



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Escuela de Doctorado**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN INFRAESTRUCTURAS DE  
TRANSPORTE Y TERRITORIO**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES EN  
CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN**

**Presentada por:**

**José Luis Ulpiano Cogollos**

**Dirigida por:**

**Dr. Alfredo García García**

**Dr. Francisco Javier Camacho Torregrosa**

**Valencia, 4 de septiembre de 2020**

*Mi agradecimiento a las siguientes personas por su apoyo y contribución a la hora de realizar esta Tesis doctoral. Agradezco a mis directores de Tesis su valiosa ayuda (Dr. Alfredo García García y Dr. Francisco Javier Camacho Torregrosa).*

*Igualmente me gustaría agradecer a Dra. Ana Tsui Moreno Chou, Dr. David Llopis Castelló, Dra. Ana María Pérez Zuriaga y Dr. Carlos Llorca, por brindarme su apoyo, lo que me ha permitido desarrollar los trabajos previos para realizar la investigación.*

*También al resto de personas que componen el GIC (Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras. Instituto del Transporte y Territorio) en la Universidad Politécnica de Valencia.*

## RESUMEN

Esta Tesis Doctoral se centra en el estudio de las curvas de bajo ángulo de deflexión, las cuales son esenciales para el diseño geométrico, pero cuyos criterios de diseño difieren del resto y pueden producir mermas en la seguridad vial. Fundamentalmente, se pueden distinguir tres tipos de afecciones: percepción errónea, trayectorias erráticas y velocidades excesivas.

Una percepción errónea puede darse especialmente cuando el desarrollo de la curva es muy reducido. En este caso, la curva puede aparecer como un quiebro, que puede llevar a los conductores a realizar maniobras erráticas, según perciben su curvatura. Esto puede agravarse con la presencia de acuerdos en alzado.

Las velocidades excesivas (que pueden darse en los casos de percepción errónea o no), son fruto de la elevada visibilidad en las mismas, combinada con radios intermedios y, en ocasiones, su sección transversal. En muchas ocasiones, los usuarios tienden a cortar ligeramente la trazada (invadiendo el arcén o el carril de sentido contrario), aumentando la posibilidad de choque frontal o salida de vía.

La baja deflexión de estas curvas impide disponer curvas de transición (suele realizarse directamente la transición de recta a curva circular). Por ello, las diferentes normativas tienen expresiones particulares para determinar el radio o desarrollo mínimos de estas. El problema es que dichas expresiones no están basadas en estudios experimentales que corroboren su efectividad.

En esta Tesis Doctoral se pretende profundizar en el conocimiento en ambos aspectos, con el fin de validar los criterios actuales, o bien proporcionar unos nuevos con fundamento científico.

Mediante dos encuestas – una presencial y otra online – en las que se muestran vídeos de curvas de esta tipología, se consulta a voluntarios acerca de su percepción, velocidad y posición tentativas. Se han considerado más de 300 curvas en este estudio.

La operación vehicular se analiza mediante un estudio naturalístico sobre cuatro curvas de bajo ángulo con diferente configuración transversal y nivel de tráfico. Se ha podido determinar que la sección transversal tiene una importante influencia sobre la velocidad desarrollada.

Como resultado, se presenta un criterio de desarrollo mínimo, más simple que en la mayoría de actuales normativas, pues no es dependiente del ángulo de deflexión. Se ofrecen dos umbrales, uno recomendable a partir del cual la percepción es adecuada y no causa disminución en la velocidad, y otro obligatorio, por debajo del cual no se garantiza una percepción adecuada.

## ABSTRACT

This Doctoral Thesis focuses on the analysis of low deflection curves. These curves are necessary for horizontal alignments, but the design criteria differ from other curves, sometimes causing lack of safety. There are three main safety concerns: erroneous perception, erratic trajectories, and speeding.

Short low deflection curves are more prone to misperceptions. Such the case, these curves might appear as a kink, with drivers being more likely to perform erratic maneuvers. This would get even worse if combined with vertical curves.

Speeding behaviors (which may happen at misperceived curves or not), are generally caused by the high sight distance, combined with medium-to-high radii and, occasionally, with a wide cross-section. Drivers tend to cut the curves, invading shoulder or the opposite direction. This increases the probability of run-of-road or head-on crashes.

Due to the low angle, spirals are not required to perform tangent-to-curve transition (tangent is directly connected to the circular curve). Thus, different guidelines present particular expressions to determine their minimum radius or minimum length. Unfortunately, these expressions are not supported by experimental studies.

This Doctoral Thesis aims at studying in depth these curves, in order to validate existing criteria or determine new criteria to apply.

To questionnaires – in-person and online – showing videos covering these curves have been developed. Volunteers have been asked about perception, lateral position and speed. More than 300 curves have been considered in this study.

Vehicle operation has been studied by means of a naturalistic study on four low-deflection curves, with different cross-section and traffic characteristics. As a result, cross-section has been found to contribute enormously to speeding.

As a result, two-threshold criterion has been provided. This establishes minimum thresholds for the curve length. This criterion is simpler than most of the existing ones. A minimum recommended threshold is provided to ensure a good perception combined with no speed variation. A lower, critical threshold is provided to ensure a good perception.

## RESUM

Aquesta Tesi Doctoral es centra en l'estudi de les corbes de baix angle de deflexió, les quals són essencials per al disseny geomètric, però que tenen criteris de disseny diferents a la resta, amb possibles penalitzacions a la seguretat viària. Fonamentalment, es poden distingir tres tipus d'afeccions: percepció errònia, trajectòries erràtiques i velocitats excessives.

Una percepció errònia pot donar-se especialment quan la llargària de la corba és molt reduïda. En aquest cas, la corba pot visualitzar-se com una finta, la qual pot fer que els conductors a fer maniobres erràtiques, segons perceben la curvatura. Això pot agreujar-se amb la coincidència d'acords verticals.

Les velocitats excessives (que poden coincidir o no amb una percepció errònia), són resultat de la seua elevada visibilitat, combinada amb radis mitjans i, en ocasions, la seua secció transversal. Freqüentment, els usuaris poden retallar lleugerament la corba (envaït parcialment el voral o el carril de sentit contrari), augmentant la possibilitat de xoc frontal o eixida de via.

La baixa deflexió d'aquestes corbes impedeix disposar corbes de transició (sol realitzar-se directament la transició de recta a corba circular). És per això que les diferents normatives presenten expressions particulars per a determinar el radi o la llargària mínima d'aquestes. El problema es que aquestes expressions no estan basades en estudis experimentals que asseveren la seua efectivitat.

En aquesta Tesi Doctoral es pretén profunditzar en el coneixement d'ambdós aspectes, amb l'objectiu de validar els criteris actuals, o bé proporcionar uns de nous amb fonament científic.

Mitjançant dues enquestes – una presencial i altra online – en las que es mostren vídeos de corbes d'aquesta tipologia, es pregunta a voluntaris sobre la percepció, velocitat i posició temptatives. S'han considerat més de 300 corbes en aquest estudi.

La operació vehicular s'ha analitzat mitjançant un estudi natural·lístic sobre quatre corbes de baix angle amb diferent configuració transversal i nivell de trànsit. S'ha determinat que aquesta secció transversal té una influència important sobre la velocitat desenvolupada.

Com a resultat, es presenta un criteri de llargària mínima, més simple que el d'altres normatives actuals, ja que no hi depèn de l'angle de deflexió. S'ofereixen dos umbrals, un recomanable a partir del qual la percepció és adequada i no redueix la velocitat, i un altre obligatori, sot a el qual la percepció estaria compromesa.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
RESUM .....	III
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
2.1 DESCRIPCIÓN .....	3
2.2 ALCANCE Y ÁMBITO .....	3
<b>3. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>5</b>
3.1 DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA .....	5
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
<b>3.6.1 Procedimientos de toma de datos “en campo o In situ” .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.2 Procedimientos de toma de datos mediante encuestas .....</b>	<b>30</b>
3.7 SÍNTESIS DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL .....	37
<b>4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>39</b>
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
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
<b>5.3.1 Descripción y definición de las preguntas a realizar .....</b>	<b>56</b>
<b>5.3.2 Selección de voluntarios y cálculo del tamaño muestral .....</b>	<b>59</b>
5.4 REALIZACIÓN DE UNA ENCUESTA ONLINE PARA VER LA PERCEPCIÓN, TRAYECTORIA Y VELOCIDAD DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE VOLUNTARIOS .....	59
<b>5.4.1 Confección de la encuesta online .....</b>	<b>60</b>
<b>5.4.2 Creación de la web y base de datos para la encuesta online .....</b>	<b>61</b>
<b>5.4.3 Determinación del tamaño muestral .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4.4 Distribución de curvas escogidas .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4.5 Difusión. Pirámide poblacional de la encuesta online .....</b>	<b>71</b>
5.5 ESTUDIO OPERACIONAL .....	73
<b>5.5.1 Medios materiales .....</b>	<b>73</b>
<b>5.5.2 Curvas estudiadas .....</b>	<b>74</b>
<b>5.5.3 Reducción de datos de la operación vehicular .....</b>	<b>88</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>

6.1 ENCUESTA PRESENCIAL .....	89
<b>6.1.1 Aspectos relacionados con el historial como conductor</b> .....	<b>89</b>
<b>6.1.2 Resultados de la encuesta presencial: percepción y comportamiento</b> ..	<b>89</b>
<b>6.1.3 Otros resultados interesantes</b> .....	<b>93</b>
<b>6.1.4 Aplicación de medidas de bajo coste</b> .....	<b>93</b>
6.2 ENCUESTA ONLINE.....	94
<b>6.2.1 Coeficiente de alfa de Cronbach de la encuesta online:</b> .....	<b>99</b>
6.3 OPERACIÓN VEHICULAR .....	106
<b>7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>117</b>
7.1 ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE CURVAS Y CLOTOIDES EN LA INSTRUCCIÓN DE TRAZADO 3.1-IC.....	117
7.2 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO OPERACIONAL.....	124
<b>7.2.1 A partir de la encuesta online</b> .....	<b>124</b>
<b>7.2.2 A partir del estudio de campo</b> .....	<b>131</b>
7.3 CRITERIO DE CURVAS DE BAJO ÁNGULO.....	132
7.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	138
<b>7.4.1 Limitaciones de la muestra de curvas</b> .....	<b>139</b>
<b>7.4.2 Limitaciones de los vídeos</b> .....	<b>140</b>
<b>7.4.3 Limitaciones de la encuesta online</b> .....	<b>140</b>
<b>7.4.4 Limitaciones del estudio naturalístico</b> .....	<b>140</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>143</b>
<b>9. AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>144</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO I: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS CURVAS .....</b>	<b>150</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA I: ESPAÑA, EUROPA.....	4
FIGURA II: DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA (SIN CURVAS DE TRANSICIÓN O CLOTOIDES).....	6
FIGURA III: DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA (CON CURVAS DE TRANSICIÓN O CLOTOIDES).....	6
FIGURA IV: ESQUEMA CLOTOIDE-CURVA CIRCULAR-CLOTOIDE.....	7
FIGURA V: ESQUEMA CLOTOIDE.....	7
FIGURA VI: ALINEACIÓN CURVA TIPO I.....	10
FIGURA VII: ALINEACIÓN CURVA TIPO II.....	10
FIGURA VIII: ALINEACIÓN CURVA TIPO III.....	11
FIGURA IX: ALINEACIÓN CURVA TIPO IV.....	11
FIGURA X: ALINEACIÓN CURVA TIPO V.....	12
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).....	41
FIGURA XXV: EJEMPLO. RESTITUCIÓN DE UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN.....	42
FIGURA XXVI: MUESTRA TOTAL DE CURVAS APTAS PARA LA INVESTIGACIÓN.....	43
FIGURA XXVII : GRUPO 1. DE CADA SUBGRUPO SE EXTRAE UNA ÚNICA CURVA, EXCEPTO DEL 17, DE LA QUE SE EXTRAEN DOS.....	66
FIGURA XXVIII: GRUPO 2. SE EXTRAE UNA CURVA DE CADA SUBGRUPO.....	67
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.....	67
FIGURA XXX: GRUPO 4. UNA CURVA POR CADA SUBGRUPO.....	68
FIGURA XXXI: GRUPO 5. UNA CURVA DE CADA SUBGRUPO.....	68

FIGURA XXXII: DISTRIBUCIÓN FINAL DE LA MUESTRA DE CURVAS (ENCUESTA ONLINE) .....	69
FIGURA XXXIII: EDAD   SEXO DE LOS USUARIOS (DATOS DGT 2017) .....	71
FIGURA XXXIV: EDAD   SEXO DE LOS USUARIOS (ENCUESTA ONLINE).....	72
FIGURA XXXV: INSTRUMENTOS PARA TOMA DE DATOS “IN SITU O EN CAMPO” .74	
FIGURA XXXVI: UBICACIÓN, EN GENERAL, DE LA INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA EN LAS CUATRO CURVAS DE LAS CUATRO CARRETERAS .....	76
FIGURA XXXVII: PLANTA DE LA CURVA (CV-60). IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPS .....	77
FIGURA XXXVIII: GIRO DE LA CURVA (CV-60) .....	78
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 .....	79
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 .....	79
FIGURA XLI: GIRO DE LA CURVA (CV-41) .....	80
FIGURA XLII: POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. IMAGEN DEL SERVICIO DE GOOGLE MAPSIMÁGENES @ 2017 GOOGLE. DATOS DEL MAPA@ 2017 GOOGLE.INST.GEOGR.NACIONAL .....	81
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 .....	82
FIGURA XLIV: GIRO DE LA CURVA (CV-424) .....	83
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 .....	84
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 .....	85
FIGURA XLVII: GIRO DE LA CURVA (CV-605).....	86
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 .....	87
FIGURA XLIX: IMAGEN OBTENIDA DEL PROGRAMA KINOVEA PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS .....	88
FIGURA L: PERCEPCIÓN VISUAL AL ACERCARSE A UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	90
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).....	91
FIGURA LIII: PERCEPCIÓN VISUAL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN MOTIVOS PARA NO PERCIBIRLA (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	92

FIGURA LIV: VELOCIDAD EN UN CARRIL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	92
FIGURA LV: SITUACIÓN EN UN CARRIL AL RECORRER UNA CURVA DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	93
FIGURA LVI: POTENCIALES MEDIDAS DE BAJO COSTE MENCIONADAS POR LOS VOLUNTARIOS (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	94
FIGURA LVII: NÚMERO DE CONDUCTORES FRENTE A LA FECHA DE RECEPCIÓN DE RESPUESTAS (ENCUESTA ONLINE) .....	95
FIGURA LVIII: NÚMERO DE CONDUCTORES FRENTE A LA VISUALIZACIÓN DE LOS VÍDEOS (ENCUESTA ONLINE) .....	96
FIGURA LIX: FRECUENCIA DE APARICIÓN DE LA CURVA EN LA ENCUESTA ONLINE .....	97
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) .....	98
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)	112
FIGURA LXXIX: GIRO A IZQUIERDAS. POSICIÓN LATERAL DE LOS VEHÍCULOS	113
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)	114
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)	116
FIGURA LXXXV: ESQUEMA CLOTOIDE-CURVA CIRCULAR-CLOTOIDE	117
FIGURA LXXXVI: ÁNGULO MÍNIMO QUE DEBE TENER UNA CLOTOIDE, EN FUNCIÓN DE LOS DIFERENTES CRITERIOS. GRUPO I	119
FIGURA LXXXVII : ÁNGULO DE DEFLEXIÓN MÍNIMO PARA CUALQUIER ALINEACIÓN CURVA TIPO I, EN FUNCIÓN DEL RADIO. GRUPOS II Y II	121
FIGURA LXXXVIII: MUESTRA TOTAL DE CURVAS (ENCUESTA ONLINE)	123
FIGURA LXXXIX: DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE RESPUESTAS PARA LAS DIFERENTES CURVAS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE DESVIACIÓN Y LA LONGITUD.	125
FIGURA XC : DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE RESPUESTAS PARA LAS DIFERENTES CURVAS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE DESVIACIÓN Y LA LONGITUD.	126
FIGURA XCI: DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA TERNARIO (EN TRIÁNGULO)	127
FIGURA XCII: LONGITUD: CÍRCULOS MÁS GRANDES SIGNIFICA CURVAS MÁS LARGAS	128
FIGURA XCIII: PORCENTAJE DE TRAYECTORIAS CENTRADAS EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA CURVA	129
FIGURA XCIV: PERCEPCIÓN: LOS CÍRCULOS MÁS GRANDES INDICAN MÁS RESPUESTAS QUE REVELAN UN QUIEBRO O UNA DISCONTINUIDAD	130
FIGURA XCV REDUCCIÓN DE VELOCIDAD: LOS CÍRCULOS MÁS GRANDES INDICAN MÁS RESPUESTAS DE REDUCCIÓN DE VELOCIDAD.	131
FIGURA XCVI: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN (VERDE OSCURO / NARANJA / ROJO) CON LOS UMBRALES ACTUALES DE AASHTO (AZUL)	133
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)	134

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. ....	135
FIGURA XCIX. ACELERACIONES CENTRÍFUGAS GENERADAS POR LOS RADIOS RECOMENDABLES. ....	136
FIGURA C. ACELERACIONES CENTRÍFUGAS GENERADAS POR LOS RADIOS MÍNIMOS. ....	136
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). ....	138
FIGURA CII: DISTRIBUCIÓN DE INCUMPLIMIENTOS PARA CURVAS SUPERIORES A 6 GONIOS, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO TOTAL. ....	139

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: RADIOS Y GRUPOS EN LA INSTRUCCIÓN DE TRAZADO 3.1-IC PARA PODER USAR CLOTOIDES O NO .....	9
TABLA II: CARACTERÍSTICAS DE LAS CURVAS QUE SE USAN EN EL ESTUDIO (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	44
TABLA III: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVAS QUE SE USAN EN EL ESTUDIO (ENCUESTA ONLINE) .....	48
TABLA IV: CÓDIGOS DE LOS VÍDEOS (ENCUESTA PRESENCIAL) .....	50
TABLA V: CÓDIGO VÍDEOS ENCUESTA ONLINE .....	54
TABLA VI: NÚMERO DE CURVAS QUE CONFORMA LA MUESTRA EN FUNCIÓN DE DIFERENTES VALORES DE N Y C .....	65
TABLA VII: SUBGRUPO Y GRUPO DE LA CURVAS (ENCUESTA ONLINE) .....	69
TABLA VIII: CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN ELEGIDAS PARA LA TOMA DE DATOS "IN SITU O EN CAMPO" .....	75
TABLA IX: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-60) .....	77
TABLA X: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-41) .....	80
TABLA XI: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-424) .....	82
TABLA XII: CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA (CARRETERA CV-605) .....	85
TABLA XIII: COEFICIENTE DE ALFA DE CRONBACH .....	94
TABLA XIV: COEFICIENTE DE ALFA DE CRONBACH .....	99
TABLA XV: COEFICIENTE KR20 .....	99
TABLA XVI: DISTRIBUCIÓN QUE SE SIGUE PARA LOS PORCENTAJES DE RESPUESTA .....	100

## 1. ANTECEDENTES

En la presente Tesis doctoral, “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES EN CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN” se plasma la investigación que se realizó acerca de la percepción visual y comportamiento de las personas usuarias de carreteras convencionales españolas ante curvas horizontales de bajo ángulo de deflexión.

La investigación necesaria para realizar esta Tesis doctoral es parte del proyecto “CASEFU – Estudio experimental de la funcionalidad y seguridad de las Carreteras convencionales” (referencia TRA2013-42578-P), que pretende actualizar el modo en el que se diseñan las carreteras convencionales en España atendiendo a criterios de operación, seguridad y funcionalidad.

El autor de esta Tesis doctoral contribuyó al proyecto CASEFU entre abril de 2015 y marzo de 2019, gracias a la obtención de una beca FPI del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad) mediante el desarrollo de esta investigación.

La toma de datos de operación vehicular de esta investigación se realizó con la ayuda de la Conselleria d’Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori de la Generalitat Valenciana, con la ayuda del Área de Carreteras de la Diputació de Valencia, y con la ayuda de la Dirección General de Tráfico (DGT).

El autor realizó una estancia en la Universidad de Granada (como parte de la elaboración de la investigación plasmada en esta Tesis doctoral), entre los meses de marzo y junio de 2017. En dicha estancia diseñó, confeccionó y ejecutó una encuesta presencial para satisfacer esta investigación. A sí mismo el autor realizó una encuesta online y se llevó a cabo una toma de datos de operación vehicular, para conocer la percepción visual y el comportamiento de los conductores españoles ante las curvas de bajo ángulo de deflexión.

El motivo principal y clave por el que se realizó esta investigación es que no existen evidencias que sustenten los criterios de diseño geométrico de este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Descripción

Esta Tesis doctoral se fija en un tipo de curvas horizontales llamadas de bajo ángulo de deflexión. Estas curvas de bajo ángulo de deflexión son casi rectas. La apariencia de este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión provoca, en ocasiones, una percepción visual errónea del usuario de carreteras, se pueden producir maniobras erráticas de los vehículos (al comportarse el conductor de determinada manera) y, por tanto, se puede producir siniestralidad (por ejemplo, efecto de “codo óptico”, que se puede percibir como un quiebro, en el caso de un mal diseño). También se puede dar una mayor relajación de las personas conductoras al recorrer estas curvas de bajo ángulo de deflexión, más suaves (por ejemplo, mucha longitud de la curva y poca IMD).

Al recorrer estas curvas la velocidad y la trayectoria de los vehículos cambian. Los usuarios de estas carreteras adoptan varias posiciones laterales y velocidades dentro del carril por el que circulan.

Posiciones laterales que adoptan los vehículos:

- Irrumpir o aproximarse al carril en sentido contrario.
- Irrumpir o aproximarse al arcén de su carril (cuando existe arcén suficiente).
- No se produce aproximación al carril contrario, ni al arcén y el vehículo circula por su carril.

Desde el punto de vista de la velocidad, los vehículos adoptan las siguientes velocidades:

- El vehículo mantiene la velocidad que llevaba en la recta anterior a la curva.
- El vehículo reduce la velocidad respecto a la que llevaba en la recta anterior a la curva.
- El vehículo aumenta la velocidad respecto a la que llevaba en la recta anterior a la curva.

### 2.2 Alcance y ámbito

Esta Tesis doctoral tiene las siguientes limitaciones respecto a su alcance y ámbito de estudio.

➤ Alcance de estudio:

- Carreteras convencionales con curvas horizontales de reducido ángulo de deflexión, centrándose en curvas de bajo ángulo de deflexión (entre 2 gon y 20 gon). El análisis, siguiendo la Normativa de diseño de carreteras, incluye una división de curvas, entre curvas de más de 6 gon y menos de 6 gon (Instrucción de Trazado 3.1-IC, 2016).
- Con tráfico fluido (flujo libre).

- La toma de fotogramas para los vídeos se realiza en el sentido de circulación.
- Las condiciones externas se suponen adecuadas para una buena conducción (buenas condiciones físicas, orografía, buena visibilidad, condiciones climatológicas no malas y pendiente suave, sin grandes urbanizaciones adyacentes que recorran un centro urbano, sin elementos externos que dificulten la visión, sin vehículo enfrente y sin carreteras en muy mal estado).
- No se consideran en la investigación, los factores internos humanos.

➤ **Ámbito de estudio:**

- Territorio de España (Europa).

En la (Figura I) se representan las provincias españolas por las que cruzan las carreteras aptas para realizar la investigación en la que se apoya la presente Tesis doctoral.



Figura I: España, Europa

### 3. ESTADO DEL ARTE

Al usuario le llegan continuamente estímulos procedentes de la carretera, del vehículo que conduce y otros interiores a las personas. Tras un corto espacio de tiempo el usuario evalúa los estímulos que recibe, toma una decisión y ejerce una acción sobre el vehículo para desplazarlo. En determinado momento existe una velocidad y trayectoria del vehículo en su carril y el conductor ajusta su velocidad y su posición lateral como expresan Reymond et al. (2001) entre otros autores. Por tanto, para conocer la percepción visual y comportamiento del conductor al trazar curvas y así evitar víctimas por accidentes, es necesario conocer el diseño geométrico y otros factores tal como comentan Adminaite et al. (2015) entre otros autores.

Este apartado no se centra en la tridimensionalidad de una carretera y sí en su planta.

#### 3.1 Diseño geométrico en planta

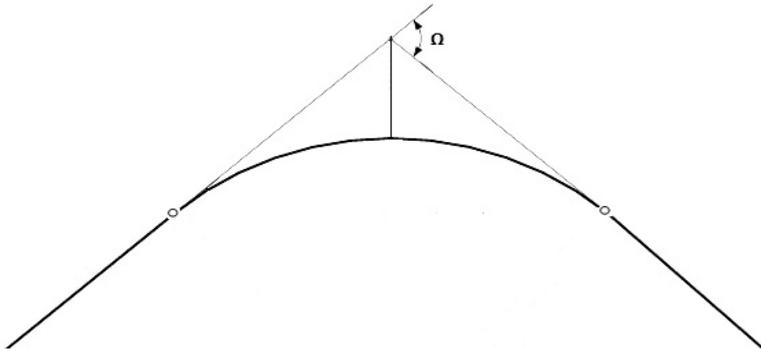
Un vehículo que recorre una carretera siempre posee un movimiento con determinada fuerza longitudinal, lateral y velocidad. Para conseguir que ese vehículo pase de una alineación a otra sin ninguna discontinuidad, disminuyendo esa fuerza lateral y cumpliendo una serie de factores primarios (seguridad, estética, comodidad, funcionalidad, comunicación, movilidad, buena fusión con el medio ambiente, elasticidad y economía), es necesario determinado diseño geométrico que se da por bueno en las Instrucciones de diseño de carreteras.

Para realizar este diseño hay que partir de una idea inicial de carretera. Esta idea inicial se modela hasta conseguir un diseño final que además de optimizar la geometría cumple los factores primarios (seguridad, estética, comodidad, funcionalidad, comunicación, movilidad, buena fusión con el medio ambiente, elasticidad y economía). Esos factores se ajustan en todo momento, de tal manera que se modifican, cumpliendo (lo más posible) con las características buscadas de modo que se perfecciona la geometría y variables de la idea inicial de carretera.

El actual trazado en planta de una carretera es una combinación de tres elementos:

- Rectas (cuya curvatura es nula).
- Curva circular (cuya curvatura es constante).
- Curvas de transición (variación lineal de la curvatura respecto a su desarrollo).

Combinando las rectas, curvas circulares y curvas de transición se consigue pasar de una alineación a la siguiente, sin discontinuidad y cumpliendo los factores primarios anteriormente nombrados. Forman un ángulo entre uniones de una curva ( $\Omega$ ), el cual es variable según sea su posición geométrica, tal como muestra el siguiente gráfico (Figura II):

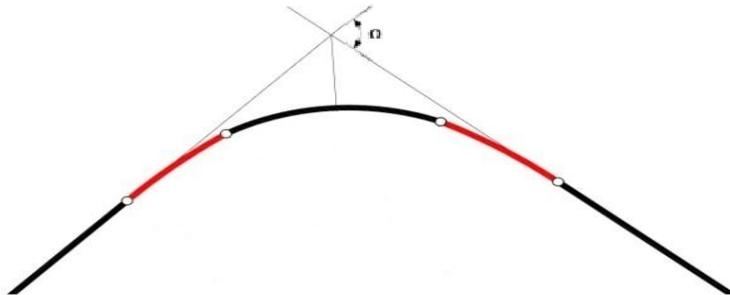


**Figura II: Diseño geométrico en planta (sin curvas de transición o clotoides)**

Una vez conseguida esa carretera final el usuario ya puede desplazarse a lo largo de ella con determinada velocidad y por tanto con una serie de garantías de seguridad y comodidad.

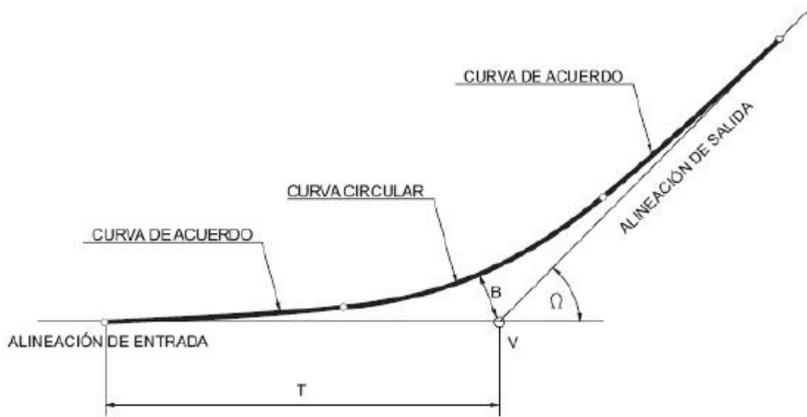
Las curvas de transición son un tipo de curvas con las que se permite una transición gradual entre fuerzas (aceleraciones) centrífugas, así se consigue que no se produzca un “salto” (por ejemplo, entre rectas y curvas cerradas sin clotoides o entre otras configuraciones). Dichas curvas de transición ofrecen determinada longitud. Esta transición se mide en  $m/s^2/s$ , es decir, en  $m/s^3$ .

Existen varios tipos de curvas de transición, pero en la Instrucción de Trazado 3.1-IC se usa las curvas llamadas clotoides (Figura III):



**Figura III: Diseño geométrico en planta (con curvas de transición o clotoides)**

Como se dice con anterioridad en este documento, la clotoide es una curva en la que su radio de curvatura va variando conforme el conductor la recorre, con lo cual se puede pasar de una alineación a otra (con comodidad y seguridad), (Figura IV), es muy fácil adaptarla al terreno por el que se circula y su diseño geométrico permite mayor visibilidad. El radio de curvatura decrece inversamente proporcional a su desarrollo. La curva va desde un radio infinito hasta un radio finito.



**Figura IV: Esquema clotoide-curva circular-clotoide**  
 Gráfica extraída de la Instrucción de Trazado 3.1-IC

La clotoide es una curva plana, con ecuación intrínseca, en cualquier punto (Pp) (Figura V) de la curva se cumple (1):

$$R * L = A^2 \tag{1}$$

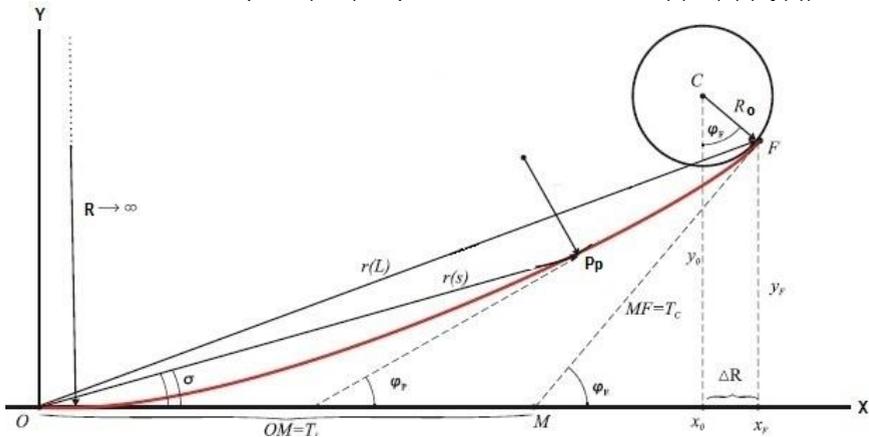
Siendo:

R = Radio en un punto cualquiera de la clotoide.

L = Longitud de la curva.

A = Parámetro de la clotoide.

Considerando una curva plana (Z=0); Expresión inicial de la curva,  $r(s) = (x(s); y(s))$ ;



**Figura V: Esquema clotoide**  
 Gráfica extraída del documento "Una aproximación a la curva de transición clotoide vista desde Mathematica" (Blanch et al., 2013)

F es el punto de enlace con una curva. Ro es su radio.

Siendo el ángulo de desviación que forma la alineación recta del trazado con la tangente en un punto de la clotoide ( $\varphi_F$ ):

En radianes:

$$\varphi_F = \frac{L}{2R}$$

En gon:

$$\varphi_F = 31.83 \frac{L}{R}$$

Se conoce el ángulo girado, tan  $\varphi_F$  (el ángulo entre TF y el eje OX).

$$\tan \varphi_F = \frac{XF - XO}{YO - YF}$$

Resolviendo tan  $\varphi_F$  se obtiene el valor de L.

Si se sustituye en la expresión inicial e integrando término a término, se obtiene las fórmulas para el cálculo de las coordenadas de esta curva. Si se emplea su longitud y la relación entre el ángulo girado por una clotoide, se conoce el ángulo mínimo que debe abarcar cada una de las clotoides (teniendo en cuenta cada radio de curva circular).

El ángulo entre uniones mide el grado de abertura de una alineación recta con la prolongación de la otra alineación recta en una transición curva. Dicho ángulo se conoce como ángulo de deflexión en una curva horizontal de una carretera convencional española. Este ángulo, en una curva completa, es la suma del ángulo de la curva circular que compone la curva completa más la suma de los ángulos de las clotoides (y por tanto es el mínimo ángulo de la curva completa).

Esa longitud (L) y el parámetro (A) de la clotoide serán los mayores que cumplan una serie de limitaciones (según la Instrucción de Trazado 3.1-IC), por tanto, estas curvas se diseñan teniendo en mente estas características.

Sin embargo, la Instrucción de Trazado 3.1-IC expresa una serie de limitaciones, se enumeran a continuación:

- Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal.
- Limitación por transición del peralte.
- Limitaciones por condiciones de percepción visual.

Estas limitaciones se explican más adelante (en este documento se les llama “Criterios de la Normativa”).

El retranqueo es  $\Delta R_o = X_F - X_o$ , es la distancia entre la curva circular y la alineación recta con la que se enlaza tal que se pueda insertar la clotoide (sin retranqueo de la curva circular, geoméricamente la clotoide no tiene lugar según las Normas).

El centro C está a una distancia  $R_o + \Delta R_o$  de la alineación recta con la que se enlaza.

Utilizar las clotoides o no, depende (según Instrucción de Trazado 3.1-IC):

**Tabla 1: Radios y Grupos en la Instrucción de Trazado 3.1-IC para poder usar clotoides o no**

Se puede usar clotoide	Con curvas circulares de radio menor que 5000 m en carreteras de los Grupos I y II y radio menor que 2500 m en carreteras del Grupo III
No se puede usar clotoide	Con curvas circulares de radio mayor o igual que 5000 m en carreteras de los Grupos I y II y radio mayor o igual que 2500 m en carreteras del Grupo III

➤ **Actualmente.**

El diseño geométrico de las carreteras españolas se basa en la Instrucción de Trazado 3.1-IC (2016) que deroga y sustituye a la Instrucción de Trazado 3.1-IC (1999). En la actual Instrucción de Trazado, se permite usar un ángulo en las uniones inferior a 2 gon en caso de proximidad a otras infraestructuras.

En la versión de la Instrucción de Trazado 3.1-IC (1999) no se permitía usar un ángulo en las uniones inferior a 2 gon, se añadió en la última versión de la Normativa.

Aunque la Instrucción española de diseño de carreteras (Instrucción de Trazado 3.1-IC) tiene en cuenta los nombrados factores primarios, desgraciadamente, no contempla principios de funcionalidad propios y los toma de documentos ajenos como el Highway Capacity Manual (AASHTO, 2018) y también del Libro Verde de AASHTO (2018).

Esta Instrucción no manifiesta provenir de un estudio científico-experimental, es decir, de evidencias empíricas, al igual que el resto de las normativas de otros países.

Esta Instrucción para el diseño de carreteras españolas (Instrucción de Trazado 3.1-IC) tiene en cuenta unos Grupos y Tipos de carreteras. Se establecen los siguientes Grupos de carreteras:

- Grupo 1: Autopistas y autovías A-140 y A-130.
- Grupo 2: Autopistas y autovías A-120, A-110, A-100, A-90 y A-80 y carreteras C-100.
- Grupo 3: carreteras C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40.

Este trabajo se centra en Grupos que llevan la letra “C” (se usa la letra “C” para designar las carreteras convencionales seguida de la velocidad de proyecto)

Combinando las rectas, curvas circulares y clotoides se pueden formar siete tipos de alineaciones curvas que suelen utilizarse en proyectos de carreteras españolas (Instrucción de Trazado 3.1-IC), se dibuja un pequeño esquema con su tipo de curva:

- Tipo I: Constituido por una secuencia clotoide-curva circular-clotoide, tal como muestra el siguiente gráfico:

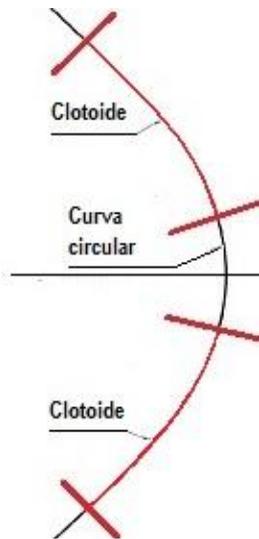


Figura VI: Alineación curva Tipo I

- Tipo II: Constituido por una secuencia clotoide-clotoide (llamadas clotoide de vértice o en punta). Dos rectas unidas mediante dos clotoides, tal como muestra el siguiente gráfico:

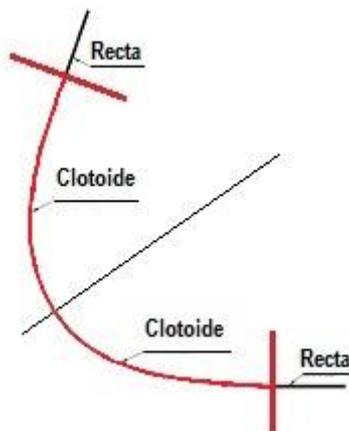


Figura VII: Alineación curva Tipo II

- Tipo III: Constituido por una curva circular (una curva circular une a dos rectas), tal como muestra el siguiente gráfico:

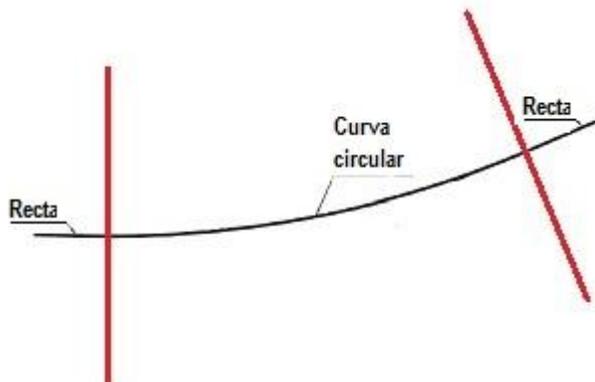


Figura VIII: Alineación curva Tipo III

- Tipo IV: Constituido por una secuencia curva circular-clotoide-clotoide-curva circular, tal como muestra el siguiente gráfico:

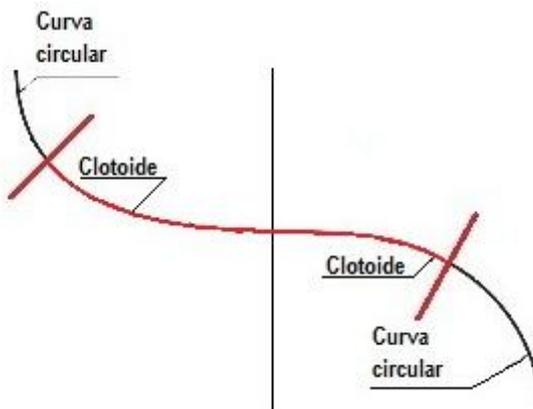


Figura IX: Alineación curva Tipo IV

- Tipo V: Constituido por una secuencia curva circular-clotoide-curva circular, tal como muestra el siguiente gráfico:

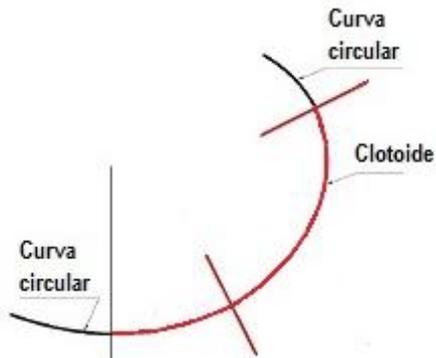


Figura X: Alineación curva Tipo V

- Tipo VI: Constituido por una secuencia curva circular -curva circular, tal como muestra el siguiente gráfico:

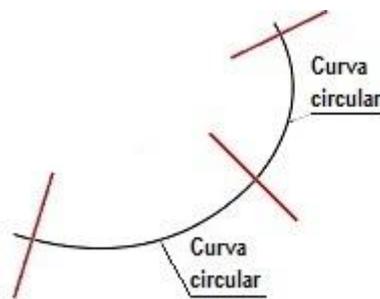


Figura XI: Alineación curva Tipo VI

- Tipo VII: Constituido por una secuencia curvas clotoide-clotoide, tal como muestra el siguiente gráfico:

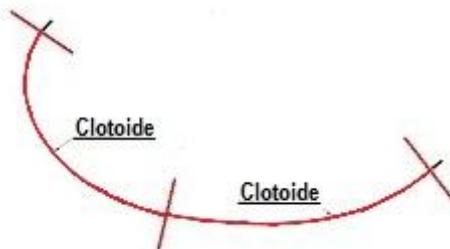


Figura XII: Alineación curva Tipo VII

La configuración más extendida en España es la de Tipo I. Como norma general para la Instrucción de Trazado 3.1-IC, las curvas entre dos alineaciones rectas deben ser de

este tipo. En carreteras de Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3 (mayores velocidades), son también muy utilizados el Tipo I y el Tipo IV.

Bajo ciertas circunstancias, pueden emplearse curvas del Tipo III entre alineaciones rectas.

➤ **Criterios de la Normativa.**

Esta Instrucción de Trazado 3.1-IC impone una serie de condicionantes de distinta índole, son limitaciones para realizar ese diseño adecuado de la carretera y así asegurar ciertas variaciones que provocan seguridad y comodidad. Como se expresa en este documento, esta Instrucción no manifiesta provenir de un estudio práctico que explique estas limitaciones sino que son fruto de acciones teóricas:

- Criterio I de la Normativa.

Limitación por variación de la aceleración transversal.

La variación de la aceleración centrífuga en la curva está obligada a ser compatible con la variación de la curvatura de la clotoide por la que circula un vehículo tal que ese vehículo no se salga de la carretera. La aceleración centrífuga no puede sobrepasar un umbral.

Si no existe un peralte que compense dicha aceleración centrífuga, el coeficiente de variación de la aceleración centrífuga (en  $m/s^3$ ) es un valor mínimo que produzca comodidad al usuario de carreteras.

La ecuación con la que se obtiene el parámetro de clotoide ( $A_{min}$ ), si se supone que la clotoide se recorre a velocidad constante igual a la velocidad específica de la curva circular asociada de radio menor, es:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{R_0 \cdot V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_0} - 1,27 \cdot \frac{(P_0 - P_1)}{\left(1 - \frac{R_0}{R_1}\right)} \right]}$$

Cuando suponga un menor coste y aunque la comodidad del usuario disminuya, se elige el valor del coeficiente de variación de la aceleración centrífuga máximo (aquí se podría estudiar la posibilidad que entraran en juego medidas técnicas de ayuda a la conducción para mantener esa comodidad), siendo:

$$L_{min} = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_0} \cdot \left(1 - \frac{R_0}{R_1}\right) - 1,27 \cdot (P_0 - P_1) \right]$$

El parámetro y longitud ( $A_{min}$  y  $L_{min}$ ) de la clotoide para el caso más usual (alineación Tipo I), unión de recta ( $R_1 = \infty$  y  $P_1 = 0$ ) con una curva circular ( $R_0$  y  $P_0$ ) mediante clotoide, son las siguientes:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{R_o \cdot V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_o} - 1,27 \cdot P_o \right]}$$

$$L_{\min} = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_o} - 1,27 \cdot P_o \right]$$

Siendo:

$V_e$  = Velocidad específica de la curva circular asociada de radio menor (km/h).

$J$  = Variación de la aceleración centrífuga ( $m/s^3$ ).

$R_1$  = Radio de la curva circular asociada de radio mayor (m).

$R_o$  = Radio de la curva circular asociada de radio menor (m).

$P_1$  = Peralte, con su signo, de la curva circular asociada de radio mayor (%).

$P_o$  = Peralte, con su signo, de la curva circular asociada de radio menor (%).

- Criterio II de la Normativa

Limitación de la pendiente transversal.

La Instrucción de carreteras (Instrucción de Trazado 3.1-IC) expresa:

Para mantener esa comodidad del usuario de carretera, el gradiente de la pendiente transversal en la transición del peralte tiene un umbral límite. A partir del borde de la sección transversal (mayor variación longitudinal de la pendiente transversal), se obtiene la longitud mínima de transición del peralte tal que no supere el valor del gradiente de la pendiente transversal, siendo:

$$\nabla_{ip} = 0.86 - 0.004 \cdot V_p$$

Valor mínimo de la longitud de la transición del peralte y parámetro de la clotoide:

$$L_{\min} = \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}} \cdot B \cdot k$$

$$A_{\min} = \sqrt{R \cdot B \cdot k \cdot \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}}}$$

$\nabla_{ip}$  = Gradiente de la pendiente transversal del borde que experimenta la mayor variación longitudinal de la calzada respecto al eje de la misma (%).

$V_p$  = Velocidad de proyecto (km/h).

$L_{min}$  = Longitud mínima de transición del peralte (m).

$P_f$  = Peralte final con su signo (%).

$P_i$  = Peralte inicial con su signo al inicio de la clotoide (%).

$B$  = Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m).

$k$  = Factor de ajuste, función del número de carriles que giran.

- Existe un criterio III de la Instrucción de Trazado 3.1-IC (dividido en 3 partes), son limitaciones por condiciones de percepción visual.
  - Criterio III.1  
Entre los extremos de una clotoide, la variación de azimut es mayor o igual a un dieciochoavo de radián (esto es,  $\tau_{III.1} \geq 3.54^\circ$ )
  - Criterio III.2  
La instrucción comenta que el retranqueo ( $\Delta R_o = X_f - X_o$ ) es mayor o igual que 50 cm

$$L_{min} = \frac{R_o}{9} \Rightarrow A_{min} = \frac{R_o}{3}$$

$$L_{min} = 2 \sqrt{3 \cdot R_o} \Rightarrow A_{min} = (12 \cdot R_o^3)^{1/4}$$

Siendo:

$L_{min}$  = Longitud (m).

$R_o$  = Radio de la curva circular (m).

Para valores de  $R_o$  mayores o iguales  $\geq 972$  m es aplicable la primera condición anterior.

Para valores de  $R_o$  menores  $< 972$  m es aplicable la segunda condición anterior.

- Criterio III.3 (tan solo es un criterio que recomienda la Instrucción)  
Una clotoide abarca, como mínimo, una quinta parte del desarrollo total de la alineación curva.

Como anteriormente aparece en la tabla I, la Instrucción de Trazado 3.1-IC afirma que:

- Para curvas (con curvas circulares de radio mayor o igual que 5000 m en carreteras de los Grupos I y II y radio mayor o igual que 2500 m en carreteras del Grupo III), no es necesario usar curvas de transición (clotoides), ya que la aceleración centrífuga es tan reducida que el salto de aceleración transversal es ínfimo y puede realizarse sin curvas de transición, teniendo que usar curva Tipo III.

- Para curvas (con curvas circulares de radio menor que 5000 m en carreteras de los Grupos I y II y radio menor que 2500 m en carreteras del Grupo III), es necesario utilizar curvas de transición (clotoides).

En general, según la Instrucción de Trazado-3.1-IC, el ángulo en las uniones de una curva Tipo I debe ser mayor o igual que 20 gon (esto afecta al desarrollo mínimo de la curva más sus clotoides). Este ángulo también puede llegar a adoptar valores entre 6 gon y 20 gon pero según la Instrucción de Trazado, solo excepcionalmente (refiriéndose a las curvas de bajo ángulo de deflexión).

La Instrucción de Trazado-3.1-IC también indica que usando ángulos menores a 6 gon, se deben utilizar curvas Tipo III. La unión entre rectas solo se realiza con curva circular con una longitud limitada y un radio mínimo (sin clotoides) tal que se cumpla la siguiente expresión (2):

$$D_c \geq 325 - 25 * \Omega \quad (2)$$

Siendo:

$D_c$  = Desarrollo de la curva (m)

$\Omega$  = Ángulo entre las alineaciones rectas (gon)

Según lo anterior, esta restricción limita el desarrollo mínimo de la curva, lo cual limita el radio mínimo de la curva. El objetivo de esto (como se expresa con anterioridad) es evitar que una curva de bajo ángulo de deflexión aparezca como un quiebro en el trazado, para dar lugar a falsas percepciones por los conductores, lo que puede derivar en maniobras erráticas y, en última instancia, en accidentes.

Para que el desarrollo de ese tipo de curvas sea el suficiente y se cumplan los umbrales y criterios de la Instrucción de diseño de carreteras española, esa curva con un bajo ángulo de deflexión necesita que aumente su radio y por tanto necesita un mínimo grado de abertura (que condiciona su longitud y viceversa), lo que quiere decir que conforme el radio de la curva es menor, el ángulo mínimo que tiene la curva completa es mayor.

Muchas de las normativas de trazado de carreteras en distintos países contienen distintos radios mínimos, teniendo en cuenta determinada velocidad de diseño, aceleración, desarrollo mínimo, visibilidad, rozamiento y otros factores. En general, las normativas de otros países proporcionan un radio mínimo para que se cumplan sus criterios de seguridad y comodidad.

Estas normativas de otros países lo obtienen a través del cálculo de las funciones que lo componen (derivados o no de un desarrollo mínimo), similares a la normativa española. Las normas o recomendaciones de la AASHTO considera que las curvas con pequeños ángulos de deflexión (inferiores a 5°) deben presentar una longitud mayor o igual a (3):

$$D_c \geq 300 - 30 * \Omega \quad (3)$$

Siendo:

$D_c$  = Desarrollo de la curva (m)

$\Omega$  = Ángulo (en grados sexagesimales). 90° = 100 gon

En la Figura XIII también se añade las V (km/h) frente a los R (m) en las normativas *Design Manual for Roads and Bridges* (2014) y Norme Funzionali e Geometriche per la costruzione delle Strade (2001).

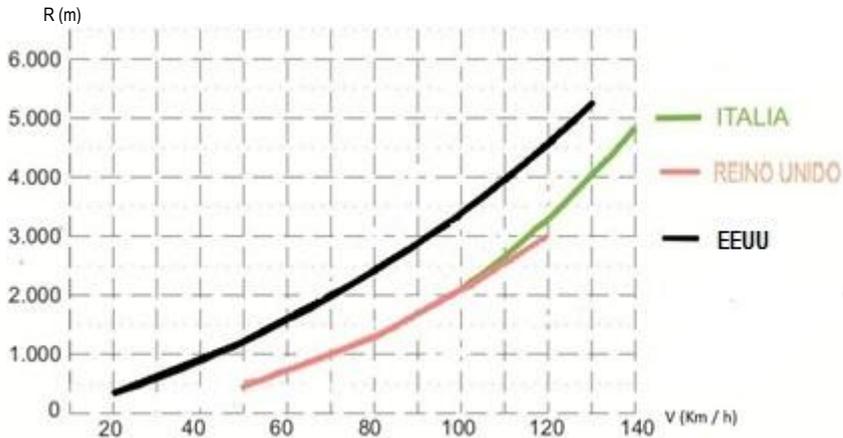


Figura XIII: Algunos radios para el diseño de curvas de bajo ángulo de deflexión

### 3.2 Percepción y procesamiento de la información

Las características externas (condiciones climatológicas, visibilidad, otros) influyen a la hora de evaluar la percepción visual y comportamiento de las personas usuarias de carretera, además de estas no se debe olvidar que existen otras características que también influyen en la conducción. Son características internas del ser humano (aptitud, actitud, aprendizaje, capacidad física, psíquica, características de procesamiento de información).

La forma de realizar el procesamiento de la información que le llega al usuario es muy compleja y varía de unos a otros, el usuario procesa una información incompleta y realiza una serie de acciones que tienen como resultado trazar la curva horizontal intentando llevar determinada trayectoria y velocidad.

Aunque estos factores que se nombran sean determinantes para la buena conducción en carretera, los vehículos ya se encuentran dotados de sistemas de ayuda a la conducción (sistemas de aviso al usuario dentro del vehículo, tecnologías TIC) y cada vez en mayor medida se está implantando la conducción autónoma.

### 3.3 Trayectoria vehicular

Al recibir, procesar y evaluar gran cantidad de estímulos externos e internos las personas conductoras manipulan ciertos controles del vehículo y este se desplaza. Por tanto, se debe dominar la trayectoria del vehículo y su velocidad. Se trata de cambios de velocidad y desplazamientos laterales que se realizan de tal forma que el vehículo se aleje más o menos de una directriz (un desplazamiento ideal, sería tal que al entrar en la curva y al

trazar el centro y salida de la curva, la distancia lateral entre esos puntos sería muy pequeña y la distancia lateral sería constante durante todo el desplazamiento).

Al recorrer determinada curva en una carretera los vehículos adoptan una velocidad y un desplazamiento lateral a un lado u otro de esa curva, con lo que se puede dar "recorte" de curva, voluntario o no. Si las personas usuarias de carretera no se ven obligadas a producir "recorte" y aun así voluntariamente lo ejecuta, quiere decir que se recorta la curva para conseguir un radio más suave del que realmente posee la curva buscando mayor comodidad. Si el conductor tiene que realizar "recorte" de la curva obligado, ya que no la percibe adecuadamente, recorta la curva debido a esa mala percepción. Spacek (2005) crea una clasificación para todas las curvas, las más habituales que realizan los conductores en curvas se pueden clasificar en seis tipos:

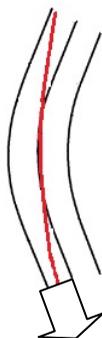
Las distintas trayectorias curvas se representan en rojo y su dirección y sentido se representan mediante una flecha en los siguientes gráficos.

- "Cutting":

La posición lateral de un vehículo, a la entrada / salida de una curva, es similar, la curvatura es menor que la teórica del trazado, y aproximadamente constante a lo largo del mismo.

El vehículo se acerca a una posición lateral conforme circula a lo largo de la curva pisando / invadiendo el carril en sentido opuesto a su sentido de circulación, en el centro de la curva.

El vehículo se acerca a otra posición lateral, sin pisar / ni invadir el arcén a medida que ese vehículo se aleja del centro de la curva (Figura XIV).



**Figura XIV: Ejemplo. Trayectoria Tipo I**

- "Swinging":

El vehículo realiza la entrada a la curva cerca del arcén, sin pisarlo / ni invadirlo, como se ve en el gráfico (Figura XV). El vehículo se acerca a una posición lateral conforme circula

a lo largo de la curva, sin pisar / ni invadir el carril en sentido opuesto a su sentido de circulación, en el centro de la curva.

El vehículo se acerca a una posición lateral conforme circula a lo largo de la curva, sin pisar / ni invadir el carril en sentido opuesto a su sentido de circulación a medida que ese vehículo se aleja del centro de la curva (Figura XV).

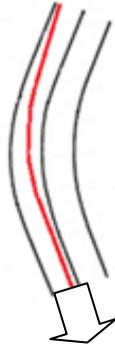


Figura XV: Ejemplo. Trayectoria Tipo II

- “Drifting”:

Como en la trayectoria “Swinging” ese vehículo tampoco pisa / ni invade el carril en sentido opuesto al carril de circulación.

El vehículo realiza la entrada a la curva cerca de la línea de división de carriles, sin pisarla / ni invadirla, como se ve en el gráfico.

El vehículo mantiene esta posición hasta el centro de la curva donde se acerca a una posición lateral sin pisar / ni invadir el arcén.

El vehículo mantiene esta posición lateral desde el centro de la curva hasta su salida. Al salir de la curva, ese vehículo tiende a irse al exterior.

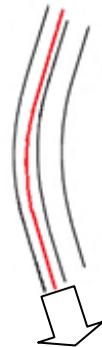


Figura XVI: Ejemplo. Trayectoria Tipo III

- “Correcting”:

El vehículo realiza la entrada a la curva en un punto lateral situado en la mitad de su carril, aproximadamente, como se ve en el gráfico.

El vehículo se acerca a una posición lateral conforme circula a lo largo de la curva sin pisar / ni invadir el arcén, hasta el centro de la curva.

El vehículo se acerca a una posición lateral conforme circula a lo largo de la curva, sin pisar / ni invadir el carril contrario de circulación, a medida que ese vehículo realiza la salida de la curva (Figura XVII).



**Figura XVII: Ejemplo. Trayectoria Tipo IV**

- Normal behavior:

El vehículo ni pisa ni invade el carril en sentido opuesto a su carril de circulación, tampoco tiende al exterior de la curva.

La posición lateral del vehículo en su carril se mantiene constante a la entrada, salida y centro y durante todo el recorrido de la curva, como indica el dibujo (Figura XVIII).



**Figura XVIII: Ejemplo. Trayectoria Tipo V**

En sus investigaciones, Fitzsimmons et al. (2013) y Mauriello et al. (2018) llegan a una conclusión equivalente a la de P. Spacek, aunque Mauriello descompone las anteriores trayectorias en subtrayectorias. Se trata de un documento para dar a conocer las trayectorias que se adopta en las curvas horizontales en carreteras convencionales, en

relación a los diferentes radios y direcciones de curva, para tener mejor comprensión del comportamiento del conductor al trazarlas. Se analizan ocho clases de radios de curva, que van desde 125 m a 800 m.

Se determinan seis clases principales de trayectorias y 21 subtrayectorias teniendo en cuenta tanto las salidas de carril, como la situación de las medidas correctoras implementadas.

Para que los usuarios siempre circulen en condiciones de seguridad y comodidad, las velocidades específicas de este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión son muy superiores a las permitidas. La mayoría de los modelos de velocidad de operación se basan en el radio de la curva, pero estos modelos pueden no ser adecuados para curvas de bajo ángulo de deflexión. Un radio más bajo conduce a una velocidad de operación más baja, a pesar de esto hay otros modelos de velocidad de funcionamiento que podrían ser más adecuados, ya que no se basan en el radio sino en la longitud o en el índice de cambio de curvatura (CCR) tal como expresa la investigación de Ottesen y Krammes (2000) o Pérez-Zuriaga et al. (2010), entre otros.

### 3.4 Medición y estimación de la siniestralidad

Una carretera es peligrosa si le sobreviene un alto número de accidentes que sean graves. Esto se calcula mediante Índices de Peligrosidad, que básicamente dividen el número de accidentes o víctimas entre la exposición al riesgo.

A continuación, se analiza la siniestralidad en la Red de carreteras española (a través del Informe RACE-EuroRAP (2017), este informe recaba información sobre las carreteras españolas, en general).

Estos datos sobre accidentes se obtienen del estudio sobre 1389 tramos de carreteras de España, con un total de 4096 accidentes ocurridos entre los años 2014-2016, siendo 791 tramos de carreteras convencionales.

Se escogen accidentes con víctimas para evitar el underreporting (déficit en el registro de accidentes de tráfico). Según la información que se recoge en las estadísticas, existe un tanto por ciento de accidentes en carretera, que no son todos los accidentes que se producen, el underreporting aporta información complementaria que ayuda a mejorar las estadísticas (y aportar cifras reales).

No se ha encontrado ningún documento que “hable” específicamente de este tema (curvas de bajo ángulo de deflexión) en la bibliografía consultada.

Según lo expresado, la peligrosidad de estas carreteras queda definida por sus índices de peligrosidad, que se definen de la siguiente manera:

- IP (Índice de Peligrosidad): fórmula que relaciona el número de accidentes con víctimas con el tráfico registrado en esa carretera.  

$$\text{N}^\circ \text{ accidentes con víctimas} / \text{Exposición al riesgo} =$$

$$IP = \frac{\text{N}^\circ \text{ de accidentes con víctimas} \times 10^8}{\text{IMD} \times 365 \times \text{Longitud (km)}}$$

- IM (Índice de Mortalidad): fórmula que relaciona el número de víctimas mortales con el tráfico registrado en esa carretera.

Nº accidentes con víctimas mortales / Exposición al riesgo =

$$IM = \frac{N^{\circ} \text{ de víctimas mortales} \times 10^8}{IMD \times 365 \times \text{Longitud (km)}}$$

- IR (Índice de Riesgo “EuroRAP”): fórmula que relaciona el número de víctimas mortales y graves con el tráfico registrado en esa carretera.

Nº accidentes con víctimas mortales y graves / Exposición al riesgo =

$$IR = \frac{N^{\circ} \text{ de víctimas mortales y graves} \times 10^8}{IMD \times 365 \times \text{Longitud (km)}}$$

Dicho informe (RACE-EuroRAP, 2017) concluye que los tramos de carreteras españolas más peligrosos son tramos de carretera convencional, donde se observa que se produce un IR (Índice de Riesgo “EuroRAP” > 90, alto) y con IMD menor a 10000 vh / día, calzada única e intersecciones al mismo nivel.

Existen una serie de tablas donde se observan varios ejemplos de curvas suaves de carreteras que aparecen en las bases de datos de accidentes de las Administraciones de la Comunitat valenciana, durante el periodo 2011-2013 (aunque no se muestra dicha base de datos en esta Tesis):

Se observa que hay bastantes accidentes en esas curvas de bajo ángulo de deflexión, incluida su posible migración, en esos accidentes no hay casi víctimas (luego su IP es bajísimo).

### 3.5 Medidas de bajo coste para limitar la siniestralidad en carreteras

Para aumentar la seguridad en carreteras se implementa inventos sencillos en estas. No tienen considerables costes / gastos económicos (con estas medidas baratas no es necesario cambiar la forma de la carretera), se conocen como medidas de seguridad de bajo coste. Estas medidas pueden disminuir errores durante la conducción, puesto que la mayoría de ellas son medidas para que los conductores perciban con tiempo y sin problema la forma de la curva horizontal. Si el usuario cambia la posición en el carril y se aplican velocidades altas con disminución de la atención, puede provocar un accidente, tal como aparece en muchas investigaciones como las de López - Muñiz Goñi (2000), Torbic et al. (2004), Charlton (2007), McGee et al. (2009), entre otros. Estos autores expresan:

López - Muñiz Goñi expone la investigación de los accidentes de tráfico, se analizan los elementos que intervienen en la circulación. También se estudian los accidentes de tráfico, clases y causas de accidentes, y la recogida de datos en el lugar del accidente, análisis de accidentes y la influencia del alcohol en el origen de accidentes.

Torbic et al. expresan cómo mediante la aplicación generalizada de medidas de seguridad de bajo coste se pueden reducir los accidentes en curvas horizontales. También cómo implementar programas para reducir accidentes con víctimas. Charlton expresa la implementación de señales de advertencia que alerten de la presencia de curvas horizontales y marcas en el pavimento. Observando que medida es más apropiada para disminuir la velocidad y adoptar determinada posición lateral. McGee et al. describen informes sobre el tratamiento, características del diseño, implementación de medidas de bajo coste en curvas horizontales para abordar problemas de seguridad vial. También hablan del mantenimiento necesario que se debe aplicar.

Estas medidas de seguridad han de cumplir una serie de características:

- Ser económicamente rentables.
- Poder implementarse rápidamente.
- Ser muy beneficiosas para la seguridad.

Son actuaciones como:

- Marcas sobre el pavimento:

Líneas centrales longitudinales dobles (que provoquen un estrechamiento visual).



**Figura XIX: Ejemplo. Doble línea central  
Imagen GIIC**

Líneas transversales decrecientes, antes de la entrada de la curva (las marcas transversales producen atención en la conducción lo que provoca que el usuario de carretera reduzca la velocidad). Se colocan en el sentido de la marcha del vehículo.



**Figura XX: Ejemplo. Marcas transversales de alerta en la parte interior de los carriles  
Imagen GIIC**

Las señales horizontales se pueden complementar con señales verticales (ante una posible ocultación, destrucción u otro tipo de problema con estas señales verticales).

- Indicadores longitudinales de color verde (notifican la categoría y función de la carretera).
- Señales de advertencia.



**Figura XXI: Ejemplo. Señales verticales de advertencia  
Imagen GIIC**

- Placas con franjas de material retrorreflectante.

Las placas de flechas retroreflectantes se colocan en la entrada de la curva, colocándolas directamente en la línea de visión del usuario, logran que estos reduzcan la velocidad de sus vehículos.

El usuario delimita la forma de la curva con tiempo suficiente para reaccionar.

- Bandas laterales sonoras.

Esta medida es realmente muy eficaz como medida de seguridad de bajo coste. Son pequeñas y uniformes estrías en la capa de rodadura de una carretera, que se colocan a lo largo de la línea central que separa los sentidos de circulación y / o junto a las líneas de borde de cada carril.

Si el vehículo abandona su carril, la regularidad de estas estrías provoca un sonido al pisar las ruedas del vehículo, avisando al conductor de la variación de su posición lateral.

Existen otras medidas que se usan también como paneles direccionales, captafaros, limpieza de márgenes, rellenar cunetas (usando material poroso). Medidas muy estudiadas en muchos países. Pueden ayudar a las personas usuarias de carretera a elegir su velocidad y mantenerse dentro el carril.

En España el Reglamento General de Circulación, (*Instrucción de Carreteras 8.1 IC "Señalización vertical", 2014*) que deroga y sustituye a la *Instrucción 8.1-IC (1999)* e (*Instrucción de Carreteras 8.2 IC "Señalización Horizontal", 1987*), versan sobre señalización y balizamiento de las carreteras. Tratan de la señalización horizontal y vertical, definen el significado de las señales, sus formas, símbolos y contienen los criterios necesarios para determinar la visibilidad y percepción visual de las señalizaciones, marcas longitudinales y transversales, flechas, inscripciones, retrorreflectancia, color y localización.

La mayoría de países de todo el mundo usan unas Normativas sobre señalización y simbología equivalentes al sistema español gracias a la Convención de Ginebra que homogeneiza casi todas las Normas de distintos países. Otros países usan el manual de EEUU, Manual on Uniform Traffic Control devices (MUTCD).

A pesar de lo anterior y en el caso de la señalización horizontal, la situación no es la misma de unos países a otros. Distintos países usan distintas funciones, colores, formas y localización de ese tipo de señalización horizontal.

A continuación, se ven algunos pequeños ejemplos de Investigaciones de este tipo:

Investigaciones como la de Charlton (2007), observa el comportamiento de las personas usuarias en las curvas ante la señalización teniendo en cuenta la atención, percepción visual y geometría de la carretera. Este investigador concluye que, con una combinación de señales verticales de advertencia, líneas transversales con espaciamiento decreciente y signos de placas y flechas "Chevron", el vehículo se centra más en su carril al recorrer la curva, además de darse una reducción en la velocidad.



**Figura XXII: Ejemplo. Señales verticales de dirección  
Imagen GIIIC**

La entidad sueca independiente The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), en 2012, realiza una investigación sobre el empleo de bandas sonoras laterales de separación de carriles. Concluyen que la medida es muy buena pues hay una reducción muy alta de accidentes.

En otras Investigaciones como las de Ariën et al. (2017) también se proponen bandas sonoras laterales. Según explican estos investigadores esta medida de seguridad da más tiempo a las personas usuarias de carretera para anticiparse al desarrollo de la curva.

En la vigesimosexta Sesión Técnica del Observatorio Nacional de Seguridad Vial. Márgenes clementes (celebrada por la agencia española DGT en 2011 en España), se proponen limpieza de márgenes, rellenar cunetas con materiales porosos y conseguir márgenes suficientes sin obstáculos.



**Figura XXIII: Ejemplo. Margen bien hecho. Vigésimosexta sesión técnica del observatorio nacional de seguridad vial (DGT). Márgenes clementes**  
**Fotografía extraída del documento “Manual de buenas prácticas para el diseño de márgenes en carreteras convencionales ejemplos. Asociación Española de la Carretera”**

Un comentario final sobre estas medidas de seguridad de bajo coste y las curvas de bajo ángulo de deflexión, según Xumini. (2007):

“En las vías de alta velocidad hay que prestar especial atención al balizamiento en general, incluyendo unos programas eficaces de limpieza para que el balizamiento existente no quede inutilizado por la suciedad: en alta velocidad un error de percepción puede ser insoluble. Pero también hay que tener especial cuidado con el balizamiento de las curvas suaves, casi rectas, que son más difíciles de percibir con claridad: en ellas es más fácil que se produzcan errores, y con ello más salidas de la vía a alta velocidad”.

Por último, las carreteras auto-explicativas pretenden ser carreteras en las que el conductor mientras conduce conozca las propiedades del medio en cualquier momento. Se diseñan de forma que no sea necesario colocar más señalización que la mínima imprescindible y clara (de modo que no existe ninguna confusión e indique el comportamiento del usuario) y muestren claramente el tipo de carretera por la que circulan las personas usuarias de modo que esas carreteras sean explícitas al momento y por tanto exista muy buena percepción visual, de tal forma que el comportamiento en las personas usuarias sea el esperado tal como indican investigaciones como la de Cota Mascuñana (2016), (se puede decir que son carreteras con eliminación de sorpresas).

Al mismo tiempo se busca que sean carreteras “perdonantes”, es decir, que, si se produjera un accidente en ellas, los efectos serían mínimos. En definitiva, aumentar la seguridad vial.

### 3.6 Procedimientos de toma de datos

Existe una diversidad de métodos que usan los investigadores para la obtención de datos operacionales “In situ o en campo”. En su gran mayoría usan láser, radares, GPS imágenes fijas, imágenes de vídeo, encuestas, otros pequeños instrumentos. También usan simuladores y vehículos instrumentalizados.

Se usan instrumentos de medida que suelen ser aparatos que se basan en alguna propiedad física:

- Como el rebote en el objetivo (vehículo) de un “pulso” u onda con determinada frecuencia y energía. Este paquete de energía se refleja en el objetivo (vehículo) y vuelve al dispositivo emisor, midiendo el tiempo que tarda en ello. El sensor de estos instrumentos registra datos en poco tiempo (centésimas de segundo). Son sensores que se usan en largas secciones de carretera, desde un punto fijo o en movimiento.
- Otro método para obtener los datos necesarios, son el uso de los vehículos instrumentalizados (el vehículo instrumentalizado circula por la carretera y se usa para conocer el comportamiento de las personas usuarias ante el tráfico real). Están equipados con unidades de navegación inercial, GPS, cámaras estereoscópicas, luz coherente (Láser), radar lateral, videocámaras móviles y otros.
- Además de este grupo de instrumentos habituales que proporcionan datos sobre los vehículos que se estudian, se pueden usar otros instrumentos que registran movimientos oculares o de los mandos del vehículo (lo que se podría llamar “para conocer factores internos”).
- Otra forma de obtener datos de los vehículos es con el uso de fotografías fijas y vídeos. Se colocan sobre puntos inmóviles o en vehículos (en movimiento). Con su uso se puede ayudar a obtener trayectorias muy rápidamente (velocidades, otras características).

Usadas por muchos investigadores debido a su sencillez de manejo y su buen ratio (poco coste / calidad), tanto el uso de la fotografía fija como el vídeo son de los métodos para tomar datos operacionales más extendidos que existen.

- También existe otra forma para recabar estos datos como son los simuladores de conducción.

Permiten estudiar la percepción visual y comportamiento de las personas usuarias de carretera facilitando un ahorro de tiempo y dinero. Además, sirven para obtener medidas de seguridad de bajo coste tal como expresan investigaciones como las de Charlton (2007), Jamson et al. (2010), o Zhao et al. (2015) y otros.

Estos aparatos se emplean en todos los campos de la ciencia.

Los instrumentos que usan, se instalan dentro de vehículos reales con sensores en todos sus mandos. Los instrumentos detectan determinadas

señales provenientes de la persona conductora, estos codifican y mandan dicha señal a un ordenador que se encarga de simular una carretera, proyectando una serie de imágenes (esas imágenes se plasman frente al vehículo y a sus lados sobre unas pantallas con mucha sensación de realidad). Imitan la conducción por determinada carretera simulando las maniobras que realiza el conductor (Nicholas, 1992).

Hay que tener en cuenta que esta situación se produce en un entorno fabricado por un ordenador. Por muy realista que sea este espacio fabricado digitalmente no se trata de una verdadera toma de datos de operación vehicular “In situ o en campo”, sino en el laboratorio.

### **3.6.1 Procedimientos de toma de datos “en campo o In situ”**

La presencia física de las personas que manejan los instrumentos para la toma operacional de datos no debe afectar al comportamiento del usuario de carretera. Por tanto estas personas deben pasar lo más desapercibidas posibles. Lo mismo pasa con la presencia de los instrumentos de toma de datos operacionales, también puede afectar al comportamiento de los conductores por lo cual dichos instrumentos deben pasar lo más desapercibidos posibles.

La toma de datos de este tipo se llama “naturalística” (Pérez-Zuriaga, 2012). Si se tarda mucho en realizar una investigación en estas condiciones se vuelve muy costosa (económica y temporalmente).

Según Castro et al. (2014), en estas condiciones de observación es donde se estiman realmente las decisiones y comportamiento de los usuarios de carretera. Por tanto, estos datos son contrastables con otros resultados.

Seguidamente se ven unos pequeños ejemplos de su uso en investigaciones:

- La investigación de Othman, et al. (2011), en este caso con GPS, recaban datos geométricos de las curvas. Al mismo tiempo usan un grupo de instrucciones informáticas MATLAB capaces de identificar los datos llamados FOT`s (“Field operational test”) donde se incluye otros datos de las curvas. Por tanto, esta investigación se basa en distintas tomas de datos que se complementan y se obtienen resultados más detallados. Este método puede conseguir información sobre las respuestas de los vehículos y comportamiento en la carretera de forma muy rápida.
- En la investigación con el uso de radares, como la de Misaghi et al. (2005) en Canadá (Ontario), se intenta que los operarios de estas pistolas radar (e instrumento) pasen desapercibidos. Para la toma de datos de velocidad en carreteras convencionales, en este caso de vehículos pesados.
- Recarte et al. (2003), usan un vehículo de este tipo (usuales y los que se podría llamar “para conocer factores internos”). Esta investigación se realiza a finales de la década de los años 90 por la Dirección General de Tráfico (Subdirección de Investigación y Formación Vial).
- La utilización de imágenes de vídeo la encontramos en trabajos como el de Romana et al. (1995) en que, con el uso de cámaras de vídeo, acompañado de

otros pequeños instrumentos, obtienen imágenes que complementan a los pequeños instrumentos de dicha toma de datos.

Aunque esta investigación se realiza para conocer el intervalo crítico para el establecimiento de niveles de servicio de carreteras, es un claro ejemplo de uso y complemento de la toma de datos mediante videocámaras fijas.

- En la investigación de Ritchie (1972), se toman datos de operación vehicular mediante vehículo instrumentalizado. En este caso para conocer la velocidad y posición lateral de los vehículos ante señalizaciones verticales.

Otras investigaciones como las de Hu y Donnell (2010) para obtener características operacionales de observaciones reales de los vehículos, también utilizan un vehículo instrumentalizado. En este caso lo realizan para conducción nocturna.

Se obtienen dichos datos de los vehículos por medio de una furgoneta perteneciente a la Administración Federal de carreteras (en el Estado de Pennsylvania, EEUU).

### **3.6.2 Procedimientos de toma de datos mediante encuestas**

Dos metodologías de investigación para recopilar datos de información (eficaces, rápidas, bastante fiables si las preguntas y respuestas son claras y sinceras), son la encuesta presencial y encuesta online. La información que proporcionan se extrae de forma indirecta (no dejan de ser subjetivas y por tanto pueden dificultar el posterior análisis y pueden aparecer datos erróneos).

Aunque son metodologías distintas, no son mutuamente excluyentes. Son muy dependientes del grado de sinceridad de las personas voluntarias que las contestan.

Algunas diferencias entre ellas:

- La forma de administrarlas (auto-administradas o no).
- La forma de difundirla y recolección de datos de investigación (la encuesta presencial lo realiza mediante una conversación personal entre el encuestador y el encuestado, tratando de no influenciar en el encuestado).
- Su coste (la encuesta presencial es más cara, tiene un coste económico y temporal mayor para cumplimentarla y no llega a tantas personas como lo originan otro tipo de encuestas).

Ambas se usan aplicando una herramienta de obtención de información que materializa una serie de preguntas y otros ítems. Esas preguntas se efectúan a una muestra representativa de una población objetivo. Pueden ser preguntas de tipos socio-demográfico, conductuales u otras, pero siempre las distintas preguntas identifican claramente distintas variables.

Estos datos obtenidos a partir de estas preguntas se pueden corroborar con datos extraídos "In situ o en campo" mediante instrumentos de medición. Estos datos (extraídos mediante los instrumentos de medida) se extraen de forma directa y "seminalística o naturalística" (son objetivos). También se puede corroborar la veracidad de los datos obtenidos con la herramienta de obtención de información

mediante el empleo de un simulador (sabiendo que un simulador no es la realidad del usuario de carretera).

Innumerables investigadores (Cea d'Ancona (1999), Hernández et al. (2001), Silva et al. (2002), Anguita et al. (2003), García et al (2006), Corral de Franco (2009), Díaz de Rada (2009), Vallejo (2011), Jiménez et al. (2012), Meneses et al. (2016), Mejías et al. (2017), etc.), hablan sobre la encuesta en general. Cómo se planifica para su elaboración y desarrollo, lo que implica tomar unas decisiones previas a la obtención definitiva de la herramienta de obtención de información, cómo se implementa, se ejecuta y se procesa, por tanto, es necesaria una morfología inicial de la herramienta.

En la cabecera de la herramienta de obtención de información se debe especificar muy claramente:

- Identificación de la entidad que promueve el estudio.
- Título de la encuesta.
- Escuetas instrucciones para rellenar la herramienta de obtención de información y explicar su futura utilidad.
- Asegurar el anonimato y confidencialidad de las personas voluntarias.
- Rogar sinceridad en las respuestas.
- Agradecimiento (alternativamente ponerlo al final de la herramienta).

A partir de la Hipótesis y el estudio de la bibliografía necesaria se dan una serie de pasos en las sucesivas fases, para confeccionar estas herramientas de obtención de información. Todos estos pasos están relacionados unos con otros, de modo que es necesario conocer uno para “construir” el otro y viceversa.

Antes de empezar con el diseño de la herramienta de obtención de información, hay que saber de forma clara:

- Los objetivos a lograr.
- Definir los recursos necesarios (humanos, de tiempo, económicos y de ejecución).
- Preguntas y otros ítems.
- Tipo de herramienta.
- Escala de valoración.
- Duración.
- Población objetivo.
- Tipo de muestreo.
- Validación y fiabilidad de la herramienta de obtención de información.
- Posterior análisis.

La validación y fiabilidad de una herramienta de obtención de información es un proceso iterativo y descubre a priori errores de las variables, método, preguntas y otros ítems. Este proceso es iterativo porque varía y elimina paulatinamente preguntas y otros ítems mediante continuas y reiteradas valoraciones.

Para conseguir esa depuración se analizan los resultados que obtienen una serie de expertos (jueces y/o voluntarios en el tema que se investiga) al responder a la herramienta de obtención de información.

Si hay consenso entre esos jueces, es posible que ya no sea necesario modificar más las preguntas y otros ítems de la versión de la herramienta (y la versión obtenida sea válida).

La validación y fiabilidad manifiestan si la herramienta mide lo que se quiere medir y la cantidad de confianza que se da a esos datos que se recolectan con la herramienta.

Como se dice, la herramienta se analiza mediante una serie de métodos y determinados jueces y/o voluntarios. Al finalizar este proceso, se vuelve a analizar la validación y fiabilidad de esta herramienta.

Finalmente se obtiene una herramienta de obtención de información que es válida y fiable para su uso.

➤ **Para conocer la fiabilidad existen determinados métodos o pruebas. Algunos de los existentes son:**

Existen varias pruebas para obtener la fiabilidad con los que no es necesario rellenar dos veces la herramienta de obtención de información (por ejemplo mediante la prueba Kuder Richardson (KR20) y coeficiente de alfa de Cronbach).

Existen varias pruebas donde es necesario rellenar dos veces la herramienta de obtención de información (como pruebas Paralelas, pruebas Test – Retest) y otros métodos).

- Prueba coeficiente de alfa de Cronbach:

Para preguntas politómicas y escalas tipo Likert (4)

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_r^2} \right]$$

(4)

Donde:

$\alpha$ : Coeficiente de Alfa de Cronbach

K: El número de preguntas

$S_i^2$ : Sumatorio de las varianzas de las preguntas

$S_r^2$ : Varianza de la suma de las preguntas

Evalúa la homogeneidad de los ítems de la herramienta. A más homogeneidad en los resultados en cada grupo de ítem, mayor es el alfa de Cronbach y más fiable es la herramienta.

Su resultado fluctúa entre 0 y 1.

La fiabilidad de la herramienta de obtención de información aumenta si durante la reiteración de evaluación sucesiva se excluyen determinadas preguntas que se sospecha poseen variables relacionadas.

El valor de fiabilidad que suelen aceptar los investigadores es, generalmente, según varias investigaciones, como Gliem y Gliem (2003) entre otras.

- Coeficiente de alfa de Cronbach > 0.9 es excelente.
- Coeficiente de alfa de Cronbach > 0.8 es muy alto.
- Coeficiente de alfa de Cronbach > 0.7 es alto.
- Coeficiente de alfa de Cronbach > 0.6 es cuestionable.
- Coeficiente de alfa de Cronbach > 0.5 es pobre.
- Coeficiente de alfa de Cronbach < 0.5 es inaceptable.

Para una investigación exploratoria es suficiente que sea igual o mayor a 0.6

- Prueba KR20:

No es más que una versión de la prueba anterior (es equivalente al alfa de Cronbach). Es una medida de la fiabilidad para preguntas dicotómicas. Evalúa la homogeneidad de los ítems de la herramienta de obtención de información (5).

$$KR20 = \left( \frac{K}{K-1} \right) \left( \frac{\sigma_i^2 - \sum p_i q_i}{\sigma_i^2} \right) \quad (5)$$

Donde:

K: número de preguntas de la herramienta de obtención de información.

P<sub>i</sub>: tanto por ciento de respuestas positivas al ítem.

q<sub>i</sub>: tanto por ciento de respuestas negativas al ítem.

σ<sub>i</sub><sup>2</sup>: varianza de la herramienta de obtención de información.

- Prueba Test-Retest (coeficiente de estabilidad temporal):

Prueba con la que se obtiene la correlación entre las puntuaciones de dos ejecuciones y su cumplimentación, no consecutivas, de una herramienta de obtención de información con la misma muestra de voluntarios o bien otra muestra de voluntarios de características similares (dejando que transcurran unos 20 - 25 días entre las dos ejecuciones y cumplimentación de esa herramienta) como expresa Berchtold (2016) entre otros.

Cuando sólo se dispone de una forma de herramienta de obtención de información esta prueba resulta muy buena para estimar la fiabilidad y validación, pero con el problema que se calcula pasando la misma encuesta dos veces a los mismos jueces que la valoran (o personas de características similares) y con una diferencia

de tiempo entre las dos ejecuciones (tal que exista coherencia temporal y no exista la posibilidad que el voluntario recuerde las respuestas sino pasa tiempo suficiente). Los resultados obtenidos también fluctúan entre 0 y 1 (coeficiente de estabilidad). Un coeficiente  $\geq 0,70$  indica la estabilidad de la herramienta de obtención de información y además se cumple coherencia en el tiempo.

Finalmente se redactan los ítems definitivos y se procede a su masiva aplicación, ejecución y cumplimentación, cosechado de datos y a su procesado (posterior análisis de datos).

El número y bondad de las respuestas que se obtienen condiciona mucho ese análisis y procesado de datos recolectados, lo que afecta mucho al resultado final.

Por supuesto si las respuestas a la herramienta no están cuantificadas y valoradas a través de la escala elegida anteriormente, se elige ahora, seleccionando y agrupando las respuestas dadas por las personas voluntarias.

Tras este paso, se transcriben los resultados obtenidos, incluyendo tablas y figuras.

➤ **Otras características, intrínsecas de la encuesta presencial:**

- Si el encuestador genera confianza en las personas encuestadas, crea una atmósfera apropiada para la ejecución y cumplimentación de la encuesta presencial.
- Dado su carácter no auto-administrativo, el encuestador puede responder preguntas que le hagan los encuestados para el buen funcionamiento de la herramienta de obtención de información (resolviendo dudas de manera muy cuidadosa y evitando sugerencias).
- También se transcriben otros resultados interesantes obtenidos. De la encuesta presencial se extraen los gestos y matices del lenguaje que usan los voluntarios (comentarios espontáneos de los jueces o voluntarios que proporcionan una idea de la sinceridad).
- Pueden ser un poco más dilatadas en el tiempo y más caras económicamente.

Existen numerosos tipos de herramientas de obtención de información que se pueden adaptar y validar en distintos países. También es posible combinar entre sí distintos tipos de herramientas de obtención de información.

A continuación se ven unos pequeños ejemplos de estas herramientas de obtención de información, todas ellas buscan caracterizar el comportamiento de conductores:

- La herramienta "DBQ" o "Driver Behaviour Questionnaire" es una de las herramientas más usada para examinar el comportamiento de las personas usuarias de distintos países. Muchos investigadores se basan en la "DBQ" (adaptándola) para confeccionar y validar otras herramientas de obtención de información.

España, adapta la "DBQ", empleándola por medio de la Fundación Real Club del Automóvil de Cataluña y el Instituto de Tráfico y Seguridad Vial de la

Universitat de València, plasmándola por primera vez en un informe denominado "ACCCES", el año 2004, (López de Cózar et al., 2006).

- Lajunen y Summala (1995), crean la herramienta "Driving Skill Inventory". Basado en el trabajo de Spolander (1983) y la investigación de Hatakka et al. (1991). Herramienta que sirve para obtener capacidades, actitudes de carácter técnico, experiencia y motivaciones de las personas usuarias frente a la seguridad en la conducción. La encuesta se realiza con una muestra de 113 personas de nacionalidad finlandesa (estudiantes de la Universidad de Helsinki, con permiso para conducir).  
Sirve para conocer el comportamiento de las personas usuarias de carretera y la seguridad en carretera. Incrementa la inseguridad en la conducción en personas usuarias con experiencia en conducir aunque aumenta su facilidad de conducción.
- Las investigaciones de Sullman (2002) crean una herramienta, para conductores de camión. Se basan en la encuesta "DBQ". Se realiza por correo (creada en Nueva Zelanda).  
Mide el comportamiento de los usuarios de carretera en distintos países (Gran Bretaña, Australia, Suecia, China) con distintos resultados según el número de variables que se usen en la DBQ, también investiga la consistencia de la herramienta y la relación entre factores del comportamiento errático del usuario de carreteras con otros factores (errores de conducción, de atención, memoria, exceso de velocidad).  
Concluye que esta encuesta es predictiva y de gran robustez y los conductores que obtienen una puntuación más alta en el test y han estado involucrados en un accidente en el pasado son más propensos a repetirlo en el futuro, siendo menos claro el resultado en el caso de los conductores profesionales.
- Otra herramienta es la "SQ", "Speeding Questionnaire" de Hatfield et al. (2008). Desarrollan y evalúan una herramienta de obtención de información para medir comportamientos de los conductores tendentes a un exceso de velocidad (sirve para tomar datos sobre el comportamiento de las personas usuarias de carretera y la velocidad que adoptan los vehículos que conducen y varias variables también relacionadas con las actitudes de los conductores).  
La encuesta se realiza con una muestra de 43 personas con permiso para conducir.  
Trabajo corroborado mediante un simulador de conducción.
- En el sentido de validación y fiabilidad de una herramienta de obtención de información, se tiene, por ejemplo, la investigación, por medio de un meta-análisis (De Winter et al., 2010).  
Esta investigación se usa para conocer el comportamiento de los conductores en relación con su participación en accidentes.  
Se basa en la herramienta "DBQ".

Los investigadores destacan que el análisis de estos metadatos muestra que la herramienta es buena predictora. También comentan que entre las personas jóvenes es mayor la relación entre violencia y accidente. Confirman la validez y fiabilidad de la

herramienta mediante datos experimentales de accidentes cometidos por errores de las personas usuarias.

- La investigación de Castro et al. (2013) valida una encuesta para la DGT, de 31 ítems.

En concreto estos investigadores crean, validan y obtienen la fiabilidad de una nueva versión de una herramienta de percepción y comprensión del tráfico, "Percepción de Peligros en el contexto español (HP-WHN)".

Compuesto por 32 vídeos en que unos conductores voluntarios visualizan situaciones de peligro en la carretera.

Concluyen que los voluntarios, más expertos, con mayor puntuación en el test, pueden percibir y comprender más fácilmente situaciones de tráfico peligrosas.

- Bergmark et al. (2016) crean la herramienta "DDS (Distracted Driving Survey)". Estudia el comportamiento de los conductores norteamericanos ante la distracción por usar el teléfono móvil mientras se conduce (existe una versión adaptada para España). La parte de percepción de seguridad del usuario, en esta investigación, está basada en la encuesta "TPB" de Ajzen (1991). Contiene 11 preguntas.

La herramienta contiene preguntas acerca de la velocidad que adopta el usuario y su comportamiento mientras usa el teléfono móvil (uso de correo electrónico, redes sociales y mapas) y conduce al mismo tiempo.

La encuesta se realiza con una muestra de 228 personas jóvenes de entre 18 y 24 años.

Concluyen que posee mucha fiabilidad y validez, que hay una gran cantidad de jóvenes que escriben mensajes de texto / hablado o no por el teléfono móvil mientras conducen. Puede ser una herramienta muy buena para reducir este comportamiento.

Jovanović et al. (2017) usan una herramienta de obtención de información que incluye preguntas de tipo sociológico y que toma datos del comportamiento de las personas usuarias ante la velocidad de los vehículos. Crean una herramienta cuyos propósitos son conocer la validez y fiabilidad. Sirve también para conocer su validez predictiva. Herramienta de 29 ítems. Basada en el modelo "TPB" de Ajzen (1991).

Se describe distintos escenarios para el tráfico y los voluntarios responden preguntas abiertas en términos de acción, contexto y tiempo.

Se encuesta a 546 usuarios de carreteras rurales de la República de Serbia.

Validado por la toma de datos en campo y voluntarios. Según estos investigadores, este modelo proporciona buenas predicciones del comportamiento de las personas usuarias de carretera.

- Martinussen et al. (2017) crean una herramienta de toma de datos basada en la herramienta "DBQ".

Sirve para obtener datos, clasificar e identificar grupos de conductores según sea su comportamiento conduciendo, sus infracciones, y accidentes,

Para obtener las infracciones de tráfico y los accidentes usan una base de datos Danesa (Statistics Denmark). Además para conocer las habilidades de

conducción de las personas usuarias de carretera, también usan la herramienta "DSI" (Driver Skill Inventory).

Esta investigación se realiza sobre una muestra de 3683 usuarios de carreteras Danesas.

Estos investigadores concluyen que las herramientas basadas en las herramientas "DBQ + DSI" son buenas para identificar comportamientos que conllevan infracciones de tráfico.

- Stanojević et al. (2018) crean una herramienta basada en "DBQ" para conocer el comportamiento del conductor en tres países del sudeste de Europa. Además de conocer el distinto comportamiento del conductor en distintos países, a la hora de conducir, la versión de la herramienta "DBQ" que aquí se usa es muy útil para medir el comportamiento en cuanto a infracciones del usuario. Estos investigadores concluyen que existen más infracciones por exceso de velocidad en los países del este de Europa que en el resto de Europa.

Si se desea usar, en el mercado existe gran cantidad de plataformas online que ayudan a crear una herramienta de obtención de información (usando algún software determinado, se editan y redactan los ítems que se desee).

Por supuesto sin el uso de estas herramientas de obtención de información también se puede recabar datos de las personas usuarias de carretera (sociológicos y demográficos) a través del uso de fotografías fijas o vídeos o usando datos oficiales procedentes de distintas Administraciones.

### **3.7 Síntesis del estado del conocimiento actual**

Al confluir las rectas adyacentes de la forma que se puede observar en los gráficos del apartado 3.1 "Diseño geométrico en planta", surgen las curvas horizontales de bajo ángulo de deflexión.

Estas curvas presentan potencialmente una problemática en su percepción, que puede derivar en trayectorias y/o velocidades erráticas, aumentando la siniestralidad. Los estudios realizados hasta la fecha sobre trayectorias en curvas no ofrecen información detallada sobre curvas de bajo ángulo. Esto se da también en las diferentes normativas de diseño geométrico examinadas, en las que sus criterios de diseño no tienen base empírica o analítica.

Las percepciones erráticas, generalmente ocasionadas por un desarrollo insuficiente de la curva, pueden derivar en acciones rápidas e inesperadas de corrección de la velocidad y/o la dirección del vehículo, aumentando las posibilidades de accidente.

En cuanto a la posición, su trazado más laxo hace que, incluso en situaciones con una adecuada percepción, los conductores en ocasiones tiendan a recortar su trazado (hacia el arcén o hacia el carril de sentido opuesto), pudiendo aumentar también la siniestralidad (por salida de vía o colisión frontal, respectivamente). El recorte del trazado persigue reducir la aceleración centrífuga, aumentando el radio operacional y con ello permitiendo circular a mayor velocidad. Este fenómeno se puede dar en otros tipos de curva más estudiados, pero en mucha menor medida.

El adecuado estudio de las curvas de bajo ángulo requiere una adecuada restitución geométrica de una amplia muestra (existen métodos para ello) y toma de datos no invasivos. Mediante distanciómetros y/o velocímetros, dispuestos de forma transversal a las curvas y a las rectas adyacentes, es posible determinar la afección de las mismas a la conducción. Es esencial que los dispositivos permanezcan ocultos de la línea de visión de los conductores.

Por otra parte, las encuestas (especialmente las difundidas por medios web) constituyen un método muy conveniente para recopilar información de un gran número de usuarios, independientemente de su localización geográfica, así como de forma asíncrona.

## 4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Partiendo de las limitaciones encontradas en el Estado del Arte, el objetivo principal de esta Tesis doctoral es estudiar en profundidad las curvas de bajo ángulo de deflexión, analizando las restricciones geométricas, implicaciones operacionales, de percepción y siniestralidad, con el fin de establecer nuevas recomendaciones de diseño con base científica.

Como objetivos secundarios, necesarios para satisfacer el principal, se encuentran:

- Análisis crítico de la Instrucción de Trazado 3.1-IC, en lo referente al diseño de curvas de transición y disposición de curvas de bajo ángulo de deflexión.
- Extracción de una amplia muestra representativa de curvas de bajo ángulo de deflexión en España, que sirva de base para determinar la realidad del diseño de este tipo de curvas.
- Determinar la percepción de curvas de bajo ángulo de deflexión sobre una muestra representativa de conductores. Esto se realiza mediante una encuesta online y vídeos provenientes de Google StreetView.
- Estudiar de forma naturalística la evolución de conductores, en trayectoria y velocidad, en una muestra reducida de curvas de bajo ángulo de deflexión.
- Determinar si las actuales recomendaciones de diseño de la Instrucción de Trazado 3.1-IC son adecuadas en base a los anteriores estudios y, en caso de que no, proponer nuevos criterios. Se realiza un análisis similar con el Green Book de la AASHTO.

Para redactar esta Tesis Doctoral previamente se parte de la siguiente hipótesis inicial:

La geometría de las curvas de bajo ángulo de deflexión influye sobre la percepción de los conductores, lo que puede derivar en cambios en su trayectoria y velocidad. Algunos de estos cambios pueden dar origen a maniobras erráticas que pueden disminuir la funcionalidad de la carretera o incluso aumentar la siniestralidad.

Por ello, se considera asimismo la hipótesis de que es posible definir nuevos criterios de diseño con base en observaciones realizadas sobre la percepción, operación y siniestralidad de curvas de bajo ángulo de deflexión. Estos criterios se definen principalmente en función del diseño geométrico (radio, ángulo y/o longitud de las mismas).

## 5. METODOLOGÍA

Una vez se estudia la geometría, percepción, trayectoria, velocidad, siniestralidad a través de varios métodos (tanto “In situ o en campo”, como con distintos tipos de encuestas), y teniendo claro el objetivo de cada sección de esta Tesis, se divide en apartados:

- En Metodología, se explica:
  - Cómo se escogen las curvas.
  - Cómo se elaboran los vídeos aleatorios (necesarios para las distintas encuestas).
  - Cómo se realizan los distintos tipos de encuestas.
  - Cómo se elabora el estudio operacional “In situ o en campo”.
  
- En Resultados, se explica:
  - Qué se consigue tras ejecutar los distintos tipos de pruebas (encuestas, validación y fiabilidad de una herramienta de obtención de información, distintos datos de operación vehicular).
  - Características de los voluntarios e instrumentación para el estudio.
  - Los resultados de la operación vehicular) de forma objetiva.

Estos apartados se examinan a continuación.

### 5.1 Extracción de la muestra de curvas de bajo ángulo

A partir de una serie de carreteras convencionales repartidas por todo el país, se selecciona y extrae la geometría de más de 500 curvas que potencialmente poseen un reducido ángulo de deflexión (inferior a 20 gon, según Instrucción de Trazado 3.1-IC). Se escogen para tener un amplio repertorio y así disponer de una regla que diferencie entre curvas de bajo ángulo y otras que no son de bajo ángulo de deflexión.

Estas curvas se restituyen geoméricamente y, por tanto, se distingue entre las curvas que son, en principio, adecuadas para la investigación de las que no lo son. Esta restitución se realiza partiendo de las ortofotografías aéreas de las que dispone el servicio español online de libre distribución (PNOA).

Para restituir, identificar las formas y obtener los parámetros geométricos de las curvas, se aplica un software propio del GIIC (Grupo de Investigación de Ingeniería de Carreteras) de la Universitat Politècnica de València. Este software propio del GIIC es un algoritmo genético de restitución geométrica de Camacho-Torregrosa et al. (2015). Es un procedimiento automático basado en el análisis del azimut con el que se consigue un alto grado de ajuste. Evalúa, entre otras, configuraciones recta-clotoide-curva circular-clotoide-recta (según la Instrucción de Trazado 3.1-IC).

Si no existen clotoides, sus longitudes adoptan un valor mínimo (el software asume que las curvas sin clotoides (Tipo III en la Instrucción de Trazado 3.1-IC) son aquellas donde se ajusta un desarrollo mínimo que existiría para las clotoides).

Este software es especialmente adecuado para la detección y ajuste de este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión, ya que independientemente del radio (y por lo tanto curvatura), cualquier curva produce siempre un cambio del azimut de las rectas que la rodean.

Las curvas que se emplean, además, deben cumplir otros requisitos o criterios para poder usarse en la investigación (como son que no exista oclusión ocular, buena visibilidad, sin accesos, con rasante sin cambios aparentes de pendientes, de no gran cambio de contraste, no vehículo enfrente, no recorrer un gran centro urbano, que no sea una carretera en muy mal estado).

Los pasos para seleccionar las curvas son los siguientes:

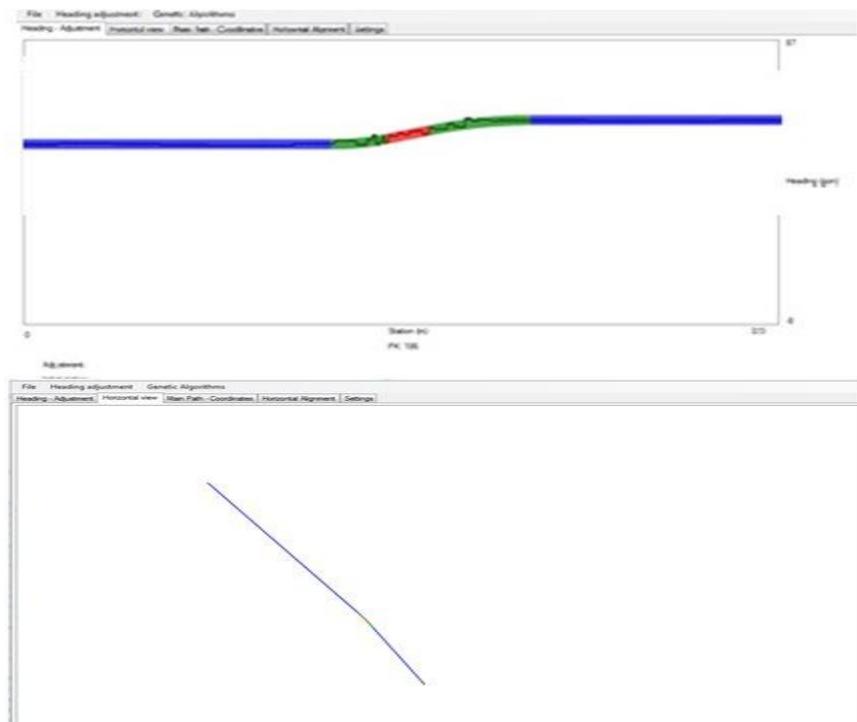
1.- Se marcan los puntos del eje de la curva en cuestión sobre una ortofoto que contenga la carretera buscada, mediante un software distinto al software propio del GIIC que permite marcar los puntos del eje de una carretera se obtienen las coordenadas de los puntos que definen dichas curvas (línea verde de la figura XXIV).



**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)**

2.- Dichos puntos se vuelcan al software de restitución (software propio del GIIC).

Este software propio usa esas coordenadas medias de la carretera (puntos marcados en verde sobre la ortofoto), presentando el diagrama de azimuts de la carretera, determinando la distribución de las formas y los parámetros geométricos (líneas azul, verde y roja de la figura XXV).



**Figura XXV: Ejemplo. Restitución de una curva de bajo ángulo de deflexión. Imagen GIIC**

3.- También se tiene en cuenta otros requisitos o criterios para seleccionar o no cada una de las curvas como apta para la investigación. Lo ya nombrado anteriormente, es decir, no seleccionar curvas con elementos externos que dificultan la visibilidad, no gran cambio de contraste, no vehículo enfrente, poca pendiente, no recorrer un gran centro urbano o una carretera en muy mal estado.

Finalmente se representan 284 curvas (puntos verdes de la figura XXVI entre 6 gon y 20 gon), y 70 curvas entre 2 gon y 6 gon (puntos en amarillo y rojo de la figura XXVI).

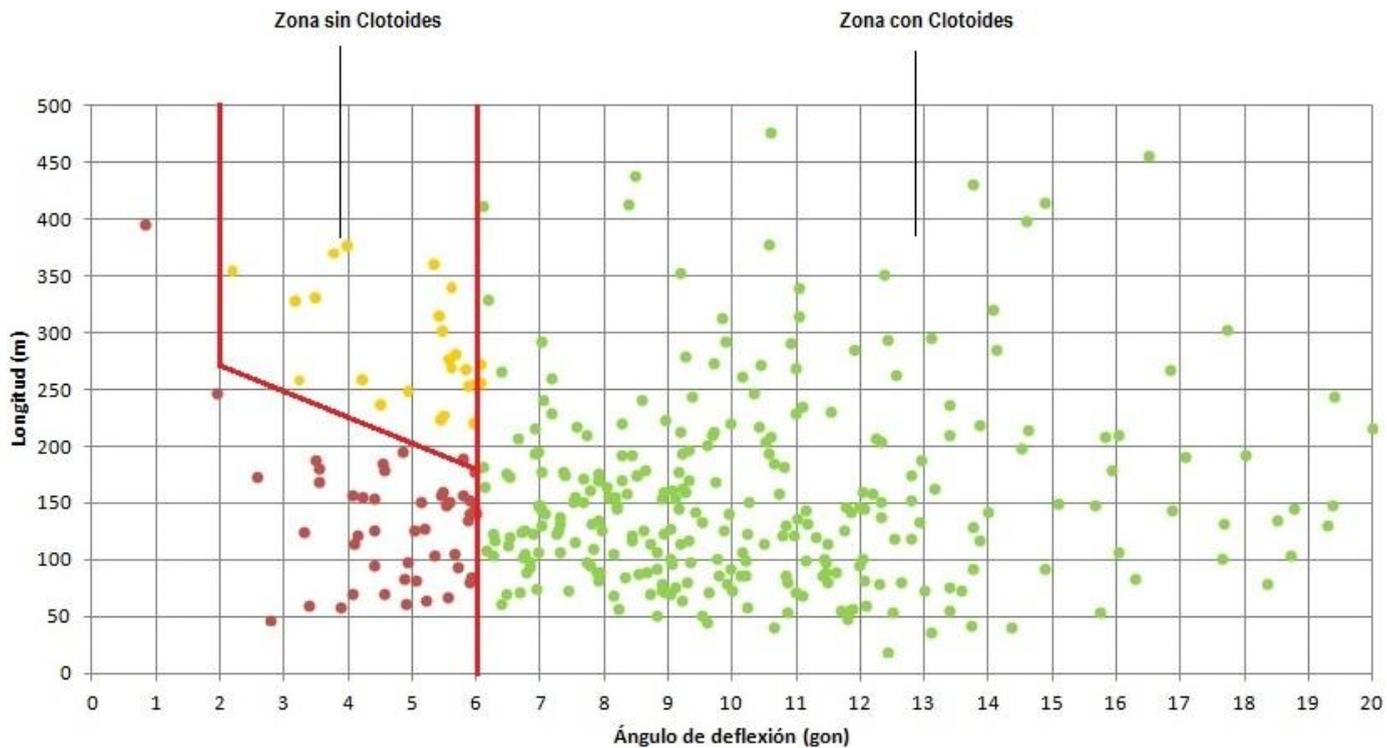


Figura XXVI: Muestra total de curvas aptas para la investigación

Resulta la siguiente tabla que muestra la distribución de la muestra de curvas seleccionadas que se usan finalmente:

**Tabla II: Características de las curvas que se usan en el estudio (encuesta presencial)**

Código carretera	Radio curva (m)	Ángulo curva (gon)	Longitud curva (m)
CV-605	807,987246	8,35182687	158
CV-415	681,033039	6,82393375	97
CV-381	79,4387176	12,4216588	18
CV-605	566,305623	8,65605434	88
CV-605	427,245463	10,2068853	99
CV-364	610,169038	6,67743902	71
CV-525	609,729672	8,82265917	107
CV-60	1517,75123	13,7413587	430
CV-3380	2250,2602	10,4959389	595
A-2620	676,043762	4,89675817	60
A-4310	243,854611	13,5753956	73
CM-3120	261,460933	10,226396	57
CM-3123	491,838968	10,2407571	123
CM-320	523,777942	10,9997166	136
CM-3203	989,235914	5,95280945	145
CM-3106	1791,55723	5,61444101	269
N-322	663,595885	6,76340751	105
B-12	1703,27843	9,84861352	312
B-2	776,846471	7,90810158	135
N-301	3889,15463	3,77307851	370
CM-3133	1400,98189	7,1796734	260
CV-754	304,219371	11,0909597	68
CV-835	1259,41041	4,06919709	114
CV-91	821,179544	10,8147431	182
CV-870	492,099162	7,43867085	73
A-399	1555,4038	5,87339038	253
A-399	385,202292	11,9819987	95
A-399	1983,82272	6,08116067	256
BV-2041	733,319682	4,86155058	83

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES EN CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN

C-1412	786,116945	12,2284078	207
C-37	335,241853	9,77978079	86
N-521	2118,92295	6,06898868	272
EX-106	1039,4638	12,4327383	293
EX-390	1254,52234	9,89546794	292
EX-260	2241,29377	6,37672495	266
N-521	612,665504	8,41669741	121
CA-2012	1300,92771	6,08834958	182
CA-2012	993,120817	10,3205755	246
CA-6014	448,286507	6,39053135	60
N-IV	643,257794	8,9041711	153
N-IV	782,149516	6,71497331	124
N-340	305,766359	12,2840742	78
CV-230	848,173834	9,15703941	177
N-232	530,688144	9,17703045	113
N-340	5114,63389	1,92928891	246
CV-157	859,124503	9,04032093	161
N-232	925,05935	8,0518632	155
CV-21	2380,50448	6,19101869	329
N-432	387,217728	16,8518955	143
A-306	413,794549	8,53863287	87
A-421	635,13786	6,26458258	103
CO-9006	659,083208	16,0342246	209
A-340	1319,79739	14,8808598	415
CP-230	1694,42112	5,42908466	157
CM-2100	593,230235	12,0191808	159
N-320	384,857393	9,92502342	79
CM-2109	1423,73553	12,3636282	351
CM-220	450,036636	13,8630353	117
CM-2100	940,180613	7,00824347	143
CM-2100	476,078706	19,9913701	215
SA-CV-33	715,125526	11,5283622	230
SA-605	934,244433	6,13284677	164
C-512	676,264162	8,7077406	113

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES EN CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN

N-630	2040,33716	3,54139236	168
N-501	1903,50048	4,5484774	178
M-127	491,266409	11,9868421	146
M-404	2514,90865	4,50586225	237
CL-610	505,33433	17,0702788	190
C-610	470,337255	12,317204	138
VA-610	237,655363	12,9919471	73
A-431	946,135782	7,30056369	137
N-IV	595,037282	9,414963	142
N-IV	607,762661	10,7366791	158
C-433	1342,59932	7,18366935	229
N-260	1802,41862	5,98679186	255
Camino Albarrate	377,250492	8,94388442	71
GR-NO-05	2430,41321	6,10317647	411
CM-2021	1181,51198	6,92380967	215
CM-2005	376,971385	11,3992299	85
CM-101	2728,1933	5,47202197	301
CM-236	2055,95562	3,29773684	124
CM-2013	1881,79711	5,83574659	268
A-131	979,020498	9,59136367	200
A-132	1735,01364	10,6041307	477
N-330	2572,09028	3,4651493	188
FV-2	3483,32363	2,54953222	173
GC-500	637,484532	10,6355531	185
LZ-703	850,8838	9,20269396	163
N-621	361,066671	11,4605663	88
LE-V-3141	924,702736	8,64015843	178
LE-523	1256,2874	4,21711628	155
N-VI	908,36288	7,07851437	140
LE-331	460,137183	9,96151262	92
N-VI	1501,20604	5,57654965	150
A-366	418,581679	9,04933933	96
MA-413	281,040173	10,9863507	71
A-355	1483,81407	10,5759055	377

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES EN CURVAS DE BAJO ÁNGULO DE DEFLEXIÓN

MA-209	2743,55464	8,33030604	621
MU-503	643,257794	8,9041711	153
MU-601	269,851207	12,6214584	80
MU-503	283,281478	10,0005055	73
MU-503	676,158296	8,19126534	148
MU-301	421,906191	15,0891308	149
N-121	601,258588	13,8704364	219
N-121	708,887147	10,5970511	208
NA-132	2275,69588	5,4131102	315
N-121	3271,63477	3,23988463	258
NA-2420	1204,29386	11,1011238	235
PO-244	1358,2378	5,88231174	152
TV-3421	138,519282	13,0982945	36
TP-2031	628,104989	7,79113574	132
N-420	1776,81907	8,36611446	413
C-43	878,373924	6,99403823	148
TP-3311	838,904853	7,89224858	176
TE-V-6014	916,689238	14,0631632	320
N-330	297,859065	16,0298908	106
N-234	2832,10233	8,83412891	705
A-232	445,145715	12,7997345	118
N-330	1453,30339	4,40240404	126
N-420	1260,10516	5,78467308	157
CM-4013	723,427578	12,9360712	188
CM-4013	467,862721	13,7430477	129
CN-4003	1271,64709	9,18648968	213
TO-4052	2174,27361	8,4764596	438
N-330	1762,61499	7,00687538	292
N-122	1023,17104	5,50649381	147
N-232	913,685773	7,52500887	155
N-II	454,677336	6,93077843	74
N-211	1562,75871	9,18617555	352
A-3100	823,255397	5,68372263	93
CM-320	654,337669	11,1542847	143

CM-320	525,795167	9,74674072	101
CM-320	2170,88622	5,67445336	281
T-204	187,682958	11,7023849	55
N-II	737,540065	7,25059741	122

Tabla III: Características de la curvas que se usan en el estudio (encuesta online)

Código carretera	Radio (m)	Ángulo total (gon)	Longitud (m)
CV-415	681	6,823934	97
CV-660	468	11,835373	142
CV-41	503	7,724109	97
CM-3123	492	10,240757	123
CM-412	334	10,11533	85
CM-3106	1792	5,614441	269
CV-835	1259	4,069197	114
A-399	1555	5,87339	253
AS-18	1988	5,572389	276
BV-2041	733	4,861551	83
CA-5065	1644	4,124625	121
A-3051	1197	4,38701	95
N-320	1033	5,639163	105
N-320	876	8,029135	164
CM-2100	940	7,008243	143
C-512	676	8,707741	113
N-630	2040	3,541392	168
N-501	1904	4,548477	178
M-507	2292	5,958708	220
M-507	1097	5,021652	126
CL-610	1494	7,051995	241
VA-VP-88	777	9,744993	168
SE-696	539	9,511315	133
N-323	670	6,504181	112
SE-11	368	11,147849	99
N-323	4750	3,491386	331
CM-101	2728	5,472022	301
CM-236	2056	3,297737	124

L-Z1	2073	5,618744	340
FV-2	3483	2,549532	173
N-601	1858	5,77392	189
N601	1090	7,357241	177
C-3314	3548	3,175871	328
N-121	3272	3,239885	258
A-226	2271	5,33841	360
N-330	1467	4,3836	154
N-234	1267	6,906207	194
A-1506	1291	7,568101	217
A-3100	823	5,683723	93
CV-605	3371	4,211222	259

## 5.2 Realización de una muestra de vídeos de StreetView

Se realizan una serie de vídeos. Estos vídeos se realizan para incluirlos en unas herramientas de obtención de información y así, al visualizarlos los usuarios responden una serie de preguntas, de esta forma se dan a conocer sus percepciones y comportamiento subjetivo al recorrer las curvas de bajo ángulo de deflexión:

- Una vez se restituye la planta, obteniendo la geometría de las curvas aptas para la investigación, se confeccionan una serie de pequeños vídeos en los que se simula la visión que tienen los conductores (muestran una secuencia de imágenes de cada recorrido sobre la carretera). Estos vídeos se exportan de forma aleatoria a una serie de encuestas (encuesta presencial y encuesta online), que son enviadas de forma masiva a un gran número de conductores, para que los visualicen, respondan una serie de preguntas y de este modo obtener sus percepciones y comportamiento subjetivo.

Estas imágenes, previamente fotografiadas por un servicio externo, se convierten en fotogramas (cada secuencia de 20 a 30 capturas de pantalla estáticas de la carretera y se toma cuando la cámara se acerca a determinada curva y la recorre un poco. Esto proporciona a cada encuestado una sensación de continuidad de la carretera). Cada fotograma de una secuencia se coloca a continuación de otro fotograma, a un intervalo de tiempo constante del siguiente fotograma. Mediante la ayuda de un editor de vídeo se enlazan dichos fotogramas. Los vídeos se crean con una duración suficiente para que el voluntario se mantenga atento (se considera un periodo entre 5 segundos y 12 segundos).

Cada vídeo se aloja por separado en la misma base de datos, en este caso (Youtube), indicando en todos ellos su correspondiente atribución. En la web que finalmente se confecciona, cada vídeo se puede reproducir las veces que el usuario considere oportunas.

Tabla IV: Códigos de los vídeos (encuesta presencial)

Código carretera	Código vídeo
CV-605	W6evygpQncM
CV-415	CVeotd2CdKg
CV-381	dqPb-GMs3hw
CV-605	CnlTF9tgjvw
CV-605	oSLXzaWFQMc
CV-364	j8avbnm2N4Q
CV-525	ovDT4l84zyc
CV-60	-wPV4Nbjc1E
CV-3380	VLUU-ucp5GI
A-2620	Z2TIMV68ptl
A-4310	zXrlFk-Sykc
CM-3120	tvUcJyuqZWM
CM-3123	vljwdGY5TY
CM-320	PO85DxmV2Lg
CM-3203	bn6BuF42g0U
CM-3106	cdTwznKKcv4
N-322	Y78AFtrYbjQ
B-12	7wh1XtlKaLJE
B-2	9NUQGxVBBwM
N-301	S43ifkSpoYo
CM-3133	l6cciLKu_So
CV-754	oZU3spA6vN4
CV-835	k9Nqk8oxJI8
CV-91	7CLUCVcl7QE
CV-870	Wnprt-gG_kc
A-399	DTABeJN5HRw
A-399	lbLXPK3bAAg
A-399	cmI7XxbNMc0
BV-2041	ebbn1Pv3TLA
C-1412	p8hUoLAZIPY
C-37	zr8ruQaCO4w
N-521	TTt214t1pcQ

EX-106	gzxHRnkmvnE
EX-390	TQskhKs-Y6o
EX-260	dLNMzPkSyBA
N-521	Wby2aDNBW8Q
CA-2012	1YUxsVrtxMY
CA-2012	bxw-Z5yWzJ0
CA-6014	yvrRVdT4aVs
N-IV	0_rXG4zPtW4
N-IV	oHWGDMfac6A
N-340	Wy3SEG7PSsE
CV-230	NbreuXXPjW4
N-232	skeqk8abjhU
N-340	eA1fcPI7R7k
CV-157	D0aBDIMoyjM
N-232	AxiqJ_fdioU
CV-21	ThpVgc9fqSQ
N-432	G6DOSzyMx94
A-306	uBDGRBvZAuo
A-421	9xDHg0JR_s_E
CO-9006	aXdGdu5L434
A-340	zFIXeduR-Jo
CP-230	tXe3_ivPNFQ
CM-2100	rhxUqurR4aM
N-320	BJOgMUcyJOQ
CM-2109	hrO-SmBTyZc
CM-220	LU4zdNMflaU
CM-2100	zs233OyQ2fg
CM-2100	-kw9LTGiBmM
SA-CV-33	4T65ydlExd4
SA-605	2kv_bia6GUw
C-512	7lwQvhc4c64
N-630	wRLCRNXIsnA
N-501	aFaq4OCDd14
M-127	HsCq8YQAL4o

M-404	sVqQl1-wRqw
CL-610	IWJfvDfX1Aw
C-610	n61u1hUqeY4
VA-610	XB965u6f5jl
A-431	ARwYH1CwWaM
N-IV	8Te685er6EI
N-IV	Zz6_lqhsFsY
C-433	AMOGOY0Vgws
N-260	nvZUjy-h9Pc
Camino Albarrate	SYAHyf91gZY
GR-NO-05	88JwDqQ9eCc
CM-2021	XenSIBYpnKE
CM-2005	DGQAZNE1ppo
CM-101	Cby-I-RDHrw
CM-236	MuZN0CSNscU
CM-2013	pNs4NRInGNM
A-131	iSanjk4HVcA
A-132	SxiX6Jyww74
N-330	iMzbl86u-Vw
FV-2	JQTXOn4b72g
GC-500	_AzzMMsKTQA
LZ-703	tsl4Ew3HaTE
N-621	Wb8yGmUMfsk
LE-V-3141	6_Bj5BNmAf0
LE-523	54Fa5r8NXPM
N-VI	j2r7JVCMeQM
LE-331	sSFPp8bZoHg
N-VI	4SLi9UDHUw4
A-366	3HmnU5l8pgU
MA-413	DEJsbwP_ir0
A-355	fIP9A858iP0
MA-209	qr-HfVISH08
MU-503	3CJ_SbBaI7k
MU-601	KyteACW4gds

MU-503	74Zr4-j4UcY
MU-503	e35Rf63yDF4
MU-301	CoAKYfSnHmE
N-121	uYn7wOXq5jY
N-121	U-QVghWxiLg
NA-132	nufkeTKA0g0
N-121	XjVpOUwJNU
NA-2420	c-8-lurIfRY
PO-244	VQdsT4y5WHk
TV-3421	lepLZC7v-y0
TP-2031	Yv4rgpZLzPpU
N-420	xSwxgiVMqJ4
C-43	7JrysN2j16l
TP-3311	nXhYfX4fkEA
TE-V-6014	6rJSJARUEBk
N-330	uytqgb7jvzo
N-234	Q7pK2FxoK3U
A-232	E_pg5HtykMI
N-330	LLMa7S9-U90
N-420	anzKOXgrwCl
CM-4013	E5QyimdFd90
CM-4013	gH3Ge7-yOw8
CN-4003	MGM_RdVnqul
TO-4052	1ff0viZ3IV0
N-330	lqvph2OSsQU
N-122	PGR4rCYBaeM
N-232	GBxvE7Ti0AI
N-II	0zuNhqSttSU
N-211	E8zhLA2cPDw
A-3100	prSSPwvjQmK
CM-320	5LchN3AIRYs
CM-320	HC0LLu3A0ZY
CM-320	Kb0Z_fl-v3l
T-204	aQzJv3XfpPg

N-II	mLYFS7LWBc8
------	-------------

Tabla V: Código vídeos (encuesta online)

Curva	Código carretera	Código vídeo
8	CV-415	CVeotd2CdKg
12	CV-660	PUhE-3GkkTE
15	CV-41	jqbhAluYoK8
35	CM-3123	vljwjdgY5TY
37	CM-412	xLRdaKJsg9l
39	CM-3106	cdTwznKKcv4
56	CV-835	k9Nqk8oxJI8
76	A-399	DTABeJN5HRw
86	AS-18	ZGkGPuA_fng
97	BV-2041	ebbn1Pv3TLA
151	CA-5065	uuRy9bCCg38
199	A-3051	UzNbziavJSE
222	N-320	ENXwIxiCJfM
236	N-320	VIUmco0YE6E
248	CM-2100	zs233OyQ2fg
274	C-512	7lwQvhc4c64
275	N-630	wRLCRNXIsnA
278	N-501	aFaq4OCDd14
282	M-507	0ki50xZZ5ik
287	M-507	BnHdmqghY_o
294	CL-610	0zxkpnOu5A4
300	VA-VP-88	yoyKnbW1wc8
314	SE-696	IUQEgr2GDoM
330	N-323	jKyg7fQoaTI
332	SE-11	1D1FdUn7I4Y
348	N-323	Blp3IZdyLaI
356	CM-101	Cby-l-RDHrw
357	CM-236	MuZN0CSNscU
380	L-Z1	FR0tlgxN3d0
382	FV-2	JQTXOn4b72g
394	N-601	Y5iG7RN9oGI

395	N601	hUW76gr3WEA
437	C-3314	9u3glKy5Qzs
462	N-121	XjVpOUwlJNU
509	A-226	HQjuasR_9s4
528	N-330	aJR4f9QOrIM
532	N-234	A74MOAlk81g
542	A-1506	iBjzjsmuPB8
548	A-3100	prSSPvvjqMk
567	CV-605	qT8zSLwbqr0

### 5.3 Realización de una encuesta presencial sobre curvas de bajo ángulo de deflexión

Antes de confeccionar la encuesta online se realiza una encuesta presencial, esta posee un carácter “de descubrimiento” (de ella se obtienen datos subjetivos que aportan los voluntarios).

Con esta encuesta presencial se pretende obtener información sobre el correcto funcionamiento de las diferentes preguntas y otros ítems. Así se definen los ítems que se aplican a la encuesta online (ayuda). Por tanto, se obtienen los ítems acertados, se consiguen “las posibles medidas de bajo coste” que creen los voluntarios que son las mejores y aumentan la seguridad.

Características:

- No es auto-administrativa.
- Es confidencial y anónima.  
Se garantiza que los datos de los participantes no se usan individualmente, sino agrupados.
- Esta encuesta se realiza de forma presencial (persona a persona).  
Las preguntas que se realizan son tanto abiertas como cerradas. Las mismas preguntas se formulan a cada entrevistado después de visualizar un vídeo diferente.  
El voluntario elige un vídeo de una lista dada (por lo que la encuesta es totalmente aleatoria y no existe ninguna repetición de curva por encuesta puesto que esa curva en cuestión se elimina en la elección de otro voluntario posterior).  
Dichas preguntas se realizan a tiempo real e interactuando físicamente con el voluntario en el momento.
- Se desarrollan mediante páginas de cálculo sobre la pantalla del ordenador portátil.  
Los voluntarios ejecutan y responden la encuesta presencial de forma individual, sentados y manteniendo sus ojos a pocos centímetros de la pantalla de un ordenador portátil.

- Además también recoge datos socio-demográficos (edad, sexo, accidentes e infracciones) y en su opinión (de los encuestados) qué medidas de seguridad de bajo coste serían efectivas en las curvas.

### 5.3.1 Descripción y definición de las preguntas a realizar

Para definir esta herramienta de obtención de información, se reúnen una serie de expertos (poseedores de conocimientos previos) aportando las sugerencias iniciales a las preguntas y otros ítems e identifican las variables (a saber, si el conductor aprecia bien o no las curvas, la posición lateral que cree el conductor que adoptaría al trazar las curvas y la velocidad que cree que adoptaría al trazar las curvas).

Para estudiar como caracterizar mejor las preguntas a investigar se crean cuatro bloques de preguntas divididos en función de las variables a responder:

- Cuatro preguntas cerradas sobre la percepción y comportamiento subjetivo de los voluntarios.
- Una pregunta cerrada sobre potenciales medidas de seguridad de bajo coste.
- Cinco preguntas cerradas socio-demográficas.
- Tres preguntas cerradas sobre las infracciones o accidentes de las personas usuarias de carretera en este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión (son una serie de preguntas para identificar conductas más agresivas).

Una vez que se redacta este borrador inicial con sus posibles preguntas y otros ítems, se procede a su contraste mediante el grupo de expertos. Se pide la opinión sobre esta herramienta de obtención de información al grupo de expertos

Se ejecutan sucesivas iteraciones con estos expertos, lo que permite eliminar posibles errores e ir mejorando las preguntas y otros ítems.

Estos expertos valoran:

- Si las variables y el lenguaje son comprensible directa e inmediatamente (eliminando las palabras que puedan confundir a los voluntarios). Este es el factor más frecuentemente corregido.
- Si la herramienta de obtención de información recoge sin problemas la información de investigación sobre la percepción visual y comportamiento subjetivo de conductores en curvas de carreteras españolas de bajo ángulo de deflexión.

Tras la primera revisión conjunta con los expertos, se aplica una prueba previa a 10 voluntarios, ejecutando y cumplimentando la encuesta presencial.

Estas pruebas previas demuestran, rápida y claramente que no existe ningún problema de interpretación, ni de otra índole, por tanto no es necesario que se propongan otras recomendaciones para una posible modificación de la herramienta dada la valoración positiva de esta.

Se obtiene la consistencia interna, a través del cálculo del alfa de Cronbach de las respuestas previas.

Por último, se vuelve a elaborar un proceso iterativo de validación con los expertos (no necesario en este caso), corroborando que ya se tiene la versión definitiva y por tanto no es necesaria una tercera versión de la encuesta.

Los expertos acuerdan como se codifica cada pregunta y otros ítems, su valor y su momento de aparición.

El grupo de expertos está constituido por seis profesionales con mucha experiencia en esta área de la técnica, procedentes de la Universidad de Granada, incluyendo cuatro profesionales en el diseño de herramientas de obtención de información mediante encuestas, así como dos psicólogos de la facultad de Psicología.

Todos los expertos que realizan la validación y fiabilidad, ya no se emplean en las ejecuciones posteriores de la encuesta.

Tal como se comenta anteriormente, la encuesta presencial muestra a los voluntarios que desean contestarla una serie de vídeos aleatorios del recorrido de curvas de bajo ángulo de deflexión. Tras visualizar un vídeo se le pregunta sobre su percepción visual y su comportamiento subjetivo ante la curva de bajo ángulo de deflexión que acaba de ver. El entrevistador toma notas de esas y otras respuestas que resultan interesantes (de modo que se observa la aparente sinceridad del voluntario).

Una vez se recolectan los datos, se analizan y procesan las respuestas, estos se transcriben con sus correspondientes gráficos.

➤ **Preguntas de la encuesta presencial:**

Al inicio, al voluntario se le explica el uso posterior de esta encuesta. Se le comunica la entidad que promueve la encuesta y se le da unas escuetas instrucciones para rellenarla. También se explica lo que son las medidas de seguridad de bajo coste.

Se le ruega contestar con sinceridad las preguntas, de tal forma que se puedan obtener conclusiones reales y válidas para la investigación.

Al final se le agradece su participación.

Para cada vídeo se plantean las siguientes preguntas, junto con las correspondientes opciones cerradas y abiertas de respuesta, obteniendo una serie de resultados.

1.- Cuándo ve de lejos esta curva, ¿la percibe bien?

- a) Sí
- b) No

En caso de responder "No", indique por qué.

2.- Una vez que recorre esta curva, ¿puede percibirla sin problemas?

- a) Sí

b) No

En caso de responder "No", indique por qué.

3.- En cuanto a su velocidad, ¿Cuál sería su comportamiento al recorrer esta curva?

- a) Reduciría la velocidad.
- b) Aumentaría la velocidad.
- c) Mantendría la misma velocidad que la que llevaba antes de llegar a esta curva.

4.- En cuanto a su situación en el carril, ¿Cómo cree que recorrería esta curva?

- a) Probablemente me aproximaría al carril contrario, sin salir de mi carril.
- b) Seguiría por el centro de mi carril, como usualmente conduzco.
- c) Probablemente me aproximaría al arcén, sin salir de mi carril.

5.- ¿Qué medidas de bajo coste cree que mejoraría la seguridad para esta curva?

Se realizan unas preguntas socio-demográficas con el fin de conocer el tipo de usuario:

6.- País de nacimiento.

7.- Género (Hombre / Mujer).

8.- Mayor nivel educativo (Educación básica / Educación secundaria / Bachiller / Educación universitaria).

9.- Entre qué valores se encuentra su edad (18-20 / 21-30/ 31-40 / 41-50 / 51-60 / 61-70)

10.- Tiempo desde que obtuvo el carnet de conducir.

Se preguntan sus infracciones o accidentes, para identificar conductas más agresivas de las personas usuarias de carretera en este tipo de curvas de bajo ángulo de deflexión:

11.- ¿Conoce cuántos puntos tiene en su carnet?

- a) Sí
- b) No

12.- ¿Ha recibido alguna multa que no sea de aparcamiento?

- a) Sí
- b) No

13.- ¿Ha estado implicado en algún accidente de circulación?

- a) Sí
- b) No

Posteriormente se procede a su ejecución, cumplimentación y recepción de respuestas.

### 5.3.2 Selección de voluntarios y cálculo del tamaño muestral

Esta encuesta se realiza a una muestra de personas usuarias de carretera de la ciudad de Granada (Andalucía, España), en concreto se realiza en diversos Campus, Escuelas universitarias y Facultades de dicha ciudad. Un gran tanto por ciento de dichos voluntarios reside temporalmente en Granada, teniendo su origen en otras regiones de España y de otros países.

Se intenta mantener un equilibrio entre voluntarios (hombres / mujeres) que poseen un perfil parecido (con educación universitaria y franjas de edades entre 18 y 40 años), entre los cuales hay personas con poca experiencia en conducción, existiendo personas con bastante experiencia (entre 1 y 16 años de experiencia).

En general, el voluntario no muestra gran reticencia a la participación. Durante esta fase las respuestas son por voluntario, por curva y vídeo.

La expresión genérica conociendo el tamaño de la población es (6):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (6)$$

El tamaño de la población es desconocido. Por ello, se aplica el límite cuando N tiende a infinito. A través del cálculo de la teoría estadística para población objetivo infinita se obtiene (7):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad (7)$$

Para el cálculo se usan los siguientes datos:

$Z_{\alpha}$ , se estima un intervalo de confianza del 90%

$D = p \cdot q$ , al desconocerla se usa desviación estandard del 0,25

$e$ , error de precisión, error que se asume del 10%

Por tanto y aplicando las expresiones anteriores, se calcula que 70 respuestas son representativas para la encuesta presencial, cuyo objetivo es obtener y depurar una serie de datos que se utilizan en la encuesta online.

Para garantizar la aleatoriedad de las curvas el voluntario elige un vídeo de una lista dada (lista con todas las curvas aptas). Se eliminan las ya usadas.

### 5.4 Realización de una encuesta online para ver la percepción, trayectoria y velocidad de una muestra representativa de voluntarios

Esta herramienta de obtención de información, en un principio, se confecciona mediante:

- Identificación de la entidad que promueve el estudio.
- Título de la encuesta.

- Escuetas instrucciones para rellenar la herramienta que solo ocupan unas pocas líneas, se entiende perfectamente con unas pocas instrucciones muy sencillas y claras para el usuario.
- Explicar su futura utilidad.
- Rogar sinceridad en las respuestas
- Agradecimiento al final de la herramienta.

Posteriormente se tiene en cuenta los principios por los que se rige la encuesta online, que son:

- No es presencial por tanto es auto-administrativa, es decir al voluntario le llegan las preguntas y debe rellenarlas según su criterio, sin poder comunicarse, ni preguntarle nada sobre los ítems al autor del cuestionario online, con lo cual no existe ninguna forma de influir sobre las respuestas del voluntario.
- Anónima.
- Confidencial.
- No tiene un horario específico para ser respondida (a diferencia de la encuesta presencial, las preguntas y respuestas de la encuesta online no se realizan en tiempo "real"). Existe un intervalo de tiempo entre la recepción online de las preguntas y el envío de la respuesta.
- Se garantiza la aleatoriedad y la no repetición de vídeos debido a su programación de doble bucle.
- Perfecciona los ítems (que ya están muy claros en la encuesta presencial).

Las preguntas se disponen en una serie de bloques, se van "depurando", luego se realiza un proceso iterativo de validación y consistencia interna de la encuesta online, hasta que se consigue la encuesta definitiva.

Posteriormente ya se envía a los voluntarios (masivamente) la encuesta online definitiva para que las respondan una vez se visualizan los vídeos aleatorios (se envía la encuesta online al voluntario con 10 vídeos aleatorios).

Las preguntas son tanto abiertas como cerradas. Las mismas preguntas se formulan a cada encuestado después de visualizar cada vídeo.

Recoge datos socio-demográficos.

Las respuestas las da el usuario bajo las preguntas en la misma página Web de la encuesta online.

#### **5.4.1 Confección de la encuesta online**

Se confecciona la anteriormente citada encuesta online que recibe el usuario a través de una página Web programada mediante un código

Una serie de expertos aportan un conjunto de preguntas y otros ítems a un panel de información, de modo que estos midan con precisión y exactitud y consigan claramente el objetivo buscado de investigación. Este grupo de expertos que confeccionan la encuesta online son un grupo de profesionales en esta área de la técnica (ocho Ingenieros, profesionales provenientes de la Universitat Politècnica de València (Comunidad Valenciana, España)).

Una vez identificado el objetivo, conocido el problema, población objetivo y recursos disponibles para el diseño, ejecución y cumplimentación de la herramienta, se propone el tipo de variables necesarias para conseguir el objetivo buscado, se acuerda entre los expertos el tipo de variables y las preguntas y otros ítems a usar entre los elegidos (por medio de su opinión argumentada, y llegando a un consenso).

Se crean dos bloques de preguntas divididos en función de las variables a responder:

- Cuatro preguntas cerradas sobre la percepción y comportamiento subjetivo. “Si el conductor aprecia bien o no las curvas. Si existe o no un quiebro en la curva. La posición lateral que cree el conductor que adoptaría al trazar las curvas. La velocidad que cree que adoptaría al trazar las curvas”.
- Seis preguntas cerradas socio-demográficas.

Se indica el momento de aparición de cada pregunta y otros ítems. La codificación de cada ítem, y su valor.

A continuación, se aplica la encuesta online previa obteniendo 30 respuestas de voluntarios con características similares a los de la población objetivo. Ejecutando y cumplimentando estos la herramienta online y manifestando sus recomendaciones para una posible modificación. Estos resultados se trasladan a los expertos, estos expertos evalúan las respuestas, preguntas y los demás ítems de esta encuesta online previa a la definitiva (mediante sucesivas iteraciones se eliminan posibles errores, refinando los ítems de la herramienta de obtención de información), lo que les permite consensuar e introducir los ineludibles cambios, consiguiendo la herramienta definitiva de obtención de información.

Nuevamente se aplica, ejecutando y cumplimentando la herramienta online y se obtienen 50 respuestas de voluntarios con características similares a las de la población objetivo. Se analizan, observando que ya no existe ningún tipo de error y se comprende totalmente.

La consistencia se obtiene sometiendo la última herramienta de obtención de información a una prueba de fiabilidad interna a través de las pruebas KR20 y alfa de Cronbach.

Una vez realizado este proceso de fiabilidad interna y validación se procede a su envío masivo para su ejecución, cumplimentación y recepción de respuestas.

En esta herramienta de obtención de información aparecen directamente diez vídeos aleatorios para visualizarlos. Cada uno de los vídeos tiene escritas, bajo él, las preguntas que debe contestar, acerca de la percepción de la curva y su posible comportamiento en posición transversal y velocidad. No se exige que los voluntarios respondan a todos los vídeos, pudiendo remitir la respuesta a un número menor.

#### **5.4.2 Creación de la web y base de datos para la encuesta online**

La encuesta online se programa de modo que cada voluntario pueda visualizar una serie de vídeos, responder sus correspondientes preguntas y así recolectar dicha información.

Se desarrollan mediante una página Web que aparece en la pantalla del ordenador del voluntario. La página Web inicialmente se programa para PC y posteriormente se amplía para usarse con teléfonos móviles.

El requisito indispensable de la plataforma donde se aloja la encuesta online es que permita la visualización de vídeos y su aleatorización.

Se dispone de las curvas restituidas y aptas para la investigación y de la base de datos creada para alojar los vídeos (un vídeo por curva y cada vídeo se aloja por separado en la misma base de datos de Youtube). Alojarlos por separado significa un ahorro de tiempo y carga de los vídeos en la herramienta de captación de información (ya que se leen directamente en dicha Web),

Antes de crear el código y plataforma informática para reproducir la encuesta online, se estudia y analizan distintas opciones comerciales para distintos tipos de encuesta online.

Ninguna permite alojar vídeos y aleatorizar su visualización. Por lo tanto, se crea un código y plataforma informática propia que permita reproducir los vídeos de forma aleatoria. Para programarla se analizan diferentes opciones de lenguajes informáticos, como el uso de ASP, SQL, JavaScript + etiquetas Html, y PHP. Finalmente se opta por el lenguaje ASP.NET para la programación Web y SQL para las bases de datos para recepción de resultados.

El programa se carga e interpreta rápidamente y funciona perfectamente en los exploradores más extendidos a día de hoy (Internet Explorer, Edge, Google Chrome y Mozilla Firefox). También funciona en los dispositivos móviles, adaptando el ancho a la pantalla del mismo, y permitiendo la visualización de cada curva a pantalla completa.

La Web se divide en una serie de campos, como son, etiquetas para titular, breve descripción e instrucciones donde se explica su funcionamiento, ruegos y agradecimientos. Se crean 10 apartados de vídeos cortos donde se muestran los recorridos sobre las carreteras y las preguntas sobre la curva correspondiente en la parte inferior. Además, se realizan (de forma general) seis preguntas acerca de aspectos socio-demográficos del encuestado. En la parte final de la encuesta aparece un botón de Envío, que remite las respuestas a la base de datos (las curvas sin ser respondidas transmiten el valor de 0).

Adelantando ideas (que se ven en el apartado siguiente) y teniendo en cuenta el anterior gráfico (Figura XXVI, distribución inicial de curvas aptas para la investigación).

Donde aparecen las curvas disponibles para la investigación, se proponen determinadas zonas y sub-zonas de curvas, según sus características geométricas (grupos y subgrupos de curvas, en el siguiente apartado se explica esta cuestión de “grupo” y “subgrupo”). Según esto se usa una programación de doble bucle para extraer las curvas aleatorias de los vídeos elegidos también aleatoriamente.

Este muestreo aleatorio se realiza de cada uno de los subgrupos (en que se dividen todas las curvas disponibles para la investigación, en función del ángulo girado y de la longitud).

➤ **Preguntas de la encuesta online:**

Para cada vídeo se plantearon las siguientes preguntas, junto con las correspondientes opciones cerradas y / o abiertas de respuesta, obteniendo una serie de resultados.

1.- ¿Puede ver correctamente la presencia de esta curva?

- a) Sí.
- b) No

2.- ¿Le parece que la curva es adecuada?

- a) Sí, la curva es suficientemente larga
- b) No, en la curva se aprecia un quiebro o discontinuidad
- c) Otros (especificar).

3.- ¿Cómo cree que sería su velocidad al recorrer esta curva? (siempre que el tráfico y las condiciones externas lo permitan)

- a) Mantendría la misma velocidad que en la recta anterior a esta curva
- b) Reduciría la velocidad con respecto a la recta anterior a esta curva
- d) Aumentaría la velocidad con respecto a la recta anterior a esta curva

4.- ¿Cómo cree que sería su trayectoria de recorrido a lo largo de esta curva? (siempre que el tráfico y las condiciones externas lo permitan)

- a) Seguiría centrado en mi carril, como usualmente conduzco
- b) Probablemente tendería a aproximarme al carril de sentido contrario, sin salir de mi carril
- c) Probablemente tendería a invadir el carril de sentido contrario
- d) Probablemente tendería a aproximarme a mi arcén
- e) Probablemente tendería a invadir mi arcén

Preguntas socio-demográficas:

5.- País de nacimiento

6.- Género (Hombre / Mujer)

7.- Mayor nivel educativo (Educación básica / Educación secundaria / Bachiller / Educación universitaria)

8.- Profesión

9.- Edad

10.- Tiempo en años desde la obtención del permiso de conducir

### **5.4.3 Determinación del tamaño muestral**

El tamaño muestral de la encuesta online se obtiene del siguiente modo:

Se supone que las respuestas están homogéneamente repartidas para las preguntas que se conciben (Hipótesis de partida) en la encuesta online.

La muestra necesaria se determina para cada pregunta, en función de la mayor dispersión esperada para sus respuestas (8):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (8)$$

Como el tamaño de la población es desconocido, aplicando el límite cuando N tiende a infinito, la fórmula anterior se simplifica (9):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad (9)$$

Donde:

n, a determinar.

$Z_{\alpha}$ , es el valor de confianza (90% - 95 %)

$D = p \cdot q$ , es la desviación estándar de la población objetivo.

e, es el error de precisión.

El mayor tamaño muestral se calcula con  $D = 0.25$  ya que los valores p y q no se conocen a priori.

Se estima un valor de confianza del 90%. Se asume un error de precisión, del 10%

Se determina que  $n \approx 70$  respuestas en principio

Durante esta fase también se supone que cada vídeo tiene las mismas probabilidades de salir que otro (al igual que con la encuesta presencial, un vídeo aleatorio solo puede salir una vez por encuesta online). También se supone que las curvas están homogéneamente distribuidas entre la muestra total de curvas.

En cada encuesta online se visualizan entre 5 y 10 vídeos. El motivo de esto es que cinco vídeos se consideran suficientes como para resultar una encuesta atractiva y rápida para que los voluntarios la rellenen. Voluntariamente cada encuestado puede responder hasta 10 vídeos.

Por tanto se estima un número de respuestas por curva, que es, el número total de encuestados por las curvas que responde cada encuestado, partido por la muestra de curvas que conforman los vídeos (respuestas globales repartido entre la muestra de curvas que conforman los vídeos). Este valor tiene que ser, como mínimo, k (10):

$$\frac{n \cdot c}{m} = k \rightarrow m = \frac{n \cdot c}{k} \quad (10)$$

Donde:

n, número de encuestados.

c, vídeos que responde cada encuestado

m, a determinar (muestra de curvas)

k: número de respuestas por cada curva que se desea.

Se determina que  $k$  mínimo  $\approx 70$  respuestas y se estima unos 250 encuestados (objetivo mínimo al que se debe llegar, en principio) (Tabla VI):

**Tabla VI: número de curvas que conforma la muestra en función de diferentes valores de  $n$  y  $c$**

		n				
		50	100	200	250	500
c	5	4	7	14	18	36
	10	7	14	29	36	71

#### 5.4.4 Distribución de curvas escogidas

Teniendo en cuenta el gráfico (Figura XXVI) donde aparecen todas las curvas disponibles, se proponen determinados grupos y subgrupos de curvas. Cinco grupos y subgrupos de curvas, según sus características geométricas:

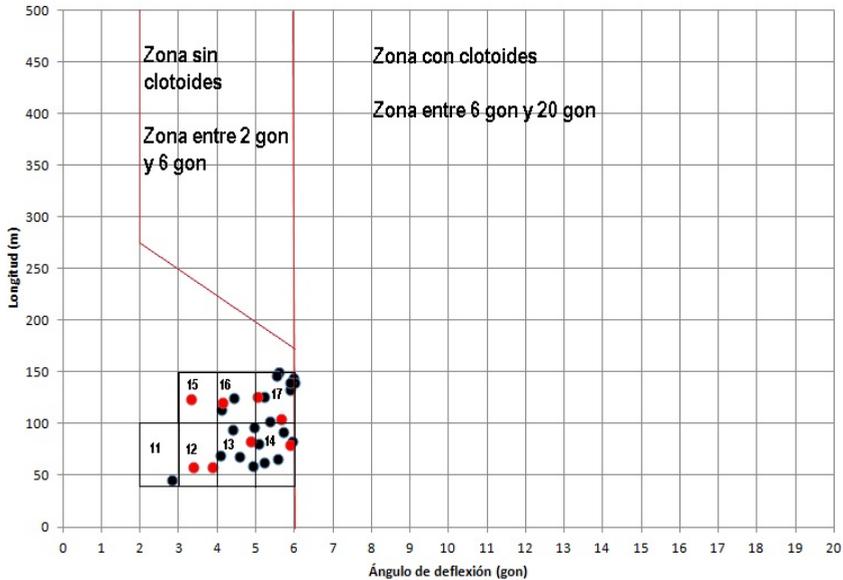
- Grupo 1. Ángulo entre 2 y 6 gon  
Se eligen 29 curvas. Desarrollo inferior a 150 m
- Grupo 2. Ángulo entre 2 y 6 gon  
Se eligen 28 curvas. Desarrollo entre 150 (sin incluir) y 275 m (incluido).
- Grupo 3. Ángulo entre 2 y 6 gon  
Se eligen 11 curvas. Desarrollo superior a 275 m
- Grupo 4. Ángulo entre 6 y 8 gon (ninguno incluido).  
Se eligen 63 curvas. Desarrollo hasta 250 m
- Grupo 5. Ángulo entre 8 y 12 gon (ambos inclusive).  
Se eligen 106 curvas. Desarrollo hasta 200 m.

Estos se jerarquizan considerando las siguientes premisas:

1. La zona entre 2 gon y 6 gon y sus inmediaciones es la zona donde más se focaliza el estudio, por lo que dicha zona tiene más tasa de muestreo.
2. Dentro de los grupos 1 a 3, se intenta una distribución tal de modo que haya suficientes curvas en cada grupo (lo más equitativa posible). Es por ello por lo que se decide separar entre 150 y 275 m de desarrollo. También se tiene en cuenta el criterio de la Instrucción de Trazado 3.1-IC sobre el límite de 2 gon. Si coincide con 175 m (límite para 6 gonios), quedan demasiadas curvas en el grupo 1 y pocas curvas en el grupo 2.
3. El grupo 4 se limita a recoger curvas con un desarrollo de 250 m. De estas curvas muchas tienen un radio por el que necesitan clotoides pero que no poseen (Instrucción de Trazado 3.1-IC).
4. El grupo 5 se limita a recoger otras curvas de bajo ángulo algo mayores. Con un límite de desarrollo de 200 m para no incluir curvas lejos de la zona de interés (entre 2 gon y 6 gon).

Dentro de cada grupo, se crean subgrupos para dispersar homogéneamente las curvas de análisis.

Se aprecia en las siguientes gráficas (las curvas aparecen como puntos negros, también las curvas seleccionadas para el estudio aparecen como puntos de color rojo (desde la Figura XXVIII hasta la Figura XXXII):



**Figura XXVII : Grupo 1. De cada subgrupo se extrae una única curva, excepto del 17, de la que se extraen dos**

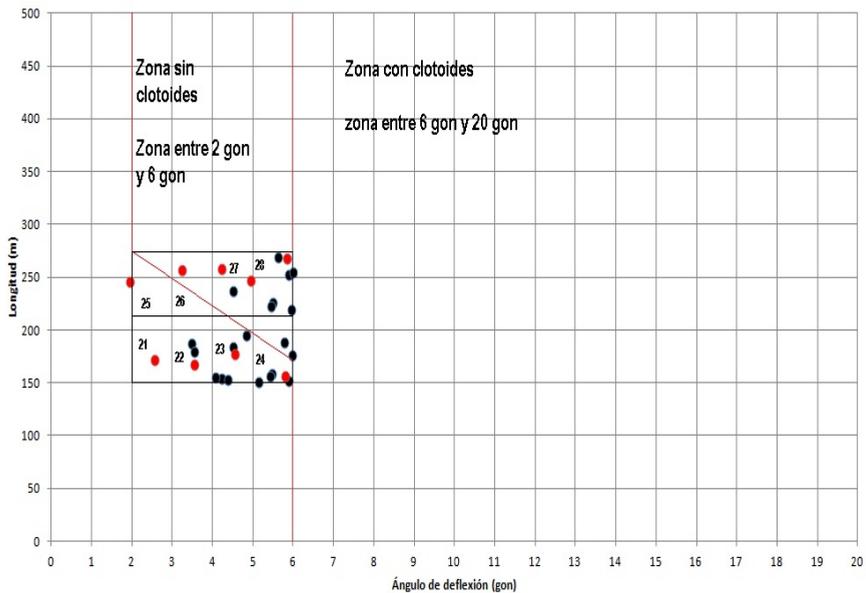


Figura XXVIII: Grupo 2. Se extrae una curva de cada subgrupo

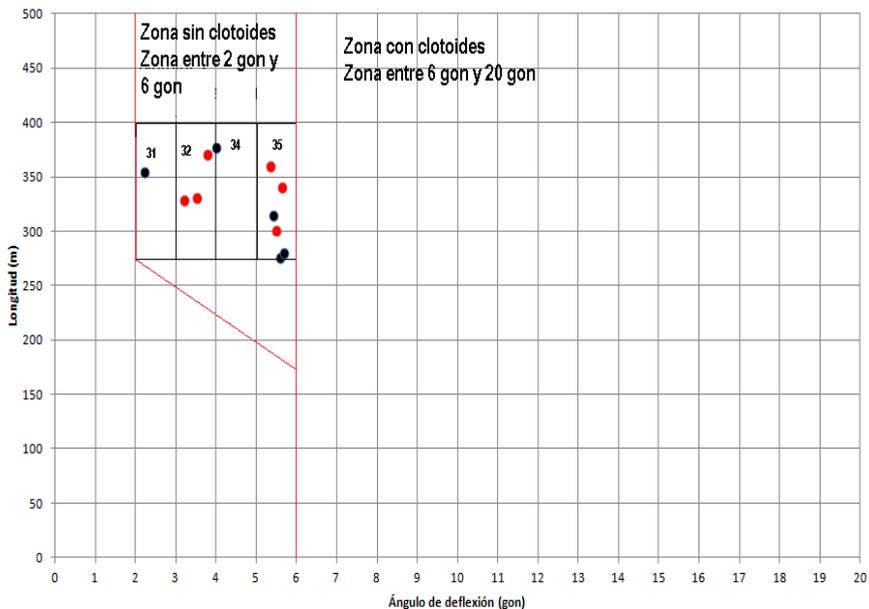


Figura XXIX: Grupo 3. No hay curvas en la sección 33. Se proponen cuatro curvas de las 31+32, y cuatro curvas de la 34

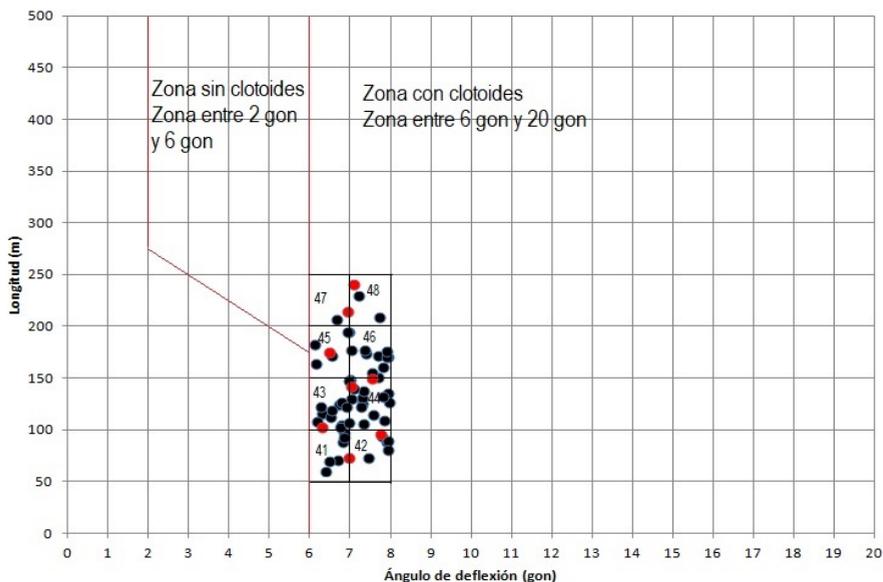


Figura XXX: Grupo 4. Una curva por cada subgrupo

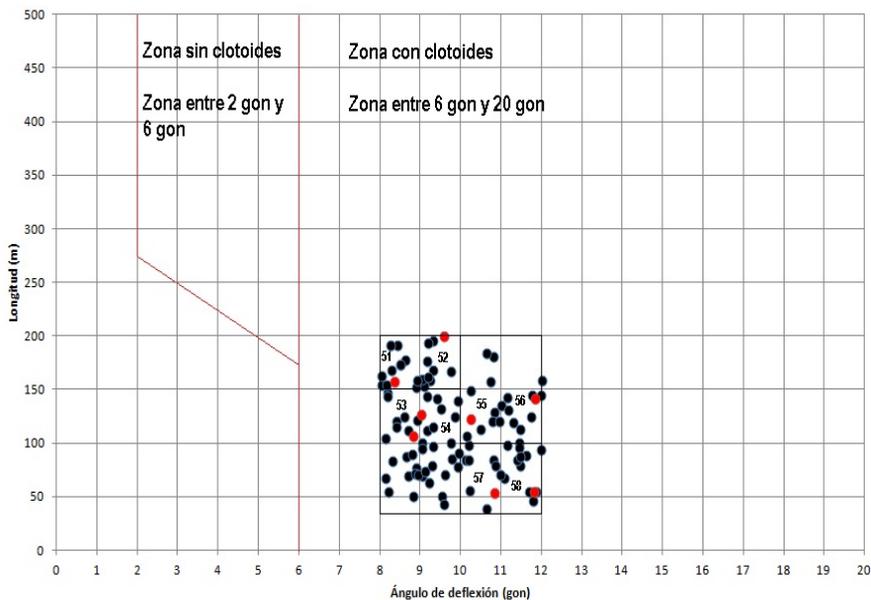


Figura XXXI: Grupo 5. Una curva de cada subgrupo

En la siguiente figura se expone una muestra de 40 curvas de la zona de interés del conjunto completo de curvas. En rojo están las curvas seleccionadas para el estudio:

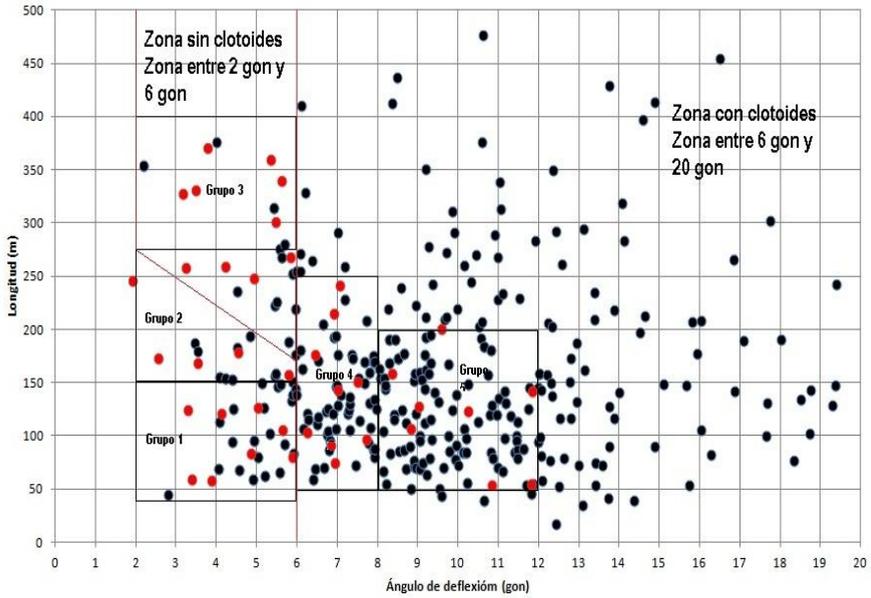


Figura XXXII: Distribución final de la muestra de curvas (encuesta online)

La aleatoriedad en la encuesta se introduce en la programación en dos fases:

- Fase 1. Se decide el orden de los vídeos. Para las preguntas de la 1 a la 10, una curva de cada grupo debe salir dos veces (sin repetición). La única condición es que todos los grupos deben salir en las preguntas de la 1 a la 5 y en las preguntas de la 6 a la 10. De este modo se aleatorizan los grupos de los que tiene que salir cada curva.
- Fase 2. Para cada pregunta, para el grupo asignado, se selecciona una curva aleatoria entre su muestra.

Tabla VII: Subgrupo y Grupo de la curvas (encuesta online)

Curva	Código carretera	Subgrupo	Grupo
8	CV-415	41	4
12	CV-660	56	5
15	CV-41	42	4
35	CM-3123	55	5
37	CM-412	57	5
39	CM-3106	28	2
56	CV-835	16	1
76	A-399	28	2

86	AS-18	34	3
97	BV-2041	13	1
151	CA-5065	16	1
199	A-3051	13	1
222	N-320	17	1
236	N-320	51	5
248	CM-2100	44	4
274	C-512	53	5
275	N-630	22	2
278	N-501	23	2
282	M-507	28	2
287	M-507	17	1
294	CL-610	48	4
300	VA-VP-88	52	5
314	SE-696	54	5
330	N-323	43	4
332	SE-11	58	5
348	N-323	32	3
356	CM-101	34	3
357	CM-236	15	1
380	L-Z1	34	3
382	FV-2	21	2
394	N-601	24	2
395	N601	46	4
437	C-3314	32	3
462	N-121	26	2
509	A-226	34	3
528	N-330	23	2
532	N-234	45	4
542	A-1506	48	4
548	A-3100	14	1
567	CV-605	27	3

#### 5.4.5 Difusión. Pirámide poblacional de la encuesta online

Esta encuesta online se envía a través de correo electrónico y a través de redes sociales. A su vez, el usuario que responde las preguntas, las devuelve a través del mismo correo electrónico o red social (se difunde a través de las páginas Web oficiales del grupo de investigación (GIIC) y la Universidad, se envía a los socios interesados y a través de las redes sociales (Facebook, Twitter).

Si se representa la edad | sexo de los usuarios, según la agencia española responsable de la ejecución de la política vial en las vías de titularidad estatal de España "Dirección General de Tráfico" (DGT en el año 2017) y según datos socio-demográficos obtenidos de esta encuesta online, se obtienen los siguientes diagramas (Figuras XXXIII y XXXIV están en cifras absolutas):

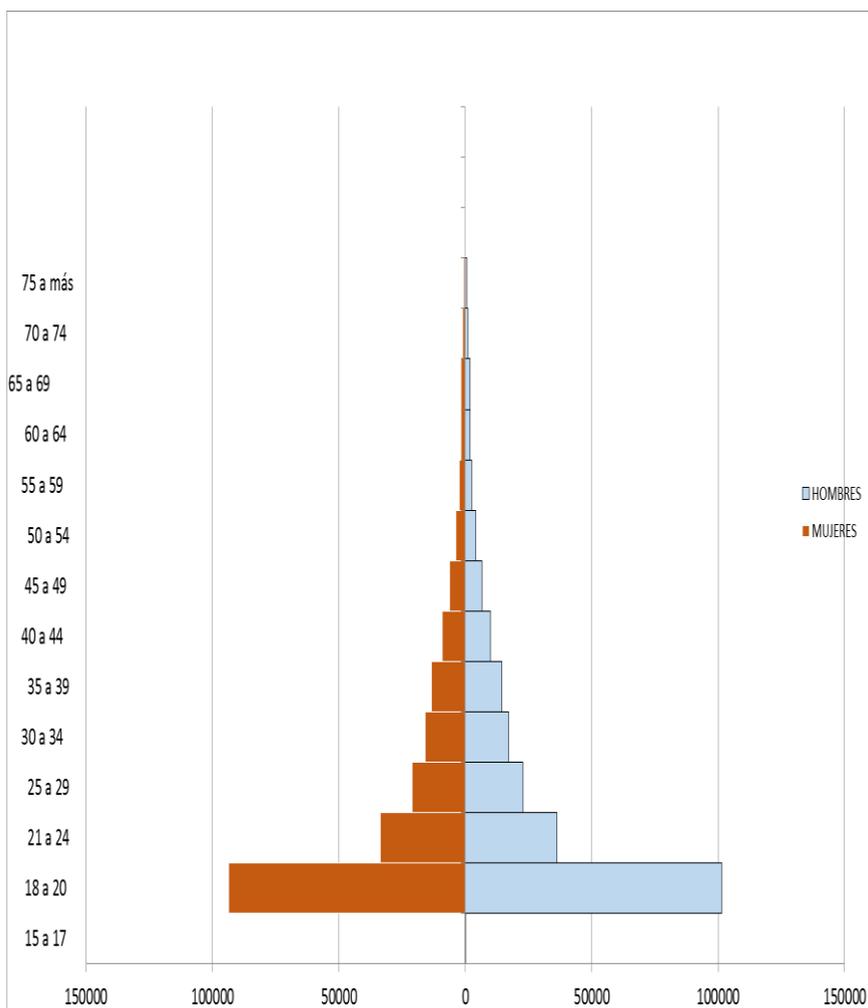


Figura XXXIII: Edad | sexo de los usuarios (datos DGT 2017)

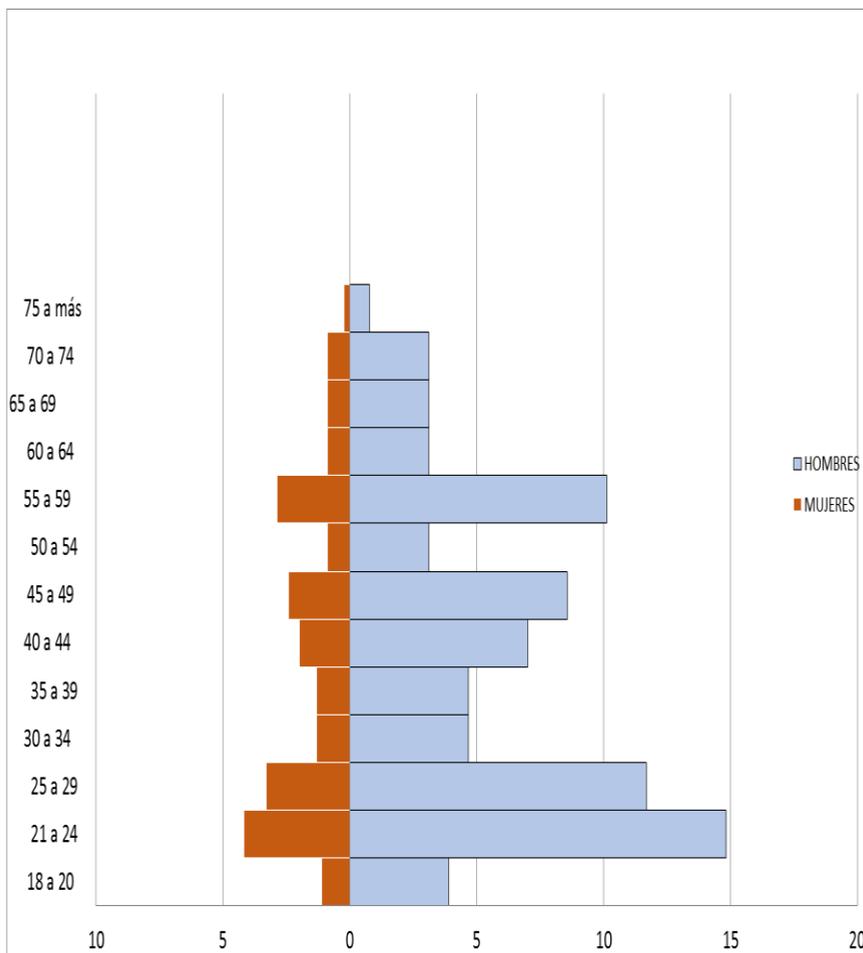


Figura XXXIV: Edad | sexo de los usuarios (encuesta online)

Como se ve el diagrama construido con datos de la DGT es más uniforme en todo (similitud entre cantidad de hombres y mujeres que son usuarios de carretera) que el diagrama resultante de la encuesta online que han contestado los voluntarios.

El diagrama de la DGT empieza con una gran base (de población joven entre 18 a 20 años) y conforme avanza en edad el número de usuarios de carretera de todas las provincias españolas, disminuye, acabando en punta en la cima con 74 años a más (como resultado el diagrama asemeja a una pirámide “progresiva” de población que muestra la estructura de la población por sexo y edad en el año 2017).

En cambio, el diagrama poblacional de la encuesta online tiene una forma más “regresiva” y no acaba en punta, primando la población masculina de conductores con mayor implicación a la hora de responder la encuesta online.

Esta encuesta online también empieza entre los 18 a 20 años y acaba en 74 años o más.

Hay distinta implicación en distintas edades lo que le proporciona su forma "acampanada" (existiendo un mayor número de respuestas en conductores entre 21 a 29 años de edad, edad que también coincide con la mayor proporción de respuestas en la encuesta presencial).

## **5.5 Estudio operacional**

Con una serie de instrumentos se toman determinados datos sobre los vehículos que circulan por ciertas curvas seleccionadas (estos datos se refieren a la velocidad y posición del vehículo en su carril al circular por una de estas curvas).

Esta toma de datos también sirve para conocer las medidas de seguridad de bajo coste en estas curvas.

Se seleccionan cuatro curvas de bajo ángulo de deflexión.

Estos instrumentos de medida que se usan se especifican posteriormente en el apartado siguiente.

### **5.5.1 Medios materiales**

Como instrumentos de medición, se han empleado los siguientes para conocer la velocidad y posición en el carril de cada vehículo.

Se usan distanciómetros, velocímetros y cámaras de vídeo:

- Velocímetro láser del tipo True Sense T100/200 de la compañía Laser Technology Inc.  
Se compone de dos distanciómetros (uno paralelo al otro a cierta distancia), permite medir tanto la distancia lateral como la velocidad puntual del objetivo que intercepta su "pulso" lumínico (figura XXXV).
- Distanciómetros láser del tipo True Sense S200 de la compañía Laser Technology Inc. Permite medir la distancia lateral al objetivo (figura XXXV).
- Cámaras tipo VIRB Elite. Videocámaras que graban en alta definición.  
Se emplean para validar los anteriores dispositivos (para esta investigación se usan cámaras de vídeo de veinticinco fotogramas por segundo) (figura XXXV).



**Figura XXXV: Instrumentos para toma de datos "In situ o en campo"**  
**Imagen GIIC**

La distancia lateral, se mide desde el borde del arcén al lateral de cada objetivo (vehículo).

### **5.5.2 Curvas estudiadas**

Las curvas que se eligen para este estudio de la operación vehicular para registrar automáticamente los datos de posición lateral y velocidad de los vehículos y para conocer unas medidas de seguridad de bajo coste, se obtienen a partir de bases de datos de siniestralidad de distintas Administraciones de la Generalitat valenciana. Para ello se tiene en cuenta la gravedad de los accidentes y la proximidad a esa localización e inmediaciones (radica en su historial de siniestralidad en relación con su entorno), además de por la cercanía a la UPV (Universidad Politécnica de Valencia),

Las cuatro curvas que se usan son:

**Tabla VIII: Curvas de bajo ángulo de deflexión elegidas para la toma de datos "In situ o en campo"**

Curva N°	Carretera
1	CV-60
2	CV-41
3	CV-424
4	CV-605

Estos datos se obtienen en distintos días laborables, en distintas horas:

Curva 1.- Entre las 9:00 h y las 11:00 h con condiciones del entorno adecuadas para una buena conducción (condiciones climatológicas favorables).

Curva 2.- Entre las 12:30 h y las 14:00 h con condiciones del entorno adecuadas para una buena conducción (condiciones climatológicas favorables).

Curva 3.- Entre las 11:00 h y las 14:00 h con condiciones del entorno adecuadas para una buena conducción (condiciones climatológicas favorables).

Curva 4.- Entre las 15:45 h y las 17:15 h con condiciones del entorno adecuadas para una buena conducción (condiciones climatológicas favorables).

En estas cuatro curvas el tipo de accidente suele ser por salida de la vía, las víctimas durante un periodo de nueve años (2003-2011) han sido en general de tipo leve.

Los accidentes que se producen en esta curva CV-60 son debidos a la mayor velocidad en esta curva.

El accidente que se produce en esta curva CV-41 es debido a que el adelantamiento en esta curva en su giro a izquierdas está permitido.

Los accidentes de esta curva CV-424 son debidos a su menor sección transversal, menor arcén y menor IMD.

El accidente de esta curva CV-605 es debido a su menor sección transversal, inexistencia de arcén, menor IMD y elevada velocidad en su giro a izquierdas.

Para la medición de la posición lateral y de la velocidad se emplean los sistemas mencionados en el apartado 5.5.1.

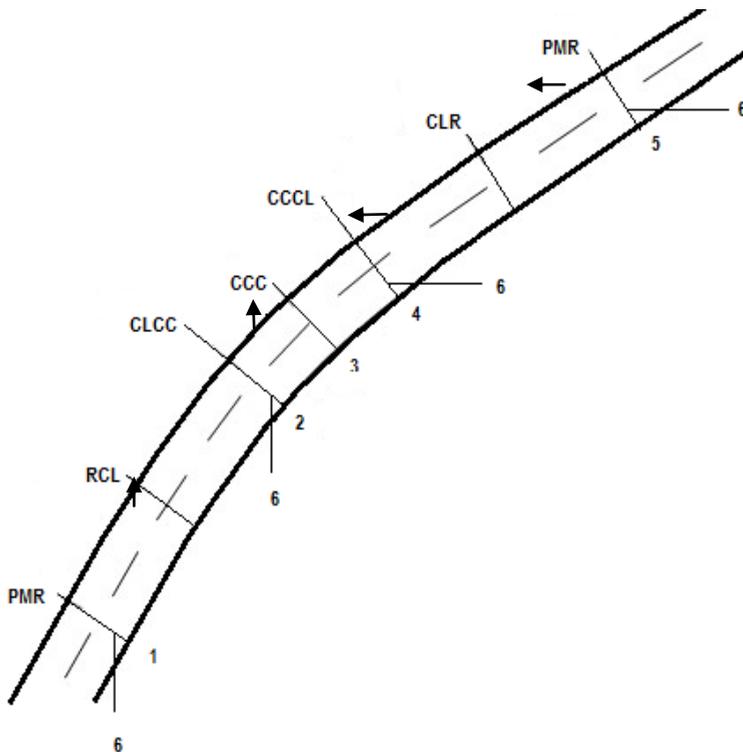
Dichos instrumentos se instalan en las curvas circulares, se instalan en puntos de las curvas adyacentes a ellas y también se instalan en las rectas contiguas a las curvas, como indica:

- Centro de la recta anterior a la curva (PMR)
- Inicio de la curva circular (CLCC)
- Punto medio de la curva circular (CCC)
- Fin de la curva circular (CCL)
- Centro de la recta posterior a la curva (PMR)

Por otro lado también se instalan cámaras de vídeo en esos extremos de las curvas y en las rectas contiguas, así quedan registradas visualmente la velocidad y posición lateral de los vehículos.

En definitiva, estos instrumentos se sitúan, en general, como se ve en la siguiente figura:

- Medición velocidades y posición lateral del vehículo en el carril (distanciómetros y velocímetros) -1- a -5-
- Cámaras de vídeo -6-



**Figura XXXVI: Ubicación, en general, de la instrumentación empleada en las cuatro curvas de las cuatro carreteras**

En primer lugar se recorren y se inspeccionan visualmente las curvas para saber si se sitúan los instrumentos de medición en los puntos previamente estudiados o por algún motivo no es posible (por ejemplo, el instrumento no se queda quieto donde se apoya o algo tapa una buena visión o no hay sitio "físico", u algún otro motivo). Entonces se sabe si es posible colocar en ese sitio el instrumento para la medición o hay que variar su posición y ponerlo cerca del sitio. Al mismo tiempo se realizan mediciones de ancho de carriles y arcenes.

Estos instrumentos se ocultan para que no sea posible su visión por los conductores y así esos conductores no se vean influenciados, de tal forma que se consigan los datos

de los vehículos en el carril de una forma “naturalística” (al igual que los operadores de los instrumentos).

A continuación, se especifica dicha ubicación en cada curva donde (se sincronizan los distanciómetros / láser):

- Curva en la carretera CV-60 (Montaberner / A-7):

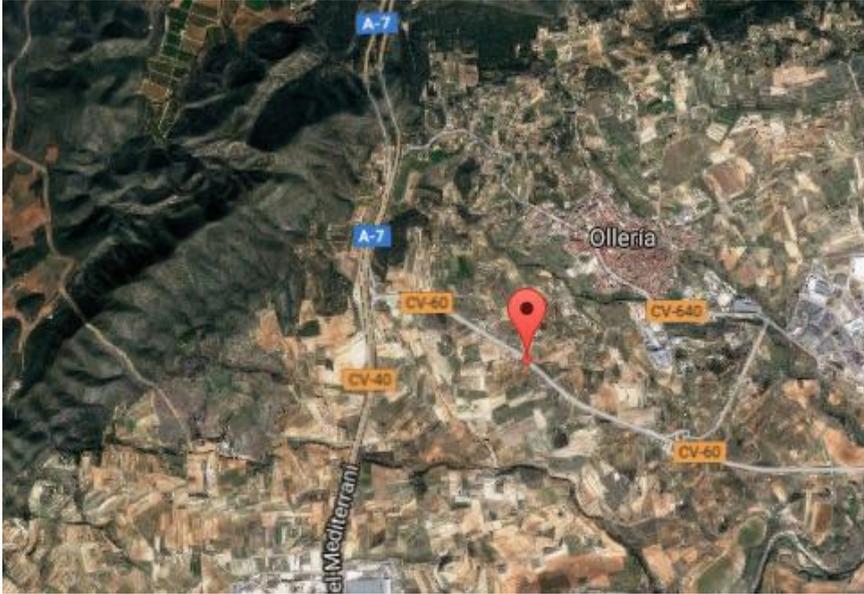


Figura XXXVII: Planta de la curva (CV-60). Imagen del servicio de Google Maps imágenes @ 2017 Google. Datos del mapa @ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

Tabla IX: Características de la curva (carretera CV-60)

	Radio (m)	Ángulo (gon)	Longitud (m)
Carretera CV-60	1520	13.74	430

Coordenadas geográficas: 38°54'19.83"N 0°33'36.26"W

PK 1+400 de la carretera CV-60, con un ancho de carriles de 3.55 m y un arcén de 1.70 m en ambos sentidos.



Figura XXXVIII: Giro de la curva (CV-60)  
Imagen GIIIC

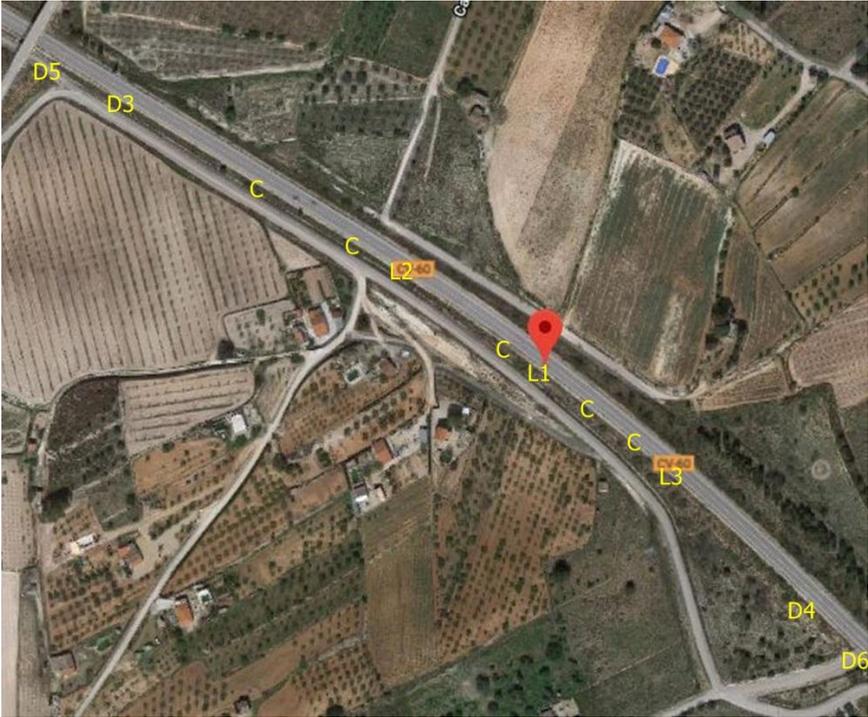


Figura XXXIX: Figura Posición de los instrumentos de medición. Imagen del servicio de Google maps Imágenes @ 2017 Google. Datos del mapa@ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

- Curva en la carretera CV-41 (población Sant Joanet / población Manuel):

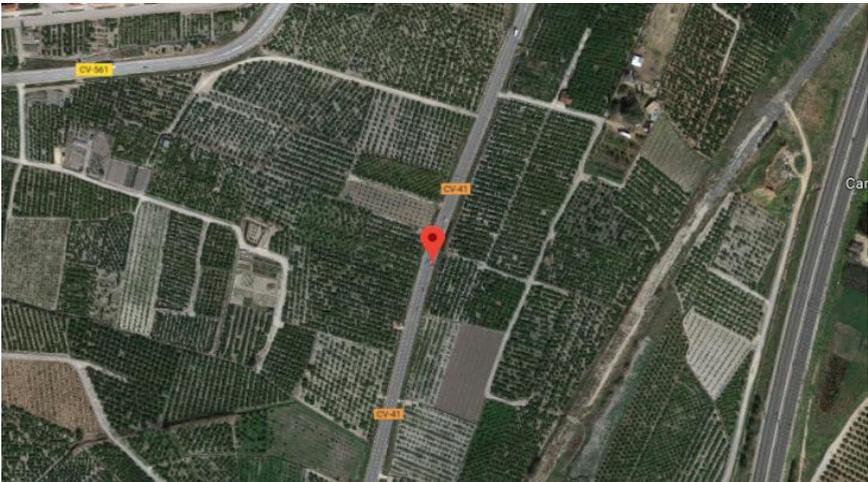


Figura XL: Planta de la curva (CV-41). Imagen del servicio de Google maps Imágenes @ 2017 Google. Datos del mapa@ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

**Tabla X: Características de la curva (carretera CV-41)**

	Radio (m)	Ángulo (gon)	Longitud (m)
Carretera CV-41	734	7.76	123

Coordenadas geográficas: 39° 4'6.48"N 0°28'57.17"W

PK 9+850 de la Carretera CV-41, con un ancho de carril de 3.55 m y 1.20 m de arcén.



**Figura XLI: Giro de la curva (CV-41)**  
Imagen GIIC

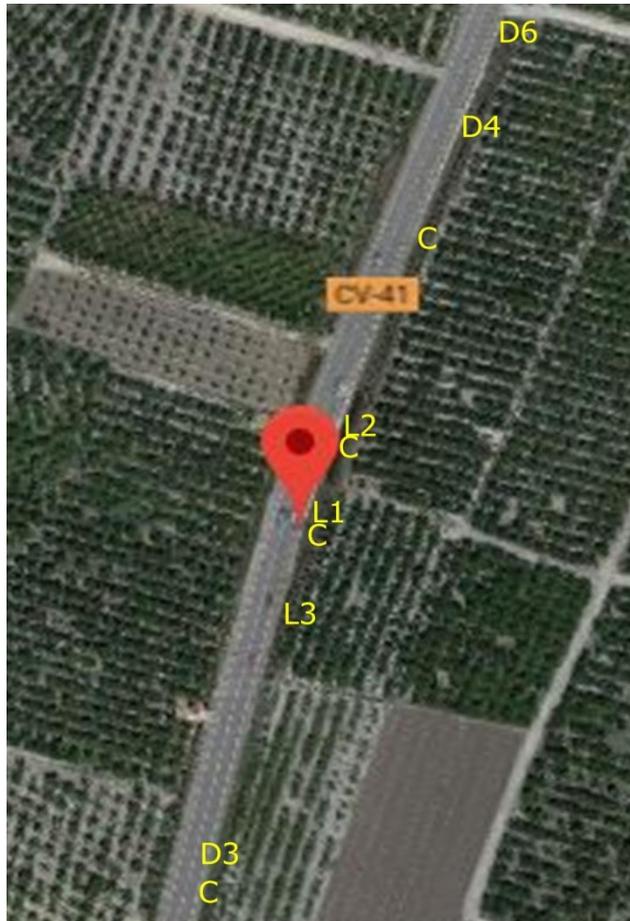


Figura XLII: Posición de los instrumentos de medición. Imagen del servicio de Google mapsImágenes @ 2017 Google. Datos del mapa@ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

- Curva en la carretera CV-424 (población Godelleta / A-3):



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

Tabla XI: Características de la curva (carretera CV-424)

	Radio (m)	Ángulo (gon)	Longitud (m)
Carretera CV-424	262	8.63	59

Coordenadas geográficas: 39°26'23.1"N 0°37'00.8"W

PK 4+700 de la Carretera CV-424, con un ancho de carriles de 3.30 m y un pequeño arcén de unos 25 centímetros (apenas existente).



Figura XLIV: Giro de la curva (CV-424)  
Imagen GIIC

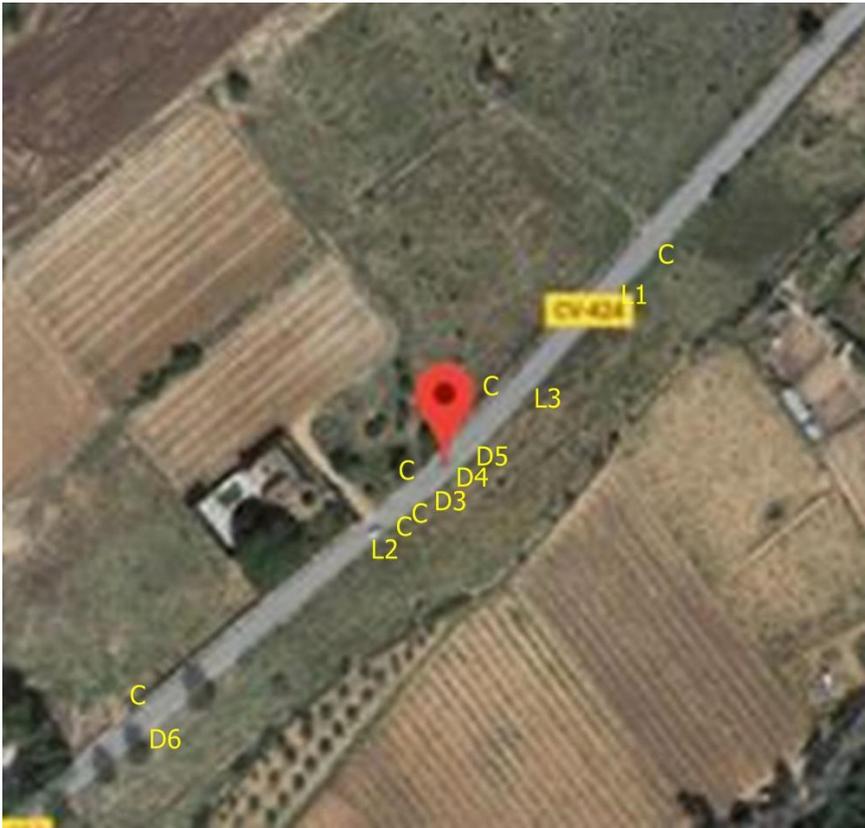


Figura XLV: Posición de los instrumentos de medición. Imagen del servicio de Google maps Imágenes @ 2017 Google. Datos del mapa @ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

- Curva en la carretera CV-605 (población Cullera / población Xeraco):

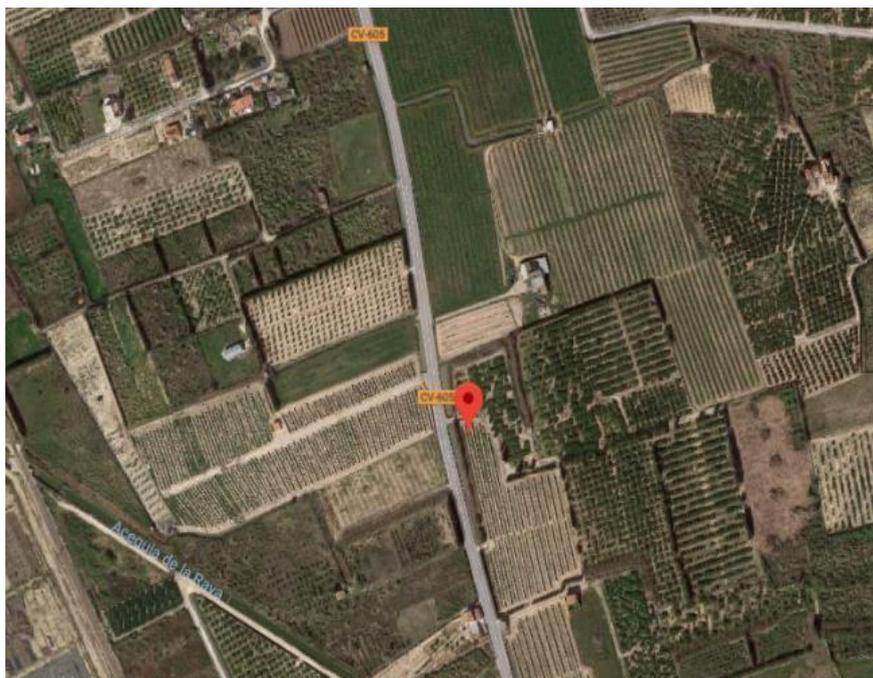


Figura XLVI: Planta de la curva (CV-605). Imagen del servicio de Google maps Imágenes @ 2017 Google. Datos del mapa @ 2017 Google.Inst.Geogr.Nacional

Tabla XII: Características de la curva (carretera CV-605)

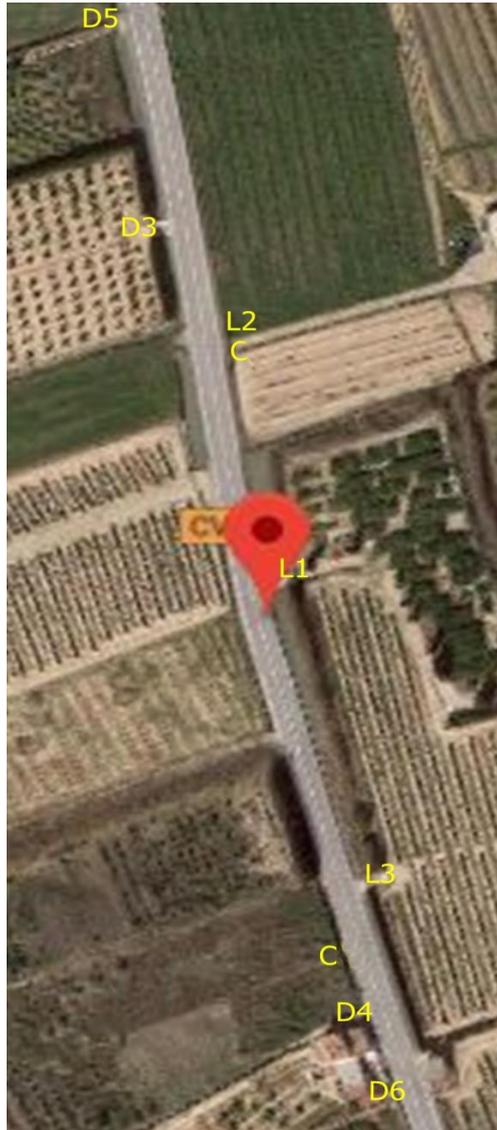
	Radio (m)	Ángulo (gon)	Longitud (m)
Carretera CV-605	867	7.92	149

Coordenadas geográficas: 39°06'24.1"N 0°14'17.8"W

PK 5+900 de la Carretera CV- 605, con un ancho de carril de 3.30 m y un arcén prácticamente inexistente (0.10 m).



Figura XLVII: Giro de la curva (CV-605)  
Imagen GIIC



**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**

Una vez obtenidos estos datos se entregan sendos informes a las Administraciones competentes con las propuestas de medidas de seguridad de bajo coste. En caso de ser necesarias se evaluarán pruebas después de la operación vehicular, tras la aplicación de las medidas de seguridad de bajo coste (solo si es necesario, y solo en caso que alguna de las Administraciones implicadas ejecute estas medidas de seguridad de bajo coste, se tomarán datos después de implementarlas).

### 5.5.3 Reducción de datos de la operación vehicular

Una vez ejecutada la toma de datos (obtenidos los datos de velocidad, posición lateral de los vehículos en su carril) mediante distanciómetros, velocímetros y los respectivos vídeos de comprobación y ayuda, se vuelcan en un archivo que se transcribe a una hoja de cálculo. Estos datos se coordinan con los registrados por las cámaras de vídeo.

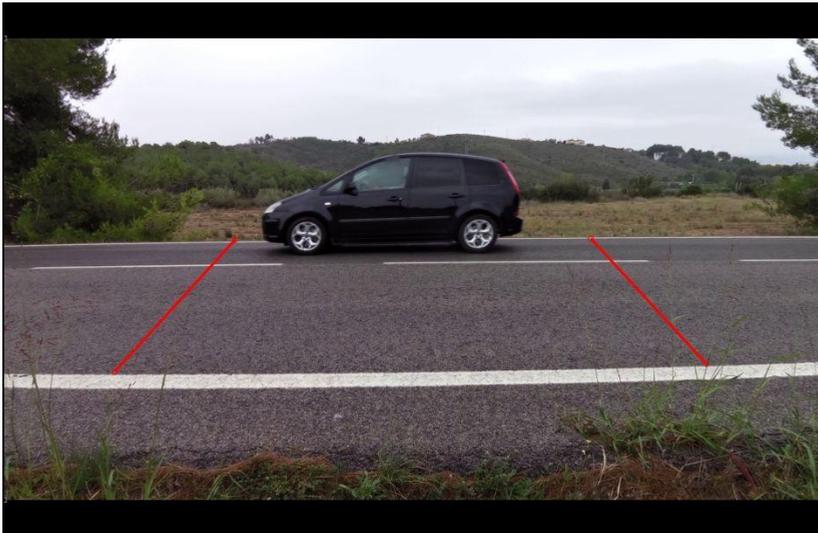
En las curvas y recta posterior se observan aquellos vehículos ya registrados con anterioridad a la entrada en las curvas.

A través de estas cámaras de vídeo se obtienen los vehículos que circulan en flujo libre, tipo de vehículo, se comprueba la velocidad y posición de los vehículos, el sentido de giro y circulación de los vehículos.

Aunque en este trabajo no se realiza, estos vídeos podrían servir para discriminar los conductores que variarían la velocidad de su vehículo ante la vista de los aparatos de medición y los observadores humanos, separándolas de las personas conductoras que no lo harían.

Para efectuar este análisis mediante vídeo se usa un programa de edición de imágenes (llamado Kinovea) este programa que permite dibujar sobre las imágenes líneas de referencia, observar los vídeos fotograma a fotograma y a la velocidad requerida.

Este programa (Figura L) se usa para obtener la velocidad donde no existe velocímetro. También se observa, si el vehículo al pasar por las referencias se mantiene en su carril, pisa o invade el carril en sentido contrario y si pisa o invade el arcén (si en la curva en cuestión existe o no arcén).



**Figura XLIX: Imagen obtenida del programa Kinovea para la obtención de la velocidad de los vehículos**

Una vez acabadas estas comprobaciones, obtenidas las velocidades, trayectorias, tipo de vehículo y las personas conductoras que varían su comportamiento, se transcriben y grafían los resultados.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Encuesta presencial

La toma de datos se realiza en la ciudad de Granada, entre los meses de marzo y junio (inclusive), en el año 2017. Se realiza en días laborables desde las 9:00 h hasta las 19:00 h.

Se obtienen 195 encuestas personales sobre la percepción visual y comportamiento subjetivo de persona usuarias de carretera y las potenciales medidas de seguridad de bajo coste que los conductores creen que aumentan la seguridad.

Se obtiene el valor de Alfa de Cronbach de 0.82, lo cual es un buen resultado de homogeneidad y estabilidad para esta herramienta (la encuesta presencial es un primer contacto con la realidad que interesa conocer, con lo que se obtiene unos datos para poder adentrarse en el estudio de las curvas de bajo ángulo de deflexión mediante una encuesta online).

La investigación inicial abarca a las personas que mantenían o no los puntos de su carné de conducir, como también a sus accidentes e infracciones.

#### 6.1.1 Aspectos relacionados con el historial como conductor

1.- El voluntario conoce cuantos puntos tiene su carnet

Puntuación

- Sí 91,85%
- No 8.15%

2.- El voluntario tiene multas que no sean de aparcamiento:

Puntuación

- Sí 84.44%
- No 15.56%

3.- El voluntario está implicado en accidentes de circulación:

Puntuación

- Sí 8.15%
- No 91.85%

#### 6.1.2 Resultados de la encuesta presencial: percepción y comportamiento

1.- Voluntarios que al acercarse, perciben bien la curva:

Puntuación

- Sí 74,07 % ■ -1-
- No 25,93 % ■ -2-

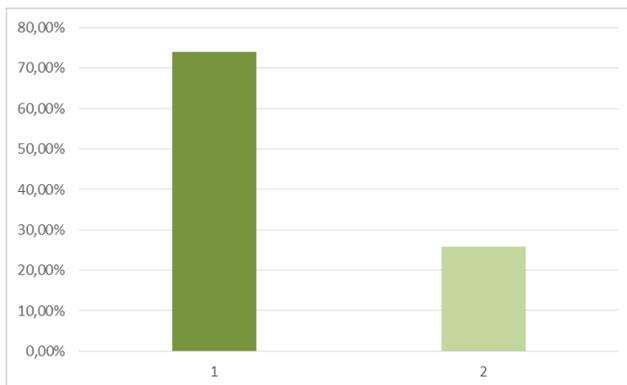


Figura L: Percepción visual al acercarse a una curva de bajo ángulo de deflexión (encuesta presencial)

2.- Motivos por los que no la perciben bien:

Puntuación

- Parece una recta  
48.60 % ■ -1-
- Parece a trozos  
11.43% ■ -2-
- Parece oculta  
22.85 % ■ -3-
- No se aprecia correctamente con la forma de alrededor, el exterior me tapa un poco  
8.57 % ■ -4-
- No tengo mucho contraste entre terreno y pavimento  
2.85 % ■ -5-
- Mucha luz, me quita visibilidad  
2.85 % ■ -6-
- Poco arcén, la veo ajustada, me quita visibilidad y me distrae  
2.85 % ■ -7-

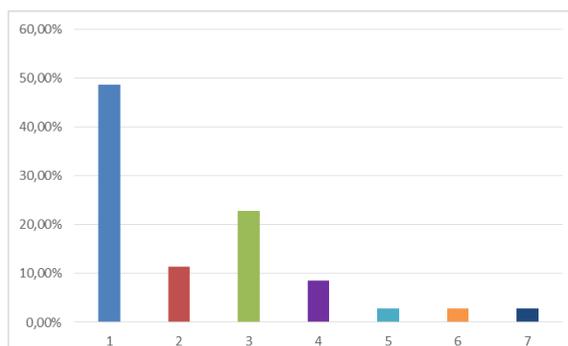


Figura LI: Percepción visual al acercarse a una curva de bajo ángulo de deflexión. Motivos para no percibirla (encuesta presencial)

3.- Voluntarios que al recorrerla, perciben bien la curva:

Puntuación

- Sí 86,6 %  -1-
- No 13,33 %  -2-

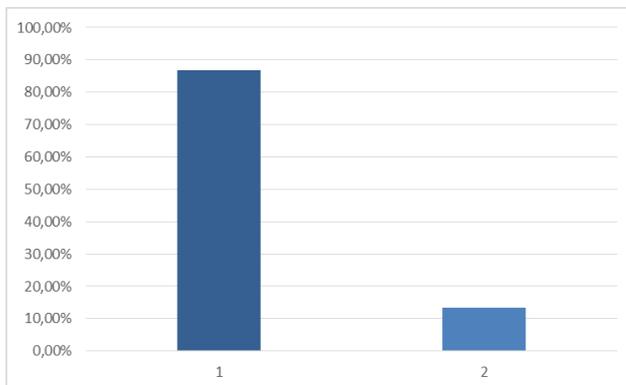


Figura LII: Percepción visual al recorrer una curva de bajo ángulo de deflexión (encuesta presencial)

4.- Motivo por el que no la perciben bien:

Puntuación

- Hay (sombras / vegetación / muros / luces / elementos de alrededor) que no me dejan ver bien 15.8 %  -1-
- La veo oculta 28.1 %  -2-
- Su forma no me deja verla bien 5.5 %  -3-
- Me quita visibilidad, la veo a trozos 16.7%  -4-
- No la veo curva 22.8 %  -5-
- No hay señal que me advierta 11.1 %  -6-

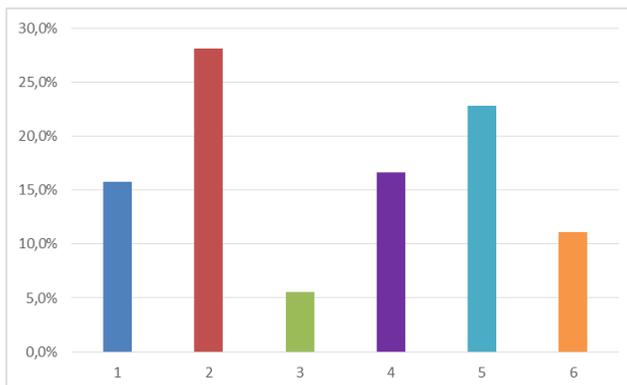


Figura LIII: Percepción visual al recorrer una curva de bajo ángulo de deflexión  
Motivos para no percibirla (encuesta presencial)

5.- En cuanto a velocidad al recorrer la curva:

Puntuación

- Reduciría la velocidad  
42,96 % -1-
- Aumentaría la velocidad  
2,96 % -2-
- Mantendría la misma velocidad que la que llevaba antes de entrar en la curva  
54,08 % -3-

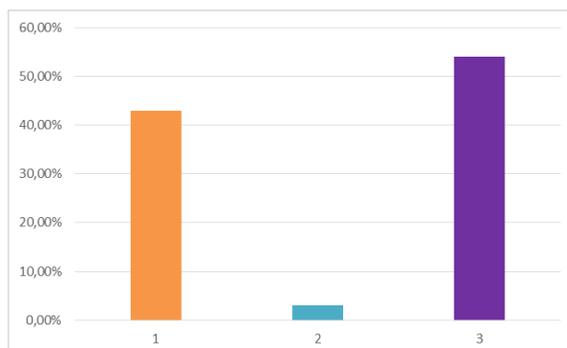
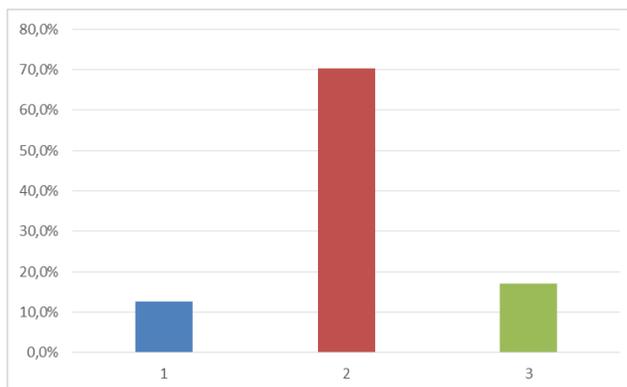


Figura LIV: Velocidad en un carril al recorrer una curva de bajo ángulo de deflexión (encuesta presencial)

6.- En cuanto a la situación en el carril.

Puntuación

- Probablemente me aproximaría al carril contrario, sin salir de mi carril  
12,59 % -1-
- Seguiría por el centro de mi carril, como usualmente conduzco  
70,37 % -2-
- Probablemente me aproximaría al arcén, sin salir de mi carril  
17,04 % -3-



**Figura LV: Situación en un carril al recorrer una curva de bajo ángulo de deflexión (encuesta presencial)**

### 6.1.3 Otros resultados interesantes

La falta de colaboración, apatía o falta de sinceridad en las repuestas de los voluntarios representan una gran barrera para la obtención de buenos resultados.

Hay que destacar que la gran mayoría de participantes en la encuesta presencial, que aceptan participar, se quejan que actualmente muchas de las medidas seguridad de bajo coste (señales verticales), simplemente no aparecen en las curvas o aparecen tarde.

### 6.1.4 Aplicación de medidas de bajo coste

El usuario cree que mejoraría la seguridad para esta curva instalando:

- Señalización vertical anterior a la curva (advertencia y velocidad) 33,3 % ■ -1-
- Señalización horizontal 10,35 % ■ -2-
- Bandas transversales de alerta 14,07 % ■ -3-
- La ve correcta 25,19 % ■ -4-
- Barreras 4,6 % ■ -5-
- Limpieza de márgenes 12,49 % ■ -6-

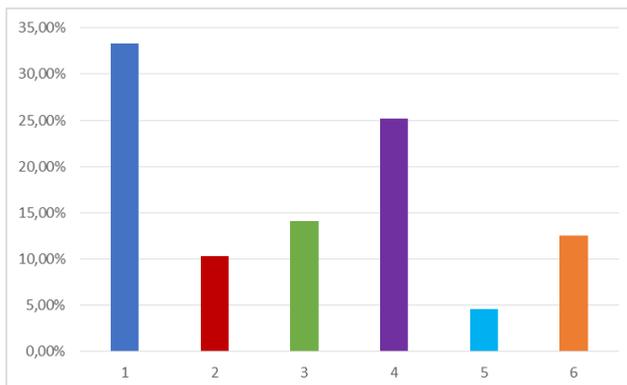


Figura LVI: Potenciales medidas de bajo coste mencionadas por los voluntarios (encuesta presencial)

6.1.5 Coeficiente de Alfa de Cronbach de la encuesta presencial:

Tabla XIII: Coeficiente de alfa de Cronbach

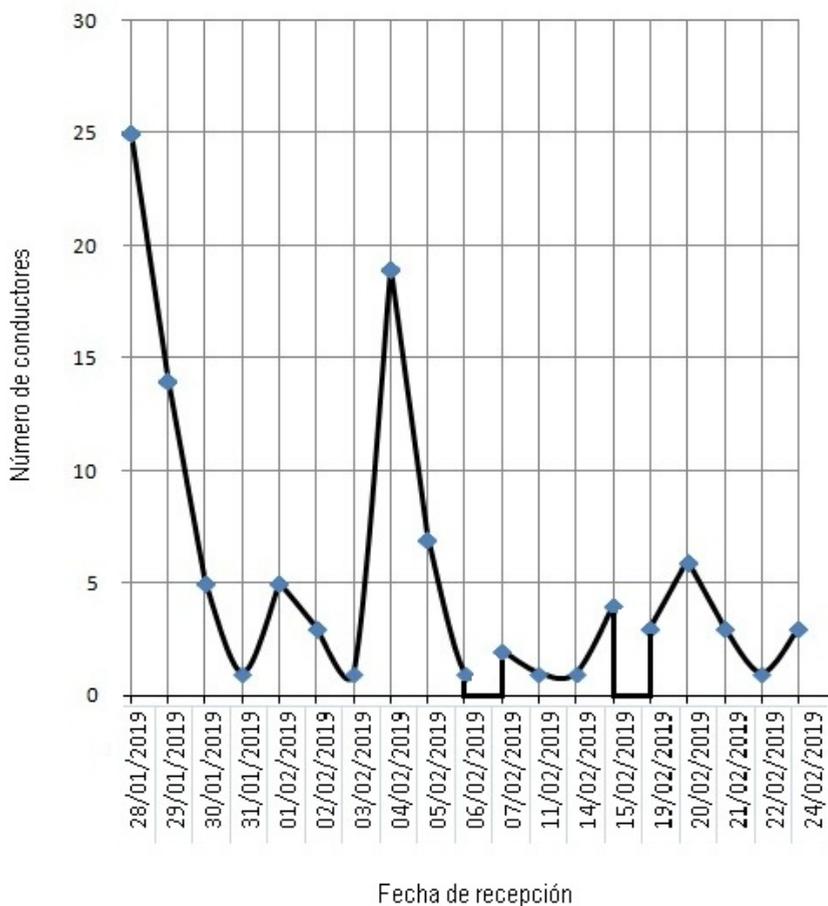
$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_r^2} \right]$
$S^2 = 1.09$
$\sum S^2 = 0.42$
Alfa de Cronbach = 0.82

Fiabilidad alta.

## 6.2 Encuesta online

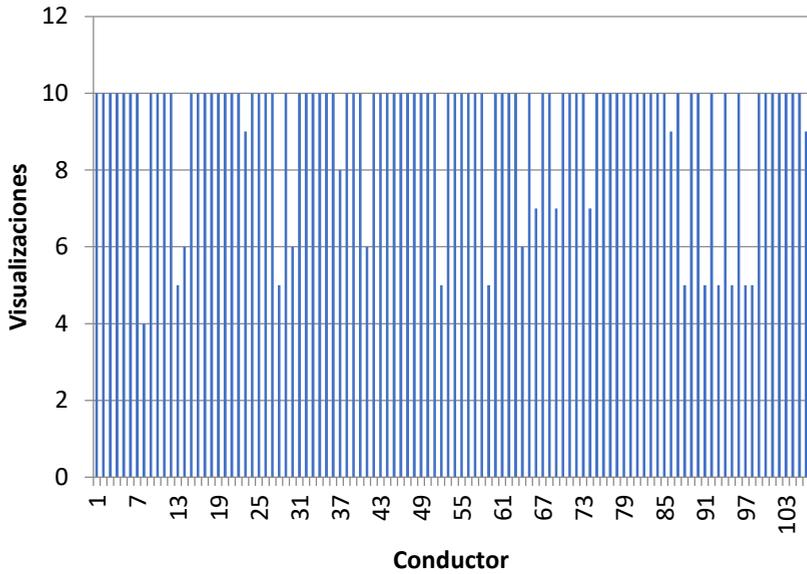
Periodo de realización y observación:

Dada la forma de enviar y recibir los datos, no existe un periodo específico de cumplimentación (la recepción de resultados de esta encuesta online es la que se representa el siguiente gráfico:



**Figura LVII: Número de conductores frente a la fecha de recepción de respuestas (encuesta online)**

Responden 105 personas, promediando unas nueve curvas respondidas por encuesta. Cada persona responde el siguiente número de vídeos (Figura LVIII):



**Figura LVIII: Número de conductores frente a la visualización de los vídeos (encuesta online)**

La siguiente figura se realiza por ID de curva (código). El número de respuestas por curva es bastante uniforme, como cabía esperar:

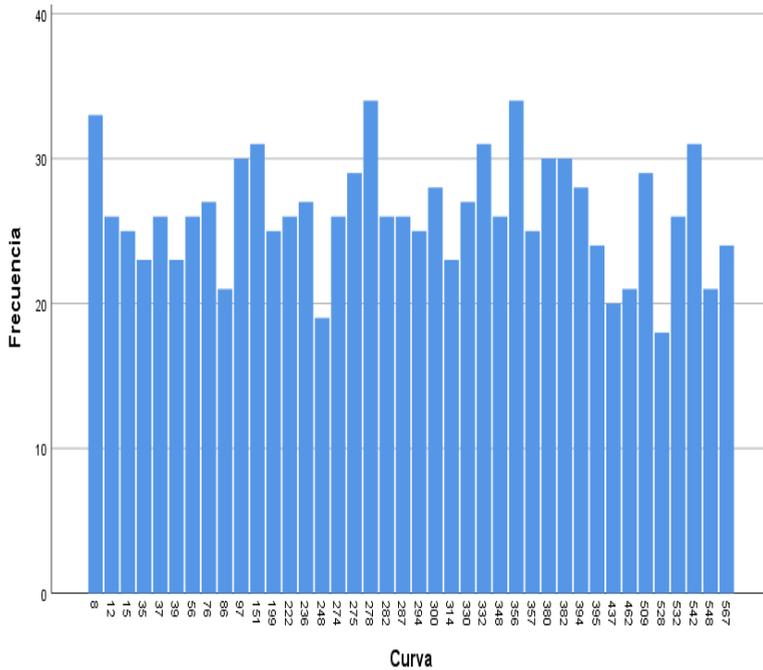


Figura LIX: Frecuencia de aparición de la curva en la encuesta online

Tras el cierre de la recogida de datos, se clasifican los resultados de las muestras, obteniéndose:

- Ante la pregunta sobre la percepción del usuario de una muestra de 40 curvas, 35 curvas se perciben correctamente (Figura LX), con más del 70% de respuestas positivas:

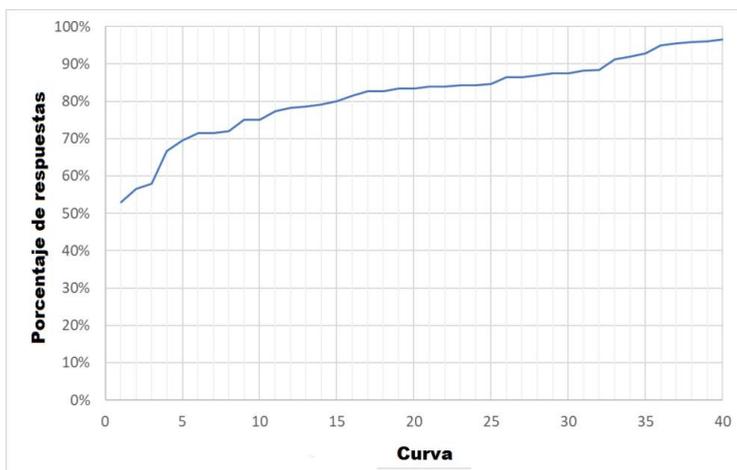


Figura LX: Porcentaje de respuestas con percepción positiva de la curva

- Ante la pregunta del comportamiento del usuario y la velocidad del vehículo (Figura LXI) la mayoría de los conductores prefieren mantener la misma velocidad o reducirla. Solo unos pocos responden que probablemente acelerarían.

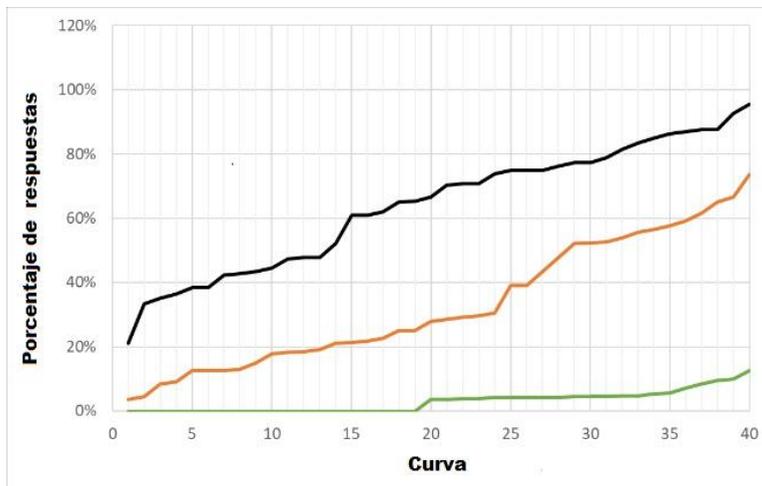


Figura LXI: Distribución del comportamiento de la velocidad (negro: mantener una velocidad constante; naranja: reducir la velocidad; verde: aumentar la velocidad)

- Ante la pregunta de la trayectoria (Figura LXII), los conductores presentan trayectorias centradas entre el 26% y el 91% de las respuestas. La respuesta a la invasión de la dirección opuesta o invasión del exterior es casi insignificante para todas las curvas (excepto unas pocas curvas).

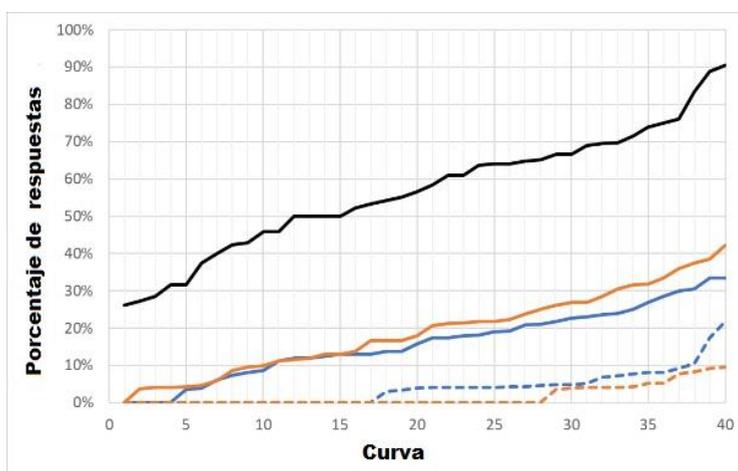


Figura LXII: Distribución de la trayectoria (negro: centrado; naranja sólido: sin invadir el exterior; naranja discontinua: invasión del exterior; azul sólido: sin invadir dirección opuesta; azul discontinuo: invadir dirección opuesta)

**6.2.1 Coeficiente de alfa de Cronbach de la encuesta online:**

**Tabla XIV: Coeficiente de alfa de Cronbach**

$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$
$S_i^2 = 1.47$
$\sum S_i^2 = 0.89$
Alfa de Cronbach = 0,789

Fiabilidad alta.

Coeficiente KR20 de la encuesta online:

**Tabla XV: Coeficiente KR20**

$KR20 = \left( \frac{K}{K-1} \right) \left( \frac{\sigma_i^2 - \sum p_i q_i}{\sigma_i^2} \right)$
$\sigma_i^2 = 0.48$
$\sum p_i q_i = 0.29$
KR20 = 0,79166667

Fiabilidad alta.

Se obtiene el valor de KR20 de 0.79 y de alfa de Cronbach de 0,789, el cual indica, del mismo modo que para la encuesta presencial, gran homogeneidad de la herramienta, gran validez y fiabilidad.

Como se expresa en todo este trabajo:

“Ante la mala percepción que se puede producir en las curvas de bajo ángulo de deflexión existe la posibilidad que se produzcan movimientos erráticos y accidentes.” Por ello, las preguntas 1 y 2 de la encuesta online (si se percibe correctamente la curva y si la longitud de la curva es suficiente o existe un quiebro o discontinuidad) resultan de especial relevancia a la hora de analizar dicha encuesta online.

La primera pregunta podría tener una respuesta negativa básicamente por dos motivos:

Bien por limitaciones en las imágenes de los vídeos (poca precisión en la imagen), o bien que se aprecie un quiebro o una discontinuidad (lo cual está ligado a la respuesta de la pregunta 2). Por ello, se procede a realizar una matriz con los porcentajes de respuesta para cada una de las preguntas, siguiendo esta distribución:

Tabla XVI: Distribución que se sigue para los porcentajes de respuesta

		Pregunta 2: desarrollo	
		Suficientemente larga	Corta o quiebro
Pregunta 1: ¿se aprecia bien?	Sí	70 %	
	No		23 %

El porcentaje restante para completar el 100% lo constituyen la respuesta “Otros” a la segunda pregunta. En ambos casos se consideran todas las respuestas independientemente de si el usuario refleja la curva como claramente visible o no, el motivo es que el número de malas apreciaciones es muy bajo.

Se estudia la variación de este porcentaje de respuestas en función de la geometría de las curvas (ángulo, desarrollo o radio).

El siguiente gráfico muestra una distribución de todas las curvas según su ángulo girado (abscisas) y su desarrollo (ordenadas), representando el tamaño de la burbuja el porcentaje de curvas reflejadas como cortas o que producen quiebro:

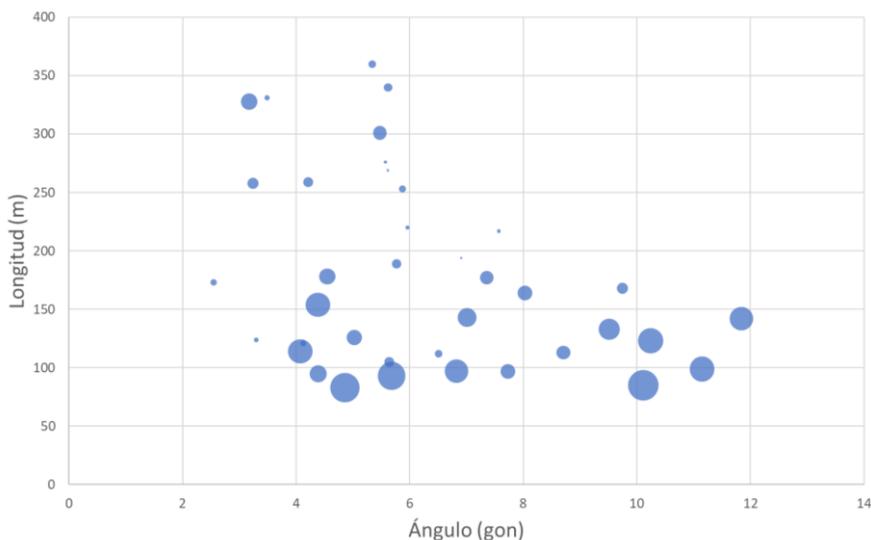
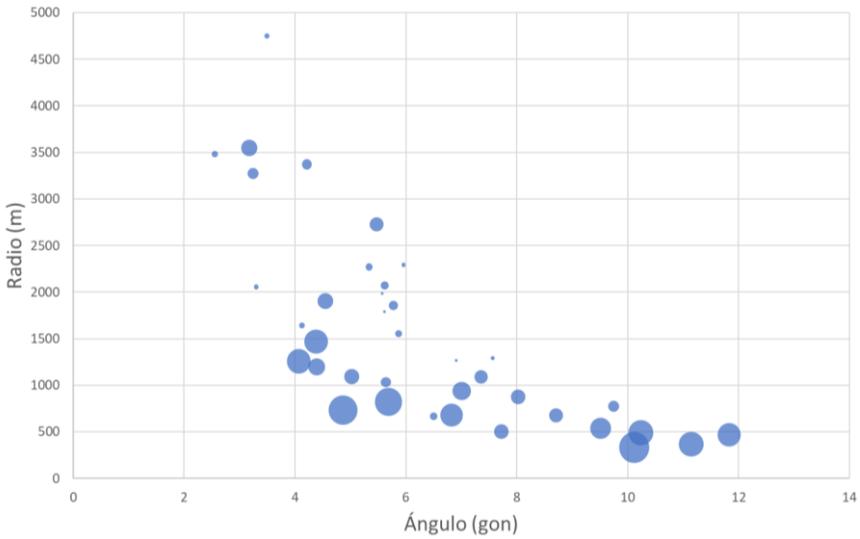


Figura LXIII: Porcentaje de respuestas de curva corta o quiebro

Como parece entreverse:

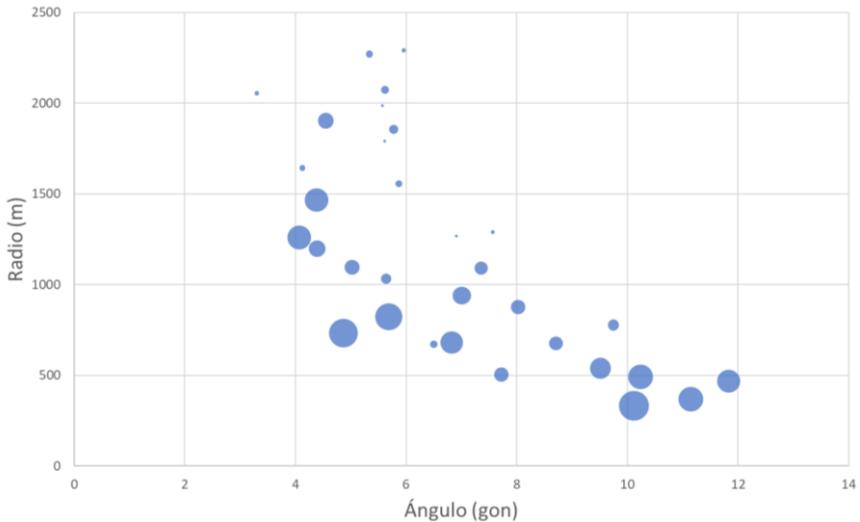
La longitud afecta mucho más que el ángulo al porcentaje de respuestas. Longitudes inferiores a (150-200 m) parecen presentar bastante más porcentaje de curvas cortas.

Si se representa el ángulo en abscisas frente al radio en ordenadas de dichas curvas, este umbral resulta más evidente:



**Figura LXIV: Porcentaje de respuestas de curva corta o quiebro**

Limitando el gráfico a radios menores o iguales a 2500 m, se puede ver mejor la zona:



**Figura LXV: Porcentaje de respuestas de curva corta o quiebro (limitación)**

Es importante asimismo considerar que para el segundo gráfico en el muestreo de curvas no se consideran de partida aquellas con un radio elevado (superior a 500 m) y ángulos de deflexión no muy pequeños, ya que no presentan problemas geométricos u operacionales.

### ➤ El comportamiento de trazada

En este apartado se analizan las respuestas a la cuarta pregunta de la encuesta online (situación en el carril), en primer lugar con sus propiedades geométricas y en segundo lugar añadiendo también la respuesta a la segunda de las preguntas (si la longitud de la curva es suficiente o existe un quiebro o discontinuidad).

Comparación con propiedades geométricas, las respuestas a esta pregunta, tal como aparece en todo este trabajo, son:

Tal como se indica en este estudio, seguir centrado en el carril, aproximarse al arcén o aproximarse al otro sentido de circulación. Ofreciendo dos niveles de gradación (invadir ligeramente o pisar o invadir mucho).

La respuesta esperada más probable difiere en función de si la curva es a derechas o a izquierdas (es decir, se espera con mayor frecuencia invasión del arcén cuando la curva es a derechas, e invasión del sentido contrario para curvas a izquierda).

En el siguiente gráfico (Figura LXVI) se indica el porcentaje de respuestas que indican que invadirían ligeramente el lado cerrado de la curva (arcén para curvas a derecha, carril contrario en curvas a izquierda), frente al porcentaje de respuestas que lo harían hacia el sentido abierto (carril contrario en curvas a derecha, arcén en curvas a izquierda).

La realidad es que la mayoría de conductores se inclinan hacia el lado cerrado, según las respuestas de la encuesta online un porcentaje medio de voluntarios opinan lo contrario.

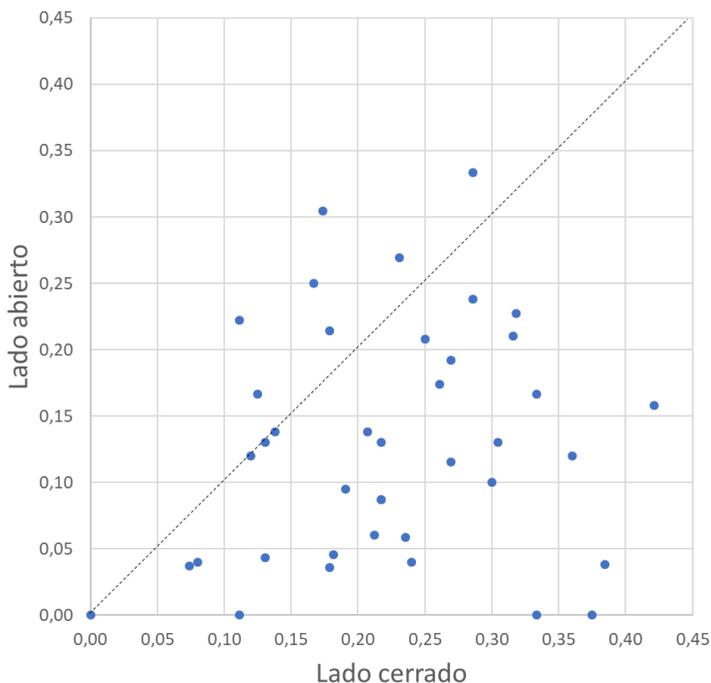
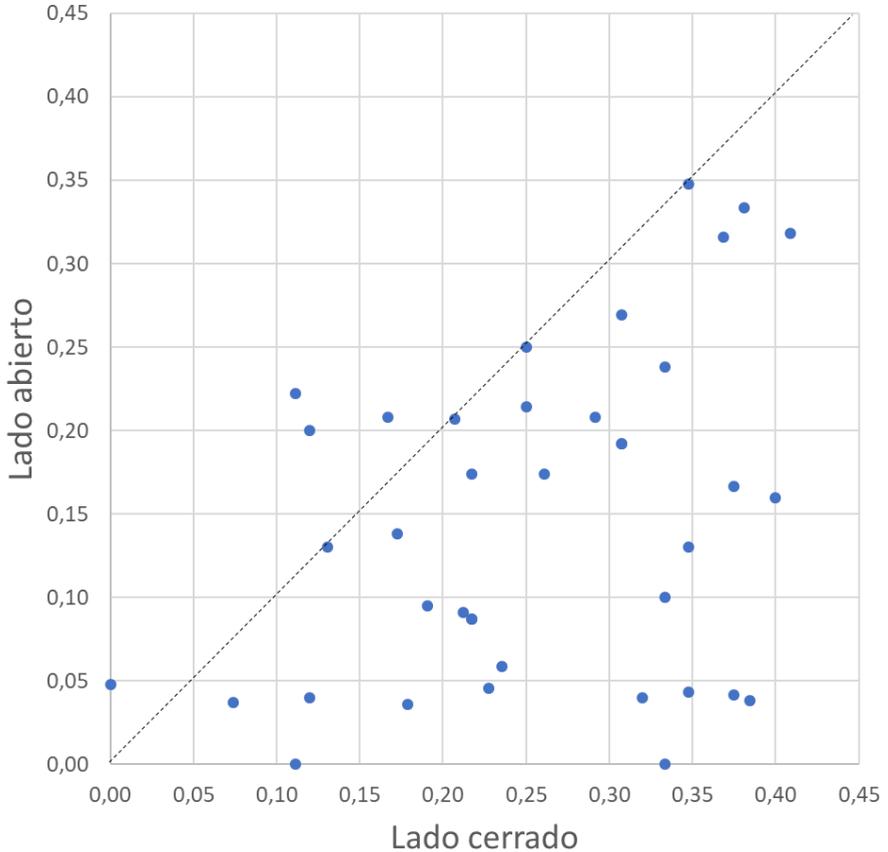


Figura LXVI: Porcentaje de respuestas de invasión

El porcentaje de respuestas hacia el lado cerrado aumenta más si se consideran también las invasiones de mayor magnitud (no ligera invasión), como puede verse en el siguiente gráfico:



**Figura LXVII: Porcentaje de respuestas de invasión**

Cabe plantearse si el porcentaje de respuestas cambia significativamente en función del sentido de giro de la curva. Por ello, se plantea el siguiente análisis, en el que las curvas a izquierda se muestran como un radio negativo, y las curvas a derecha como un radio positivo.

La Hipótesis que se formula es que en las curvas a izquierda, los conductores pueden invadir el otro carril (lado cerrado) o el arcén (lado abierto), escogiendo este último caso en situaciones de bastante tráfico, donde quieran apartarse algo del otro sentido de circulación.

En curvas a derechas, el camino natural sería invadir el arcén, ya que escoger el lado abierto (invadir el otro sentido) no es una opción razonable.

Estos análisis se confeccionan para radio, ángulo y longitud. Además, también se muestra el porcentaje de conductores que siguen centrados en su carril (Figuras LXVIII, Figura LXIX):

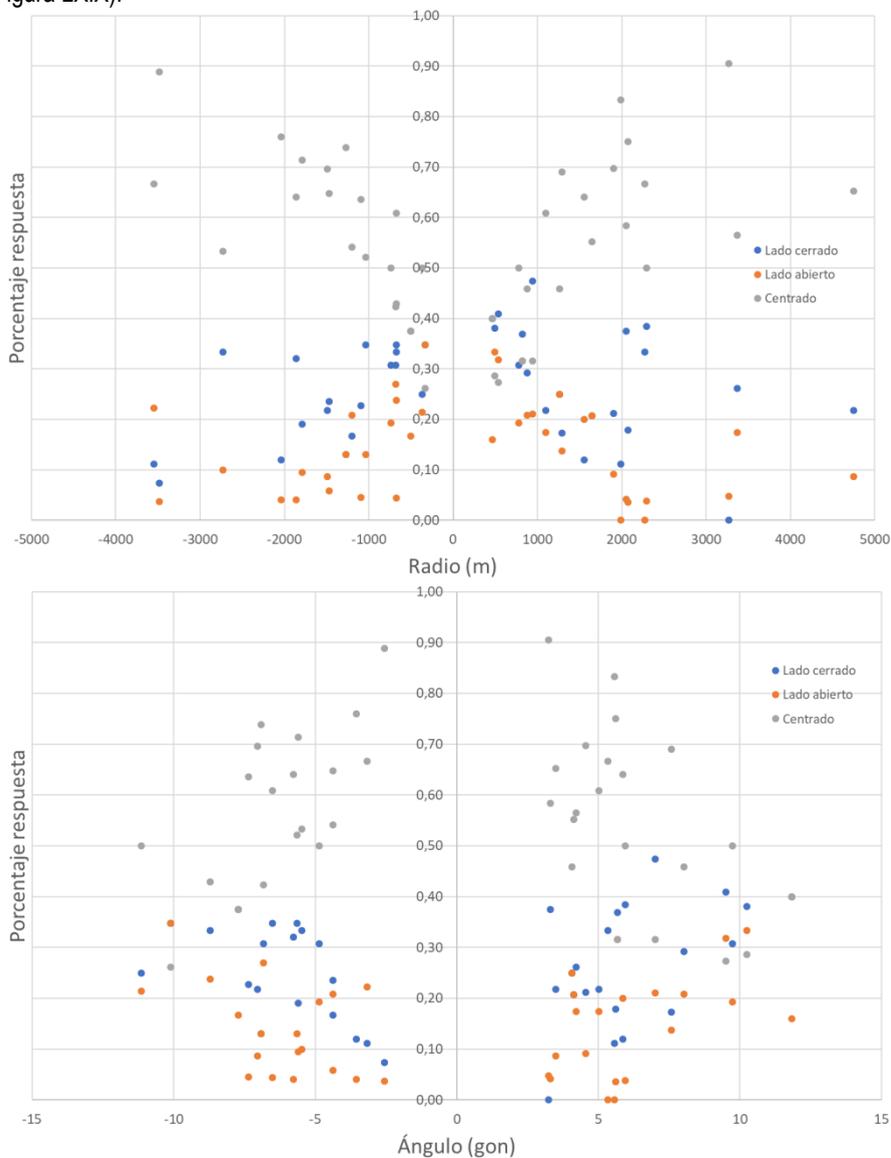
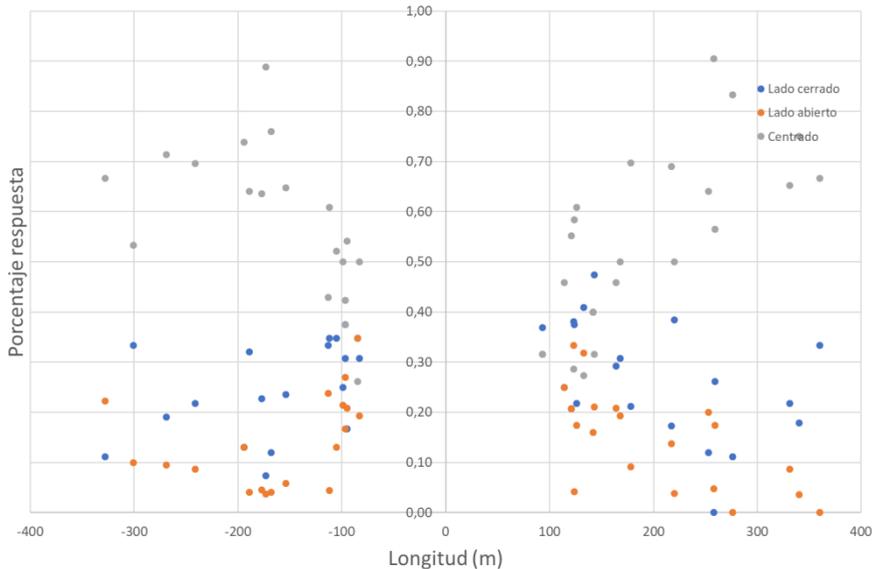


Figura LXVIII: Porcentaje de respuestas de invasión en función del lado



**Figura LXIX: Porcentaje de respuestas de invasión en función del lado**

Los análisis parecen indicar, de una forma bastante clara y especialmente en el caso de la longitud, que parece necesario disponer de más de 200 m para que el porcentaje de usuarios que siguen centrados en su carril sea significativamente superior.

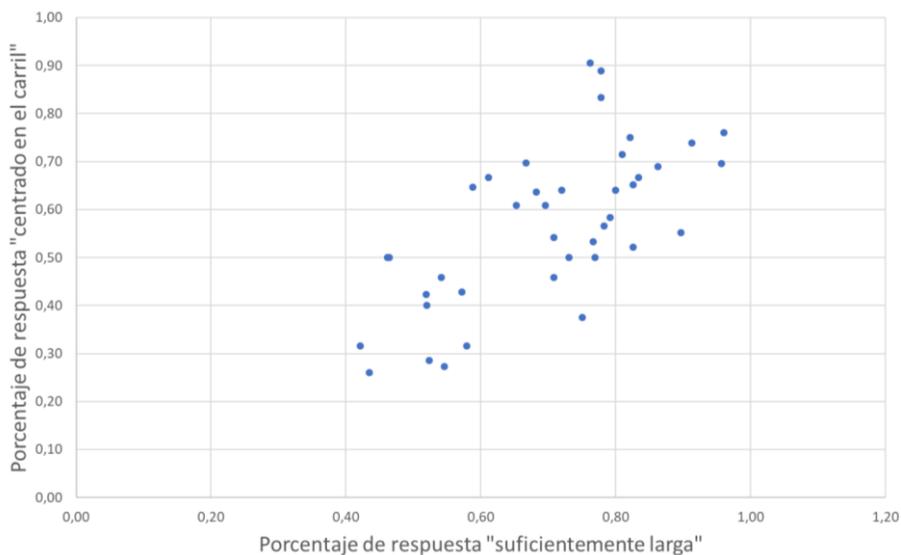
Estos datos sin embargo son asimétricos en función del sentido de giro:

En curvas a derechas, los conductores mantienen el umbral de la curva hasta radios de unos 200 m, mientras que para curvas a izquierdas, este comportamiento se da hasta 100 m. Parece ser lógico, puesto que en el primer caso esta invasión es a un arcén, y en el segundo se invadiría el sentido contrario.

Escoger el lado abierto (invadir el otro sentido), como se nombra anteriormente, no es una opción razonable. Sin embargo, una gran proporción de conductores escogen el lado de invasión abierto. En principio, esto podría indicar tres cosas:

- El arcén es siempre de dimensión inferior al carril opuesto. Imaginando que los arcenes de las curvas del estudio presentan (en general) poco arcén, los conductores podrían huir de él para mantener el nivel de velocidad.
- Una proporción no despreciable de los participantes en la encuesta han confundido respuestas, entre el carril de sentido contrario y arcén.
- La posición de la cámara de Google, para obtener las imágenes y realizar los vídeos, podría condicionar la respuesta de los conductores. Al ir centrada, es posible que les parezca que están más cerca del borde de carril derecho que del eje de la carretera.

La respuesta “continuaría centrado en mi carril” está muy relacionada con la respuesta “la curva se percibe suficientemente larga”, como puede verse en el siguiente gráfico:



**Figura LXX: Porcentaje de respuestas “centrado en el carril” | “suficientemente larga”**

### 6.3 Operación vehicular

Los equipos de grabación de datos e imágenes en carretera necesitan una autorización por parte del titular de la carretera (Administración) ya que se instalan en dominio público. En todo momento se obtienen los permisos necesarios para la toma de datos.

A continuación, se aportan una serie de gráficos (en las cuatro curvas estudiadas) con la posición lateral en el carril de los vehículos, así como las velocidades medias en el carril de los vehículos incluyendo el error debido a la estadística, teniendo en cuenta el giro de la curva (cuando el giro es a izquierdas o cuando el giro es a derechas) y la existencia o no de arcén. La precisión de la media real de la velocidad se obtiene a partir de la expresión (11) (particularizada para un nivel de confianza del 95%).

$$N=1.96^2 * (\sigma^2 / e^2) \quad (11)$$

Siendo:

N = tamaño muestral  
 $\sigma$  = desviación típica  
 e = error de precisión

Se entiende por:

En la entrada = velocidad entrada => Velocidad en el centro de la recta anterior a la curva.

En el punto medio = velocidad centro => Velocidad en el punto medio de la curva circular.

En la salida = velocidad salida => Velocidad en el centro de la recta posterior a la curva.

Carril => El vehículo se mantiene en su carril al trazar la curva.

Pisa => El vehículo pisa la línea que divide carril o su arcén al trazar la curva.

Inviade => El vehículo invade la línea que divide carriles o su arcén al trazar la curva.

- Curva de la carretera CV-60:

Esta muestra está compuesta por 75 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas a la entrada de la curva, 52 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en el centro de la curva y 52 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en la salida de la curva.

También está compuesta por 50 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas a la entrada de la curva, 81 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en el centro de la curva y 83 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en la salida de la curva.

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

- En la entrada:  $94.28 \pm 2.38$  km/h
- En el punto medio:  $95.78 \pm 3.26$  km/h
- En la salida:  $98.19 \pm 2.89$  km/h

Giro a derechas:

- En la entrada:  $95.80 \pm 3.06$  km/h
- En el punto medio:  $94.34 \pm 2.73$  km/h
- En la salida:  $97.81 \pm 2.85$  km/h

Posición lateral de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

Carril: 99 %  -1-  
Pisa: 1 %  -2-

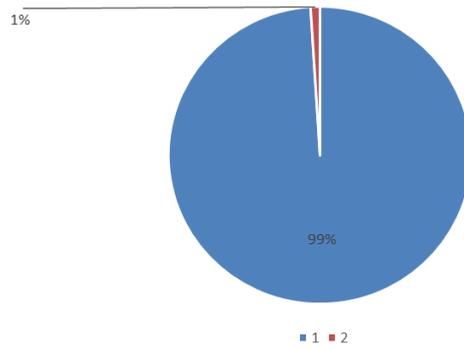


Figura LXXI: Giro a izquierdas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-60)

Giro a derechas:

Carril: 96 %   ■ -1-  
Pisa: 4 %     ■ -2-

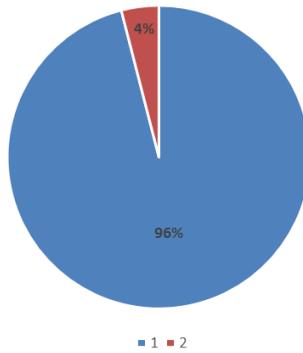


Figura LXXII: Giro a derechas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-60)

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

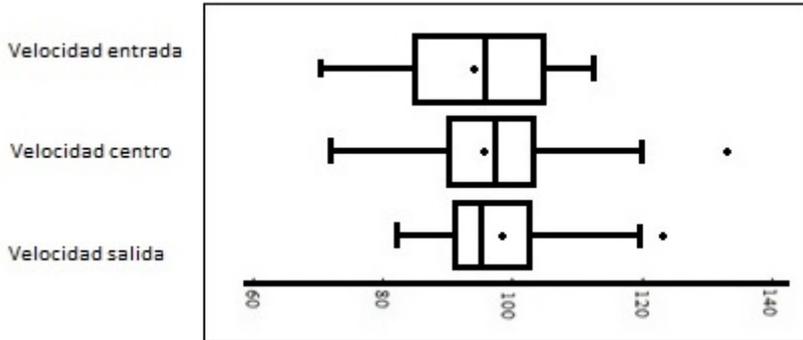


Figura LXXIII: Giro a izquierdas. Diagrama cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-60)

Giro a derechas:

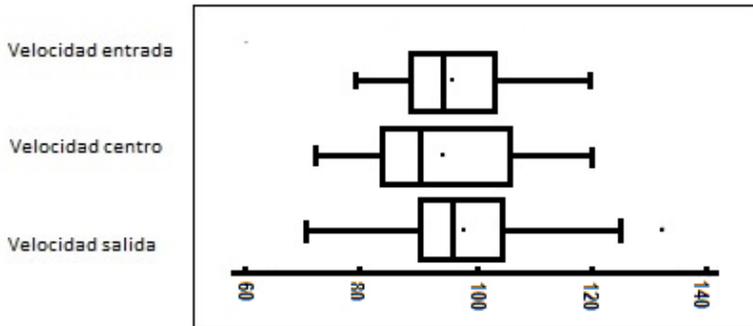


Figura LXXIV: Giro a derechas. Diagrama cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-60)

Posición lateral y velocidad de los vehículos en esta curva:

Los vehículos se mantienen en su carril debido a la sección transversal relativamente elevada que posee y a una IMD relativamente elevada (menos probabilidad de invasión).

No son velocidades elevadas y no parece existir un control geométrico (la velocidad parece equivalente en todos sus puntos).

- Curva carretera CV-41:

Esta muestra está compuesta por 59 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas a la entrada de la curva, 52 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en el centro de la curva y 50 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en la salida de la curva.

También está compuesta por 56 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas a la entrada de la curva, 63 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en el centro de la curva y 50 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en la salida de la curva.

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

- En la entrada:  $78.03 \pm 2.76$  km/h
- En el punto medio:  $76.12 \pm 2.71$  km/h
- En la salida:  $74.52 \pm 2.93$  km/h

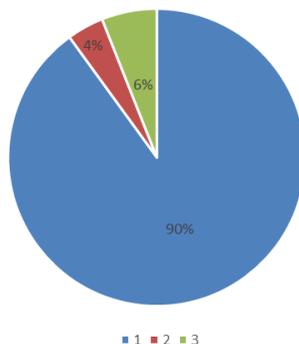
Giro a derechas:

- En la entrada:  $76.59 \pm 2.28$  km/h
- En el punto medio:  $85.00 \pm 2.17$  km/h
- En la salida:  $81.96 \pm 4.21$  km/h

Posición lateral de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

Carril:	90 %	■ -1-
Pisa:	4 %	■ -2-
Invade:	6 %	■ -3-



**Figura LXXV: Giro a izquierdas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-41)**

Giro a derechas:

Carril: 93 %   ■ -1-  
 Pista: 7 %    ■ -2-

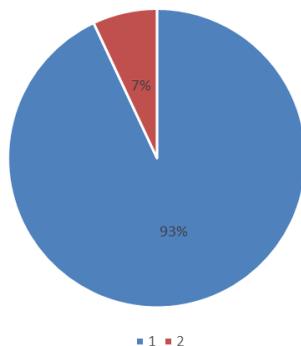


Figura LXXVI: Giro a derechas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-41)

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

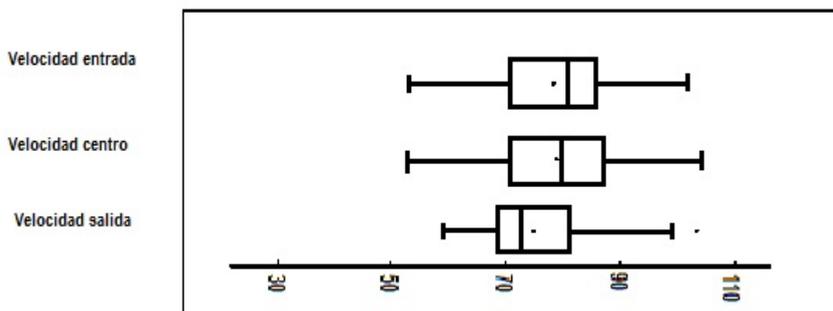
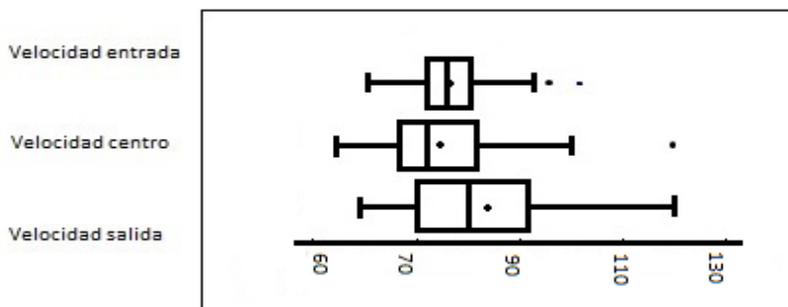


Figura LXXVII: Giro a izquierdas. Diagramas cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-41)

Giro a derechas:



**Figura LXXVIII: Giro a derechas. Diagramas cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-41)**

Posición lateral y velocidad de los vehículos en esta curva:

Esta curva, en su giro a izquierdas tiene permitido el adelantamiento y en su giro a derechas, tiene cerca una glorieta.

Las velocidades no son muy elevadas y su IMD es baja.

El hecho que la velocidad a la salida de la glorieta sea menor, puede explicarse por la existencia de la propia glorieta.

- Curva carretera CV-424:

Esta muestra está compuesta por 35 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas a la entrada de la curva, 35 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en el centro de la curva y 35 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en la salida de la curva.

También está compuesta por 51 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas a la entrada de la curva, 51 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en el centro de la curva y 51 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a derechas en la salida de la curva.

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

- En la entrada:  $74.33 \pm 3.76$  km/h
- En el punto medio:  $66.86 \pm 4.34$  km/h
- En la salida:  $66.56 \pm 4.03$  km/h

Giro a derechas:

- En la entrada:  $75.50 \pm 4.23$  km/h
- En el punto medio:  $65.03 \pm 4.35$  km/h
- En la salida:  $71.82 \pm 3.90$  km/h

Posición lateral de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

Carril:	63 %	<span style="color: blue;">■</span>	-1-
Pisa:	23 %	<span style="color: red;">■</span>	-2-
Invade:	14 %	<span style="color: green;">■</span>	-3-

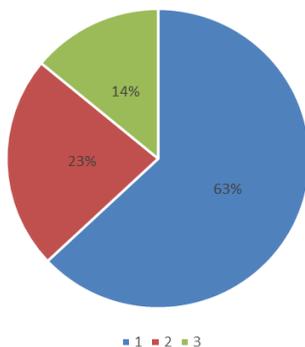


Figura LXXIX: Giro a izquierdas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-424)

Giro a derechas:

Carril:	91 %	-1-
Pisa:	6 %	-2-
Invade:	3 %	-3-

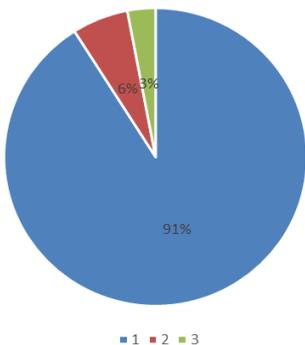


Figura LXXX: Giro a derechas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-424)

Velocidad de los vehículos en el carril.

Giro a izquierdas:

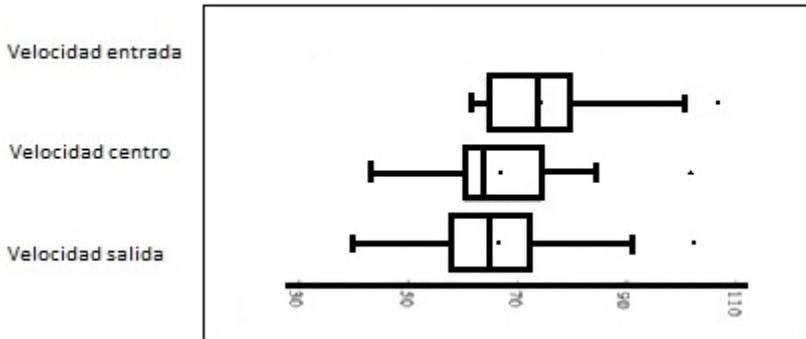


Figura LXXXI: Giro a izquierdas. Diagramas cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-424)

Giro a derechas:

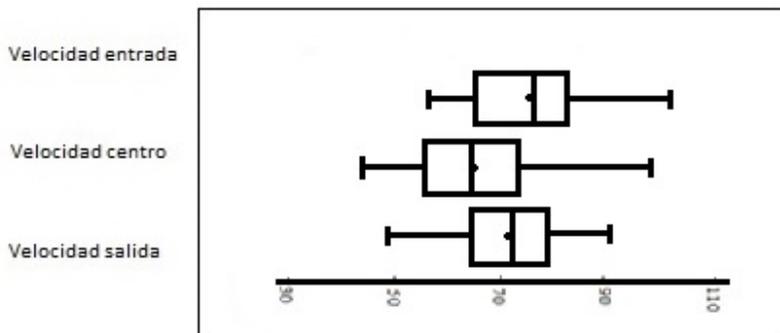


Figura LXXXII: Giro a derechas. Diagramas cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-424)

Posición lateral y velocidad de los vehículos en esta curva:

En esta curva la sección transversal solo es menor a las anteriormente mencionadas curvas, existe un arcén reducido (el radio que se traza es menor, con lo cual es imposible la invasión).

Su IMD no es elevada (lo que favorecería la invasión del carril contrario y aumenta el riesgo de accidente).

Los conductores no sobrepasan la máxima velocidad permitida, ya que parece existir cierto control geométrico.

- Curva carretera CV-605:

Esta muestra está compuesta por 29 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas a la entrada de la curva, 61 vehículos que circulan en flujo libre con

sentido de giro a izquierdas en el centro de la curva y 42 vehículos que circulan en flujo libre con sentido de giro a izquierdas en la salida de la curva.

No se tuvo en cuenta el giro a derechas (inexistencia de arcén y presencia de barreras de seguridad que impide que los vehículos invadan el sentido contrario).

Velocidad de los vehículos en el carril.

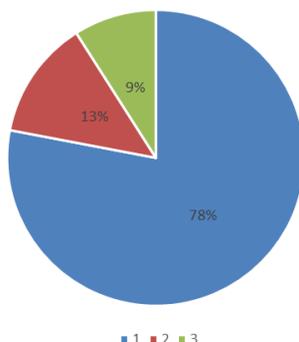
Giro a izquierdas:

- En la entrada:  $74.00 \pm 4.14$  km/h
- En el punto medio:  $76.98 \pm 3.21$  km/h
- En la salida:  $78.34 \pm 5.61$  km/h

Posición lateral de los vehículos en el carril.

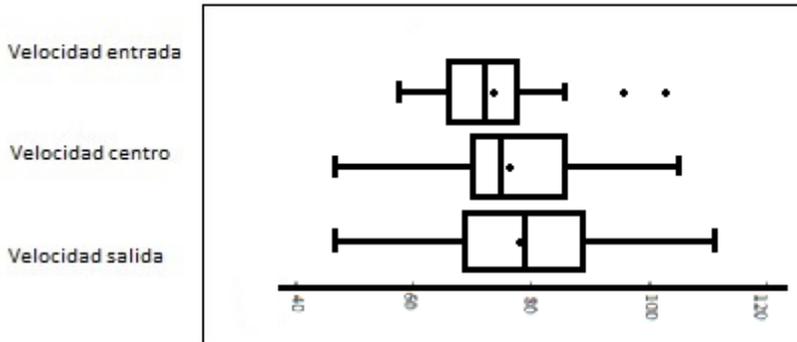
Giro a izquierdas:

Carril:	78 %	■ -1-
Pisa:	13 %	■ -2-
Invade:	9 %	■ -3-



**Figura LXXXIII: Giro a izquierdas. Posición lateral de los vehículos (carretera CV-605)**

Giro a izquierdas:



**Figura LXXXIV: Giro a izquierdas. Diagramas cajas-bigotes de velocidades en entrada, punto medio, salida (carretera CV-605)**

Posición lateral y velocidad de los vehículos en esta curva:

En esta curva no existe arcén en su giro a derechas (no se puede producir invasión) y la sección transversal es parecida a la anterior curva (carretera CV-424). Imposible tomar datos en ese sentido de giro a derechas.

Su IMD no es elevada (lo que favorece la invasión del carril contrario y aumenta el riesgo de accidente).

No parece existir control geométrico (los vehículos sobrepasan la máxima velocidad permitida).

## 7. DISCUSIÓN

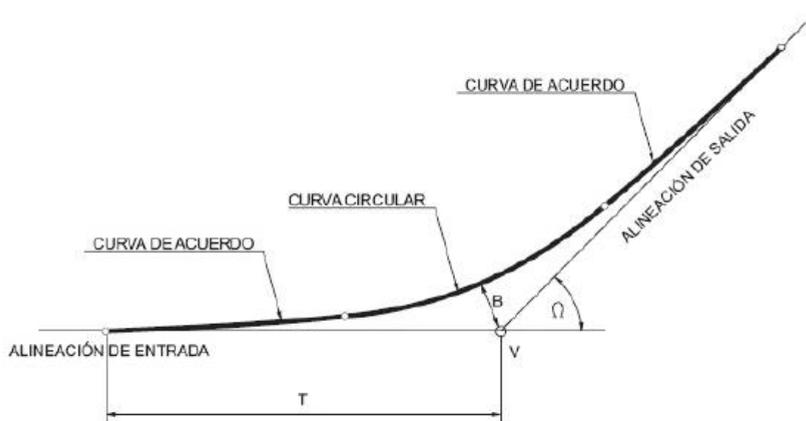
### 7.1 Análisis de los criterios de diseño de curvas y clotoides en la Instrucción de Trazado 3.1-IC

Se recuerda la teoría de diseño geométrico en planta de carreteras convencionales, según la actual Instrucción de Trazado 3.1-IC todos los trazados en planta son combinación de tres elementos geométricos, a saber, rectas, curvas circulares y curvas de acuerdo o clotoides (elementos de diferente curvatura).

Estas curvas horizontales vienen caracterizadas por la longitud, ángulo de deflexión y radio.

Debido a la variabilidad de las clotoides, solo se considera el ángulo de deflexión y la longitud de la curva (se remite al apartado 3.1 de este documento).

Dichas clotoides sirven para graduar las aceleraciones presentes en la transición entre los elementos mencionados de diferente curvatura.



**Figura LXXXV: Esquema clotoide-curva circular-clotoide**  
Gráfica extraída de la Instrucción de Trazado 3.1-IC

A la configuración clotoide-curva circular-clotoide, se denomina alineación curva Tipo I, y es la más extendida (según la Instrucción de Trazado 3.1-IC).

Empleando la relación entre el ángulo girado por una clotoide y su longitud, se puede determinar, para cada radio de curva circular, el ángulo mínimo que debe abarcar cada una de sus clotoides.

Seguidamente se recuerdan las limitaciones expresadas por la Instrucción de Trazado 3.1-IC:

- Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal.
- Limitación por transición del peralte.
- Limitaciones por condiciones de percepción visual.

Estas limitaciones se explican en este documento en el apartado 3.1 “Criterios de la Normativa”).

Representando los criterios (considerando la variación de la aceleración centrífuga recomendada por la Instrucción de Trazado 3.1-IC, así como la máxima permitida) además de los umbrales para diferentes velocidades de proyecto, se obtiene la siguiente gráfica:

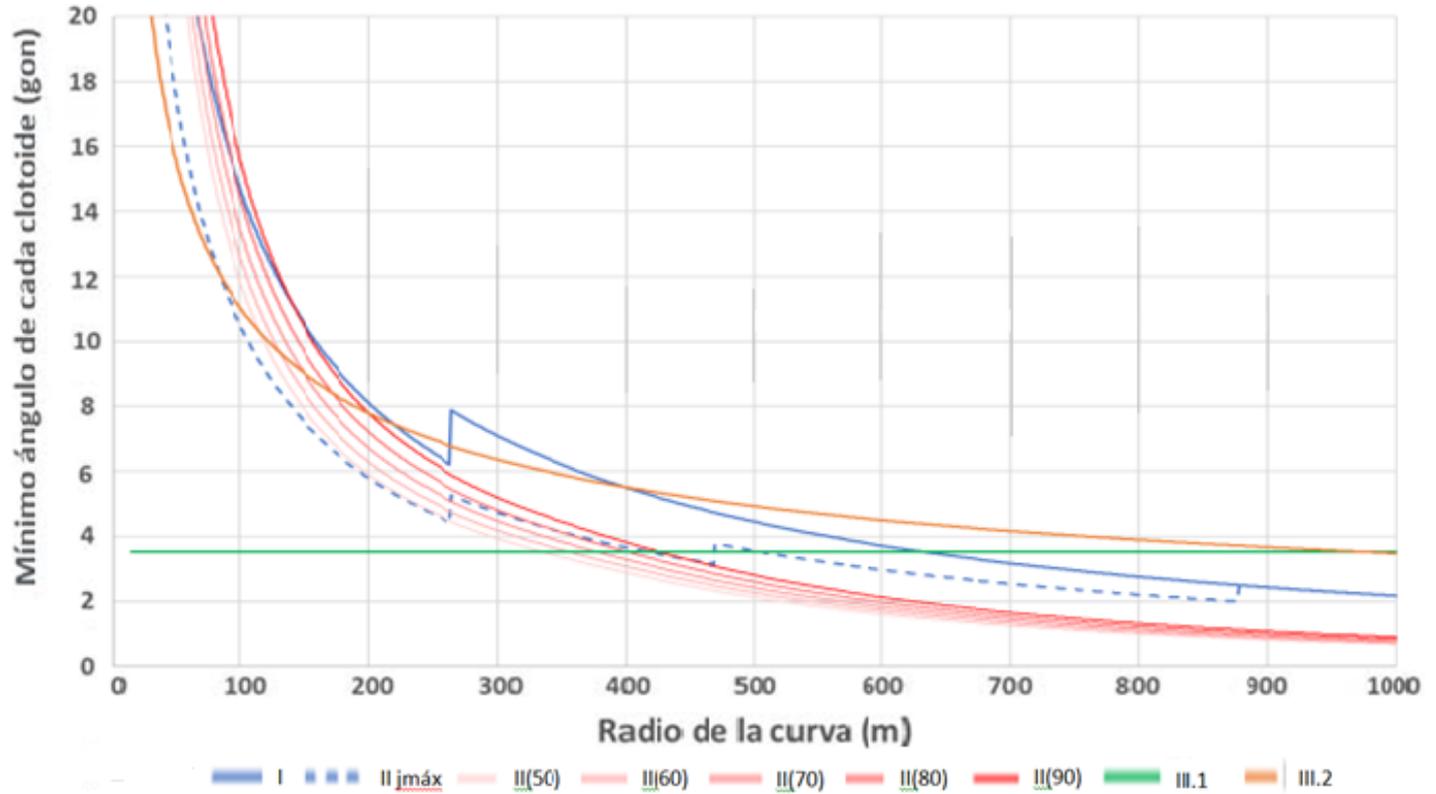


Figura LXXXVI: Ángulo mínimo que debe tener una clotoide, en función de los diferentes criterios. Grupo I

Por tanto, según este gráfico (Figura LXXXVI), a medida que el radio de la curva disminuye, es necesario que el ángulo de deflexión de la curva completa (se recuerda que es la suma de los ángulos de las clotoides, más la curva circular) aumente.

En la gráfica siguiente se observa lo mismo, en ella también se representan los umbrales de la Instrucción de Trazado 3.1 I-C, de cumplimiento obligatorio y se aplican a las dos clotoides que rodean una curva circular.

En él se aprecia cómo, siguiendo la actual Instrucción de Trazado, es imposible disponer ciertas curvas de radio reducido con bajos ángulos de deflexión. Sin embargo, sí se encuentran muchas curvas entre 6 y 20 gonios, con bajo radio y que incumplen la normativa.

El radio de las gráficas se va superponiendo a medida que aumenta dicho radio. Grupos II y III (Figura LXXXVII):

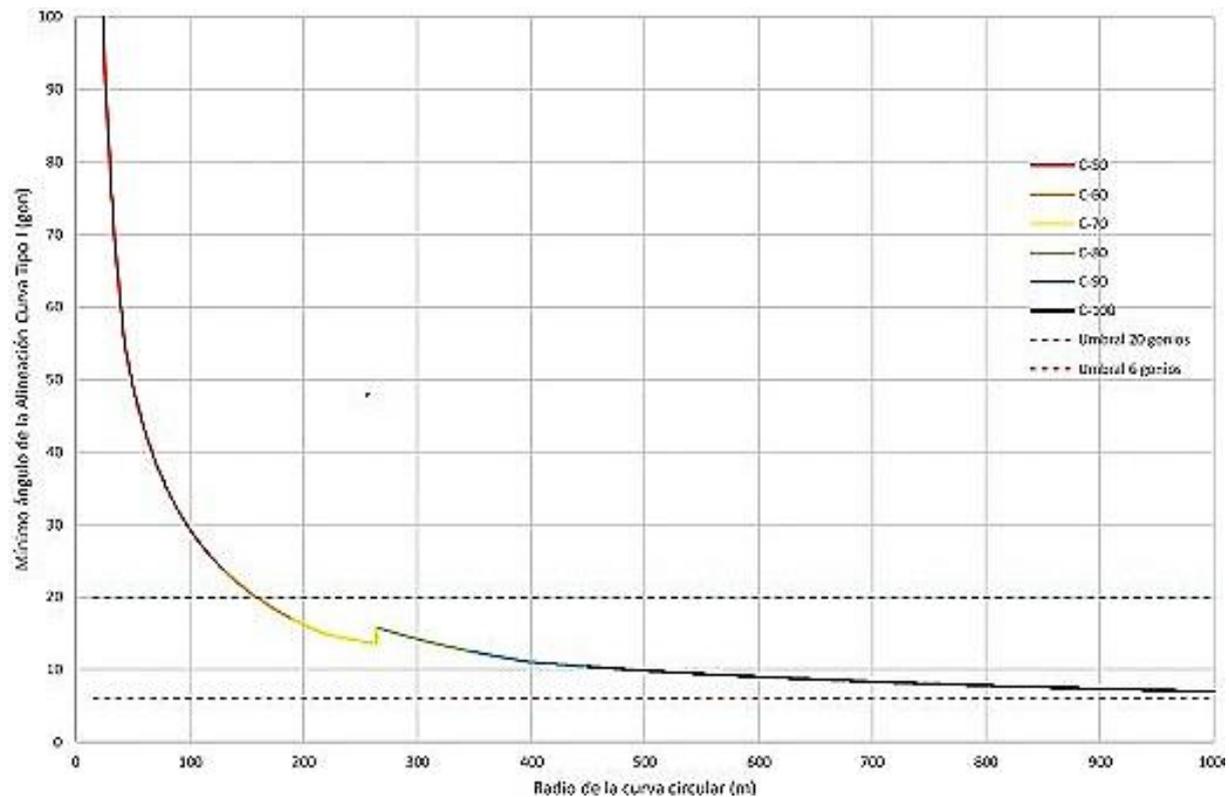


Figura LXXXVII : Ángulo de deflexión mínimo para cualquier alineación curva Tipo I, en función del radio. Grupos II y II

Si se representa el ángulo y radio de cada curva de la muestra (Figura LXXXVIII) y comparando con los umbrales de la Instrucción de Trazado 3.1 I-C, así (mínimo ángulo y radio) para las diferentes carreteras de los grupos II y III se observa que las curvas por debajo de ese umbral (Tipo I / Tipo III) son imposibles de diseñar de acuerdo con la actual Instrucción de Trazado española ya que presentan un ángulo girado menor al mínimo geoméricamente viable por condiciones de clotoides:

Para Tipo I, las clotoides que se presentan son más cortas, o bien dichas curvas no tiene clotoides).

O su desarrollo es menor al mínimo que dicta la actual Normativa para el Tipo III.

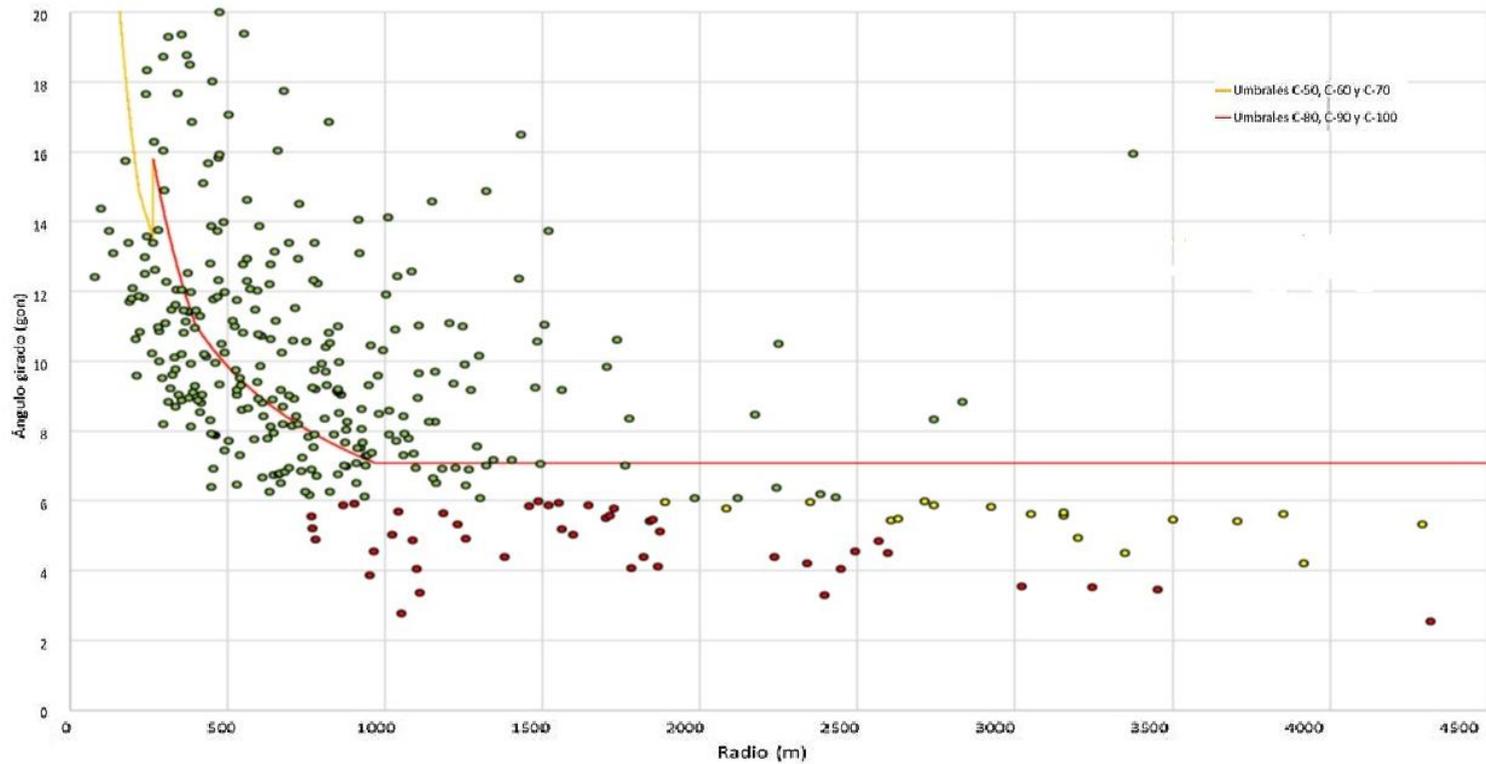


Figura LXXXVIII: Muestra total de curvas (encuesta online)

En general:

Analizando la longitud | radio | ángulo de deflexión de la muestra total para ángulos entre 2 gon y 20 gon y, distinguiendo entre zonas que van de 2 gon a 6 gon y entre 6 gon y 20 gon, se cumple que un gran porcentaje de la muestra de las curvas con ángulos de deflexión inferiores a 6 gon cumplen la Normativa española. En este grupo, otras curvas, poseen un desarrollo menor al mínimo que dicta la actual Normativa.

Muchas de las curvas con ángulos de deflexión inferiores a 6 gon presentan clotoides (incumpliendo la Instrucción española), aunque su impacto sobre el radio es reducido (ya que poseen poco ángulo de deflexión).

Un poco más de la mitad de las curvas de la muestra con ángulo de deflexión entre 6 gon y 20 gon cumplen los criterios de la Normativa española.

El resto de estos diseños antiguos de carreteras españolas existentes se han hecho con clotoides que incumplen los criterios (son más cortas que lo que dicta la Instrucción) o bien se han hecho con grandes curvas circulares (sin tener clotoides). Para Tipo I, las clotoides que tiene la muestra son más cortas, o bien dichas curvas no tiene clotoides.

De 20 gon a 6 gon (a medida que disminuye el ángulo), más curvas incumplen la Instrucción de Trazado 3.1 I-C (de hecho, incumplen totalmente dicha Normativa los ángulos entre 6 gon y 7 gon ya que no se pueden diseñar con radios menores de 2500 m).

Por tanto, para las 354 curvas del estudio:

De las 284 curvas superiores a 6 gon, 127 curvas no cumplen la Instrucción española. De las curvas inferiores a 6 gon, 45 curvas no cumplen el criterio de desarrollo y 25 cumplen el criterio de desarrollo establecido por la Instrucción de Trazado 3.1-IC. Lo que indica que existe un gran porcentaje de configuraciones con los que no es posible diseñar curvas (Tipo I / Tipo III) que cumplan la actual Instrucción de Trazado 3.1-IC y, por tanto, son curvas no aptas con los actuales criterios de ángulo máximo para curvas de bajo ángulo.

## **7.2 Influencia de los parámetros geométricos sobre el comportamiento operacional**

### **7.2.1 A partir de la encuesta online**

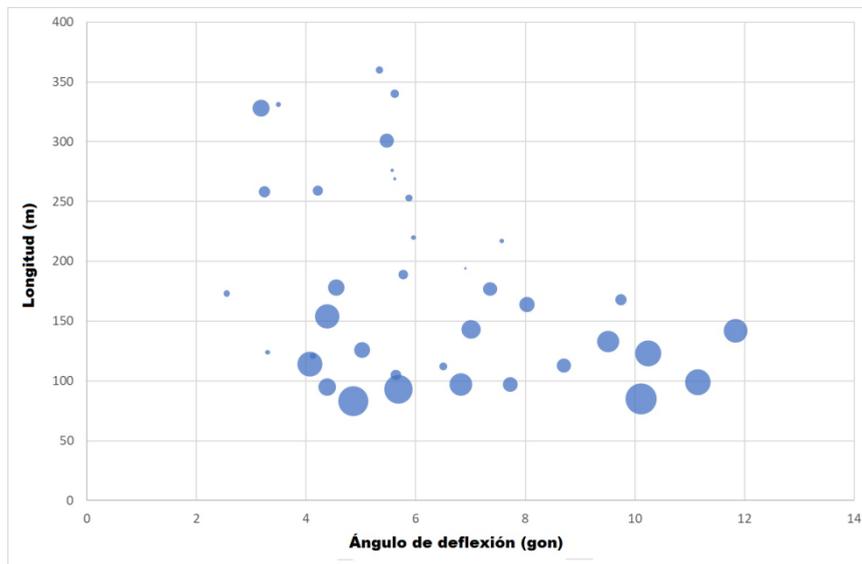
Al estudiar la disposición de los parámetros en las curvas, se nota perfectamente como estos son influenciados por la geometría.

La siguiente figura representa cómo la cantidad de conductores que perciben la curva como demasiado corta (o notan una discontinuidad) disminuye con la longitud de la curva.

Las curvas de menos de 200 m parecen ser percibidas como demasiado cortas por una cantidad mayor de encuestados. En este caso, el ángulo parece no tener un efecto notable en la percepción de los conductores.

En la siguiente figura el ancho de los círculos representa un mayor porcentaje de respuestas para cada curva.

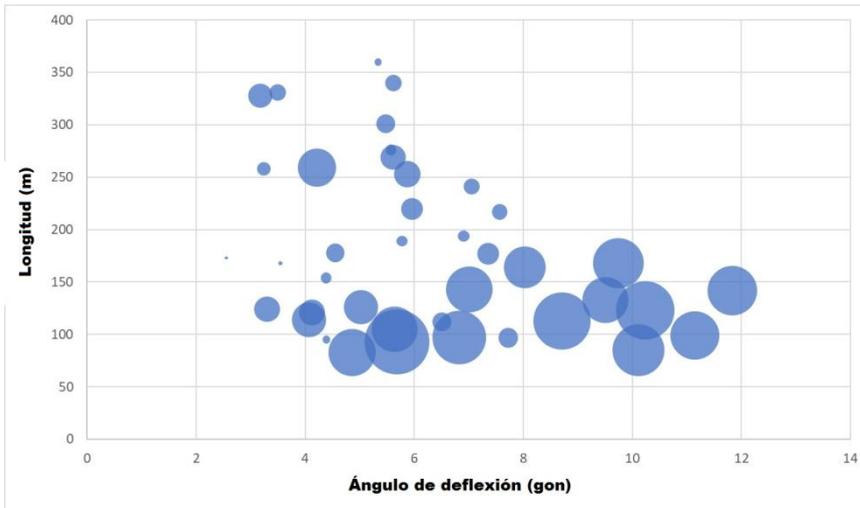
Porcentaje de respuestas que afirman que la curva es demasiado corta (o presenta una discontinuidad):



**Figura LXXXIX: Distribución del porcentaje de respuestas para las diferentes curvas, en función del ángulo de desviación y la longitud.**

El comportamiento es similar en el caso de la transición de velocidad, con un umbral ligeramente diferente. Al parecer cerca de todas las curvas de menos de 150 m, estas presentan una tasa notablemente más alta de respuestas de "deceleración" que las de más de 150 m. En este caso, el ángulo puede tener poco efecto, pero esto no puede garantizarse debido a la falta de curvas de más de 200 m que tengan un ángulo de deflexión de más de 6 gon (el ancho de los círculos representa un mayor porcentaje de respuestas para cada curva).

El porcentaje de respuestas que indican que reducirían la velocidad aparece en la siguiente figura:



**Figura XC : Distribución del porcentaje de respuestas para las diferentes curvas, en función del ángulo de desviación y la longitud.**

Acometer la curva con una trayectoria u otra depende de la buena visibilidad, la dirección de giro, presencia de tráfico en dirección opuesta, ancho de carril, arcén de la curva, obstáculos, barreras.

Así, los usuarios desplazan su vehículo recortando la curva (alejándose o acercándose al centro de la curva) o manteniendo una trayectoria recorriendo el centro del carril (o centrada), tal como se indica. Si realiza esto último, los resultados de las trayectorias (invadir la dirección opuesta o tender al exterior) tiene muy pocas respuestas. A pesar de esto se consideran las posiciones laterales, acercándose / invadiendo la dirección opuesta y acercándose / invadiendo el exterior.

Esto se puede representar en un diagrama de triángulo o ternario donde cada vértice del triángulo representa un 100% de respuestas para una elección (es la representación gráfica del comportamiento de tres funciones). Aquí se tiene en cuenta la trayectoria (hacia la línea central del carril / trayectoria centrada en el carril / hacia el exterior del carril).

También aparece el porcentaje de trayectorias de deceleración (ancho de los círculos) en función de la forma de trazar esa trayectoria de la curva y dirección (a izquierdas: azul, a derechas: naranja).

Círculos azules: giro a izquierdas. Círculos naranjas: giro a derechas).

Se pueden representar las tres variables en un gráfico bidimensional.

Las siguientes figuras representan el comportamiento de la longitud de la curva, la percepción y la velocidad en función de la trayectoria que se adopta.

La siguiente figura describe la organización del diagrama ternario.

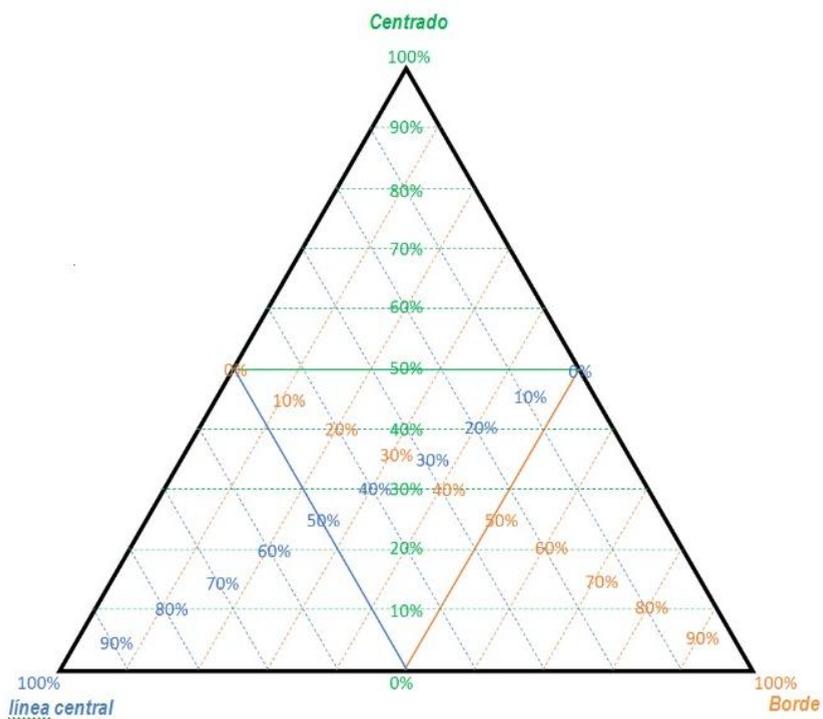
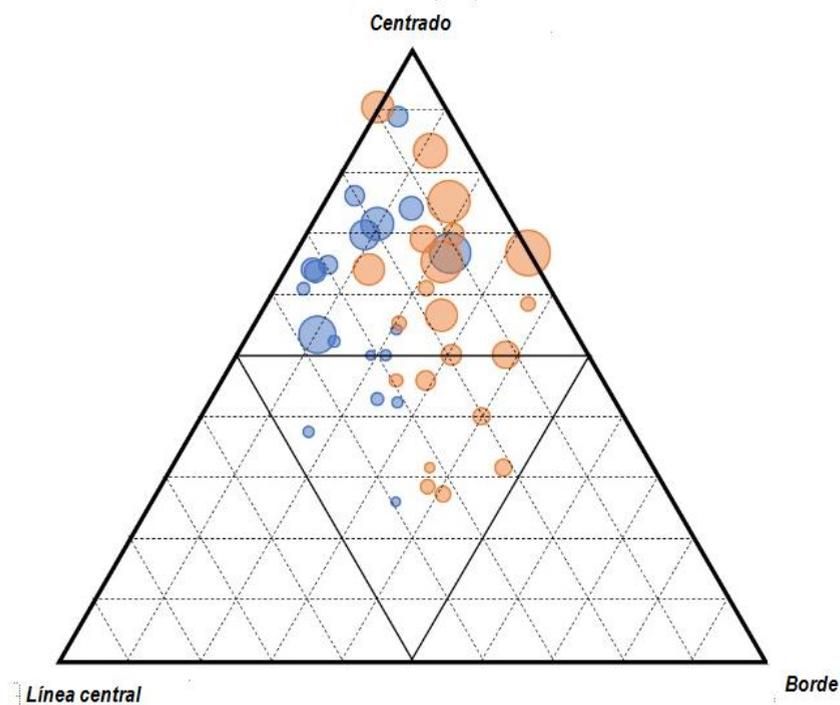


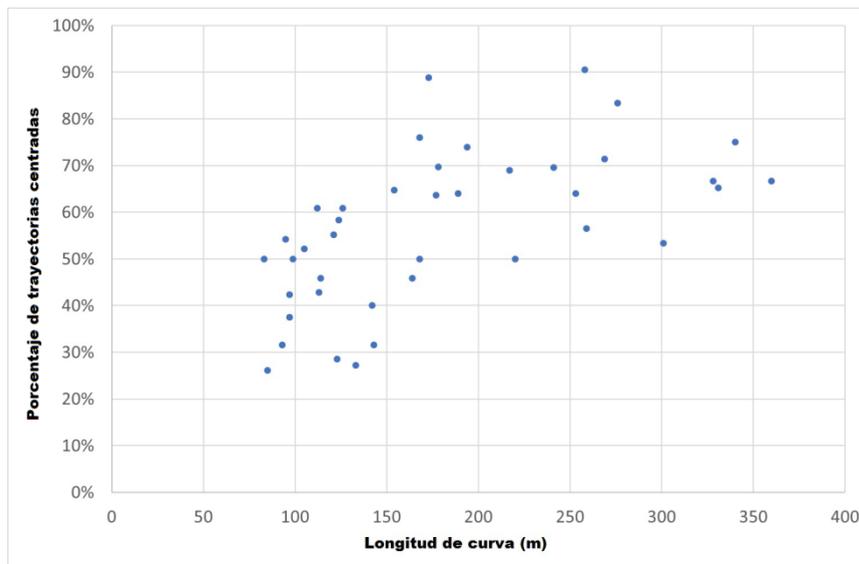
Figura XCI: Descripción del diagrama ternario (en triángulo)

La tasa de trayectorias (Figura XCII) centradas en las curvas varía aproximadamente de un 25% a un 90%



**Figura XCII: Longitud: círculos más grandes significa curvas más largas**

Ninguna de las curvas más cortas que 150 m presentan un índice de respuesta superior al 60% de curvas cuyas trayectorias se recorren por el centro del carril (o centradas), esto se refleja en la siguiente figura:



**Figura XCIII: Porcentaje de trayectorias centradas en función de la longitud de la curva**

Como se esperaba algunos conductores tienden a recortar las curvas de modo distinto (es decir, las curvas con giro a izquierdas presentan una prevalencia de trayectorias hacia la línea central y las curvas con giro a derechas tienden al exterior).

Ninguna de las curvas (incluso las más cortas) presenta una cantidad de trayectorias en que se produzca un gran recorte. De hecho, la tasa de recorte más alta fue cercana al 47% para ambas direcciones.

Hay algunas curvas muy pronunciadas para las cuales la distribución entre el movimiento lateral a izquierda y dicho movimiento a derecha es casi la misma.

La explicación de por qué los conductores no se desplazan más hacia el arcén podría residir en:

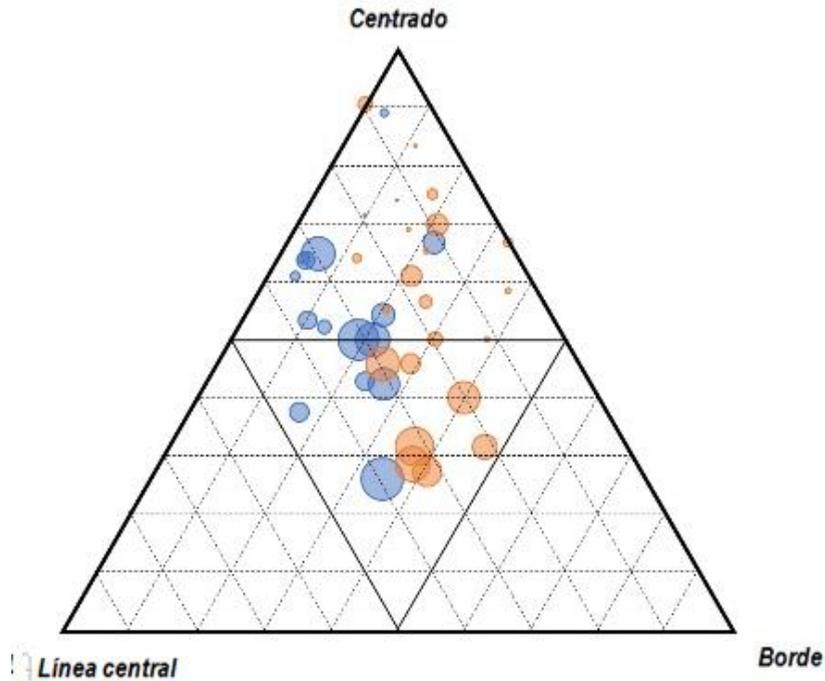
- a) la ausencia de tráfico en la dirección opuesta.
- b) un arcén estrecho o inexistente que provoca una invasión parcial de ese arcén.

Ni la ausencia de tráfico, ni el ancho del arcén se analizan en esta investigación, por lo que su efecto sigue siendo desconocido.

De todos modos, parece que los usuarios prefieren las curvas más largas para inducir trayectorias más centradas en el carril y, si no es posible, ampliar la curva en la sección crítica, para facilitar la acometida de la trayectoria y mejorar su visibilidad.

Las curvas de más alto ángulo de deflexión podrían mostrar una mayor tendencia hacia el recorte de la curva. Sin embargo, la muestra en este estudio solo se centra en las curvas de bajo ángulo de deflexión.

La siguiente figura representa los porcentajes de mala percepción en función de las trayectorias:



**Figura XCIV: Percepción: los círculos más grandes indican más respuestas que revelan un quiebro o una discontinuidad**

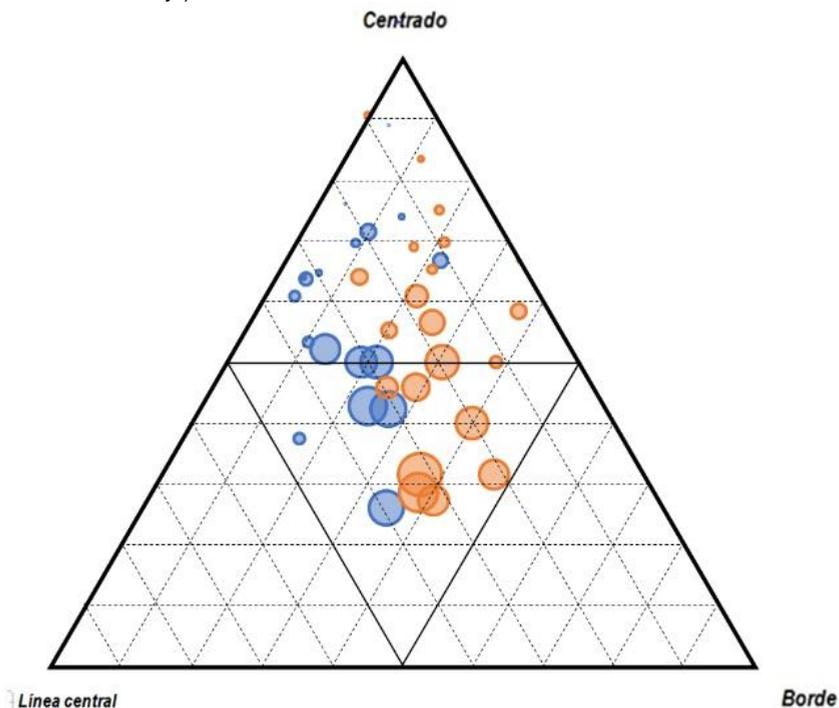
Las peores percepciones se concentran en el centro del diagrama, es decir, curvas para las cuales las trayectorias están muy equilibradas.

Una curva corta se percibe peor, y los conductores no saben si recortarla por el centro o recorrerla tendiendo al exterior.

Finalmente, la variación de velocidad y el recorrido de la trayectoria de una curva, según la siguiente figura. Para trayectorias recorridas por el centro del carril o centradas, la mayoría de las respuestas señalan que los usuarios mantendrían una velocidad constante.

Si los usuarios cambian su comportamiento de trazado (las trayectorias son menos centradas), la velocidad que adoptan es cada vez más reducida. Esto significa que para las curvas de bajo ángulo de deflexión, un cambio en la trayectoria generalmente se combina con una reducción de la velocidad.

Figura XCV (Porcentaje de trayectorias de deceleración (ancho de los círculos) en función del trazado de la trayectoria y la dirección de la curva (giro a izquierdas: azul, giro a derechas: naranja):



**Figura XCV Reducción de velocidad: los círculos más grandes indican más respuestas de reducción de velocidad.**

### 7.2.2 A partir del estudio de campo

Ya que solo se estudian cuatro curvas de cuatro distintas carreteras y dado lo puntual de la toma de datos, este estudio no resulta del todo concluyente.

Se recuerda el apartado (6.7 Operación vehicular), las curvas de estudio de campo son:

- PK 1+400 de la carretera CV-60, tiene un ancho de carriles de 3.55 m y un arcén de 1.70 m en ambos sentidos. La curva de la CV-60 está por encima de un ángulo de 6 gon, radio de 1520 m y longitud de 430 m
- PK 9+850 de la Carretera CV-41, tiene un ancho de carril de 3.55 m y 1.20 m de arcén.
- PK 4+700 de la Carretera CV-424, tiene un ancho de carriles de 3.30 m y un pequeño arcén de unos 25 cm
- PK 5+900 de la Carretera CV- 605, tiene un ancho de carril de 3.30 m y un arcén prácticamente inexistente (0.10 m).

Las curvas de la CV-41, CV-424 y CV-605 están alrededor de un ángulo de 6 gon, radio de 734 m y longitud de 123 m para la curva de la CV-41, radio de 262 m y longitud de 59 m para la curva de la CV-424, radio de 867 m y longitud de 149 m para la curva de la CV-605.

Las condiciones de tráfico y adelantamiento para las curvas son las que siguen:

- CV-60, su sección transversal mantiene los vehículos centrados en su carril. La elevada IMD (relativamente alta) ayuda a que no se produzca el recorte.
- CV-41, con el adelantamiento permitido (en su giro a izquierdas), con una glorieta en sus proximidades (en su giro a derechas), su sección transversal produce que la mayoría de los vehículos se mantengan centrados en su carril. Su IMD es baja (no es favorable para evitar el recorte).
- CV-424, existe un arcén reducido (con lo cual no se puede invadir) y la sección transversal es menor. Se produce mayor invasión | pisa (en su giro a izquierdas), Casi no se produce invasión (en su giro a derechas). Su IMD no es elevada (lo que favorece la invasión del carril contrario).
- CV-605, no existe arcén (con lo cual no hay invasión en su giro a derechas), su sección transversal también es menor, siguen los vehículos centrados, aunque con un pequeño porcentaje de pisa | invade del carril contrario. Su IMD no ayuda al no ser elevada.

A la vista de este estudio, se puede decir:

- Si las curvas presentan giro a izquierdas, la trayectoria de los conductores es tender hacia la línea central y si las curvas son con giro a derechas, la trayectoria de los conductores es tender hacia al exterior.
- Aunque este estudio no resulte del todo concluyente al contar con una serie de datos puntuales solo en cuatro carreteras, se aprecia claramente que existen distintas geometrías para las cuatro distintas curvas, no teniendo muy distintas trayectorias (la mayoría de los vehículos circulan centrados en su carril y una ínfima minoría causa recorte).
- Los usuarios perciben estas curvas, influyendo sobre la trayectoria de los vehículos, teniendo en cuenta el ancho de carril con mayor o menor arcén y lado de giro de las curvas, además de la presencia de obstáculos y de tráfico.
- Aunque en este trabajo no se estudia el ancho de arcén, para las curvas de bajo ángulo de deflexión que tienen poco (o carecen) de arcén, parece ser que los vehículos recorren dichas curvas con un radio ligeramente menor que el radio geométrico de la curva.

### **7.3 Criterio de curvas de bajo ángulo**

La Instrucción de Trazado 3.1-IC y las disposiciones estadounidenses (AASHTO) presentan un criterio general para la longitud mínima de la curva en función de su velocidad de diseño. Para las curvas de bajo ángulo de deflexión, tal y como aparece en el estado del arte (apartado 3.1 de este documento, Diseño geométrico en planta), este criterio se incorpora con un requisito mínimo en función del ángulo de deflexión.

---

Estas limitaciones difieren de los hallazgos de esta investigación. Para velocidades de diseño bajas, los estándares actuales pueden generar curvas mal percibidas, mientras que para velocidades de diseño altas, estas son demasiado conservadoras y los usuarios podrían relajarse, como indica la siguiente figura (Figura XCVI).

La disparidad aumenta en las carreteras donde se circula a alta velocidad, donde la longitud mínima recomendada para todas las curvas es seis veces la velocidad de diseño, generando umbrales excesivos que podrían reducirse.

(Nota: las unidades de ángulo y los umbrales de AASHTO se han transformado a gonios).

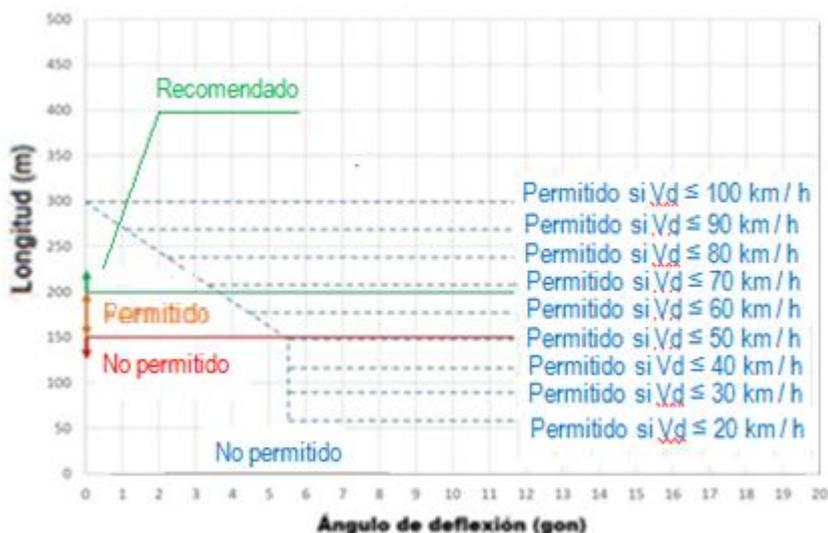


Figura XCVI: Comparación de los resultados de la investigación (verde oscuro / naranja / rojo) con los umbrales actuales de AASHTO (azul)

Los estándares españoles son más simples (no dependen de la velocidad de diseño). Las recomendaciones son un poco más relajadas y no dependen del ángulo de desviación como se aprecia en la Figura XCVII donde se dibujan y comparan dichos estándares y las recomendaciones:

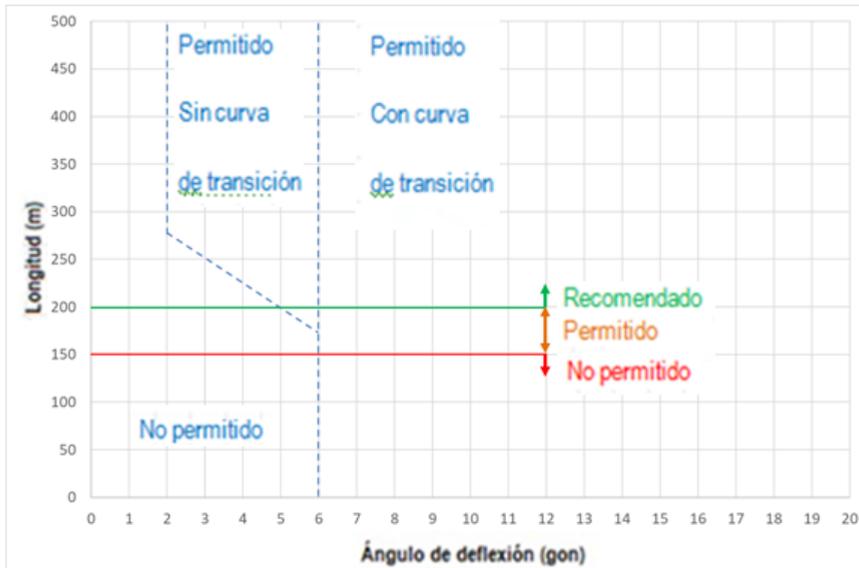


Figura XCVII: Comparación de los resultados de la investigación (verde oscuro / naranja / rojo) con los umbrales actuales de Instrucción de Trazado 3.1-IC (azul)

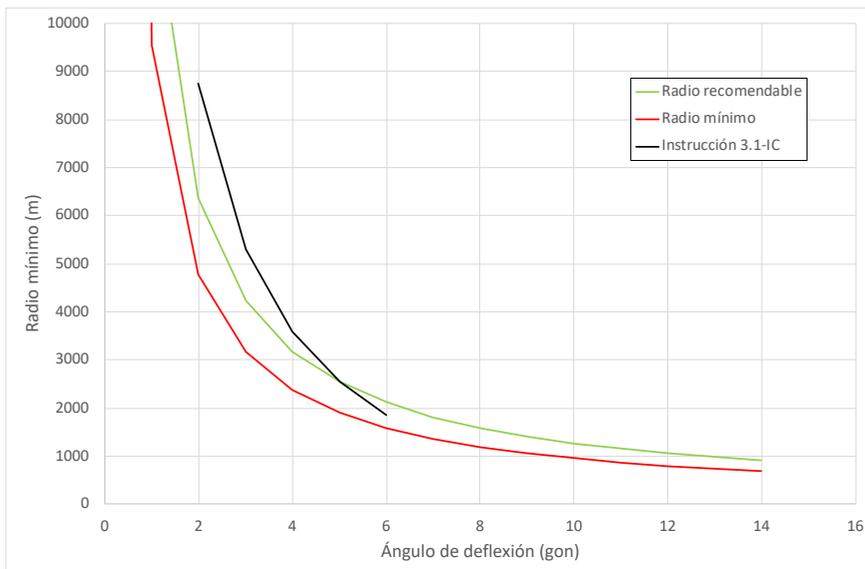
Como criterio se recomienda, por tanto, que las curvas de bajo ángulo se diseñen con una longitud mínima recomendada ( $L_{rec}$ ) de 200 m. Mediante esto, se logrará una adecuada percepción y una variación de velocidad mínima, sin necesidad de recortar la curva. En caso necesario, podría establecerse un desarrollo mínimo ( $L_{mín}$ ) de 150 m, que no asegura la variación mínima de velocidad, pero sí una adecuada percepción.

Las siguientes dos expresiones permiten determinar los radios recomendable y mínimo ( $R_{rec}$  y  $R_{mín}$ , respectivamente) en función del ángulo girado:

$$R_{rec} \geq \frac{200}{\Omega} \cdot \frac{200}{\pi} = \frac{12732.4}{\Omega}$$

$$R_{mín} \geq \frac{150}{\Omega} \cdot \frac{200}{\pi} = \frac{9549.3}{\Omega}$$

En ambos casos,  $\Omega$  es el ángulo de deflexión expresado en gon. En la Figura XCVIII se comparan estos radios con los de la actual Instrucción de Trazado. Para ángulos menores de 5 gonios, estos son ligeramente más restrictivos que la Instrucción. A partir de dicho ángulo, los radios propuestos son superiores (únicamente puede evaluarse hasta 6 gonios, que es el límite para el criterio vigente).



**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.**

Con el fin de determinar el rango de aplicación de este criterio, la Figura XCIX muestra las aceleraciones centrífugas generadas por estos radios, mientras que la Figura C hace lo propio con los radios mínimos estrictos.

Podemos ver cómo las aceleraciones centrífugas generadas por el criterio de la Instrucción 3.1-IC (en negro en ambos gráficos) se encuentran rodeadas por las producidas por el criterio propuesto.

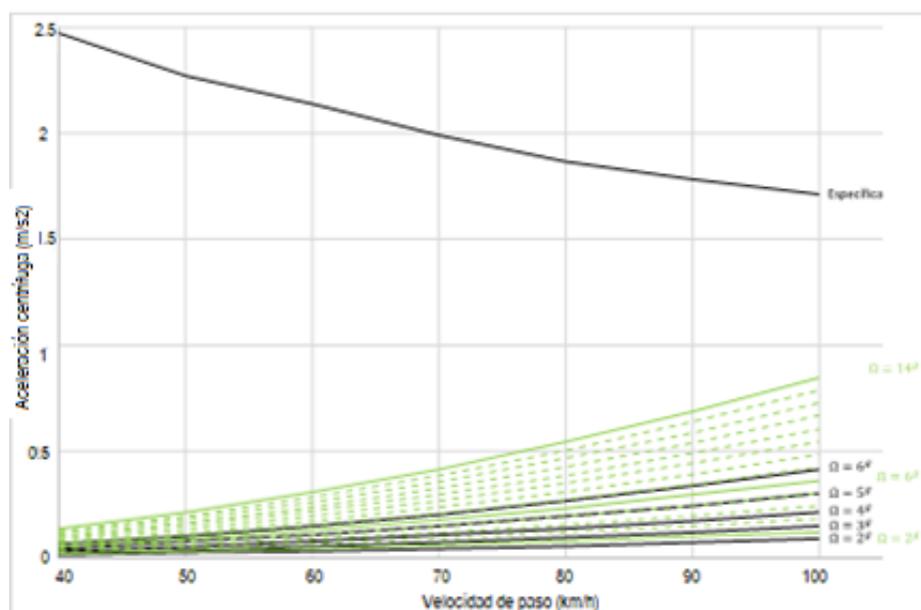


Figura XCIX. Aceleraciones centrífugas generadas por los radios recomendables.

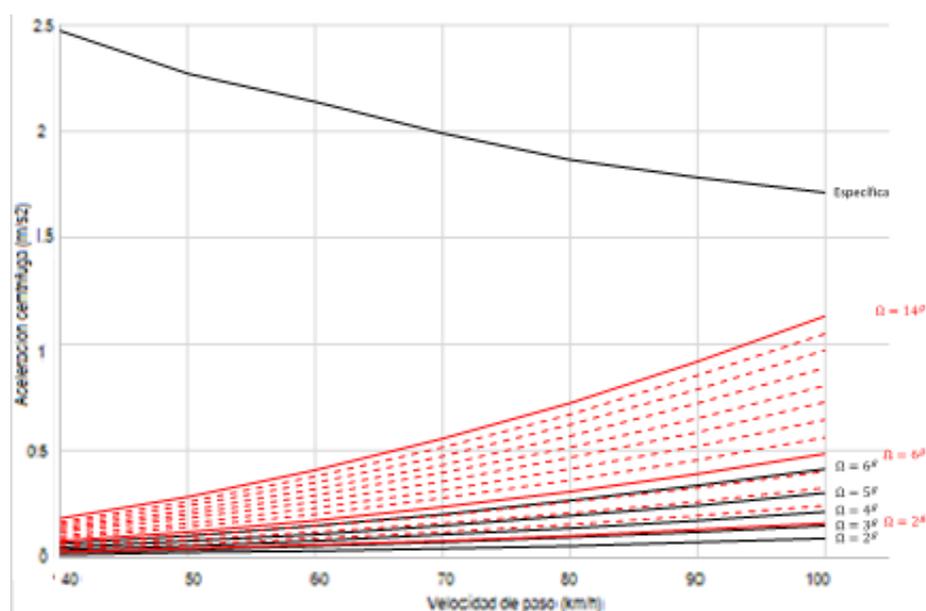


Figura C. Aceleraciones centrífugas generadas por los radios mínimos.

En todos los casos analizados, la aceleración centrífuga es inferior a la generada por el radio asociado a la velocidad específica. Es por ello que no se puede considerar que haya problemas de aceleración centrífuga, al menos hasta los 14 gonios analizados.

Aspecto aparte es la maniobrabilidad de los conductores. En curvas Tipo I, con clotoides, estas son utilizadas para adaptar la aceleración centrífuga de forma gradual desde la recta hasta la curva circular. En este caso, las curvas de Tipo III no presentan clotoides, por lo que los conductores deben hacer esta transición en algún segmento entre recta y curva. Su estudio no ha sido objeto de esta tesis y por lo tanto no se puede analizar en detalle cómo se produce – o su variabilidad entre conductores – pero sí es posible comparar el criterio propuesto con el actualmente existente en la Instrucción 3.1-IC.

En la transición recta-curva circular, el conductor acomoda la variación de aceleración centrífuga de forma gradual, no sobre una clotoide (inexistente), sino variando ligeramente su posición lateral, en función del ancho del carril. Aunque no se ha estudiado esta transición de forma directa, puede obtenerse una estimación a partir del Criterio I del diseño de clotoides (longitud mínima para garantizar que la transición de la aceleración centrífuga es cómoda para el conductor). Adaptando el Criterio I, es posible determinar qué longitud de clotoide virtual permitiría realizar la transición y, asumiendo una velocidad constante, el tiempo de maniobra. La longitud adaptada del Criterio I es:

$$L_{CI} = \frac{v_p}{46.656 \cdot J} \cdot \left( \frac{v_p^2}{R} - 1.27 \cdot p \right)$$

Donde  $L_{CI}$  es la longitud de la clotoide por el Criterio I (m),  $v_p$  es la velocidad de paso (no necesariamente la específica), en km/h,  $R$  el radio de la curva circular (m),  $J$  la tolerancia a la variación de aceleración centrífuga ( $m/s^3$ ), y  $p$  el peralte de la curva (%). Se asume que la maniobra comienza con el bombeo desvanecido. La relación peralte-radio es la de la Instrucción 3.1-IC.

Calculando los tiempos de recorrido durante la maniobra, se obtiene la (Figura CI). Puede observarse cómo dichos tiempos son muy reducidos (casi todos menores de un segundo), y lo son más aún si se comparan con el tiempo necesario para recorrer la mitad de la curva circular (patrones discontinuos). Es importante resaltar que hasta los 70 km/h, la variación de la aceleración centrífuga es tan reducida que los conductores no necesitan ninguna longitud de transición. Para velocidades superiores, las maniobras consumen más tiempo, y a 100 km/h un desarrollo de 14<sup>9</sup> podría consumir en torno a un tercio del tiempo total sobre la curva (en el caso del radio mínimo).

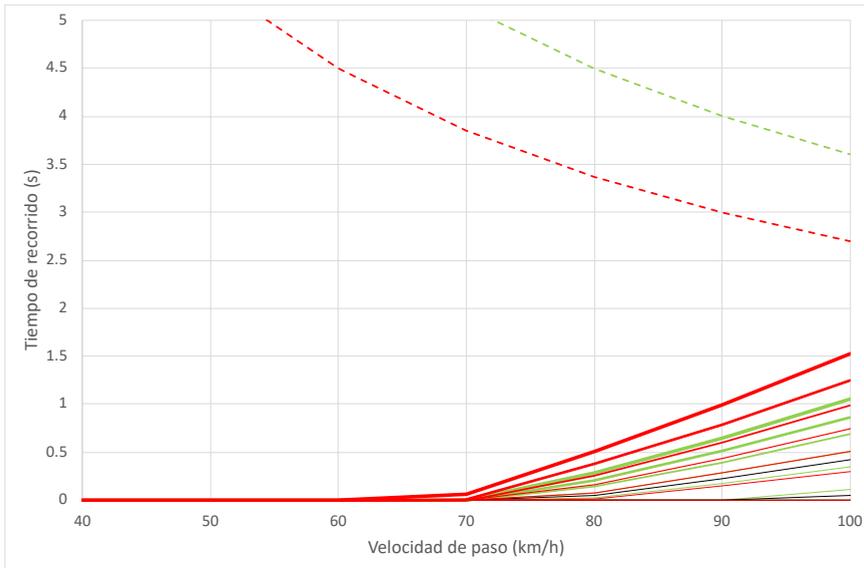


Figura C1. Tiempos de recorrido durante la maniobra para adaptar la aceleración centrífuga. Valores pares de 2 a 14 gonios para los criterios recomendable (verde) y mínimo (rojo). Ángulos de 2, 4 y 6 gonios para la actual Instrucción (negro). Un mayor grosor de línea implica mayor ángulo. A trazos se representa el tiempo de recorrido de la mitad del desarrollo circular para los criterios planteados (no el de la actual Instrucción, pues es variable).

No existen indicadores que permitan distinguir si estos valores son razonables o no, pero comparando estos valores con los generados por la actual Instrucción, podría determinarse que el umbral de desarrollo mínimo podría aplicarse hasta los 10<sup>º</sup>, mientras que el de desarrollo recomendable podría aplicarse hasta los 14<sup>º</sup>. De este modo, se limitan las transiciones a un máximo de un segundo. Todo esto quedaría pendiente de, en futura investigación, determinar el efecto operacional con mayor detalle. Todo ello, para carreteras convencionales, que es el alcance de esta tesis.

#### 7.4 Limitaciones del estudio

Aquí se recogen las limitaciones que afectan a varias partes del estudio y, por tanto, los resultados pueden llevar a inexactitudes en esos datos.

En algún caso el control es más escaso que en otras partes del estudio, estos fallos son inevitables, tanto en el cuestionario presencial como en el cuestionario online (teniendo en cuenta la sinceridad de los encuestados o el grado de implicación o confusión), como la forma de componer los pequeños vídeos (tipo stop-motion).

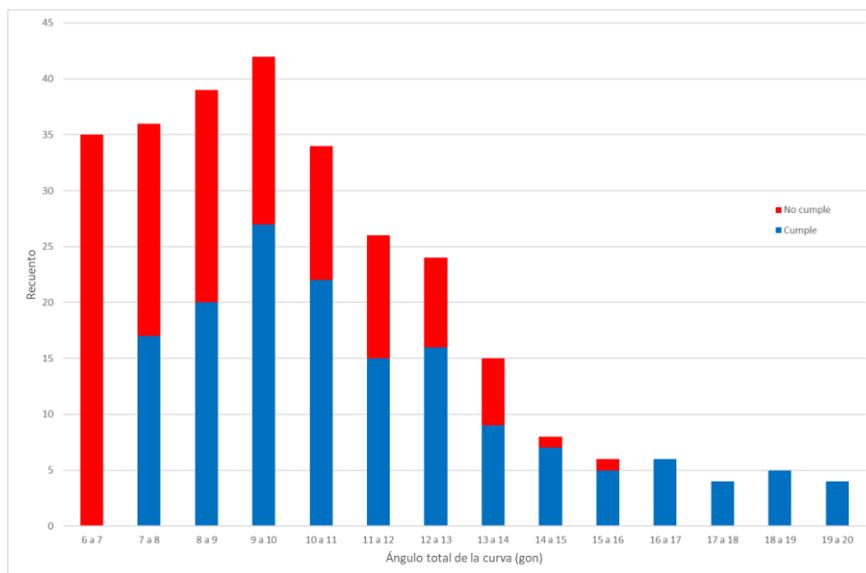
También influye la elección de curvas de ángulo menor (aunque se posea una gran base de datos).

### 7.4.1 Limitaciones de la muestra de curvas

Es difícil encontrar un criterio de curvas de bajo ángulo que dependa tanto de longitud como del ángulo. Por lo general, los usuarios de carretera perciben bien casi todas las curvas de este tipo.

No se toman las curvas mayores (curvas de más ángulo y más radio), dado que pocas de estas curvas incumplen la Instrucción de Trazado 3.1-IC.

Esto se puede ver en la siguiente gráfica (Figura CII) donde se observa que a menor ángulo, la cantidad de curvas que incumplen dicha Instrucción es mayor:



**Figura CII: distribución de incumplimientos para curvas superiores a 6 gonios, en función del ángulo total.**

Esta distribución de datos es asimismo concordante con el criterio establecido anteriormente, de permitir diseños de curvas sin clotoides hasta los 14 gonios, ya que como se ve en la figura, es el límite hasta el que ha sido necesario diseñar un gran porcentaje de curvas sin cumplir estrictamente la Instrucción.

#### **7.4.2 Limitaciones de los vídeos**

Las encuestas de esta investigación necesitan que para cada una de las curvas horizontales de la muestra exista un vídeo que simule la visión que tiene un conductor que circula por ella (lo que supone un hándicap) ya que, es necesario que los usuarios estén situados sobre la carretera y aprecien nítidamente esta y su entorno mediante estos pequeños vídeos aleatorios.

Otra restricción a la hora de elaborar los vídeos es que exista gran tráfico en las imágenes u otros obstáculos que impidan al encuestado su correcta visualización.

Desgraciadamente existe otra limitación a la hora de editar estos vídeos, ya que cada imagen fotografiada previamente puede tener un cambio del punto de vista.

El punto de vista con el que se confeccionan las fotografías que componen los vídeos está más elevado que el de un conductor real.

Seguramente la mejor opción es grabar cada secuencia utilizando una cámara a la altura del conductor mientras circula por cada una de las curvas horizontales. Este planteamiento es inviable económicamente puesto que son muchas las curvas horizontales incluidas en el análisis repartidas por todo el país.

#### **7.4.3 Limitaciones de la encuesta online**

En este tipo de encuestas auto-administrativas, no se puede controlar las diferencias en la comprensión e interpretación por parte del usuario. No son controlables desde el punto de vista que no se conoce realmente la opinión del encuestado, ni su lenguaje no verbal y reacciones, con lo que puede estar confundiendo preguntas y respuestas y no saber su grado de "sinceridad".

No se puede controlar si alguien responde dos o más veces la misma encuesta.

La metodología tampoco permite ver qué haría alguien en la realidad, se lo tienen que imaginar.

#### **7.4.4 Limitaciones del estudio naturalístico**

Los datos se toman de la forma más naturalística posible, ya que los instrumentos de toma de datos y las personas que los toman permanecen lo más desapercibidos posibles para no influenciar a los conductores con su presencia, pero dado el hecho de que son solo cuatro curvas, con toma de datos puntuales en ciertas zonas (no continuas) es imposible establecer conclusiones que resultan del todo concluyentes.

## 8. CONCLUSIONES

En la presente Tesis Doctoral se analizó la percepción, operación y seguridad de curvas de bajo ángulo de deflexión en España. Al basarse en una muestra extraída de la red de carreteras del país, permite conocer el grado de cumplimiento de la Instrucción 3.1-IC. El objetivo de todos estos análisis es determinar si los criterios de la mencionada Instrucción son adecuados y, en caso contrario, proponer una modificación.

Para todos estos estudios, el primer paso fue la extracción de la geometría de una muestra de más de 300 curvas de bajo ángulo de deflexión de carreteras convencionales, distribuidas por toda la geografía española. Esta gran muestra permitió comprobar que gran parte de las curvas analizadas no cumple la Instrucción. Poco más de la mitad de las curvas con un ángulo entre 6 y 20 gonios cumplen con dichos criterios, fundamentalmente violando las restricciones de clotoide mínima o máxima. Este nivel de incumplimiento es aún mayor para las curvas con ángulo inferior a 6 gonios, donde solo un 7% de las curvas analizadas están adecuadamente diseñadas.

Esto tiene una razón:

Los actuales criterios normativos impiden el diseño de muchas curvas que, en principio, no parecen suponer ningún problema de percepción u operación. Todo ello conduce a la necesidad de plantear nuevos criterios de diseño para estos rangos de bajos ángulos de deflexión de curvas.

El análisis de la percepción se realizó mediante dos encuestas: una presencial y otra online. A partir de la muestra anterior, se seleccionaron 40 curvas representativas de combinaciones radio/ángulo distribuidas por el espacio de soluciones. Para cada una de estas curvas, se subió un vídeo a la plataforma YouTube, conteniendo la secuencia de recorrido de cada una de ellas a partir de imágenes de Google StreetView. El resultado es, en cuanto a percepción, bastante similar a recorrer la curva presencialmente.

Tanto la encuesta presencial como la encuesta online se basaron en la visualización de los vídeos de varias curvas, extraídas aleatoriamente de esta muestra, por parte de voluntarios. Tras la visualización de cada curva respondieron a cuestiones acerca de su percepción, velocidad y posición o trayectoria tentativas.

Los resultados mostraron que la longitud es la restricción más importante para una buena percepción y operación a lo largo de este tipo de curvas. Una curva de bajo ángulo de deflexión debe ser más larga de 200 m, lo que asegurará una buena percepción, una trayectoria centrada y variación mínima de la velocidad. No se debe diseñar una curva de bajo ángulo de deflexión por debajo de 150 m, ya que comprometería su percepción. Se propone asimismo que estas curvas de bajo ángulo se permitan hasta los 10 gonios, en el umbral crítico, y 14 gonios para el umbral recomendado, siempre y cuando no exista una solución razonable mediante curvas con clotoides.

Estos resultados difieren de los actuales resultados de Estados Unidos y España, con umbrales más conservadores.

Finalmente, se realizó un estudio in situ de cuatro curvas de bajo ángulo con diferentes configuraciones transversales y siniestralidad. En todas ellas, se determinó la posición lateral y la velocidad de sus diferentes trayectorias. Los resultados indican que en gran medida los conductores tienden a variar poco su velocidad e invadir ligeramente el arcén o el carril del sentido contrario (según el sentido de giro). En cualquier caso, la variabilidad entre curvas es alta, debido a las diferentes configuraciones transversales.

A raíz de estos resultados, se plantean diversas medidas de bajo coste que podrían aplicarse en curvas de bajo ángulo con mayor siniestralidad que el entorno:

- Bandas transversales de alerta localizadas en la parte interior de los carriles, con antelación y durante el desarrollo de esa curva, que adviertan al conductor de la presencia de la curva, si esta parece recta, y del riesgo en caso de salida del carril.
- Mejora de la visibilidad mediante la limpieza y desbroce de los márgenes la distancia que especifica la Normativa española.
- Estrechamiento óptico, que induce a una reducción de la velocidad. Este se puede plasmar mediante una línea continua doble.
- Se puede colocar señales verticales de reducción de velocidad y señal vertical de prohibido adelantar.
- Se pueden colocar bandas laterales y / o centrales sonoras, con independencia de la sección transversal, que adviertan al conductor. De este modo se pretende que reduzcan su velocidad y se mantengan en su carril.

Estas posibles medidas podrían emplearse de forma única o combinada en las curvas, siempre en función de una observación previa de la problemática que oriente la decisión final.

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Determinadas líneas de investigación han surgido a partir de los resultados de esta Tesis Doctoral:

- Corroboración de los estudios de percepción de las encuestas sobre una muestra de curvas, ejecutado in situ o mediante simulador de conducción. Este estudio debería centrarse en examinar la posición lateral y la velocidad de los conductores que las recorran (similar a la toma de campos ejecutada sobre cuatro curvas en esta Tesis).
- Explorar la influencia de las distintas anchuras del arcén y configuración de los márgenes, ya que su efecto sigue siendo desconocido. La toma de datos podría ser igualmente naturalística o mediante simuladores de conducción.
- La posible extrapolación de los resultados obtenidos a otros estados de Europa (con sus características propias) a través de una investigación similar a esta. Es posible encontrar pequeñas variaciones regionales en los países, así como medidas adecuadas para paliar la problemática.
- La conducción autónoma y las curvas de bajo ángulo de deflexión. Curvas con muy bajo desarrollo que generen un quiebro pueden ser un problema para la conducción autónoma, que debería analizarse.
- Finalmente, se podría extender la investigación a autopistas, aunque el impacto en seguridad vial sea menor, al no existir el riesgo de invasión del sentido contrario.

## 9. AGRADECIMIENTOS

Esta Tesis doctoral ha sido realizada gracias a una ayuda concedida por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad) a este investigador.

La investigación necesaria es parte del proyecto “CASEFU – investigación experimental de la funcionalidad y seguridad de las Carreteras convencionales” (referencia TRA2013-42578-P), que pretende actualizar el modo en el que se diseñan las Carreteras convencionales en España atendiendo a criterios de operación, seguridad y funcionalidad.

Dicho proyecto está financiado por el Fondo Social Europeo y el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad).

La toma de datos para la operación vehicular se realiza gracias a la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Generalitat Valenciana, al Área de Carreteras de la Diputación de Valencia, y a la Dirección General de Tráfico.

## 10. REFERENCIAS

- Adminaite, D. J., Stipdonk, G. H., & Ward, H. (2015). Ranking EU progress on road Safety. 9th road safety Performance Index report.
- Administration, F. H. (2009). Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). USD o. Transportation, ed., FHWA, FHWA, Washington, DC.26.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- Alcaraz, F. G., Espín, A. A., Martínez, A. H., & Alarcón, M. M. (2006). Diseño de Cuestionarios para la recogida de información: metodología y limitaciones. *Revista clinica de medicina de familia*, 1(5), 232-236.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green Book).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2016). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition. Washington D.C., United States.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. Highway Capacity Manual (HCM), AASHTO, 2010.
- Anguita, J. C., Labrador, J. R., Campos, J. D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención primaria*, 31(8), 527-538.
- Ariën, C., Brijis, K., Vanroelen, G., Ceulemans, W., Jongen, E. M., Daniels, S., Brijis, T., & Wets, G. (2017). The effect of pavement markings on driving behaviour in curves: a simulator study. *Ergonomics*, 60(5), 701-713.
- Asociación Española de Carretera y DGT. (2011). Vigésima sexta Sesión Técnica del Observatorio Nacional de Seguridad Vial. Márgenes clementes. Accesible en: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/eventos/sesiones-tecnicas/2011/observatorio-nacional-seguridad-margenes-clementes.shtml>
- Berchtold, A. (2016). Test–retest: agreement or reliability?. *Methodological Innovations*, 9, 2059799116672875.
- Bergmark, R. W., Gliklich, E., Guo, R., & Gliklich, R. E. (2016). Texting while driving: the development and validation of the distracted driving survey and risk score among young adults. *Injury epidemiology*, 3(1), 7.
- Blanch, L., Checa, E., & Marín, J. (2013). Una aproximación a la curva de transición Clotoide vista desde Mathematica. *Modelling in Science Education and Learning*, 6, 105-119.

- Camacho-Torregrosa, F. J., Pérez-Zuriaga, A. M., Campoy-Ungria, J. M., García, A., & Tarko, A. P. (2015). Use of heading direction for recreating the horizontal alignment of an existing road. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 282-299.
- Castro, C., Peña-Suárez, E., Ventsislavova, P., Gugliotta, A.A., García-Fernández, P., Roca, J., Padilla, J.L. & Crundall, D. (2013). Hazard Perception HP. Validación del Test de Percepción de Peligros.
- Castro, C., Ventsislavova, P., García-Fernández, P., & Horberry, T. (2014). Factor y comportamiento humano para evaluar infraestructuras. *Cuadernos Tecnológicos de la Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC)*, 2.
- Cea D'Ancona, M. A. (1999). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas en investigación social* (No. 001.8 CEA).
- Charlton, S. G. (2007). The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 873-885.
- de Franco, C., & Josefina, Y. (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Revista ciencias de la Educación Segunda Etapa*. 19(33), 228-247.
- de Rada Igúzquiza, V. D. (2009). *Análisis de datos de encuestas: Desarrollo de una investigación completa utilizando SPSS* (Vol. 137). Editorial UOC.
- De Winter, J. C. F., & Dodou, D. (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. *Journal of safety research*, 41(6), 463-470.
- e Dei Trasporti, M. D. I. (2001). Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. *Decreto Ministeriale*, 6792.
- Fàbregues Feijóo, S., Meneses Naranjo, J., Rodríguez Gómez, D., & Paré, M. H. (2016). *Técnicas de investigación social y educativa*. Editorial UOC.
- Fitzsimmons, E. J., Souleyrette, R. R., & Nambisan, S. S. (2013). Measuring horizontal curve vehicle trajectories and speed profiles: pneumatic road tube and video methods. *Journal of transportation engineering*, 139(3), 255-265.
- Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education.
- Hatakka, M., Keskinen, E., Katila, A., & Laapotti, S. (1991). New drivers versus light traffic. In *Internacional conference on traffic safety* (pp. 221-224).
- Hatfield, J., Fernandes, R., Faunce, G., & Job, R. S. (2008). An implicit non-self-report measure of attitudes to speeding: Development and validation. *Accident Analysis & Prevention*, 40(2), 616-627
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. (2001). Metodología de la investigación. *The McGraw-Hill Companies, Inc.* 196-29.

- Highways A. (2014). Design manual for roads and bridges.
- Hu, W., y Donnell, E. T. (2010). Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: Results from a nighttime driving experiment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 13(6), 397-408.
- Informe RACE (2017). Evaluación de la Red de Carreteras del Estado. *The European Road Assessment Programme (EuroRAP)*.
- Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale (2001). *Piano Nazionale della*.
- Jamson, S., Lai, F., & Jamson, H. (2010). Driving simulators for robust comparisons: A case study evaluating road safety engineering treatments. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 961-971.
- Jiménez Mejías, E., del Castillo, L., de Dios, J., Amezcua Prieto, C., Olvera Porcel, M. C., Lardelli Claret, P., & Jiménez Moleón, J. J. (2012). Diseño y validación de un encuesta sobre patrones de conducción de riesgo en jóvenes. *Revista Española de Salud Pública*. 86(1), 71-84
- Jovanović, D., Šraml, M., Matović, B., & Mičić, S. (2017). An examination of the construct and predictive validity of the self-reported speeding behavior model. *Accident Analysis & Prevention*. 99, 66-76.
- Lajunen, T., & Summala, H. (1995). Driving experience, personality, and skill and safety-motive dimensions in drivers' self-assessments. *Personality and Individual Differences*, 19(3), 307-318.
- Lin, Y., & Niu, J. (2011). Effect of Curvature Change Rate of Highway Horizontal Curve in the Path of a Vehicle. In *ICTIS 2011: Multimodal Approach to Sustained Transportation System Development: Information, Technology, Implementation* (pp. 904-912).
- López-de-Cózar, E., Molina, J., Chisvert, M., & Sanmartín, J. (2006). Traducción y adaptación del Driver Behaviour Questionnaire a la población española. *España: Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial-Universidad de Valencia*.
- López-Muñiz Goñi, M. (2000). *Accidentes de Tráfico. Problemática e Investigación*.
- Martinussen, L. M., Møller, M., Prato, C. G., & Haustein, S. (2017). How indicative is a self-reported driving behaviour profile of police registered traffic law offences?. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 1-5.
- Mascuñana, D. C., Iglesias, A. B., & Martínez, P. T. (2016). Carreteras autoexplicativas: mejorando la seguridad vial de los usuarios más vulnerables. *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, (209), 60-66.
- Mauriello, F., Montella, A., Perneti, M., & Galante, F. (2018). An exploratory analysis of curve trajectories on two-lane rural highways. *Sustainability*, 10(11), 4248.
- McGee, H. W., & Hanscom, F. R. (2009). Low-cost treatments for horizontal curve safety. In *ITE 2009 Annual Meeting and Exhibit Institute of Transportation Engineers (ITE)*.

- Mejías, E. J., Manzanero, J. P., Ruiz, V. M., Anta, G. B., del Castillo, J. D. D. L., de Hoz, L. D. L. F., & Lardelli-Claret, P. (2017). Design and proposal of application of a questionnaire on mobility and exposure to road traffic. *Securitas Vialis*, 9(1-3), 15-27.
- Meneses Naranjo, J., Fàbregues Feijóo, S., Rodríguez Gómez, D., & Paré, M. H. (2016). *Técnicas de investigación social y educativa*. Editorial UOC
- Ministerio de Fomento, (1987). Instrucción de Carreteras 8.2 IC "Señalización horizontal". Ministerio de Fomento de España.
- Ministerio de Fomento, (1999). Instrucción de Carreteras 3.1 IC "Trazado". Ministerio de Fomento de España.
- Ministerio de Fomento, (2014). Instrucción de Carreteras 8.1 IC "Señalización vertical". Ministerio de Fomento de España.
- Ministerio de Fomento, (2016). Instrucción de Carreteras 3.1 IC "Trazado". Ministerio de Fomento de España.
- Misaghi, P., y Hassan, Y. (2005). Modeling operating speed and speed differential on two-lane rural roads. *Journal of Transportation Engineering*, 131(6), 408-418.
- Nicholas, L. (1992). Mundos virtuales. Realidad virtual y ciberespacio. *Anaya Multimedia-Anaya Interactiva*.
- Othman, S. (2011). Safety Evaluation of Road Characteristics. *Chalmers University of Technology*.
- Ottesen, J. L., & Krammes, R. A. (2000). Speed-profile model for a design-consistency evaluation procedure in the United States. *Transportation Research Record*, 1701(1), 76-85.
- Perez Zuriaga, A. M., Garcia Garcia, A., Camacho-Torregrosa, F. J., & D'Attoma, P. (2010). Modeling operating speed and deceleration on two-lane rural roads with global positioning system data. *Transportation Research Record*, 2171, 11-20.
- Pérez Zuriaga, A. M. (2012). *Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de vehículos ligeros* (Doctoral dissertation, presentada en la Universidad Politécnica de Valencia). Accesible en: <http://hdl.handle.net/10251/16701>
- Recarte, M. A. (2003). El programa Argos: investigación aplicada sobre la percepción y la atención en conducción real. *Vivat Academia*, (6), 40-45.
- Reymond, G., Kemeny, A., Droulez, J., & Berthoz, A. (2001). Role of lateral acceleration in curve driving: Driver model and experiments on a real vehicle and a driving simulator. *Human factors*, 43(3), 483-495.
- Ritchie, M. L. (1972). Choice of speed in driving through curves as a function of advisory speed and curve signs. *Human Factors*, 14(6), 533-538.
- Romana, G. M. (1995). *Evaluación práctica de niveles de servicio de carreteras convencionales de dos carriles en España* (Doctoral dissertation, presentada en la Universidad Politécnica de Madrid). Accesible en: Archivo Digital UPM
-

- Silva, S. A., Montiel, Y. G., & Puga, L. E. M. (2002). Nivel de satisfacción del usuario de las carreteras: método Delphi. *Acta Universitaria*, 12(3), 41-55.
- Spacek, P. (2005). Track Behavior in Curve Areas: Attempt at Typology. *Journal of Transportation Engineering – ASCE*. 131(9), 669-676.
- Spolander, K. (1983). Bilförarens uppfattning om egen körförmåga Drivers' assessment of their own driving ability. *Linköping: Swedish Road and Traffic Research Institute. VTI rap.*
- Stanojević, P., Lajunen, T., Jovanović, D., Sârbescu, P., & Kostadinov, S. (2018). The driver behaviour questionnaire in South-East Europe countries: Bulgaria, Romania and Serbia. *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*. 53, 24-33. port 252.
- Sullman, M. J., Meadows, M. L., & Pajo, K. B. (2002). Aberrant driving behaviours amongst New Zealand truck drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), 217-232.
- Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., Pfefer, R., Neuman, T. R., Slack, K. L., & Hardy, K. K. (2004). *Guidance for implementation of the AASHTO strategic highway safety plan. Volume 7: A guide for reducing collisions on horizontal curves* (No. Project G17-18 (3) FY'00).
- Vallejo, P. M. (2011). Guía para construir encuestas y escalas de actitudes. *Universidad Pontificia de Comillas, España*.
- Xumini, L. M. (2007). Las salidas de la vía y sus muertos. *Rutas: Revista de la Asociación Técnica de Carreteras*, (122), 3.
- Zhao, X., Wu, Y., Rong, J., & Ma, J. (2015). The effect of chevron alignment signs on driver performance on horizontal curves with different roadway geometries. *Accident Analysis & Prevention*, 75, 226-235.

**ANEXO I: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS CURVAS**

Curvas totales	Coordenadas geográficas	
A-623	42°59'44.26"N	2°38'38.74"W
A-2620	43° 1'9.59"N	2°35'38.43"W
A-3002	42°55'7.25"N	2°37'1.97"W
A-2130	42°49'40.07"N	2°38'35.62"W
A-3100	42°51'15.51"N	2°26'13.29"W
A-4310	42°52'47.21"N	2°47'9.80"W
A-3110	42°51'15.94"N	2°33'52.01"W
A-3008	42°52'50.33"N	2°37'5.98"W
A-3100	42°51'16.04"N	2°26'19.35"W
A-3101	42°51'16.04"N	2°26'19.35"W
CM-3210	38°44'49.16"N	1°51'12.60"W
CL-2	38°49'57.07"N	2°25'38.77"W
CM-3123	38°54'21.12"N	2°39'38.30"W
CM-320	38°44'11.43"N	2°37'21.81"W
CM-412	38°44'55.65"	2°47'34.83"W
CM-3203	38°51'10.32"N	1°55'32.94"W
CM-3106	39° 5'1.53"N	2°24'37.07"W
CM-3217	38°21'25.35"N	2° 2'51.66"W
CM-3208	38°41'39.97"N	2°35'9.21"W
N-322	39°14'9.00"N	1°38'41.24"W
CM-3220	38°49'1.88"N	1° 5'35.28"W
N-430	39° 2'18.74"N	2°32'42.50"W
N-301a	38°57'33.00"N	1°50'31.97"W
B-12	38°59'48.91"N	1°43'44.30"W
B-2	38°57'45.46"N	1°30'25.88"W
CM-332	38°59'53.31"N	1°49'56.15"W
N-301	38°41'8.93"N	1°40'22.77"W

CM-3133	38°51'43.30"N	2°28'6.12"W
CL-2	38°50'0.41"N	2°25'47.76"W
CM-3217	38°20'59.33"N	2° 1'32.99"W
CM-3123	38°54'7.01"N	2°39'19.29"W
CM-320	38°45'20.47"N	2°35'37.89"W
CM-320	38°46'7.37"N	2°32'12.77"W
CM-3106	39° 3'37.40"N	2°26'52.85"W
CM-320	38°46'10.64"N	2°33'10.81"W
N-430	39° 0'30.87"N	2°39'58.26"W
N-322	38°50'17.53"N	2°14'17.61"W
CM-320	38°46'11.03"N	2°31'13.34"W
CM-3208	38°40'49.42"N	2°36'59.01"W
CM-3208	38°40'49.42"N	2°36'59.01"W
CV-925	38° 03' 59.06" N	0 55' 53.09" W
CV-754	38°43'19.51" N	0°20'39.02"W
CV-724	38 °49' 20.79" N	0 °02' 50.96" E
CV-835	38° 23' 29.52" N	0W 48' 05.27" W
CV-833	38° 29' 54.32" N	0° 48' 32.09" W
CV-740	38° 45' 43.43" N	0° 08' 51.27" E
N-340	38° 13' 56.85" N	0W 49' 07.93" W
CV-700	38°47'26.46"N	0°18'43.09"W
CV-80	38° 34'19.09" N	0° 47' 17.56" W
CV-91	38° 05' 26.00" N	0° 52' 9.05" W
CV-723	38 °50' 42.56" N	0 ° 04' 54.76" E
CV-710	38° 43' 24.92" N	0° 21' 40.30"
CV-7260	38° 48' 53.57" N	0° 00' 22.74"
CV-920	38° 06' 06.85" N	0W 40' 46.68" W
CV-870	38° 06' 51.37" N	0W 56' 19.03"W
CV-95	37° 59' 39.33" N	0W 48' 14.53" W

CV-754	38°43'24.57" N	0°19'24.95"W
CV-725	38° 49' 22.96" N	0° 02' 09.55" E
CV-735	38°47'16.46" N	0° 8'22.38"E
CV-855	38°11' 53.17" N	0°42' 01.44"W
ALP-721	37° 2'30.48" N	2° 12'53.33" W
A-348	36°57'09.6"N	2°31'37.2"W
A-358	36°48'49.78" N	2°52'11.29" W
A-399	37° 34' 43.79" N	2° 17' 27.67" W
A-1100	37° 17'49.10" N	2° 10'57.61" W
A-399	37° 27'6.54 " N	2° 14' 47.17" W
A-92A	37° 7'53.36" N	2° 43'55.82" W
A-332	37° 16'56.07" N	1° 55'3.50" W
A-1100	37° 19' 23.73" N	2° 9'54.31" W
A-399	37° 32'9.99" N	2° 18'57.91" W
AS - 248	43°29'31.95"N	5°38'14.58"W
AS - 248	43°29'16.93"N	5°38'6.40"W
AS - 248	43°29'36.61"N	5°38'19.42"W
AS - 116	43°19'8.64"N	5°48'24.46"W
AS - 246	43°30'20.93"N	5°40'44.37"W
AS - 18	43°25'49.28"N	5°47'15.05"W
AS - 246	43°21'52.52"N	5°41'12.26"W
AS - 246	43°22'12.89"N	5°41'34.08"W
AS - 246	43°29'4.66"N	5°41'22.21"W
AS - 17	43°29'50.86"N	5°51'26.21"W
C-241c	41°34'55.58"N	1°33'51.31"E
B-142	41°34'18.26"N	2° 9'9.65"E
Camí L'Ullastrell	41°30'37.26"N	2° 0'0.92"E
C-243c	41°31'47.65"N	1°59'0.68"E

BV-2041	41°18'43.52"N	1°58'18.36"E
C-1412	41°37'37.28"N	1°31'26.32"E
B-120	41°33'27.50"N	1°55'57.65"E
Carretera La Sentiu	41°17'52.17"N	1°58'24.53"E
Carretera Gava a Anvinyonet	41°19'22.51"N	1°56'58.18"E
BV-2041	41°18'44.91"N	1°58'15.50"E
BP-1417	41°27'11.80"N	2° 5'25.00"E
C-1412	41°41'39.31"N	1°32'7.01"E
BV-2411	41°19'48.38"N	1°54'34.45"E
C-243c	41°31'46.20"N	1°59'0.10"E
B-143	41°34'34.26"N	2°10'57.15"E
C-58	41°34'54.01"N	1°57'13.50"E
B-142	41°35'34.59"N	2° 8'39.78"E
C-37	41°32'55.15"N	1°35'17.30"E
N-630	39°30'20.82"N	6°25'19.96"W
N-630	39°24'52.95"N	6°21'19.19"W
N-521	39°25'51.64"N	6°44'30.70"W
N-630	39°35'18.95"N	6°28'2.19"W
N-521	39°25'41.62"N	6°48'25.72"W
N-630	39°29'5.11"N	6°24'45.75"W
EX-206	39°26'2.42"N	6°19'57.78"W
N-521	39°27'10.70"N	6°28'2.02"W
EX-390	39°33'13.21"N	6°18'52.49"W
N-521	39°27'50.76"N	6°24'38.26"W
EX-206	39°23'21.70"N	6°15'16.65"W
EX-206	39°22'29.59"N	6°14'6.86"W
EX-206	39°21'29.18"N	6°12'18.20"W
N-521	39°26'41.42"N	6°34'13.12"W

EX-206	39°24'11.75"N	6°16'11.44"W
CA-2022	36°20'33.28"N	6° 6'48.68"W
CA-2012	36°31'25.97"N	6° 6'40.04"W
CA-2012	36°31'17.90"N	6° 0'9.14"W
CA-2023	36°18'58.15"N	5°56'25.19"W
CA-3101	36°42'50.50"N	6°11'1.53"W
CA-2104	36°29'1.76"N	6° 6'59.80"W
CA-201	36°37'40.74"N	6° 9'18.80"W
N-443	36°30'59.71"N	6°13'55.42"W
CA-2012	36°31'2.68"N	6° 2'41.26"W
CA-6015	36°42'36.44"N	6°12'50.86"W
CA-2012	36°31'23.97"	6°04'30.40"
CA-0567	36°34'02.22"N	5°40'44.94"W
N-IV	36°31'00.5"N	6°02'53.7"W
CA-9017	36°33'12.13"N	5°53'37.33"W
CA-5065	36°31'30.68"	5°52'33.19"
CA-6014	36°43'29.02"	6°11'57.14"
N-IV	36°56'37.16"	5°54'31.59"
N-IV	36°53'03.08"N	6°00'52.97"W
CA-5065	36°31'39.77"	5°57'16.75"
N-IV	36°54'56.42"	5°57'06.85"
S-200	43°18'29.65"N	4° 6'33.91"W
C-6316	43°23'2.25"N	4° 5'32.47"W
S-223	43°15'37.27"N	4°24'45.61"W
S-553	43°21'9.19"N	3°45'18.51"W
N-634a	43°20'26.83"N	3°48'48.92"W
S-601	43°18'48.95"N	4° 3'50.41"W
N67	43°0'5.68"N	4°7'33.31"W

A8	43°23'42.66"N	3°18'50.20"W
N623	43°10'46.23"N	3°54'28.10"W
C6316	43°23'17.19"N	4°14'29.3"W
N611	43°7'34.78"N	4°3'7.67"W
C-6314	43°15'21.79"N	4°21'47.27"W
C-6316	43°22'56.93"N	4° 5'18.55"W
N-611	43°12'51.00"N	4° 4'5.35"W
N-611	43°14'7.94"N	4° 3'46.76"W
N-340	40°30'42.10"N	0°29'55.14"E
N-340	40°21'10.50"N	0°17'27.50"E
N-340	40°29'7.62"N	0°28'39.62"E
CV-230	39°48'12.12"N	0°14'21.25"W
N-232	40°29'6.80"N	0°25'27.60"E
N-232	40°29'14.96"N	0°25'17.32"E
N-340	40°29'25.86"N	0°28'52.20"E
CV-162	40°10'26.18"N	0° 3'58.69"W
N-340	40°22'31.93"N	0°19'47.68"E
N-340	40°10'51.3"N	0°10'10.8"E
CV-157	40°10'5.38"N	0° 0'9.90"E
CV-138	40°27'48.0"N	0°26'10.8"E
N-340	40°29'7.59"N	0°28'38.46"E
CV-15	40°11'35.44"N	0° 2'47.33"W
N-340	40°29'53.35"N	0°29'13.50"E
CV-159	40° 9'15.95"N	0° 1'29.37"E
N-232	40°29'41.73"N	0°24'36.45"E
N-340	40°26'42.96"N	0°26'50.39"E
N-232	40°28'37.49"N	0°26'48.35"E
N-340	40°30'21.86"N	0°29'38.98"E
N-340	40° 0'55.12"N	0° 2'45.75"W

CV-21	39°59'39.67"N	0°12'42.22"W
N-340	40°30'40.28"N	0°29'54.54"E
CV-21	40° 3'0.57"N	0°11'59.42"W
N-432	37°37'23.37"N	4°17'26.26"W
A-421	38° 11' 31.52" N	4° 34' 29.79" W
A-4	37°56'55.1"N	4°30'12.3"W
N-502	38°32'12.27"N	4°56'16.58"W
A-3051	37°50'1.66"N	4°50'11.32"W
A-3075	38° 4' 59" N	4° 59' 31.44 W
A-306	37° 56' 57.08 N	4° 31' 16.46" W
A-3051	37°49'32.93"N	4°51'28.63"W
CP-229	38° 4' 35.98" N	5° 1' 50.45" W
A-421	38°13'27.82"N	4°34'55.26"W
A-340	37° 24' 43.36" N	4° 39' 42.61" W
CV-45	38°0'12.36"N	4°47'37.01"W
CP-146	37°52'40.50"N	4°38'27.37"W
CO-9006	37°56'57.74"N	4°38'11.97"W
CO-9006	37°56'25.24"N	4°39'29.43"W
A-340	37° 24' 1.22" N	4° 36' 40.04" W
N-IVa	37°55'10.20"N	4°41'55.65"W
N-432	37°46'18.55"N	4°40'43.49"W
CP-146	37°52'45.06"N	4°41'55.78"W
CP-146	37°52'45.77"N	4°38'44.06"W
CV-45	37°56'24.00"N	4°48'0.17"W
CO-110	37°55'28.62"N	4°48'57.81"W
CV-45	37°55'40.52"N	4°47'30.07"W
N-432	38° 5' 38.56" N	4° 52' 5.54" W
CP-158	37°52'9.62"N	4°43'59.01"W

N-IVa	37°55'10.49"N	4°41'54.60"W
CP-230	37°55'10.56"N	4°40'11.05"W
CO-9006	37°56'43.37"N	4°38'51.69"W
CP-230	37°53'21.7"N	4°39'36.9"W
N-432	37°51'16.61"N	4°46'4.89"W
N-320	39°48'49.03"N	1°58'37.40"W
CM-2100	39°35'33.62"N	2° 2'38.78"W
N-330	39°51'25.76"N	1°18'0.48"W
N-320	40° 0'8.11"N	2° 6'1.00"W
N-320	39°48'42.98"N	1°58'27.01"W
N-320	39°37'59.42"N	1°56'21.08"W
N-320	39°48'37.01"N	1°58'17.54"W
CM-2100	39°34'31.65"N	2° 0'12.13"W
N-320	39°59'59.43"N	2° 5'57.78"W
N-420	40° 2'12.40"N	2° 6'53.15"W
N-320	39°48'38.92"N	1°58'21.43"W
CM-2110	40° 5'22.72"N	2° 9'26.93"W
N-400	40° 4'28.07"N	2°10'39.90"W
N-420	40° 1'0.14"N	2°11'24.65"W
N-320	39°49'46.12"N	2° 0'42.72"W
CM-2109	39°51'48.49"N	1°49'1.68"W
CU-V-5014	39°37'6.47"N	1°45'7.32"W
N-320	39°49'46.35"N	2° 0'43.20"W
N-330	39°50'17.74"N	1°15'50.27"W
N-330	39°50'2.12"N	1°15'30.96"W
N-330	39°51'36.50"N	1°18'20.70"W
N-330	39°50'44.15"N	1°16'16.09"W
N-III	39°32'2.36"N	1°48'31.24"W
N-320	39°48'18.55"N	1°57'50.07"W

CM-215	39°55'54.82"N	1°29'0.59"W
CM-211	39°35'50.20"N	1°45'32.20"W
CM-2100	39°36'42.10"N	2° 5'9.29"W
CM-2100	39°34'15.4"N	1°59'42.5"W
CM-2110	40° 7'19.40"N	2° 9'41.66"W
N-320	40° 5'46.04"N	2°12'56.27"W
N-320	40° 1'1.60"N	2° 6'38.78"W
N-320	39°48'59.33"N	1°58'59.11"W
N-420	40° 1'0.27"N	2°11'24.53"W
N-320	39°48'49.04"N	1°58'37.24"W
CM-2104	40° 7'54.19"N	2° 6'51.90"W
N-420	40° 1'44.17"N	2° 9'59.10"W
CM-2100	40° 0'6.67"N	2° 6'23.24"W
N-320	40° 3'26.82"N	2° 9'52.91"W
N-320	39°52'13.68"N	2° 1'25.02"W
N-III	39°31'18.52"N	1°42'10.67"W
N-II	42° 0'4.05"N	2°50'52.85"E
C-25	41°52'34.29"N	2°44'37.37"E
N-260	42°14'7.83"N	2°53'12.19"E
C-25	41°53'15.19"N	2°40'26.69"E
N-260	42°17'52.8"N	3° 3'23.90"E
C-25	41°53'10.50"N	3°02'02.5"E
N-260	42°13'16.45"N	2°49'25.46"E
N-323a	37°26'41.95"N	3°36'12.65"W
calle laurel reina	37° 08'22.67" N	3° 35'23.48" W
SE-11	37° 05'17.35 N	3° 36'27.68" W
GR-471	36°51'29.42"N	3° 7'49.26"W
calle laurel reina	37° 07' 59.02" N	3° 35' 11.60" W
GR-NE-14	37°14'1.00"N	3°36'30.11"W

SE-11	37° 07' 44.30" N	3° 36' 12.72" W
N-323a	36°46'27.39"N	3°33'1.35"W
SE-28	36°43'57.12"N	3°28'30.25"W
Camino Albarrate	37°15'39.93"N	3°40'34.17"W
Camino Viejo de Calahonda	36°43'55.29"N	3°29'22.07"W
GR-SO-26	37° 10' 36.37" N	3° 41' 53.64" W
SE-11	37° 08' 01.10" N	3° 36'11.52" W
GR-SO-26	37° 10' 48.19" N	3° 42' 07.50" W
GR-SO-26	37° 10' 28.34" N	3° 41' 45.66" W
SE-11	37° 08' 01.23" N	3° 36' 08.27" W
calle laurel reina	37° 07' 38.33" N	3° 35' 08.70" W
E-15	36°44'35.70"N	3°33'14.61"W
N-323a	37° 0'50.62"N	3°35'32.24"W
GR-NO-05	37°12'46.67"N	3°42'28.77"W
CM-213	40°58'29.05"N	1°46'51.13"W
CM-2021	40°48'17.09"N	2°30'26.63"W
GU-127	41° 5'51.02"N	2°36'25.96"W
CM-2005	40°47'19.51" N	2°51'3.44" W
CM-101	40°38'49.94" N	3°10'32.25" W
CM-2112	40°42'30.50" N	1°36'41.63" W
CM - 101	41°13'4.58"N	2°47'22.92"W
CM-236	40°30'56.44"N	3° 2'51.47"W
CM-200	40°28'30.59"N	2°54'23.55"W
CM-2013	40°34'43.93"N	2°49'45.49"W
A-132	42°10'50.65"N	0°29'45.69"W
A-1223	41°54'6.55"N	0°14'6.41"W
HU-324	42°10'6.89"N	0°24'27.28"W
A-131	41°56'28.30"N	0°11'4.47"W
HU-324	42° 8' 46.33" N	0° 24' 34.67" W

HU-330	42°12'05.0"N	0°17'34.7"W
A-131	41°32'12.39"N	0°18'50.84"E
HU-330	42° 9' 53.74" N	0° 19' 34.30" W
A-132	42° 9'27.01"N	0°26'38.53"W
HU-330	42° 12' 4.71" N	0° 17' 34.89" W
A-131	42° 3' 54.32" N	0° 20' 35.72" W
A-131	42° 2' 7.91" N	0° 18' 25.56" W
HU-324	42°10'1.31"N	0°24'27.99"W
N-330	41° 58' 16.52" N	0° 42' 24.79" W
A-1219	42° 4'7.52"N	0°17'36.62"W
A-131	42° 3'54.97"N	0°20'35.96"W
N-330	41° 59' 3.64" N	0° 40' 36.25" W
HU-324	42° 9' 7.29" N	0° 24' 32.74" W
N-330	42° 9' 8.26" N	0° 24' 58.19" W
A-1217	42° 5'17.99"N	0°19'23.63"W
GC-500	27°45'18.95"N	15°39'9.62"W
LZ-1	29° 9'57.53"N	13°25'46.90"W
LZ-67	29° 1'33.39"N	13°42'38.26"W
FV-2	28°22'24.01"N	13°55'24.23"W
FV-2	28°22'8.24"N	13°56'24.74"W
GC-500	27°49'4.81"N	15°27'39.04"W
GC-500	27°48'11.63"N	15°28'33.85"W
LZ-703	28°53'12.81"N	13°47'59.36"W
LZ-1	29°10'44.12"N	13°25'29.51"W
FV-10	28°38'40.79"N	13°56'42.30"W
N-621	42°42'1.67"N	5°24'16.34"W
N-006a	42°36'17.89"N	6°45'37.96"W
LE-V-3141	42°34'20.05"N	5°26'29.93"W

LE-V-3142	42°35'14.06"N	5°25'44.34"W
N-VI	42°13'28.64"N	5°48'4.83"W
N-601	42°15'42.11"N	5°16'20.68"W
N-601	42° 8'48.23"N	5°15'36.56"W
LE-523	42°24'33.13" N	5°30'27.05" W
LE-114	42°10'32.77" N	5°50'33.57" W
LE-412	42°08'59.28" N	5°37'46.22" W
LE-158/4	42°30'53.58" N	6°35'49.58" W
LE-420	42°30'46.30" N	5°53'26.78" W
LE-451	42°30'45.09" N	6°2'37.60" W
LE-412	42°08'45.54" N	5°37'11.22" W
N-VI	42°33'36.74"N	5°26'56.50"W
LE-522	42°22'58.47" N	5°24'33.39" W
LE-331	42°51'6.89"N	5°19'33.46"W
N-VI	42°16'7.12"N	5°50'43.17"W
LE-411	42°10'21.00" N	5°42'45.07" W
LE-451	42°32'5.46" N	6°0'57.26" W
M-404	40°15'6.91"N	3°59'58.48"W
M-127	40°55'54.48"N	3°34'6.87"W
M-600	40°19'52.89"N	4° 0'54.42"W
M-507	40°18'44.95"N	4°10'21.19"W
M-127	41° 1'0.81"N	3°33'29.02"W
M-113	40°37'14.9"N	3°24'12.5"W
N-320	40°49'19.13"N	3°33'2.40"W
M-103	40°34'54.02"N	3°30'27.61"W
M-507	40°17'9.81"N	4°16'57.22"W
M-404	40°14'38.71"N	3°59'49.83"W
MA-415	36°47'29.84"N	4°31'4.53"W
MA-427	36°30'30.90"N	4°56'39.56"W

MA-419	36°38'43.90"N	4°49'47.44"W
MA-452	37° 0'31.75"N	4°48'4.61"W
A-367	36°53'26.03"N	5° 1'6.60"W
MA-702	37°10'5.98"N	4°41'10.97"W
A-397	36°33'30.43"N	5° 2'52.43"W
MA-424	36°51'13.45"N	4°33'15.63"W
A-366	36°41'1.18"N	4°50'52.07"W
MA-452	37° 1'59.04"N	4°50'47.62"W
A-356	36°50'57.76"N	4° 8'20.06"W
MA-413	36°39'52.66"N	4°49'31.77"W
A-367	36°50'26.86"N	5° 3'44.14"W
A-355	36°38'18.62"N	4°45'55.19"W
A-343	36°54'25.18"N	4°31'27.01"W
A-377	36°23'7.28"N	5°16'39.75"W
MA-454	37° 7'45.03"N	4°43'8.88"W
A-377	36°29'9.91"N	5°17'25.21"W
A-6213	37° 6'55.10"N	4°50'30.45"W
MA-209	37° 9'47.90"N	4°30'10.13"W
MU-503	37° 49'30.64"N	1° 38'21.91"W
MU-601	37° 51' 00.43" N	1° 08' 24.33" W
MU-520	38° 9'49.52"N	1° 21'17.30"W
MU-503	37° 53'19.49"N	1° 41'41.52"W
MU-503	37° 49'32.12"N	1° 37'4.25"W
MU-601	37° 51' 51.89" N	1° 08' 30.24" W
N-334	37° 58' 49.14" N	1° 13' 11.32" W
N-332-1	37° 38' 44.37" N	1° 09' 37.50" W
C-3314	38° 9'16.75"N	1° 46'30.70"W
MU-503	37° 52'0.76"N	1° 42'16.40"W
MU-503	37° 49'32.10"N	1° 38'25.55"O

MU-503	37° 51'55.89"N	1° 42'12.01"W
MU-301	37° 58' 52.21" N	0° 58' 35.33" W
N-332-I	37° 36' 59.97" N	1° 00' 37.39" W
MU-601	37° 51' 03.89" N	1° 08' 25.37" W
N-332	37° 36' 33.59" N	0° 56' 41.33" W
C-3215	37° 59'47.07"N	1° 30'28.30"W
MU-301	37° 58' 56.84" N	0° 58' 36.09" W
N-301a	37° 40' 14.64" N	1° 00' 59.81" W
C-3314	38° 26'0.89"N	1° 21'29.38"W
N-121	42°20'38.42"N	1°39'10.87"W
NA-6008	42°45'11.23"N	1°40'0.39"W
N-121	42°18'27.81"N	1°38'54.46"W
N-121	42°14'56.17"N	1°39'34.43"W
N-121	42°18'11.38"N	1°38'57.32"W
NA-132	42°34'56.80"N	1°53'56.02"W
NA-132	42°33'57.09"N	1°51'33.92"W
NA-6000	42°45'23.21"N	1°40'47.86"W
N-150	42°49'23.64"N	1°31'22.57"W
N-135	42°51'55.17"N	1°34'21.86"W
NA-6000	42°45'50.07"N	1°40'41.61"W
NA-2420	42°40'49.79"N	1°27'23.28"W
NA-132	42°33'42.06"N	1° 50' 8.31"W
N-121	42°25'58.35"N	1°38'42.12"W
N-135	42°50'52.70"N	1°35'4.87"W
NA-132	42°34'33.93"N	1°52'53.88"W
NA-6000	42°46'28.05"N	1°40'40.51"W
NA-2420	42°42'7.25"N	1°30'2.52"W
NA-6000	42°45'43.31"N	1°40'44.05"W
NA-122	42°38'34.70"N	2° 1'10.67"W

N-550	42°35'46.45"N	8°38'35.85"W
PO-351	41°58'45.14"N	8°44'47.95"W
C-550	42°17'1.09"N	8°44'7.90"W
N-550	42°32'50.63"N	8°38'17.95"W
C-531	42°31'14.64"N	8°41'39.01"W
PO-244	42°20'19.80"N	8°33'11.94"W
C-550	42°21'49.97"N	8°44'11.96"W
EP-1103	42°17'10.71"N	8°40'57.00"W
C-550	41°57'32.54"N	8°45'49.92"W
C-531	42°31'31.85"N	8°41'44.49"W
SA-810	40° 57' 27.3" N	5° 26' 37.56" W
N-630	40°54'49.31"N	5°39'53.31"W
CL-512	40° 56' 47.28" N	5° 40' 42.36" W
N-501	40°56'53.92"N	5°34'19.44"W
SA-CV-33	40° 54' 27.33" N	5° 42' 11.67" W
N-630	40°51'47.09"N	5°39'15.79"W
N-620	41° 6'13.77"N	5°29'4.38"W
N-501	40° 56' 53.93" N	5° 34' 19.47" W
SA-605	41° 0' 5.72" N	5° 39' 6.28" W
N 620	40°47'22.98"N	6°14'55.67"W
SA-804	41° 0' 8.42" N	5° 29' 42.48" W
SA-810	40°47'30.9"N	6°14'39.9"W
N-620	40°56'31.81"N	5°46'7.00"W
CL-512	40°53'54.13"N	5°43'24.51"W
N-630	41° 8'45.85"N	5°41'43.39"W
CL-517	40° 57' 32.52" N	5° 43' 35.8" W
N-620	41° 0' 33.18" N	5° 36' 45.77" W
N-501	40°55'31.71"N	5°18'42.63"W

C-512	40°54'59.83"N	5°41'47.58"W
A-431	37°28'44.62"N	6° 0'30.99"W
SE-696	36°54'54.29"N	6° 2'33.41"W
A-431	37°32'13.14"N	5°57'16.79"W
A-431	37°34'38.40"N	5°54'50.10"W
N-333-3	37°15'23.60"N	5°33'37.61"W
A-4	37°26'38.65"N	5°47'18.36"W
N-IV	37° 2'51.55"N	5°50'20.43"W
N-IV	37° 4'59.82"N	5°51'29.03"W
SE-696	36°54'12.57"N	5°59'35.13"W
N-IV	37°04'37.3"N	5°51'15.1"W
SE-696	36°54'14.78"N	6° 0'18.23"W
A-431	37°31'48.37"N	5°57'53.61"W
A-431	37°31'59.75"N	5°57'35.08"W
A-4	37°25'55.59"N	5°49'57.60"W
N-IV	36°53'34.00"N	6° 0'14.95"W
N-IV	36°57'56.06"N	5°52'39.13"W
SE-134	37°29'47.12"N	5°31'43.82"W
C-433	37°31'44.70"N	5°58'39.70"W
A-92	37°15'2.01"N	5°23'59.34"W
N-IV	36°53'5.92"N	6° 0'49.10"W
T-214	41° 9'43.08"N	1°23'14.78"E
TV-3421	40°45'46.93"N	0°25'8.63"E
TV-3421	40°46'33.74"N	0°26'23.41"E
TV-3421	40°46'33.74"N	0°26'23.41"E
N-420	41° 9'51.75"N	1° 1'26.23"E
T-202	41°10'19.54"N	1°22'14.32"E
TP-2031	41°16'56.54"N	1°20'39.50"E
N-420	41° 9'33.12"N	1° 4'13.34"E

N-420	41° 9'48.94"N	1° 0'45.46"E
TP-3311	40°38'28.49"N	0°21'20.20"E
TV-3022	40°56'39.62"N	0°38'57.32"E
TV-3022	40°54'42.15"N	0°40'7.42"E
N-420	41° 03'15.98"N	0°24'56.03"E
N-241	41° 06'56.01"N	1°13'26.82"E
TV-3408	40°41'28.81"N	0°35'26.19"E
TP-3311	40°38'13.96"N	0°19'26.78"E
TV-3141	41° 7'28.16"N	1° 5'47.36"E
C-43	40°59'50.21"N	0°30'55.93"E
TP-3311	40°39'55.82"N	0°25'43.23"E
T-204	41°08'39.13"N	1°00'33.37"E
(N-234	40°19'46.83"N	1° 5'19.10"W
N-234	40°19'35.90"N	1° 2'29.48"W
N-234	40°19'44.79"N	1° 4'18.81"W
TE-V-6014	40°18'44.11"N	1° 7'15.97"W
N-330	40°16'7.24"N	1° 9'40.72"W
N-330	40°19'15.41"N	1° 7'33.83"W
TE-V-6015	40°18'53.87"N	1° 4'53.17"W
N-234	40°11'4.67"N	0°53'28.66"W
A-232	40°12'22.60"N	0°41'2.48"W
A-225	40°51'31.12"N	0°16'29.11"W
A-226	40°23'46.51"N	1°1'23.68"W
N-330	40°15'28.77"N	1°9'55.72"W
N-234	40°25'41.31"N	1°12'57.13"W
N-420	40°21'41.99"N	1° 7'43.10"W
N-420	40°26'50.97"N	1° 3'28.57"W
N-420	40°23'52.51"N	1°5'6.04"W

N-420	40°27'24.26"N	1° 3'14.24"W
N-211	40°48'34.33"N	0°37'22.30"W
N-232	41°3'55.98"N	0°12'48.22"W
CM-4013	39°46'58.15"N	4° 3'49.24"W
N-502	39°54'12.49"N	4°52'14.25"W
N-401	39°44'14.60"N	3°59'14.06"W
CM-4101	39°55'4.15"N	4°55'20.76"W
CM-4013	39°45'54.84"N	4° 4'20.72"W
CM-4013	39°47'34.03"N	4° 3'34.08"W
CM-4003	40° 2'18.56"N	4° 5'27.63"W
N-400	39°55'35.25"N	3°49'32.72"W
TO-4052	39°45'56.43"N	4° 8'19.49"W
CM-401	39°45'14.34"N	4°13'21.86"W
CV-605	39°06'41.9"N	0°14'24.7"W
CV-605	39° 5' 54.95" N	0° 14' 05.32" W
CV-605	39°06'50.4"N	0°14'29.9"W
CV-424	39° 26' 23.30" N	0° 37' 00.72" W
CV-415	39° 23' 13.94" N	0° 40' 19.75" W
CV-381	39°30'53.42"N	0°45'2.54"W
CV-605	39° 6' 24.42" N	0° 14' 17.42" W
CV-383	39° 29' 51.14" N	0° 39' 34.76" W
CV-660	38°46'53.34"N	0°47'55.59"W
CV-331	39°38'49.97"N	0°28'25.02"W
CV-50	39° 6'45.68"N	0°23'49.38"W
CV-41	39° 4'7.47"N	0°28'57.05"W
CV-364	39°37'10.92"N	0°41'33.97"W
CV-541	39° 7'30.14"N	0°33'9.87"W
N-332	39° 06' 22.52" N	0° 15' 53.78" W
CV-416	39° 23' 52.33" N	0° 37' 38.14" W

CV-525	39° 14' 02.18" N	0° 28' 00.73" W
CV-60	38°54'19.07"N	0°33'34.64"W
CV-405	39°24'16.72"N	0°31'36.80"W
CV-3380	39°39'53.48"N	0°37'26.49"W
CV-310	39° 34' 10.05" N	0° 26' 04.92" W
VA-VP-2302	41°32'50.03"N	4°31'49.70"W
Camino de la Virgen de la Merced	41°39'42.44"N	4°44'41.94"W
C-611	41°36'28.34"N	5° 0'26.95"W
N-122	41°35'51.49"N	4°30'23.22"W
VA-VP-3302	41°36'4.65"N	4°33'36.74"W
CL-610	41°29'34.2"N	4°51'45.1"W
CL-610	41°22'6.04"N	4°54'33.88"W
N-601	41°39'45.73"N	4°46'42.27"W
Calle la Flauta	41°41'4.95"N	4°44'25.76"W
VA-VP-3302	41°39'11.51"N	4°28'38.04"W
CL-610	41°28'31.33"N	4°51'30.19"W
VA-VP-88	41°26'36.31"N	5° 2'49.65"W
VA-600	41°27'5.77"N	5° 5'43.55"W
VA-200	41°33'40.40"N	4°36'4.60"W
CL-601	41°32'16.29"N	4°39'13.77"W
N-330	41° 55' 23.91" N	0° 44' 54.39" W
N-330	41°26'49.10"N	1° 7'55.93"W
N-330	41° 51' 18.7" N	0° 47' 41.46" W
N-122	41°53'58.66"N	1°46'20.92"W
N-234	41° 5'53.97"N	1°24'18.85"W
N-232	41° 27' 58.70" N	0° 32' 37.59" W
N-232	41° 27' 5.08" N	0° 31' 52.23" W
N-330	41° 30' 19.85" N	1° 2' 47.26" W

A-221	41°21'17.61"N	0°26'40.57"W
N-232	41° 48' 25.09" N	1° 15' 37.46" W
N-232	41°46'8.59"N	1°12'4.06"W
N-II	41°30'43.62"N	0°25'53.15"W
N-211	41°12'0.47"N	0° 6'17.74"W
N-232	41°39'33.35"N	0°55'27.19"W
A-1506	41° 6'18.76"N	1°19'40.24"W
N-232	41° 27' 27.99" N	0° 32' 9.47" W
N-II	41°29'45.75"N	0° 7'34.87"W
N-330	41° 12' 19.65" N	1° 16' 54.33" W
N-II	41° 31' 52.83" N	0° 33' 56.08" W