

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
RESUM.....	III
1. ANTECEDENTES.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 Descripción.....	2
2.2 Alcance y ámbito.....	3
3. ESTADO DEL ARTE.....	4
3.1 Diseño geométrico en planta.....	4
3.2 Percepción y procesamiento de la información.....	17
3.3 Trayectoria vehicular.....	17
3.4 Medición y estimación de la siniestralidad.....	21
3.5 Medidas de bajo coste para limitar la siniestralidad en carreteras.....	22
3.6 Procedimientos de toma de datos.....	28
3.6.1 Procedimientos de toma de datos “en campo o In situ”.....	29
3.6.2 Procedimientos de toma de datos mediante encuestas.....	30
3.7 Síntesis del estado del conocimiento actual.....	37
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	38
5. METODOLOGÍA.....	39
5.1 Extracción de la muestra de curvas de bajo ángulo.....	40
5.2 Realización de una muestra de vídeos de StreetView.....	49
5.3 Realización de una encuesta presencial sobre curvas de bajo ángulo de deflexión.....	55
5.3.1 Descripción y definición de las preguntas a realizar.....	56
5.3.2 Selección de voluntarios y cálculo del tamaño muestral.....	59
5.4 Realización de una encuesta online para ver la percepción, trayectoria y velocidad de una muestra representativa de voluntarios.....	59
5.4.1 Confección de la encuesta online.....	60
5.4.2 Creación de la web y base de datos para la encuesta online.....	61
5.4.3 Determinación del tamaño muestral.....	63
5.4.4 Distribución de curvas escogidas.....	65

5.4.5 Difusión. Pirámide poblacional de la encuesta online.....	71
5.5 Estudio operacional.....	73
5.5.1 Medios materiales.....	73
5.5.2 Curvas estudiadas.....	74
5.5.3 Reducción de datos de la operación vehicular.....	88
6. RESULTADOS.....	89
6.1 Encuesta presencial.....	89
6.1.1 Aspectos relacionados con el historial como conductor.....	89
6.1.2 Resultados de la encuesta presencial: percepción y comportamiento.....	90
6.1.3 Otros resultados interesantes.....	93
6.1.4 Aplicación de medidas de bajo coste.....	93
6.2 Encuesta online.....	94
6.2.1 Coeficiente de alfa de Cronbach de la encuesta online:.....	99
6.3 Operación vehicular.....	108
7. DISCUSIÓN.....	118
7.1 Análisis de los criterios de diseño de curvas y clotoides en la Instrucción de Trazado 3.1-IC.....	118
7.2 Influencia de los parámetros geométricos sobre el comportamiento operacional.....	125
7.2.1 A partir de la encuesta online.....	125
7.2.2 A partir del estudio de campo.....	132
7.3 Criterio de curvas de bajo ángulo.....	133
7.4 Limitaciones del estudio.....	139
7.4.1 Limitaciones de la muestra de curvas.....	140
7.4.2 Limitaciones de los vídeos.....	140
7.4.3 Limitaciones de la encuesta online.....	141
7.4.4 Limitaciones del estudio naturalístico.....	141
8. CONCLUSIONES.....	141
8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	143
9. AGRADECIMIENTOS.....	143
10. REFERENCIAS.....	144
ANEXO I: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS CURVAS.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA I: ESPAÑA, EUROPA	4
FIGURA II: DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA (SIN CURVAS DE TRANSICIÓN O CLOTOIDES)	5
FIGURA III: DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA (CON CURVAS DE TRANSICIÓN O CLOTOIDES)	6
FIGURA IV: ESQUEMA CLOTOIDE-CURVA CIRCULAR-CLOTOIDE	6
FIGURA V: ESQUEMA CLOTOIDE	7
FIGURA VI: ALINEACIÓN CURVA TIPO I	9
FIGURA VII: ALINEACIÓN CURVA TIPO II	10
FIGURA VIII: ALINEACIÓN CURVA TIPO III	10
FIGURA IX: ALINEACIÓN CURVA TIPO IV	11
FIGURA X: ALINEACIÓN CURVA TIPO V	11
FIGURA XI: ALINEACIÓN CURVA TIPO VI	12
FIGURA XII: ALINEACIÓN CURVA TIPO VII	12
FIGURA XIII: ALGUNOS RADIOS PARA EL DISEÑO DE CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN	17
FIGURA XIV: EJEMPLO. TRAYECTORIA TIPO I	18
FIGURA XV: EJEMPLO. TRAYECTORIA TIPO II	19
FIGURA XVI: EJEMPLO. TRAYECTORIA TIPO III	19
FIGURA XVII: EJEMPLO. TRAYECTORIA TIPO IV	20
FIGURA XVIII: EJEMPLO. TRAYECTORIA TIPO V	20
FIGURA XIX: EJEMPLO. DOBLE LÍNEA CENTRAL	23
FIGURA XX: EJEMPLO. MARCAS TRANSVERSALES DE ALERTA EN LA PARTE INTERIOR DE LOS CARRILES	24
FIGURA XXI: EJEMPLO. SEÑALES VERTICALES DE ADVERTENCIA	24
FIGURA XXII: EJEMPLO. SEÑALES VERTICALES DE DIRECCIÓN	26
FIGURA XXIII: EJEMPLO. MARGEN BIEN HECHO. VIGESIMOSEXTA SESIÓN TÉCNICA DEL OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL (DGT). MÁRGENES CLEMENTES	27
FIGURA XXIV: EJEMPLO. MARCADO INICIAL DE PUNTOS DE UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN IMAGEN DE ORTOFOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL SERVICIO ONLINE DE LIBRE DISTRIBUCIÓN (PNOA)	40
FIGURA XXV: EJEMPLO. RESTITUCIÓN DE UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN	41
FIGURA XXVI: MUESTRA TOTAL DE CURVAS APTAS PARA LA INVESTIGACIÓN	42
FIGURA XXVII : GRUPO 1. DE CADA SUBGRUPO SE EXTRAE UNA ÚNICA CURVA, EXCEPTO DEL 17, DE LA QUE SE EXTRAEN DOS	65
FIGURA XXVIII: GRUPO 2. SE EXTRAE UNA CURVA DE CADA SUBGRUPO	65
FIGURA XXIX: GRUPO 3. NO HAY CURVAS EN LA SECCIÓN 33. SE PROPONEN CUATRO CURVAS DE LAS 31+32, Y CUATRO CURVAS DE LA 34	66
FIGURA XXX: GRUPO 4. UNA CURVA POR CADA SUBGRUPO	66

FIGURA XXXI: GRUPO 5. UNA CURVA DE CADA SUBGRUPO	67
FIGURA XXXII: DISTRIBUCIÓN FINAL DE LA MUESTRA DE CURVAS (ENCUESTA ONLINE)	67
FIGURA XXXIII: EDAD SEXO DE LOS USUARIOS (DATOS DGT 2017).....	70
FIGURA XXXIV: EDAD SEXO DE LOS USUARIOS (ENCUESTA ONLINE)	71
FIGURA XXXV: INSTRUMENTOS PARA TOMA DE DATOS “IN SITU O EN CAMPO”	73
FIGURA XXXVI: UBICACIÓN, EN GENERAL, DE LA INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA EN LAS CUATRO CURVAS DE LAS CUATRO CARRETERAS ...	75
FIGURA XXXVII: PLANTA DE LA CURVA (CV-60). IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS	76
FIGURA XXXVIII: GIRO DE LA CURVA (CV-60)	77
FIGURA XXXIX: FIGURA POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL	78
FIGURA XL: PLANTA DE LA CURVA (CV-41). IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	78
FIGURA XLI: GIRO DE LA CURVA (CV-41).....	79
FIGURA XLII: POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	80
FIGURA XLIII: PLANTA DE LA CURVA (CV-424). IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	81
FIGURA XLIV: GIRO DE LA CURVA (CV-424).....	82
FIGURA XLV: POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	83
FIGURA XLVI: PLANTA DE LA CURVA (CV-605). IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	84
FIGURA XLVII: GIRO DE LA CURVA (CV-605).....	85
FIGURA XLVIII: POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS IMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL.....	86
FIGURA XLIX: IMAGEN OBTENIDA DEL PROGRAMA KINOVEA PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS.....	87
FIGURA L: PERCEPCIÓN VISUAL AL ACERCARSE A UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL)	89
FIGURA LI: PERCEPCIÓN VISUAL AL ACERCARSE A UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN	90
FIGURA LII: PERCEPCIÓN VISUAL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL).....	90

FIGURA LIII: PERCEPCIÓN VISUAL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN MOTIVOS PARA NO PERCIBIRLA (ENCUESTA PRESENCIAL).....	91
FIGURA LIV: VELOCIDAD EN UN CARRIL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL).....	91
FIGURA LV: SITUACIÓN EN UN CARRIL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL).....	92
FIGURA LVI: POTENCIALES MEDIDAS DE BAJO COSTE MENCIONADAS POR LOS VOLUNTARIOS (ENCUESTA PRESENCIAL).....	93
FIGURA LVII: NÚMERO DE CONDUCTORES FRENTE A LA FECHA DE RECEPCIÓN DE RESPUESTAS (ENCUESTA ONLINE).....	94
FIGURA LVIII: NÚMERO DE CONDUCTORES FRENTE A LA VISUALIZACIÓN DE LOS VÍDEOS (ENCUESTA ONLINE).....	95
FIGURA LIX: FRECUENCIA DE APARICIÓN DE LA CURVA EN LA ENCUESTA ONLINE.....	96
FIGURA LX: PORCENTAJE DE RESPUESTAS CON PERCEPCIÓN POSITIVA DE LA CURVA.....	97
FIGURA LXI: DISTRIBUCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD (NEGRO: MANTENER UNA VELOCIDAD CONSTANTE; NARANJA: REDUCIR LA VELOCIDAD; VERDE: AUMENTAR LA VELOCIDAD).....	97
FIGURA LXII: DISTRIBUCIÓN DE LA TRAYECTORIA (NEGRO: CENTRADO; NARANJA SÓLIDO: SIN INVADIR EL EXTERIOR; NARANJA DISCONTINUA: INVASIÓN DEL EXTERIOR; AZUL SÓLIDO: SIN INVADIR DIRECCIÓN OPUESTA; AZUL DISCONTINUO: INVADIR DIRECCIÓN OPUESTA.....	98
FIGURA LXIII: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE CURVA CORTA O QUIEBRO	100
FIGURA LXIV: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE CURVA CORTA O QUIEBRO	101
FIGURA LXV: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE CURVA CORTA O QUIEBRO (LIMITACIÓN).....	101
FIGURA LXVI: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE INVASIÓN.....	102
FIGURA LXVII: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE INVASIÓN.....	103
FIGURA LXVIII: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE INVASIÓN EN FUNCIÓN DEL LADO.....	104
FIGURA LXIX: PORCENTAJE DE RESPUESTAS DE INVASIÓN EN FUNCIÓN DEL LADO.....	105
FIGURA LXX: PORCENTAJE DE RESPUESTAS “CENTRADO EN EL CARRIL” “SUFICIENTEMENTE LARGA”.....	106
FIGURA LXXI: GIRO A IZQUIERDAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS .	108
FIGURA LXXII: GIRO A DERECHAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS (CARRETERA CV-60).....	108
FIGURA LXXIII: GIRO A IZQUIERDAS. DIAGRAMA CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-60)	109
FIGURA LXXIV: GIRO A DERECHAS. DIAGRAMA CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-60)	109

FIGURA LXXV: GIRO A IZQUIERDAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS	110
FIGURA LXXVI: GIRO A DERECHAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS.	111
FIGURA LXXVII: GIRO A IZQUIERDAS. DIAGRAMAS CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-41)	111
FIGURA LXXVIII: GIRO A DERECHAS. DIAGRAMAS CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-41)	111
FIGURA LXXIX: GIRO A IZQUIERDAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS	112
FIGURA LXXX: GIRO A DERECHAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS..	113
FIGURA LXXXI: GIRO A IZQUIERDAS. DIAGRAMAS CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-424)	113
FIGURA LXXXII: GIRO A DERECHAS. DIAGRAMAS CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-424)	114
FIGURA LXXXIII: GIRO A IZQUIERDAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS	115
FIGURA LXXXIV: GIRO A IZQUIERDAS. DIAGRAMAS CAJAS-BIGOTES DE VELOCIDADES EN ENTRADA, PUNTO MEDIO, SALIDA (CARRETERA CV-605)	115
FIGURA LXXXV: ESQUEMA CLOTOIDE-CURVA CIRCULAR-CLOTOIDE	116
FIGURA LXXXVI: ÁNGULO MÍNIMO QUE DEBE TENER UNA CLOTOIDE, EN FUNCIÓN DE LOS DIFERENTES CRITERIOS. GRUPO I	118
FIGURA LXXXVII : ÁNGULO DE DEFLEXIÓN MÍNIMO PARA CUALQUIER ALINEACIÓN CURVA TIPO I, EN FUNCIÓN DEL RADIO. GRUPOS II Y II	120
FIGURA LXXXVIII: MUESTRA TOTAL DE CURVAS (ENCUESTA ONLINE)	122
FIGURA LXXXIX: DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE RESPUESTAS PARA LAS DIFERENTES CURVAS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE DESVIACIÓN Y LA LONGITUD.	124
FIGURA XC : DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE RESPUESTAS PARA LAS DIFERENTES CURVAS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE DESVIACIÓN Y LA LONGITUD.	125
FIGURA XCI: DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA TERNARIO (EN TRIÁNGULO)	126
FIGURA XCII: LONGITUD: CÍRCULOS MÁS GRANDES SIGNIFICA CURVAS MÁS LARGAS	127
FIGURA XCIII: PORCENTAJE DE TRAYECTORIAS CENTRADAS EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA CURVA	128
FIGURA XCIV: PERCEPCIÓN: LOS CÍRCULOS MÁS GRANDES INDICAN MÁS RESPUESTAS QUE REVELAN UN QUIEBRO O UNA DISCONTINUIDAD	129
FIGURA XCV REDUCCIÓN DE VELOCIDAD: LOS CÍRCULOS MÁS GRANDES INDICAN MÁS RESPUESTAS DE REDUCCIÓN DE VELOCIDAD.	130

FIGURA XCVI: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN (VERDE OSCURO / NARANJA / ROJO) CON LOS UMBRALES ACTUALES DE AASHTO (AZUL)	132
FIGURA XCVII: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN (VERDE OSCURO / NARANJA / ROJO) CON LOS UMBRALES ACTUALES DE INSTRUCCIÓN DE TRAZADO 3.1-IC (AZUL).....	133
FIGURA XCVIII. RADIOS MÍNIMOS GENERADOS POR EL CRITERIO PROPUESTO (UMBRALES RECOMENDABLE Y MÍNIMO), COMPARADOS CON EL RADIO MÍNIMO PROPUESTO EN LA ACTUAL INSTRUCCIÓN 3.1-IC.....	134
FIGURA XCIX. ACELERACIONES CENTRÍFUGAS GENERADAS POR LOS RADIOS RECOMENDABLES.....	135
FIGURA C. ACELERACIONES CENTRÍFUGAS GENERADAS POR LOS RADIOS MÍNIMOS.	135
FIGURA CI. TIEMPOS DE RECORRIDO DURANTE LA MANIOBRA PARA ADAPTAR LA ACELERACIÓN CENTRÍFUGA. VALORES PARES DE 2 A 14 GONIOS PARA LOS CRITERIOS RECOMENDABLE (VERDE) Y MÍNIMO (ROJO). ÁNGULOS DE 2, 4 Y 6 GONIOS PARA LA ACTUAL INSTRUCCIÓN (NEGRO). UN MAYOR GROSOR DE LÍNEA IMPLICA MAYOR ÁNGULO. A TRAZOS SE REPRESENTA EL TIEMPO DE RECORRIDO DE LA MITAD DEL DESARROLLO CIRCULAR PARA LOS CRITERIOS PLANTEADOS (NO EL DE LA ACTUAL INSTRUCCIÓN, PUES ES VARIABLE).....	137
FIGURA CII: DISTRIBUCIÓN DE INCUMPLIMIENTOS PARA CURVAS SUPERIORES A 6 GONIOS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO TOTAL.	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: RADIOS Y GRUPOS EN LA INSTRUCCIÓN DE TRAZADO 3.1-IC PARA PODER USAR CLOTOIDES O NO	8
TABLA II: CARACTERÍSTICAS DE LAS CURVAS QUE SE USAN EN EL ESTUDIO (ENCUESTA PRESENCIAL)	43
TABLA III: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVAS QUE SE USAN EN EL ESTUDIO (ENCUESTA ONLINE)	47
TABLA IV: CÓDIGOS DE LOS VÍDEOS (ENCUESTA PRESENCIAL).....	48
TABLA V: CÓDIGO VÍDEOS ENCUESTA ONLINE	53
TABLA VI: NÚMERO DE CURVAS QUE CONFORMA LA MUESTRA EN FUNCIÓN DE DIFERENTES VALORES DE N Y C	63
TABLA VII: SUBGRUPO Y GRUPO DE LA CURVAS (ENCUESTA ONLINE)	68
TABLA VIII: CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN ELEGIDAS PARA LA TOMA DE DATOS “IN SITU O EN CAMPO”	74
TABLA IX: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-60)	76
TABLA X: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-41)	79
TABLA XI: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-424)	81
TABLA XII: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-605)	84
TABLA XIII: COEFICIENTE DE ALFA DE CRONBACH	93
TABLA XIV: COEFICIENTE DE ALFA DE CRONBACH.....	98
TABLA XV: COEFICIENTE KR20	98
TABLA XVI: DISTRIBUCIÓN QUE SE SIGUE PARA LOS PORCENTAJES DE RESPUESTA	99

