0.0001		0.6979	0.6094	
	Quartic	< 0.0001		0.7979	0.6356	Suggested
	Fifth	< 0.0001		0.8756	0.4522	Aliased

Tabla 35: Ajuste de modelos polinómicos en Distancia para CD2 Segovia

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.920E+10	1975	9.723E+06	47.27	< 0.0001	significant
	A-Vías	2.820E+09	1	2.820E+09	13710.80	< 0.0001	
	B-Giros_Prohibidos	1.072E+07	1	1.072E+07	52.10	< 0.0001	
	C-Rutas_No	1.301E+10	199	6.535E+07	317.74	< 0.0001	
	AB	1.031E+07	1	1.031E+07	50.10	< 0.0001	
	AC	2.411E+09	198	1.218E+07	59.19	< 0.0001	
	BC	4.414E+07	198	2.229E+05	1.08	0.2105	
	A ²	1.244E+08	1	1.244E+08	604.64	< 0.0001	
	B ²	8.715E+06	1	8.715E+06	42.37	< 0.0001	
	ABC	3.545E+07	198	1.790E+05	0.8704	0.8974	
	A ² B	1.067E+06	1	1.067E+06	5.19	0.0228	
	A ² C	5.612E+08	198	2.834E+06	13.78	< 0.0001	
	AB ²	2.488E+06	1	2.488E+06	12.10	0.0005	
	B ² C	8.672E+07	198	4.380E+05	2.13	< 0.0001	
	A ³	6.509E+05	1	6.509E+05	3.16	0.0754	
	B ³	6.262E+05	1	6.262E+05	3.04	0.0811	
	A ² B ²	22943.51	1	22943.51	0.1115	0.7384	
	A ² BC	1.650E+07	198	83323.99	0.4051	1.0000	
	AB ² C	5.608E+07	198	2.832E+05	1.38	0.0007	
	A ³ B	40044.46	1	40044.46	0.1947	0.6591	
	A ³ C	4.278E+08	178	2.403E+06	11.68	< 0.0001	
	AB ³	2.040E+06	1	2.040E+06	9.92	0.0017	
	B ³ C	6.002E+07	198	3.031E+05	1.47	< 0.0001	
	A ⁴	2.787E+07	1	2.787E+07	135.51	< 0.0001	
	B ⁴	2.265E+05	1	2.265E+05	1.10	0.2941	
	Residual	4.439E+08	2158	2.057E+05			
	Cor Total	1.965E+10	4133				

Tabla 36: estadísticas descriptivas para Distancia en CD2 Segovia

	Std. Dev.	1204.67	R²	0.8789
	Mean	3939.12	Adjusted R²	0.7979
	C.V. %	30.58	Predicted R²	0.6356
			Adeq Precision	27.4425

Tabla 37: verificación del modelo para Distancia en CD2 Segovia



Como verificaciones secundarias de la utilidad del presente modelo, se comprueba que la diferencia entre R^2 previsto (para este caso 0.64), y el R^2 ajustado (0.80) sea inferior a 0.2, esto quiere decir que el modelo se ajusta a los datos y se puede utilizar de manera fiable. Además de esto, se comprueba la precisión adecuada (27,44), si ésta es mayor a 4 el modelo es favorable.

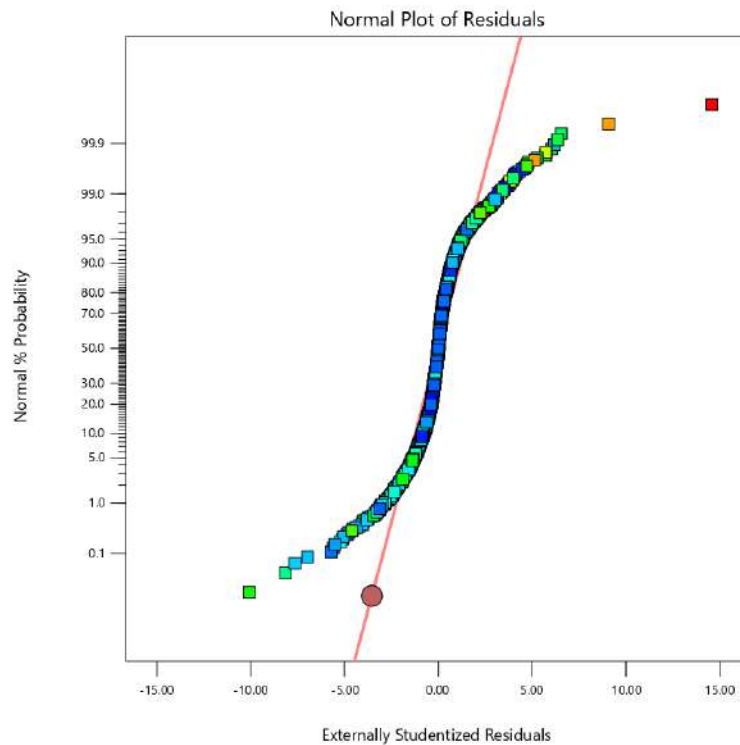


Ilustración 148: Gráfica de residuales para Distancia en CD2 Segovia

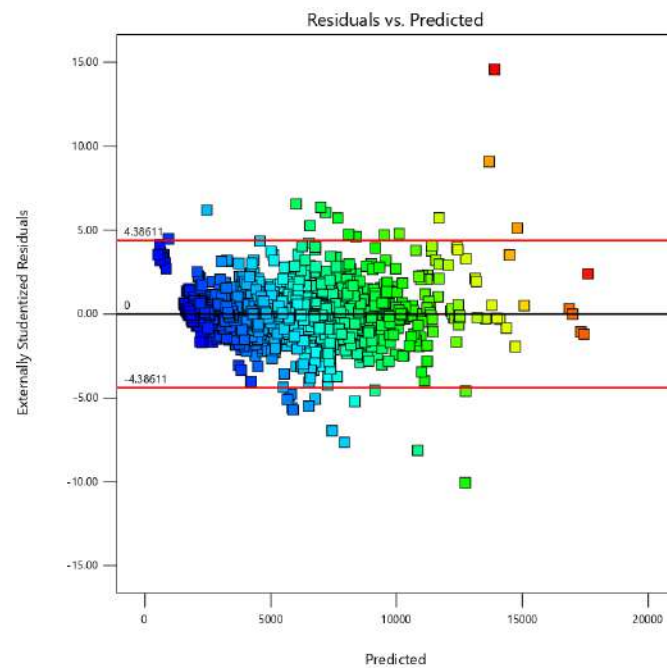


Ilustración 149: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD2 Segovia

La grafica anterior muestra que la gran mayoría de datos residuales están dentro del rango de los valores predichos por la ecuación propuesta por el software.

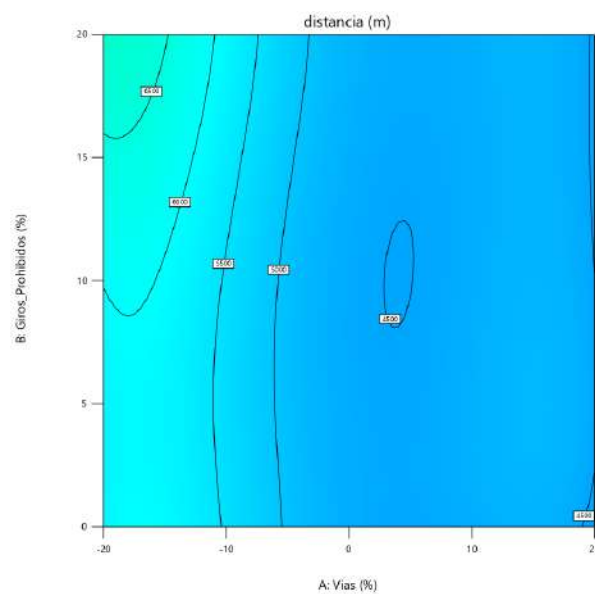


Ilustración 150: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros en 2D para CD2 Segovia



7.2.2.3 Regresión factorial general: Número giros (%) vs. VÍAS (%); VELOCIDAD (Km/h);
GIROS PROHIBIDOS (%)

Para este caso, el modelo sugerido como se puede ver a continuación, es un modelo cuartico,

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.1993	0.1654	
	2FI	< 0.0001		0.4212	0.3416	
	Quadratic	< 0.0001		0.5501	0.4922	
	Cubic	< 0.0001		0.6811	0.5986	
	Quartic	< 0.0001		0.7776	0.6298	Suggested
	Fifth	< 0.0001		0.8756	0.4954	Aliased

Tabla 38: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD2 Segovia

La siguiente tabla muestra estadísticas descriptivas con un valor P para cada factor dentro del modelo:

Response 3: No_Giros

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	2.434E+06	2004	1214.66	9.72	< 0.0001	significant
	A-vías	91693.90	1	91693.90	733.98	< 0.0001	
	B-Giros_Prohibidos	300.33	1	300.33	2.40	0.1211	
	C-Ruta_No	5.582E+05	199	2805.16	22.45	< 0.0001	
	AB	121.06	1	121.06	0.9690	0.3250	
	AC	7.045E+05	199	3540.29	28.34	< 0.0001	
	BC	23042.81	199	115.79	0.9269	0.7564	
	A ²	3.187E+05	1	3.187E+05	2551.26	< 0.0001	
	B ²	376.87	1	376.87	3.02	0.0825	
	ABC	11908.92	199	59.84	0.4790	1.0000	
	A ² B	60.54	1	60.54	0.4846	0.4864	
	A ² C	3.294E+05	199	1655.27	13.25	< 0.0001	
	AB ²	189.92	1	189.92	1.52	0.2177	
	B ² C	40630.80	199	204.17	1.63	< 0.0001	
	A ³	48942.71	1	48942.71	391.77	< 0.0001	
	B ³	132.02	1	132.02	1.06	0.3040	
	A ² B ²	0.0494	1	0.0494	0.0004	0.9841	
	A ² BC	19861.44	199	99.81	0.7989	0.9807	
	AB ² C	12233.01	199	61.47	0.4921	1.0000	
	A ³ B	223.24	1	223.24	1.79	0.1814	
	A ³ C	2.525E+05	199	1268.99	10.16	< 0.0001	
	AB ³	32.64	1	32.64	0.2613	0.6093	
	B ³ C	20637.44	199	103.71	0.8301	0.9572	
	A ⁴	136.84	1	136.84	1.10	0.2954	
	B ⁴	255.01	1	255.01	2.04	0.1532	
	Residual	3.742E+05	2995	124.93			
	Cor Total	2.808E+06	4999				

Tabla 39: Estadísticas descriptivas para Número de giros en CD2 Segovia

Según la tabla anterior se tiene que, basándose en el valor de F el modelo si tiene significancia. Además, los valores P inferiores a 0,05 indican cuales de los términos son más representativos dentro del modelo.



	Std. Dev.	11.18	R²	0.8668
	Mean	42.25	Adjusted R²	0.7776
	C.V. %	26.45	Predicted R²	0.6298
			Adeq Precision	16.5369

Tabla 40: verificación del modelo para Numero de Giros en CD2 Segovia

Como verificaciones secundarias de la utilidad del presente modelo, se comprueba que la diferencia entre R² previsto (para este caso 0.87), y el R² ajustado (0.78) sea inferior a 0.2, esto quiere decir que el modelo se ajusta a los datos y se puede utilizar de manera fiable. Además de esto, se comprueba la precisión adecuada (16.54), si esta es mayor a 4 el funcional.

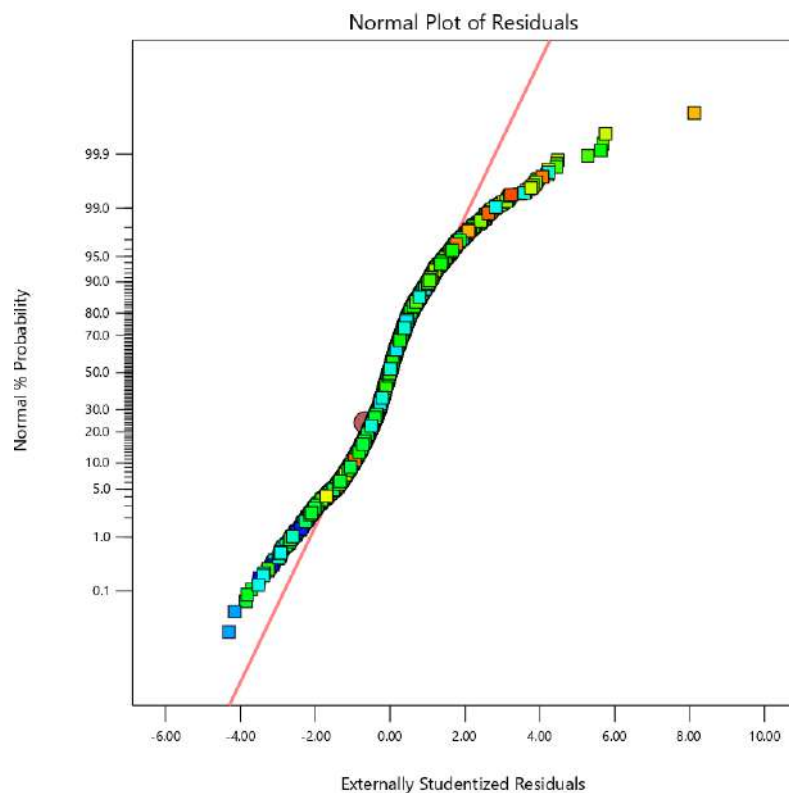


Ilustración 151: Grafica de residuales para Número de giros en CD2 Segovia

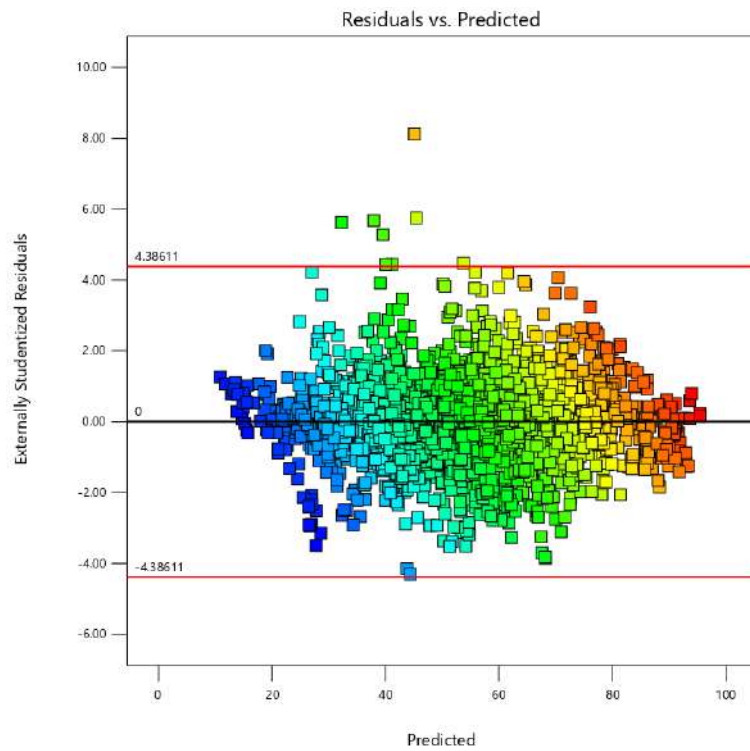


Ilustración 152: Valores residuales Vs. predichos para Numero de Giros en CD2 Segovia

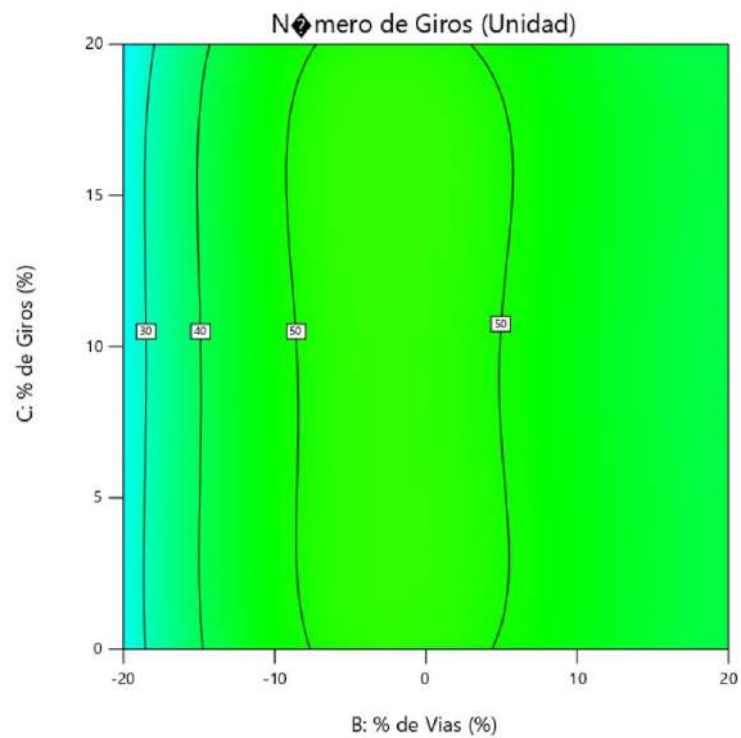


Ilustración 153: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en 2D para Red Vial Segovia



7.2.3 CD3 Cota

7.2.3.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001		0.8449	0.8381	
2FI	< 0.0001		0.8822	0.8748	
Quadratic	< 0.0001		0.8830	0.8759	Suggested
Cubic	0.0023		0.8860	0.8717	Suggested
Quartic	< 0.0001		0.9064	0.8628	Aliased

Ilustración 154: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD3 Cota

Modelos polinómicos recomendados: cubico y cuadrático

Response 1: Tiempo

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1.014E+05	602	168.41	62.90	< 0.0001	significant
A-Ruta No	73294.57	199	368.31	137.57	< 0.0001	
B-% vías	24273.09	1	24273.09	9066.13	< 0.0001	
C-% Giros	0.0445	1	0.0445	0.0166	0.8974	
AB	4911.66	199	24.68	9.22	< 0.0001	
AC	166.36	199	0.8360	0.3123	1.0000	
BC	0.1719	1	0.1719	0.0642	0.8000	
B ²	84.24	1	84.24	31.47	< 0.0001	
C ²	0.0694	1	0.0694	0.0259	0.8721	
Residual	11608.94	4336	2.68			
Cor Total	1.130E+05	4938				

Ilustración 155: Estadísticas descriptivas para tiempo en CD3 Cota

Std. Dev.	1.64	R²		0.8973
Mean	8.33	Adjusted R²		0.8830
C.V. %	19.64	Predicted R²		0.8759
		Adeq Precision		45.5442

Ilustración 156: verificación del modelo para tiempo en CD3 Cota

El modelo es totalmente confiable según sus valores de verificación.

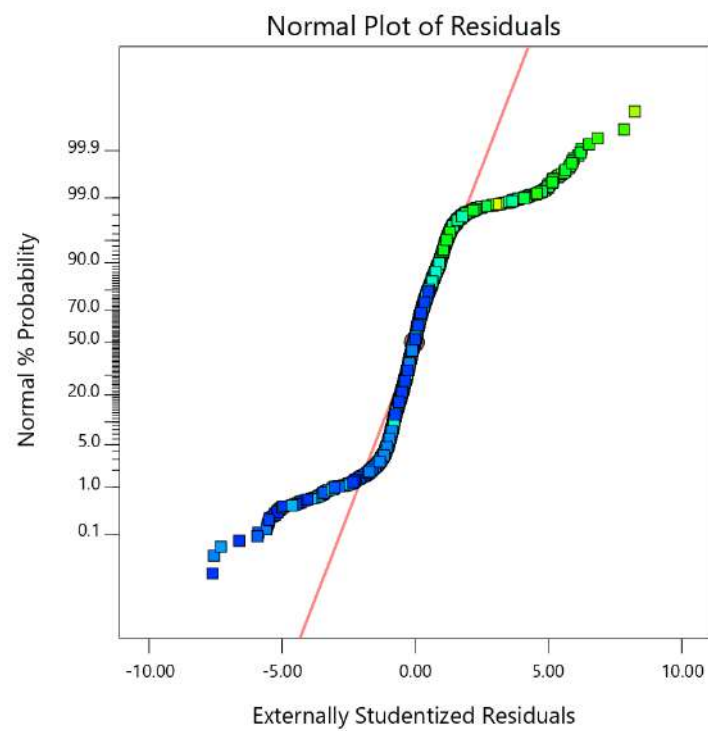


Ilustración 157: Grafica de residuales para tiempo en CD3 Cota

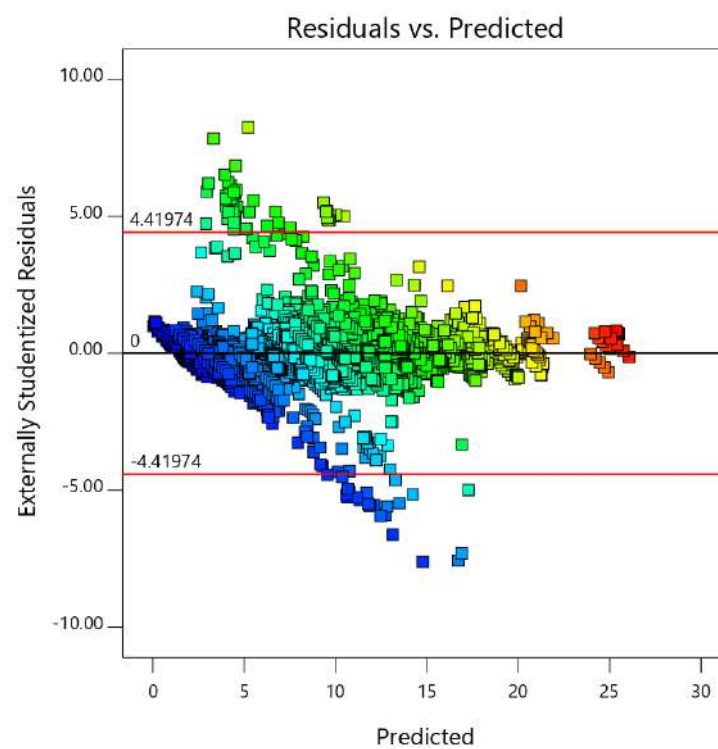


Ilustración 158: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD3 Cota

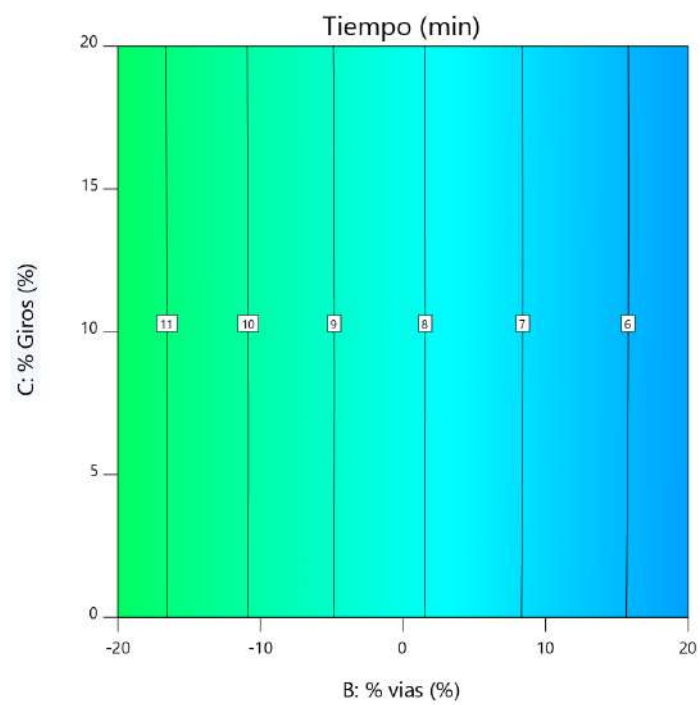


Ilustración 159: Grafica de tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

7.2.3.2 Regresión factorial general: Distancia (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001		0.8715	0.8658	
2FI	< 0.0001		0.8843	0.8770	
Quadratic	< 0.0001		0.8904	0.8842	Suggested
Cubic	< 0.0001		0.8963	0.8838	Suggested
Quartic	0.0049		0.8996	0.8485	Aliased

Ilustración 160: Ajuste de modelos polinómicos para distancia en CD3 Cota

Response 2: Distancia

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	8.087E+10	1203	6.723E+07	36.49	< 0.0001	significant
A-Ruta No	7.517E+10	199	3.777E+08	205.03	< 0.0001	
B-% vias	2.020E+09	1	2.020E+09	1096.32	< 0.0001	
C-% Giros	93104.10	1	93104.10	0.0505	0.8221	
AB	1.740E+09	199	8.745E+06	4.75	< 0.0001	
AC	1.294E+08	199	6.502E+05	0.3529	1.0000	
BC	2.494E+05	1	2.494E+05	0.1354	0.7129	
B ²	4.748E+08	1	4.748E+08	257.72	< 0.0001	
C ²	505.35	1	505.35	0.0003	0.9868	
ABC	1.492E+07	199	74994.33	0.0407	1.0000	
AB ²	1.324E+09	199	6.655E+06	3.61	< 0.0001	
AC ²	1.121E+08	199	5.633E+05	0.3058	1.0000	
B ² C	1.725E+05	1	1.725E+05	0.0936	0.7596	
BC ²	41171.68	1	41171.68	0.0223	0.8812	
B ³	1.068E+08	1	1.068E+08	58.00	< 0.0001	
C ³	1.077E+06	1	1.077E+06	0.5845	0.4446	
Residual	6.881E+09	3735	1.842E+06			
Cor Total	8.775E+10	4938				

Ilustración 161: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD3 Cota

Std. Dev.	1357.30		R²	0.9216
Mean	7623.91		Adjusted R²	0.8963
C.V. %	17.80		Predicted R²	0.8838
			Adeq Precision	34.1810

Ilustración 162: verificación del modelo para Distancia en CD3 Cota

Para este caso los dos valores de verificación muestran un modelo totalmente confiable.

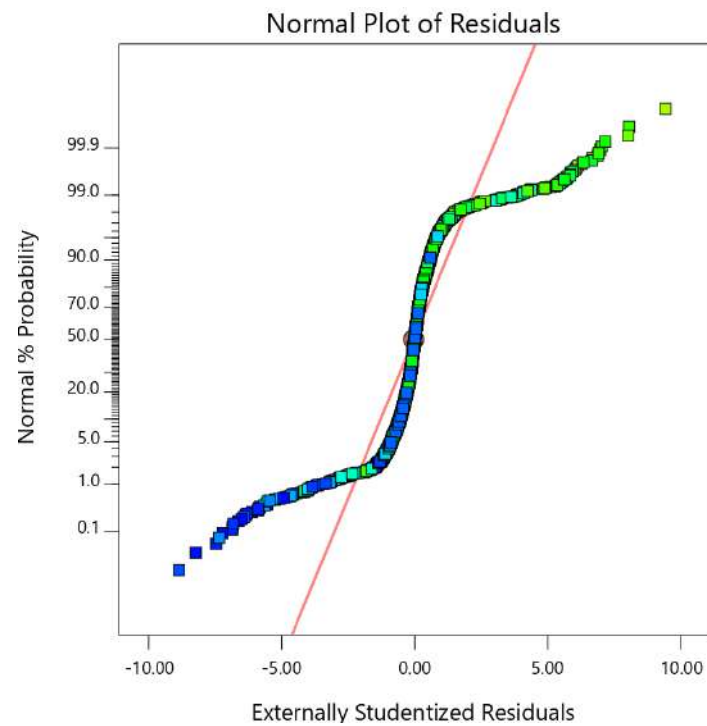


Ilustración 163: Grafica de residuales para Distancia en CD3 Cota

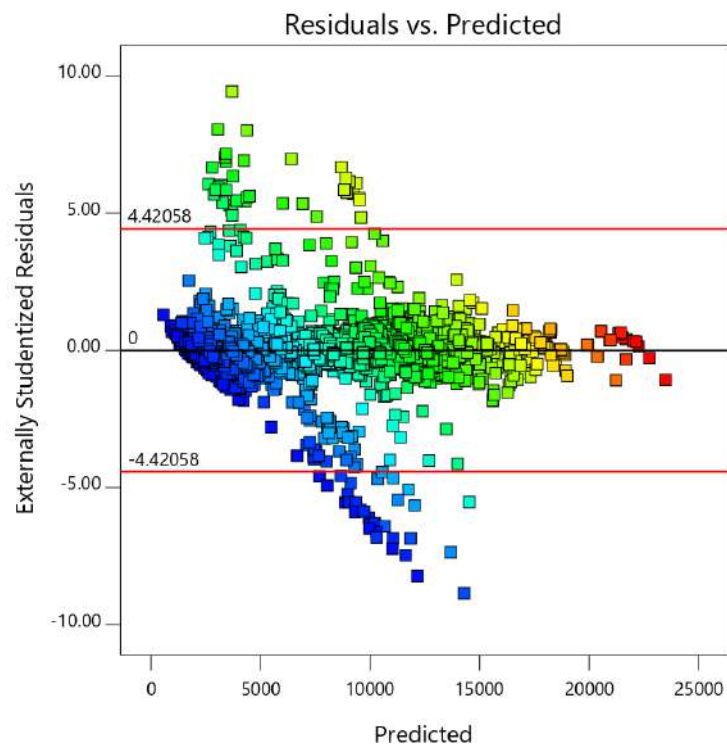


Ilustración 164: valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD3 Cota

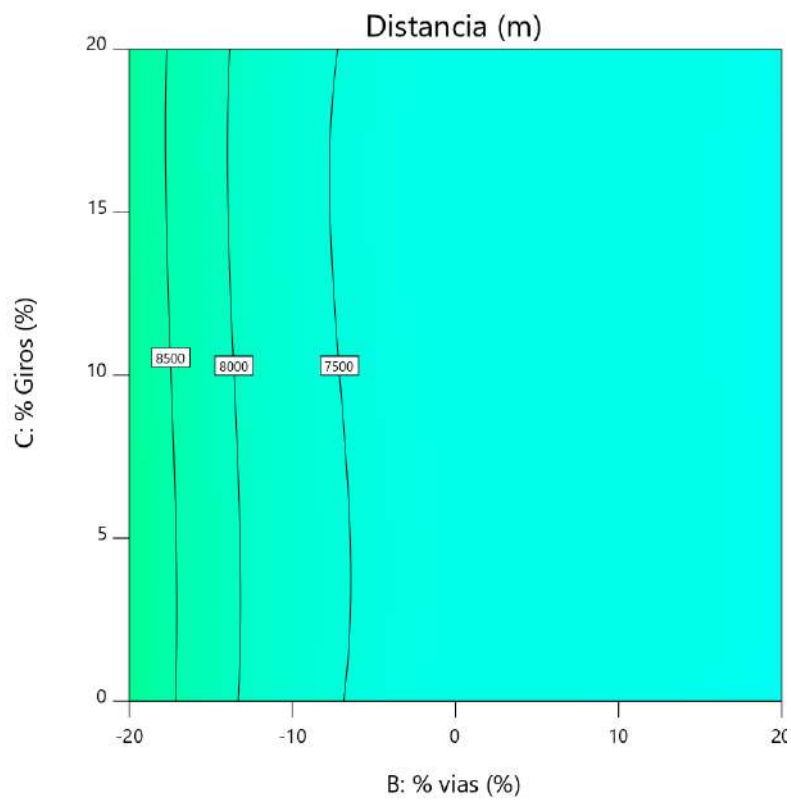


Ilustración 165: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

7.2.3.3 Regresión factorial general: número de giros (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.6379	0.6226	
	2FI	< 0.0001		0.7372	0.7077	
	Quadratic	< 0.0001		0.7609	0.7355	
	Cubic	< 0.0001		0.8228	0.7974	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.8617	0.8115	Aliased

Ilustración 166: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en el grafo CD3 Cota

Response 3: Numero de giros

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	4.917E+05	1203	408.75	20.06	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	3.238E+05	199	1627.14	79.87	< 0.0001	
	B-% vias	47693.49	1	47693.49	2341.01	< 0.0001	
	C-% Giros	0.3239	1	0.3239	0.0159	0.8997	
	AB	64693.96	199	325.10	15.96	< 0.0001	
	AC	1222.17	199	6.14	0.3015	1.0000	
	BC	1.01	1	1.01	0.0497	0.8236	
	B ²	11887.76	1	11887.76	583.51	< 0.0001	
	C ²	1.55	1	1.55	0.0762	0.7825	
	ABC	113.69	199	0.5713	0.0280	1.0000	
	AB ²	38708.03	199	194.51	9.55	< 0.0001	
	AC ²	838.78	199	4.21	0.2069	1.0000	
	B ² C	0.3229	1	0.3229	0.0158	0.8998	
	BC ²	3.00	1	3.00	0.1470	0.7014	
	B ³	3332.91	1	3332.91	163.59	< 0.0001	
	C ³	15.42	1	15.42	0.7570	0.3843	
	Residual	76093.20	3735	20.37			
	Cor Total	5.678E+05	4938				

Ilustración 167: Estadísticas descriptivas para número de giros en el grafo CD3 Cota

	Std. Dev.	4.51	R²	0.8660
	Mean	28.87	Adjusted R²	0.8228
	C.V. %	15.64	Predicted R²	0.7974
			Adeq Precision	28.1763

Ilustración 168: verificación del modelo para número de giros en el grafo CD3 Cota

Para este caso los dos valores de verificación muestran un modelo totalmente confiable.

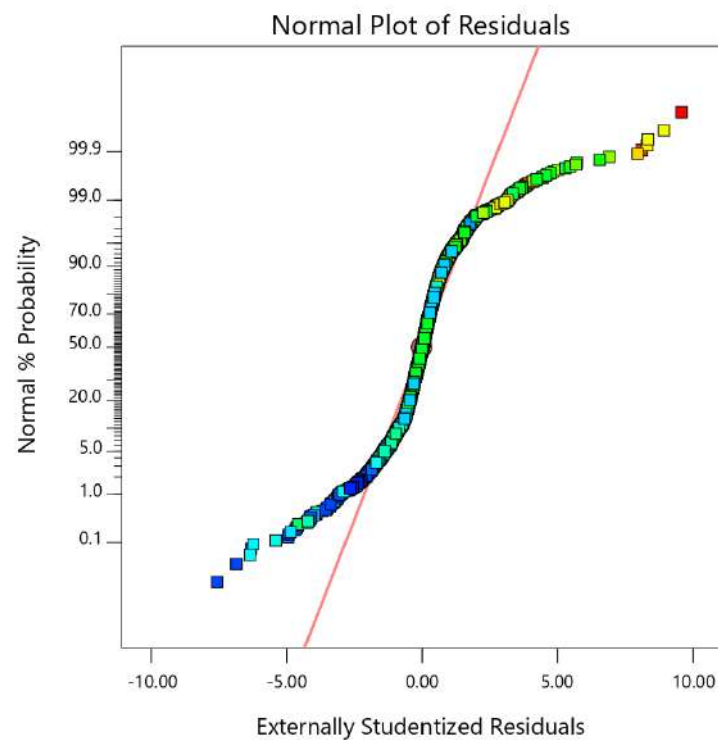


Ilustración 169: Grafica de residuales para número de giros en CD3 Cota

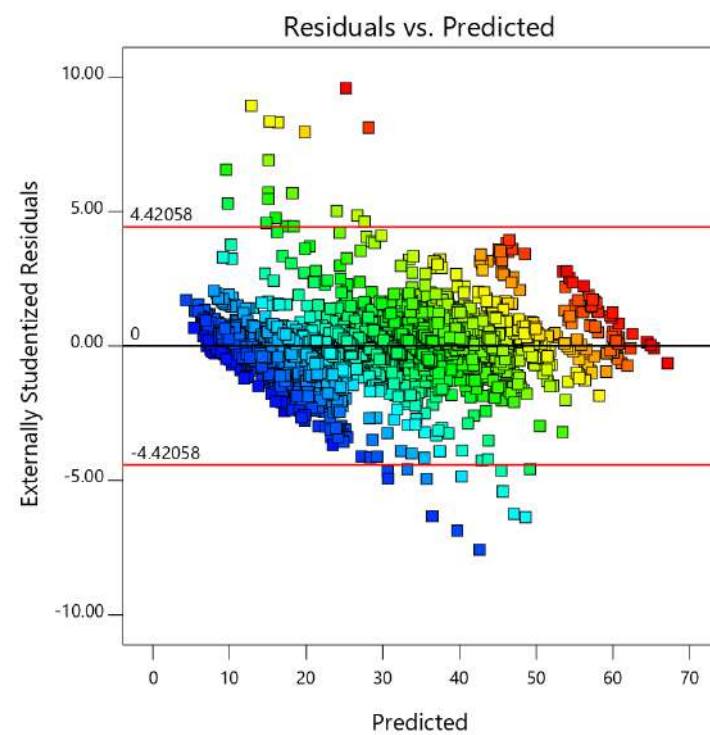


Ilustración 170: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD3 Cota

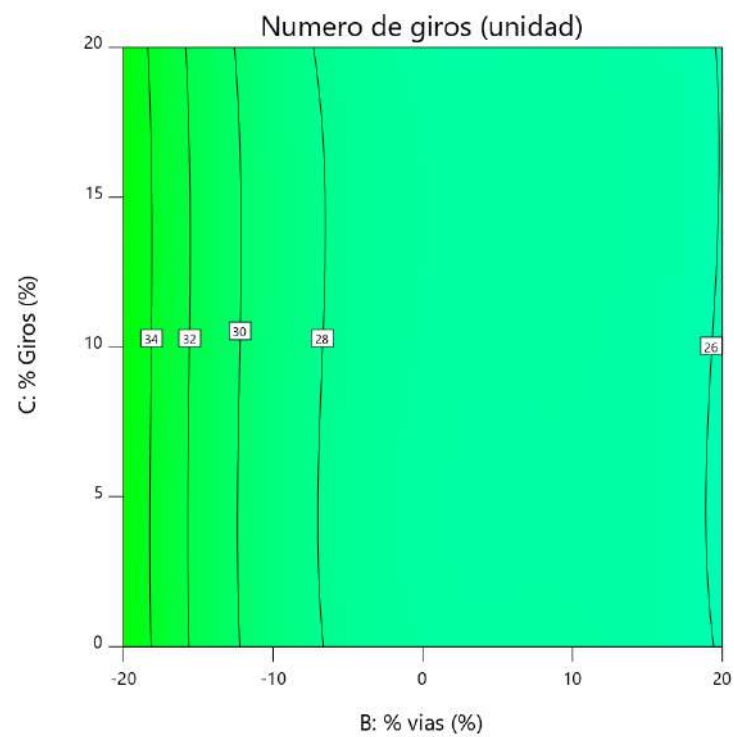


Ilustración 171: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 2D



7.2.4 CD4 Sintéticas 1

7.2.4.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001		0.6787	0.6647	
2FI	< 0.0001		0.7116	0.6673	
Quadratic	< 0.0001		0.8031	0.7783	
Cubic	< 0.0001		0.8942	0.8693	
Quartic	< 0.0001		0.9490	0.9111	Suggested
Fifth	< 0.0001		0.9709		Aliased

Tabla 41: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD4 Sintéticas 1

Para este caso el software recomienda un modelo cuartico.

Response 1: Tiempo

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	9050.70	1203	7.52	34.95	< 0.0001	significant
A-Ruta_No	3485.06	199	17.51	81.36	< 0.0001	
B-%Vías	3159.33	1	3159.33	14677.52	< 0.0001	
C-%Giros	43.79	1	43.79	203.44	< 0.0001	
AB	494.67	199	2.49	11.55	< 0.0001	
AC	22.51	199	0.1131	0.5256	1.0000	
BC	21.28	1	21.28	98.88	< 0.0001	
B ²	775.15	1	775.15	3601.15	< 0.0001	
C ²	10.45	1	10.45	48.57	< 0.0001	
ABC	18.40	199	0.0925	0.4295	1.0000	
AB ²	229.19	199	1.15	5.35	< 0.0001	
AC ²	10.60	199	0.0533	0.2475	1.0000	
B ² C	0.1516	1	0.1516	0.7044	0.4014	
BC ²	12.79	1	12.79	59.44	< 0.0001	
B ³	616.06	1	616.06	2862.06	< 0.0001	
C ³	0.0298	1	0.0298	0.1383	0.7100	
Residual	781.57	3631	0.2152			
Cor Total	9832.27	4834				

Tabla 42: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD4 Sintéticas 1

Std. Dev.	0.4639		R²	0.9205
Mean	3.84		Adjusted R²	0.8942
C.V. %	12.08		Predicted R²	0.8693
			Adeq Precision	36.8387

Tabla 43: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1

Este modelo resulta completamente confiable y lo demuestra a través los valores de verificación, una precisión adecuada mayor a 4 y la diferencia entre R² mayor a 0.2.

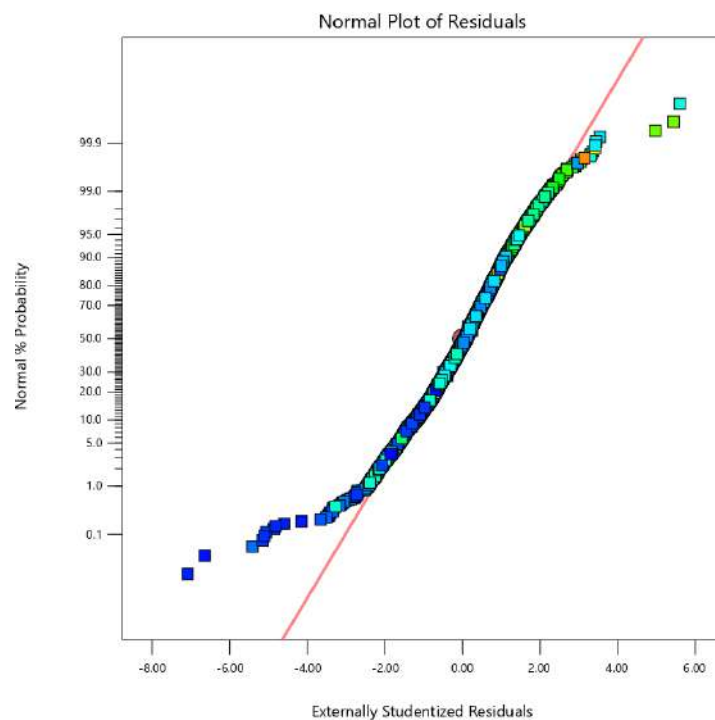


Ilustración 172: grafica de residuales para tiempo en CD4 Sintéticas 1

En el diagrama presentado a continuación se pueden ver los valores residuales VS: los valores de respuesta pronosticados, se muestra una dispersión aleatoria de datos donde se identifican los valores que no cumplen con supuesto de varianza constante

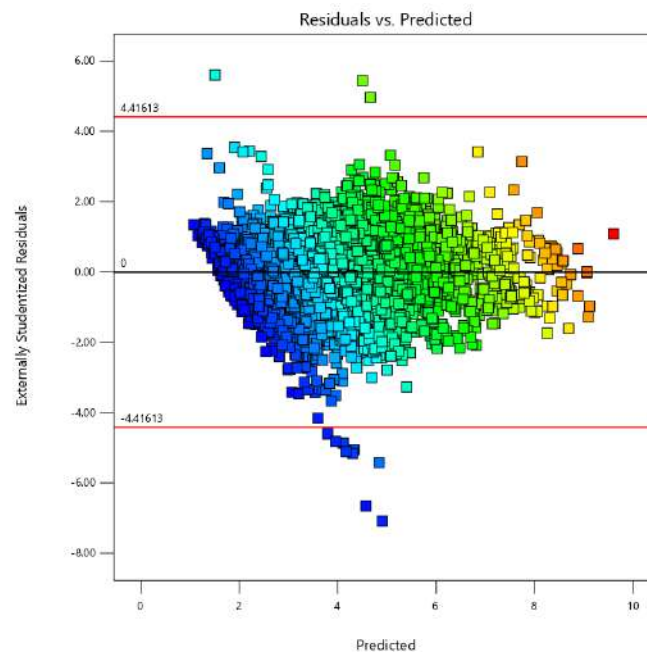


Ilustración 173: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD4 Sintéticas 1

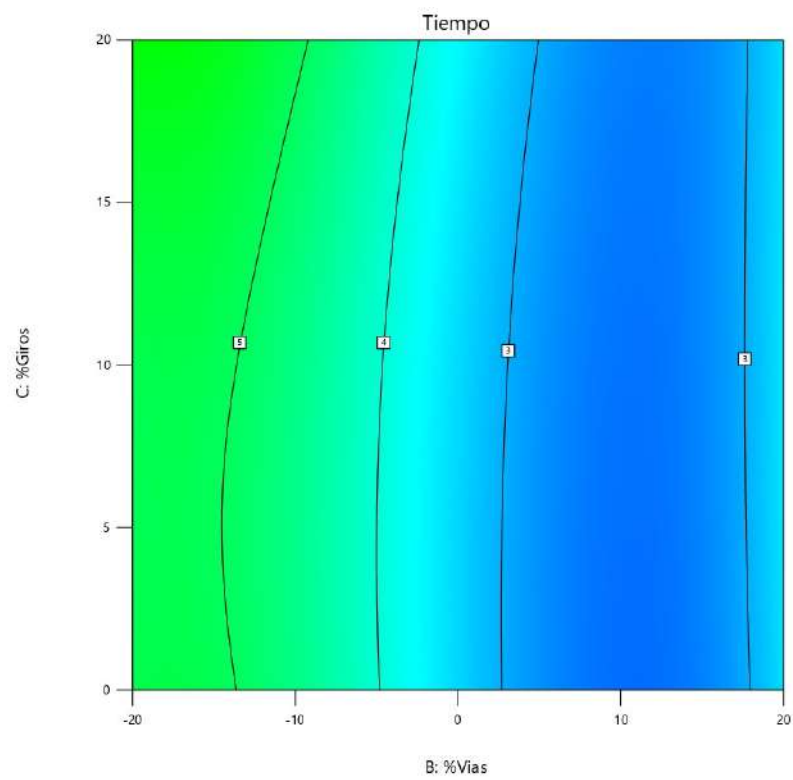


Ilustración 174: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D



7.2.4.2 Regresión factorial general: Distancia (m) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.7758	0.7662	
	2FI	< 0.0001		0.8456	0.8251	
	Quadratic	< 0.0001		0.8741	0.8592	
	Cubic	< 0.0001		0.8982	0.8783	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.9160	0.8635	Suggested
	Fifth	< 0.0001		0.9265		Aliased

Tabla 44: Ajuste de modelos polinómicos para Distancia en CD4 Sintéticas 1

Para la solución de distancia, el software recomienda un modelo polinómico cuartico o cubico, e selecciono el modelo cubico de la misma manera que lo hizo con el modelo de distancia.

Response 2: Distancia

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	3.301E+09	1203	2.744E+06	36.44	< 0.0001	significant
	A-Ruta_No	2.146E+09	199	1.079E+07	143.23	< 0.0001	
	B-%Vías	6.219E+08	1	6.219E+08	8258.99	< 0.0001	
	C-%Giros	1.028E+07	1	1.028E+07	136.51	< 0.0001	
	AB	2.663E+08	199	1.338E+06	17.77	< 0.0001	
	AC	1.395E+07	199	70096.36	0.9309	0.7444	
	BC	5.842E+06	1	5.842E+06	77.58	< 0.0001	
	B ²	8.563E+07	1	8.563E+07	1137.17	< 0.0001	
	C ²	3.094E+06	1	3.094E+06	41.09	< 0.0001	
	ABC	9.797E+06	199	49230.28	0.6538	0.9999	
	AB ²	9.855E+07	199	4.952E+05	6.58	< 0.0001	
	AC ²	6.937E+06	199	34860.77	0.4630	1.0000	
	B ² C	2108.73	1	2108.73	0.0280	0.8671	
	BC ²	2.640E+06	1	2.640E+06	35.06	< 0.0001	
	B ³	9.089E+05	1	9.089E+05	12.07	0.0005	
	C ³	1.683E+05	1	1.683E+05	2.24	0.1349	
	Residual	2.734E+08	3631	75299.13			
	Cor Total	3.574E+09	4834				

Tabla 45: estadísticas descriptivas para Distancia en CD4 Sintéticas 1

	Std. Dev.	274.41	R²	0.9235
	Mean	3076.55	Adjusted R²	0.8982
	C.V. %	8.92	Predicted R²	0.8783
			Adeq Precision	37.5994

Tabla 46: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1

La diferencia entre R² ajustado y R² predicho es menor a 0.2, además la precisión adecuada tiene un valor alto, por esto se puede catalogar este modelo como funcional y confiable.

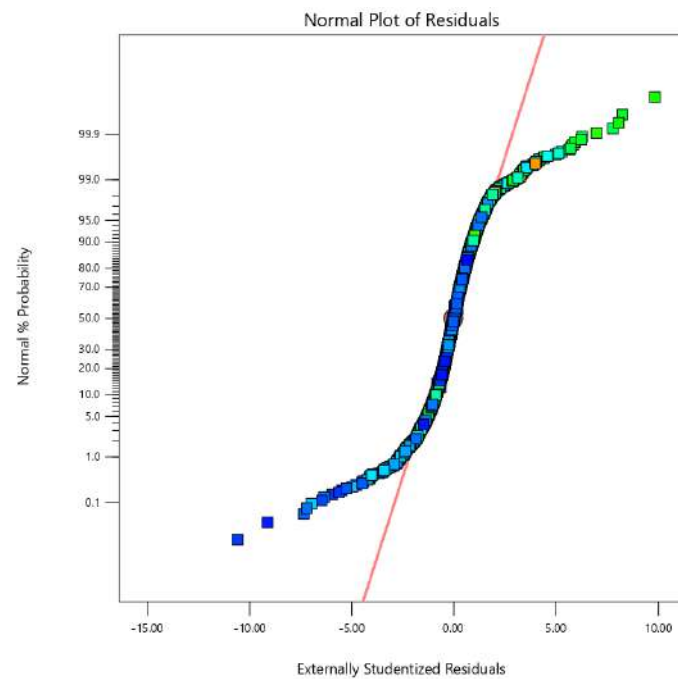


Ilustración 175: Grafica de residuales para Distancia en CD4 Sintéticas 1

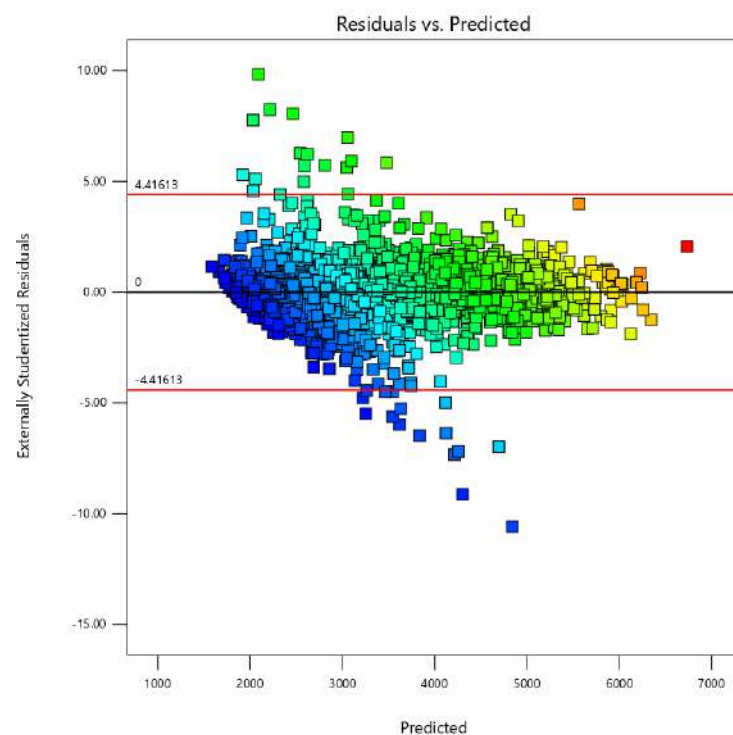


Ilustración 176: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD4 Sintéticas 1

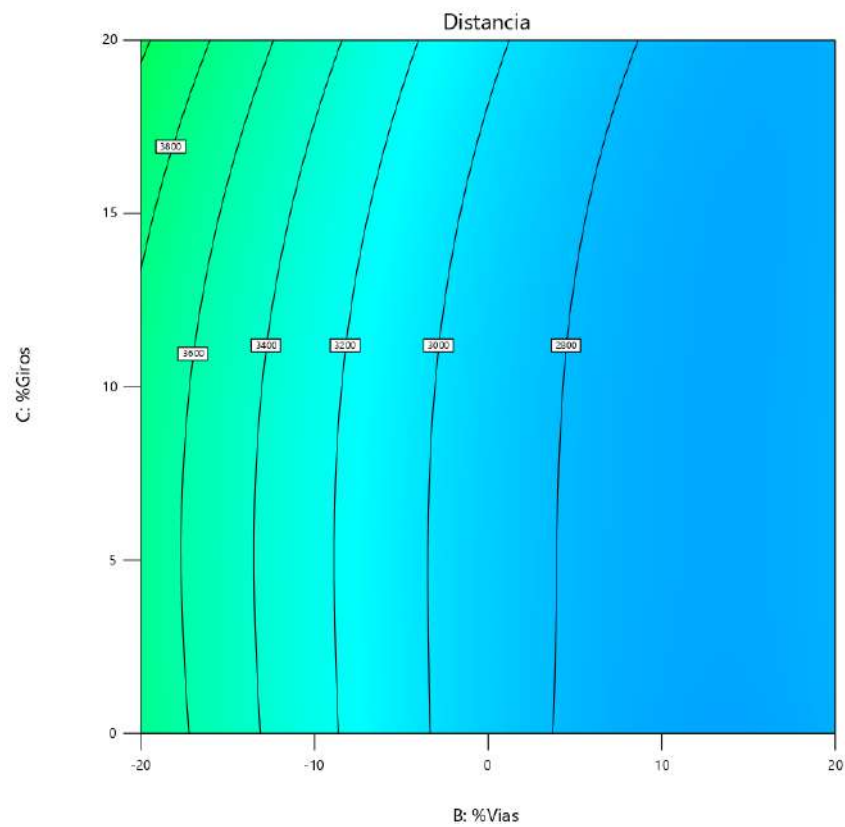


Ilustración 177: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D



7.2.4.3 Regresión factorial general: Número de giros vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.6107	0.5940	
	2FI	< 0.0001		0.6901	0.6445	
	Quadratic	< 0.0001		0.7090	0.6685	Suggested
	Cubic	< 0.0001		0.7461	0.6619	
	Quartic	< 0.0001		0.8156	0.6532	Suggested
	Fifth	< 0.0001		0.8901		Aliased

Tabla 47: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD4 Sintéticas 1

Los modelos recomendados para este caso son el cuártico, y el cuadrático.

Response 3: No_Giros

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	98433.53	602	163.51	20.56	< 0.0001	significant
	A-Ruta_No	60810.86	199	305.58	38.43	< 0.0001	
	B-%Vías	20352.09	1	20352.09	2559.23	< 0.0001	
	C-%Giros	4.15	1	4.15	0.5220	0.4700	
	AB	12072.09	199	60.66	7.63	< 0.0001	
	AC	1245.69	199	6.26	0.7871	0.9868	
	BC	85.74	1	85.74	10.78	0.0010	
	B ²	2200.72	1	2200.72	276.74	< 0.0001	
	C ²	0.0535	1	0.0535	0.0067	0.9346	
	Residual	33654.72	4232	7.95			
	Cor Total	1.321E+05	4834				

Tabla 48: Estadísticas descriptivas para Número de giros en CD4 Sintéticas 1

	Std. Dev.	2.82	R²	0.7452
	Mean	13.47	Adjusted R²	0.7090
	C.V. %	20.94	Predicted R²	0.6685
			Adeq Precision	26.8303

Tabla 49: verificación del modelo para Tiempo en CD4 Sintéticas 1

Los resultados tanto de la diferencia de los R², como de la precisión adecuada nuevamente muestran que el modelo es confiable.

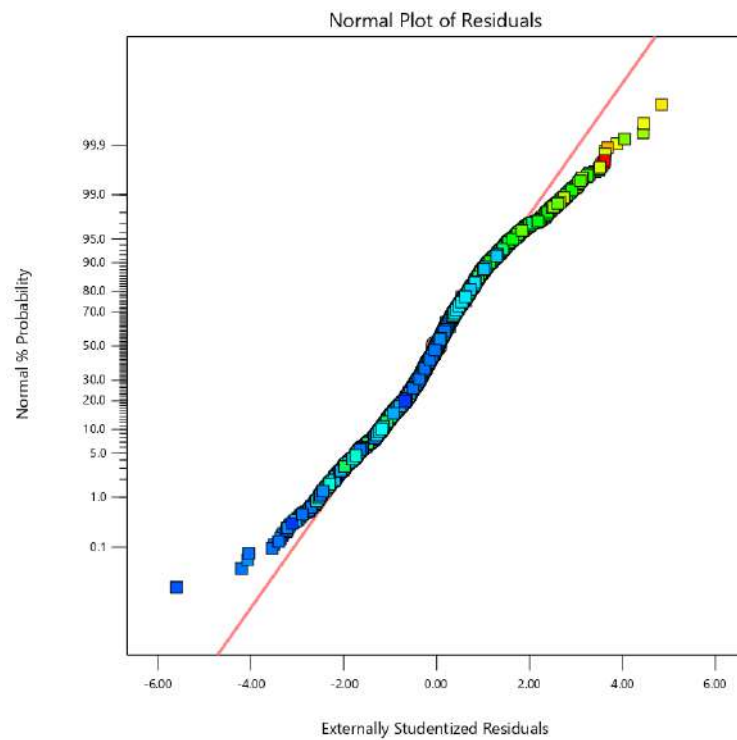


Ilustración 178: Grafica de residuales para Número de giros en CD4 Sintéticas 1

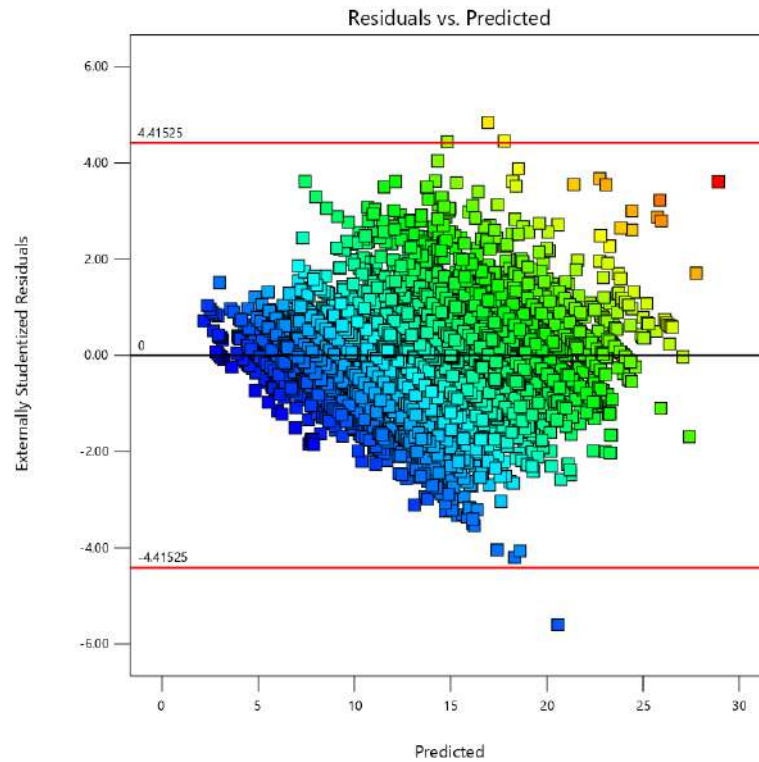


Ilustración 179: Valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD4 Sintéticas 1

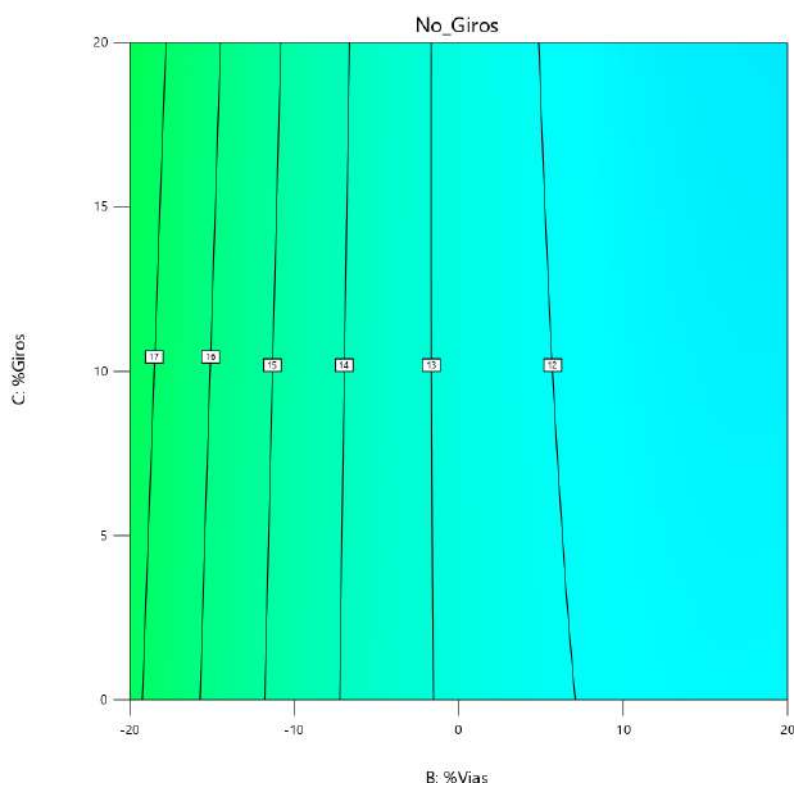


Ilustración 180: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 Sintéticas 1 en 2D



7.2.5 CD5 Sintéticas 2

7.2.5.1 Regresión factorial general: Tiempo (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.8188	0.8103	
	2FI	< 0.0001		0.8858	0.8640	
	Quadratic	< 0.0001		0.9327	0.9191	
	Cubic	< 0.0001		0.9644	0.9435	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.9822	0.9529	Aliased

Ilustración 181: Ajuste de modelos polinómicos para tiempo en CD5 Sintéticas 2

El modelo cubico es el recomendado por el software.

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	54065.87	1203	44.94	104.79	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	37352.52	199	187.70	437.67	< 0.0001	
	B-% Vías	7760.49	1	7760.49	18095.39	< 0.0001	
	C-% Giros prohibidos	15.99	1	15.99	37.29	< 0.0001	
	AB	3936.55	199	19.78	46.13	< 0.0001	
	AC	98.22	199	0.4935	1.15	0.0777	
	BC	26.86	1	26.86	62.63	< 0.0001	
	B ²	2216.39	1	2216.39	5168.03	< 0.0001	
	C ²	2.10	1	2.10	4.90	0.0270	
	ABC	178.05	199	0.8947	2.09	< 0.0001	
	AB ²	1501.44	199	7.54	17.59	< 0.0001	
	AC ²	79.98	199	0.4019	0.9372	0.7232	
	B ² C	15.59	1	15.59	36.36	< 0.0001	
	BC ²	4.20	1	4.20	9.78	0.0018	
	B ³	0.0002	1	0.0002	0.0005	0.9827	
	C ³	0.9605	1	0.9605	2.24	0.1346	
	Residual	1460.29	3405	0.4289			
	Cor Total	55526.16	4608				

Ilustración 182: Estadísticas descriptivas para Tiempo en CD5 Sintéticas 2

	Std. Dev.	0.6549	R²	0.9737
	Mean	7.51	Adjusted R²	0.9644
	C.V. %	8.72	Predicted R²	0.9435
			Adeq Precision	62.4786

Ilustración 183: verificación del modelo para Tiempo en CD5 Sintéticas 1

Los valores de verificación están dentro de los parámetros preestablecidos de calidad.

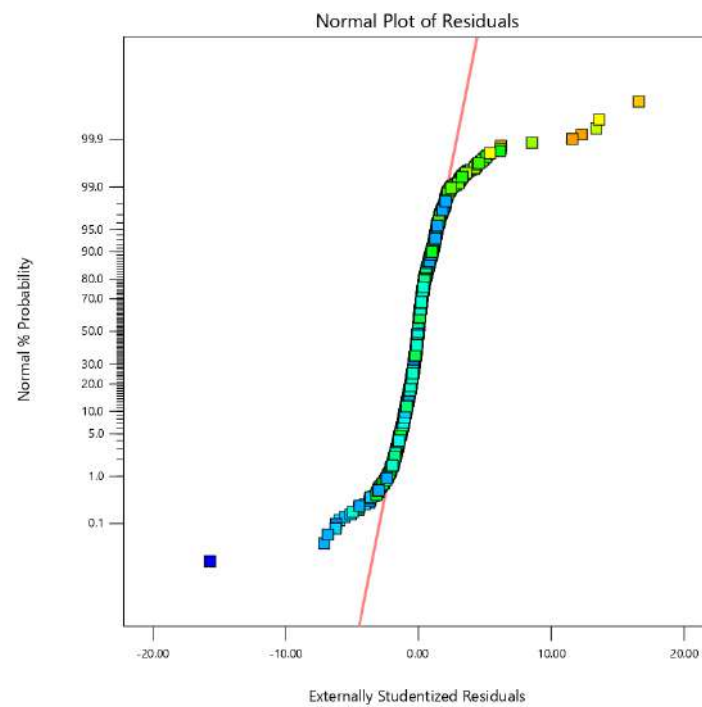


Ilustración 184: Grafica de residuales para tiempo en CD5 Sintéticas 2

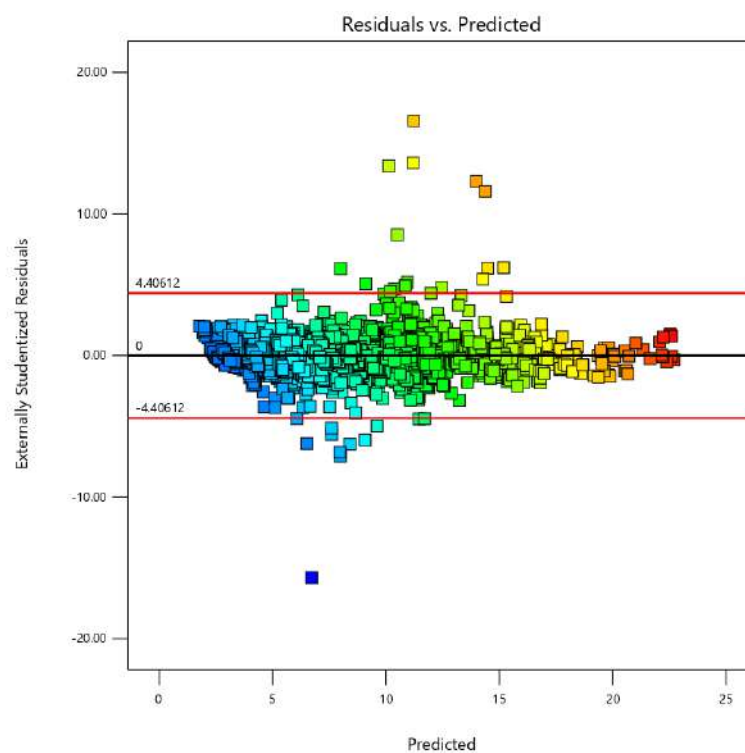


Ilustración 185: valores residuales Vs. predichos para Tiempo en CD5 Sintéticas 2



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos

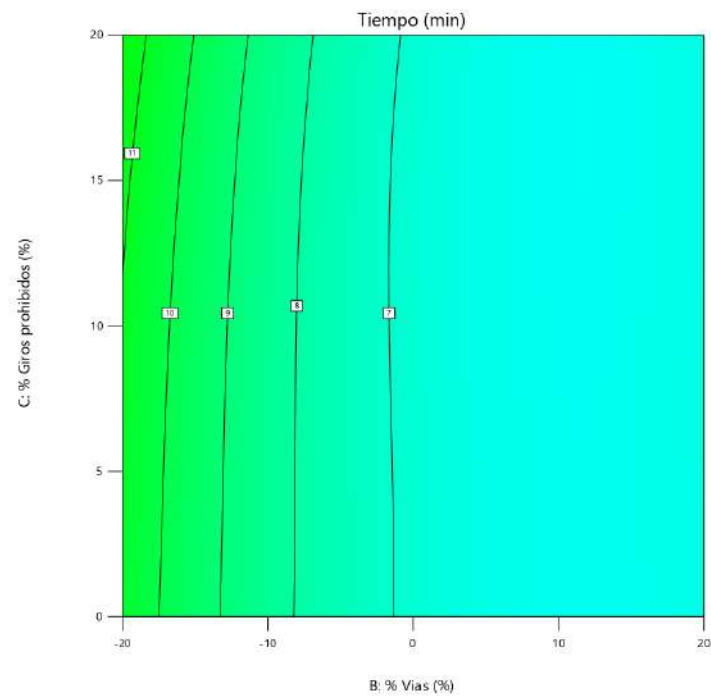


Ilustración 186: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 2D



7.2.5.2 Regresión factorial general: Distancia (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.8754	0.8696	
	2FI	< 0.0001		0.9223	0.9060	
	Quadratic	< 0.0001		0.9505	0.9395	
	Cubic	< 0.0001		0.9725	0.9533	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.9845	0.9557	Aliased

Ilustración 187: Ajuste de modelos polinómicos para distancia en CD5 Sintéticas 2

Response 2: Distancia

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	3.391E+10	1203	2.819E+07	136.53	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	2.667E+10	199	1.340E+08	649.00	< 0.0001	
	B-% Vías	3.232E+09	1	3.232E+09	15651.74	< 0.0001	
	C-% Giros prohibidos	9.804E+06	1	9.804E+06	47.48	< 0.0001	
	AB	1.687E+09	199	8.478E+06	41.06	< 0.0001	
	AC	6.251E+07	199	3.141E+05	1.52	< 0.0001	
	BC	1.548E+07	1	1.548E+07	74.95	< 0.0001	
	B ²	8.298E+08	1	8.298E+08	4019.01	< 0.0001	
	C ²	1.569E+06	1	1.569E+06	7.60	0.0059	
	ABC	1.111E+08	199	5.584E+05	2.70	< 0.0001	
	AB ²	6.096E+08	199	3.063E+06	14.84	< 0.0001	
	AC ²	4.731E+07	199	2.378E+05	1.15	0.0767	
	B ² C	9.838E+06	1	9.838E+06	47.65	< 0.0001	
	BC ²	3.722E+06	1	3.722E+06	18.03	< 0.0001	
	B ³	3.647E+06	1	3.647E+06	17.66	< 0.0001	
	C ³	7.668E+05	1	7.668E+05	3.71	0.0540	
	Residual	7.030E+08	3405	2.065E+05			
	Cor Total	3.462E+10	4608				

Ilustración 188: Estadísticas descriptivas para Distancia en CD5 Sintéticas 2

	Std. Dev.	454.39	R²	0.9797
	Mean	5807.63	Adjusted R²	0.9725
	C.V. %	7.82	Predicted R²	0.9533
			Adeq Precision	66.0229

Ilustración 189: verificación del modelo para Distancia en CD5 Sintéticas 1

Los valores de comprobación indican una alta efectividad del modelo utilizado.

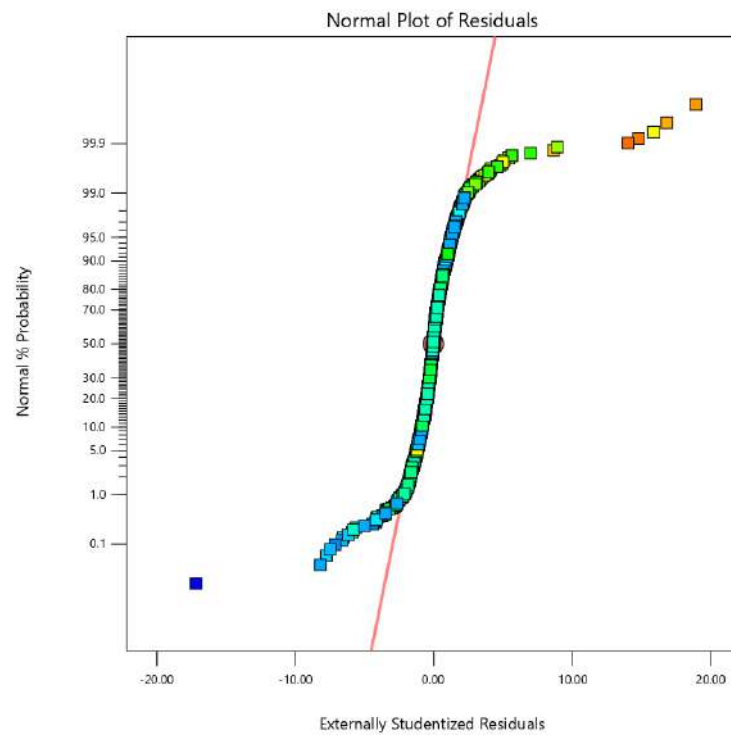


Ilustración 190: Grafica de residuales para Distancia en CD5 Sintéticas 2

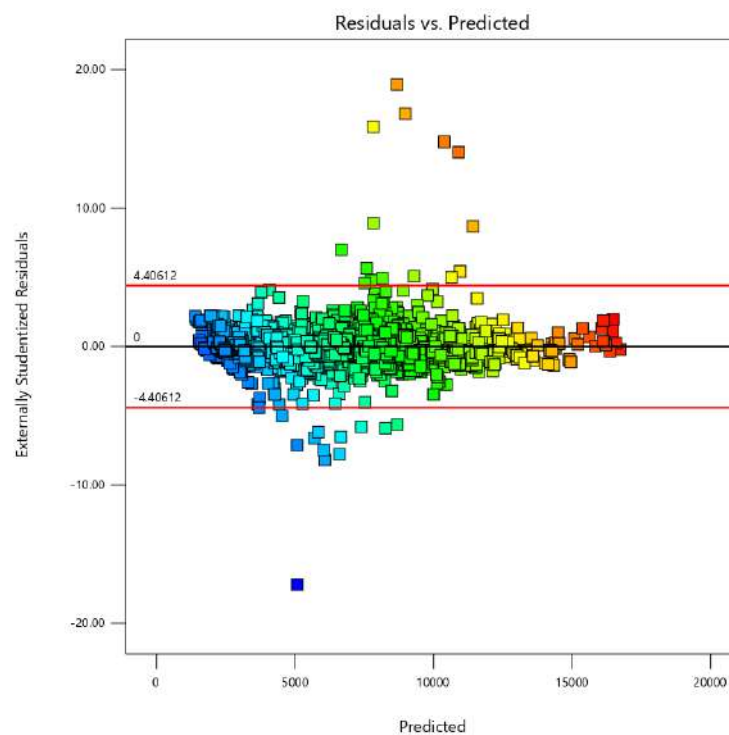


Ilustración 191: valores residuales Vs. predichos para Distancia en CD5 Sintéticas 2

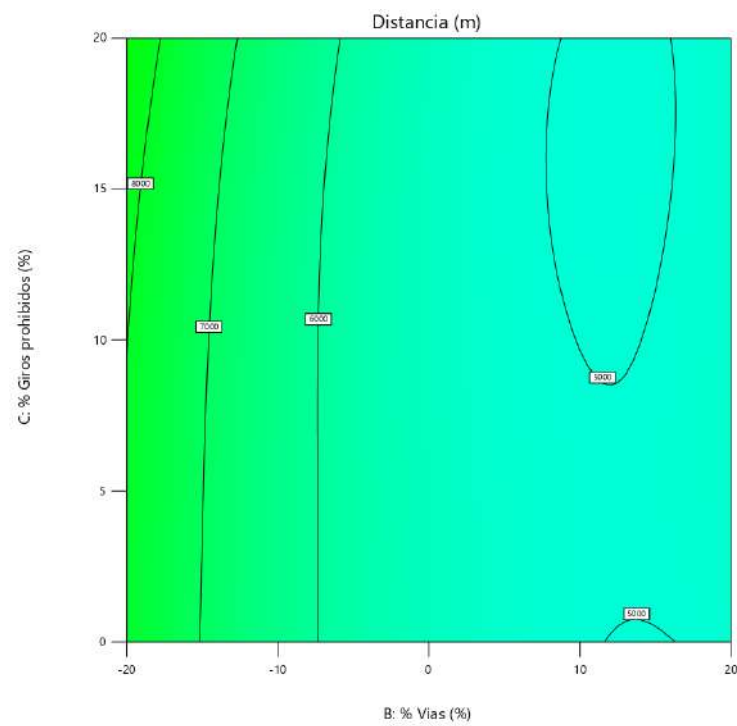


Ilustración 192: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 2D



7.2.5.3 Regresión factorial general: Número de giros (Min) vs. VÍAS (%); GIROS PROHIBIDOS (%)

	Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
	Linear	< 0.0001		0.6726	0.6566	
	2FI	< 0.0001		0.8054	0.7756	
	Quadratic	< 0.0001		0.8244	0.7981	
	Cubic	< 0.0001		0.8649	0.8152	Suggested
	Quartic	< 0.0001		0.8998	0.8050	Aliased

Ilustración 193: Ajuste de modelos polinómicos para número de giros en CD5 Sintéticas 2

Modelo polinómico recomendado: cúbico

Response 3: Numero de giros

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	1.043E+06	1203	866.93	25.53	< 0.0001	significant
	A-Ruta No	7.611E+05	199	3824.53	112.61	< 0.0001	
	B-% Vías	68164.69	1	68164.69	2007.06	< 0.0001	
	C-% Giros prohibidos	105.26	1	105.26	3.10	0.0784	
	AB	1.629E+05	199	818.62	24.10	< 0.0001	
	AC	5697.14	199	28.63	0.8430	0.9434	
	BC	139.31	1	139.31	4.10	0.0429	
	B ²	18876.47	1	18876.47	555.80	< 0.0001	
	C ²	67.78	1	67.78	2.00	0.1578	
	ABC	5666.33	199	28.47	0.8384	0.9489	
	AB ²	53572.01	199	269.21	7.93	< 0.0001	
	AC ²	2024.23	199	10.17	0.2995	1.0000	
	B ² C	2.94	1	2.94	0.0864	0.7688	
	BC ²	33.28	1	33.28	0.9799	0.3223	
	B ³	340.18	1	340.18	10.02	0.0016	
	C ³	32.79	1	32.79	0.9656	0.3259	
	Residual	1.156E+05	3405	33.96			
	Cor Total	1.159E+06	4608				

Ilustración 194: Estadísticas descriptivas para número de giros en CD5 Sintéticas 2

	Std. Dev.	5.83	R²	0.9002
	Mean	22.77	Adjusted R²	0.8649
	C.V. %	25.60	Predicted R²	0.8152
			Adeq Precision	26.9919

Ilustración 195: verificación del modelo para número de giros en CD5 Sintéticas 2

El modelo es totalmente confiable según sus valores de verificación.

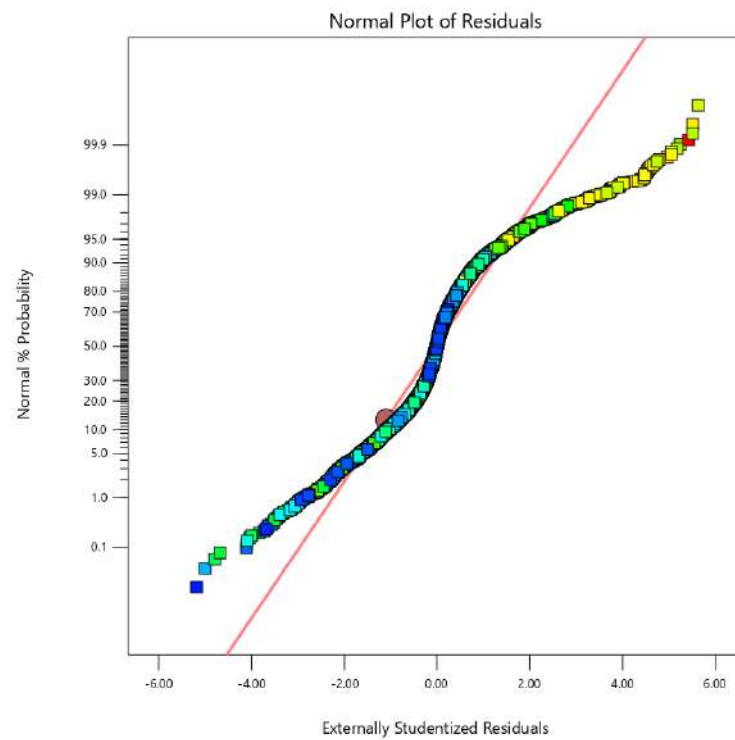


Ilustración 196: Grafica de residuales para número de giros en CD5 Sintéticas 2

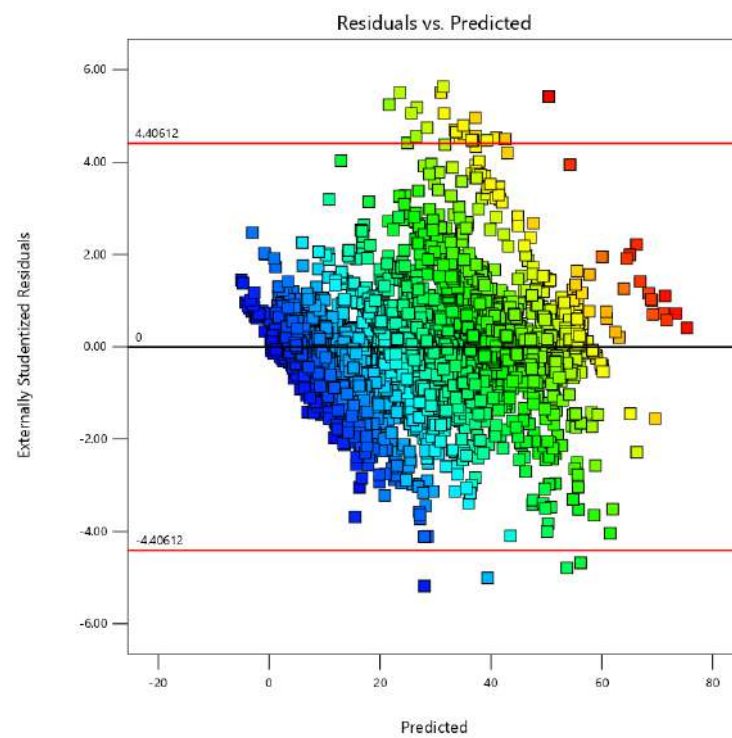


Ilustración 197: valores residuales Vs. predichos para número de giros en CD5 Sintéticas 2

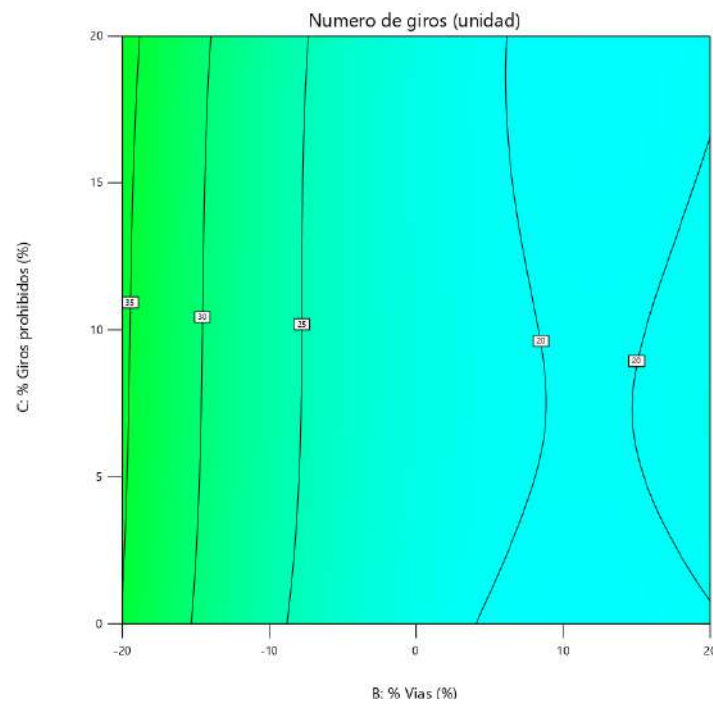


Ilustración 198: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en

2D



8. ANALISIS

8.1 ANÁLISIS DEL EJERCICIO 1

Para el análisis de los datos se utilizaron las gráficas factoriales obtenidas para cada conjunto de datos por medio de Minitab, por un lado la gráfica de efectos principales muestra la manera en que intervienen los tres factores con sus cinco niveles en los valores de respuesta; tiempo distancia y número de giros, la segunda gráfica denominada gráfica de interacción para muestra cómo se comporta cada respuesta con los términos en los que interviene más de un factor por lo que se puede observar la diferencia entre por ejemplo si se utilizara un análisis simplemente con restricciones de giros, o si se usan las restricciones en compañía de una velocidad manipulada y que cambios entre estos dos casos pueda haber.



8.1.1 Análisis CD1 Teruel

8.1.1.1 Tiempo:

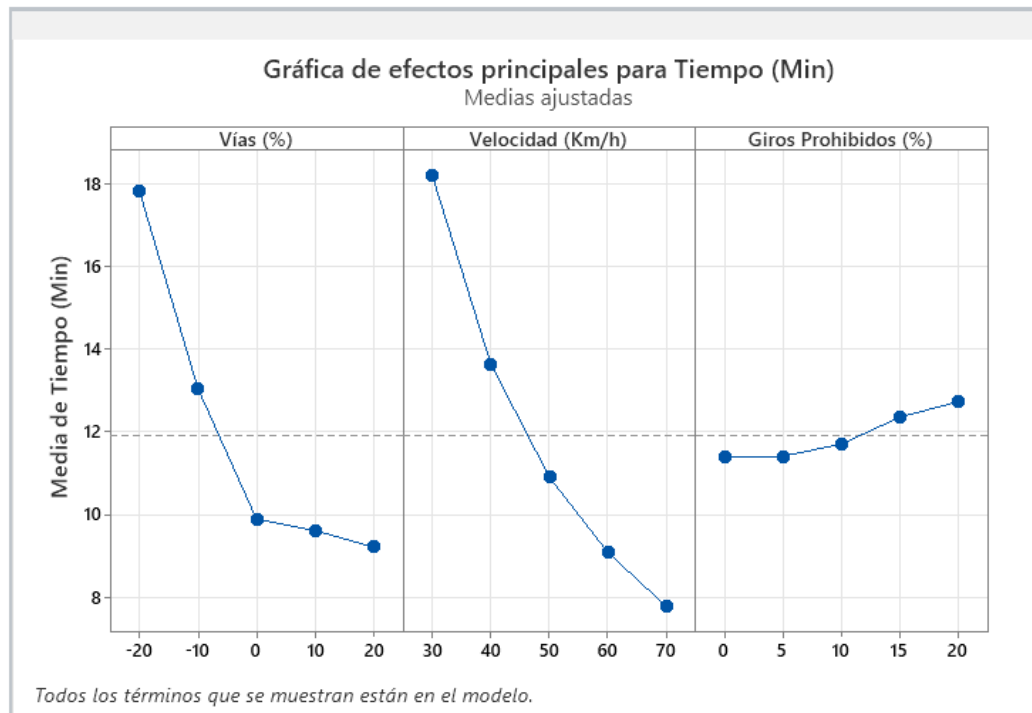


Ilustración 199: grafica de efectos principales para la variable de tiempo en CD1 Teruel

Aquí se pueden ver de manera fácil los efectos principales que tienen todos los factores sobre la respuesta tiempo.

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%): Se puede decir que el tiempo disminuye a medida que aumenta el porcentaje de vías, la diferencia entre los tiempos es más alta en los niveles bajos y hace más pequeña a medida que estos últimos aumentan.

Media de Tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h): Lo que se espera es que este diagrama sea el mismo para todos los experimentos, a pesar de no ser lineal el tiempo disminuye a medida que aumenta la velocidad.

Media de Tiempo (Min) vs. Giros Prohibidos (%): El cambio de esta grafica es más suave en donde el tiempo de recorrido aumenta de manera proporcional con el aumento de giros prohibidos, no se evidencian datos o medias atípicas por lo que la aleatoriedad de la posición de estas últimas restricciones no es considerablemente significativa.

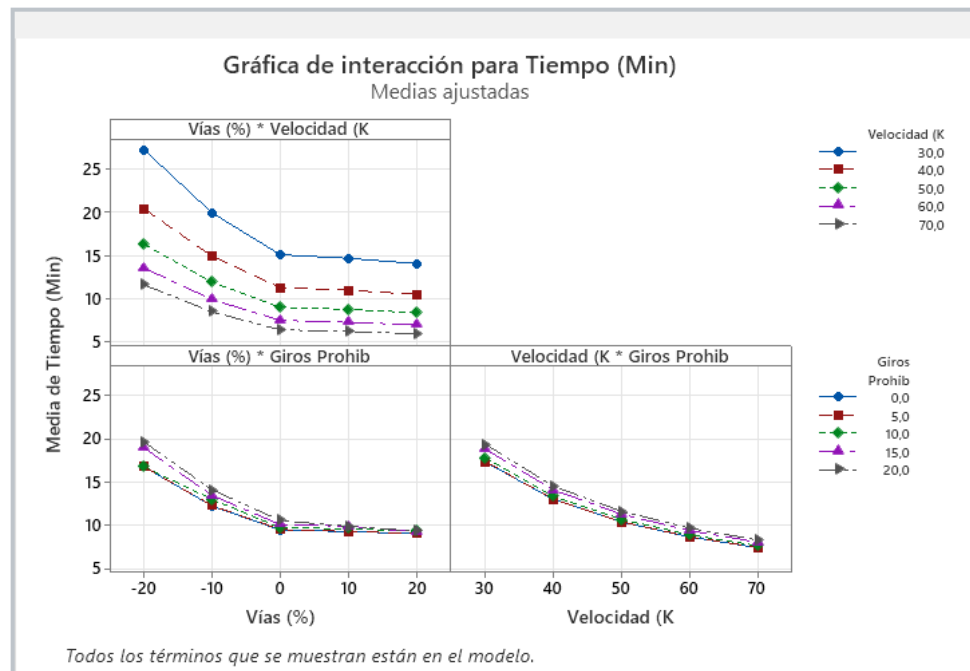


Ilustración 200: grafica de interacción para la variable de tiempo en CD1 Teruel

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Velocidad (km/h): La influencia de la velocidad si se ve, pero afecta de manera sencilla los resultados, simplemente hace que cada uno de los niveles tenga un tiempo menor que el anterior, por otro lado el factor referente del porcentaje de vías tiene una afectación más grande haciendo que el tiempo, aunque siempre disminuye no lo haga de manera constante, disminuyó de manera más pronunciada en los primero niveles y de manera menguada en los niveles más altos.

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Esta es la gráfica que más expone aparentemente hasta donde hay mejoras en la calidad del enrutamiento de la malla vial, y se ve que en los últimos tres niveles el tiempo en lugar de descender tiende a ser constante.

Media de Tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h) * Giros Prohibidos (%): Como siempre se ve la afectación que genera el factor de velocidad claramente, haciendo que todas las líneas que grafican los niveles de los giros prohibidos se comporten igual, solo con un poco de tiempo de diferencia, siendo este menor cuando aumentan el porcentaje de vías, el comportamiento que genera el porcentaje de vías es el esperado, el tiempo disminuye a medida que este aumenta.



8.1.1.2 Distancia:

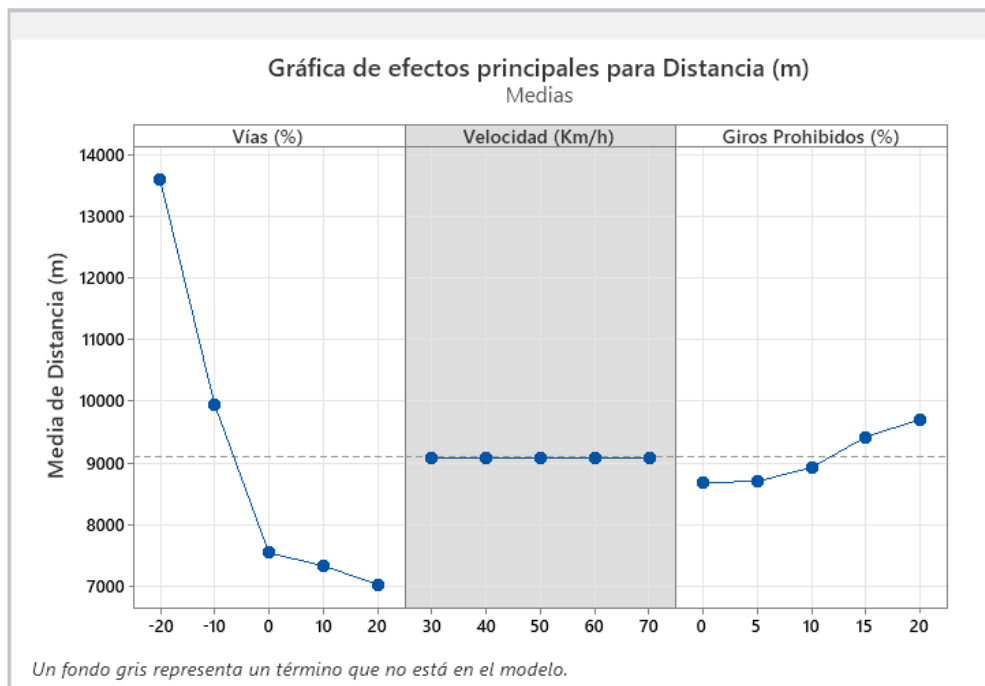


Ilustración 201: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD1 Teruel

Como Minitab determinó en sus cálculos estadísticos y mostró en el diagrama de Pareto, el término de la velocidad no es relevante para el cálculo de una distancia de recorrido en el presente experimento, así que al realizar tanto las gráficas de efectos principales como las de interacción, el software sombrea en color gris los diagramas que tienen que ver con esta variable con el fin de que el usuario no los tenga en cuenta, de hecho si se analiza este diagrama lo que se puede ver es que no hay ningún cambio en la distancia mientras cambia el nivel del factor de velocidad, Dicho de otra manera y como se describe anteriormente con valores totalmente independientes, por lo que no se hará un análisis de estos diagramas en donde interviene la velocidad.

Media de Distancia (m) vs. Vías (%): La Distancia disminuye a medida que aumenta el porcentaje de vías, estas variables tienen una relación inversamente proporcional, los valores de los giros disminuyen drásticamente durante los tres primeros niveles; sin embargo, del tercer nivel en adelante su disminución se ve considerablemente menguada.



Media de Distancia (m) vs. Giros Prohibidos (%): Al comparar la distancia con el factor referente a giros prohibidos se ve que la relaciones es directamente proporcional ya que a medida que aumenta el porcentaje de giros prohibidos también lo hace la distancia de recorrido.

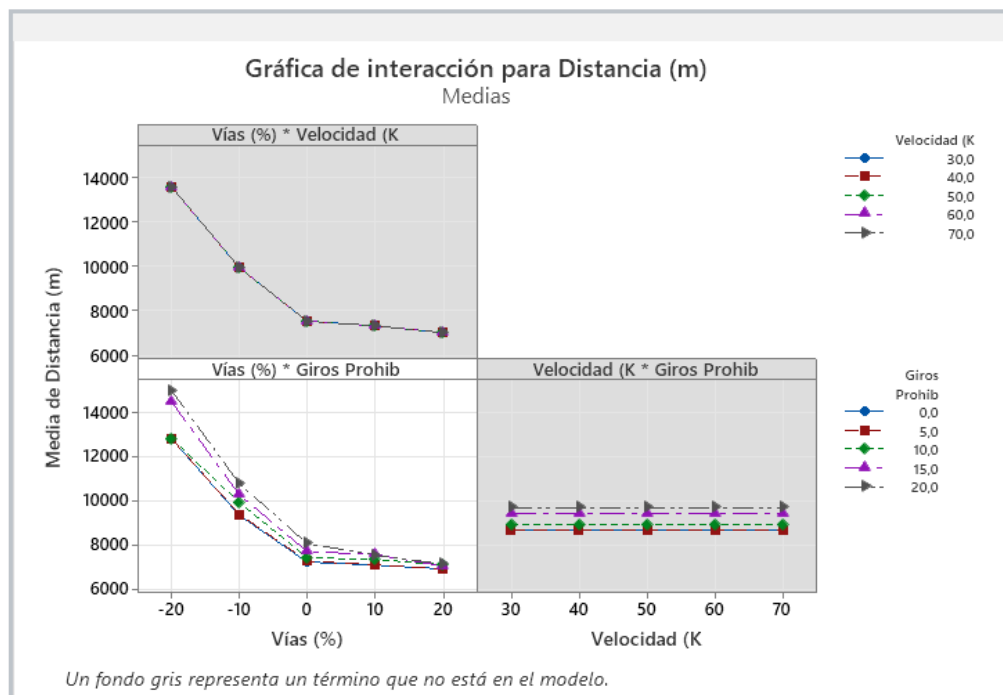


Ilustración 202: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD1 Teruel

Medida de Distancia (m) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): La manera en que el porcentaje de vías y el porcentaje de giros prohibidos afectan la distancia de recorrido es haciendo que esta disminuya durante los tres primeros niveles, sin embargo, desde el tercer nivel y en adelante estos valores se vuelven cada vez más constantes, sobre todo cuando se trata de los escenarios con menor cantidad de giros prohibidos, siendo la distancia un factor clave en la calidad de una ruta se empieza a ver que la compleción de la malla vial no mejora el enrutamiento después de aumentar las vías.



8.1.1.3 Número de giros:

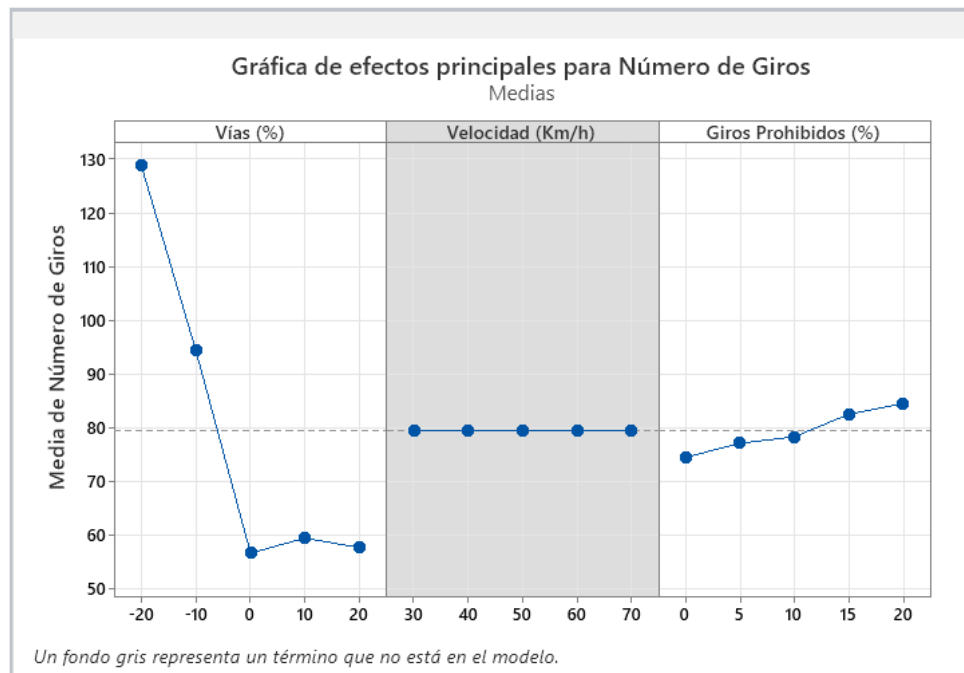


Ilustración 203: grafica de efectos principales para la variable de numero de giros en CD1 Teruel

Media de número de giros vs. Vías (%): El número de giros, aunque tienen un mayor grado de aleatoriedad parece normalizar el comportamiento en el que a mayor número de vías mayor número de giros, esto pasa para esta red vial hasta cierto punto, pues después del tercer nivel, el número de giro incluso llegar subir un poco.

Media de número de giros vs. Giros Prohibidos (%): Como se ha visto en todas las gráficas referentes al factor porcentaje de giros prohibidos no hay datos atípicos y el comportamiento es el mismo para las tres respuestas, en este caso el número de giros aumenta con el porcentaje de restricciones, posiblemente esto se dé por que los giros prohibidos, aunque ubicados aleatoriamente se repartieron de una manera homogénea para este conjunto de datos.

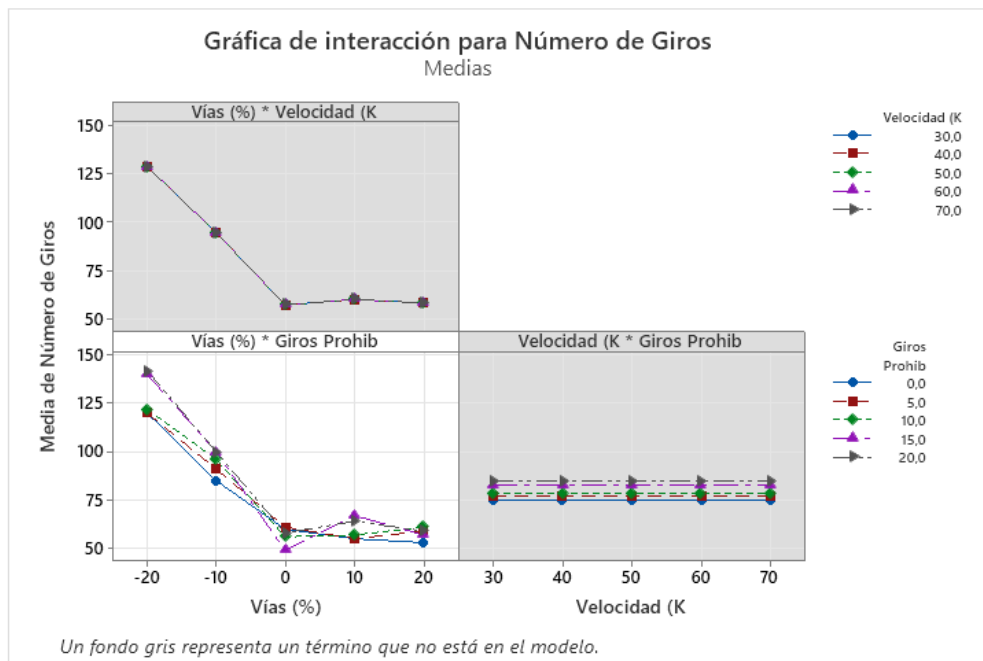


Ilustración 204: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD1 Teruel

Media de número de giros vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Aunque en los últimos niveles hay un par de saltos inesperados para esta grafica como por ejemplo el hecho de que en el nivel de más 10 % vías, aumenta el número de giros, para los escenarios donde hay 15 y 20 % de vías. Sin embargo, al igual que la mayoría de resultados a hasta ahora los datos disminuyen súbitamente hasta el tercer nivel y tienden a mantenerse constante en los niveles 4 y 5.



8.1.2 Análisis CD2 Segovia

8.1.2.1 Tiempo:

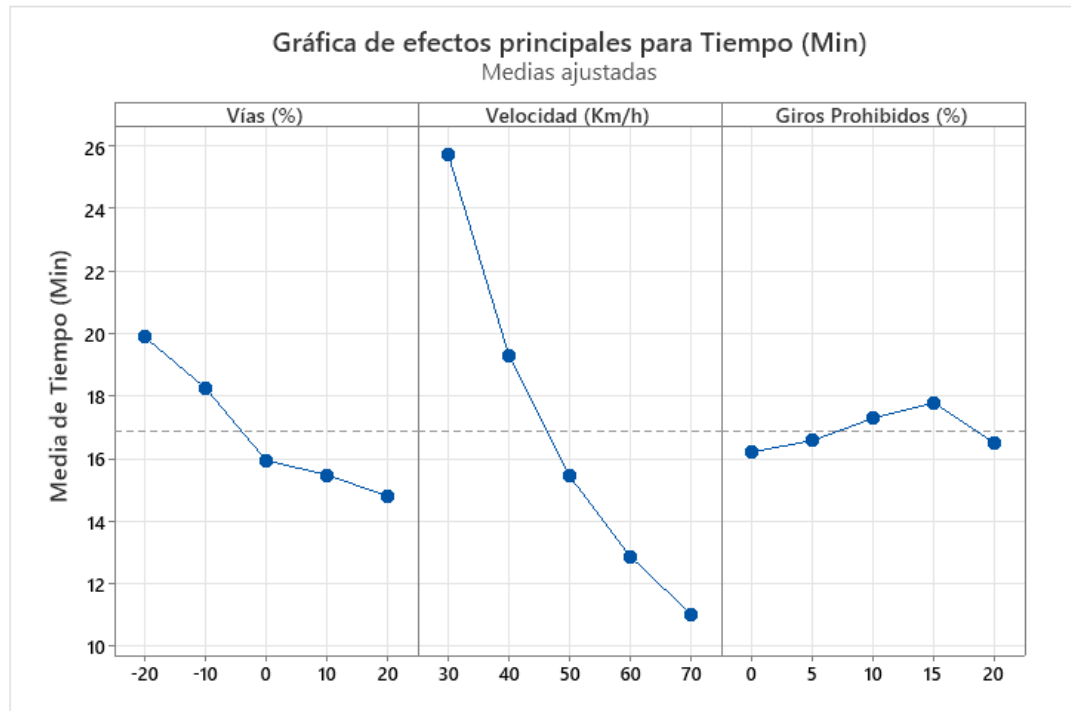


Ilustración 205: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD2 Segovia

Media de Tiempo vs. Vías (%): En esta malla vial el comportamiento para la respuesta de tiempo sigue siendo el esperado, esto es que el tiempo de recorrido de la ruta disminuye cuando aumenta el porcentaje de vías, las dos diferencias notorias entre este conjunto de datos y CD1 Teruel son que primero los tiempos obtenidos a medida que aumenta el porcentaje de vías no es tan amplio entre uno y otro como en la malla anterior, y segundo que aunque disminuye esta diferencia en los últimos niveles, sigue habiendo una diferencia significativa, mientras que en CD1 Teruel, estos últimos valores parecían empezar a tender hacia un valor constante con una variación mínima entre los mismos.

Media de Tiempo vs. Velocidad (Km/h): Lo más lógico es que el comportamiento del tiempo respecto a la velocidad nunca cambie en ninguno de los escenarios, lo cierto es que no tendría por qué cambiar debido que en todos los escenarios hay una ruta de recorrido y esta misma se evalúa con diferentes velocidades, siempre pasará que la velocidad aumente y el tiempo disminuya, ya que no existe otro factor que afecte esta relación, debido a esto se ve el mismo



comportamiento aquí y en CD1 Teruel y seguramente sea el mismo para todos los conjuntos de datos.

Media de Tiempo vs. Giros Prohibidos (%): Nuevamente se encuentra un dato atípico dentro de un comportamiento que empieza a parecer normal. El comportamiento que muestra el diagrama es que el tiempo de recorrido aumenta a medida que hay un número mayor de giros prohibidos en la malla vial. El dato atípico en esta ocasión es para el ultimo nivel de giros prohibidos, en donde existe un 20 % de restricciones, este es un claro ejemplo de cómo afecta la aleatoriedad de este factor en el resultado esperado y por qué lo vuelve tan impredecible, ya que, a pesar de ser el nivel con más restricciones con un porcentaje tan alto, el tiempo resulta ser tan bajo como en el nivel de tan solo 5% de restricciones. Se puede asumir que esto se debe a que los giros prohibidos se encuentran en intersecciones que no afectan la ruta planteada debido a su posición.

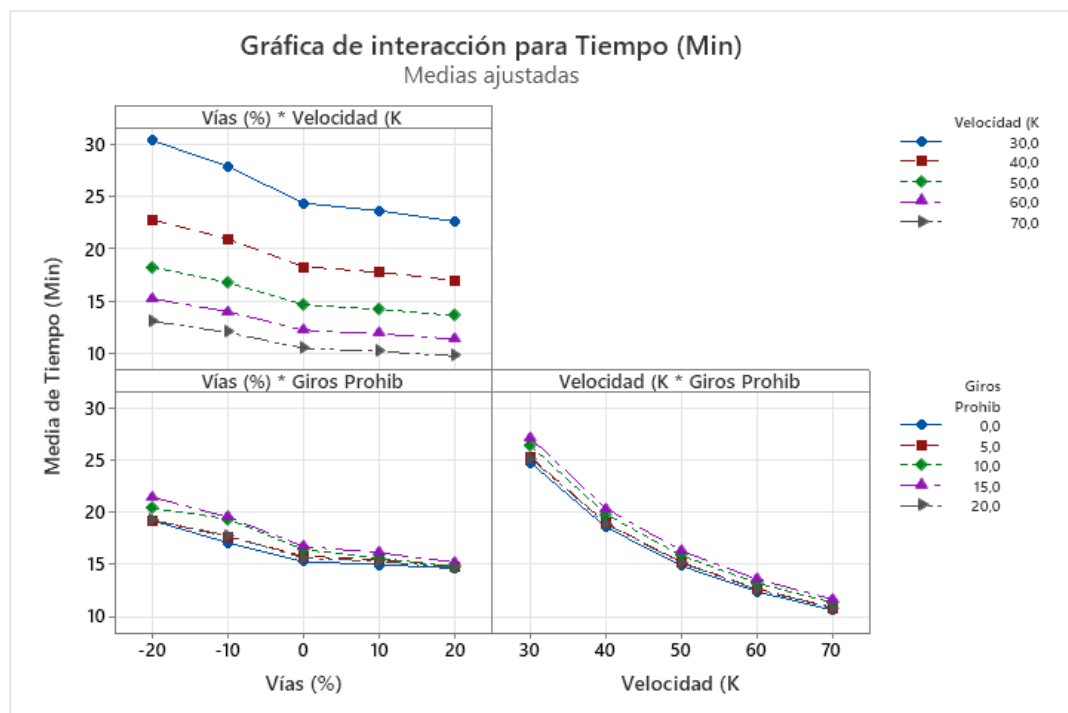


Ilustración 206: grafica de interacción para la variable tiempo en CD2 Segovia

Media de tiempo vs. Vías (%) * Velocidad (km/h): Al igual que en los resultados vistos al analizar la red vial CD1 Teruel se puede ver una disminución en el tiempo respecto al termino en donde se relacionan las variables de porcentaje de vías y velocidad de recorrido de la ruta, El tiempo baja cuando el este término aumenta pero este mismo tiene a convertirse en un valor



constante en los últimos niveles, todas las líneas se comportan de la misma manera ya que el valor de velocidad solo afecta en que el tiempo se más corto.

Media de tiempo vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): La dinámica se repite respecto al capítulo anterior, el tiempo disminuye cuando tanto el porcentaje de vías como el de giros prohibidos aumenta, sin embargo, durante los últimos tres niveles este valor tiende a ser constante, indicando que la calidad de la ruta no tiende a mejor a pesar del aumento en el número de vías, simplemente se mantiene.

Media de tiempo vs. Velocidad (km/h) * Giros Prohibidos (%): Para este caso el tiempo también disminuye a medida que los factores que intervienen en la obtención de la respuesta aumentan, las líneas que muestra los giros prohibidos se comportan igual en todos los escenarios permitiendo que el tiempo de recorrido disminuya, aparentemente la influencia de la velocidad es mayor que la del porcentaje de giros prohibidos, pues el diagrama muestra que en los cinco niveles el tiempo se comporta de la misma manera a diferencia de lo que sucedería si se graficara solamente comparándola con la variables velocidad.



8.1.2.2 Distancia:

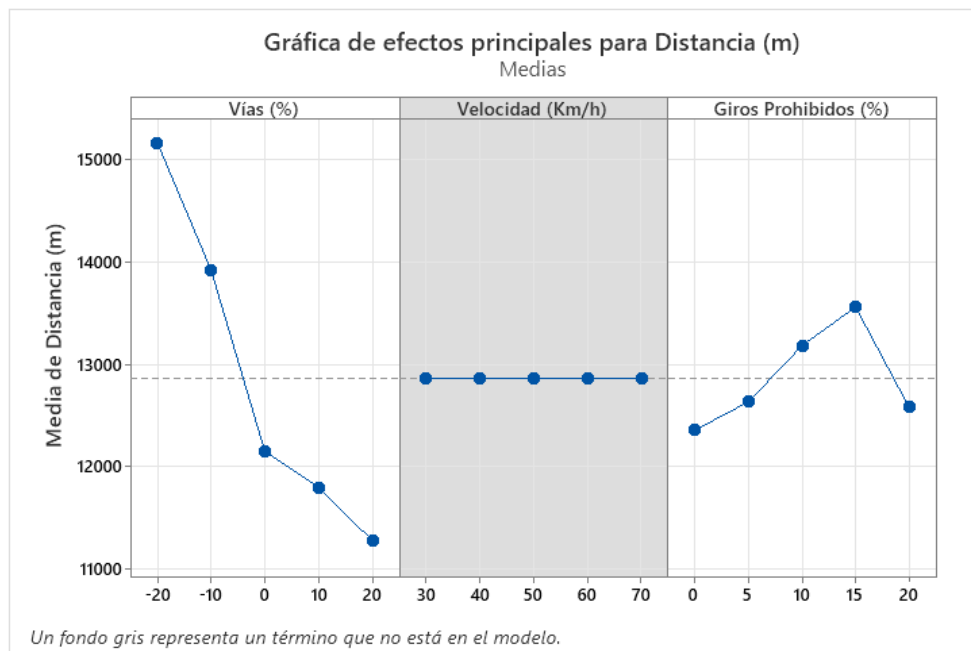


Ilustración 207: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD2 Segovia

Media de Distancia (m) vs. Vías (%): Como se vio en el capítulo anterior es normal y entendible que la distancia de recorrido se comporte similar a la de velocidad cuando se grafica comparandola con el porcentaje de vías; disminuye a medida que el porcentaje de vías aumenta, y la diferencias entre los datos de esta respuesta es menor en los últimos niveles, cuando el número de vías es más alto.

Media de Distancia (m) vs. Giros Prohibidos (%): Nuevamente aparece un comportamiento normalizado y un dato atípico, la distancia de recorrido se hace más grande a medida que aumenta el número de giros; sin embargo, esta relación directamente proporcional no se puede generalizar para todos los casos, el dato atípico se presenta en el nivel más alto del porcentaje de giros prohibidos, donde la distancia disminuye considerablemente.

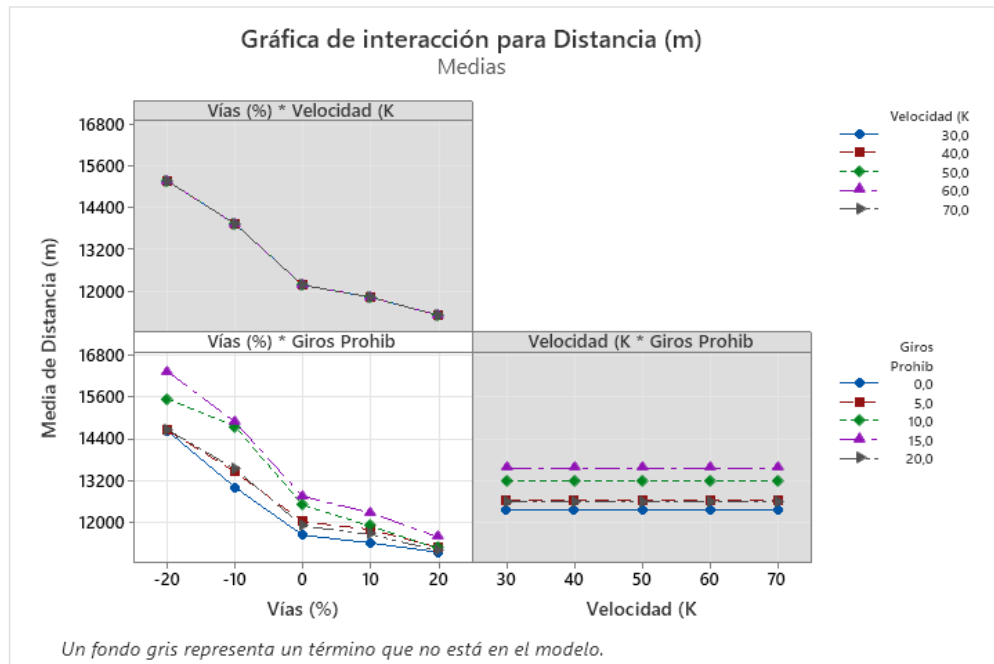


Ilustración 208: grafica de interacción para distancia en CD2 Segovia

Media de Distancia (m) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Al analizar la distancia vs. Los dos factores que pueden afectar sus resultados se obtienen que básicamente la distancia empieza a aminorarse fuertemente durante los primeros niveles, cuando el número de vías y de giros prohibidos es bajo, sin embargo, después de pasar el nivel medio y cuando el número de vías y giros prohibidos es alto, entonces la respuesta de distancia aminora su disminución acercándose a ser un valor constante.



8.1.2.3 Numero de Giros

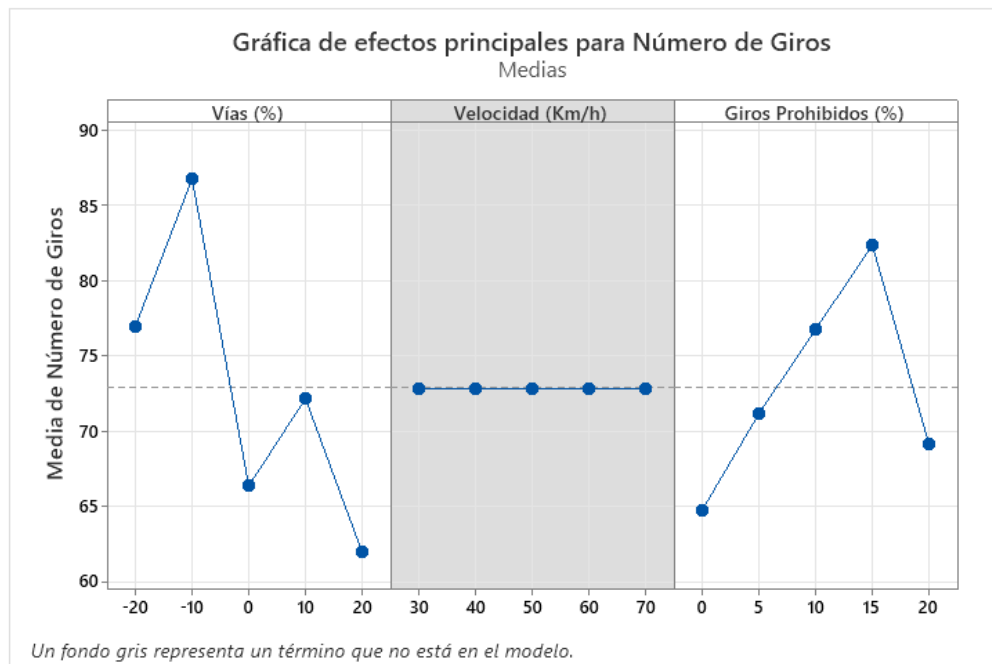


Ilustración 209: grafica de efectos principales para la variable de numero de giros en CD2 Segovia

Media de Número de Giros vs. Vías (%): Hasta el momento este diagrama es el que muestra mayor aleatoriedad de todos, y es otra prueba que indica que no existe ningún factor que afecte directamente las respuestas en los números de giros, y aunque haya un aparente comportamiento normalizado tienen más significancia la forma y la disposición de los tramos viales en una malla vial. El comportamiento para este diagrama es difícil de describir, la conducta aparentemente normalizada es que el número de giros disminuye a medida que el porcentaje de vías aumenta, sin embargo, existen dos datos atípicos que se alejan bastante de esta normalidad.

Media de Número de Giros vs. Giros Prohibidos (%): Esta grafica no resulta tan aleatoria como la anterior; sin embargo, la misma aleatoriedad en la disposición de las restricciones en los giros, brinda otro dato atípico dentro de un comportamiento normalizado, aquí el comportamiento normalizado es una relación directamente proporcional entre el número de giros y el porcentaje de giros prohibidos, el dato atípico es la cantidad de giros en el nivel más alto de giros prohibidos bajando drásticamente siendo casi tan bajo como en el primer nivel en donde no hay restricción en lo giros.

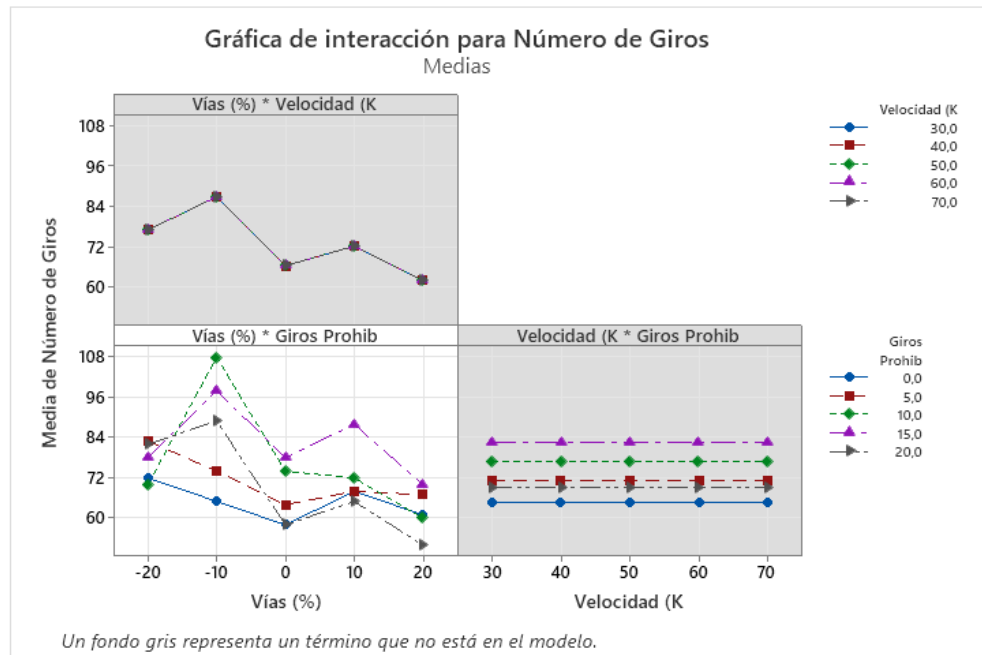


Ilustración 210: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD2 Segovia

Media de Numero de Giros vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Nuevamente impera la aleatoriedad en el diagrama que se ve en esta gráfica, tanto así que el comportamiento normalizado en donde el número de giros tiende a bajar cuando aumentan el número de vías y de giros prohibidos parece disolverse, y aunque aún se nota un poco son muchos más los datos atípicos y los picos inesperados en las líneas graficadas.



8.1.3 Análisis CD3 Cota

8.1.3.1 Tiempo:

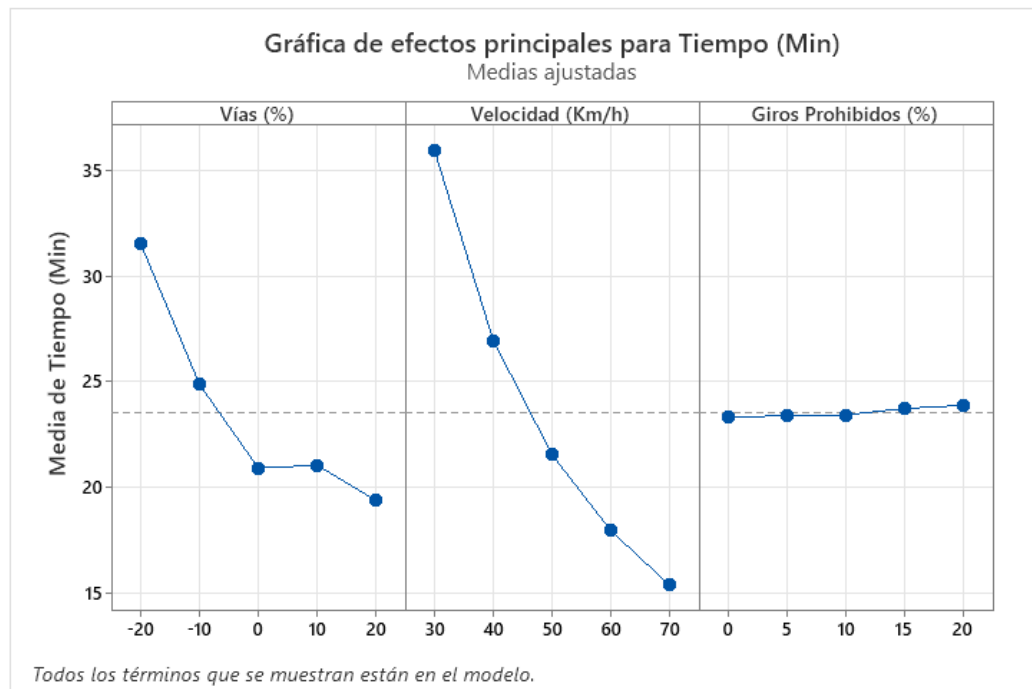


Ilustración 211: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD3 Cota

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%): Este es el mismo escenario que se ha venido presentando hasta ahora al evaluar estas dos variables, con dos diferencias considerables, la primera es que hay un dato de media de tiempo atípico, y se presenta en el nivel correspondiente al porcentaje de 10 % de aumento de vías, mientras que el tiempo en comparación con el resto de porcentaje de vías tiende a bajar, para este escenario se mantiene exactamente igual, la única explicación es que al agregar diez por ciento de vías, la disposición de estas nuevas vías no afecta la ruta que planteo el software en el tercer nivel de porcentaje de vías, es decir que para el nivel tercero y cuarto, correspondientes al escenario sin afectación en las vías y el escenario con un 10 % más de vías respectivamente. La segunda diferencia respecto a la mayoría de las otras redes viales es que en cuanto a términos de tiempo de recorrido la calidad de la ruta sigue aumentando mientras esta descende, es fácil ver que la disminución es menor a medida que se aumentan las vías, se puede concluir que si se agregaran más vías en algún momento la variable tiempo se convertiría en un valor constante.



Media de Tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h): El tiempo reacciona de manera normal con el factor de velocidad, disminuye a medida que esta última disminuye, como en las otras mallas viales.

Media de Tiempo (Min) vs. Giros Prohibidos (km/h): El comportamiento de esta grafica es parecido al que se vio en las mallas viales anteriores, El tiempo de recorrido en la ruta planteada aumenta a medida que lo hacen también el porcentaje de giros prohibidos, esto se mantiene a lo largo de todo el experimento sin datos atípicos. Sin embargo, una diferencia notoria frente a las otras mallas viales es que el aumento del tiempo a medida que avanzaba el experimento es realmente minúsculo. Si se analiza la diferencia entre esta y las demás redes viales físicamente hablando, es que esta tiene una distribución de vías completamente diferente, pues es mucho más alargada y en la parte sur por ser una zona rural, la cantita de vías es mucho menor que en la parte norte, la ruta va casi de extremo a extremos de sur a norte, seguramente las restricciones en giros se dan en su mayoría en la parte norte, dejando gran parte de la ruta sin ninguna afectación, esto prueba también que la incidencia que recibe la red vial por el factor del porcentaje de giros prohibidos es muy ambigua y depende en gran medida por la disposición de estos últimos al azar.

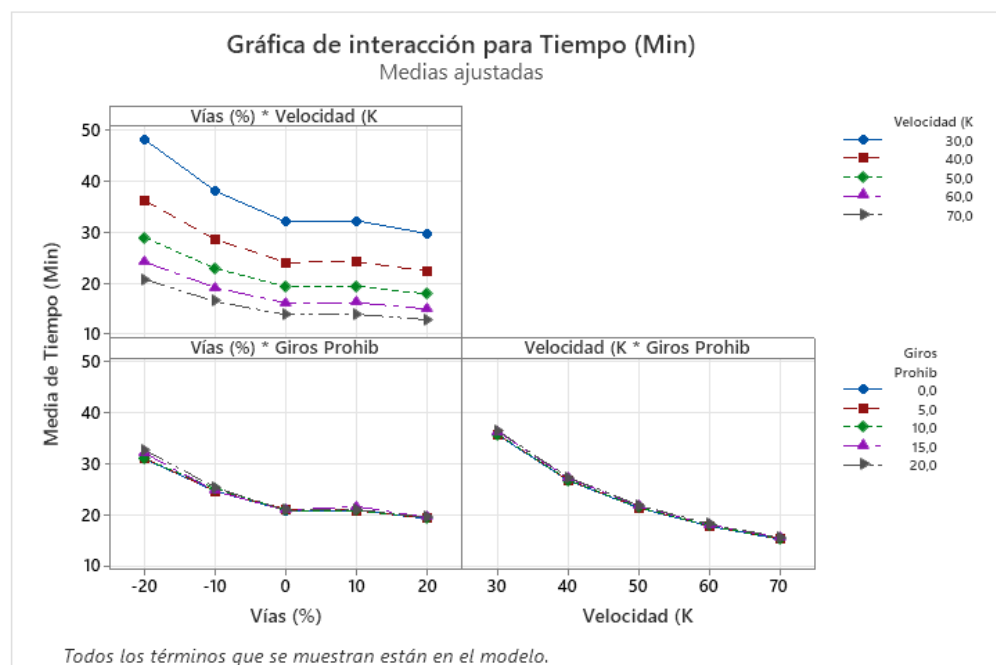


Ilustración 212: grafica de interacción para la variable tiempo en CD3 Cota

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Velocidad (km/h): La principal afectación que recibe el tiempo por parte de estas dos variables es el porcentaje de vías, sin embargo, como se



dispusieron de manera aleatoria no hay diferencia en ninguno de los escenarios entre los niveles 0 y 10% de adición en las vías, ignorando esto, en el resto de los niveles disminuye el tiempo tanto con el aumento de la velocidad como de porcentaje de tramos viales.

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Como se mencionó anteriormente para esta malla vial la afectación por parte de las restricciones en los giros resulta mínima, esto se evidencia también en este diagrama en donde todas las líneas que representan los niveles en el porcentaje de giros prohibidos son básicamente iguales, dejando que el factor que más influye en la respuesta sea el porcentaje en tramos viales, dejando una disminución de tiempo en los primeros tres niveles, y un tiempo constante en los últimos dos.

Media de Tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h) * Giros Prohibidos (%): Como el impacto de giros prohibidos para esta malla vial es mínimo, el comportamiento de este diagrama es el mismo que al evaluar la respuesta de tiempo vs velocidad, simplemente el tiempo disminuye cuando la velocidad aumenta.



8.1.3.2 *Distancia:*

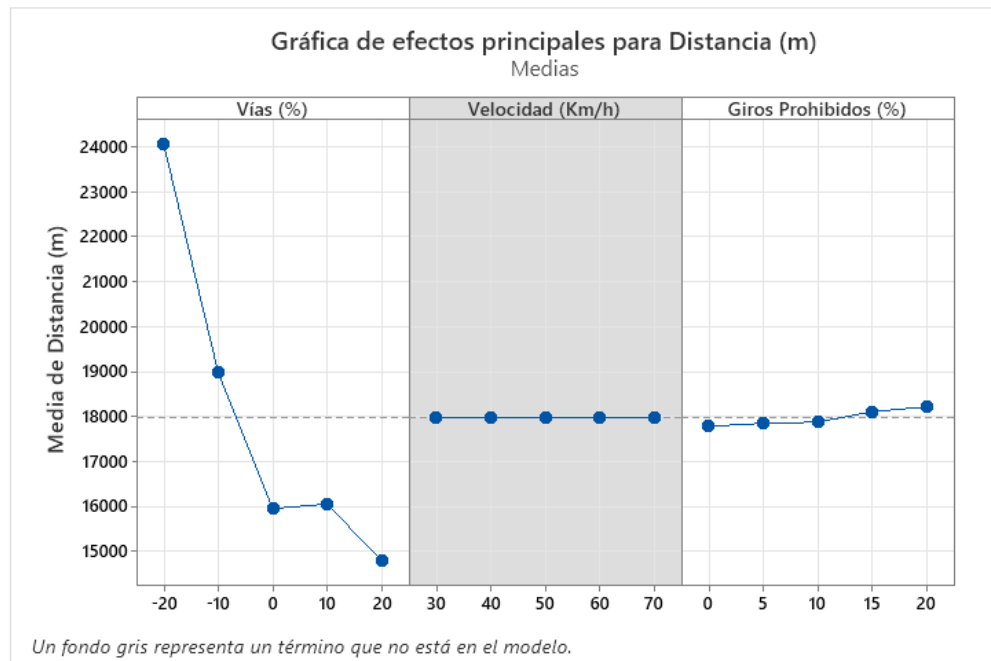


Ilustración 213: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD3 Cota

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%): El comportamiento de esta grafica es igual que en la respuesta de tiempo, la distancia disminuye cuando aumenta el porcentaje vías, hay dos respuestas iguales debido a que la aleatoriedad de la disposición de las vías, hace que en uno de los niveles de porcentaje de las mismas no afecta la ruta planteada por el software; a pesar de esto, la disminución de distancia es notoria incluso hasta en el último nivel.

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%): El número de giros es directamente proporcional al aumento de giros prohibidos; sin embargo, este aumento es bastante pequeño y resulta poco relevante en la afectación de la calidad de la red vial.

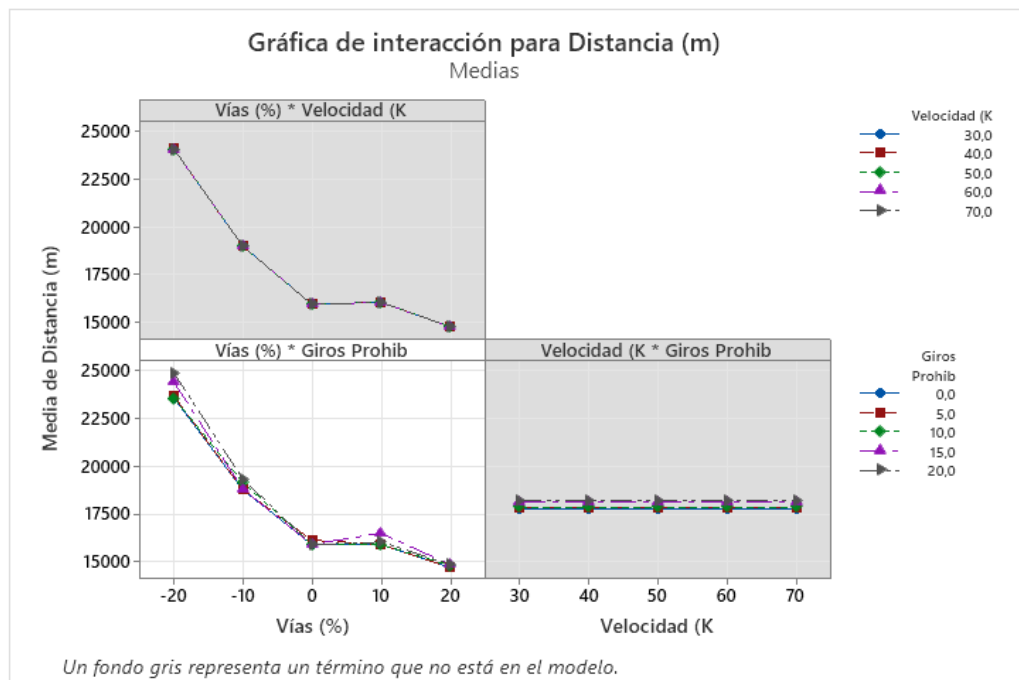


Ilustración 214: grafica de interacción para la variable distancia en CD3 Cota

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Como la significación del porcentaje de vías resulta tan imperceptible para esta malla vial, el comportamiento en la respuesta de distancia esta casi regido únicamente por el porcentaje de vías, y este hace que la respuesta sea una distancia cada vez menor.



8.1.3.3 Número de Giros:

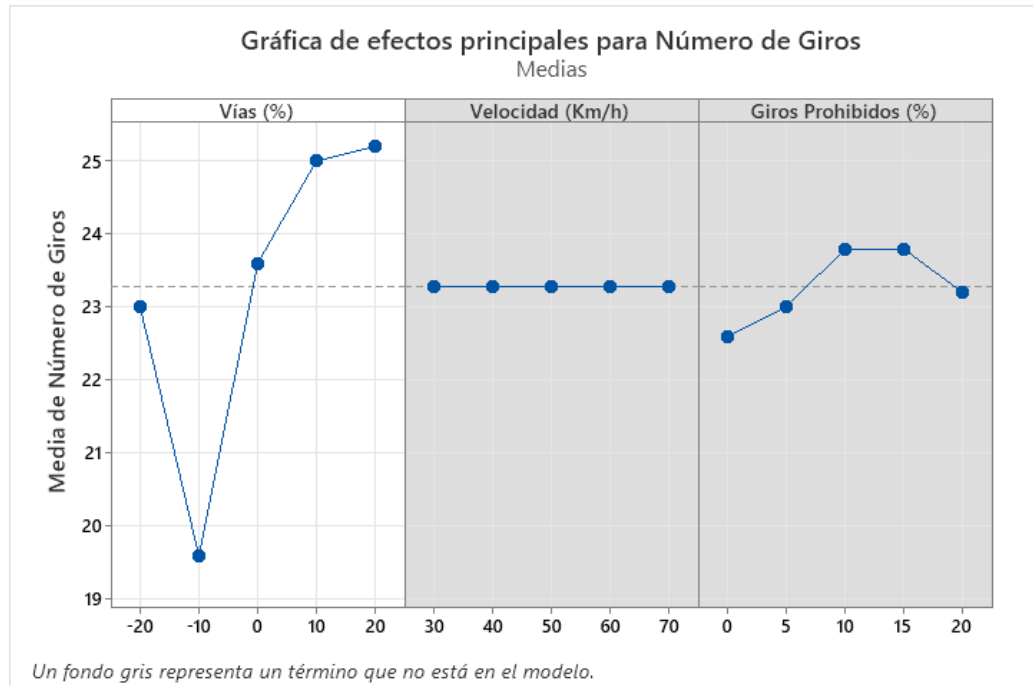


Ilustración 215: grafica de efectos principales para la variable de número de giros en CD3 Cota

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%): esta grafica es un poco difícil de describir, el número de giros claramente no se ve afectado ni por la velocidad de recorrido, ni por el porcentaje de giros prohibidos por lo menos para el experimento durante esta red vial y la afectación que recibe esta respuesta por el porcentaje de vías resulta un poco impredecible, a grandes rasgos el número de giros en la ruta aumenta cuando el porcentaje de restricciones también lo hace, a pesar de esto, hay un dato típico que además resulta bastante extremo respecto a los demás pues cuando el porcentaje de vías aumenta de -20% a -10% el número de giros desciende drásticamente, la explicación a esto es que las vías se quitaron de la malla vial de manera aleatoria, por lo que pueden afectar más en un nivel que en otro sin que exista necesariamente un parecido o un comportamiento que deba obedecer a un común general.

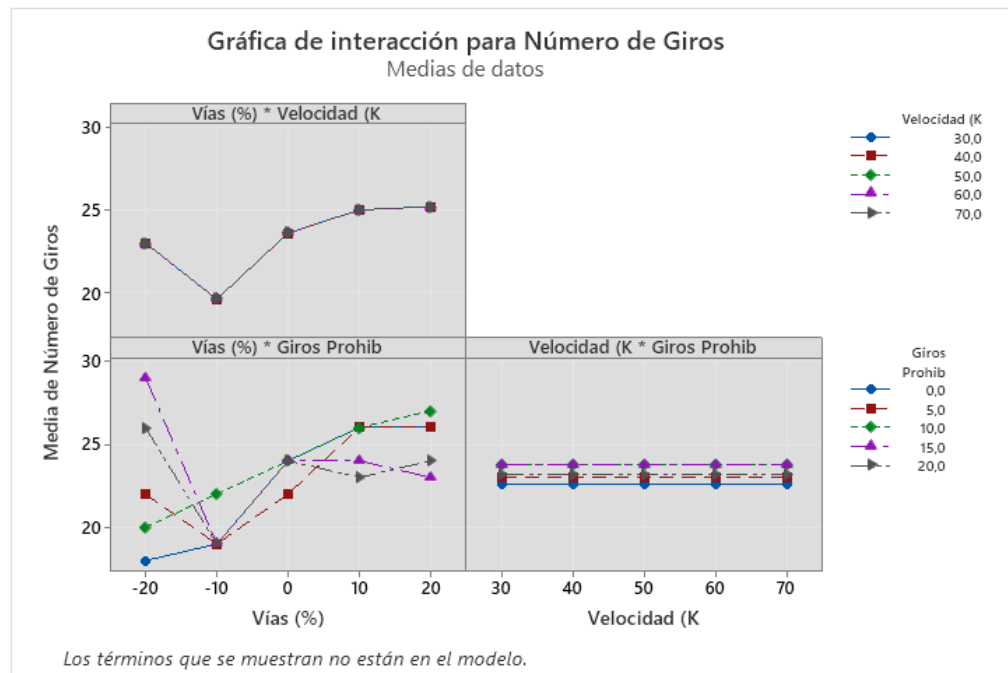


Ilustración 216: grafica de interacción para la variable de número de giros en CD3 Cota



8.1.4 Análisis CD 4 Sintéticas 1

8.1.4.1 Tiempo:

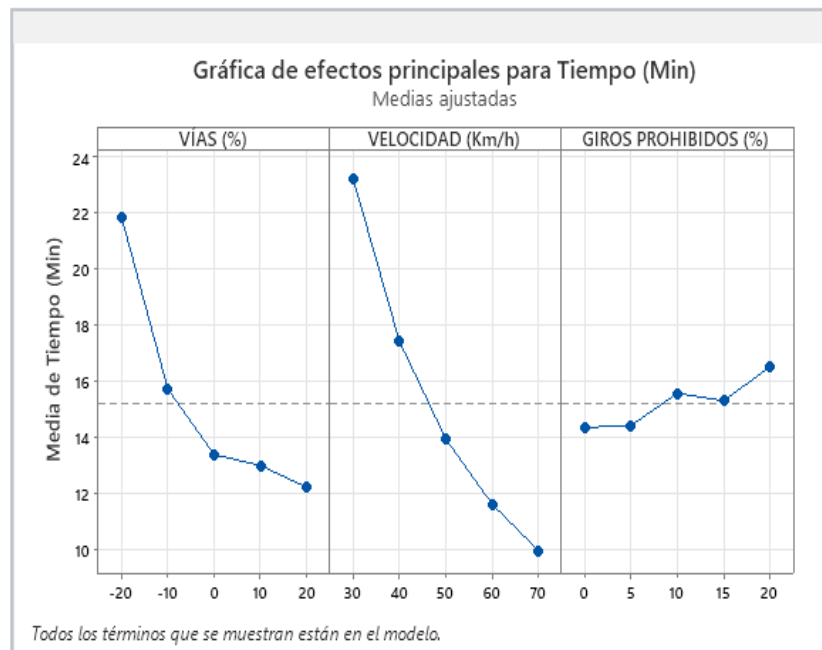


Ilustración 217: Graficas de efector principales para la variable tiempo en CD4 sintéticas 1

Media de tiempo (%) vs. Vías (%): En primera instancia se analiza el efecto que tiene el factor de porcentaje de vías; Lo lógico sería pensar que, en una misma red vial, entre mayor sea el número de vías una ruta tenga un menor tiempo de recorrido. Dicho de otra manera, si se ponen dos puntos denominados punto A y punto B en una red vial cualquiera, compuesta por un número determinado de tramos viales, un vehículo que deba recorrer una ruta que vaya del punto A al punto B va a tardar un tiempo estimado. Ahora, si a esta misma red vial se le incrementan los tramos viales, el vehículo seguramente tarde menos en llegar al punto B debido a que tiene más opciones de recorrido entre las cuales seguramente haya vías que acorten el camino. Partiendo de lo anterior y comparándolo con lo que se ve en la primera de las tres gráficas de la ilustración anterior, se puede decir que el modelo se comporta de la manera esperada, el escenario en donde el tiempo es mayor claramente es cuando se eliminaron al azar el 20 % de los tramos viales que originalmente componían CD4 Sintéticas 1, ya que como se dijo anteriormente al estar compuesta la red por menos vías, el vehículo debe recorrer varias veces los mismos tramos y recurrir a estrategias largas y engorrosas para cumplir con la ruta propuesta, es debido a este mismo motivo que se evidencia un salto bastante grande entre el



tiempo con 20 % menos de vías y con el 10 % menos de vías. Los próximos tres niveles también se comportan de la manera esperada manteniendo una proporcionalidad inversa entre el número de vías y el tiempo de recorrido; sin embargo, la disminución del tiempo de recorrido es mucho más baja entre estos niveles.

Medida de tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h): Para la segunda gráfica la respuesta esperada es similar a la anterior, en este caso se evalúa qué respuesta da el modelo mientras se cambia la velocidad de un vehículo en la ruta determinada. Lógicamente se espera una relación inversa, es decir que el tiempo de recorrido sea menor a medida que aumenta la velocidad en que se recorre, esto es justo lo que pasa en el experimento y lo que se puede ver en esta gráfica, de la misma manera que en la anterior el mayor salto se da en los dos primeros niveles y aunque siempre disminuirá el tiempo con una mayor velocidad, esta disminución cada vez será menor debido a que no se comporta como una fórmula lineal pues así aumente mucho la velocidad el tiempo de recorrido jamás podrá ser igual a 0, no se puede decir mucho más de esta gráfica, simplemente es el resultado esperado.

Media de tiempo (Min) vs. Giros Prohibidos (%). La tercera gráfica diagrama la relación entre el porcentaje de giros prohibidos y el tiempo de recorrido en la ruta determinada, lo esperado sería que en un escenario real el tiempo de recorrido seguramente sea mayor entre más restricciones tenga la malla vial por la que circule una ruta, ya que seguramente en esta ruta se encuentren restricciones que obliguen al vehículo a modificar el camino originalmente planteado, también esto se puede describir como una relación directamente proporcional entre el tiempo de recorrido y el porcentaje de giros prohibidos o restringidos en la vía.

El comportamiento de esta relación en el experimento es más o menos el esperado, se puede decir que a grandes rasgos sí se evidencia la proporción anteriormente descrita ya que si aumenta el tiempo mientras que lo hace el porcentaje de giros prohibidos; sin embargo, hay un caso puntual que se podría describir como atípico, ya que para este escenario cuando la cantidad de restricciones alcanza el 15 % el tiempo de recorrido es menor que cuando las restricciones son del 10 %, esto tampoco es del todo extraño y se puede explicar fácilmente, ya que no se puede dejar de lado el hecho de que el aumento en el porcentaje de giros fue completamente aleatorio, lo que quiere decir que en el escenario de 15 % de giros prohibidos si existen más restricciones que en el escenario de 10 %, pero que no necesariamente estos giros afecten la



ruta y que simplemente se dan en intersecciones viales por las que la ruta originalmente no pasaba y finalmente no afectan en gran medida su tiempo de recorrido.

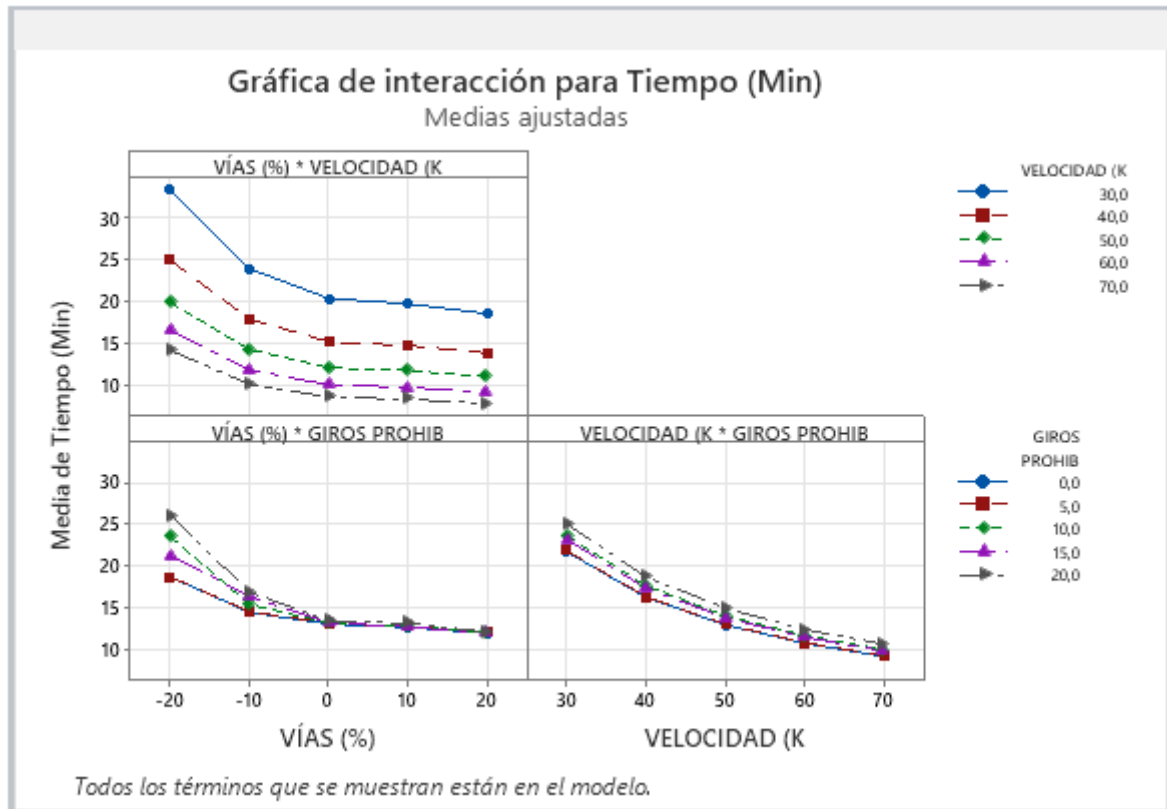


Ilustración 218: Graficas de interacción para la variable tiempo en CD4 sintéticas 1

Media de tiempo (min) vs. Vías (%) * Velocidad (km/h): En la primera gráfica se ve el comportamiento que tiene el tiempo de recorrido respecto a cada escenario en donde interactúan los factores de porcentaje de vías y la velocidad, esta es tal vez una de la relación más fácil de analizar debido al factor velocidad, ya que este afecta al resultado tiempo, pero de una manera directa y simple; entre más veloz sea un carro que recorre una misma ruta, su tiempo de recorrido será menor. Por otra parte el tiempo obtenido respecto al porcentaje de vías puede comportarse de diferentes maneras; sin embargo, como se mencionó para las gráficas de efectos principales el comportamiento para este experimento fue el esperado, lo que también se evidencia en esta gráfica de interacción, ya que el comportamiento es el mismo para el tiempo vs. el porcentaje de vías en los cinco niveles con los que se evaluó este factor, siendo



directamente proporcionales, para este caso la velocidad solo hace que el tiempo sea menor para cada nivel sin afectar el comportamiento del mismo.

Media de Tiempo (Min) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos: Esta gráfica es un poco más diciente para los resultados finales, igualmente como sucedió en la mayoría de los casos vistos hasta este momento en el experimento, el comportamiento es el esperado, los niveles más críticos de los dos factores influyen en el tiempo de recorrido haciendo que este sea mucho mayor, también se evidencia que el factor que más influye entre estos dos es el porcentaje de giros prohibidos, por lo menos para los primeros niveles de los factores, esto es normal, pues es como decir que al hecho de que haya pocos tramos viales se suma el hecho de que en las interacciones de estos tramos hay un número considerable de restricciones. Si se ven los siguientes niveles es evidente la mejora en la calidad de la ruta en cuanto a su tiempo de recorrido, un carro puede moverse más eficientemente en una malla vial con más tramos viales y con pocas restricciones. El fenómeno que resulta “diciente” es el que se ve cuando se alcanzan los últimos tres niveles, pues la mejora en el tiempo de recorrido mengua drásticamente, y aunque se reduzca dicho tiempo se podría decir que en cierta medida ya no hay un cambio significativo, seguramente si se evaluaran más niveles con más tramos viales de por ejemplo 30 o 40 %, el tiempo no variará más que por unos segundos o incluso décimas de segundo, esto indica que la calidad de la ruta ya no mejoraría más. En cuanto al porcentaje de giros prohibidos si podría cambiar el resultado del tiempo solo si se aumentara de una manera muy exagerada y poco probable, ya que se habla de niveles en los cuales la cantidad de tramos viales y por ende intersecciones también están aumentando.

Media de Tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h) * Giros Prohibidos: Para esta gráfica pasa algo similar a la de Medida de tiempo (min) vs. Vías (%) * Velocidad (km/h), ya que nuevamente interviene el factor velocidad este factor si afecta el resultado, pero de una manera simple y fácilmente predecible, simplemente hace que en cada uno de los niveles el tiempo de recorrido disminuya. Para el factor referente al número de giros, lo que se puede ver es otro resultado sencillo donde a medida que hay menos restricciones en las intersecciones se puede ver que en el nivel referente al 15 % de restricciones el tiempo no es tan bajo como se pueda esperar, debido a que los giros creados aleatoriamente no están afectando tanto a la ruta como lo hace el escenario de 10 % de restricciones, a pesar de esto, sí es evidente una afectación tal y como se esperaba.



Influencia De La Compleción De Los Datos En La Determinación De Rutas En Entornos Urbanos



8.1.4.2 Distancia:

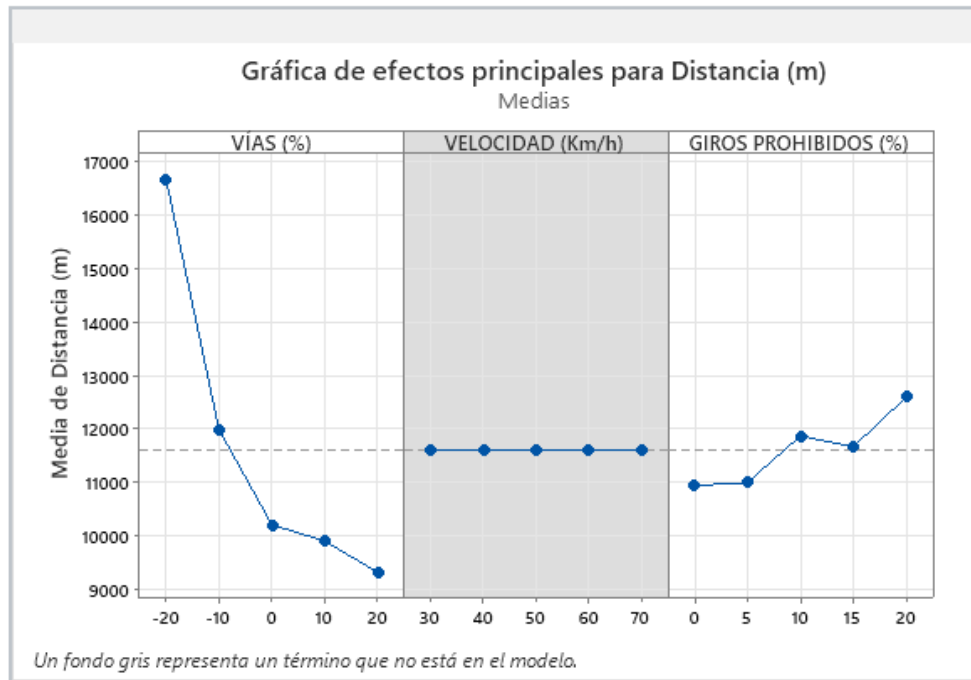


Ilustración 219: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD4 sintéticas 1

Media de distancia (m) vs. Vías (%): Este resultado fue similar al de la gráfica referente al tiempo, es entendible que a mayor porcentaje de vías la distancia de recorrido de una ruta disminuya, la explicación de esto es la misma que con la respuesta de velocidad, si un carro en una red vial tiene más opciones para avanzar hacia su destino, entonces lo más probable es que encuentre vías que acorten su camino, por lo que la distancia será menor. Es precisamente lo que sucede en este experimento; sin embargo, también se observa que la disminución de la distancia es considerablemente más pronunciada entre los primeros dos e incluso tres niveles, mientras que del tercer al quinto nivel la disminución de la misma se aminora, aparentemente después de superar un determinado número de vías la calidad de la ruta no aumenta, simplemente se logra una malla vial saturada de tramos viales.

Media de distancia (m) vs. Giros Prohibidos (%): Nuevamente se encuentra el mismo escenario que al analizar la respuesta de velocidad, el experimento se comporta de manera lógica, los únicos datos atípicos obtenido hasta ahora son la velocidad y la distancia cuando se comparan con el factor referente al porcentaje de vías en el nivel que evalúa un escenario de 15% de restricciones, esto confirma lo que se había planteado en el análisis de velocidad, los giros restringidos puestos al azar no afectan en gran medida a la ruta planteada, puesto que se



encuentran en intersecciones viales alejados de la misma y no interfieren con su camino, su tiempo de recorrido ni su longitud.

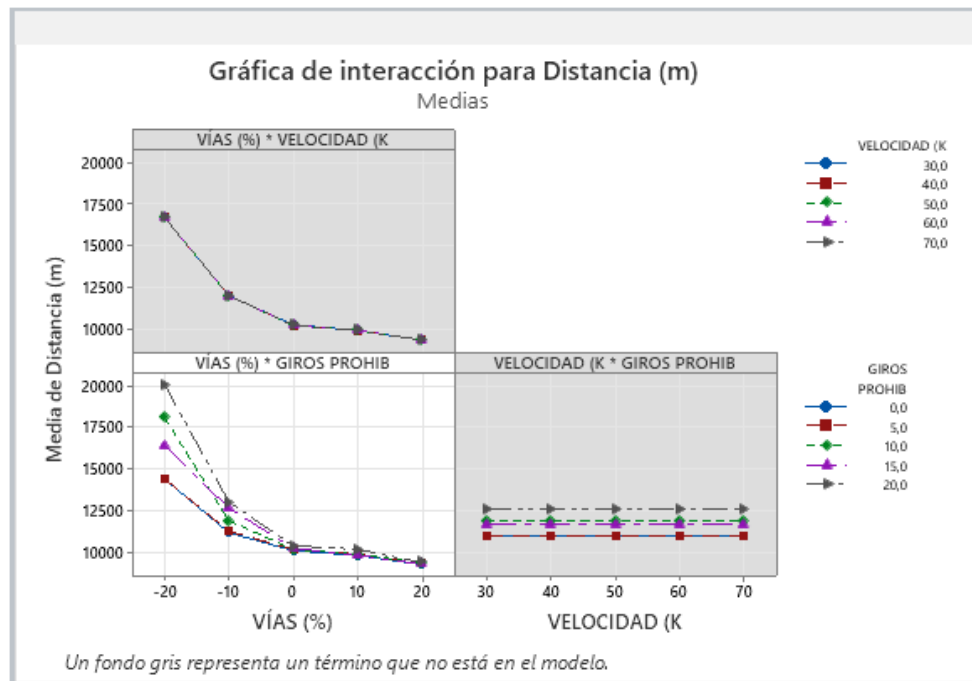


Ilustración 220: grafica de interacción para la variable distancia en la red vial sintéticas 1

Media de Distancia vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): hasta ahora lo más sencillo y adecuado sería decir que tanto la respuesta de velocidad como la de distancia se comportan en la misma manera, y que la única diferencia es que para los resultados de distancia no afecta el término de velocidad; sin embargo, al comparar esta respuesta con la relación entre las variables de porcentaje de vías y porcentaje de giros prohibidos, se observa que ocurre también lo mismo que en la respuesta de distancia, el cambio es abrupto en los primeros niveles, mejorando la calidad de la ruta y de la malla vial a medida que se aumenta el número de vías sin importar que tanto giros estén restringido, pero al cruzar por el tercer nivel y de ahí en adelante esta mejora disminuye su significancia.



8.1.4.3 Número de giros:

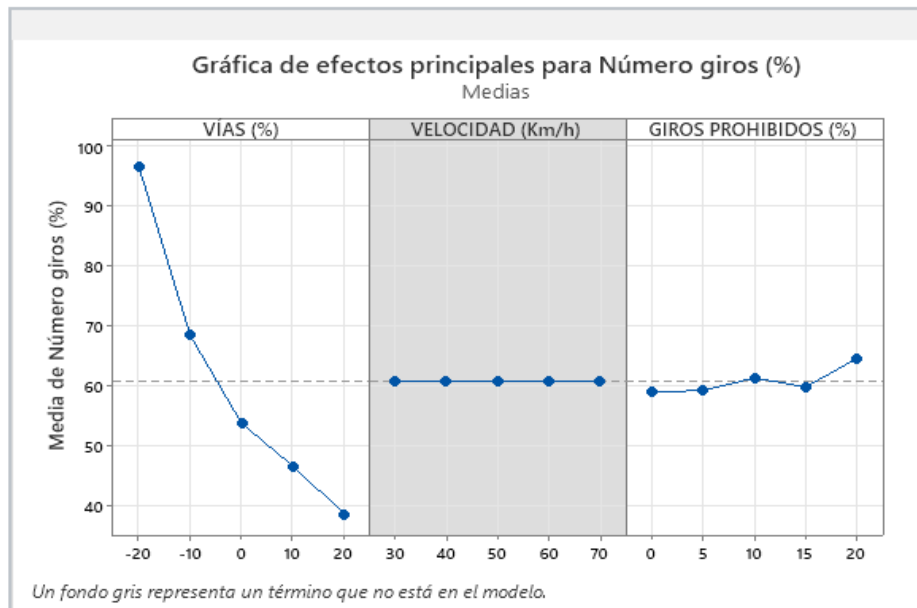


Ilustración 221: grafica de efectos principales para para la variable de numero de giros en CD4 sintéticas 1

Media de Número de Giros vs. Vías (%): La respuesta o el resultado para esta variable es más difícil de predecir que los resultados anteriores referentes a distancia y a velocidad, también es un poco más difícil de compararlos con un escenario real en el que un vehículo recorre una ciudad existente. Inicialmente se podría pensar que a medida que haya más vías y más restricciones en los giros el vehículo deba encontrar una ruta que circule lo malla vial tomando más giros, pero esto realmente no es del todo cierto por varias razones, por un lado al agregar más vías a una malla vial puede ser que el vehículo encuentre más tramos rectos que recorrer sin tener que tomar muchos giros, aunque no tiene que ser precisamente así en todos los casos, este es solo uno de los posibles escenarios, por otro lado también podría decirse que la restricción de giros entre más alta sea, obligue al vehículo a tomar caminos un poco más rebuscados en donde deba enfrentarse a un número de giros mayor, pero de hecho también es probable que al restringir giros, se esté obligando al vehículo a circular por tramos rectos, de hecho lo que indica este diagrama es que el número de gros disminuyó considerablemente durante todo el experimento a medida que se fue aumentando el número de vías, y a diferencia de las respuestas anteriores, aunque esta tenga cambios menores en los niveles donde el porcentaje de vías es más alto, no tiende a estabilizarse en un valor constante.



Media de Número de Giros vs. Giros Prohibidos (%): La relación entre estas dos variables es diferente que la anterior, aparentemente para este caso se da que el número de giros aumente mientras que el porcentaje de giros prohibidos también lo hace, eso es lo que muestra este diagrama exceptuando el nivel en el que el número de giros restringidos alcanza el 15%, sabiendo que los giros prohibidos fueron ubicados de manera aleatoria, se podría pensar que pueden no afectar de la misma manera todos los niveles del experimento, y que mientras en un nivel se da una cantidad elevada de número de giros en el siguiente posiblemente sea una cantidad baja, poniendo esta respuesta como una variable que depende más de la disposición de las restricciones y de la forma de la malla vial que de cualquier otro factor.

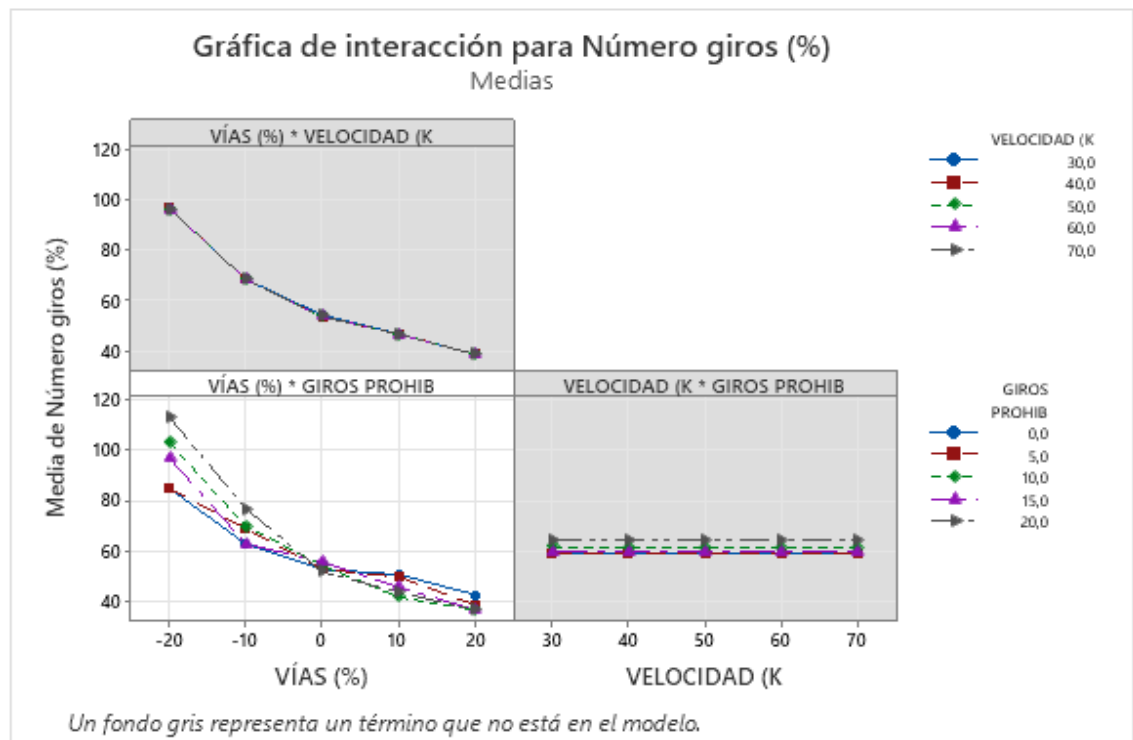


Ilustración 222: grafica de interacción para la variable de numero de giros en CD4 sintéticas 1

Media de Número de Giros vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): El comportamiento del número de giros es más ambiguo que las respuestas analizadas anteriormente como lo muestra este gráfico, no todas las líneas referentes a los niveles del porcentaje de giros prohibidos se comportan de la misma manera, y se ven picos o comportamientos atípicos en niveles diferentes al relacionarse con los factores de porcentaje de vías, a esta altura se puede concluir que afecta mucho la forma de la malla vial y la disposición de sus tramos viales para la obtención de esta respuesta, lo que puede arrojar un resultado atípico en cualquier momento, por ejemplo al evaluar la línea que representa 0% de giros prohibidos es claro que el número de giros es casi



el mismo cuando la malla vial no tiene alteración en su número de vías y cuando se le adiciona el 10 %, otro comportamiento atípico es el descenso súbito que tiene el número de giros cuando las restricciones alcanzan el 15%, entre los escenarios de -10% y -20% de vías; sin embargo, al evaluar de manera global la gráfica si hay un patrón de comportamiento, y es que el número de giros baja a medida que aumentan tanto el porcentaje de vías como el de giros restringidos.



8.1.5 Análisis CD5 Sintéticas 2

8.1.5.1 Tiempo:

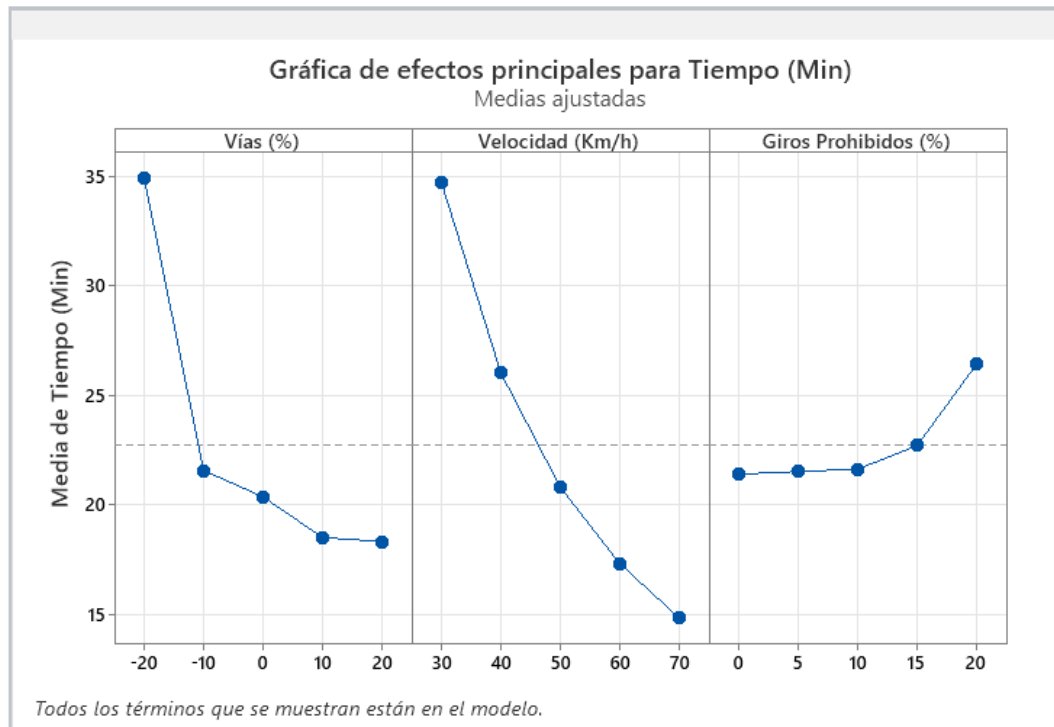


Ilustración 223: grafica de efectos principales para la variable tiempo en CD5 sintéticas 2

Media de tiempo (Min) vs. Vías (%): Por el contrario de lo que se observó en las mallas viales pasadas el comportamiento atípico aquí es el cambio súbito que se da en el valor del tiempo entre el primer y segundo nivel, esto también sucedió en los capítulos anteriores, lo atípico es que para este caso el resto de los valores pertenecientes a los demás niveles de vías se comportan de manera más homogénea, disminuyendo levemente casi el mismo valor del nivel 2 al 5.

Media de tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h): No hay mucho que decir, nada fuera de lo esperado, nuevamente el tiempo de recorrido disminuye cuando aumenta a la velocidad.

Media de tiempo (Min) vs. Giros Prohibidos (%): Este parece un resultado más lógico que los anteriores obtenidos para esta variable, el número de giros aumento de manera casi exponencial a medida que aumentan los giros prohibidos, esto indica que cuando el vehículo va recorriendo la malla vial para completar la ruta propuesta se encuentra con restricciones que lo obligan a tomar caminos con más número de giros, seguramente también más largos y engorrosos, pues las vías más directas concuerdan con dichas restricciones.

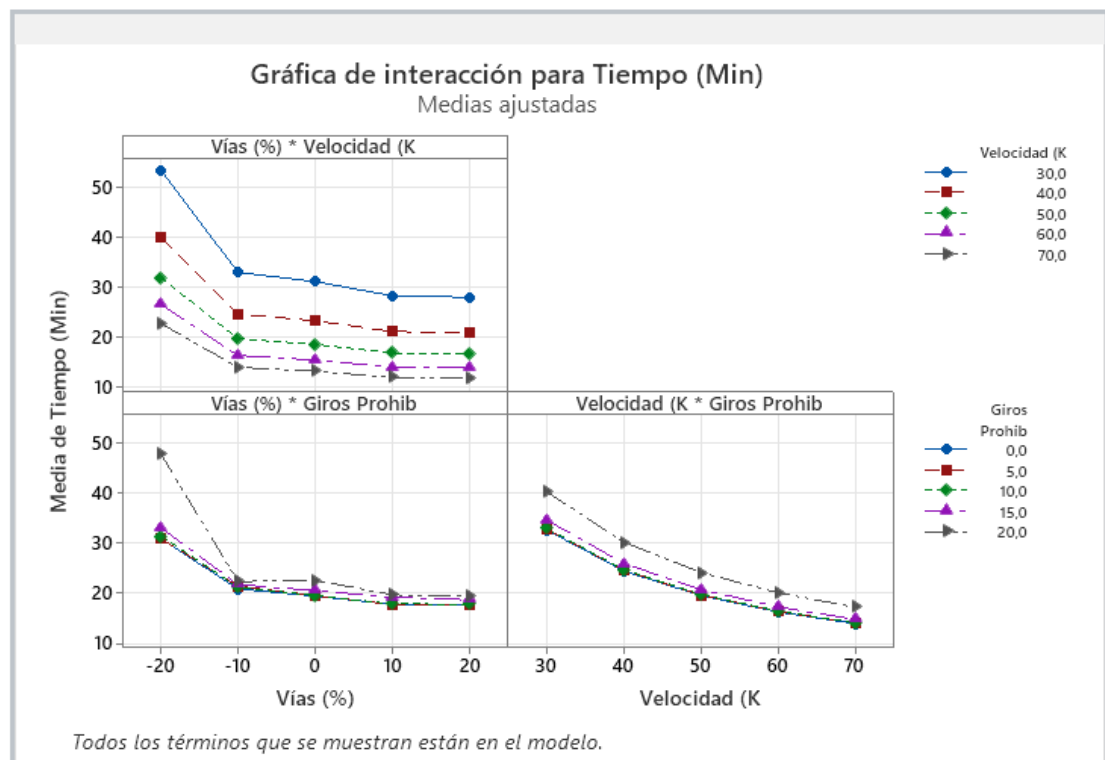


Ilustración 224: grafica de interacción para la variable tiempo en CD5 sintéticas 2

Media de tiempo (Min) vs. Vías (%) * Velocidad (km/h): Como ya se sabe que la velocidad va a hacer que el tiempo disminuya, pero que todos los niveles van a tener el mismo comportamiento, analizar esta grafica es como analiza nuevamente el diagrama de tiempo vs. Porcentaje de vías, se observa una relación inversa en donde el tiempo disminuye cuando el porcentaje de vías aumenta, y el único dato que difiere un poco de los demás se da en el primer nivel, debido seguramente a que el número de vías es tan bajo que el vehículo debe recorrer una gran distancias para resolver la ruta.

Media de tiempo (Min) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos (%): Lo primero que se puede decir al ver esta grafica es que sucede algo similar a lo ocurrido en la anterior, solo hay un gran salto entre dos valores en la respuesta de tiempo y es entre los dos primeros niveles de porcentaje de vías y de giros prohibidos, de aquí en adelante el comportamiento cambia, pues en la gráfica anterior la variable de respuesta sigue disminuyendo, en esta no lo hace mucho más y empieza a convertirse en un valor constante. Si esta fuere al única grafica a analizar para ver la calidad de la ruta basándose en el porcentaje de vías y de giros prohibidos, se diría que la calidad solo mejora del primer al segundo nivel y se mantiene constante durante los niveles 2, 3, 4 y 5.



Media de tiempo (Min) vs. Velocidad (km/h) * Giros Prohibidos (%): Aunque analizar el factor de velocidad resulta un poco redundante, puesto que ya se tiene certeza sobre cómo se va a comportar en casi todos los diagramas de este experimento se puede ver que es el factor que tiene mayor significancia en esta gráfica, todas las líneas referentes al porcentaje de giros prohibidos se comportan igual que si solo se graficara la velocidad contra el tiempo, cambiando solamente en el hecho de que con cada velocidad su tiempo de recorrido disminuye.



8.1.5.2 Distancia:

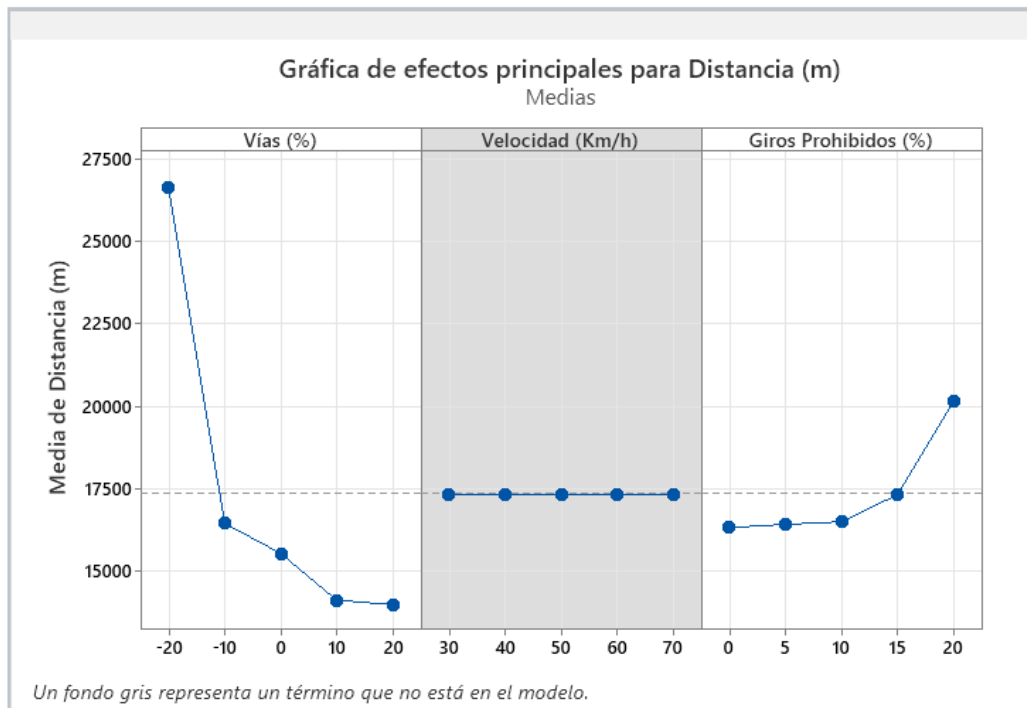


Ilustración 225: grafica de efectos principales para la variable distancia en CD5 sintéticas 2

Media de Distancia (m) vs. Vías (%): Como en la gráfica de velocidad, en esta gráfica se evidencia la dificultad que tiene el vehículo para completar la ruta propuesta en un nivel con el veinte % de tramos viales suprimidos, pues la variable de distancia también aumenta fuertemente frente a los otros niveles, en los que se ve una disminución constante después del segundo nivel y hasta llegar al cuarto, entre el cuarto y el quinto nivel la diferencia de distancias no es tan notoria, por lo que el aumento de la calidad entre estos últimos dos no es considerablemente alta.

Media de Distancia (m) vs. Giros Prohibidos (%): La cantidad de giros prohibidos también cambia drásticamente la distancia de recorrido de la ruta, esta al igual que el tiempo aumenta casi exponencialmente mientras el porcentaje de restricciones es mayor.

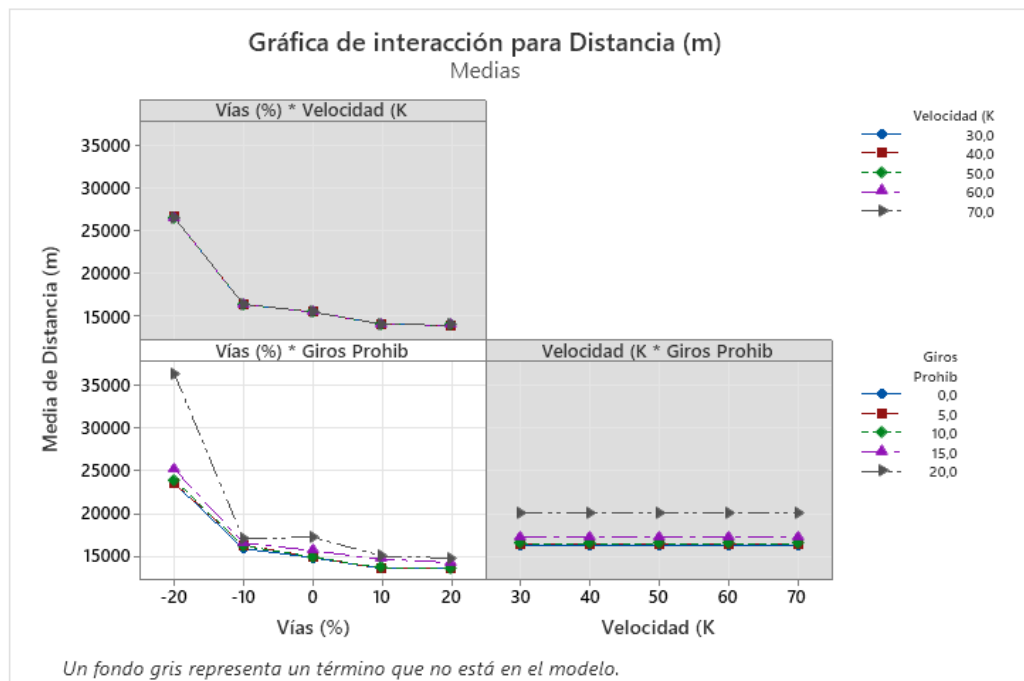


Ilustración 226: grafica de interacción para la variable distancia en CD5 sintéticas 2

Media de Distancia (m) vs. Vías (%) * Giros Prohibidos: A diferencia de las dos graficas anteriores, el cambio en la calidad o disminución de la velocidad no es tan evidente, claramente si disminuye la distancia de recorrido en los dos primeros niveles, en los próximos tiende a ser constante, aparentemente otro de los fenómenos que se ven es que la cantidad de restricciones contrarresta la mejora en la calidad que se espera al aumentar las vías de la red vial.



8.1.5.3 *Numero de Giros:*

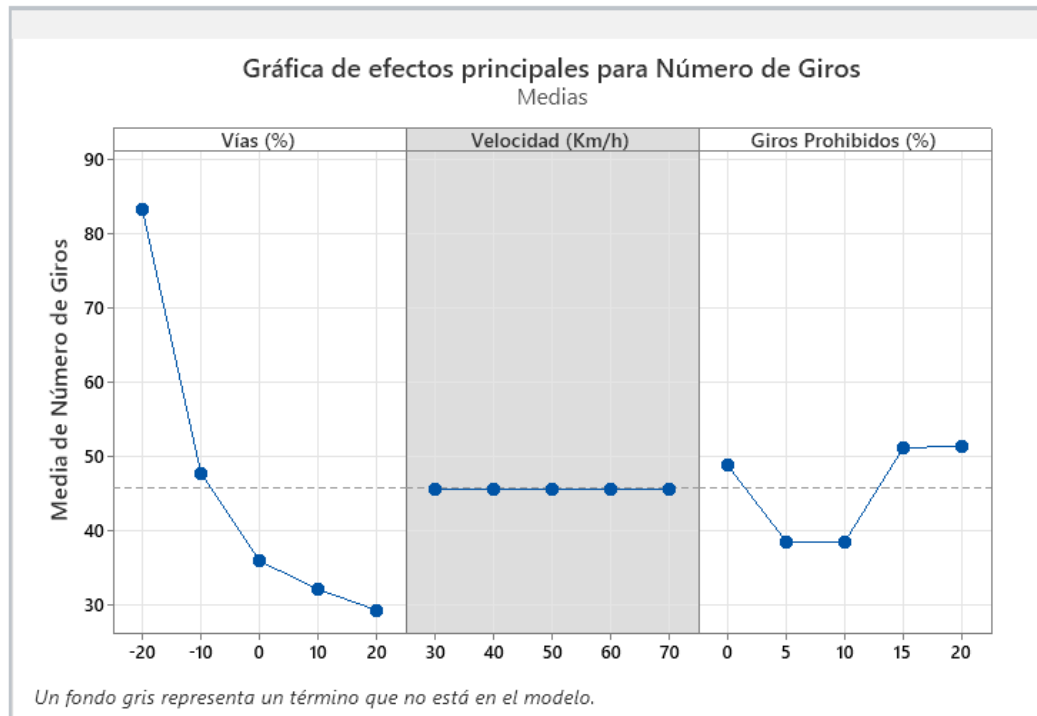


Ilustración 227: grafica de efectos principales para la variable de número de giros en CD5 sintéticas 2

Media de Numero de giros vs. Vías (%): Es claro lo que sucede en esta gráfica, a mayor cantidad de vías es menor la cantidad de giros, esto es natural, una red vial con más tramos viales da la posibilidad de recorrer una ruta más directa en la que intervengan menos giros.

Media de Numero de giros vs. Giros Prohibidos (%): Otra vez se vuelve evidente la aleatoriedad en esta media, de hecho, se puede decir que esta ha sido la gráfica con valores más aleatorio de todas, no cumple con el comportamiento aparentemente normalizado que habían adoptado las otras graficas de número de giros contra el porcentaje de giros prohibidos, con este resultado y los valores que parecían atípicos en las gráficas anteriores solo se puede concluir que no hay un comportamiento predecible entre estas dos variables, simplemente la cantidad de giros se puede ver afectada por el porcentaje de giros prohibidos de diferente manera dependiendo de la posición en las que se ubiquen estas restricciones y de la ruta que originalmente tome un vehículo para atravesar la ruta propuesta.

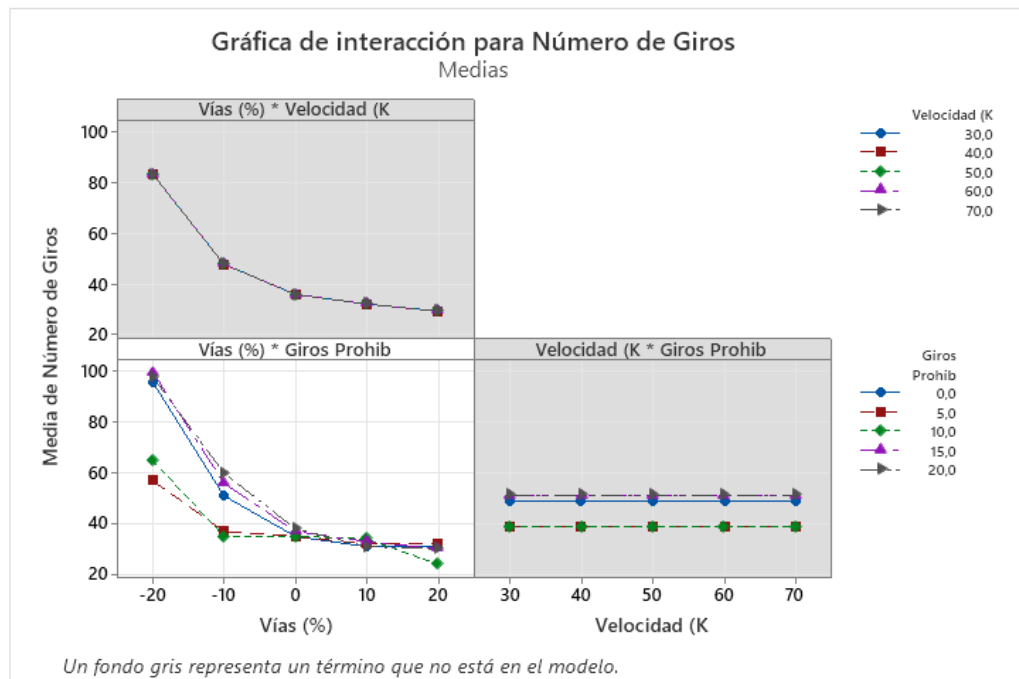


Ilustración 228: grafica de interacción para la variable de número de giros en CD5 sintéticas 2

Media de Numero de giros vs. Giros Prohibidos (%): como los giros prohibidos o las restricciones se posicionaron al azar, afectan de manera diferente a cada nivel de la respuesta de número de giros, el porcentaje de vías aumenta aparentemente haciendo que el número de giros disminuya; sin embargo, las restricciones aminoran esta mejor en la calidad en algunos escenarios, pues al ser ubicados al azar pueden afectar cualquier ruta que calcule el software haciendo que esta se deba modificar y la calidad de la ruta no pueda aumentar de manera significativa.



8.1.6 Análisis General del Ejercicio 1

Las siguientes conclusiones aplican para todas las redes viales teniendo en cuenta que al realizar el análisis se pudo observar que el comportamiento de todas ellas a lo largo del experimento fue básicamente el mismo.

Al analizar la influencia que tienen los tres factores sobre la calidad de los enrutamientos planteados en las redes viales de manera independiente se puede concluir que el factor con mayor grado de significancia es la velocidad de recorrido de la ruta. Como es lógico entre mayor es la velocidad menor es el tiempo de recorrido; sin embargo, no se puede aumentar la calidad de una malla vial tan solo modificando este valor debido a un gran número de factores que influyen en un escenario normal y que no se pueden tener en cuenta en un experimento como este, por ejemplo la restricción de una velocidad máxima dependiendo del tipo de vía, el estado de las vías, la semaforización y la cantidad de tráfico que recorra por los tramos viales evaluados, entre otros. Para un ejercicio real en donde no se pueda cambiar la velocidad máxima de un tramo vial este factor no tendría significancia, y pasaría a ser el menos influyente.

El segundo factor con mayor grado de influencia en los enrutamientos de estas redes es la cantidad de tramos viales que la compone, es lógico que entre más tramos viales tenga una malla vial entonces un vehículo que la recorra tendrá más opciones de recorrido y por ende puede encontrar rutas más cortas y rápidas; sin embargo, al analizar las gráficas anteriormente presentadas se puede ver que el aumento en la calidad después de aumentar el porcentaje de vías no es realmente muy alto. En el conjunto de datos CD2 Segovia si se ve un aumento medianamente significativo en la calidad de sus rutas en términos de distancia y tiempo de recorrido incluso en el nivel donde se añaden más vías, pero esta mejora es cada vez más pequeña, lo que indica que si se agregan más niveles seguramente al llegar a una adición de 40 o 50 % de vías la calidad no aumentaría más y se convertiría en un valor constante.

El factor menos influyente en el comportamiento de las rutas planteadas es el porcentaje de giros prohibidos, se concluye que esto es debido a varias cosas; la primera es que la ubicación de los giros prohibidos se realizó de manera aleatoria, lo que puede resultar en que en la ruta planteada lleguen a intervenir muchas restricciones, o bien ninguna, aunque esto último sea poco probable. Se debe resaltar también que el porcentaje de giros prohibidos fue calculado respecto a la cantidad de intersecciones que tiene la malla vial sin modificaciones, es decir que al aumentar o disminuir el número de tramos viales y por ende de intersecciones, no se aumentó



ni disminuyó el número de giros prohibidos, por lo que cuando se quitaron vías el mayor porcentaje de giros prohibidos lógicamente presento mayor afectación haciendo que el recorrido de las rutas fueran mucho más largo, mientras que al aumentar el número de vías, el porcentaje de giros prohibidos generó menos impacto en las rutas. En este punto cabe resaltar que en un escenario real los giros prohibidos no son ubicados de manera aleatoria y afectan las rutas de una manera diferente. El porcentaje de giros prohibidos tiende a aumentar la distancia, pero esto depende netamente de la ubicación de las restricciones, pues hubo escenarios en donde la distancia no aumento por que los giros prohibidos no afectaron la ruta evaluada.

El número de giros en las rutas de estas redes viales aumentó a medida que lo hacían el porcentaje de giros prohibidos y disminuía el porcentaje de tramos viales, el factor de velocidad no influyó en este resultado en ningún momento, este fue el comportamiento que se llegó a normalizar a medida que se realizaba el experimento, a pesar de esto se encontraron muchos datos atípicos debido a la aleatoriedad con que se pusieron los giros prohibidos, y que no siempre estaban ubicados en el camino de las rutas planteadas.



8.2 ANÁLISIS DEL EJERCICIO 2

Para el presente TFM se analizaron algunas rutas con comportamiento atípico, sin embargo, y teniendo en cuenta que la idea de este ejercicio es el evaluar el comportamiento de las rutas al cambiar la compleción de redes viales, la mayoría de datos se evaluaron como un mismo conjunto para cada red vial, las pocas redes con comportamientos atípicas analizadas, fueron estudiadas únicamente para entender la variación de respuesta en sitios puntuales de cada conjunto de datos.

8.2.1 Análisis CD1 Teruel

8.2.1.1 Tiempo

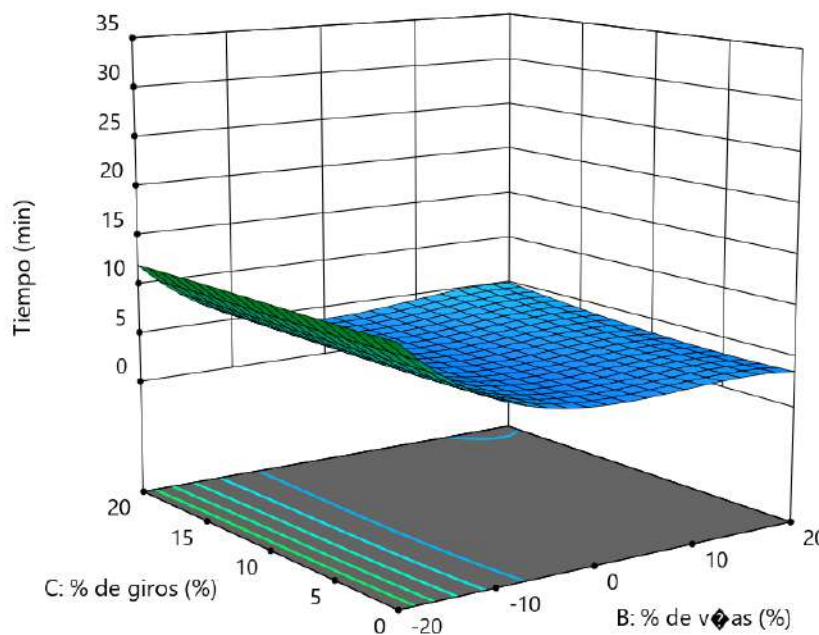
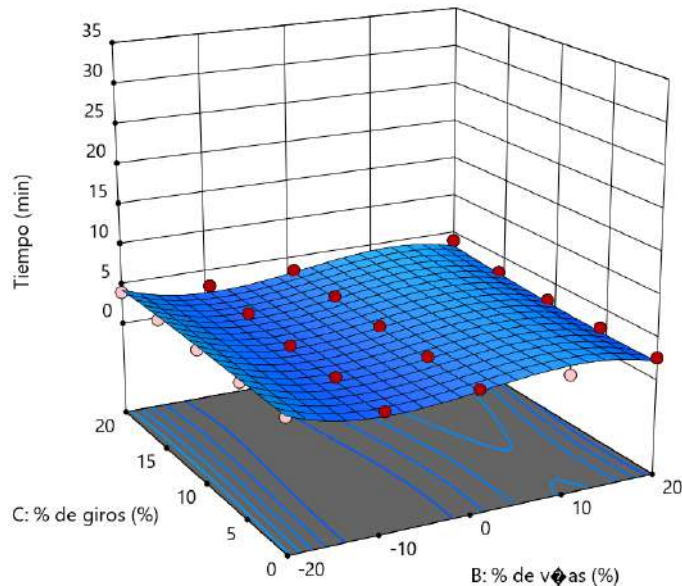


Ilustración 229: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D

Como se puede ver en las últimas dos gráficas, el tiempo de las rutas recorridas en CD1 Teruel existen cambios poco bruscos pero evidentes, los datos que más salen del promedio son los que corresponden a los escenarios en donde hay menos tramos viales hacendó que el tiempo de recorrido aumente, esto evidencia que efectivamente quitar demasiados tramos viales hace que la calidad del servicio de enrutamiento baje en términos de tiempo. Se espera entonces que aumentar los tramos viales haga que el tiempo baje, esto si está ocurriendo, pero en una medida



muy baja pues no cambian mucho los tiempos en los escenarios con tramo viales añadidos respecto a los escenarios donde no se editó la red vial. Un detalle importante a destacar, es que a simple vista se puede reconocer que para este grafo la afectación del factor de giros prohibidos es baja, haciendo que la respuesta tiempo no varíe aun en escenarios con el mismo porcentaje de vías, se ve que en los escenarios con 20 % de giros prohibidos el tiempo es bastante similar que los tiempos en escenarios donde no hay este tipo de restricciones, por otra parte el escenario en donde más aumenta el tiempo de recorrido debido a los giros restringidos es en el que hay 20 % de tramos viales adicionales y 20 % de restricción en giros, pero este cambio solo se ve en los escenario con mayor porcentaje de tramos viales y no es significativo para los demás. En términos generales al aumentar el número de tramos viales no está aumentando el tiempo de recorrido, se podría decir de antemano que no existe entonces una sobresaturación de vías; sin embargo, este valor tampoco disminuye, sino que tiene a ser constante, por lo que seguramente el continuar aumentando los tramos viales en porcentajes como 30 o 40, en lugar de reducir el tiempo tal vez lo haga aumenta por sobresaturación. Tal como se mencionó anteriormente hubo algunos escenarios en los que las rutas no se pudieron completar, para el caso del CD1 Teruel la mayoría de estos casos se dieron cuando el factor de giros prohibidos alcanzo el 10 %, cómo estas restricciones se dispusieron de forma aleatoria, es lógico pensar que este nivel de restricción por azar afectó más el servicio de enrutamiento que incluso otros escenarios en donde existen mayores restricciones.



Jump to run:	Run #
Term:	BC
A Ruta No:	64
B: % de vías:	X1
C: % de giros:	X2
Factor value:	

Ilustración 230: Comportamiento de la ruta 64 de CD1 Teruel

La ruta 64 muestra que, para este caso entre los escenarios sin modificación en el porcentaje de tramos viales, y los escenarios con una adición de 10 % de tramos viales el tiempo de recorrido resulta directamente proporcional a la cantidad de vías, es decir al revés de como resultaría lógico. Seguramente los tramos adicionales ubicados de manera aleatoria hicieron que la zona por la cual pasa esta ruta tenga una sobresaturación de vías en los escenarios de adición de 10 % de tramos viales, como se sumó tiempo adicional de 1 segundo a cada intersección vial, la gran cantidad de intersecciones que tiene esta ruta por la sobresaturación de vías genera un tiempo de recorrido mayor al de la misma ruta en escenarios sin adición de tramos viales, esto deja como conclusión que las restricciones que se puedan presentar en la vida real como cierres de vías por arreglos de la misma, o por casos extraordinarios como accidentes de tránsito pueden empeorar considerablemente la comodidad de una ruta.

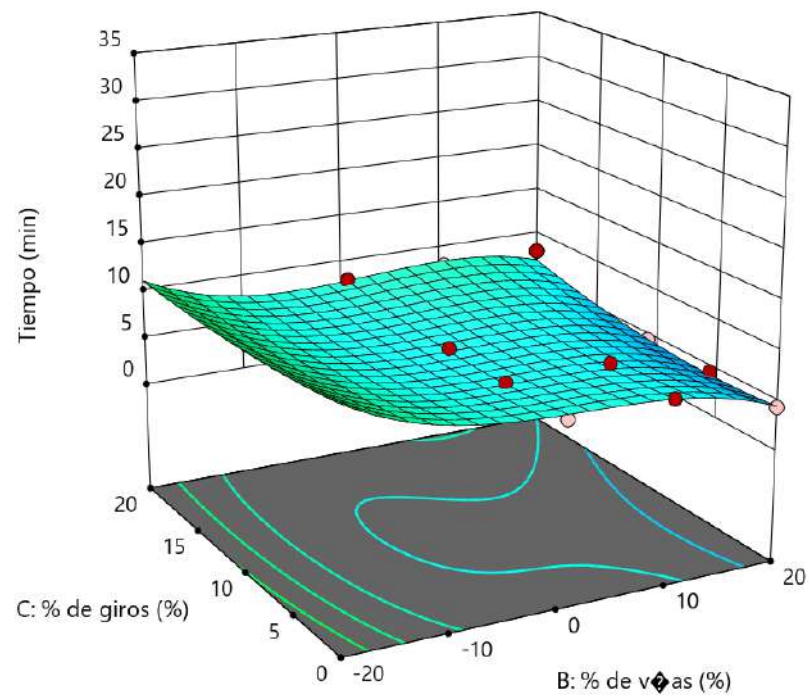


Ilustración 231: Comportamiento de la ruta 133 del CD1 Teruel

Lo que sucede para la ruta 133 es que en los escenarios de 10 % y 20 % de tramos viales eliminados al azar la ruta simplemente no se pudo resolver, de esta ruta se puede concluir que la zona de su afectación tiene omisión de vías, de tal manera que al quitar un porcentaje pequeño de las mismas resulta imposible conectar un punto con otro.

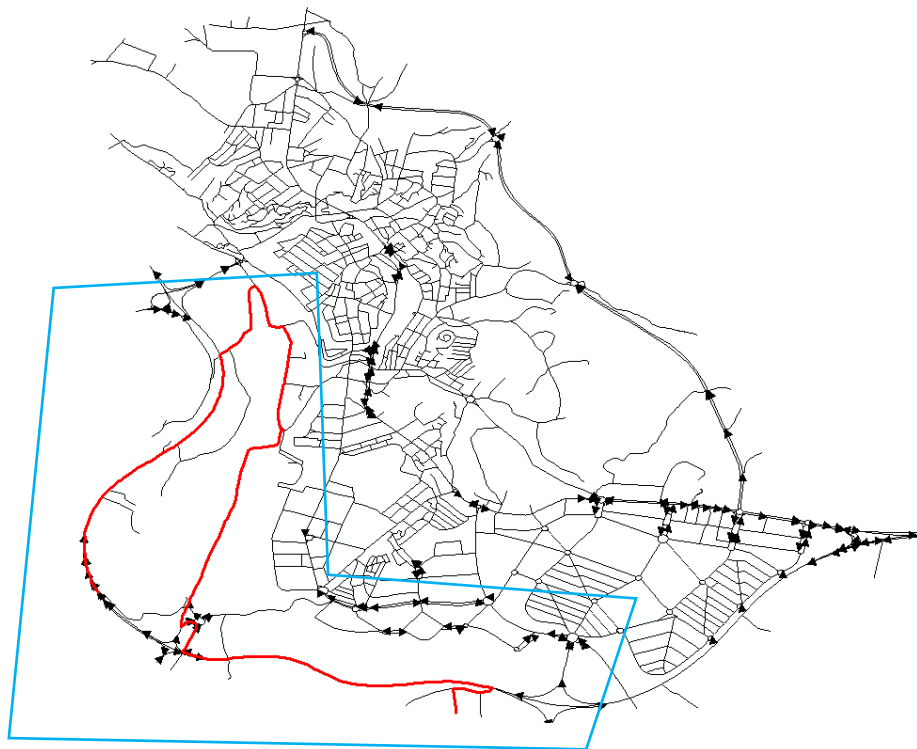


Ilustración 232: Ruta 133 en CD1Teruel

Al ver la ruta 133 sobre el grafo de Teruel se evidencia que efectivamente los dos puntos de inicio y final de esta se encuentran en una de las zonas más aisladas de la ciudad, las cosas se complican más al ver que el punto de inicio se sitúa sobre una avenida o carretera con un solo sentido, por lo que tiene que recorrer una gran distancia para tomar una salida de vuelta a su punto final, si se tiene en cuenta que esta es una vía circunvalar a la ciudad se podría decir que realmente es normal que en esta zona no haya muchos más tramos viales; sin embargo, desde un punto de vista técnico en el que se quiere que todo el grafo cuente con una conectividad eficiente se debe catalogar esta zona suroccidente de Teruel como con un número insuficiente de tramos viales.

A nivel general, evaluando la respuesta de tiempo, se puede concluir que esta ciudad no tiene un número ineficiente de tramos viales y que esta ineficiencia se presenta solo en zonas muy específicas, como la resaltada en color azul en la ilustración 232, y que se encuentran en las afueras de la ciudad, esto no significa que la red vial no pueda mejorarse, pues en los escenarios donde se agregaron vías no hubo aumento de tiempo, pues no hubo tampoco sobre saturación de las mismas, los tiempos serían similares pero los usuarios tendrían más opciones de desplazamiento. En cuanto a los giros prohibidos, para este caso si están afectando el tiempo de recorrido de las rutas de una manera muy leve y un poco más elevado en lugares puntuales, esto



sugiere que la ciudad tiene en general una buena disposición geográfica de sus tramos viales, aunque el tránsito puede empeorar si se presenta algún factor que restrinja el mismo en lugares puntuales.

8.2.1.2 Distancia

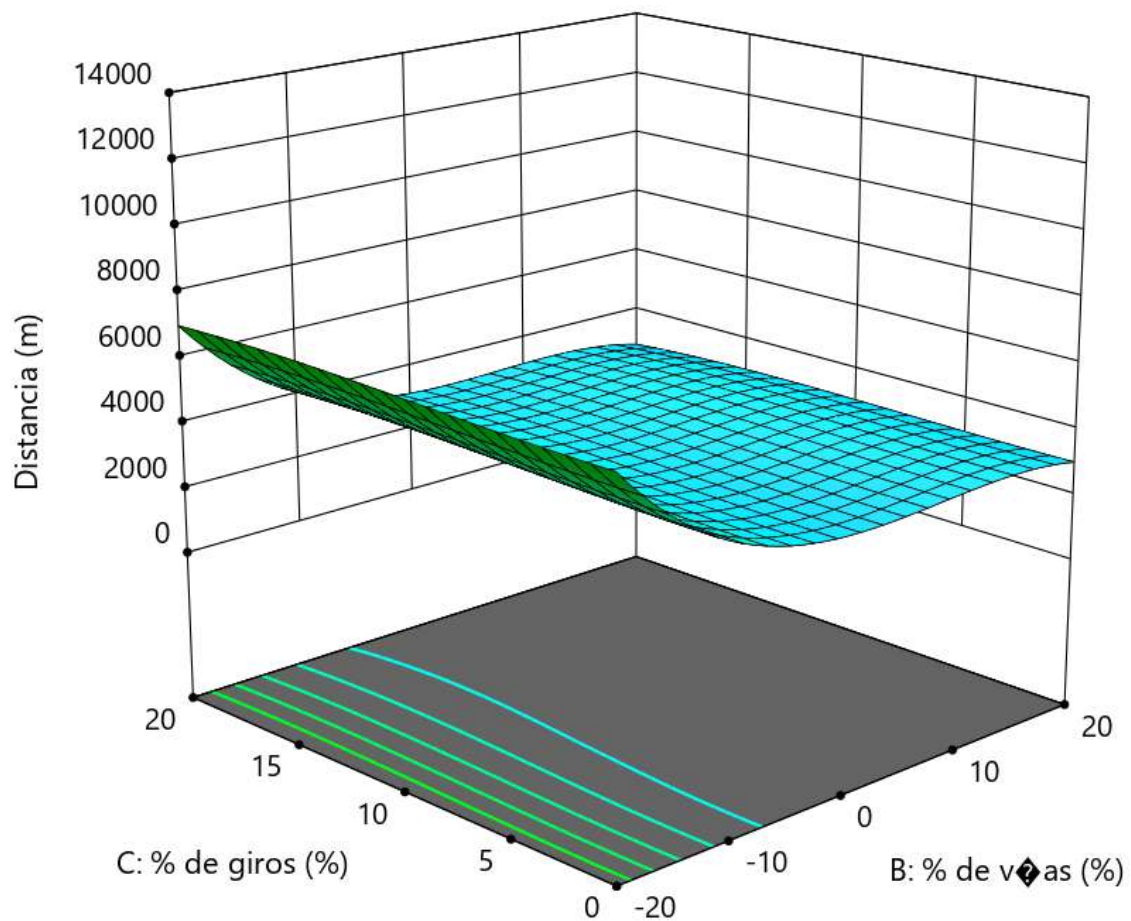


Ilustración 233: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D

La distancia se comporta de una manera parecida al tiempo, lo más obvio es pensar que a mayor cantidad de vías se reducen tanto el tiempo como la distancia de recorrido, en la ilustración anterior se observa que la distancia disminuye con el aumento de redes viales y aumenta directamente proporcional a la restricción de giros.



8.2.1.3 Número de giros

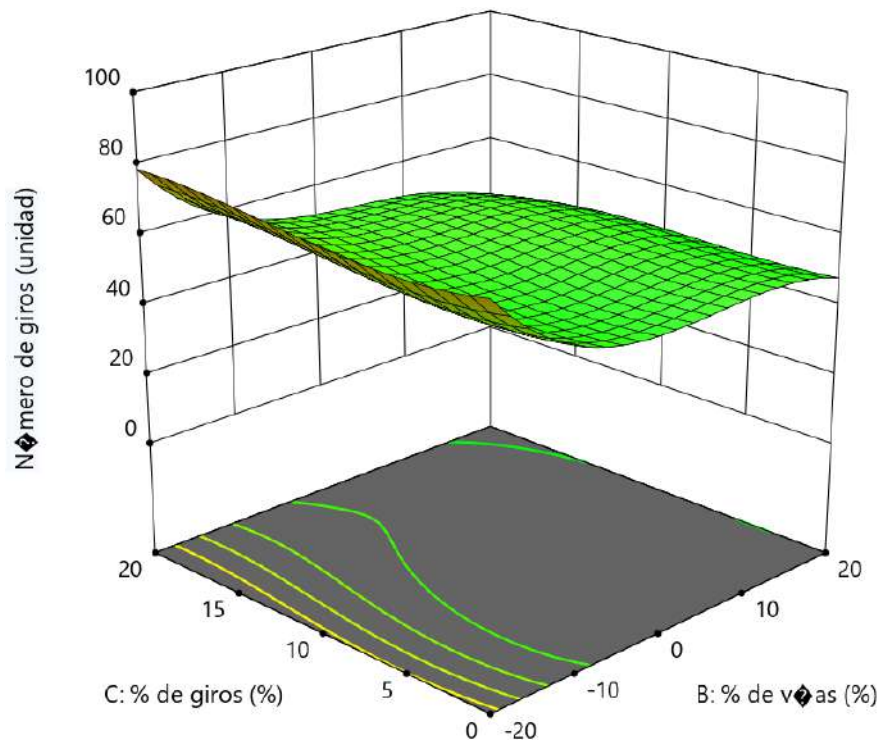


Ilustración 234: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD1 Teruel en 3D

Es difícil definir el comportamiento del número de giros en el experimento, son muchos los factores que pueden interferir en este resultado más allá de los que se evaluaron, y que están más ligados al azar, como el lugar por el que pase la ruta, el lugar exacto en el que estén dispuesto el punto de partida y de llegada, la configuración y disposición de tramos viales en las redes, entre otros. En términos generales se ve que aumenta la cantidad de giros a medida que disminuyen los tramos viales y aumentan también las restricciones en giros; sin embargo, por los factores aleatorios mencionados anteriormente los resultados varían sobre todo dependiendo de la ubicación de cada ruta.

8.2.1.4 Análisis general



La red vial de Teruel presenta un aumento de capacidad de enrutamientos directamente proporcional con el número de tramos viales, este aumento es poco significativo pero existe, de la misma manera las rutas tendieron a empeorar con la disminución de tramos viales de una manera notable, aunque las condiciones de la red vial en su estado actual no están mal, si pueden mejorarse, al ver los resultados del experimento se determinó que el aumento de tramo es las rutas puede aumentar significativamente, no tanto debido al número de tramos viales como a la disposición de los mismos, aunque es menos evidente que en otros grafos como es el caso de CD3 Cota. Los arcos de este grafo no tienen la mejor disposición y es debido a esta razón que es la red vial con mayor afectación por el factor referente a restricción de giros, el problema que seguramente tiene esta red vial es que sus tramos no se dispusieron de manera eficiente posible por la topografía de la zona. En términos generales esta red vial no presenta saturación de vías, y la insuficiencia de vías se presentan en zonas a las afueras de la ciudad que posiblemente pertenecen a zonas rurales o industriales. las rutas que presentaron mayores problemas y disminución en su calidad respecto a tiempo y distancia se dieron en estas zonas.



Ilustración 235: insuficiencia de vías en CD1 Teruel

8.2.2 Análisis CD2 Segovia



8.2.2.1 Tiempo

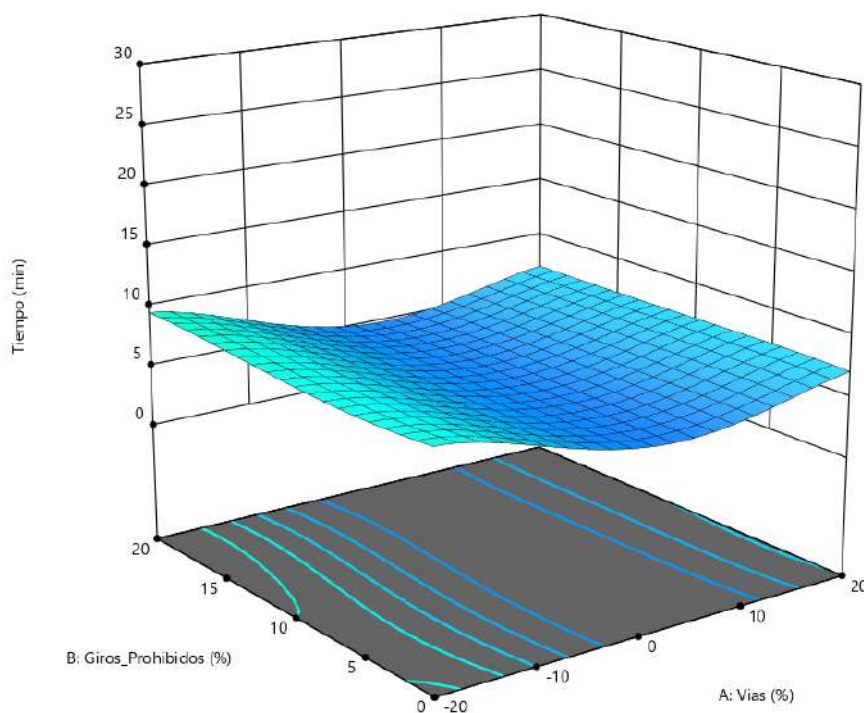
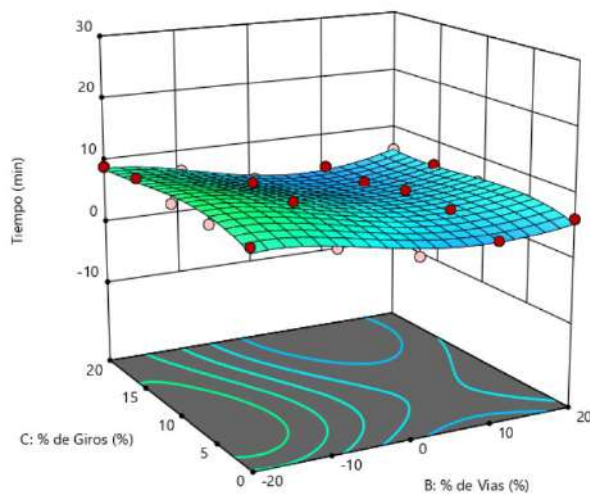


Ilustración 236: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia

En términos generales se ve que el experimento funciona de manera lógica, es decir, a mayor número de vías se disminuye el tiempo de recorrido en general; sin embargo, para las rutas del escenario con 20 % más de tramos viales, esto no sucede; la explicación es que hay una sobresaturación de vías, como se sumó un tiempo de 1 segundo a cada intersección vial, el tiempo para estos escenarios en lugar de disminuir aumenta un poco, una conclusión entonces es que a nivel general cuando a CD2 Segovia se aumentan el 20 % de tramos viales existe un saturación ineficiente en sus arcos. Por otro lado, el tiempo de recorrido disminuye hasta el nivel de más 10 % de tramos viales, por lo que a nivel general en función de tiempo la forma de tener una mayor calidad en el servicio de enrutamiento en esta red vial es aumentando solamente 10 % de tramos viales.

A continuación, se muestran algunas de las rutas atípicas o las más dicientes como ejemplo de lo que sucede en cada una de ellas.



Jump to run:	Run #
Term:	BC
A: Ruta No.	14
B: % de Vías	X1
C: % de Giros	X2
Factor value:	

Ilustración 237: Ruta 14 con aumento en tiempo por comisión de vías en CD2 Segovia

Al evaluar la ruta No 14, se observa un claro ejemplo de comisión en tramos viales, al ver la ilustración, se confirma que para el escenario donde se suma un 20% de tramos viales, el tiempo de recorrido de la ruta sobrepasa a los tiempos obtenidos en escenarios con más 10% de tramos viales, e incluso sobrepasa los tiempos de la red vial sin modificaciones en su número de arcos, esto se puede dar por la sobresaturación de rutas y el tiempo de 1 segundo que se adiciona a la ruta por cada intersección vial que atraviese.



8.2.2.2 Distancia

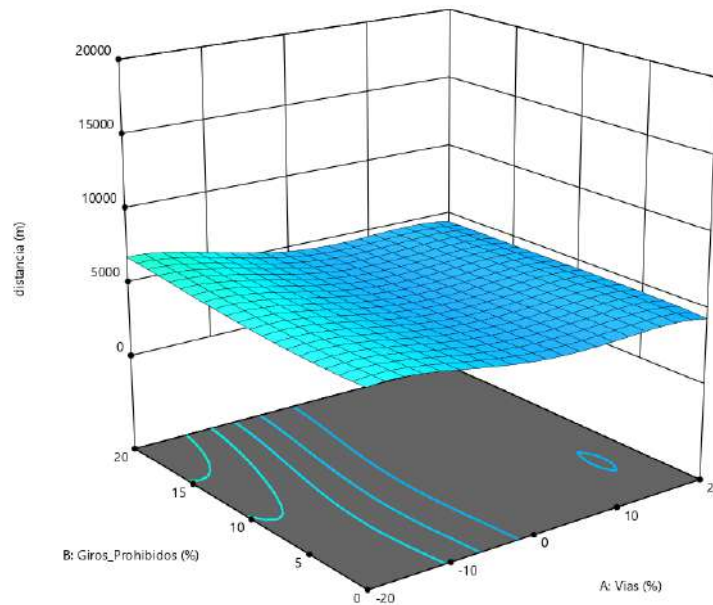


Ilustración 238: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia

En términos generales se ve que el experimento funciona de manera lógica, es decir, a mayor número de vías se disminuye la distancia total de recorrido de las rutas pues se tienen muchas más alternativas para el desarrollo de las mismas; sin embargo, el descenso del tiempo es cada vez menos pronunciado a medida que se añaden tramos viales en el experimento, la explicación de que esta respuesta tienda a un valor constante es que las rutas ya son suficientemente directas y compuestas seguramente por líneas largas y rectas, si por ejemplo una ruta conecta un punto con otro a través de una línea recta, al agregar más tramos viales a la malla vial por la que circula esta ruta su distancia de recorrido no cambiara, sucede lo mismo con este conjunto de datos, lo que también causa una comisión de arcos en los escenarios donde se añaden tramos viales.



8.2.2.3 Número de Giros

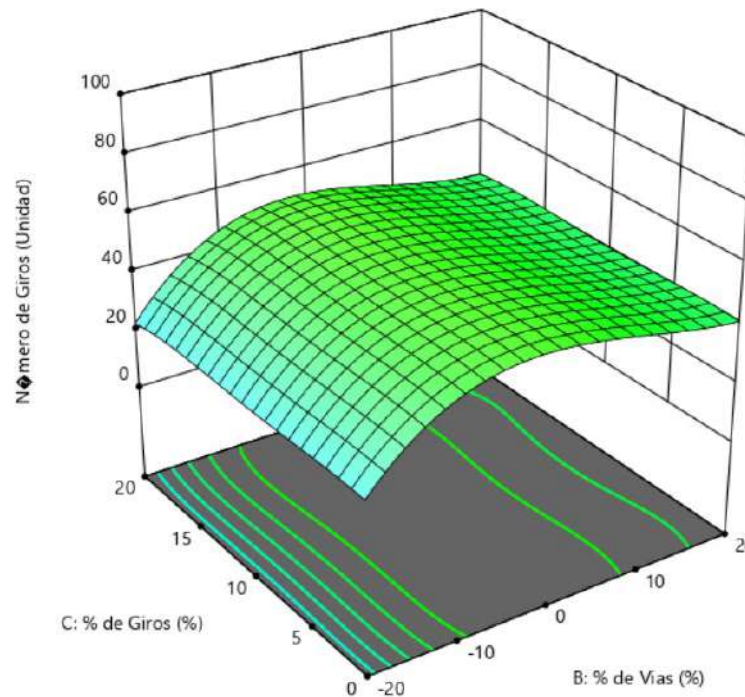


Ilustración 239: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en 3D CD2 Segovia

En la presente grafica se ve un comportamiento diferente al de los dos análisis anteriores de tiempo y distancia, este comportamiento es similar en los escenarios con más tramos viales; sin embargo, en lugar de aumentar con la falta de tramos viales, esta respuesta descende, esto quiere decir que en estos escenarios las rutas se desarrollan haciendo uso de tramos largos y pocos giros, pues existe una ausencia de oportunidades de atajos y desvíos que ayuden a conectar el punto de inicio con el punto de llegada.



8.2.2.4 *Análisis general*

Esta red vial presenta un buen resultado para las rutas obtenidas, esto debido a que cuenta con un buen número de tramos viales para el área en general, al aumentar la cantidad de tramos viales en un 10 % se presentó una mejora mínima de calidad tanto en términos de tiempo como en distancia, con un 20 % de tramos viales la mayoría de redes arrojaron como resultado más tiempo de recorrido, esto debido a que para cada ruta se agregó 1 segundo en tiempo de recorrido por cada intersección vial.

En cuanto al número de giros fue más difícil de evaluar los datos, esto debido a que se plantean de forma aleatoria y su comportamiento en el experimento puede ser muy variable.

El factor referente restricción de giros no afectó en gran medida los datos del experimento, las afectaciones más frecuentes se dieron en las zonas donde dichos giros impedían el uso de las autopistas, haciendo que el software generara las rutas por las calles de menor velocidad.

Por último, en general para el comportamiento del promedio de todos los datos para los 3 factores se observa una tendencia a cero en los escenarios donde se resta 20% de vías, lo anterior se da por la omisión grave de vías en determinadas zonas, así que esto acompañado de la condición de giros prohibidos inhabilitaba el correcto desarrollo de las rutas, teniendo zonas críticas.

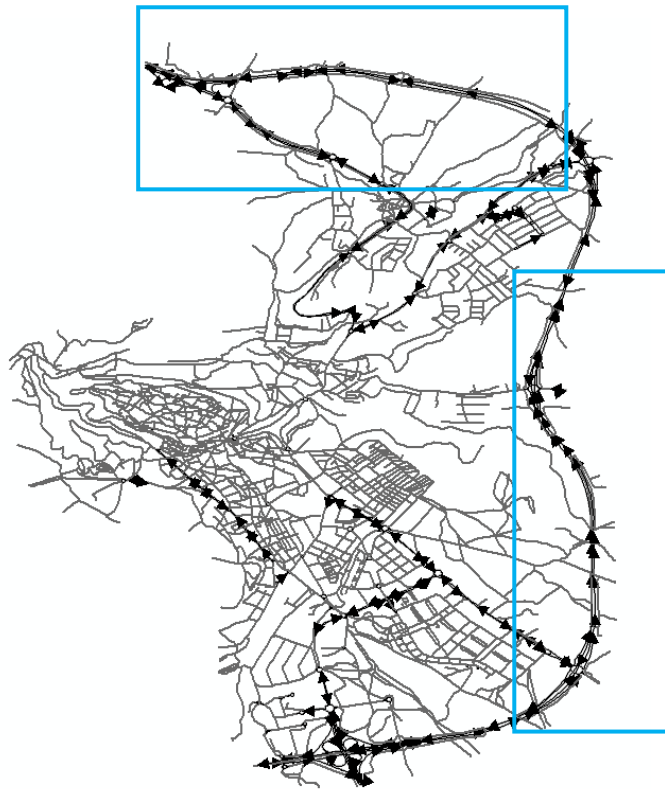


Ilustración 240: insuficiencia de vías en CD2 Segovia



8.2.3 Análisis CD3 Cota

8.2.3.1 Tiempo

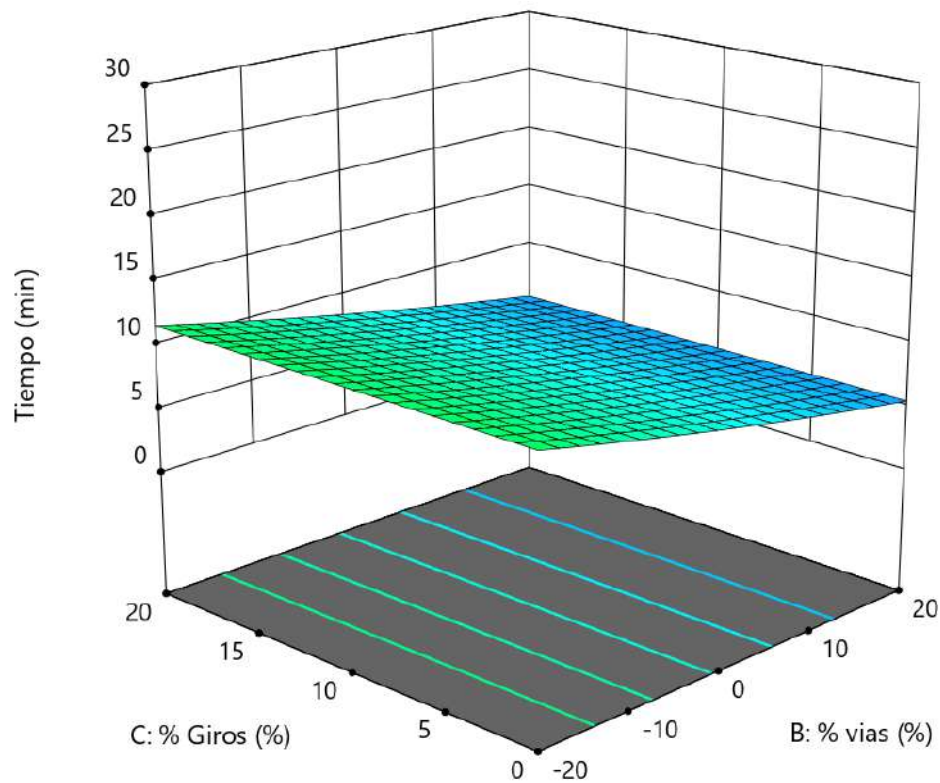


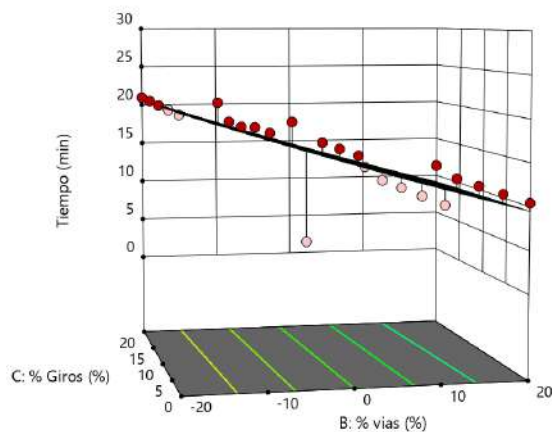
Ilustración 241: Grafica de tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D

Para la red vial de Teruel es claro el aumento en la calidad en términos de tiempo a medida que se aumentan los tramos viales, la gráfica que dibuja el software es prácticamente la de un escenario perfecto en donde el tiempo de recorrido es inversamente proporcional al número de tramos viales en un conjunto de datos, otra cosa que podemos concluir es que la red vial a nivel general tiene un problema de insuficiencia de vías. Al estudiar esta respuesta en las otras redes viales se ve que la disminución del tiempo tiende a reducirse a medida que se adicionan tramos viales, esto para por dos razones; la primera es que el aumento de estos tramos no necesariamente mejoran el tiempo de una ruta, pues cuando esta es prácticamente la línea recta entre dos puntos el hecho de aumentar tramos viales no mejorara la trazabilidad de la misma, la segunda razón es el tiempo adicionado de 1 segundo para cada intersección vial con el fin de detectar la sobresaturación de los tramos viales, el hecho de que el tiempo siga disminuyendo a medida que se aumentan tramos viales quiere decir que la red vial tiene tan pocas vías que mejora drásticamente con cualquier adición aunque esta como es el caso de ejercicio no pase



de un 20%, y seguramente siga mejorando aun cuando este porcentaje se eleve hasta 30 o incluso 40, lamentablemente este experimento no tiene el alcance suficiente para evaluar estos escenarios, pero si nos muestra claramente la poca efectividad en términos de tiempo de las rutas en la red vial actual respecto a las redes ficticias construidas con más vías.

En cuanto a la significancia de la restricción de giros es prácticamente nula.



Jump to run:	Run #
Term:	BC
A: Route File:	169
B: % vías:	X1
C: % Giros:	X2
Factor values:	

Ilustración 242: Comportamiento de la ruta 169 respecto a distancia en CD3 Cota

La ruta 169 por ejemplo muestra que efectivamente el aumento de los tramos viales no es necesariamente disminución de tiempo, para este caso la ruta no cambia entre los escenarios con 10% y 20 % más de redes viales. Por otra parte, vemos que la gráfica de resultados predichos por el software sigue siendo una línea recta, ya que la gran mayoría de rutas si tiene una diferencia notable de disminución de tiempo vs. Aumento de tramos viales.

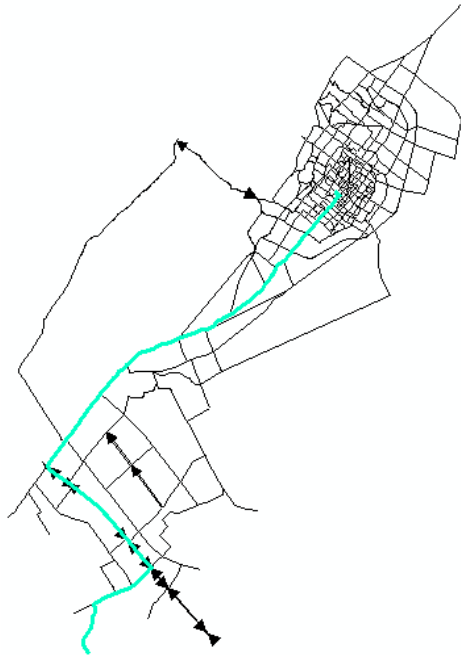


Ilustración 243: Ruta 169 en CD3 Cota

En general las rutas que se encuentran hacia el costado norte de esta red vial tienen ese mismo comportamiento en donde no disminuye el tiempo con el número de redes viales, como es evidente esta es la zona en donde más saturación de tramos viales hay, e incluso a simple vista se ve una pequeña zona el centro con un número alto de tramos en un área muy pequeña. Por lo demás es evidente que en el sur pasa todo lo contrario, las rutas de esta zona no siempre pueden completarse y siendo una zona con incluso más área que el costado norte tiene un número mucho menor de tramos viales dejando entender a simple vista una omisión clara.



8.2.3.2 Distancia

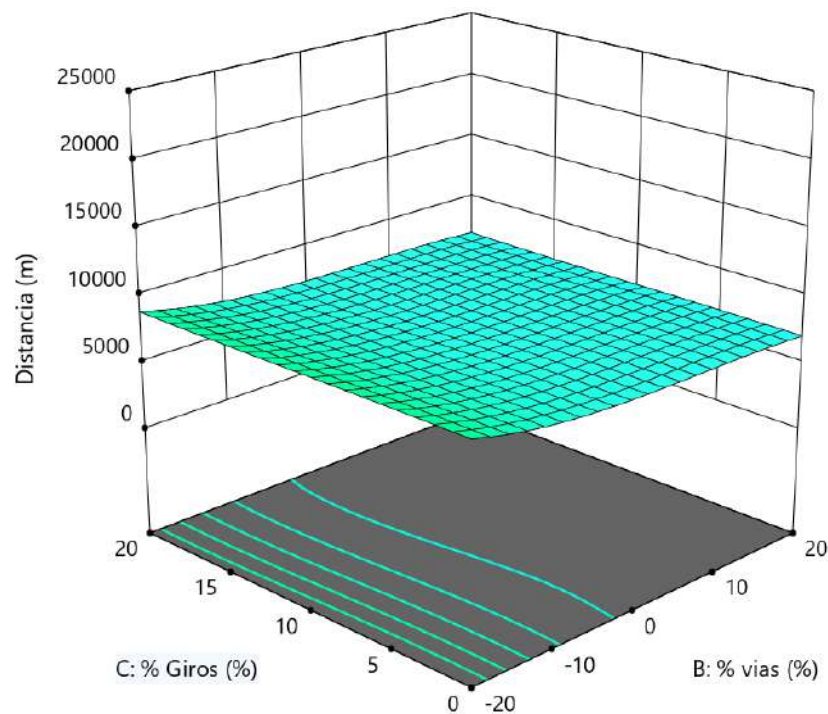


Ilustración 244: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D

Esta grafica no es tan reveladora como la del promedio de la respuesta tiempo, si bien se ve un desmejoramiento en la distancia de recorrido para los escenarios con menos tramos viales, también es evidente que el hecho de añadir más tramos viales no ayuda mucho, pues la distancia es un valor cada vez más constante, esto sucede seguramente a que muchas de las rutas toman la autopista para llegar a su destino y la distancia suele ser siempre similar, esta respuesta no evidencia severamente omisión de tramos viales pues en términos generales las rutas solo aumentan su distancia de recorrido en los escenarios más críticos, y una saturación de arcos tampoco se evidencia por el hecho de que la autopista sirve para resolver un gran número de rutas.



8.2.3.3 Número de giros

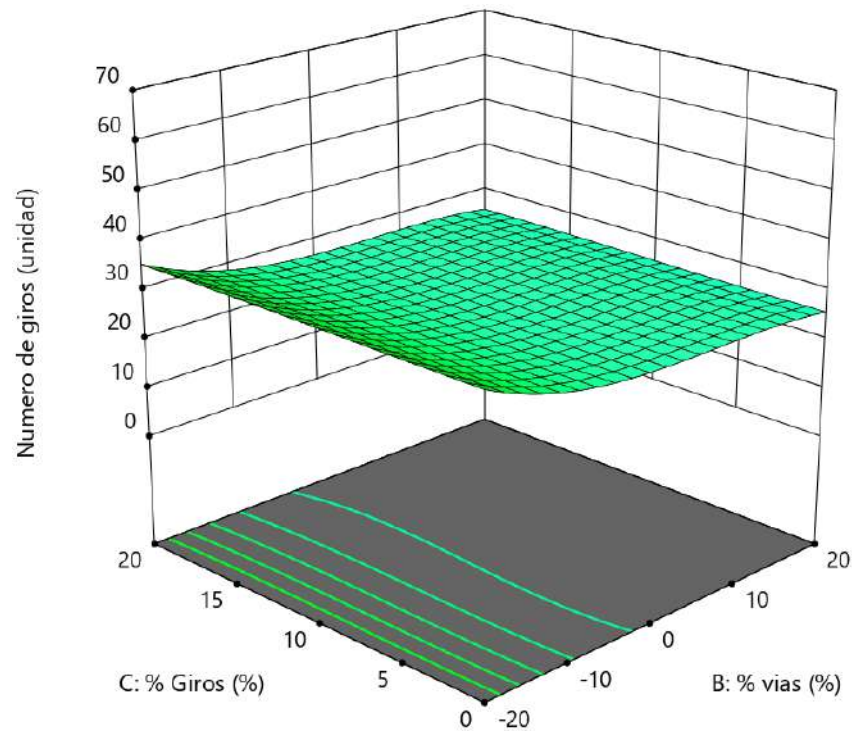


Ilustración 245: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD3 Cota en 3D

Esta respuesta se comporta de manera similar a la respuesta “Distancia de recorrido”, el número de giros es inversamente proporcional a la cantidad de tramos viales con los que cuenta el conjunto de datos, notándose más esta diferencia en los escenarios donde la cantidad de tramos viales es menor y tendiendo a convertirse en un valor constante en los escenarios con más tramos viales, aunque esta respuesta es la más aleatoria podemos concluir que puntualmente para esta red vial la modificación de compleción de datos no tiene una gran significancia, especialmente la restricción de giros, que no arroja grandes cambios en la respuesta aún en diferentes escenarios.



8.2.3.4 *Análisis general*

Esta es la red vial más fácil de analizar a simple vista, ya que los resultados obtenidos son los esperados con incluso solo ojear el grafo, en la parte norte correspondiente a la parte urbana es en donde más hay disposición de vías, esto es natural; sin embargo, la cantidad de tramos viales en esta zona es demasiado elevada para el área que ocupa, los arcos presentan gran saturación sobre todo puntualmente en la parte central de esta zona, en contraposición a lo anterior a las afueras de la ciudad y sobre todo en el costado sur, siendo esta la mayor parte del área cubierta por el grafo, existe insuficiencia de vías teniendo solo dos carreteras que conectan la parte sur con la parte norte. Las rutas que se focalizaron en el centro de la zona urbana presentaron un aumento de tiempo debido a la sobresaturación de tramos, a pesar de esto, como el área es tan pequeña es un número muy reducido de rutas las que presentan este comportamiento. El factor referente a giros prohibidos no tuvo ningún tipo de afectación a grandes rasgos, resulta lógico que si hay obstáculos en las pocas vías del sur de red vial entonces estos tengan una gran afectación, pero esto no sucedió, debido a que los giros dispuestos al azar están en su gran mayoría en la parte norte debido a que es aquí donde están la mayoría de nodos del grafo. En términos generales el comportamiento de las rutas mejoró con el número de tramos viales.

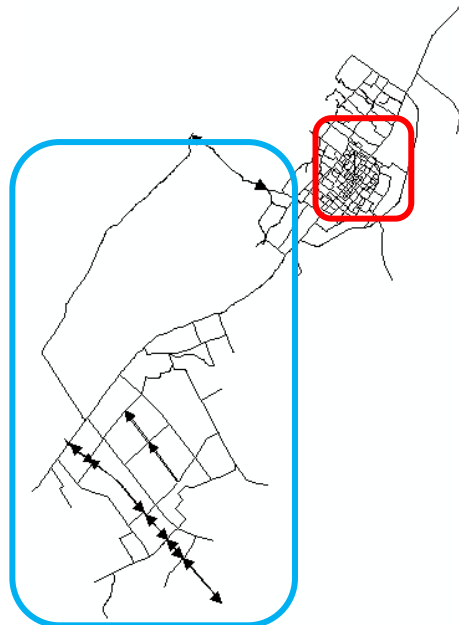


Ilustración 246: Saturación e insuficiencia viaria en CD3 Cota



En pocas palabras para mejorar el comportamiento de esta red vial se debe añadir un número importante de tramos viales en el costado sur y hasta clausurar o cerrar tramos viales en el centro urbano que solo implican un mayor tiempo de recorrido por la cantidad de intersecciones viales. Cabe resaltar también que en la realidad no suelen haber muchos reportes de tráfico pesado en esa zona por tratarse de una ciudad con una población reducida.



8.2.4 Análisis CD4 Sintéticas 1

8.2.4.1 Tiempo

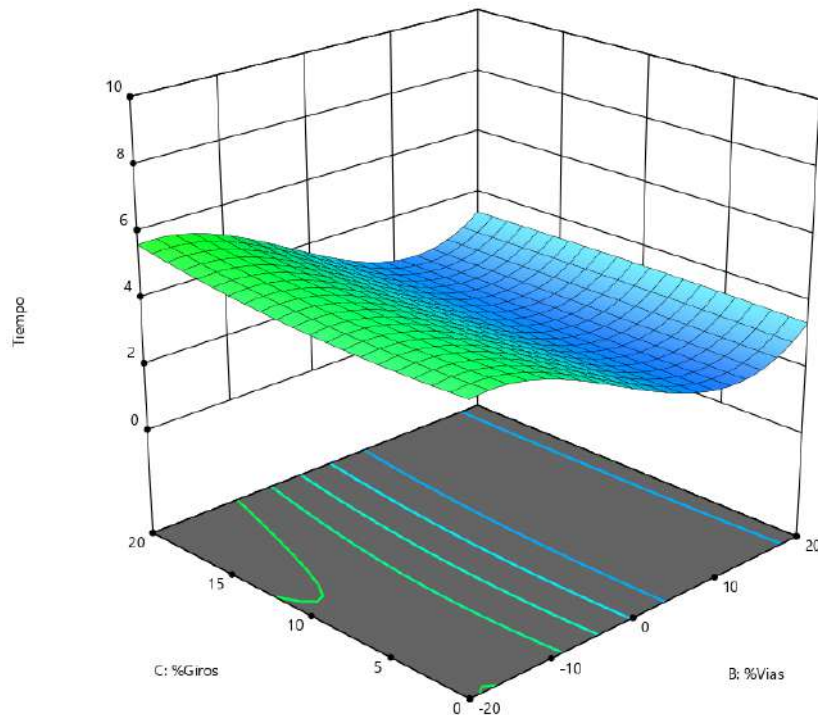


Ilustración 247: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D

En términos generales se ve que el experimento funciona de manera lógica, es decir, a mayor número de vías se disminuye el tiempo de recorrido; sin embargo, para las rutas en los escenarios donde la red vial tiene un 20 % más de tramos viales, esto no sucede; la explicación es que hay una sobresaturación de vías, como se sumó un tiempo de 1 segundo a cada intersección vial, se observa que el tiempo para estos escenarios en lugar de disminuir, aumenta. Una conclusión entonces es que a nivel general cuando a CD4 Sintéticas 1 se aumenta el 20 % de tramos viales existe comisión en sus arcos. Por otro lado, el tiempo de recorrido disminuye hasta el nivel de más 10 % de tramos viales, y luego tiende a ser constante por lo que nuevamente a nivel general se podría concluir que en función de tiempo la forma de tener una mayor calidad en servicio de enrutamiento es aumentando un 10 % de tramos viales y no más.



8.2.4.2 Distancia

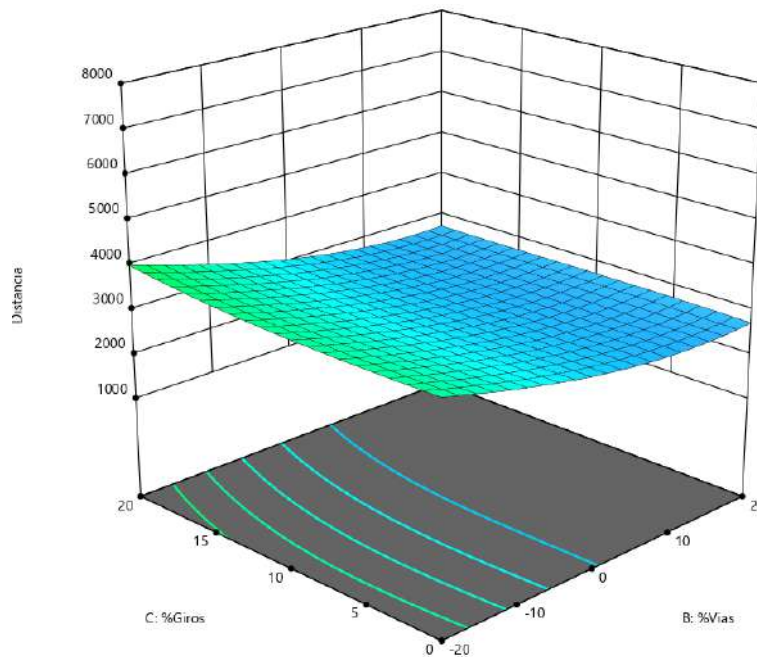


Ilustración 248: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D

A diferencia de la gráfica de tiempo, esta última grafica que representa el promedio de la distancia a lo largo de todo el ejercicio es más plana y corresponde más a lo que se esperaría, que es una menor distancia en los escenarios con más vías, debido a que un conductor tendrá más opciones para encontrar una ruta más corta en términos de longitud, otra diferencia con el resultado de tiempo es que la distancia no sirve para saber cuándo hay comisión de arcos en un grafo, por lo que sería un caso extraño el de una ruta que recorra más distancia en un escenario con muchos tramos viales que con tramos escasos. Otro comportamiento esperado que se cumple es que, aunque la distancia sea inversamente proporcional al número de tramos viales esta tiende a un valor constante del cual no puede disminuir, este es el tiempo de recorrido si hubiese una línea recta entre el punto de inicio y de fin que se conectan por medio de la ruta trazada.



8.2.4.3 Número de giros

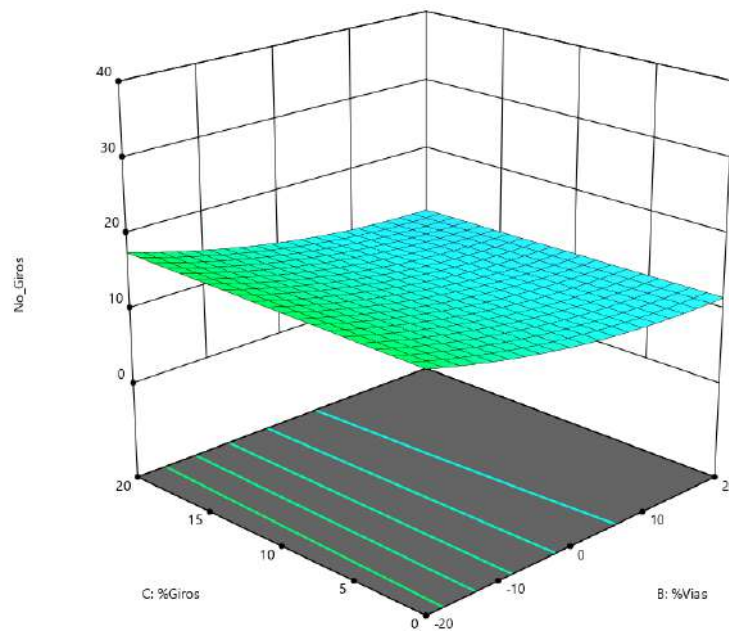


Ilustración 249: Grafica de Número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD4 sintéticas 1 en 3D

Lo que se aprecia en la grafica anterior es que las rutas con menor número de giros se dan en los escenarios con mayor cantidad de tramos viales y mayor número de giros restringidos, mientras que las rutas con más giros se dan en los escenarios con menor cantidad de tramos viales y más restricciones en giros.

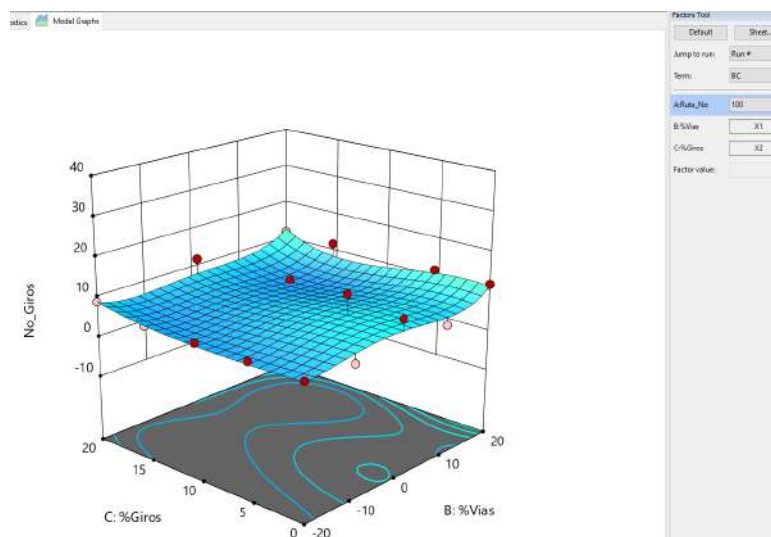


Ilustración 250: Ruta 100 con aumento en Número de giros a medida que aumentan las vías en CD4 Sintéticas 1



Para la ruta No 100 en general aumenta el número de giros a medida que también lo hacen el porcentaje de tramos viales tal como se ve en la ilustración 248, seguramente al haber un mayor número de rutas el software busca la más rápida, pero tiene que tomar más curvas para lograrlo.



8.2.4.4 *Análisis general*

En general las condiciones actuales o normales de esta red vial presentaron un buen resultado para las rutas planteadas debido a que cuenta con un buen número de tramos viales para el área que cubre y los mismo están dispuestos de una manera organizada generalmente en forma de cuadrícula, al aumentar la cantidad de tramos viales en un 10 % se presentó una mejora mínima tanto en términos de tiempo como en distancia, con un 20 % de tramos viales la mayoría de redes viales arrojaron como resultado más tiempo de recorrido, esto debido a que para cada ruta se agregó 1 segundo por cada intersección vial que atravesaran y detectar así la saturación de vías, las únicas rutas que no presentan este aumento en tiempo de recorrido se dan en el costado suroccidente de la red, en donde la densidad de tramos viales es menor.

En cuanto al número de giros fue más difícil de evaluar y la conclusión obtenida respecto a este es que es ajena a los factores manejados en el experimento para esta red vial y que depende principalmente de la ubicación de las rutas.

El factor referente a restricción de giros no afectó en gran medida los datos del experimento, las afectaciones que más se vieron están en los giros que impiden usar la autopistas, debido a que obligaban a que el software desarrollara dichas ruta por calles con menos velocidad de recorrido, se puede concluir entonces que en una red vial con número y disposición ideal, las restricciones u obstáculos que se puedan llegar a presentar no deberían tener una gran afectación si no se ubican en lugares críticos como avenidas o autopistas.

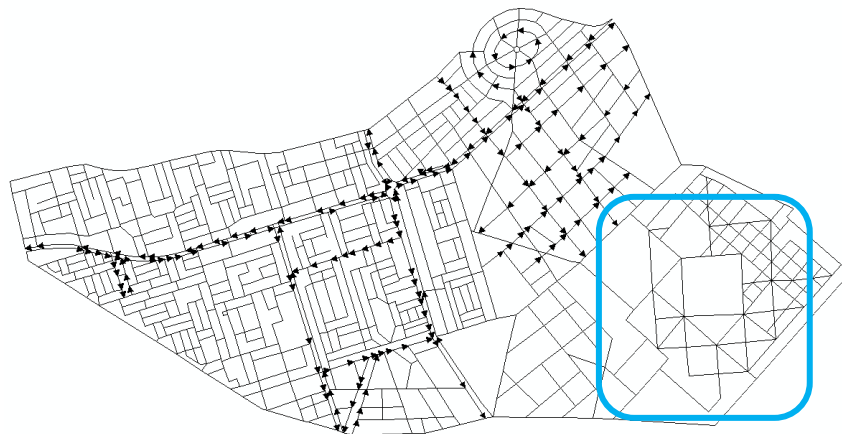


Ilustración 251: Insuficiencia de vías en CD4 Sintéticas 1



8.2.5 Análisis CD5 Sintéticas 2

8.2.5.1 Tiempo

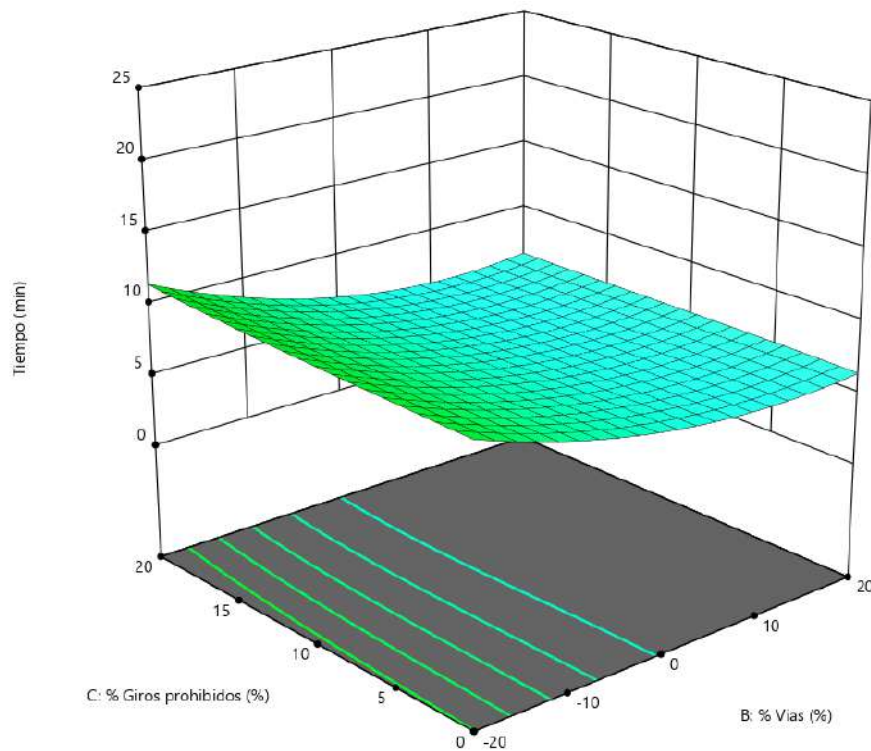


Ilustración 252: Grafica de Tiempo Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D

El comportamiento del promedio de la respuesta tiempo en CD5 Sintéticas 2 es el que se ve en la gráfica anterior, en términos generales el tiempo de recorrido disminuye a medida que la cantidad de tramos viales aumenta. Nuevamente el factor referente a la restricción de giros no es determinante ni significativo.

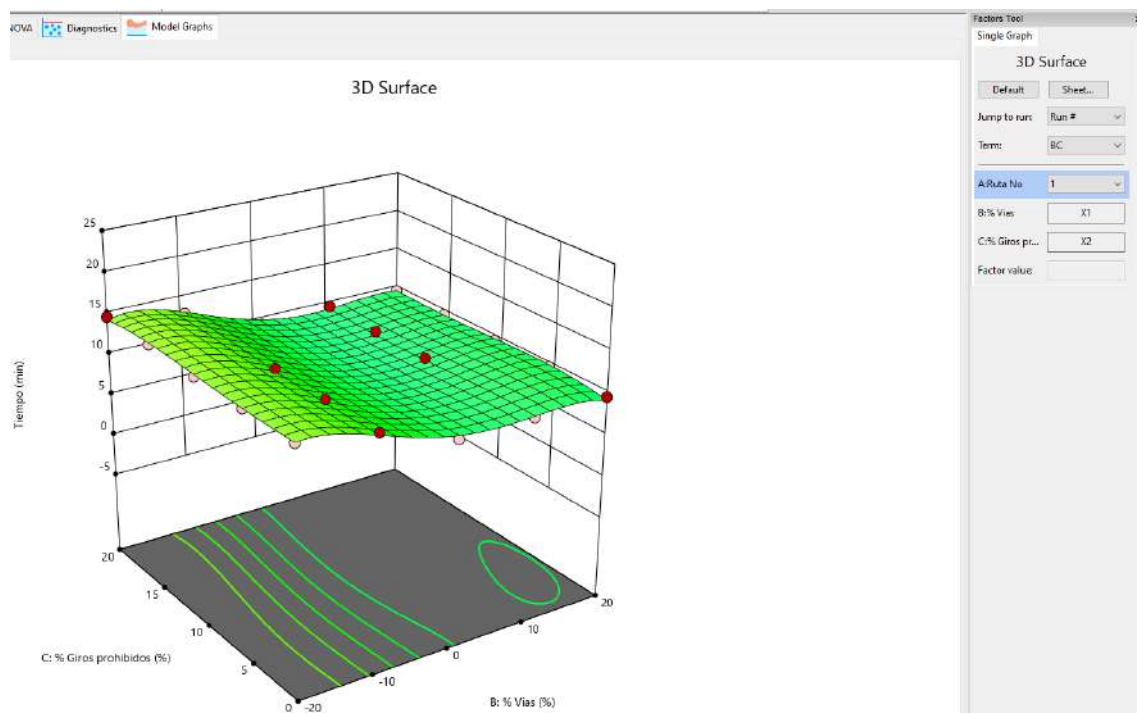


Ilustración 253. Comportamiento de la ruta 1 respecto a tiempo en grafo CD5 Sintéticas 2

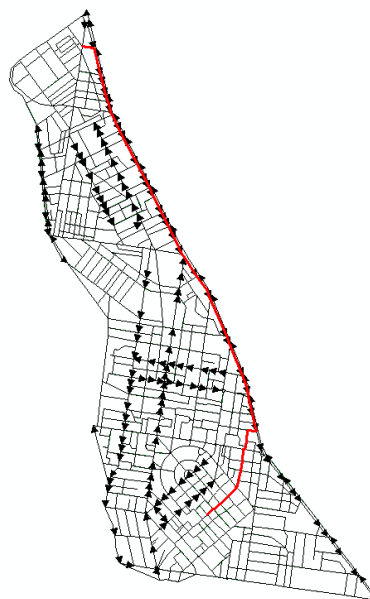


Ilustración 254: Ruta 1 en el grafo CD5 Sintéticas 2

Como es evidente al ver el CD Sintética2, tiene un número elevado de tramos viales para el área que ocupa a nivel general; sin embargo, esto no se ve reflejado en la gráfica de promedio de Tiempo, la razón es sencilla, como la red vial tiene una forma alargada de manera vertical, la



mayoría de rutas tienen den a tomar su camino por la autopista que está en el costado oriental, esto es porque la velocidad de desplazamiento aquí es mayor y el hecho de no tener tantas intersecciones como las que hay en el centro de la red vial, hace que el factor de tiempo añadido para detectar las sobrecarga no sea perceptible, un ejemplo más claro se ve en la ruta de plasmada en la ilustración 252 subrayada en color rojo, esta ruta es un ejemplo de claro de lo que sucede con muchas otras, cualquier conductor tendría la autopista como la mejor opción para atravesar la ciudad, no todas las rutas toman este camino, pero se podría decir que si es una cantidad importante, por lo que en el promedio la sumatoria de tiempo añadido por intersecciones viales no es significativo como en algunas rutas puntuales, esto deja una conclusión interesante, seguramente al remover la autopista se vería más claramente una comisión de redes viales, pero el hecho de que esta exista hace que la calidad del servicio de enrutamientos no disminuya, por lo que además de ver la cantidad de vías para definir esta calidad es importante tener otros factores en cuenta como el tipo de vías y el tráfico, pues aunque la autopista sea el camino más eficiente, si esta se satura de tráfico en un escenario real, entonces su funcionalidad bajaría considerablemente.



8.2.5.2 Distancia

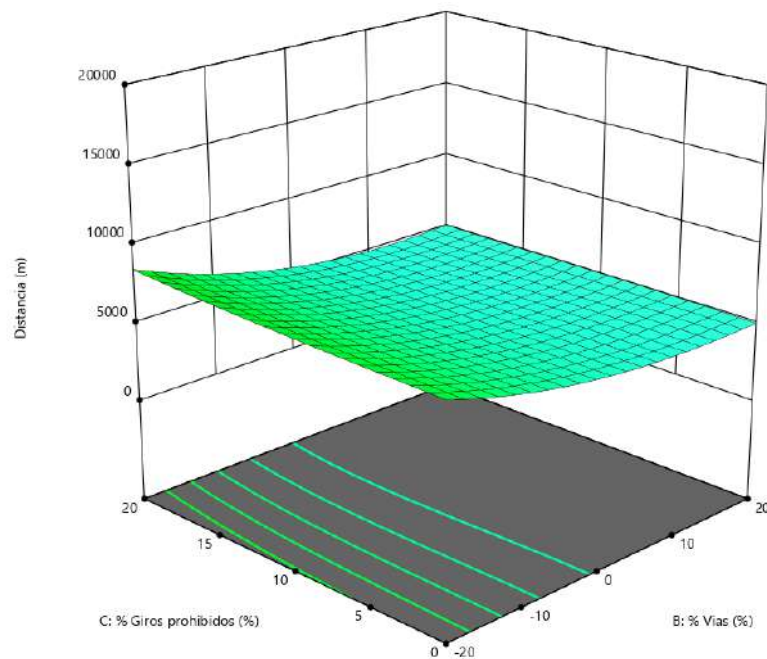


Ilustración 255: Grafica de Distancia Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D

Esta grafica puede ser incluso más diciente que la de promedio de la respuesta tiempo, si bien se ve un desmejoramiento en la distancia de recorrido para los escenario con menos tramos viales, también es evidente que el hecho de añadir más tramos viales no ayuda mucho, pues la distancia tiende a un valor constante, esto refuerza el hecho expuesto anteriormente de que muchas de las rutas toman la autopista para llegar a su destino y la distancia suele ser siempre similar, no hay evidencias de insuficiencia de tramos viales pues en términos generales las rutas solo bajan su calidad en los escenarios más críticos, y una saturación de arcos que si puede existir no se evidencia por el hecho de que la autopista sirve para resolver un gran número de rutas. Para esta respuesta el factor de restricción de giros tampoco es influyente.



8.2.5.3 Número de giros

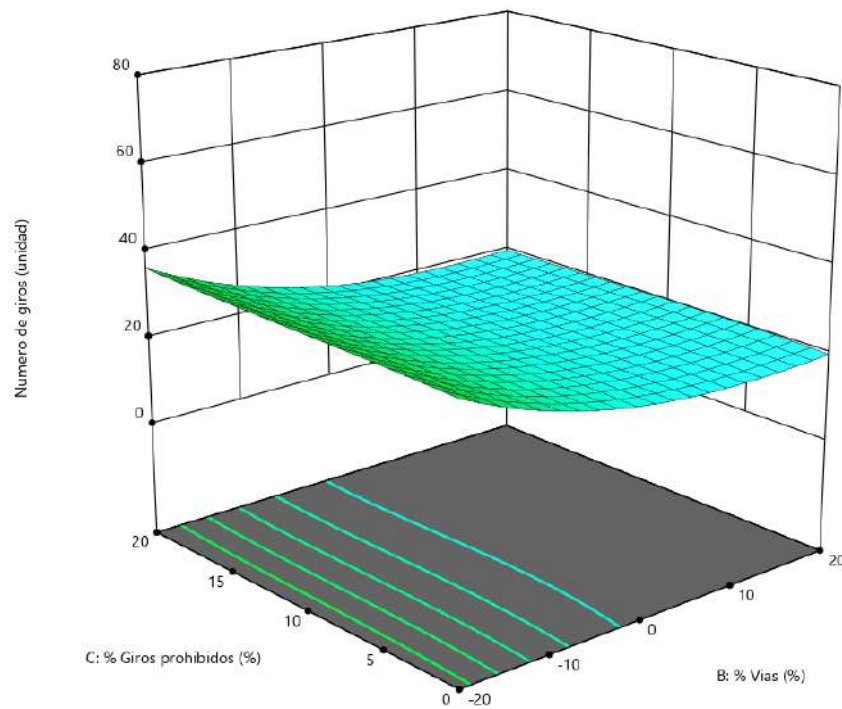


Ilustración 256: Grafica de número de giros Vs % de vías & % de giros prohibidos en CD5 sintéticas 2 en 3D

Las tres respuestas de este grafo se comportan de manera muy similar, incluso está siendo la respuesta más ambigua tiende a disminuir cuando se aumentan los tramos viales y a disminuir cuando aumentan las restricciones en giros, nuevamente se ve poca influencia de los giros prohibidos en los escenarios más restringidos, debido a la cantidad de rutas que no se pueden complementar por esta restricción.



8.2.5.4 *Análisis general*

En esta red es donde en donde menos impacto tiene este ejercicio, con el primer vistazo que se dio a los datos parecería que el aumentar los tramos viales no tuviera ninguna influencia más que en algunas vías puntuales, pues no hubo una aparente mejoría en ninguna de las respuestas, todas ellas se comportaron de manera muy parecida en todos los niveles de los factores evaluados, excepto en el nivel con menos tramos viales donde existió cierto empeoramiento. Al examinar más minuciosamente esta red vial se pudo ver que la disposición de una autopista en el costado oriental de la misma y a la cual es muy fácil acceder casi desde cualquier punto de la red por la forma alargada de la misma, hace que muchas de las rutas planteadas tomen este camino en todos los escenarios, esta fue la razón de que las respuestas no tuvieran cambios significativos, al enfocar el estudio a las rutas que no pasaron por esta autopista resultó evidente que las mismas disminuyen su capacidad al aumentar los tramos viales, por lo que en general este grafo tiene comisión de vías.

Nuevamente el factor que implica restricción de giros solo afectó las rutas en los giros que dan paso a la autopista de la que se habló anteriormente.

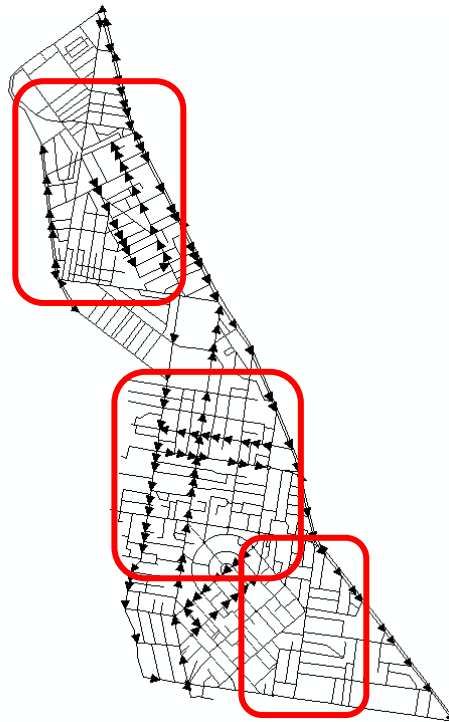


Ilustración 257: Saturación de vías en CD5 Sintéticas 2



8.2.6 Análisis general de Ejercicio 2

A grandes rasgos se concluye que no hay una solución general para aumentar la eficacia de enrutamientos modificando la compleción de redes viales, ya que este aumento dependerá de cada una de las redes y los diferentes factores que pueden afectarla, a pesar de esto si hay algunos comportamientos que se repitieron en todas los conjuntos de datos y que de cierta manera eran también los comportamientos esperados, como que la distancia y el tiempo de recorrido de las rutas en general disminuyan entre más número de tramos viales tenga una red y aumenten cuando aumente la cantidad de restricciones, de la misma manera que en el ejercicio anterior se encontró una mayor significancia para el factor referente a la cantidad de tramos viales y menor para el porcentaje de giros prohibidos; sin embargo, aunque es claro que este factor tiene menos significancia también es notable que al evaluar solamente las gráficas no es visible la afectación que pueda llegar a tener, al evaluar las rutas que no se pudieron desarrollar, la mayoría de esta se dan en los escenarios con mayor restricción de giros y en zonas donde existe insuficiencia de arcos, como se ve en las próximas imágenes.

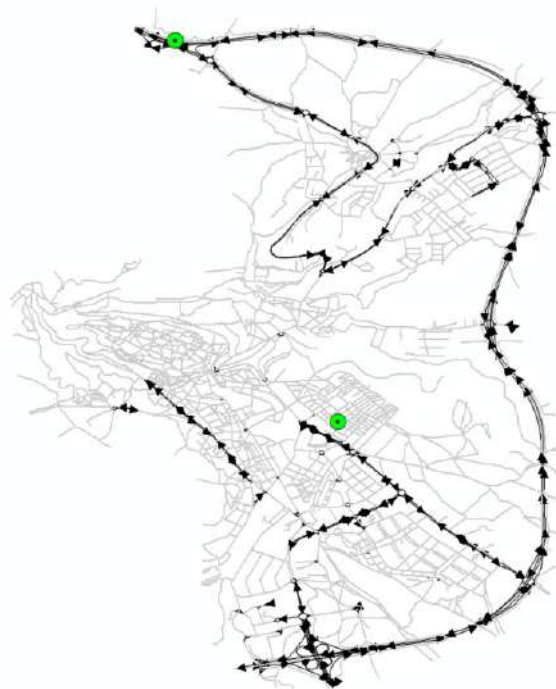


Ilustración 258: Ruta 12 inconclusa por omisión de vías en CD2 Segovia

Para este caso se encuentra que la ruta no se resolvió por la insuficiencia de calles que permitan trazar una ruta entre los dos puntos graficados, la otra razón es que uno de los puntos coincidió



en vías con un solo sentido, por lo que al no poder avanzar en contrasentido esta ruta puntualmente tenía menos probabilidades de completarse al eliminar tramos viales que otras rutas.



Ilustración 259: Ruta 13 inconclusa por omisión de vías en CD4 Sintéticas 1

Otra ruta que no se pudo resolver es la ruta No 13 del CD4 Sintéticas 1 en los escenarios con menos 20% de tramos viales, en donde los puntos de partida y finalización de ruta no están ubicados sobre vías con un solo sentido, pero se evidencia que la afectación de insuficiencia de vías para estos escenarios es tan alta que básicamente quedan zonas de la ciudad aisladas, estas zonas se encuentran resaltadas en rojo en la ilustración anterior, en donde se ve no se puede entrar ni salir de ella.

De lo anterior se concluye que las rutas que no se pudieron completar se dieron en las zonas periféricas de la ciudad, en donde naturalmente existen menos tramos viales, además esto sucede principalmente en los escenarios con mayores impedimentos por giros restringidos, esto se traduce en que la restricción de giros tiene importancia cuando hay omisión de tramos viales, y que esta omisión existe en todos los conjuntos de datos, también se debe tener en cuenta que las insuficiencias se dan a las afueras de la ciudad y que es normal que esto suceda en la realidad siendo también menor el tráfico en estas zonas, por lo que en un escenario real es normal que no se necesiten demasiados tramos viales más de los que permiten entrar y salir de las ciudades.



A pesar de que la manera más sencilla de aumentar la capacidad de la red vial es aumentar los tramos viales, esto por sí solo no es eficiente, se debe tener en cuenta que los mismos deben tener una disposición organizada y regular y que este aumento puede generar una sobresaturación de redes viales que se traduce en una ruta más demorada y engorrosa para cualquier usuario.

En ninguno de los escenarios el disminuir tramos viales represento una mejoría en los enrutamientos.



9. CONCLUIONES

Para los dos ejercicios el factor que posee una mayor influencia sobre los enrutamientos es el porcentaje de tramos viales, en todos los escenarios donde se quitaron tramos viales (generando omisión de estos), la capacidad en términos de tiempo y distancia de las rutas bajo fuertemente, mientras que, al aumentar el número de vías, generando comisiones de tramos, la capacidad aumento solo un poco. De esto se puede concluir que aumentar el número de vías no significa necesariamente tener una mayor eficacia, solo redes superpobladas de vías, la capacidad respecto al aumentos de número de vías entonces solo mejora si este aumento se realiza de forma estratégica en términos de ubicación, también es importante decir que en un escenario real el aumento masivo de vías es poco posible pues estas invadieran áreas destinadas para otras tareas diferentes al tránsito vehicular.

El factor menos significativo en el primer ejercicio es el de velocidad. Teniendo en cuenta que es un factor que no se puede controlar en un escenario real, este factor solamente incide en el tiempo de recorrido y no genera afectación ninguna que modifique el comportamiento de las rutas.

El factor menos significativo en el segundo ejercicio es el de las restricciones de giros, además viendo las maneras en que este valor afecta las rutas planteadas se puede concluir que, en una red vial con número y disposición ideal, las restricciones u obstáculos que se puedan llegar a presentar no deberían tener una gran afectación desde que estas no se ubiquen en lugares críticos como avenidas u autopistas.

Las rutas más afectadas por los giros prohibidos se dieron en las zonas con menos tramos viales en todos los conjuntos de datos, siendo estas principalmente las zonas a las afueras de las ciudades, todas las rutas presentan insuficiencia de tramos viales en sus zonas periféricas, esto resulta normal pues en escenarios reales los ciudadanos suelen desplazarse más al interior de a la ciudad.

El conjunto de datos que presento los resultados más desiguales fue el de la ciudad de Cota, esto se debe a que su morfología es también la más desigual, y la menos funcional por tener una zona central con gran número de tramos viales y una amplia zona con un número limitado vías. También se concluye que en general este conjunto de dato cuenta con una insuficiencia grave



de tramos viales, esto se evidencia en los resultados de tiempo y distancia de recorrido, que en lugar de tender a ser un valor contante disminuyen considerable con la adición de tramos viales

El conjunto de datos con mayor saturación de vías es CD2 Segovia, esto no implica que sea ineficiente, ya que los resultados en su red vial original son idóneos; sin embargo, el experimento muestra que añadir más tramos viales a este conjunto de datos sería contraproducente, esto lo evidencian los resultados de tiempo; en donde el tiempo aumenta a medida que lo hace los tramos viales ya que se sumó un segundo por cada intersección vial que atravesaran las rutas. Todos los otros conjuntos de datos podrían mejorar su servicio de enrutamiento si fuere posible adicionarles tramos viales, como se puede ver en los resultados obtenidos

En cuanto a las herramientas utilizadas resulto más útil el funcionamiento de “*Network Analyst*” sobre ArcGIS que el de “*QNeat3*” sobre Qgis, en parte porque esta última no permitía la ubicación de giros restringidos de manera sencilla por lo usarla resultaba más demorado y engorroso, también se debe aclarar que la herramienta “*Network Analyst*” no permite la creación masiva de rutas aleatoria, por lo que se debió crear un par de herramientas adicionales por medio de diagramas d flujo con “*model builder*” para llevar a cabo el trabajo. A pesar de lo anterior se debe resaltar también el hecho de que mi experiencia personal es más amplia en el uso de ArcGIS.

Aunque los dos programas estadísticos son funcionales para el desarrollo de diseños de experimentos DoE, Minitab resulta más intuitivo y de fácil funcionamiento, lamentablemente este no cuenta con la potencia suficiente para llevar a cabo un ejercicio como el número 2 de este trabajo. Por otro lado, Desing Experiment 13, a pesar de ser menos amigable con el usuario, tiene mayor capacidad de procesamiento de datos.

En general para la mayoría de redes viales estos ejercicios darán una idea valida de las zonas en donde hay saturación o insuficiencia de tramos viales, aunque existan grafos puntualmente difíciles de evaluar de esta manera como fue el caso de CD5 Sintéticas 2, en donde condiciones como la forma del grafo, la disposición y tipo de vías del mismo arrojó muchos resultados no acordes a la realidad. Se debe resaltar también que el experimento no muestra puntualmente que tramo vial sobra o falta, solo la zona en donde estos factores afectan la calidad de las rutas. En todo caso para tener los mejores resultados a la hora de evaluar una red vial o implementar una en un proceso de planeación de ordenamiento territorial se recomienda tener en cuenta



más factores, como los son la cantidad de tráfico que suele incurrir en la ciudad dependiendo de su población, densidad y poblacional e indicadores de la misma a futuro y semaforización.



10. BIBLIOGRAFÍA

- Interpretación los resultados clave para la Diagrama de Pareto
(<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/pareto-chart/interpret-the-results/key-results>)
- Interpretación de datos para el análisis de diseño factorial
(<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/DoE/how-to/factorial/analyze-factorial-design/interpret-the-results/key-results/?SID=128050>)
- Tutorial de diseño de experimento factorial
(<https://www.youtube.com/watch?v=2c6MDZ3ldNg>)
- Diseño de Experimentos - Métodos y Aplicaciones, 2020
(http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Diseno_de_Experimentos/DisenodeExperimentos.pdf)
- ¿Cómo viajamos por la ciudad? Asignación y equilibrio en redes de transporte
(<https://es.coursera.org/learn/equilibrio-redes-transporte>)
- Calidad de datos geoespaciales básicos
(<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/3661>)
- Calidad en Cartografía
(<http://redgeomatica.rediris.es/ariza/CalidadCartografia.pdf>)



- ISO 19157 de 2013 “Información geográfica, calidad de datos”

(<https://www.iso.org/standard/32575.html>)

- Los Diferentes Test Para El Control De Calidad Posicional En Cartografía

(https://www.researchgate.net/publication/326107156_Los_diferentes_test_para_el_control_de_calidad_posicional_en_cartografia)



11. ANEXOS

Como anexos a este trabajo se entregan los siguientes archivos:

- Anexo 1: Diagrama de Flujo
- Anexo 2: Datos obtenidos en el ejercicio 1
- Anexo 3: Reportes de rutas
- Anexo 4: Creación y funcionamiento de los model builder
- Anexo 5: Datos obtenidos en el ejercicio 2
- Anexo 6: Datos estadísticos obtenidos en el ejercicio 1
- Anexo 7: Datos estadísticos obtenidos en el ejercicio 2