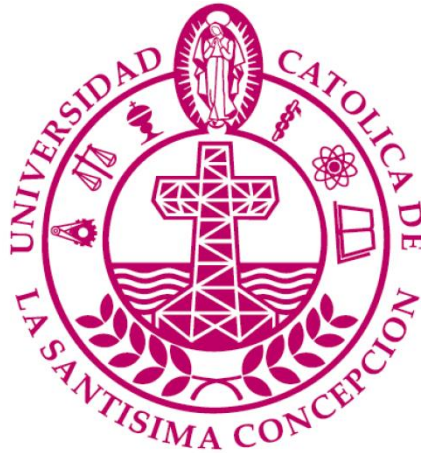


UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil



**ANÁLISIS DE ALINEAMIENTOS VERTICALES COMPUESTOS
DISEÑADOS SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS DE
CHILE**

Fernando Andrés Parra Canto

PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

Ing. Guillermo Bustamante Laissle

Profesor Informante

Dr. Tomás Echaveguren Navarro

Concepción, Marzo 2016

*Dedicado a René, Selim y Diomedes
que son y serán un ejemplo en mi vida.*

Agradecimientos

Agradezco al profesor Dr. Tomás Echaveguren Navarro, por ser mi tutor en este proyecto de título, en especial por darse el tiempo de atenderme cada vez que lo necesite, darme respuesta a mis interrogantes y el que me acercara al área de la Ingeniería Vial.

Al profesor Sr. Guillermo Bustamante Laissle, por darme la libertad en la realización de mi proyecto de título, especialmente pensado que el tema que se relaciona no es una de sus áreas de interés, de igual forma comprendiendo los tiempos que me llevo poder realizarla.

Dr. Edwin Marcelo Behrens, por ayudarme de forma desinteresada en optimizar la rutina de *Matlab* que abarca gran parte de este proyecto de título.

A mis amigos que formaron gran parte de mi vida universitaria donde construí lazos que nunca se romperán sin depender del tiempo que pase.

A mi familia por estar ahí siempre que fue un sustento para recorrer el camino para llegar a la cumbre de mis éxitos.

Al proyecto FONDEQUIP EQM 150029 “Laboratorio de modelamiento de interacción conductor – carretera” liderado por el Laboratorio GESITRAN de la Universidad de Concepción.

Resumen

El presente proyecto de título corresponde a la investigación del comportamiento de los alineamientos compuestos, diseñados considerando la normativa vigente en Chile, que relaciona los parámetros de diseño de alineamientos simples con los compuestos.

Dentro de la normativa vigente en Chile el diseño de los alineamientos verticales está considerado solamente para alineamientos verticales simples que están condicionados por la distancia de visibilidad disponible dentro del tramo al que corresponde el alineamiento, la normativa sugiere parámetros mínimos para cumplir dichas distancias de visibilidad, que están dadas para cada tipo de arco convexo y cóncavo.

Dentro de las configuraciones posibles dentro de los alineamientos se presentan configuraciones de cercanía de arco convexo – arco cóncavo, que corresponde al denominado alineamiento compuesto, donde se produce un fenómeno de instantes donde hay una falta de visibilidad del camino, es decir que el conductor no puede apreciar a un vehículo que venga en dirección opuesta a él, es lo que describe a la zona de no visible (ZNV).

Dentro de lo presentado hasta la actualidad no existe un método claro para la evaluación de dicha condición que se presentan en este tipo de alineamientos, solamente presentando consideraciones cualitativas que se refieren al comportamiento de la aparición de las depresiones ocultas en los perfiles.

Dentro del proyecto el objetivo general es el de presentar un criterio cuantitativo para la evaluación de las depresiones ocultas para determinar la seguridad para el conductor, que está en relación al área que comprende la zona de no visibilidad, que se relaciona con los parámetros que entrega la normativa vigente en Chile por medio de la altura del vehículo opuesto h_2 y la distancia de adelantamiento Da , para crear un criterio de evaluación en cuanto al área comprendida, que se relaciona con la profundidad existente dentro del alineamiento.

Donde como resultado final es el de entregar un criterio de evaluación para la falta de visibilidad dentro del camino, que se relaciona con los distintos tipos de pendientes, radios de los arcos y para las distintas velocidades de proyectos.

Abstract

This project title corresponds to research the behavior of the compounds alignments designed considering the regulations in force in Chile, which relates the design parameters of simple alignments with the compounds.

Within the current legislation in Chile the design of vertical alignment is considered only for simple vertical alignments that are conditioned by the sight distance available within the section that corresponds alignment, the rules suggest minimum standards to meet such distances visibility, which they are given for each type of convex and concave arc.

Among the possible configurations within the alignments configurations proximity convex arcs occur - concave arc, which corresponds to the so-called composite alignment, where a phenomenon of moments where there is a lack of visibility of the road, ie occurs that the driver you can see a vehicle coming from the opposite direction to it, is what describes the area not visible (ZNV).

In what was presented until now there is no clear method for assessing the condition presented in such alignments, presenting only qualitative considerations relating to the behavior of the emergence of hidden depressions in the profiles.

Within the project's overall objective it is to present a quantitative criterion for evaluation of hidden depressions to determine safety for the driver, which is related to the area comprising the non visibility area, which is related to the parameters that delivers current legislation in Chile through the height of the vehicle opposite h_2 and overtaking distance D_a , to create an evaluation criterion as to the range area, that relates to the depth within the existing alignment.

Where the end result is to deliver an evaluation criterion for the lack of visibility into the road, which is related to the different types of earrings, arcs and radii for the different speeds of projects.

Índice de contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 La normativa de diseño de carreteras vigente en Chile	1
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
Capítulo 2: El diseño de curvas verticales	6
2.1 La distancia de visibilidad	6
2.1.1 Aspectos generales	6
2.1.2 La visibilidad de parada	6
2.1.3 La distancia de adelantamiento	8
2.2 Los alineamientos verticales simples	10
2.2.1 Aspectos generales	10
2.2.2 Las curvas verticales simétricas	10
2.2.3 Criterios de diseño de curvas verticales	11
2.2.4 Curvas verticales asimétricas convexas	13
2.2.5 Curvas verticales asimétricas cóncavas.....	16
2.3 Los alineamientos verticales compuestos.....	19
2.3.1 Elementos de un alineamiento compuesto	20
2.3.2 Relaciones geométricas de los alineamientos compuestos	22
2.3.3 Consideraciones de diseño	22
2.3.4 Parámetros que evitan la zona de no visibilidad	26
2.3.5 Método de análisis de ZNV.....	28
2.4 Análisis del algoritmo de Easa	31
Capítulo 3: Análisis de la zona de no visibilidad.....	36
3.1 Análisis en la condición de entrada	36
3.2 Análisis en las condiciones de entrada y salida.....	38
3.3 Datos de entrada	42
3.4 Análisis de resultados	43
3.5 Criterio de evaluación.....	49
Capítulo 4: Conclusiones	52
Capítulo 5: Referencias.....	55
ANEXOS	56

Índice de figuras

Figura N° 1.1 Tipos de curvas verticales	2
Figura N° 1.2 Tipos de obstrucciones, por objeto a una altura h_2 y por una estructura sobre nivel	3
Figura N° 1.3 Representación de la zona de no visibilidad (ZNV).	4
Figura N° 2.1 Elementos de una curva vertical	10
Figura N° 2.2 Representación del caso 1	14
Figura N° 2.3 Representación del caso 2	15
Figura N° 2.4 Representación del caso 3	15
Figura N° 2.5 Visibilidad S_m mayor a la longitud de la curva L	17
Figura N° 2.6 Visibilidad S_m mayor a la longitud del arco pequeño L_2	18
Figura N° 2.7 Visibilidad S_m menor a la longitud del arco pequeño L_2	19
Figura N° 2.8 Representación gráfica de un alineamiento compuesto cuando $A > 0$	20
Figura N° 2.9 Representación gráfica de un alineamiento compuesto cuando $A < 0$	21
Figura N° 2.10 Condición de profundidad máxima en la ZNV	23
Figura N° 2.11 Termino de la ZNV cuando el conductor esta sobre el arco convexo.	24
Figura N° 2.12 Termino de la ZNV cuando el conductor esta sobre la tangente de entrada TAN_1	24
Figura N° 2.13 Representación geométrica de T_s en la condición de $TAN_2 \geq Nv$	25
Figura N° 2.14 Representación geométrica de T_s en la condición de $TAN_2 < Nv$	26
Figura N° 2.15 Representación de los tres casos para evitar la ZNV	26
Figura N° 2.16 Diagrama de flujo del método de Easa	30
Figura N° 2.17 Representación gráfica de a) Depresiones y b) Saltos	33
Figura N° 2.18 Condición crítica de visibilidad del camino $S \leq 600$ m.	34
Figura N° 3.1 Representación de la zona de no visibilidad en la condición de entrada.	36
Figura N° 3.2 Área aproximada de la ZNV en la condición de entrada.	37
Figura N° 3.3 Representación de la zona de no visibilidad en la condición de salida.	39
Figura N° 3.4 Aproximación del área de la ZNV en condición de entrada y de salida.	39
Figura N° 3.5 Diagrama de flujo de la rutina de Matlab® para obtener el valor de la zona de no visibilidad.	41
Figura N° 3.6 Representación gráfica de los parámetros de entrada de la rutina.	42
Figura N° 3.7 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN_2=2400$ m.	43
Figura N° 3.8 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=12\%$, $i_c=-12\%$, $i_2=12\%$, $d=2400$ m y $TAN_2=2400$ m.	44
Figura N° 3.9 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=6\%$, $i_c=-5\%$, $i_2=4\%$, $d=200$ m y $TAN_2=600$ m.	44
Figura N° 3.10 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2=4\%$, $d=800$ m y $TAN_2=400$ m.	45
Figura N° 3.11 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c =-1\%$, $i_2=1\%$, $Kv=300$ m y $Kc=400$ m	45
Figura N° 3.12 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1:6\%$, $i_c:-5\%$, $i_2:4\%$, $Kv:3300$ m y $Kc:3400$ m.	46

Índice de tablas

Tabla N° 2.1 Distancia mínima de parada en horizontal	7
Tabla N° 2.2 Distancia de parada máxima según categoría de camino y velocidad de proyecto	8
Tabla N° 2.3 Distancia mínima de adelantamiento	9
Tabla N° 2.4 Pendientes máximas admisibles en porcentajes	10
Tabla N° 2.5 Parámetros mínimos de curvas verticales convexas por criterio de visibilidad de parada	12
Tabla N° 2.6 Parámetros mínimos de curvas verticales cóncava por criterio de visibilidad de parada	12
Tabla N° 2.7 Parámetro mínimo de curvas verticales convexas para asegurar la visibilidad de adelantamiento	13
Tabla N° 3.1 Valores y rangos de los parámetros de entrada de los diseños	42
Tabla N° 3.2 Valores límites para la identificación de la ZNV en relación al área y distancia de visibilidad disponible dentro de los perfiles tipos analizados.	48
Tabla N° 3.3 Niveles de riesgo para los valores del área de la ZNV	49

Índice de anexos

Anexo A : Rutinas de cálculo en lenguaje Matlab 56

Rutina para la generación de perfiles a partir de las siete variables de diseño... 56

Rutina general de análisis de zonas de no visibilidad a partir de los perfiles de diseño 56

Anexo B: Tabla de resultados 62

Tabla 1 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN2=2400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2..... 62

Tabla 2 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=12\%$, $i_c=-12\%$, $i_2=12\%$, $d=2400$ m y $TAN2=2400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2..... 66

Tabla 3 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=6\%$, $i_c=-5\%$, $i_2=4\%$, $d=200$ m y $TAN2=600$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2..... 70

Tabla 4 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2=4\%$, $d=800$ m y $TAN2=400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2..... 74

Tabla 5 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $K_v=300$ m y $K_c=400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2..... 78

ANEXO C : Gráficos de resultados 83

Figura 1 Relación de A1/A2 para un perfil de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN2=2400$ m. 83

Figura 2 Relación de A1/A2 para un perfil de variables fijas de $i_1=12\%$, $i_c=-12\%$, $i_2=12\%$, $d=2400$ m y $TAN2=2400$ m. 83

Figura 3 Relación de A1/A2 para un perfil de variables fijas de $i_1=6\%$, $i_c=-5\%$, $i_2=4\%$, $d=200$ m y $TAN2=600$ m. 84

Figura 4 Relación de A1/A2 para un perfil de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2=4\%$, $d=800$ m y $TAN2=400$ m. 84

Capítulo 1: Introducción

En el diseño de caminos las rasantes caracterizan las alineaciones verticales. Están constituidas por pendientes de distinta magnitud y sentido, y también por curvas verticales, normalmente parábolas de segundo grado.

Las curvas verticales se presentan entre dos pendientes sucesivas con distinta magnitud y sentido, logrando una transición paulatina entre las rasantes. Su diseño adecuado asegura la visibilidad requerida para la velocidad del proyecto.

1.1 La normativa de diseño de carreteras vigente en Chile

La normativa de diseño de carreteras vigente en Chile, el Manual de Carreteras establece instrucciones y criterios de diseño de trazado en alzado.

De acuerdo a esto, los alineamientos verticales están controlados por (MOP, 2015):

1. El trazado horizontal
2. La visibilidad

La inclinación de las rasantes tiene condiciones mínimas y máximas. En caminos de desarrollo pueden alcanzar pendientes máximas del 12% y en autopistas puede tener pendientes máximas del 4% y en los tramos correspondientes a las velocidades de proyecto. Las pendientes mínimas deben tener a lo menos 0.5%, que puede variar en casos particulares, dependiendo de las condiciones de borde del tramo.

Las pendientes están unidas por los enlaces de rasantes, que corresponden a las curvas verticales, estando caracterizadas por el ángulo de deflexión entre las dos rasantes y el desarrollo de la curva vertical.

En la figura 1.1 se muestra los tipos de curvas que se pueden desarrollar en los distintos tipos de proyecciones de caminos, según tipo de concavidad y el ángulo de deflexión que presentan.

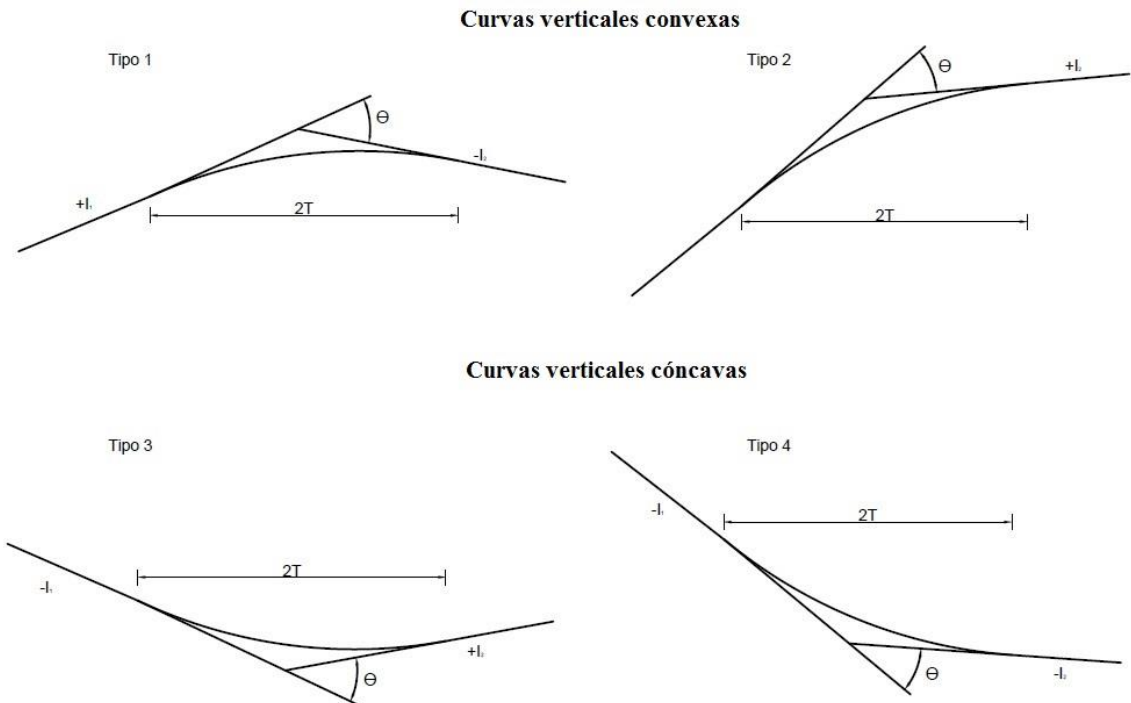


Figura N° 1.1 Tipos de curvas verticales (MOP, 2015)

Donde:

- $2T$: Longitud de la curva
- $\pm i$: Pendiente longitudinal

El criterio de diseño de las curvas verticales considera las siguientes condiciones.

- Asegurar la distancias de visibilidad de parada
- En calzadas bidireccionales, se podrá diseñar por la distancia de visibilidad de adelantamiento

La distancia de visibilidad de parada, es la distancia mínima requerida por el conductor para detenerse ante un obstáculo inmóvil que se encuentre en el centro de la pista por la cual circula. La distancia de visibilidad de adelantamiento, es la distancia mínima requerida por el conductor de un vehículo para adelantar otro vehículo que va a menor velocidad relativa, que circula por su misma pista y dirección.

El análisis de las curvas verticales que propone el Manual de Carreteras es de forma individual, donde cada elemento es visto de manera independiente y única. La posible relación con una curva vertical próxima es la velocidad de proyecto. Con esto se establece

que en relación al diseño de dos curvas verticales sucesivas no existen más criterios de diseño para tal caso.

En la actualidad solamente existen consideraciones para la evaluación de distancia de visibilidad para las alineaciones verticales simétricas y aisladas, como las representadas en la figura 1.1. Los índices de seguridad van siendo cada vez más exigentes asociado a esto es que se presentan modelos de análisis para los alineamientos verticales compuestos considerando obstrucciones (Easa, 1994).

Dentro de las formas de obstrucción se identifican dos. La primera es por la obstrucción de la línea de visión desde el ojo al objeto a observar por encima de la cresta de la curva y la segunda por la obstrucción debido a elementos sobre la rasante, por ejemplo pasos elevados sobre las curvas, representado en la figura 1.1.

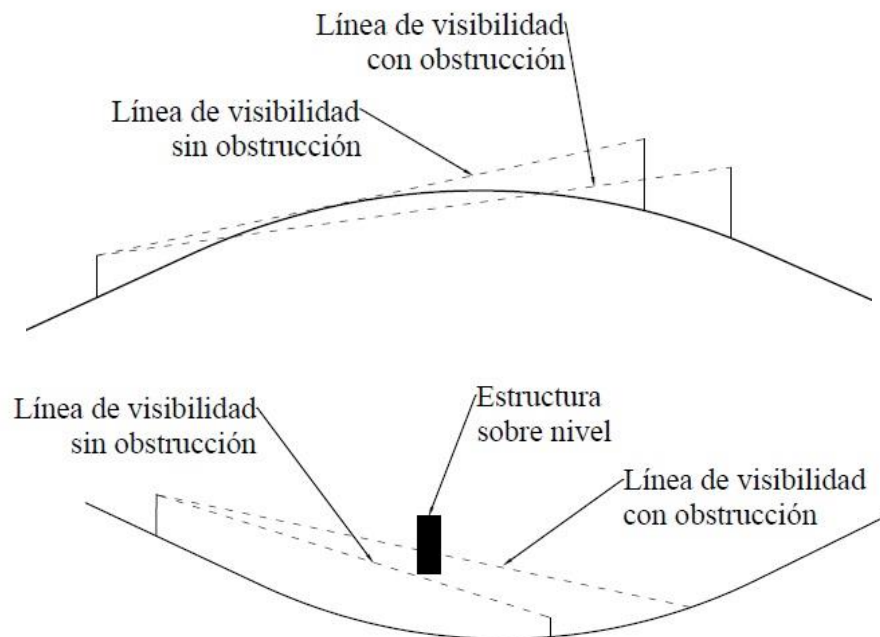


Figura N° 1.2 Tipos de obstrucciones, por objeto a una altura h_2 y por una estructura sobre nivel (Easa, et al., 1996)

La figura 1.2, representa cómo la línea de visibilidad es obstruida de manera natural por la misma curva vertical. La línea de visibilidad puede tocar una o dos veces la línea del trazado y de igual forma pasa por las obstrucciones por objetos sobre la rasante.

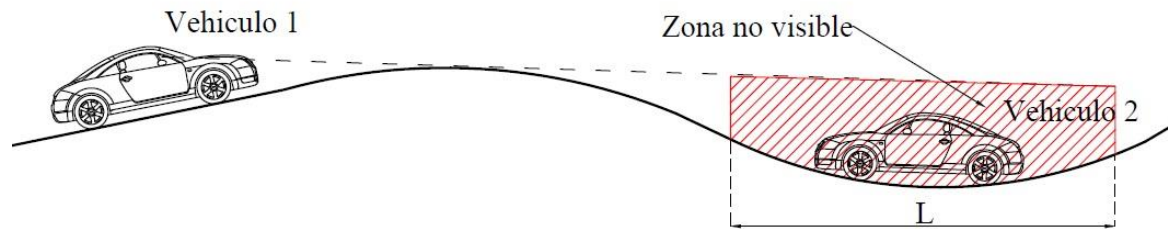


Figura N° 1.3 Representación de la zona de no visibilidad (ZNV)

En la figura 1.3 se representa cuando el conductor del vehículo ve por sobre la curva convexa y la línea de visibilidad no lo deja percatarse del vehículo en dirección opuesta que se encuentra sobre la curva cóncava. En esta condición es cuando se producen la pérdida parcial de la visibilidad del camino.

En Chile se realizaron dos trabajos que analizan los alineamientos verticales compuestos. El primero fue “Implementación del método analítico para el diseño de los alineamientos verticales compuestos”. Solís (1996) adaptó un modelo de visibilidad para observar las depresiones ocultas. Concluyó que a medida que las rectas de enlace aumentan su magnitud, estas tendían a favorecer el desarrollo de depresiones ocultas considerando velocidades superiores a las 60 km/h. De igual forma cuando las rectas son de magnitud cercana o mayores a los 1000 m esta condición pasa a ser imperceptible.

Otro de los estudios realizados en Chile fue “Estudio de fiabilidad del método de diseño de alineamientos verticales compuestos”. Venegas (1997) abordó varios aspectos que relacionan estos tipos de alineamientos, él pudo concluir que la variable económica para el diseño estará dada por la cantidad de flujo vehicular que pase por el camino y no por la cantidad de obra que se necesaria para poder construir el camino en relación a como estaba el proyecto en la condición inicial, pero que no puede llegar a ser concluyente para la evaluación si el método es conveniente de aplicar, además concluyo que cuando las deflexiones de las dos curvas alcanzan valores idénticos el rango de visibilidad toma valores pequeños al punto de llegar a ser cero.

La normativa vigente en Chile aborda el diseño de los alineamientos verticales considerando las curvas por separado por el hecho de no existir un método que haga el análisis conjunto de las curvas verticales muy próximas entre sí.

A estas consideraciones es que el método de Easa (1994) plantea la evaluación de este tipo de alineamientos, para su aplicación acorde a la normativa vigente en Chile no es posible, debido a que no presta criterios o valores para el diseño, a eso se plantea seguir utilizando un criterio que hasta el día de hoy está siendo usado para la evaluación de curvas verticales, donde la influencia de curvas verticales sucesivas no tienen influencia en el diseño.

El efecto que causa la cercanía de estas dos curvas sobre los conductores es la falta de continuidad visual del camino, produciendo una falta de seguridad para el conductor al momento de realizar maniobras como adelantamiento, donde la falta de visibilidad puede llegar a causar una situación de riesgo donde la probabilidad de accidentes dentro de ese tramo puede aumentar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento general de los alineamientos verticales compuestos diseñados, considerando la Normativa Chilena vigente, relacionando los parámetros de diseño de alineamientos simples con los compuestos, para incorporar el diseño geométrico de alineamientos verticales en relación al tratamiento de las zonas de no visibilidad (ZNV).

1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar las variables de importancia del método.
2. Analizar el comportamiento de los alineamientos compuestos con diferentes configuraciones de perfiles diseñados considerando el Manual de Carreteras de Chile.
3. Presentar un criterio de análisis cuantitativo para la aparición de depresiones ocultas dentro de los caminos.

Capítulo 2: El diseño de curvas verticales

2.1 La distancia de visibilidad

2.1.1 Aspectos generales

Los caminos se diseñan de tal forma que el conductor sienta una seguridad en su conducción. Es por eso que el diseño debe procurar una visibilidad suficiente para poder ejecutar maniobras que se vea obligado a realizar o que él decida ejecutar durante el trayecto. En general el conductor requiere un tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y de un tiempo para poder ejecutarla. Durante ese tiempo el o los vehículos que participan de dichas maniobras recorren distancias que están directamente relacionadas con la velocidad a la transitan. Esto condiciona la distancia de visibilidad requerida para cada caso en que el conductor deba realizar dicha maniobra.

Para el diseño se utilizan dos tipos de distancias de visibilidad:

- Parada
- Adelantamiento

2.1.2 La visibilidad de parada

Dentro de la pista por donde transita el vehículo debe a lo menos existir la distancia necesaria para que el conductor pueda realizar la maniobra de detención o parada, que es equivalente a la distancia necesaria para detenerse al enfrentarse con un obstáculo inmóvil situado en el centro de dicha pista.

La distancia necesaria para una detención deliberada consta de dos fases.

1. Desde que el conductor divisa el objeto hasta que decide detenerse y aplicar los frenos, en dicho lapso de tiempo tp , tiempo de reacción, durante el cual la velocidad inicial no ha variado durante dicho trayecto.
2. A partir de la aplicación de los frenos la velocidad del vehículo va disminuyendo hasta la detención completa.

$$Dp = \frac{V tp}{3.6} + \frac{V^2}{254(r \pm i)} \quad (1)$$

Donde:

- Dp : Distancia de parada (m)
- V : V_p o V^* , velocidad de proyecto o velocidad de verificación de Dp
($V^*=V_p+5$ km/h ó $V^*=V_p+10$ km/h, según sea el caso) (km/h)
- tp : Tiempo de percepción y reacción, 2 segundos
- r : Coeficiente de roce rodante para pavimento húmedo
- i : Pendiente longitudinal (+i subidas, -i bajadas respecto al sentido de circulación)

La tabla 2.1 indica los valores de distancia de parada en relación a la ecuación (1) para varias velocidades y con sus coeficientes de roce asociados obteniendo los valores intermedios de las dos fases de la distancia de parada.

Tabla N° 2.1 Distancia mínima de parada en horizontal (MOP, 2015)

V (km/h)	r	Dtp (m)	Df (m)	Dp (m)	
				Dtp + Df	Adoptado
30	0.420	16.7	8.4	25.1	25
40	0.415	22.2	15.2	37.4	38
50	0.410	27.8	24.0	51.8	52
60	0.400	33.3	35.5	68.8	70
70	0.380	38.9	50.8	89.7	90
80	0.360	44.4	70.0	114.4	115
90	0.340	50.0	93.9	143.8	145
100	0.330	55.5	119.4	174.9	175
110	0.320	61.1	149.0	210.0	210
120	0.310	66.6	183.0	249.6	250
130	0.295	72.2	225.7	297.9	300

*Dtp: distancia tiempo de percepción, Df: distancia de frenado, Dp: distancia de parada.

La tabla 2.2 al igual que la tabla anterior muestra cómo cambia la distancia de parada máxima en relación a la categoría de camino, es el que varía según su inclinación máxima de cada categoría y velocidad de proyecto a la que está asociada.

Tabla N° 2.2 Distancia de parada máxima según categoría de camino y velocidad de proyecto (MOP, 2015)

Categoría	i	Velocidad de Proyecto (km/h)								
		≤30	40	50	60	70	80	90	100	120
Desarrollo	+	23	34	47						
	-	28	42	59						
Local	+		35	47	63	81				
	-		42	59	78	103				
Colector	+				63	81	102			
	-				78	103	134			
Primario	+						104	132	160	
	-						128	160	195	
Autorrutas	+						104	132	160	
	-						128	160	195	
Autopistas	+						106		160	229
	-						126		195	277

2.1.3 La distancia de adelantamiento

En condiciones normales de circulación en caminos de calzada única con dos pistas carriles, durante la acción de adelantar a los vehículos más lentos que transitan por la misma pista es necesario que el conductor deba ocupar temporalmente la pista contraria. Para esto el conductor debe realizar una maniobra donde debe acelerar con respecto a la velocidad del vehículo anterior a él y luego volver a su pista. La distancia total recorrida en esta maniobra está definida por:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (2)$$

Donde:

- D_a : Distancia de adelantamiento total (m).
- D_1 : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (m).
- D_2 : Distancia recorrida por el vehículo que adelanta, durante el tiempo que invade la pista de sentido contrario (m).
- D_3 : Distancia de seguridad una vez terminada la maniobra de adelantar (m).
- D_4 : Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido contrario (m).

$$D_1 = 0.278 t_1 \left(v - m + \frac{a t_1}{2} \right) \quad (3)$$

Donde:

- t_1 : Tiempo inicial de maniobra (s)
- v : Velocidad promedio de adelantamiento (km/h)
- m : Diferencia de velocidad entre el vehículo que adelanta y el vehículo que es adelantado (km/h)
- a : Aceleración promedio del vehículo que adelanta

$$D_2 = 0.278 v t_2 \quad (4)$$

Donde:

- t_2 : Tiempo en que el vehículo está en la pista contraria (s)
- v : Velocidad promedio del vehículo que adelanta (km/h)

Las otras distancias D_3 es un valor experimental que varían dentro de un rango de 30 – 70 m, dentro de una relación de tiempo estimado de 2 segundos que va en relación a la velocidad con la que va el conductor terminada la maniobra de rebaso.

Además está la distancia en relación con el vehículo opuesto al que realizara la maniobra.

$$D_4 = \frac{2}{3} D_2 \quad (5)$$

La tabla 2.3 corresponde a la distancia mínima de adelantamiento teniendo en consideración las ecuaciones (3), (4) y (5), más la distancia de seguridad para dicha maniobra de adelantamiento.

Tabla N° 2.3 Distancia mínima de adelantamiento (MOP, 2015)

Vp	30	40	50	60	70	80	90	100
D _a	180	240	300	370	440	500	550	600

2.2 Los alineamientos verticales simples

2.2.1 Aspectos generales

El alineamiento de rasantes o curvas verticales se produce cuando la deflexión entre ellas es mayor al 0.05%.

Para cada velocidad de proyecto se tienen pendientes máximas, según los valores de la tabla 2.4.

Tabla N° 2.4 Pendientes máximas admisibles en porcentajes (MOP, 2015)

CATEGORIA	Velocidad de Proyecto (km/h)								
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4.5	4

*La velocidad 110km/h no está considerada dentro del rango de V_p asociada a una categoría.

2.2.2 Las curvas verticales simétricas

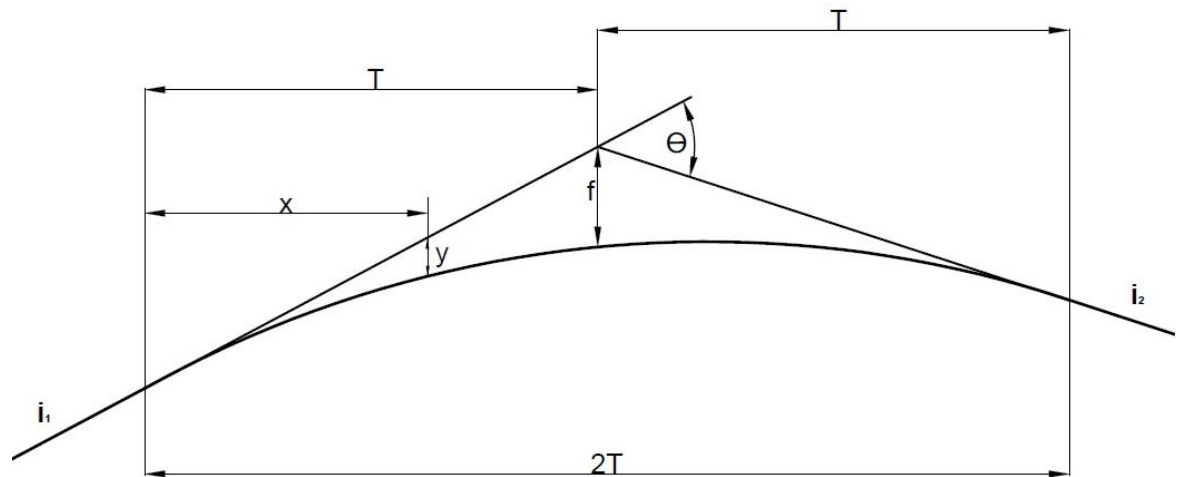


Figura N° 2.1 Elementos de una curva vertical (MOP, 2015)

Como se demuestra en la figura 2.1 el enlace de dos rasantes utiliza una curva que describe una parábola de segundo grado, que describe curvas verticales convexas y cóncavas.

$$x^2 = 2yR \quad (6)$$

Donde:

R : Radio de curvatura de la parábola (m).

El enlace de las rasantes está descrito por el ángulo de deflexión entre las dos tangentes que se intersectan en el vértice, según:

$$\theta = (i_1 - i_2) \quad (7)$$

Bajo las condiciones anteriores, el largo de la curva ($2T$), queda caracterizada por:

$$2T = R \theta = R (i_1 - i_2) \quad (8)$$

Donde $2T$ es la proyección horizontal de la curva desde PC a FC, expresado por:

$$2T = K \theta = K (i_1 - i_2) \quad (9)$$

En donde para el caso del parámetro característico de las curvas verticales es K (m).

2.2.3 Criterios de diseño de curvas verticales

Para el diseño en alzado en calzadas unidireccionales se debe asegurar en todo punto la visibilidad de parada y para calzadas bidireccionales la visibilidad de adelantamiento.

Dentro de los parámetros que sirven para el diseño se presentan principalmente dos, uno para cada tipo de curva vertical.

a) Parámetro de curva vertical convexa

Este relaciona los conceptos de distancia de parada sobre un obstáculo fijo, la altura de los ojos del conductor y de un obstáculo.

$$Kv = \frac{Dp^2}{2(\sqrt{h1} + \sqrt{h2})^2} = \frac{Dp^2}{4.48} \quad (10)$$

Donde:

- Kv : Parámetro de la curva vertical convexa por criterio de visibilidad de parada (m)
- Dp : Distancia de parada según velocidad de proyecto (m)
- $h1$: Altura de los ojos del conductor (1.10 m)
- $h2$: Altura del obstáculo (0.20 m)

Los valores de Kv se representan en la tabla 2.5, donde se muestra distintos valores de este parámetro dependiendo el tipo de velocidad empleada.

Tabla N° 2.5 Parámetros mínimos de curvas verticales convexas por criterio de visibilidad de parada (MOP, 2015)

Velocidad	Kv(m)									
Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$V^* = Vp$	300	400	700	1200	1800	3000	4700	6850	9850	14000
$V^* = Vp + 5$	300	500	950	1450	2350	3550	5100	7400	10600	15100
$V^* = Vp + 10$	320	600	1100	1800	2850	4400	6000	8200	11000	16000

Vp : Velocidad de proyecto (km/h)

V^* : Velocidad para verificar Dp y seleccionar Kv (km/h)

b) Parámetro de curva vertical cóncava

Considera el concepto de distancia de parada nocturna sobre un obstáculo fijo que está dentro de la zona que ilumina los faros del vehículo.

$$Kc = \frac{Dp^2}{2(h + Dp \sin \beta)} = \frac{Dp^2}{(1.2 + 0.035Dp)} \quad (11)$$

Donde:

Kc : Parámetro curva vertical cóncava por criterio de visibilidad de parada (m)

Dp : Distancia de parada (m)

h : Altura de los focos del automóvil (0.60 m)

β : Angulo de la abertura del haz de luz de los focos del vehículo respecto de su eje (1°)

Los valores de Kc se representan en la tabla 2.6 para diferentes velocidades de proyecto.

Tabla N° 2.6 Parámetros mínimos de curvas verticales cóncava por criterio de visibilidad de parada (MOP, 2015)

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Kc (m)	400	600	1000	1400	1900	2600	3400	4200	5200	6300

c) Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento

Es relevante para curvas verticales convexas, que considera la distancia de adelantamiento y la altura del vehículo opuesto.

$$Ka = \frac{Da^2}{2(\sqrt{h1} + \sqrt{h5})^2} = \frac{Da^2}{9.2} \quad (12)$$

Donde:

- Ka : Parámetro de una curva vertical convexa por criterio de adelantamiento (m).
- Da : Distancia de adelantamiento (m).
- $h1$: Altura de los ojos del conductor (1.10 m)
- $h5$: Altura del vehículo opuesto (1.20 m)

La tabla 2.7 muestra los valores de Ka para distintas velocidades.

Tabla N° 2.7 Parámetro mínimo de curvas verticales convexas para asegurar la visibilidad de adelantamiento (MOP, 2015)

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Ka (m)	3500	6300	9800	14900	21000	27200	32900	39100	45900

d) Longitud mínima de curvas verticales

Sirve para que la curva presente una comodidad y estética adecuada.

$$2T = |Vp| \quad (13)$$

2.2.4 Curvas verticales asimétricas convexas

Las curvas verticales asimétricas son representadas por dos arcos parabólicos con un punto de intersección en común, con distintos parámetros característicos. Para curvas del tipo convexas el parámetro de curvatura se define por (Easa, 1991a):

$$r_1 = \frac{AL_2}{L L_1} \quad (14)$$

$$r_2 = \frac{AL_1}{L L_2} \quad (15)$$

Donde:

- r_1 : Parámetro de curvatura del primer arco (m)
- r_2 : Parámetro de curvatura del segundo arco (m)
- A : Ángulo de deflexión (%)
- L_1 : Largo de desarrollo del primer arco de la curva (m)
- L_2 : Largo de desarrollo del segundo arco de la curva (m)
- L : Largo de desarrollo de la curva (m)

Para la distancia de visibilidad disponible se plantea cinco casos posibles que dependen de la geometría del alineamiento (Easa, 1991a).

a) Caso 1: El objeto este pasado el segundo arco y el conductor está en el segundo arco.

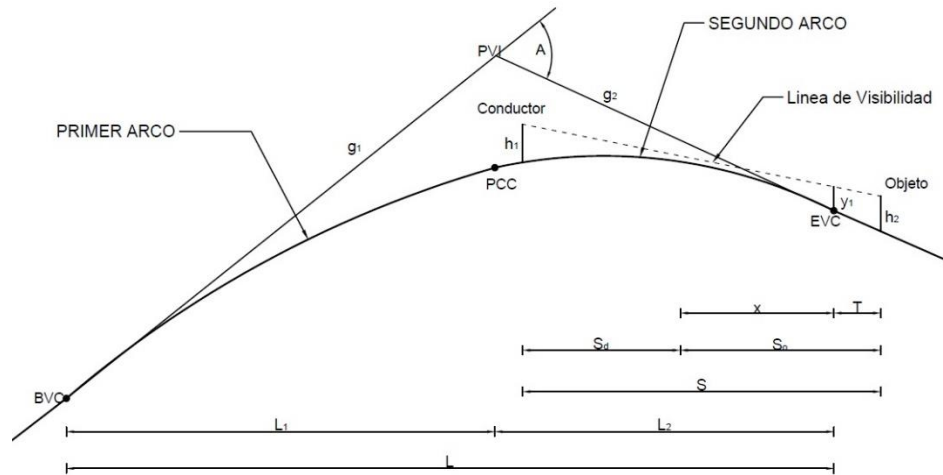


Figura N° 2.2 Representación del caso 1 (Easa, 1991a)

Donde:

- BVC : Inicio de la curva vertical
- EVC : Final de la curva vertical
- PVI : Vértice
- PCC : Punto de tangencia de ambos arcos

La distancia de visibilidad para este caso está dada por:

$$S = [T^2 + (2 h_2/r_2)]^{0.5} + (2 h_1/r_1)^{0.5} \quad (16)$$

Donde:

- S : Distancia de visibilidad total
- T : Distancia desde EVC al objeto

b) Caso 2: El objeto este pasado el segundo arco y el conductor está en el primer arco

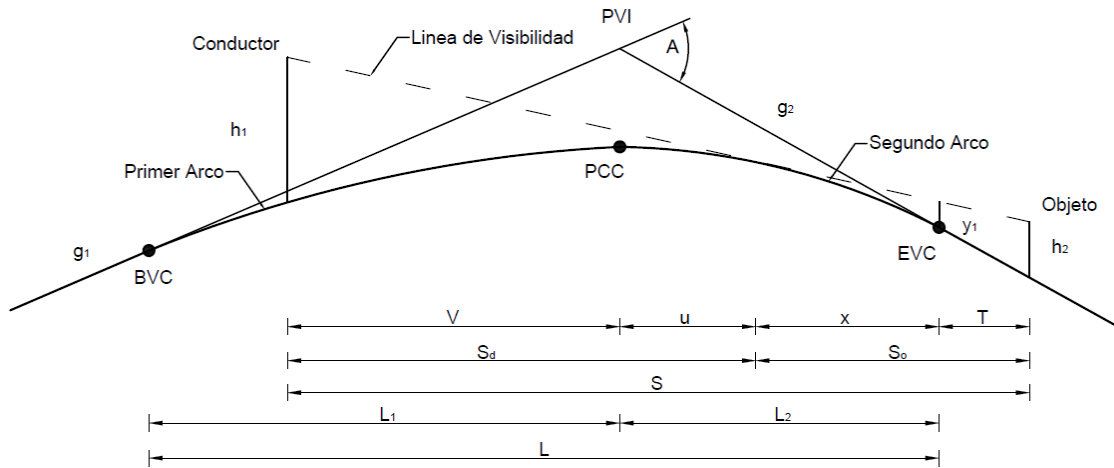


Figura N° 2.3 Representación del caso 2 (Easa, 1991a)

La distancia de visibilidad para este caso está dada por:

$$S = L_2 + T + [-r_2 u + (r_2^2 u^2 - r_1 r_2 u^2 + 2r_3 h_3)^{0.5}] / r_1 \quad (17)$$

c) Caso 3: El objeto esta pasado el segundo arco y el conductor está antes del primer arco.

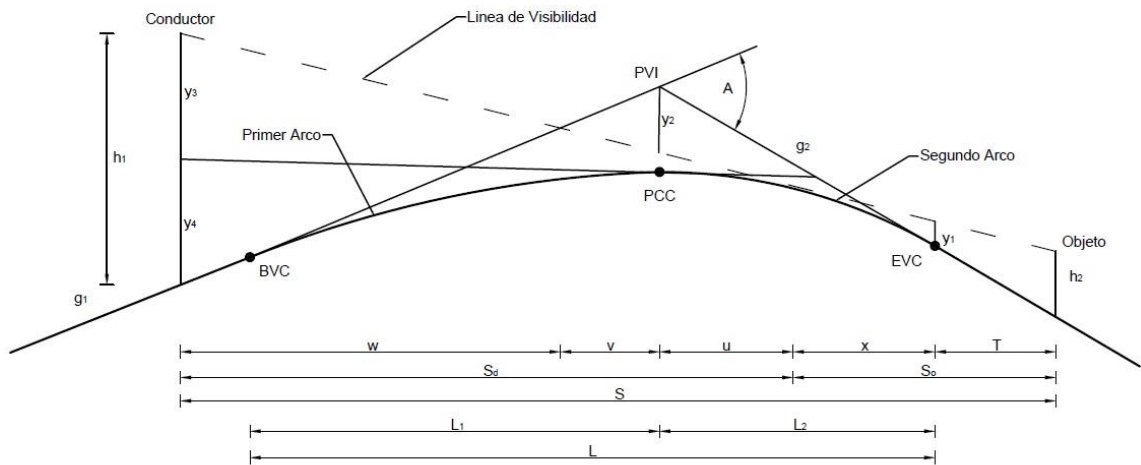


Figura N° 2.4 Representación del caso 3 (Easa, 1991a)

La distancia de visibilidad para este caso está dada por

$$S = T + L_2 + \{[r_2(L_2^2 - u^2)/2] + h_1\} / [A - r_2(L_2 - u)] \quad (18)$$

d) Caso 4: El objeto está antes de EVC y el conductor sobre el primer arco.

La geometría del caso 4 es muy similar al caso 2, sólo que el objeto está situado en el segundo arco a una distancia T' .

La distancia de visibilidad está definida por

$$s = L_2 - T' + \left[-r_2 u + (r_2^2 u^2 - r_1 r_2 u^2 + 2r_1 h_1)^{0.5} \right] / r_1 \quad (19)$$

e) Caso 5: El objeto esta antes de EVC y el conductor está antes de BVC.

La geometría del caso 5 es muy similar al caso 3, solo que el objeto está situado en el segundo arco a una distancia T' .

La distancia de visibilidad está definida por

$$S = T' + L_2 + \{ [r_2(L_2^2 - u^2)/2] + h_1 \} / [A - r_2(L_2 - u)] \quad (20)$$

Tanto para el caso 4 y 5 se incorpora una variable u que se define por

$$u = L_2 - T' - (2h_2/r_2)^{0.5} \quad (21)$$

Para este tipo de curva convexas asimétricas el diseño entrega distancias de visibilidad mínimas mayores a las comparadas con curvas simétricas, lo que lleva a que en este tipo curva el conductor sienta un mayor confort y seguridad (Solís, 1996).

2.2.5 Curvas verticales asimétricas cóncavas

Para las curvas cóncavas asimétricas, de igual forma que la anterior, la geometría es similar. Los parámetros característicos de este tipo de curvas se muestran en las ecuaciones (22), (23) y (24).

$$R = L_2/L \quad (22)$$

$$r_1 = \frac{(A/L)R}{(1 - R)} \quad (23)$$

$$r_2 = \frac{(A/L)(1 - R)}{R} \quad (24)$$

Uno de los parámetros que controla el diseño de los alineamientos cóncavos es la distancia de visibilidad por medio del haz de luz del automóvil, que considera todo tipo de

caso posible, donde la mínima distancia posible ocurre cuando el conductor está en EVC en alguno de los tres casos posibles.

Para todos los casos propuestos h_1 es la altura de los focos y α la divergencia del haz de luz del vehículo, el valor de y queda definido como:

$$y = h_1 + S_m \tan \alpha \quad (25)$$

a) Distancia de visibilidad es mayor que la longitud de la curva.

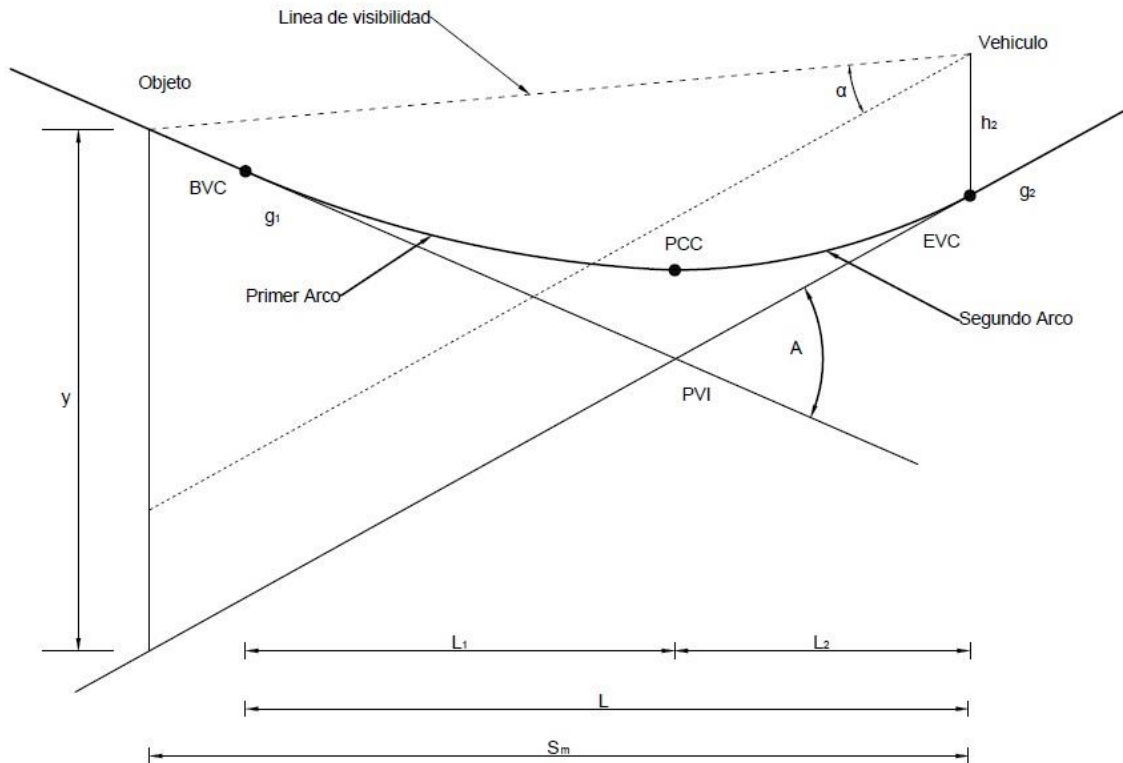


Figura N° 2.5 Visibilidad S_m mayor a la longitud de la curva L (Easa, 1991b).

Con la geometría definida en la figura 2.5, la componente y queda definida como

$$y = (S_m - L_2)A \quad (26)$$

Así el valor de L queda definido por:

$$L = (S_m/R) - (h_1 + S_m \tan \alpha)/RA \quad (27)$$

Todo para la condición en que $S_m \geq L$

- b) Distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva pero mayor a la longitud del arco pequeño.

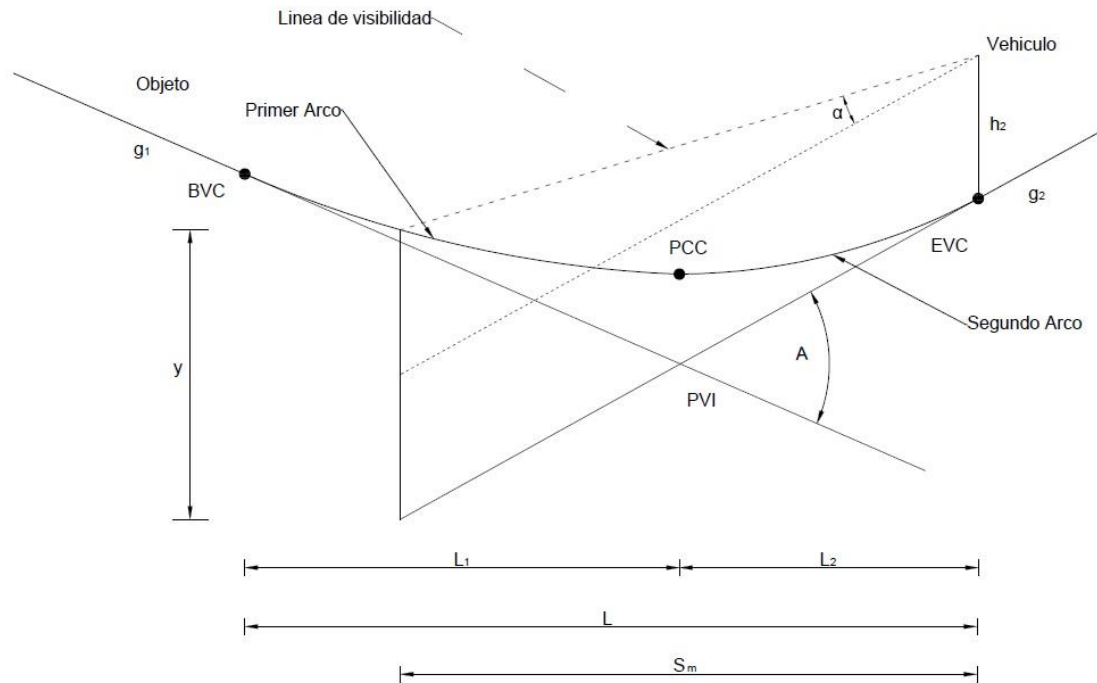


Figura N° 2.6 Visibilidad S_m mayor a la longitud del arco pequeño L_2 (Easa, 1991b).

Con la geometría definida en la figura 2.6, la componente y queda definida como

$$y = (S_m - L_2)A + r_1 (L - S_m)^2/2 \quad (28)$$

Así el valor de L queda definido por:

$$L = [-b + (b^2 - 4ac)^{0.5}]/2a \quad (29)$$

Donde:

$$a = (1 - 2R)RA$$

$$b = 2(1 - R)(h_1 + S_m \tan \alpha) - 2(1 - 2R)S_m A$$

$$c = -ARS_m^2$$

Todo para la condición en que $L_2 \leq S_m \leq L$

c) Distancia de visibilidad es menor que la longitud del arco menor

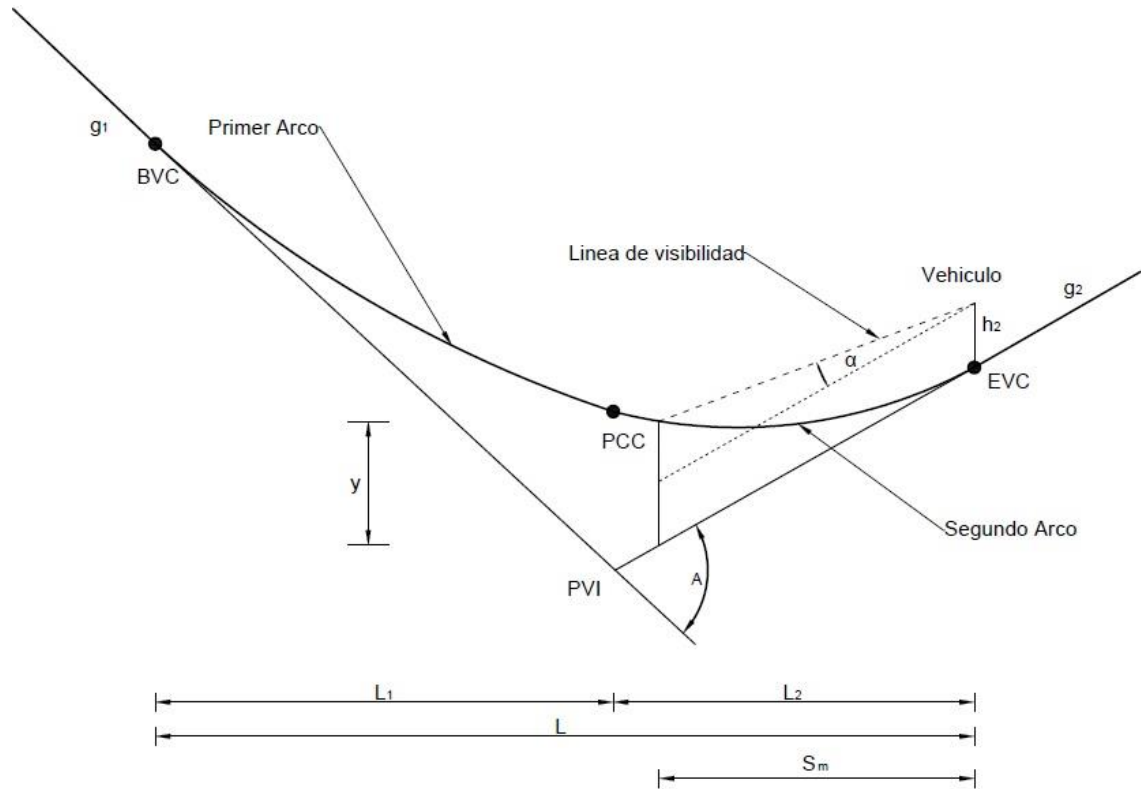


Figura N° 2.7 Visibilidad S_m menor a la longitud del arco pequeño L_2 (Easa, 1991b).

Con la geometría definida en la figura 2.7, la componente y queda definida como

$$y = r_2 S_m^2 / 2 \quad (30)$$

Así el valor de L queda definido por

$$L = [(1 - R)7R]AS_m^2 / 2(h_1 + S_m \tan \alpha) \quad (31)$$

Todo para la condición en que $S_m \leq L$

2.3 Los alineamientos verticales compuestos

Los alineamientos verticales compuestos se definen como la cercanía de los alineamientos verticales simples, curva convexa – cóncava que pueden estar unida por una tangente común entre las dos, además de las tangentes que anteceden y preceden a las dos curvas llamadas tangente de entrada y salida, la figura 1.3 muestra una representación simple de este tipo de alineamiento además de mostrar una zona de no visibilidad (ZNV) que

corresponde a la falta de continuidad visual del camino, esto se produce en caminos donde el trazado en planta es relativamente recto y donde la cresta de la curva convexa causa de forma natural una obstrucción visual de la continuidad de la curva cóncava.

2.3.1 Elementos de un alineamiento compuesto

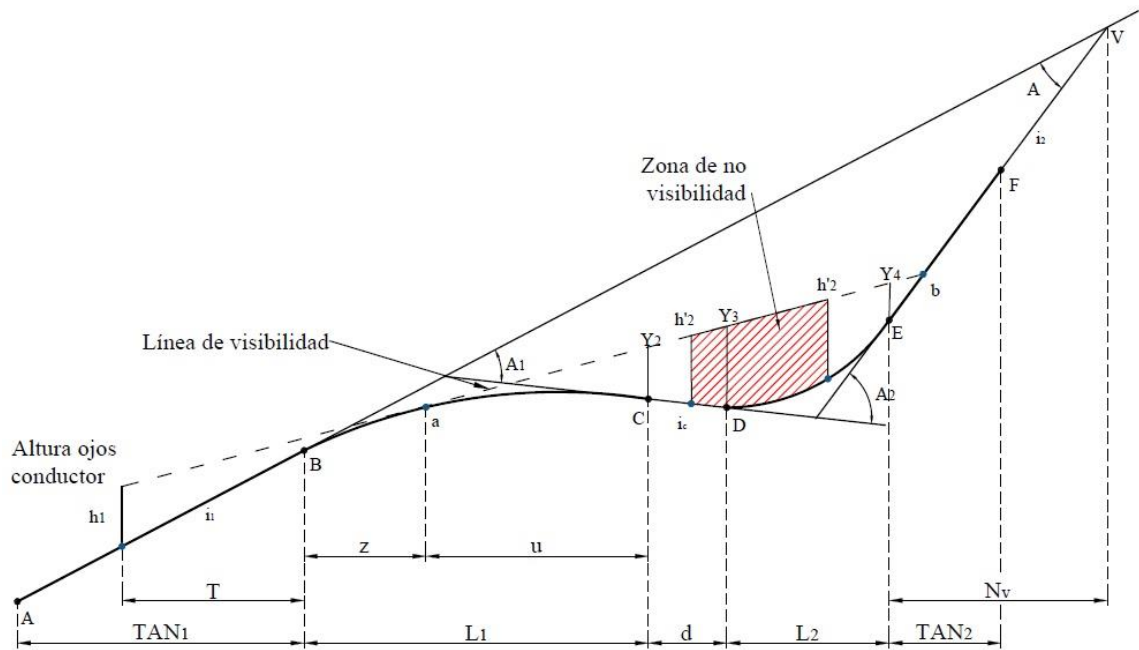


Figura N° 2.8 Representación gráfica de un alineamiento compuesto cuando $A > 0$ (Easa, 1994)

Los elementos que componen el alineamiento compuesto es definido por:

- T : Distancia desde B a la posición del conductor (m).
- L_1 : Longitud de la curva convexa (m).
- d : Longitud de la tangente común (m).
- L_2 : Longitud de la curva cóncava (m).
- TAN_1 : Longitud tangente anterior a la curva convexa (m).
- TAN_2 : Longitud tangente posterior a la curva cóncava (m).
- u : Distancia desde el punto a al C (m).
- z : Distancia desde el punto B al a (m).
- A_1 : Deflexión de la curva convexa (%).
- A_2 : Deflexión de la curva cóncava (%).
- A : Diferencia algebraica entre las deflexiones de las dos curvas (%).
- Y_i : Altura entre la línea de visibilidad y la rasante (m).
- i_1 : Pendiente de la tangente anterior a la curva convexa (%).
- i_2 : Pendiente de la tangente posterior a la curva cóncava (%).

- i_c : Pendiente de la tangente común (%).
- A : Punto de inicio de la recta de entrada.
- B : Punto de inicio de la curva convexa.
- C : Punto de término de la curva cóncava.
- D : Punto de inicio de la curva cóncava.
- E : Punto de término de la curva cóncava.
- F : Punto de término de la recta de salida.
- e : Punto de posición de la altura h'_2
- f : Punto de posición de la altura h'_2
- a : Punto de intersección entre la línea de visibilidad y la rasante sobre la curva convexa.
- b : Punto de intersección de la línea de visibilidad proyectada hacia la tangente de salida.
- h_1 : Altura de los ojos del conductor (m).
- h'_2 : Altura del vehículo opuesto (m).

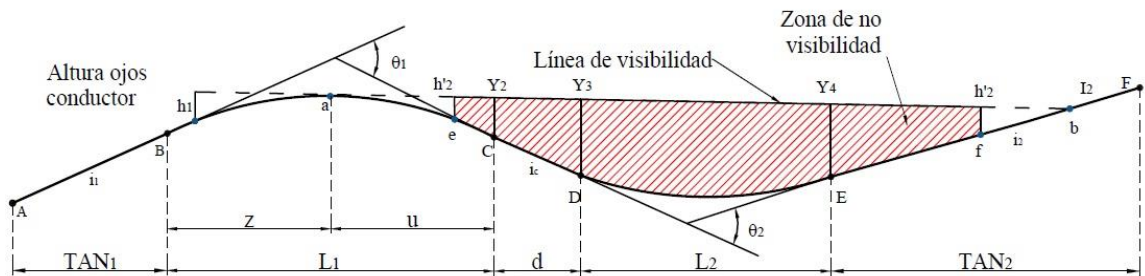


Figura N° 2.9 Representación gráfica de un alineamiento compuesto cuando $A < 0$ (Easa, 1994)

Dentro de los alineamientos compuestos estos pueden ser caracterizados por el parámetro A , que relaciona las deflexiones de ambos alineamientos, según:

$$A_1 = i_1 - i_c \quad (32)$$

$$A_2 = i_2 - i_c \quad (33)$$

$$A = A_2 - A_1 \quad (34)$$

En la figura 2.8, la tangente de entrada y la tangente de salida se intersectan en V , es decir que la zona de no visibilidad se producirá en la tangente de entrada en cualquier posición del conductor si la tangente de salida es lo demasiado larga para que esto ocurra.

Para la figura 2.9, la tangente de entrada y la tangente de salida son paralelas o se intersectan con la primera tangente, es decir que la zona de no visibilidad se producirá sólo cuando la línea de visibilidad intersecta la segunda tangente.

2.3.2 Relaciones geométricas de los alineamientos compuestos

- Radio de curvatura para las curvas convexa y cóncava,

$$r_1 = A_1/L_1 \quad (35)$$

$$r_2 = A_2/L_2 \quad (36)$$

- La inclinación de la línea de visibilidad está dada por

$$p = i_1 - r_1 z \quad (37)$$

Donde z es la distancia entre B y el punto de la tangente

$$z = T + [T^2 + (2h_1/r_1)]^{0.5} \quad T \leq 0 \quad (38)$$

$$z = T + [2h_1/r_1]^{0.5} \quad T \geq 0 \quad (39)$$

Entre la línea de visibilidad y la rasante de curva cóncava se definen tres alturas.

$$Y_2 = r_1 u^2 / 2 \quad (40)$$

$$Y_3 = Y_2 + r_1 u d \quad (41)$$

$$Y_4 = Y_3 + L_2 r_1 u - (r_2 L_2^2 / 2) \quad (42)$$

EL valor de u está dado por:

$$u = L_1 - z \quad (43)$$

2.3.3 Consideraciones de diseño

Los parámetros que deben ser considerarse para el diseño de dicho tipo de perfil son:

- a) Profundidad máxima (q^*)
- b) Posición del conductor en el fin de la ZNV (T_e)
- c) Posición del conductor al inicio de la ZNV (T_s)

a) Profundidad máxima

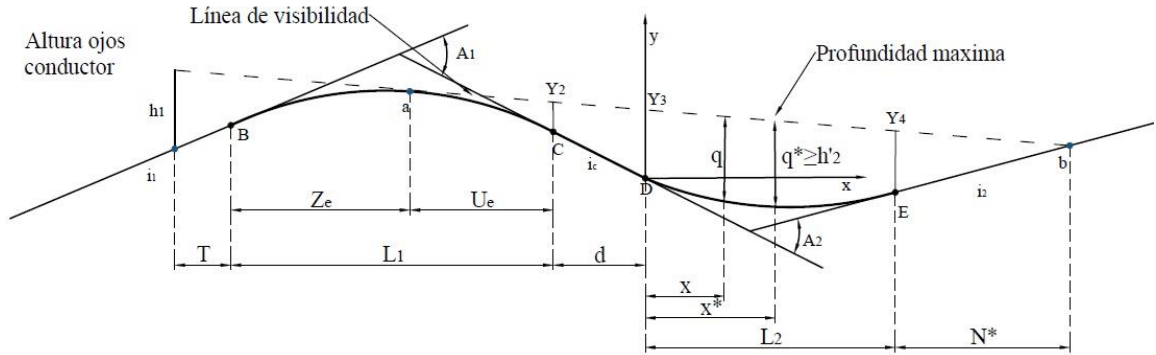


Figura N° 2.10 Condición de profundidad máxima en la ZNV (Easa, 1994)

La condición de máxima profundidad que se presenta en el alineamiento de la ZNV es definida por la ecuación (44), está ubicada a una distancia x^* definida por la ecuación (45).

$$q^* = \frac{1}{2} \left[r_1 + \left(\frac{r_1^2}{r_2} \right) \right] u^2 + r_1 du \geq h'_2 \quad (44)$$

$$x^* = r_1 u / r_2 \quad (45)$$

Particularmente para el análisis de este tipo de alineamientos la altura del vehículo opuesto es descrita por h'_2 definida por:

$$h'_2 = (1 - f_v) h_2 \quad (46)$$

Donde f_v es un factor de visibilidad que varía entre los rangos de 0,1 a 0,3.

b) Posición del conductor para el fin de la zona de no visibilidad

Es la posición del conductor cuando al terminar la ZNV, produciéndose cuando la profundidad máxima q^* alcanza el valor de h'_2 dentro de la zona de no visibilidad, para eso se utiliza $u = u_e$ es definido por:

$$u_e = [-B + (B^2 - 4C)^{0.5}] / 2 \quad (47)$$

Los valores intermedios de u_e corresponden a $B = 2r_1 r_2 d / (r_1^2 + r_1 r_2)$ y $C = -2r_1 h'_2 / (r_1^2 + r_1 r_2)$.

El valor es negativo si el conductor está situado sobre la curva convexa.

c) Posición del conductor para el inicio de la zona de no visibilidad

Es la posición del conductor cuando esta sobre la primera mitad de la curva convexa o en su lugar sobre la tangente de entrada, este es medido desde el punto B, cuando la línea de visibilidad es cortada por la cresta de la curva convexa cuando $u = u_s$.

En condiciones en que $TAN_2 \leq Nv$, como se muestra en la figura 2.14 con Nv dado por:

$$Nv = \left[\left(\frac{r_1 L_1^2 - r_2 L_2^2}{2} \right) + r_1 L_1 (d + L_2) \right] / A \quad (50)$$

Los valores de T_s se obtiene a partir de las ecuaciones (49) remplazando z_e por:

$$z_s = L_1 - u_s \quad (51)$$

El valor de u_s es la distancia desde A hasta C, es definido como:

$$u_s = \left[-B + (B^2 - 4C)^{1/2} \right] / 2 \quad (52)$$

Los valores intermedios de u_s corresponden a $B = 2(d + L_2 + TAN_2)$ y $C = -r_2 L_2 (L_2 + 2TAN_2) / r_1$.

Cuando $TAN_2 \geq Nv$, como se muestra en la figura 2.13 el valor de T_s es:

$$T_s = TAN_1 \quad (53)$$

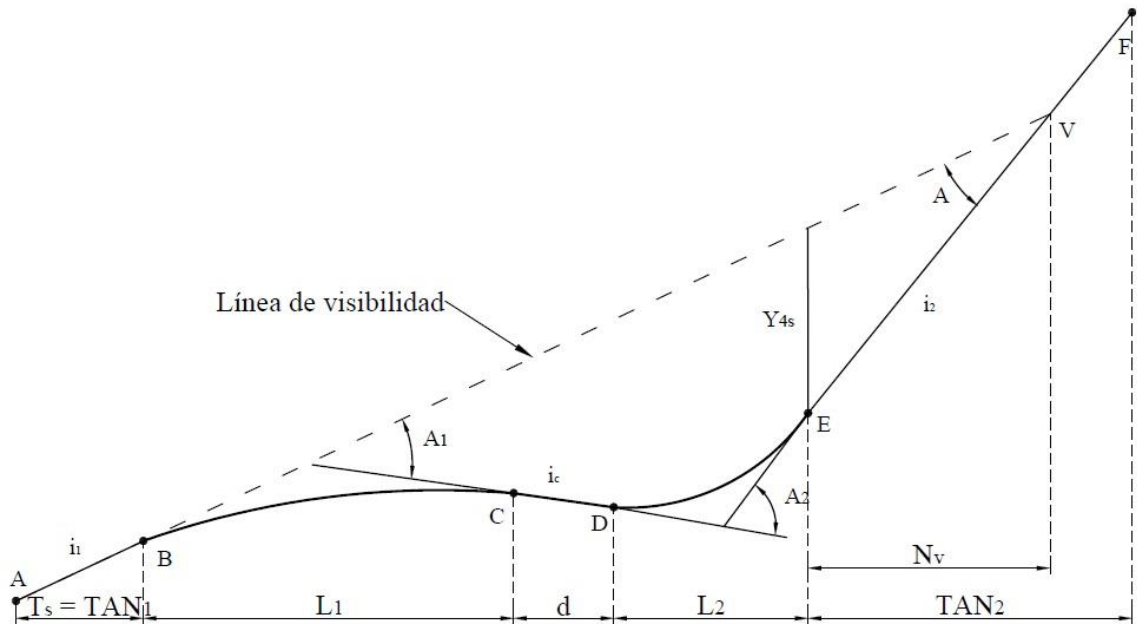


Figura N° 2.13 Representación geométrica de T_s en la condición de $TAN_2 \geq Nv$ (Easa, 1994)

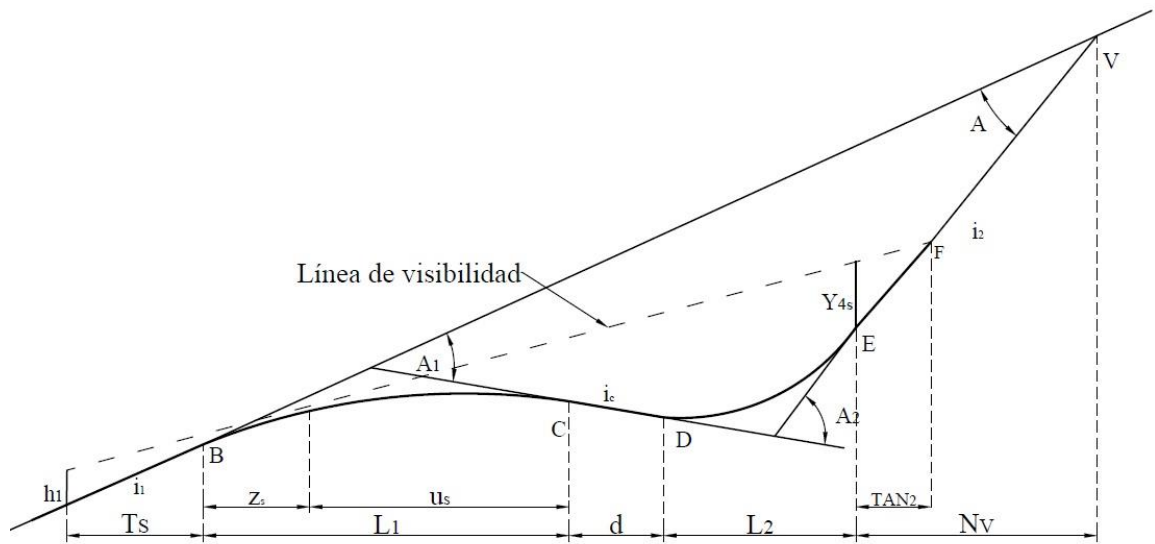


Figura N° 2.14 Representación geométrica de T_s en la condición de $TAN_2 < N_V$ (Easa, 1994)

2.3.4 Parámetros que evitan la zona de no visibilidad

Para la existencia de las llamadas zonas de no visibilidad existen casos o condiciones donde es probable la aparición de estas. La figura 2.15 representa de forma general los casos posibles para evitar la aparición de la falta de visibilidad.

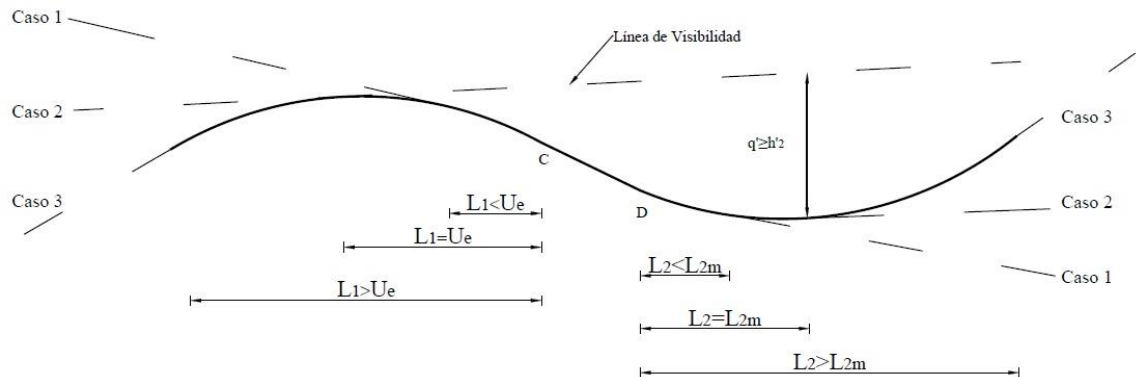


Figura N° 2.15 Representación de los tres casos para evitar la ZNV (Easa, 1994)

a) Largo del arco convexo, u_e

La diferencia entre la inclinación de la línea de visibilidad y la primera pendiente es definido por Δp_1 :

$$\Delta p_1 = r_1(L_1 - u_e) \quad (54)$$

Existen tres casos posibles para el largo de la curva convexa.

- Caso 1: $L_1 < u_e$ ($\Delta p_1 < 0$)
- Caso 2: $L_1 = u_e$ ($\Delta p_1 = 0$)
- Caso 3: $L_1 > u_e$ ($\Delta p_1 > 0$)

Cuando Δp_1 es mayor que cero se presenta la posible existencia de la ZNV.

b) Largo del arco cóncavo, L_{2m}

La diferencia entre la inclinación de la línea de visibilidad y la pendiente de salida es definidos por Δp_2 :

$$\Delta p_2 = r_2 L_2 - r_1 u_e \quad (55)$$

El largo de curva cóncava es definido por

$$L_{2m} = \frac{r_1 u_e}{r_2} \quad (56)$$

Existen tres casos posibles para el largo de la curva cóncava.

- Caso 1: $L_2 < L_{2m}$ ($\Delta p_2 < 0$)
- Caso 2: $L_2 = L_{2m}$ ($\Delta p_2 = 0$)
- Caso 3: $L_2 > L_{2m}$ ($\Delta p_2 > 0$)

Cuando Δp_2 es mayor que cero se presenta la posible existencia de la ZNV.

c) Largo de la segunda tangente, N^*

Cuando los caso 3 de ambas condiciones anteriores se dan, la condición para que exista la ZNV está dada por el largo de la recta que sigue a la curva cóncava. Esta no existirá si

$$TAN_2 < N^* \quad (57)$$

Donde N^* está definido por:

$$N^* = y_4^* / (r_2 L_2 - r_1 u_e) \quad (58)$$

e y_4^* está definido por:

$$y_4^* = TAN_2 (r_2 L_2 - r_1 u_s) \quad (59)$$

2.3.5 Método de análisis de ZNV

Existen dos condiciones fundamentales para la existencia de las ZNV.

La primera es:

$$L_1 > u_e \wedge L_2 > L_{2m} \quad (60)$$

La condición uno deberán cumplirse para que exista la posibilidad de existencia de zona de no visibilidad, de lo contrario no existe.

La segunda es:

$$TAN_2 > N^* \quad (61)$$

La segunda condición deberá cumplirse para la existencia de una zona de no visibilidad, de lo contrario no.

Principalmente considera los parámetros de diseño y los parámetros que condicionan la existencia (Easa, 1994).

También es asociado a que el método no presta atención al largo total de la ZNV, solamente al inicio T_s y fin T_e de este cuando el conductor esta sobre a recta de entrada o en la curva convexa.

La forma de desarrollar el análisis de las depresiones ocultas esta dado de la siguiente forma presentada en diez pasos.

- 1) Verificar que el alineamiento vertical es horizontalmente recto.
- 2) Diseño del alineamiento vertical
 - a) Curva convexa

i_1 : Pendiente de entrada
 i_c : Pendiente común
 θ : Diferencia algebraica
 $2T$: Desarrollo de la curva
 R : Radio de curvatura

- b) Curva cóncava

i_2 : Pendiente de entrada

- i_c : Pendiente común
- θ : Diferencia algebraica
- $2T$: Desarrollo de la curva
- R : Radio de curvatura

- 3) Variables representativas de la ZNV
 - a) Determinar la longitud de la recta de entrada TAN_1 y de la recta de salida TAN_2 .
 - b) Determinar la magnitud de la tangente común, d .
 - c) Calcular los parámetros A_1 y A_2 .
 - d) Escoger un factor de visibilidad f_s , considerando la propuesta de Solís (1996) que lo plantea según el tipo de camino a evaluar.
- 4) Calcular los parámetros r_1 y r_2 .
- 5) Calcular los parámetros u_e y L_{2m} .
- 6) Verificación de la primera condición de existencia de la ZNV, que corresponde a las ecuaciones 1 y 2, que es que el largo de desarrollo de la curva convexa sea mayor a u_e y a la vez que el largo de desarrollo de la curva cóncava sea mayor a L_{2m} . Si la verificación es verdadera se plantea que es posible la existencia de la depresión oculta en el perfil de diseño.
- 7) Calcular N^* .
- 8) Verificar la segunda condición de existencia de la ZNV, que corresponde a la ecuación 3, que el largo de la tangente de salida sea mayor a N^* , para la existencia de la SHD.
- 9) Verificar condiciones
 - a) Calcular N_v
 - b) Verificar la condición $TAN_2 > N_v$

Si esta es falsa $T_s = TAN_1$ y con eso calcular T_e y R .

De ser verdadera seguir con el paso 10.
- 10) Calcular u_s y con eso definir T_s y T_e para tener obtener el valor de R .

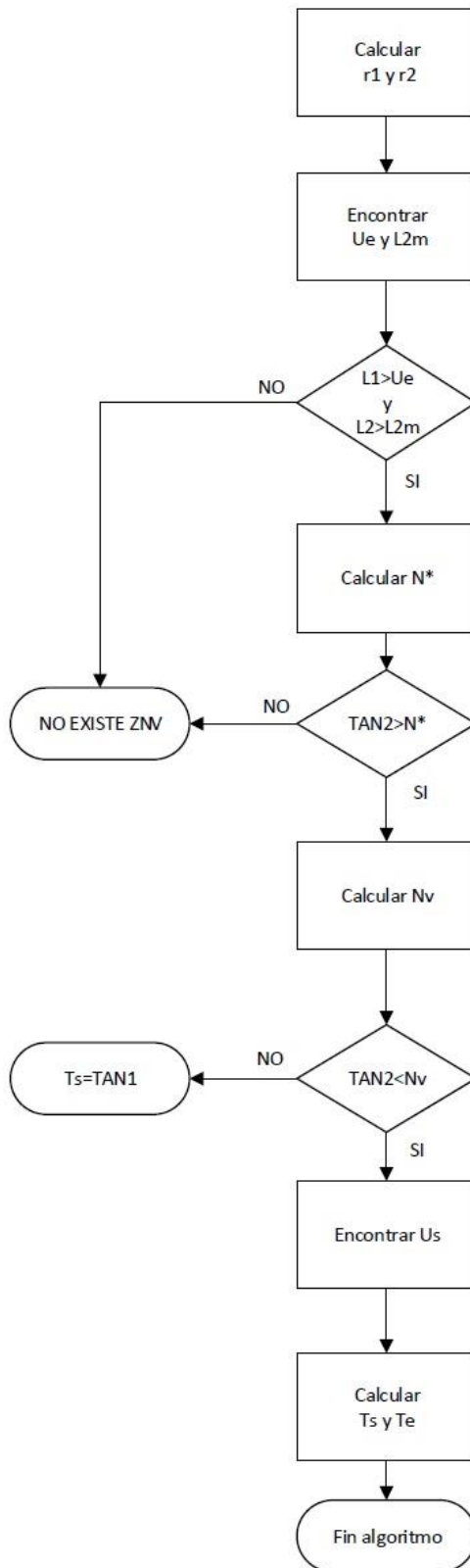


Figura N° 2.16 Diagrama de flujo del método de Easa (Easa, 1994)

2.4 Análisis del algoritmo de Easa

Para el algoritmo de Easa (1994) que analiza la ocurrencia de depresiones ocultas en alineamientos compuestos, fueron desarrollados dos trabajos en Chile que estudian la ocurrencia en relación a la variación de los parámetros existentes en las depresiones ocultas y la fiabilidad del método de diseño.

Solís (1996) evaluó los parámetros que afectan la existencia de depresiones ocultas, uno de los análisis que realizó fue la influencia de distintos valores del factor de visibilidad f_v en un rango de 0.1 - 0.3, para ver el comportamiento de los parámetros que condicionan la existencia de las depresiones ocultas.

Para este análisis del factor de visibilidad f_v , determinó que los parámetros de decisión u_e y L_{2m} no se ven afectados de manera significativa por las variaciones del valor de f_v . En cambio N^* , dependerá si la magnitud de este es o no comparable con la tangente de salida, en tal caso los valores de f_v deberían variar según el tipo de camino que se evaluará, con eso relaciona las pendientes de las tangentes y el valor de f_v a una velocidad de proyecto. Por otro lado el rango de visibilidad R aumenta directamente en relación a que f_v es mayor, asociado a que los valores de la altura h'_2 son menores y la profundidad que puede tener la depresión oculta sea menor.

Si bien la variación de R disminuye cuando se va aumentando la velocidad de proyecto sigue siendo influyente f_v sobre este, por lo que la adecuada elección de ese parámetro aumenta la visibilidad del conductor que está en la curva convexa, sino también que mientras el valor de f_v es menor el análisis de depresiones ocultas es más exigente.

Dentro de las recomendaciones presentadas por Solís (1996) se dice que para condiciones normales de diseño donde se diseña por visibilidad de parada y velocidades para un camino local es recomendable usar valores de factor de visibilidad iguales a 0.2.

En los análisis presentados se plantea cómo influye la tangente común d , con eso el rango de visibilidad tiende a disminuir cuando la tangente común es de magnitudes superiores, esto considera valores sobre los 1.000 m lo que hace que tenga una tendencia a cero para valores mayores. El comportamiento de los parámetros de decisión varían fuertemente al momento en que el perfil logra que las dos curvas estén próximas entre sí.

Otro de los trabajos realizados en Chile corresponde al de Venegas (1997) que determinó la fiabilidad del método de diseño por medio de una evaluación técnica y económica de él, en relación a tres categorías de caminos Desarrollo, Colector y Autopista, con velocidades y pendientes que corresponden a cada categoría.

Los parámetros que él analizó fueron la pendiente de entrada, pendiente de salida, tangente común, tangente de entrada y la tangente de salida, donde hacía variar un sólo parámetro y todos los demás eran fijos, realizando un total de ocho conjugaciones para el análisis.

A las conclusiones que llegó fueron que el rango de visibilidad R tiene un comportamiento similar en los distintos tipos de configuraciones, variando sólo la magnitud de este, cuando mayor es la deflexión de las curvas el valor va aumentando, aun cuando se hace variar la categoría de camino, velocidad de proyecto y el factor de visibilidad que toma un valor 0.2 excepto para el camino de Desarrollo que es de 0.15.

Además cuando se presenta el caso en que N_v sea menor que $TAN2$, existe la posibilidad de reducir R disminuyendo el valor de $TAN1$, esto sólo altera la ubicación del comienzo de la depresión oculta no mejorando la visibilidad en el camino. Bajo la misma condición se puede seguir disminuyendo R aumentando el valor de d .

Dentro del análisis se presentan condiciones favorables como lo es cuando la deflexión de las curvas toma valores iguales o muy cercanos es ahí cuando el rango de visibilidad es mínimo para todas las condiciones presentadas de análisis.

Pero para no presentar el problema de la depresión oculta este puede ser abordado de dos maneras: uno es por medio que los parámetros de decisión sean modificados y el otro es hacer coincidir los valores del inicio y fin de la depresión oculta, eso implica que R sea cero lo que hace que la solución sea más eficiente o incluso que tome valores negativos implicando que la visibilidad del camino se produce desde la curva anterior al estudio, es decir de la curva convexa anterior.

La seguridad ha llevado a replantear la forma de diseñar los caminos, donde los elementos diseñados de forma aislada no solo se deben diseñar de esa forma si no considerando los tres niveles: la proyección horizontal, vertical y la sección transversal.

Con esa idea es que Kühn y Jha (2010) presentaron una investigación que considera el camino como una alineación tridimensional del camino que se obtiene a partir de la superposición de los tres niveles de diseño de las proyecciones de diseño tradicional. El proyecto de investigación ha llevado a cabo una metodología para comprobar objetivamente la alineación tridimensional, de forma de plantear factores de verificación cuantitativos que se superponen al comportamiento del conductor y se combinan con los criterios cualitativos, que se derivan de la perspectiva de imágenes que tienen la intención de ser utilizadas para la verificación de los diseños.

En relación a la pérdida de visibilidad del trazado del camino, que relacionan las proyecciones verticales y horizontales, se presentan dos tipos de pérdidas.

- Depresiones
- Saltos

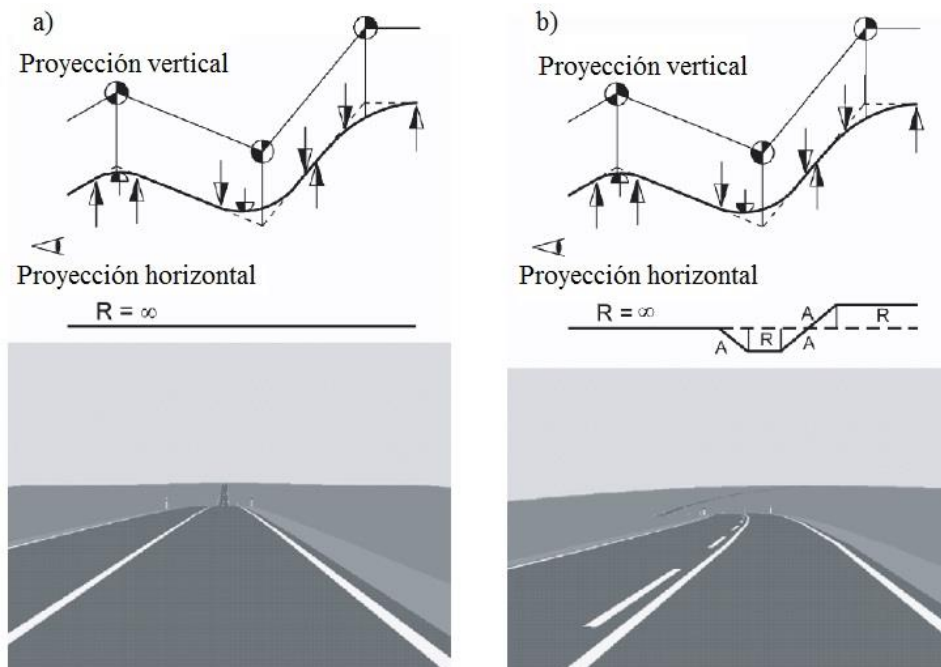


Figura N° 2.17 Representación gráfica de a) Depresiones y b) Saltos (Kühn y Jha, 2011).

Las depresiones es lo que hasta ahora se ha presentado como zonas de no visibilidad. Los saltos se producen cuando un punto ciego aparece en la secuencia de la cresta de la curva convexa y la bajada hacia una curva cóncava, pero en la proyección horizontal no existe una recta, sino una secuencia de curvas (radios o clotoides) como lo muestra la figura 2.17 parte b.

Para la consideración de las depresiones ocultas se consideró esta situación con una altura de los ojos del conductor de 1.0 m, considerando que estos se caracterizan por su profundidad y longitud se tomó la decisión de tomar valores de 0.75 m y 75 m respectivamente.

Ellos identificaron que para los puntos ciegos serían críticos si estos excedían a valores de profundidad mayores a 0.75 m (S_d) con esto donde se alcanza a ver el camino en al menos tres lugares, donde solamente los conductores pueden ver el camino no más de 600 m, como en la figura 2.18.

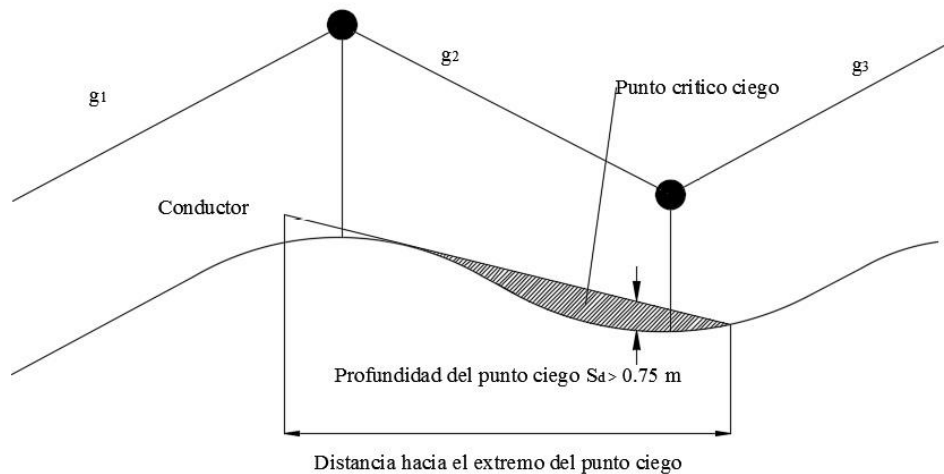


Figura N° 2.18 Condición crítica de visibilidad del camino $S \leq 600$ m (Kúhn y Jha, 2011).

Otra investigación que se relaciona con la falta de visibilidad en el camino es la realizada por Santos-Berbel y Castro (2015) que utiliza el sistema de información geográfica (SIG) para obtener la distancia de visibilidad real e identificación de depresiones ocultas en el trazado.

En relación con la investigación realizada se obtuvieron parámetros de un camino existente, y con ellos se realizó un análisis utilizando los datos SIG más los estándares

españoles ($h_1=1.1$ m , $h_2= 0.2$ m), además los que proporciona la norma alemana H-ViSt ($h_1=1.0$ m, $h_2=0.75$ m, $q^*=0.75$ m) y también utilizando el método de Easa con valores de la norma española ($h_1=1.1$ m , $h_2= 0.2$ m), para obtener los rango de visibilidad, la distancia total de visibilidad disponible desde los ojos del conductor hasta el punto que la línea de visibilidad toca la rasante, la distancia desde a hasta b y la profundidad máxima.

Con los valores obtenidos del análisis anterior ellos correlacionaron esos valores con el índice de reaparición de trazado I_{HD} , para presentar una ecuación que evaluara la aparición de depresiones ocultas, sin necesidad de realizar las verificaciones que propone Easa (1996).

Con lo planteando se postula evaluar los caminos por nivel de servicio, es decir por el nivel de seguridad que puede entregar el diseño del trazado al conductor, donde este se sienta seguro de realizar maniobras como lo es la de adelantamiento o de parada.

Además de plantean que para mejorar la seguridad en las secciones donde existe depresiones ocultas, se recomienda aumentar el radio de la curva convexa y cóncava para así disminuir la profundidad del tramo no visible, sin embargo al aumentar el radio de la curva convexa se hace aumentar el rango de visibilidad R , por otro lado plantean que es aconsejable que el largo de la tangente común sea lo más corto posible, así la profundidad y el rango de visibilidad disminuirá considerablemente.

Capítulo 3: Análisis de la zona de no visibilidad

El análisis consideró la existencia de ZNV, usando las ecuaciones (60) y (61) que son criterios de existencia, además de incorporar las condiciones adicionales de existencia que corresponden a que la profundidad máxima en ambas condiciones tanto de entrada como de salida sea mayor a la altura del vehículo opuesto.

$$q_e^* \geq h_2 \tag{62}$$

$$q_s^* \geq h_2 \tag{63}$$

3.1 Análisis en la condición de entrada

Para esta condición de análisis se considera que el conductor empieza a visualizar la falta de visibilidad en el camino, es decir que el vehículo está sobre la tangente de entrada o sobre la primera mitad de la curva convexa. Para esta situación se considera que la distancia desde la intersección de la línea de visibilidad con la rasante hasta el término de la curva convexa toma el valor:

$$u = u_s \tag{64}$$

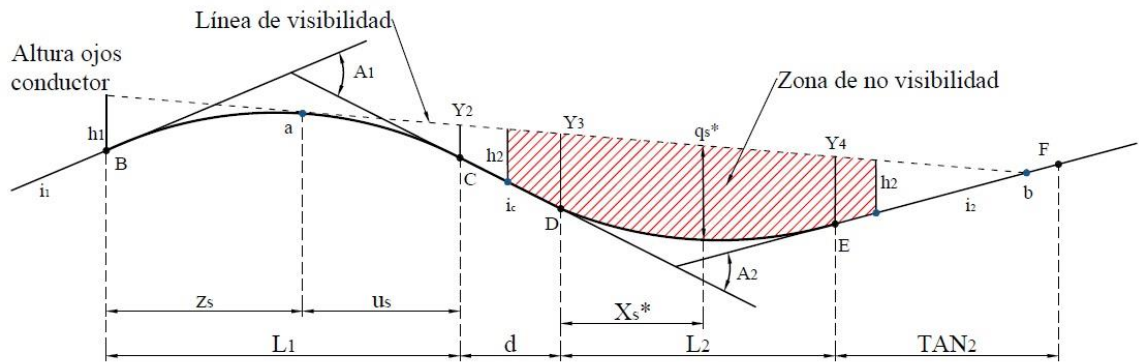


Figura N° 3.1 Representación de la zona de no visibilidad en la condición de entrada.

El análisis de la zona de no visibilidad contempla en ver esta zona como un área delimitada por la línea de visibilidad del conductor y la línea de la rasante del camino, entre las alturas h_2 en los extremos, esto puede ser definido usando la siguiente ecuación (62).

$$A_{ZNV} = \int y_{sight}(x) - y_{road}(x) dx \quad (65)$$

Done:

A_{ZNV} : Área de la zona de no visibilidad

y_{sight} : Línea de visibilidad

y_{road} : Línea de la rasante del camino

En el análisis se utilizó una aproximación del área de la ZNV, esto por medio del área del polígono que formaría las tres alturas que se presentan entre la diferencia de la línea de visibilidad y la rasante del camino, h_2 y q_s^* , por este medio se simplifica la forma de cálculo de área, pero a la vez se incide en un error voluntario por la aproximación de líneas curvas a rectas que se representa en la figura 3.2.

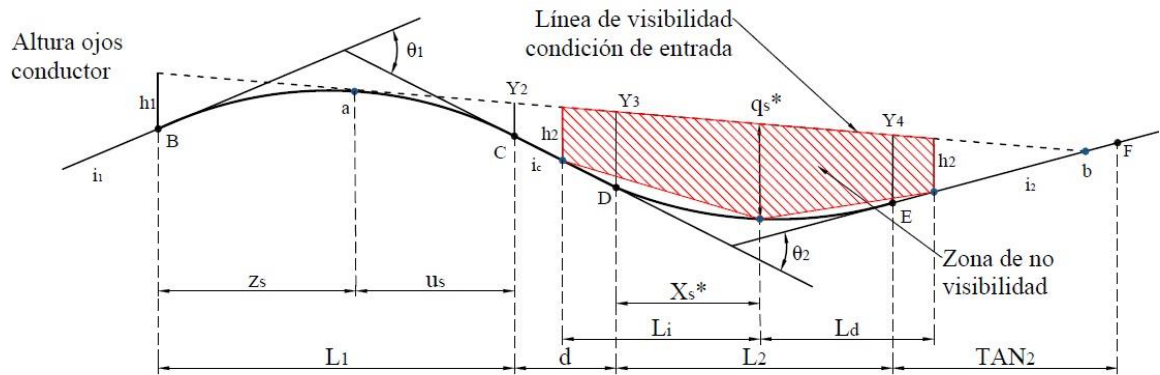


Figura N° 3.2 Área aproximada de la ZNV en la condición de entrada.

El área aproximada de la zona de no visibilidad se calcula con la ecuación (69).

$$A_{ZNV} = \left(\frac{(h_2 + q_s^*)}{2} L_d \right) + \left(\frac{(h_2 + q_s^*)}{2} L_i \right) = \frac{(h_2 + q_s^*)}{2} (L_d + L_i) \quad (66)$$

Para obtener los valores de L_d y L_i , lo primero es determinar la ubicación dentro del perfil de las alturas h_2 , para este tipo de análisis se necesita saber las diferencias de altura entre la línea de visibilidad y la rasante, con las ecuaciones (40), (41) y (42) donde

$u = u_s$, y poder determinar la ubicación de las dos alturas h_2 donde se pueden encontrar varias posibilidades de la ubicación de esta altura.

La Para ubicación de h_2 posterior a q_s^* .

- $Y_{4s} \geq h_2$, posición de h_2 dentro de la recta de salida

$$xh2d = (h_2 - Y_{4s})/((\theta_1 - \theta_2) - r_1 (L_1 - u_s)) \quad (67)$$

Así el valor de $Ld = xh2d + (L_2 - x_s^*)$.

- $Y_{4s} \leq h_2$, posición de h_2 dentro de la curva cóncava a la derecha

$$-r_2(xh2d^2)/2 + (\theta_2 - \theta_1 + (r_1 (L_1 - u_s))) xh2d + Y_{4s} - h_2 \quad (68)$$

Así el valor de $Ld = xh2d - x_s^*$.

Para la condición de entrada también en necesaria la ubicación de h_2 antes de q_s^* .

- $Y_{3s} < h_2$, posición de h_2 dentro de la curva cóncava a la izquierda

$$-r_2(xh2i^2)/2 + (\theta_1 - (r_1 (L_1 - u_s))) xh2di + Y_{3s} - h_2 \quad (69)$$

Así el valor de $Li = x_s^* - xh2i$.

- $Y_{3s} \geq h_2$ y $Y_{2s} < h_2$, posición de h_2 dentro de la tangente común

$$xh5i = (h_2 - Y_{2s})/((\theta_1) - r_1 (L_1 - u_s)) \quad (70)$$

Así el valor de $Li = x_s^* + xh2i$.

- $Y_{2s} \geq h_2$, posición de h_2 es dentro de la curva convexa

$$r_1(xh2i^2)/2 + ((r_1 (L_1 - u_s)) - \theta_1) xh2di + Y_{2s} - h_2 \quad (71)$$

Así el valor de $Li = x_s^* + d + xh2i$.

3.2 Análisis en las condiciones de entrada y salida

Para esta condición de análisis se considera que el conductor termina de visualizar la falta de visibilidad en el camino, es decir que le vehículo está sobre la curva. Para esta situación se considera que la distancia desde la intersección de la línea de visibilidad con la rasante hasta el término de la curva convexa toma el valor:

$$u = u_e \quad (72)$$

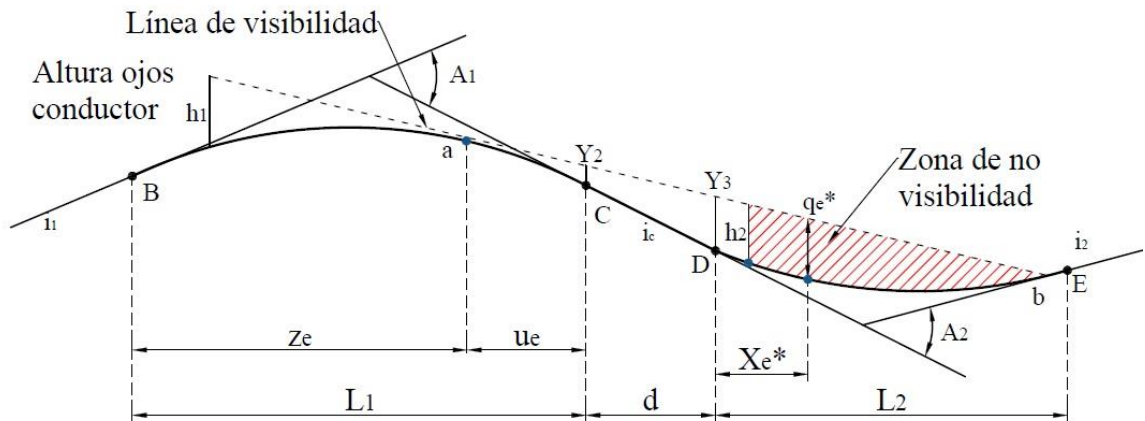


Figura N° 3.3 Representación de la zona de no visibilidad en la condición de salida.

La figura 3.3 muestra la condición de salida con el valor de u_e , con una profundidad máxima q_e^* a una distancia x_e^* desde el punto D, que corresponde a los valores en la condición de salida de la zona de no visibilidad.

Para este análisis se contemplan las dos condiciones cuando el conductor empieza a visualizar la falta de visibilidad del camino y cuando este vuelve a visualizar la continuidad del camino, de igual forma que para el otro tipo de análisis el área de la ZNV puede ser calculada por el área de un polígono que considera las alturas h_2 , q_s^* y q_e^* , pero a la vez se incide en un error voluntario por la aproximación de líneas curvas a rectas que se representa en la figura 3.4.

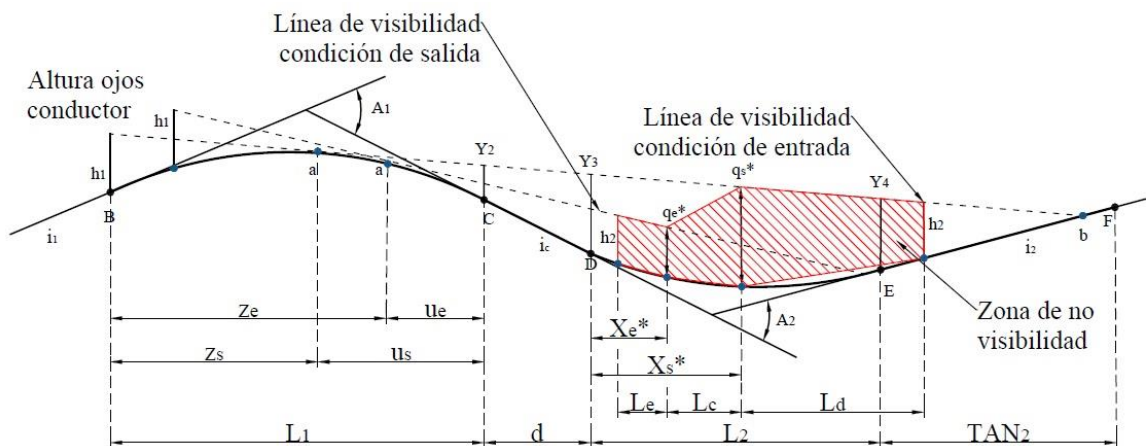


Figura N° 3.4 Aproximación del área de la ZNV en condición de entrada y de salida.

El área aproximada de la zona de no visibilidad es calculada por la siguiente expresión

$$A_{zona\ roja} = \left(\frac{(h_2 + q_e^*)}{2} L_e \right) + \left(\frac{(h_2 + q_s^*)}{2} L_i \right) + \left(\frac{(q_e^* + q_s^*)}{2} L_c \right) \quad (73)$$

Del análisis anterior ocupamos el área que está definida por la distancia L_d , para este análisis se ocupa dos nuevas distancias L_e y L_c , que son las distancias entre las alturas x_{h2e} y x_e^* , y la distancia entre x_s^* y x_e^* .

Para obtener los valores de L_d y L_i , lo primero es determinar la ubicación dentro del perfil de la altura h_2 , para este tipo de análisis se necesita saber las diferencia de altura entre la línea de visibilidad y la rasante, con las ecuaciones (40), (41) y (42) donde $u = u_e$, y poder determinar la ubicación de la altura h_2 donde se pueden encontrar varias posibilidades de la ubicación de esta altura.

Para este tipo de análisis se produce que la altura h_2 puede encontrarse en varias posiciones dentro del perfil con esto teniendo varios valores de x_{h2e} .

- $Y_{3e} < h_2$, posición de h_2 dentro de la curva cóncava a la izquierda

$$-r_2(x_{h2e}^2)/2 + (\theta_1 - (r_1 (L_1 - u_e))) x_{h2e} + Y_{3e} - h_2 \quad (74)$$

Así el valor de $L_e = x_s^* - x_{h2e}$.

- $Y_{3e} \geq h_2$ y $Y_{2e} < h_2$, posición de h_2 dentro de la tangente común

$$x_{h2e} = (h_2 - Y_{2e}) / ((\theta_1) - r_1 (L_1 - u_e)) \quad (75)$$

Así el valor de $L_e = x_s^* + x_{h2e}$.

- $Y_{2e} \geq h_2$, posición de h_2 es dentro de la curva convexa

$$r_1(x_{h2e}^2)/2 + ((r_1 (L_1 - u_e)) - \theta_1) x_{h2e} + Y_{2e} - h_2 \quad (76)$$

Así el valor de $L_e = x_s^* + d + x_{h2e}$.

Y el valor de $L_c = x_s^* - x_e^*$, es la diferencia entre la ubicación de las dos profundidades máximas de ambas condiciones, $q_s^*(x_s^*)$ y $q_e^*(x_e^*)$.

Para la propuesta de ambos métodos presentados se realizó una rutina por medio del programa *Matlab R2013a* ® que es demostrada por la figura 3.5.

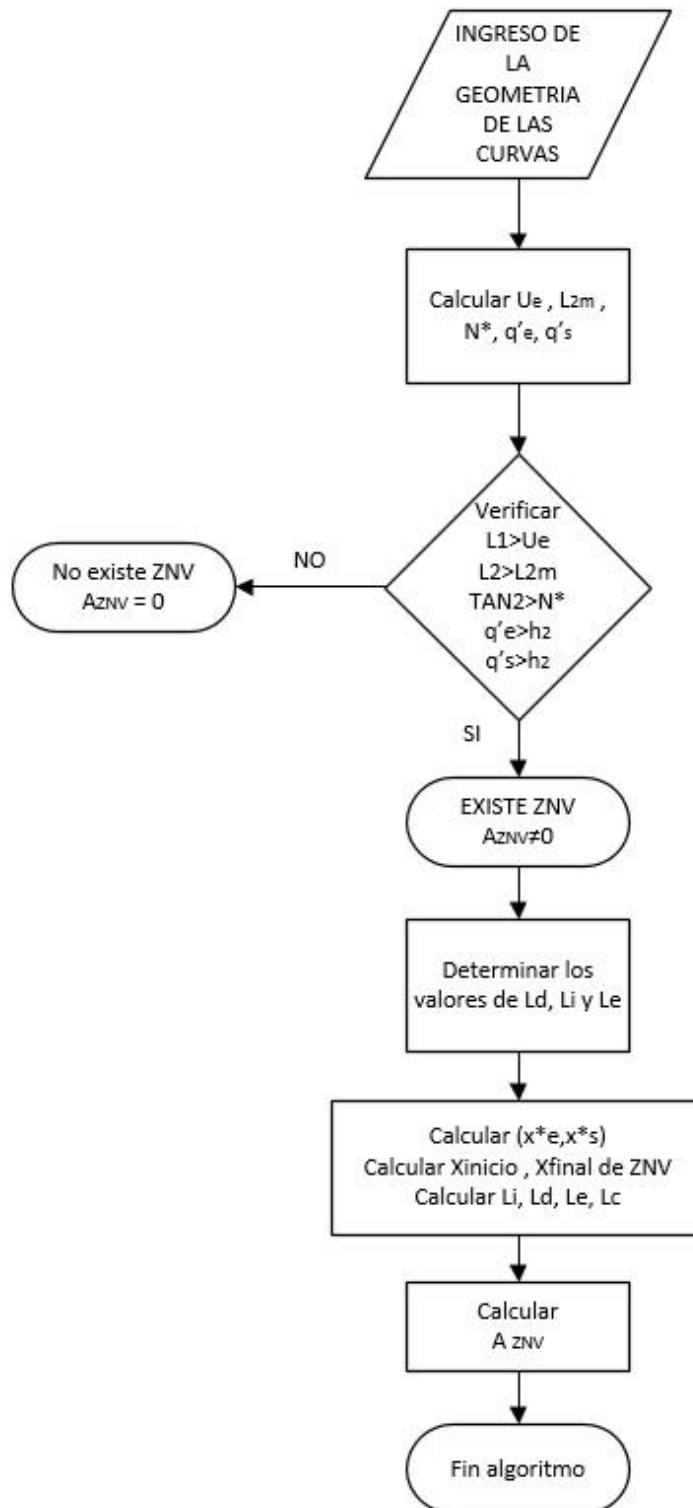


Figura N° 3.5 Diagrama de flujo de la rutina de Matlab® para obtener el valor de la zona de no visibilidad.

3.3 Datos de entrada

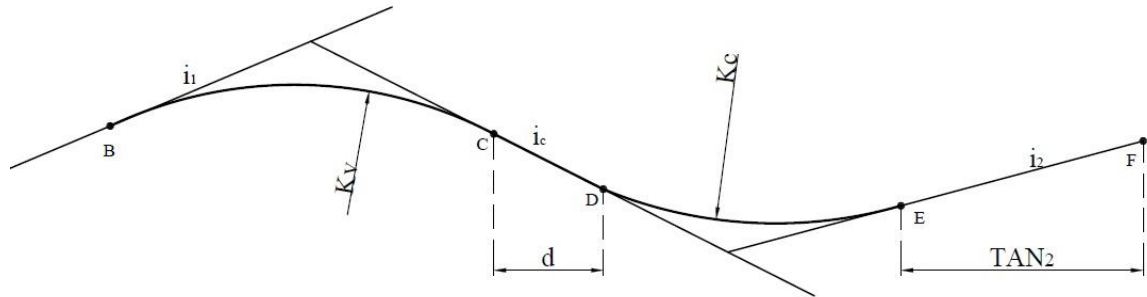


Figura N° 3.6 Representación gráfica de los parámetros de entrada de la rutina.

La figura 3.6 muestra la representación de las variables de diseño de los perfiles de evaluación, con la pendiente de entrada, pendiente común, pendiente de salida, tangente común, tangente de salida, parámetro de la curva convexa y el parámetro de la curva cóncava. Con las siete variables se generaron 35.335.872 configuraciones posibles para los perfiles a analizar, diseñados considerando el manual de carreteras, como lo muestra la tabla 3.1, que considera las pendientes máximas para las pendientes de entrada y salida, y el valor mínimo del parámetro de la curva convexa y cóncava.

Tabla N° 3.1 Valores y rangos de los parámetros de entrada de los diseños

Variable	Simbología	Mínimo	Máximo	Paso de discretización
Pendiente de entrada (%)	i_1	1	12	1
Pendiente común (%)	i_c	-1	-12	-1
Pendiente de salida (%)	i_2	1	12	1
Tangente común (m)	d	0	2400	200
Tangente de salida (m)	TAN_2	2400	0	-200
Parámetro curva convexa (m)	K_v	300	10300	1000
Parámetro curva cóncava (m)	K_c	400	10400	1000

Para el análisis general de la ZNV se determinó presentar el factor de visibilidad como nulo $f_v = 0$, así el valor de la altura del vehículo opuesto $h_2 = 1.2$ m (h_5), para considerar el caso más desfavorable en la conducción donde a esa altura se logra divisar solo el techo del vehículo opuesto (MOP, 2015).

3.4 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos de los datos de entrada de la tabla 3.1 y del desarrollo del algoritmo de la figura 3.5 se obtuvieron los valores de las áreas que representan a la ZNV para las dos condiciones de análisis.

Para identificar los tipos de análisis dentro de los resultados se adoptó la siguiente nomenclatura A₁ cuando el conductor empieza a percibir la ZNV y A₂ cuando el conductor está en los dos extremos cuando empieza a percibir y sale de la ZNV.

Las siguientes figuras representan la ley de variación de la ZNV para los distintos tipos de perfiles generados con los datos de entrada de la tabla 3.1.

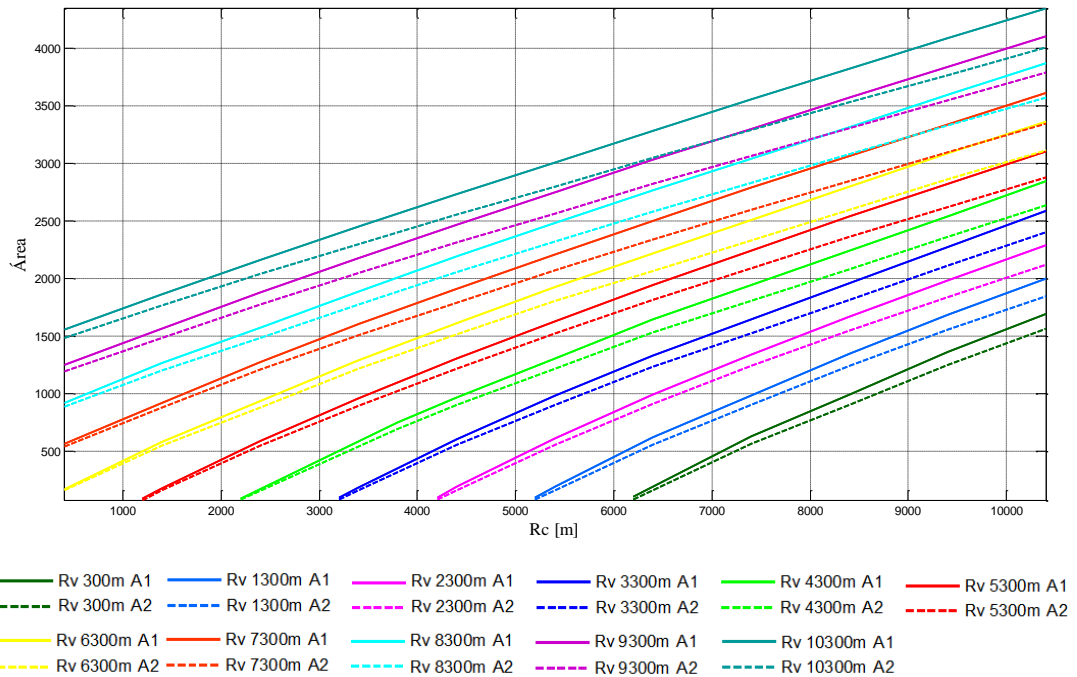


Figura N° 3.7 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN_2=2400$ m

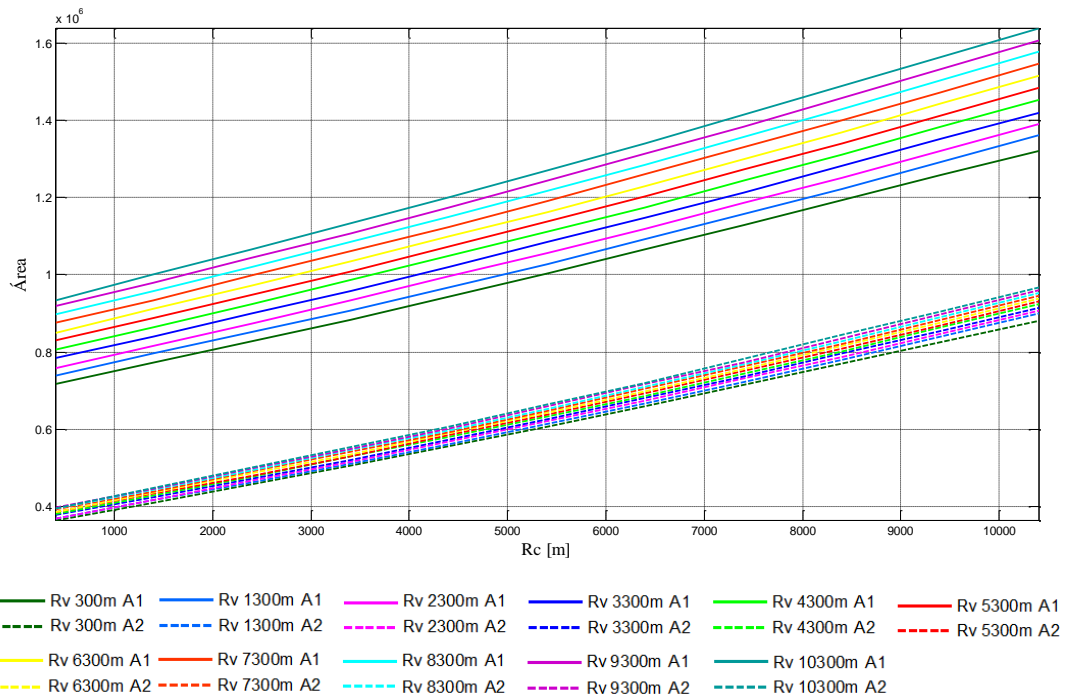


Figura N° 3.8 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=12\%$, $i_c=-12\%$, $i_2=12\%$, $d=2400$ m y $TAN_2=2400$ m

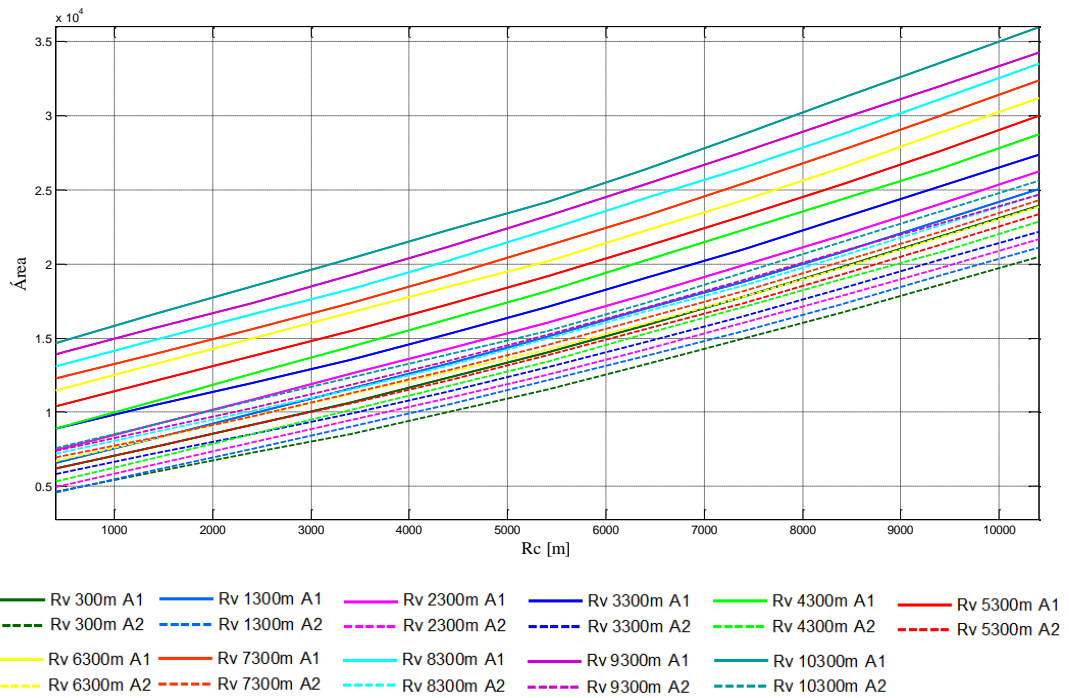


Figura N° 3.9 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=6\%$, $i_c=-5\%$, $i_2=4\%$, $d=200$ m y $TAN_2=600$ m

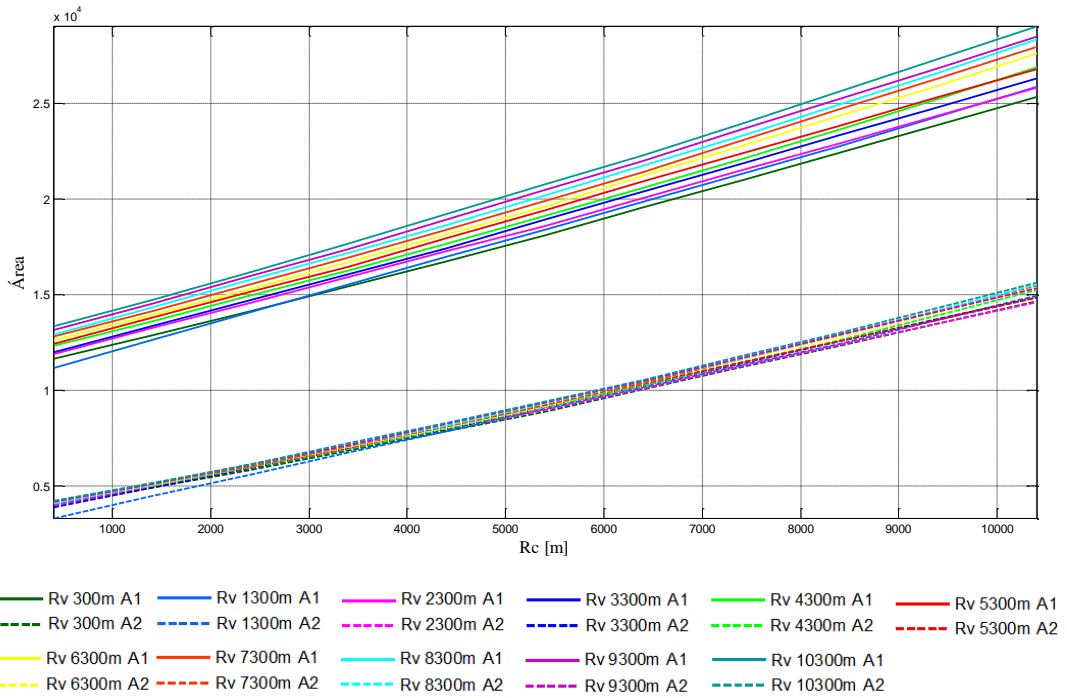


Figura N° 3.10 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2=4\%$, $d=800$ m y $TAN_2=400$ m

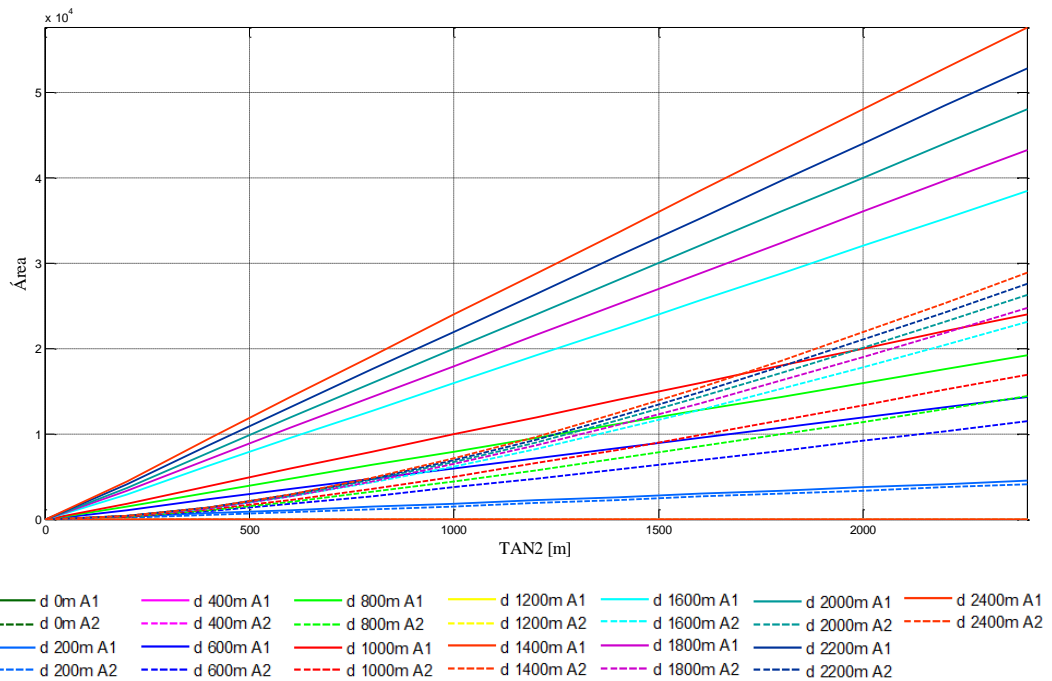


Figura N° 3.11 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $K_v=300$ m y $K_c=400$ m

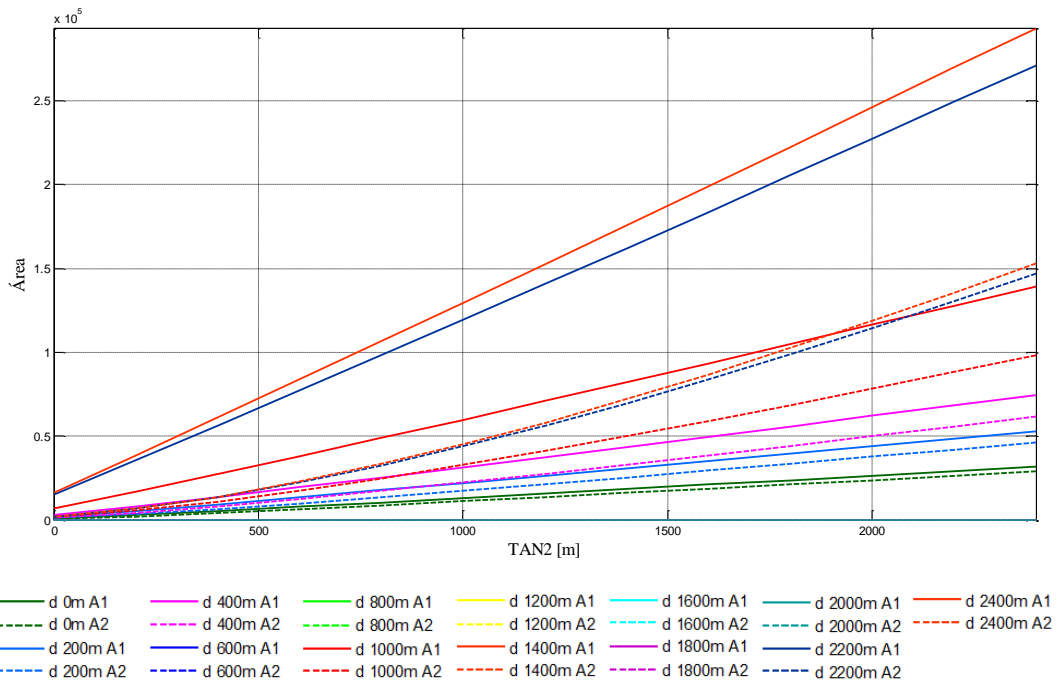


Figura N° 3.12 Ley de variación de la ZNV para alineamientos verticales de variables fijas de $i_1:6\%$, $i_c:-5\%$, $i_2:4\%$, $K_v:3300$ m y $K_c:3400$ m

Las seis figuras 3.7 hasta la 3.12 muestran cómo evoluciona el área de la ZNV para distintas combinaciones de diseños de alineamientos verticales. Las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 fijan la tangente de entrada (i_1), la pendiente de la tangente común (i_c), la pendiente de salida (i_2), la longitud de la tangente común (d) y de salida (TAN_2), variando los parámetros de curvatura (K_v y K_c). Las figuras 3.11 y 3.12 fijan las pendientes de tangentes y los parámetros de curvatura de las dos curvas y varían la longitud de las tangentes intermedia (d) y de salida (TAN_2).

A partir de las figuras antes mencionadas se puede inferir lo siguiente: en la configuración de alineamientos verticales con pendientes longitudinales bajas sin tangente común entre las dos curvas, el área de la ZNV está gobernada por la curvatura de las curvas, donde a mayor curvatura mayor en la profundidad del área de la ZNV. En el otro extremo cuando las pendientes longitudinales son mayores y existen una tangente común entre las curvas, el área de la ZNV está gobernada por la curvatura de curva convexa. Para los casos intermedios de donde las pendientes longitudinales son intermedias en relación a los extremos presentados, el área de la ZNV presenta diferentes relaciones en cuanto a que variable

gobierna la caracterización de la ZNV, mientras más larga es la tangente común mayor será A_{ZNV} y se hace más dependiente de la curvatura de las curvas convexa y cóncava. Cuando aumenta la longitud de la tangente intermedia, el área de la ZNV comienza a depender de la curvatura de la curva convexa. En relación de la tangente de salida es constante, a medida que aumenta la curvatura de las curvas y las pendientes el área de la ZNV tiende a disminuir, pero tiende a depender fuertemente de la tangente común, para los demás casos la tangente de salida no causa mayor influencia en el área de la ZNV como lo hace la tangente común, en el caso de que la pendiente de la tangente de salida sea mayor a la de la tangente común esta causa una disminución del área de la ZNV.

Un análisis adicional en relación a la ZNV fue el determinar la distancia de visibilidad disponible desde la posición del conductor hasta la altura h_2 , que es definida por la ecuación (77).

$$S_s = L_1 + d + x_s^* - L_i \quad (77)$$

La tabla 3.2 representa los valores de visibilidad disponible S_s , en relación a la aparición de la ZNV para diferentes configuraciones de variables.

A partir de la tabla 3.2 se puede inferir lo siguiente: para pendientes longitudinales bajas sin tangente común entre curvas, la distancia de visibilidad disminuye en relación a cuando va aumentando la curva cóncava. En el otro extremo, cuando pendientes longitudinales son altas y existe una tangente común entre las curvas, la distancia de visibilidad aumenta a medida que los parámetros de curvatura van aumentando. En el caso intermedio cuando las pendientes longitudinales son moderadas y con tangentes de mediana longitud, la distancia de visibilidad disponible para un mismo valor de la curva convexa aumenta en relación al incremento de la curva cóncava. Este análisis adicional sirve para ver la proximidad que tiene el conductor a la posición de la altura h_2 , además sirve para afirmar el comportamiento de la ZNV donde se puede observar que a medida aumenta los parámetros de curvatura el área de la ZNV empieza a depender de la profundidad máxima que se produce en la ZNV y deja de depender de la longitud.

Tabla N° 3.2 Valores límites para la identificación de la ZNV en relación al área y distancia de visibilidad disponible dentro de los perfiles tipos analizados.

Valores comunes del perfil tipo	K_v	K_c	A_{ZNV}	S_s
$g_1:1\%$, $g_c:-1\%$, $g_2:1\%$, $d:0$, $TAN_2:2400$	300	7400	629	88,9
	300	10400	1562	79,1
	1300	5400	199,4	103,6
	1300	10400	1999	85,2
	2300	4400	195,7	106
	2300	10400	2290	92,6
	3300	3400	191	110
	3300	9400	2276	101
$g_1:12\%$, $g_c:-12\%$, $g_2:12\%$ $d:2400$, $TAN_2:2400$	300	400	717501	63
	1300	1400	795317	214
	2300	2400	874139	357
	3300	3400	958251	498
	7300	4400	1123590	1065,7
$g_1:6\%$, $g_c:-5\%$, $g_2:4\%$, $d:200$, $TAN_2:600$	300	400	6172	41
	300	9400	21853	46
	1300	3400	11579	122
	1300	9400	22935	128
	2300	3400	12560	194
	2300	9400	24089	203
	3300	3400	13545	266
	3300	9400	25268	277
	7300	4400	19252	557
	7300	10400	32410	570
$g_1:4\%$, $g_c:-3\%$, $g_2:4\%$, $d:800$, $TAN_2:400$	300	400	11673	68,5
	300	8400	22429	61
	1300	4400	16966	122
	2300	5400	18597	178
	3300	4400	17428	238
	3300	8400	23333	232
	7300	4400	18383	466
	7300	10400	27953	451

R_v : radio de curvatura del arco convexo, R_c : radio de curvatura del arco cóncavo, A_{ZNV} : área de la zona de no visibilidad y S_s : visibilidad disponible en la condición de entrada (T_s).

3.5 Criterio de evaluación

Una propuesta para evaluar la peligrosidad que causa la falta de visibilidad en los alineamientos compuestos, es el de presentar rangos de peligrosidad en relación al área de la ZNV, bajo la hipótesis que a mayor área esta ZNV será más peligrosa para el conductor y pudiendo causar una mayor probabilidad de accidentes.

Los límites para determinar la peligrosidad es por medio de un área A_{lim} que está relacionada con la velocidad de proyecto, por medio de la distancia de adelantamiento Da , la altura del vehículo puesto a la que el conductor se ve enfrentado a realizar dicha maniobra y un factor de amplificación que varía según la peligrosidad, donde si la peligrosidad es baja esta será un valor moderado y si la peligrosidad es alta esta valor será representativo de dicha peligrosidad.

$$A_{lim} = h_2 Da_{vp} f \quad (78)$$

Donde:

- A_{lim} : Área limite
- h_2 : Altura del vehículo opuesto (1.20 m)
- Da_{vp} : Distancia de adelantamiento horizontal según la velocidad de proyecto (m)
- f : Factor de amplificación que varía según la peligrosidad

La ecuación (78) es la forma para presentar los criterios para ver los niveles de riesgo que tiene asociado la ZNV para el conductor.

Tabla N° 3.3 Niveles de riesgo para los valores del área de la ZNV

Nivel de riesgo	Criterios
NULO	No existe ZNV
BAJO	$A_{ZNV} < h_2 Da_{(vp)} 2.5$
MEDIO	$h_2 Da_{(vp)} 2.5 < A_{ZNV} < h_2 Da_{(vp)} 45$
ALTO	$A_{ZNV} > h_2 Da_{(vp)} 45$

En la tabla 3.3 se presentan con colores que corresponden a los límites del área roja (zona de no visibilidad).

Los niveles de riesgo indican cuatro condiciones:

1. Nulo, la no existencia la aparición de zonas de no visibilidad.
2. Bajo, presenta la existencia de una zona de no visibilidad pero donde el área correspondiente no es peligrosa para la realización de maniobras que pueda realizar el conductor.
3. Medio, la existencia de una zona de no visibilidad donde si existe una posible peligrosidad en relación al área relacionada tanto por la extensión que cubre esta y la profundidad que alcanza en el perfil.
4. Alto, es clara la existencia de una zona de no visibilidad donde el área alcanza valores extremos que están relacionados más con su profundidad que por lo general es donde se alcanzan valores del doble de la altura h_2 .

Para los límites de los criterios de evaluación se consideró un análisis general de los valores obtenidos por la rutina de Matlab, para discriminar que perfiles eran necesarios para la evaluación de los límites, algunos de los perfiles utilizados son representados gráficamente con las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 para ver el comportamiento general de estos.

Para un nivel de riesgo nulo que corresponde a la condición de no existencia con eso se tiene que $A_{ZNV} = 0$, por lo tanto no se cumplieron las ecuaciones (60), (61), (62) y (63). Tanto para presentar los límites de riesgo en los niveles bajo y alto, que son a los que corresponden a los límites inferiores y superiores del nivel de riesgo medio que explica una peligrosidad moderado para el conductor, estos valores fueron establecidos según las siguientes consideraciones, para el límite inferior la evaluación fue considerando los perfiles por debajo de las pendientes máximas que tienen las autopistas para el caso es de 4.5% según la normativa vigente (MOP, 2015) con eso se consideró que si existen depresiones ocultas en el diseño actual de carreteras con velocidades de proyecto de 100 km/h , con eso analizando perfiles que tuvieran pendientes menores a la antes mencionada, se logró ver el inicio de la aparición de las ZNV en los perfiles con menor pendiente, en este caso para pendientes de 1% para todas las tangentes involucradas y con diferentes largos de las tangentes de enlace d , encontrando que el último tercio de los valores de la ZNV eran similares en magnitud al primer tercio de la siguiente serie de perfiles a evaluar, que correspondía a una pendiente con

mayor inclinación, además se vio la distancia de visibilidad disponible para cada punto de evaluación para ver si cumplía o no con los valores mínimos requeridos para una maniobra de adelantamiento o parada, presentando un factor de amplificación igual a 2.5 en relación a un área de un rectángulo fijo para cada velocidad de proyecto correspondiente a $h_2 Da_{(vp)}$.

Para el límite superior se utilizó una metodología parecida a la anterior, a diferencia que se evaluaron perfiles con las pendientes máximas permitidas 12%, con eso estableciendo completamente la existencia de ZNV para cualquier combinación de valores de los elementos del perfil, para este caso manteniendo la tangente de entrada fija y los demás elementos variables, viendo que para todas las combinaciones de elementos los valores correspondientes al área de ZNV eran 30 veces mayores o más a los perfiles menores antes evaluados, se evaluó con el perfil menor más cercano pero que fuera relevante según el tipo de camino, considerando perfiles con tangentes de entrada de 10% y 9%, donde los valores con de área de ZNV alcanzaban valores de igual magnitud, estableciendo que las pendientes mayores de los caminos de desarrollo o los llamados caminos rurales serian el límite superior de la zona amarilla correspondiente a $45 h_2 Da_{(vp)}$.

Dentro de todas las consideraciones antes hechas hay una condición que no es nombrada pero está presente implícitamente dentro de los valores de los radios de curvatura de los dos arcos que es la distancia de parada, donde siempre se cumplirá, se procura un nivel de seguridad mínimo para el conductor para que este pueda realizar dicha maniobra si fuese necesaria hacerla.

Capítulo 4: Conclusiones

Este trabajo tuvo por objetivo analizar los patrones de comportamiento de la zona no visibilidad de alineamientos verticales compuestos, diseñados de acuerdo a los criterios de diseño establecidos en el Manual de Carreteras de Chile. A partir del análisis realizado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los criterios de diseño de curvas verticales permiten proyectar actualmente curvas aisladas, por lo cual no dan cuenta de la posible existencia de ZNV cuando se componen curvas cóncavas y convexas sucesivas, ni ofrecen criterios de diseño para evitar la ZNV o reducirla. Esto es relevante especialmente para caminos bidireccionales en donde las maniobras de adelantamiento y frenado requieren de una cierta visibilidad para otorgar seguridad a los diseños geométricos, la cual se ve mermada si existen ZNV en el trazado.
- En la literatura existen métodos analíticos y numéricos para determinar la existencia de ZNV, pero no para determinar su magnitud. En este trabajo se desarrolló un algoritmo que resulta más sencillo que los disponibles en la literatura, y que permite determinar no solamente la existencia sino que además la magnitud de la ZNV a través del cálculo del área, además se agregaron nuevos criterios para la verificación de la existencia de la ZNV que están relacionados a la profundidad máxima que existe en la ZNV, que corresponden a $q_e^* \geq h_2$ y $q_s^* \geq h_2$.
- Algunas normativas internacionales limitan la profundidad máxima que puede tener la ZNV cuando está en su condición de salida, pero se hace necesario establecer un criterio asociado a la magnitud de la ZNV, ya que este relacionaría dos aspectos importantes que tiene la ZNV que son su longitud y su profundidad. Para eso el algoritmo desarrollado permite estudiar estos dos aspectos con el cálculo del área que se asocia con la ZNV, ya que permite estudiar en detalle la mayor combinación de diseños posibles para alineamientos verticales usando siete variables de diseño para generar más de 35 millones de combinaciones posibles, que abarcan un gran abanico de posibles diseños para este tipo de alineamientos.

- Dentro del análisis realizado a las distintas configuraciones de alineamientos posibles se estableció que si es posible tener configuraciones de curvas verticales inversas y sucesivas donde la existencia de ZNV no se produzcan, donde la curvatura del arco cóncavo es considerablemente mayor al del arco convexo. Referente a la tangente común esta toma un rol de amplificación en la magnitud de la ZNV, mientras mayor sea la longitud o mayor sea la pendiente la ZNV se verá considerablemente aumentada en su magnitud. En relación a la tangente de salida no tiene un rol significativo que se relacione a la magnitud de la ZNV, sino relacionado a la existencia de la ZNV, si la longitud es muy corta la ZNV no existe.
- La falta de visibilidad del camino siempre será una causante de peligrosidad para el conductor es por eso que uno de los objetivos de este trabajo fue el de presentar un criterio cuantitativo para evaluar el riesgo de la aparición de ZNV. Presentando una forma de evaluar el área asociada a la ZNV, donde categoriza el riesgo en cuatro categorías con la hipótesis de que a mayor sea el área de la ZNV esta será más peligrosa para el conductor, las cuatro categorías de riesgo son: nula, baja, medio y alta.
- Con la categorización de las ZNV es el primer criterio cuantitativo para analizar este tipo de fenómenos que ocurre al tener este tipo de alineamientos, ya expuesto el criterio para medir el nivel de riesgo es primordial bajar a la categoría menor en que un alineamiento este, para el nivel de superior lo aconsejable es reducir la pendiente y la longitud de la tangente común que en lo posible bajara la profundidad máxima que existe en la ZNV, en el nivel medio es cierto que abarca un gran espectro de configuraciones de alineamientos para bajar el nivel de riesgo es muy difícil ya que el rango de este es muy amplio pero si lo que es aconsejable es bajar la profundidad máxima por medio de modificar los valores de la curvatura de la curva cóncava y tratando de reducir la longitud de la tangente común. Y para el nivel de riesgo más bajo la forma de que este llegue a ser nulo es reduciendo la curvatura de la curva cóncava, donde si esta se reduce en forma pequeña de magnitud es posible que la ZNV no exista.

La aparición de zonas de no visibilidad causa una inseguridad en el conductor para poder realizar maniobras en el camino, es por esto mismo que es necesario el análisis de los alineamientos verticales compuestos, que corresponde a tener dos curvas verticales inversas sucesivas, y poder tener un criterio cuantitativo para poder establecer si el diseño del camino es peligroso o no, para los conductores que pasen por ese lugar, con esta lógica es que se presenta uno de los primeros criterios cuantitativos para evaluar la ZNV, que por el momento es un criterio holgado para evaluar este tipo de fenómenos el cual debe ser aún validado por medio de valores de campo y por simulaciones en software computacionales de diseño vial, para presentar una propuesta más acotada de valores que evalúen la ZNV y se pueda rediseñar un camino en su etapa de proyecto preliminar o en el caso de caminos existentes prevenir a los conductores de este fenómeno.

Capítulo 5: Referencias

AASHTO, 2011. *A policy on geometric design of highways and streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials.

Easa, S., 1991a. Sight distance model for unsymmetrical crest curves. *Transportation Research Record 1303*, pp. 39 - 50.

Easa, S., 1991b. Sight distance model for unsymmetrical sag curves. *Transportation Research Record 1303*, pp. 51 - 62.

Easa, S., 1994. Design consideration for highway reverse curves. *Transportation Research Record 1445*, pp. 1 - 11.

Easa, S., 1994. Design considerations for highway sight-hidden dips. *Transportation Research 28A(1)*, pp. 17 - 29.

Easa, S., Abd El Halim, A. y Hassan, Y., 1996. Sight distance evaluation on complex highway vertical alignments. *Canadian Journal Civil Engineering 23*, pp. 577 - 586.

Castro, M., de Blas, A., Rodríguez-Solano, R. y Sánchez, J.A., 2015. Finding and characterizing hidden dips in roads. *Baltic Journal of Road and Bridges 10(4)*, pp. 340 – 345.

Khasnabis, S. y Tadi, R. R., 1990. Sight distance requirements for symmetrical and unsymmetrical crest vertical curves. *Transportation Research Record 1280*, pp. 227 - 236.

Kühn, W. y Jha, M. K., 2011. Methodology for checking shortcomings in three-dimensional alignment. *Transportation Research Record 2262*, pp. 13 - 21.

Kühn, W., 2013. *Fundamentals of Road Design* 1ª Edición.

MOP, 2015. Instrucciones y criterios de diseño, Manual de Carreteras, Volumen 3. Ministerio de Obras Públicas (MOP), Chile.

Santos-Berbel, C. D. y Castro, M., 2015. An index for sight-hidden dips assessment. *Proceedings of the ICE – Transport 169(1)*, pp. 24 - 33.

Solís, R., 1996. *Implementación de un método analítico para diseño de alineamientos verticales compuestos*, Memoria de Título. Universidad de Concepción, Chile

Venegas, D., 1997. *Estudio de fiabilidad del método de diseño de alineamientos verticales compuestos*, Memoria de Título. Universidad de Concepción, Chile


```

% calculo de Ue
Be=(r1.*r2.*perfil(:,4))./(r1.^2+(r1.*r2))*2;
Ce=(-2*r2*1.2)./(r1.^2+(r1.*r2));
Ue=(-Be+(Be.^2-Ce*4).^0.5)/2;
% calculo de L2m
L2m=(r1.*Ue)./r2;
% calculo de Y2e
Y2e=(r1.*(Ue.^2))/2;
% calculo de Y3e
Y3e=Y2e+(r1.*Ue.*perfil(:,4));
% calculo de Y4e
Y4e=Y3e+(Lv2.*r1.*Ue)-(r2.*(Lv2.^2)/2);
% calculo de N
N=Y4e./(r2.*Lv2-r1.*Ue);
% calculo de Us
Bs=2*(perfil(:,4)+Lv2+perfil(:,5));
Cs=(-r2.*Lv2).*(Lv2+2*(perfil(:,5)))./r1;
Us=(-Bs+(Bs.^2-Cs*4).^0.5)/2;
% calculo de Y2s
Y2s=(r1.*(Us.^2))/2;
% calculo de Y3s
Y3s=Y2e+(r1.*Us.*perfil(:,4));
% calculo de Y4s
Y4s=Y3e+(Lv2.*r1.*Us)-(r2.*(Lv2.^2)/2);
% calculo de Xe
Xe=(r1.*Ue)./r2;
% calculo de q* en condicon de salida
qe=((r1+((r1.^2)./r2)).*Ue)*0.5+(r1.*perfil(:,4).*Ue);
% calculo de Xs
Xs=(r1.*Us)./r2;
% calculo de q* en condicon de entrada
qs=((r1+((r1.^2)./r2)).*Us)*0.5+(r1.*perfil(:,4).*Us);
% guarda calculos basicos y complementarios
save('basicosSHD.mat','L2m','N','Ue','Us','Y2e','Y3e','Y4e','Y2s','Y3s','Y4s','Xe','qe','Xs','qs','-v7.3')
save('complementosSHD.mat','def1','def2','Lv1','Lv2','A','r1','r2','-v7.3')
% % termino de calculos basicos
fprintf('\n\t\t\t |      TERMINO DE CALCULAR  CONDICIONES BASICAS      |');
%% Evaluación del perfil para evaluar la zona roja
syms x
d=1;
for i=1:1:j
ff=0;
if Lv1(i)>Ue(i) && Lv2(i)>L2m(i)% primera condición de existencia del SHD
if perfil(i,5)>N(i) % segunda condición de existencia del SHD
if qe(i)>=h5 && qs(i)>=h5 % tercera condición de existencia del SHD
% lado derecho de la zona roja pero en entrada
if Y4s(i)>=h5 % posicion de h5 dentro de la recta de salida
xh5d=(h5-Y4s(i))/((def1(i)-def2(i))-r1(i)*(Lv1(i)-Us(i)));
ld(i)=xh5d+(Lv2(i)-Xs(i));
ff=1;
%ok
end
end

```

```

if Y4s(i)<h5 %posicion de h5 dentro de la curva concava a la derecha
if qs(i)>h5 && Y4s(i)>-h5
xh5d=fzero(@(x) -r2(i)*(x^2)/2+(def2(i)-def1(i)+(r1(i)*(Lv1(i)-
Us(i))))*x+Y4s(i)-h5,[0 Lv2(i)-Xs(i)]);
ld(i)=Lv2(i)-Xs(i)-xh5d;
%ok
end
if qs(i)>h5 && Y4s(i)<=-h5
Xo=fzero(@(x) -r2(i)*(x^2)/2+(def2(i)-def1(i)+(r1(i)*(Lv1(i)-
Us(i))))*x+Y4s(i),[0 Lv2(i)-Xs(i)]);
xh5d=fzero(@(x) -r2(i)*(x^2)/2+(def2(i)-def1(i)+(r1(i)*(Lv1(i)-
Us(i))))*x+Y4s(i)-h5,[Xo Lv2(i)-Xs(i)]);
ld(i)=Lv2(i)-Xs(i)-xh5d;
%ok
end
if qs(i)==h5
ld(i)=0;
%ok
end
ff=1;
end
% lado izquierdo de la zona roja pero en entrada
if Y3s(i)<h5 %posicion de h5 dentro de la curva concava a la izquierda
if qs(i)>h5
xh5i=fzero(@(x) -r2(i)*(x^2)/2+(def1(i)-(r1(i)*(Lv1(i)-Us(i))))*x+Y3s(i)-
h5,[0 Xs(i)]);
li(i)=Xs(i)-xh5i;
end
if qs(i)==h5
li(i)=0;
end
ff=1;
%ok
end
if Y3s(i)>=h5 && Y2s(i)<h5 % posicion de h5 dentro de la recta comun
xh5i=(h5-Y2s(i))/((def1(i))-r1(i)*(Lv1(i)-Us(i)));
li(i)=(perfil(i,4)-xh5i)+Xs(i);
ff=1;
%ok
end
if Y2s(i)>=h5 %posición de h5 es dentro de la curva convexa
xh5i=fzero(@(x) r1(i)*(x^2)/2+((r1(i)*(Lv1(i)-Us(i)))-def1(i))*x+Y2s(i)-
h5,[0 Us(i)]);
li(i)=perfil(i,4)+xh5i+Xs(i);
ff=1;
%ok
end
% lado izquierdo de la zona roja pero en la condicoón de salida
if Y3e(i)>=h5 && Y2e(i)<=h5 % posicion de h5 dentro de la recta comun
xh5e=(h5-Y2e(i))/((def1(i))-r1(i)*(Lv1(i)-Ue(i)));
le(i)=(perfil(i,4)-xh5e)+Xe(i);
ff=1;
%ok
end

```

```

if Y3e(i)<h5 %posicion de h5 dentro de la curva concava a la izquierda
if qe(i)==h5
le(i)=0;
end
if qe(i)>h5
xh5e=fzero(@(x) -r2(i)*(x^2)/2+(defl(i)-(r1(i)*(Lv1(i)-Ue(i))))*x+Y3e(i)-
h5,[0 Xe(i)]);
le(i)=Xe(i)-xh5e;
end
ff=1;
%ok
end
if Y2e>h5 % posicion de h5 dentro de lacurva convexa
xh5e=fzero(@(x) r1(i)*(x^2)/2+((r1(i)*(Lv1(i)-Ue(i)))-defl(i))*x+Y2e(i)-
h5,[0 Ue(i)]);
le(i)=perfil(i,4)+xh5e+Xe(i);
ff=1;
%ok
end
if ff==1
% los dos metodos propuestos con el área de la zona roja
% área propuesta 1 que solo considera cuando el auto entra a la SHD
SHDMC(i,1)=((h5+qs(i))/2)*ld(i)+((h5+qs(i))/2)*li(i);
% área propuesta 2 que considera cuando el auto entra y sale
SHDMC(i,2)=((h5+qs(i))/2)*ld(i)+((h5+qe(i))/2)*le(i)+((qe(i)+qs(i))/2)*(X
s(i)-Xe(i));
% genera la matriz que tiene la evaluaci3n de perfil considerando
end
end
end
end
if i<j
if perfil(i,1)~=perfil(i+1,1)
fprintf('\n\t\t\t\t | TERMINO SERIE %d DE AREA |',d)
d=d+1;
end
end
if i==j
fprintf('\n\t\t\t\t | TERMINO SERIE 12 DE AREA |')
end
end
save('areaSHD.mat','SHDMC','li','le','ld','-v7.3')
fprintf('\n\t\t\t\t | TERMINO DE SACAR LAS AREAS |');

%% Separaci3n de la zona roja segun pendiente - velocidad
for i=1:1:j % como guardar esta parte para que se haga una sola vez
if perfil(i,1)<=12 && perfil(i,2)<=12
if perfil(i,3)<=12
if perfil(i,6)>=300 && perfil(i,7)>=400
V(i,1)=1;
end
if perfil(i,1)<=10 && perfil(i,2)<=10
if perfil(i,3)<=10
if perfil(i,6)>=400 && perfil(i,7)>=600

```



```

end
end
end
end
end
end
end
end
save('vel5.mat','V','-v7.3');
% CATEGORIAS Y MATRICES ASOCIADAS
% V=[30 40 401 50 60 70 80 801 802 90 100 120]
% Desarrollo V30 V40 V50 / Local V401 V50 V60 V70 / Colector V60 V70 V80
% Primario V801 V90 V100 / Autorrutas V801 V90 V100 / Autopistas V802
V100 V120
%%
fprintf('\n\t\t\t\t |
          TERMINO DE LA RUTINA  SHD-MC
          |')

```

Anexo B: Tabla de resultados

Tabla 1 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN_2=2400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2.

Kv (m)	Kc (m)	NORMAL		COMPENSADO		
		A1	A2	A1	A2	A1/A2
300	400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	1400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	3400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	4400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	5400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
300	6200	0,0	0,0	107,6	84,6	-
300	7400	629,1	565,9	629,1	565,9	1,1
300	8400	0,0	0,0	995,4	909,2	1,1
300	9400	1361,8	1252,5	1361,8	1252,5	1,1
300	10400	1693,8	1562,8	1693,8	1562,8	1,1
1300	400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
1300	1400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
1300	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
1300	3400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
1300	5200	0,0	0,0	105,2	84,0	-
1300	5400	199,4	169,0	199,4	169,0	1,2
1300	6400	623,0	563,1	623,0	563,1	1,1
1300	7400	0,0	0,0	987,6	904,8	1,1
1300	8400	1352,3	1246,5	1352,3	1246,5	1,1
1300	9400	1683,0	1555,2	1683,0	1555,2	1,1
1300	10400	1999,3	1849,5	1999,3	1849,5	1,1
2300	400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
2300	1400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
2300	2400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
2300	4200	0,0	0,0	102,5	83,3	-
2300	4400	195,7	168,0	195,7	168,0	1,2
2300	5400	616,4	560,3	616,4	560,3	1,1
2300	6400	993,3	913,8	993,3	913,8	1,1
2300	7400	1342,3	1240,4	1342,3	1240,4	1,1
2300	8400	1671,7	1547,6	1671,7	1547,6	1,1

2300	9400	1986,7	1840,4	1986,7	1840,4	1,1
2300	10400	2290,8	2122,1	2290,8	2122,1	1,1
3300	400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
3300	1400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
3300	3200	0,0	0,0	99,6	82,6	-
3300	3400	191,6	166,9	191,6	166,9	1,1
3300	4400	609,2	557,5	609,2	557,5	1,1
3300	5400	984,2	909,3	984,2	909,3	1,1
3300	6400	1331,6	1234,3	1331,6	1234,3	1,1
3300	7400	0,0	0,0	1646,6	1526,7	1,1
3300	8400	0,0	0,0	1961,5	1819,1	1,1
3300	9400	2276,4	2111,5	2276,4	2111,5	1,1
3300	10400	0,0	0,0	2591,4	2403,9	1,1
4300	400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
4300	1400	0,0	0,0	0,0	0,0	-
4300	2200	0,0	0,0	96,1	82,0	-
4300	3800	0,0	0,0	754,4	698,6	-
4300	4400	974,3	904,8	974,3	904,8	1,1
4300	5400	0,0	0,0	1310,6	1218,6	1,1
4300	6400	1646,9	1532,4	1646,9	1532,4	1,1
4300	7400	0,0	0,0	1945,7	1807,9	1,1
4300	8400	0,0	0,0	2244,5	2083,4	1,1
4300	9400	0,0	0,0	2543,3	2358,9	1,1
4300	10400	2842,1	2634,3	2842,1	2634,3	1,1
5300	1200	0,0	0,0	91,9	81,3	-
5300	1400	181,2	164,9	181,2	164,9	1,1
5300	2400	592,1	551,9	592,1	551,9	1,1
5300	3400	963,2	900,4	963,2	900,4	1,1
5300	4400	1307,7	1222,2	1307,7	1222,2	1,1
5300	5400	1633,1	1524,8	1633,1	1524,8	1,1
5300	6400	1944,6	1813,0	1944,6	1813,0	1,1
5300	7400	2245,4	2090,3	2245,4	2090,3	1,1
5300	8400	2538,0	2359,0	2538,0	2359,0	1,1
5300	9400	2824,1	2620,9	2824,1	2620,9	1,1
5300	10400	3105,1	2877,3	3105,1	2877,3	1,1
6300	400	172,8	163,8	172,8	163,8	1,1
6300	1400	580,8	549,1	580,8	549,1	1,1
6300	2400	0,0	0,0	937,3	882,6	1,1
6300	3400	1293,7	1216,1	1293,7	1216,1	1,1
6300	4400	1618,1	1517,2	1618,1	1517,2	1,1

6300	5400	1928,6	1803,9	1928,6	1803,9	1,1
6300	6400	0,0	0,0	2217,8	2068,6	1,1
6300	7400	0,0	0,0	2507,0	2333,2	1,1
6300	8400	0,0	0,0	2796,2	2597,8	1,1
6300	9400	3085,4	2862,4	3085,4	2862,4	1,1
6300	10400	3361,3	3113,0	3361,3	3113,0	1,1
7300	400	567,9	546,3	567,9	546,3	1,0
7300	1400	0,0	0,0	2309,4	2153,4	1,1
7300	2400	1278,9	1210,1	1278,9	1210,1	1,1
7300	3400	1602,4	1509,6	1602,4	1509,6	1,1
7300	4400	1911,9	1794,8	1911,9	1794,8	1,1
7300	5400	2210,8	2069,2	2210,8	2069,2	1,1
7300	6400	2501,5	2335,0	2501,5	2335,0	1,1
7300	7400	2785,8	2594,0	2785,8	2594,0	1,1
7300	8400	3065,0	2847,6	3065,0	2847,6	1,1
7300	9400	3340,0	3096,8	3340,0	3096,8	1,1
7300	10400	3611,6	3342,2	3611,6	3342,2	1,1
8300	400	923,5	887,0	923,5	887,0	1,0
8300	1400	1265,0	1204,0	1265,0	1204,0	1,1
8300	2400	0,0	0,0	1574,7	1488,9	1,1
8300	3400	0,0	0,0	2194,8	2059,3	1,1
8300	4400	2194,1	2058,6	2194,1	2058,6	1,1
8300	5400	2483,9	2323,0	2483,9	2323,0	1,1
8300	6400	2767,3	2580,6	2767,3	2580,6	1,1
8300	7400	0,0	0,0	3041,7	2828,6	1,1
8300	8400	0,0	0,0	3316,0	3076,6	1,1
8300	9400	3590,4	3324,7	3590,4	3324,7	1,1
8300	10400	0,0	0,0	3864,7	3572,7	1,1
9300	400	1251,8	1198,0	1251,8	1198,0	1,0
9300	1400	0,0	0,0	1566,5	1487,3	1,1
9300	2400	1881,2	1776,6	1881,2	1776,6	1,1
9300	3400	2178,3	2048,0	2178,3	2048,0	1,1
9300	4400	2467,3	2310,9	2467,3	2310,9	1,1
9300	5400	2749,8	2567,2	2749,8	2567,2	1,1
9300	6400	3027,1	2818,0	3027,1	2818,0	1,1
9300	7400	0,0	0,0	3297,2	3060,9	1,1
9300	8400	0,0	0,0	3567,3	3303,9	1,1
9300	9400	3837,3	3546,8	3837,3	3546,8	1,1
9300	10400	4102,2	3784,0	4102,2	3784,0	1,1
10300	400	1560,1	1486,8	1560,1	1486,8	1,0

10300	1400	1867,0	1767,5	1867,0	1767,5	1,1
10300	2400	2163,3	2037,4	2163,3	2037,4	1,1
10300	3400	2451,4	2298,9	2451,4	2298,9	1,1
10300	4400	2733,1	2553,7	2733,1	2553,7	1,1
10300	5400	0,0	0,0	262,8	222,5	1,2
10300	6400	3282,0	3048,1	3282,0	3048,1	1,1
10300	7400	3551,0	3289,5	3551,0	3289,5	1,1
10300	8400	0,0	0,0	262,8	222,5	1,2
10300	9400	4081,3	3763,8	4081,3	3763,8	1,1
10300	10400	0,0	0,0	-469,9	-464,1	1,0

Tabla 2 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1 = 12\%$, $i_c = -12\%$, $i_2 = 12\%$, $d = 2400$ m y $TAN_2 = 2400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2

Kv (m)	Kc (m)	NORMAL		COMPENSADO		
		A1	A2	A1	A2	A1/A2
300	400	717501	364364	717501	364364	1,97
300	1400	771167	409281	771167	409281	1,88
300	2400	0	0	827425	456784	1,81
300	3400	883683	504287	883683	504287	1,75
300	4400	0	0	943398	555239	1,70
300	5400	1003112	606192	1003112	606192	1,65
300	6400	1065418	659730	1065418	659730	1,61
300	7400	1129452	714994	1129452	714994	1,58
300	8400	0	0	1193486	770257	1,55
300	9400	0	0	1257520	825520	1,52
300	10400	0	0	1321554	880784	1,50
1300	400	739153	368688	739153	368688	2,00
1300	1400	0	0	795317	415755	1,91
1300	2400	0	0	851480	462821	1,84
1300	3400	907644	509888	907644	509888	1,78
1300	4400	967262	560404	967262	560404	1,73
1300	5400	1028607	612646	1028607	612646	1,68
1300	6400	1091680	666612	1091680	666612	1,64
1300	7400	1156480	722303	1156480	722303	1,60
1300	8400	1223007	779719	1223007	779719	1,57
1300	9400	0	0	1292126	839722	1,54
1300	10400	1361245	899724	1361245	899724	1,51
2300	400	0	0	756724	367638	2,06
2300	1400	0	0	815432	416849	1,96
2300	2400	874139	466061	874139	466061	1,88
2300	3400	932846	515272	932846	515272	1,81
2300	4400	0	0	995005	567936	1,75
2300	5400	0	0	1057165	620599	1,70
2300	6400	1119324	673262	1119324	673262	1,66
2300	7400	0	0	1185799	730240	1,62
2300	8400	1252274	787217	1252274	787217	1,59
2300	9400	1321339	846782	1321339	846782	1,56
2300	10400	0	0	1390404	906347	1,53
3300	400	784782	376766	784782	376766	2,08

3300	1400	840882	422934	840882	422934	1,99
3300	2400	898705	470831	898705	470831	1,91
3300	3400	958251	520456	958251	520456	1,84
3300	4400	1019521	571809	1019521	571809	1,78
3300	5400	0	0	1084240	626616	1,73
3300	6400	0	0	1148959	681423	1,69
3300	7400	1213677	736230	1213677	736230	1,65
3300	8400	0	0	1282709	795353	1,61
3300	9400	1351741	854476	1351741	854476	1,58
3300	10400	0	0	1420772	913599	1,56
4300	400	0	0	805865	378818	2,13
4300	1400	864545	427119	864545	427119	2,02
4300	2400	923225	475421	923225	475421	1,94
4300	3400	0	0	986208	528047	1,87
4300	4400	0	0	1049190	580674	1,81
4300	5400	0	0	1112173	633300	1,76
4300	6400	1175156	685927	1175156	685927	1,71
4300	7400	0	0	1243307	743739	1,67
4300	8400	1311457	801550	1311457	801550	1,64
4300	9400	0	0	1383056	862817	1,60
4300	10400	1454654	924083	1454654	924083	1,57
5300	400	830227	384180	830227	384180	2,16
5300	1400	0	0	888919	432012	2,06
5300	2400	947610	479843	947610	479843	1,97
5300	3400	1008876	530276	1008876	530276	1,90
5300	4400	0	0	1073580	584172	1,84
5300	5400	0	0	1138284	638069	1,78
5300	6400	1202987	691965	1202987	691965	1,74
5300	7400	0	0	1271993	750188	1,70
5300	8400	1340998	808410	1340998	808410	1,66
5300	9400	1412586	869225	1412586	869225	1,63
5300	10400	0	0	1484174	930041	1,60
6300	400	0	0	850107	385061	2,21
6300	1400	911391	435019	911391	435019	2,10
6300	2400	0	0	972676	484977	2,01
6300	3400	1033960	534935	1033960	534935	1,93
6300	4400	0	0	1098674	588364	1,87
6300	5400	1163389	641794	1163389	641794	1,81
6300	6400	1230678	697824	1230678	697824	1,76
6300	7400	1299687	755585	1299687	755585	1,72

6300	8400	1370414	815079	1370414	815079	1,68
6300	9400	1442862	876303	1442862	876303	1,65
6300	10400	1517031	939256	1517031	939256	1,62
7300	400	874909	391026	874909	391026	2,24
7300	1400	934516	438754	934516	438754	2,13
7300	2400	0	0	997541	489967	2,04
7300	3400	0	0	1060566	541180	1,96
7300	4400	1123590	592393	1123590	592393	1,90
7300	5400	1190039	647084	1190039	647084	1,84
7300	6400	0	0	1259918	705245	1,79
7300	7400	0	0	1329797	763406	1,74
7300	8400	1399677	821567	1399677	821567	1,70
7300	9400	0	0	1473850	884061	1,67
7300	10400	1548023	946554	1548023	946554	1,64
8300	400	896922	394260	896922	394260	2,27
8300	1400	957428	442359	957428	442359	2,16
8300	2400	0	0	1021342	493952	2,07
8300	3400	0	0	1085256	545546	1,99
8300	4400	1149170	597139	1149170	597139	1,92
8300	5400	1216501	652218	1216501	652218	1,87
8300	6400	1285543	709037	1285543	709037	1,81
8300	7400	0	0	1357156	768460	1,77
8300	8400	1428768	827884	1428768	827884	1,73
8300	9400	0	0	1503812	890778	1,69
8300	10400	1578856	953671	1578856	953671	1,66
9300	400	918712	397379	918712	397379	2,31
9300	1400	980122	445842	980122	445842	2,20
9300	2400	0	0	1044079	496934	2,10
9300	3400	1108037	548027	1108037	548027	2,02
9300	4400	1174549	601744	1174549	601744	1,95
9300	5400	0	0	1244477	658947	1,89
9300	6400	0	0	1314404	716151	1,84
9300	7400	1384331	773354	1384331	773354	1,79
9300	8400	1457680	834038	1457680	834038	1,75
9300	9400	1532742	896459	1532742	896459	1,71
9300	10400	0	0	1607804	958881	1,68
10300	400	0	0	933494	393364	2,37
10300	1400	0	0	1000052	446576	2,24
10300	2400	1066610	499789	1066610	499789	2,13
10300	3400	0	0	1133167	553001	2,05

10300	4400	1199725	606214	1199725	606214	1,98
10300	5400	0	0	1269688	662925	1,92
10300	6400	1339651	719637	1339651	719637	1,86
10300	7400	0	0	1414739	781577	1,81
10300	8400	0	0	1489826	843517	1,77
10300	9400	0	0	1564914	905458	1,73
10300	10400	1640002	967398	1640002	967398	1,70

Tabla 3 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1 = 6\%$, $i_c = -5\%$, $i_2 = 4\%$, $d=200$ m y $TAN_2=600$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2.

Kv (m)	Kc (m)	NORMAL		COMPENSADO		
		A1	A2	A1	A2	A1/A2
300	400	6172	4633	6172	4633	1,27
300	1400	0	0	7662	5934	1,25
300	2400	0	0	9152	7234	1,23
300	3400	10642	8535	10642	8535	1,21
300	4400	0	0	12337	10045	1,20
300	5400	14033	11554	14033	11554	1,19
300	6400	15857	13191	15857	13191	1,18
300	7400	0	0	17811	14956	1,17
300	8400	19766	16721	19766	16721	1,17
300	9400	21853	18615	21853	18615	1,43
300	10400	0	0	23939	20509	1,36
1300	400	0	0	6560	4578	1,31
1300	1400	0	0	8233	6059	1,28
1300	2400	0	0	9906	7541	1,26
1300	3400	11579	9023	11579	9023	1,24
1300	4400	13252	10504	13252	10504	1,23
1300	5400	0	0	15100	12158	1,22
1300	6400	0	0	16948	13811	1,20
1300	7400	18796	15465	18796	15465	1,19
1300	8400	20821	17291	20821	17291	1,19
1300	9400	22935	19204	22935	19204	1,50
1300	10400	0	0	25049	21116	1,42
2300	400	0	0	7463	4971	1,36
2300	1400	0	0	9162	6470	1,33
2300	2400	0	0	10861	7969	1,30
2300	3400	12560	9468	12560	9468	1,28
2300	4400	14259	10967	14259	10967	1,26
2300	5400	16046	12553	16046	12553	1,24
2300	6400	17923	14225	17923	14225	1,23
2300	7400	0	0	19933	16027	1,22
2300	8400	21944	17829	21944	17829	1,21
2300	9400	24089	19762	24089	19762	1,52
2300	10400	0	0	26234	21694	1,45
3300	400	8889	5844	8889	5844	1,41

3300	1400	0	0	10441	7188	1,37
3300	2400	0	0	11993	8533	1,34
3300	3400	13545	9877	13545	9877	1,31
3300	4400	15274	11396	15274	11396	1,29
3300	5400	17093	13001	17093	13001	1,27
3300	6400	0	0	19047	14737	1,26
3300	7400	21000	16473	21000	16473	1,25
3300	8400	0	0	23134	18382	1,23
3300	9400	25268	20292	25268	20292	1,68
3300	10400	0	0	27402	22202	1,55
4300	400	0	0	8874	5290	1,47
4300	1400	0	0	10726	6917	1,42
4300	2400	0	0	12579	8543	1,38
4300	3400	0	0	14432	10169	1,35
4300	4400	16285	11795	16285	11795	1,32
4300	5400	18137	13422	18137	13422	1,30
4300	6400	0	0	20217	15266	1,29
4300	7400	0	0	22296	17109	1,27
4300	8400	0	0	24375	18953	1,26
4300	9400	26454	20797	26454	20797	1,68
4300	10400	28759	22859	28759	22859	1,58
5300	400	0	0	10366	6187	1,51
5300	1400	0	0	12073	7660	1,46
5300	2400	13780	9134	13780	9134	1,42
5300	3400	15488	10608	15488	10608	1,39
5300	4400	17285	12169	17285	12169	1,36
5300	5400	19174	13817	19174	13817	1,34
5300	6400	0	0	21199	15595	1,32
5300	7400	23224	17374	23224	17374	1,30
5300	8400	25386	19283	25386	19283	1,28
5300	9400	27638	21280	27638	21280	1,71
5300	10400	29981	23364	29981	23364	1,61
6300	400	11482	6710	11482	6710	1,54
6300	1400	0	0	13226	8206	1,49
6300	2400	0	0	14969	9702	1,45
6300	3400	0	0	16713	11198	1,42
6300	4400	0	0	18457	12694	1,39
6300	5400	20201	14190	20201	14190	1,37
6300	6400	22218	15947	22218	15947	1,34
6300	7400	24327	17791	24327	17791	1,32

6300	8400	26526	19723	26526	19723	1,31
6300	9400	0	0	28863	21785	1,77
6300	10400	31199	23848	31199	23848	1,68
7300	400	12308	6950	12308	6950	1,60
7300	1400	13906	8295	13906	8295	1,55
7300	2400	15597	9727	15597	9727	1,50
7300	3400	17378	11245	17378	11245	1,46
7300	4400	19252	12851	19252	12851	1,43
7300	5400	21216	14543	21216	14543	1,40
7300	6400	23273	16323	23273	16323	1,37
7300	7400	25420	18189	25420	18189	1,35
7300	8400	0	0	27704	20186	1,33
7300	9400	29989	22184	29989	22184	1,83
7300	10400	32410	24312	32410	24312	1,72
8300	400	13116	7172	13116	7172	1,64
8300	1400	0	0	14845	8626	1,59
8300	2400	0	0	16574	10081	1,54
8300	3400	18303	11535	18303	11535	1,49
8300	4400	20216	13163	20216	13163	1,46
8300	5400	0	0	22312	14965	1,43
8300	6400	0	0	24408	16767	1,40
8300	7400	26504	18569	26504	18569	1,38
8300	8400	28783	20545	28783	20545	1,36
8300	9400	31153	22608	31153	22608	1,89
8300	10400	0	0	33523	24672	1,77
9300	400	13907	7378	13907	7378	1,69
9300	1400	0	0	15631	8812	1,63
9300	2400	17354	10245	17354	10245	1,57
9300	3400	19215	11809	19215	11809	1,53
9300	4400	21168	13460	21168	13460	1,49
9300	5400	23213	15197	23213	15197	1,46
9300	6400	25349	17021	25349	17021	1,43
9300	7400	27577	18932	27577	18932	1,41
9300	8400	0	0	29805	20844	1,39
9300	9400	0	0	32033	22755	1,94
9300	10400	0	0	34261	24666	1,81
10300	400	14683	7569	14683	7569	1,72
10300	1400	0	0	16585	9156	1,65
10300	2400	0	0	18488	10742	1,60
10300	3400	0	0	20390	12328	1,56

10300	4400	0	0	22292	13914	1,52
10300	5400	24194	15501	24194	15501	1,48
10300	6400	26372	17347	26372	17347	1,45
10300	7400	0	0	28778	19412	1,43
10300	8400	0	0	31184	21476	1,41
10300	9400	0	0	33591	23541	1,43
10300	10400	35997	25605	35997	25605	1,41

Tabla 4 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2 =4\%$, $d=800$ m y $TAN_2=400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2.

Kv (m)	Kc (m)	NORMAL		COMPENSADO		
		A1	A2	A1	A2	A1/A2
300	400	11673,6	4059,8	11673,65	4059,77	2,88
300	1400	12878,4	4935,3	12878,43	4935,26	2,61
300	2400	14122,2	5858,7	14122,20	5858,73	2,41
300	3400	0,0	0,0	15445,70	6874,70	2,25
300	4400	0,0	0,0	16769,19	7890,68	2,13
300	5400	18092,7	8906,7	18092,69	8906,65	2,03
300	6400	0,0	0,0	19538,25	10056,87	1,94
300	7400	0,0	0,0	20983,81	11207,08	1,87
300	8400	22429,4	12357,3	22429,36	12357,30	1,82
300	9400	0,0	0,0	23874,92	13507,51	1,77
300	10400	0,0	0,0	25320,48	14657,73	1,73
1300	400	0,0	0,0	11196,55	3347,52	3,34
1300	1400	0,0	0,0	12638,82	4483,06	2,82
1300	2400	0,0	0,0	14081,09	5618,60	2,51
1300	3400	0,0	0,0	15523,37	6754,14	2,30
1300	4400	16965,6	7889,7	16965,64	7889,68	2,15
1300	5400	0,0	0,0	18407,91	9025,22	2,04
1300	6400	0,0	0,0	19850,19	10160,76	1,95
1300	7400	0,0	0,0	21292,46	11296,30	1,88
1300	8400	22734,7	12431,8	22734,73	12431,84	1,83
1300	9400	0,0	0,0	24300,64	13699,52	1,77
1300	10400	25866,6	14967,2	25866,55	14967,20	1,73
2300	400	0,0	0,0	11907,02	3979,05	2,99
2300	1400	13245,0	4984,9	13244,97	4984,90	2,66
2300	2400	0,0	0,0	14582,92	5990,74	2,43
2300	3400	0,0	0,0	15920,87	6996,58	2,28
2300	4400	0,0	0,0	17258,82	8002,42	2,16
2300	5400	18596,8	9008,3	18596,77	9008,27	2,06
2300	6400	20035,5	10129,0	20035,51	10129,02	1,98
2300	7400	0,0	0,0	21474,25	11249,78	1,91
2300	8400	0,0	0,0	22912,99	12370,53	1,85
2300	9400	0,0	0,0	24351,73	13491,29	1,80
2300	10400	0,0	0,0	25790,48	14612,05	1,77
3300	400	0,0	0,0	12009,32	3924,30	3,06

3300	1400	0,0	0,0	13364,04	4936,87	2,71
3300	2400	14718,8	5949,4	14718,76	5949,43	2,47
3300	3400	0,0	0,0	16073,48	6962,00	2,31
3300	4400	17428,2	7974,6	17428,20	7974,57	2,19
3300	5400	0,0	0,0	18904,46	9124,68	2,07
3300	6400	0,0	0,0	20380,71	10274,80	1,98
3300	7400	0,0	0,0	21856,97	11424,92	1,91
3300	8400	23333,2	12575,0	23333,23	12575,04	1,86
3300	9400	0,0	0,0	24809,48	13725,16	1,81
3300	10400	0,0	0,0	26285,74	14875,28	1,77
4300	400	12326,3	4134,6	12326,34	4134,63	2,98
4300	1400	13599,3	5031,3	13599,27	5031,26	2,70
4300	2400	0,0	0,0	14931,33	6002,00	2,49
4300	3400	16263,4	6972,7	16263,39	6972,75	2,33
4300	4400	17655,9	8015,1	17655,87	8015,15	2,20
4300	5400	0,0	0,0	19109,48	9127,02	2,09
4300	6400	20563,1	10238,9	20563,08	10238,89	2,01
4300	7400	0,0	0,0	22098,88	11441,39	1,93
4300	8400	23634,7	12643,9	23634,68	12643,89	1,87
4300	9400	25232,5	13913,3	25232,54	13913,25	1,81
4300	10400	26872,0	15226,7	26871,96	15226,74	1,76
5300	400	0,0	0,0	12424,70	4077,00	3,05
5300	1400	13776,4	5053,3	13776,38	5053,34	2,73
5300	2400	0,0	0,0	15128,06	6029,67	2,51
5300	3400	16479,7	7006,0	16479,74	7006,01	2,35
5300	4400	0,0	0,0	17953,03	8124,20	2,21
5300	5400	0,0	0,0	19426,31	9242,40	2,10
5300	6400	0,0	0,0	20899,59	10360,60	2,02
5300	7400	22372,9	11478,8	22372,88	11478,79	1,95
5300	8400	0,0	0,0	23846,16	12596,99	1,89
5300	9400	0,0	0,0	25319,44	13715,19	1,85
5300	10400	0,0	0,0	26792,72	14833,38	1,81
6300	400	12648,0	4168,4	12648,04	4168,39	3,03
6300	1400	13959,8	5074,7	13959,81	5074,73	2,75
6300	2400	15311,3	6031,9	15311,34	6031,86	2,54
6300	3400	16703,0	7038,3	16702,96	7038,31	2,37
6300	4400	18134,9	8092,9	18134,94	8092,91	2,24
6300	5400	19607,5	9194,7	19607,53	9194,73	2,13
6300	6400	0,0	0,0	21182,62	10411,26	2,03
6300	7400	0,0	0,0	22757,71	11627,79	1,96

6300	8400	0,0	0,0	24332,80	12844,32	1,89
6300	9400	25907,9	14060,8	25907,89	14060,85	1,84
6300	10400	27586,3	15389,7	27586,29	15389,69	1,79
7300	400	12815,6	4184,5	12815,64	4184,48	3,06
7300	1400	14147,4	5095,5	14147,42	5095,49	2,78
7300	2400	15519,0	6057,7	15518,99	6057,74	2,56
7300	3400	0,0	0,0	16950,82	7093,98	2,39
7300	4400	18382,6	8130,2	18382,65	8130,22	2,26
7300	5400	19875,2	9238,3	19875,23	9238,26	2,15
7300	6400	21408,6	10393,1	21408,61	10393,07	2,06
7300	7400	0,0	0,0	23044,83	11661,91	1,98
7300	8400	0,0	0,0	24681,05	12930,75	1,91
7300	9400	0,0	0,0	26317,27	14199,58	1,85
7300	10400	27953,5	15468,4	27953,48	15468,42	1,81
8300	400	0,0	0,0	12905,91	4098,67	3,15
8300	1400	14337,8	5115,6	14337,77	5115,64	2,80
8300	2400	0,0	0,0	15769,64	6132,60	2,57
8300	3400	0,0	0,0	17201,50	7149,57	2,41
8300	4400	18633,4	8166,5	18633,37	8166,53	2,28
8300	5400	0,0	0,0	20186,90	9327,52	2,16
8300	6400	0,0	0,0	21740,42	10488,51	2,07
8300	7400	23294,0	11649,5	23293,95	11649,51	2,00
8300	8400	0,0	0,0	24950,12	12925,60	1,93
8300	9400	26606,3	14201,7	26606,28	14201,69	1,87
8300	10400	28324,5	15545,4	28324,47	15545,41	1,82
9300	400	13157,9	4215,2	13157,93	4215,22	3,12
9300	1400	14529,9	5135,2	14529,90	5135,21	2,83
9300	2400	0,0	0,0	15961,80	6132,60	2,60
9300	3400	17393,7	7130,0	17393,70	7130,00	2,44
9300	4400	0,0	0,0	18926,65	8249,85	2,29
9300	5400	0,0	0,0	20459,59	9369,70	2,18
9300	6400	21992,5	10489,6	21992,54	10489,55	2,10
9300	7400	23607,1	11703,7	23607,11	11703,72	2,02
9300	8400	0,0	0,0	25221,68	12917,88	1,95
9300	9400	0,0	0,0	26836,25	14132,04	1,90
9300	10400	0,0	0,0	28450,82	15346,20	1,85
10300	400	13331,0	4229,9	13331,03	4229,93	3,15
10300	1400	14723,1	5154,2	14723,11	5154,24	2,86
10300	2400	16155,1	6131,1	16155,12	6131,13	2,63
10300	3400	0,0	0,0	17688,04	7232,37	2,45

10300	4400	0,0	0,0	19220,96	8333,60	2,31
10300	5400	0,0	0,0	20753,88	9434,84	2,20
10300	6400	22286,8	10536,1	22286,80	10536,07	2,12
10300	7400	0,0	0,0	23942,12	11779,84	2,03
10300	8400	25597,4	13023,6	25597,44	13023,61	1,97
10300	9400	27314,5	14336,4	27314,51	14336,35	1,91
10300	10400	0,0	0,0	29031,58	15649,10	1,86

Tabla 5 Resultados de área para un perfil de variables fijas de $i_1 = 1\%$, $i = -1\%$, $i_2 = 1\%$, $K_v = 300$ m y $K_c = 400$ m, según el tipo de evaluación A1 y A2.

d	TAN2	A1	A2
0	2400	0	0
0	2200	0	0
0	2000	0	0
0	1800	0	0
0	1600	0	0
0	1400	0	0
0	1200	0	0
0	1000	0	0
0	800	0	0
0	600	0	0
0	400	0	0
0	200	0	0
0	0	0	0
200	2400	4471,68922	4121,61178
200	2200	4092,29085	3745,38093
200	2000	3712,85451	3369,68751
200	1800	3333,36698	2994,69098
200	1600	2953,80812	2620,62075
200	1400	2574,14576	2247,81942
200	1200	2194,32527	1876,82232
200	1000	1814,24606	1508,51535
200	800	1433,70147	1144,47824
200	600	1052,19346	787,829968
200	400	668,168413	445,710924
200	200	273,512023	138,878688
200	0	0	0
400	2400	0	0
400	2200	0	0
400	2000	0	0
400	1800	0	0
400	1600	0	0
400	1400	0	0
400	1200	0	0
400	1000	0	0
400	800	0	0
400	600	0	0

400	400	0	0
400	200	0	0
400	0	0	0
600	2400	14336,9832	11466,4294
600	2200	13134,6344	10317,8678
600	2000	11932,2151	9177,47991
600	1800	10729,694	8047,2911
600	1600	9527,02113	6930,05667
600	1400	8324,11234	5829,62305
600	1200	7120,81789	4751,52757
600	1000	5916,84957	3704,04317
600	800	4711,5916	2700,10743
600	600	3503,51359	1761,15432
600	400	2287,76047	925,473521
600	200	1039,13647	268,889978
600	0	0	0
800	2400	19169,0014	14377,2926
800	2200	17563,7744	12881,8965
800	2000	15958,4634	11402,0498
800	1800	14353,0267	9941,31258
800	1600	12747,3965	8504,42206
800	1400	11141,4581	7097,82304
800	1200	9535,00542	5730,51415
800	1000	7927,64056	4415,45285
800	800	6318,51367	3172,0038
800	600	4705,52185	2030,46315
800	400	3082,05012	1041,0542
800	200	1414,17139	293,581242
800	0	0	0
1000	2400	23987,9463	16937,6313
1000	2200	21981,0283	15118,3866
1000	2000	19974,0101	13323,981
1000	1800	17966,8377	11559,6993
1000	1600	15959,4233	9832,44068
1000	1400	13951,6177	8151,38634
1000	1200	11943,1531	6529,02875
1000	1000	9933,51371	4982,81368
1000	800	7921,60336	3537,8677
1000	600	5904,7289	2231,75354
1000	400	3874,49382	1123,26353

1000	200	1788,23362	309,921296
1000	0	0	0
1200	2400	0	0
1200	2200	0	0
1200	2000	0	0
1200	1800	0	0
1200	1600	0	0
1200	1400	0	0
1200	1200	0	0
1200	1000	0	0
1200	800	0	0
1200	600	0	0
1200	400	0	0
1200	200	0	0
1200	0	0	0
1400	2400	0	0
1400	2200	0	0
1400	2000	0	0
1400	1800	0	0
1400	1600	0	0
1400	1400	0	0
1400	1200	0	0
1400	1000	0	0
1400	800	0	0
1400	600	0	0
1400	400	0	0
1400	200	0	0
1400	0	0	0
1600	2400	38417,3476	23070,2105
1600	2200	35208,0129	20405,0192
1600	2000	31998,5049	17799,9716
1600	1800	28788,725	15265,6232
1600	1600	25578,5137	12815,1537
1600	1400	22367,6035	10465,2382
1600	1200	19155,5212	8237,28801
1600	1000	15941,3709	6159,26236
1600	800	12723,284	4268,38109
1600	600	9496,76071	2615,30876
1600	400	6248,03971	1270,83594
1600	200	2908,3148	336,990978

1600	0	0	0
1800	2400	43223,5295	24723,9419
1800	2200	39613,7683	21813,9177
1800	2000	36003,8015	18977,1925
1800	1800	32393,5137	16225,9205
1800	1600	28782,7192	13575,1016
1800	1400	25171,1078	11043,4666
1800	1200	21558,1342	8654,71455
1800	1000	17942,7717	6439,27849
1800	800	14322,8903	4436,90183
1800	600	10693,3856	2700,49746
1800	400	7038,71213	1302,10178
1800	200	3281,37355	342,384906
1800	0	0	0
2000	2400	48028,9563	26227,2666
2000	2200	44018,8555	23088,6014
2000	2000	40008,5137	20036,6838
2000	1800	35997,7978	17085,1458
2000	1600	31986,4949	14250,6349
2000	1400	27974,2516	11553,6972
2000	1200	23960,4497	9019,9904
2000	1000	19943,9306	6681,97991
2000	800	15922,3027	4581,35896
2000	600	11889,8576	2772,58104
2000	400	7829,2689	1328,15148
2000	200	3654,35905	346,7939
2000	0	0	0
2200	2400	52833,8948	27599,8929
2200	2200	48423,5138	24247,4448
2200	2000	44012,8532	20995,3207
2200	1800	39601,7619	17858,5026
2200	1600	35189,9994	14855,1128
2200	1400	30777,1684	12007,2836
2200	1200	26362,5771	9342,3315
2200	1000	21944,9351	6894,37076
2200	800	17521,5887	4706,5697
2200	600	13086,2268	2834,37072
2200	400	8619,74505	1350,19098
2200	200	4027,29188	350,465343
2200	0	0	0

2400	2400	57638,5138	28858,2039
2400	2200	52827,8934	25305,5931
2400	2000	48016,9524	21866,8828
2400	1800	43205,521	18558,2765
2400	1600	38393,3309	15399,2059
2400	1400	33579,9404	12413,177
2400	1200	28764,5839	9628,89768
2400	1000	23945,8389	7081,80197
2400	800	19120,7902	4816,14394
2400	600	14282,5247	2887,92639
2400	400	9410,16304	1369,08075
2400	200	4400,18558	353,57012
2400	0	0	0

ANEXO C : Gráficos de resultados

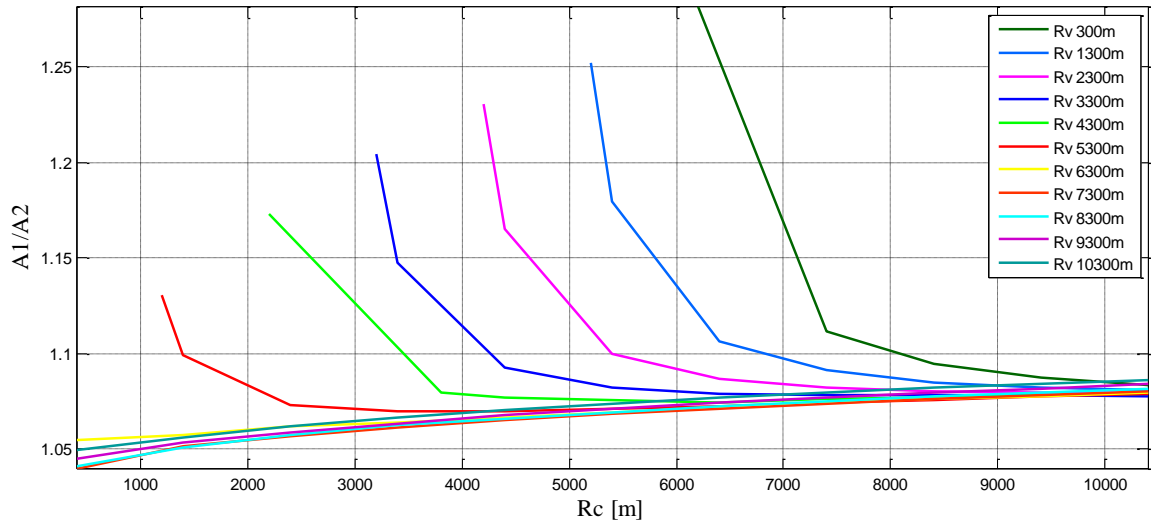


Figura 1 Relación de $A1/A2$ para un perfil de variables fijas de $i_1=1\%$, $i_c=-1\%$, $i_2=1\%$, $d=0$ m y $TAN_2=2400$ m.

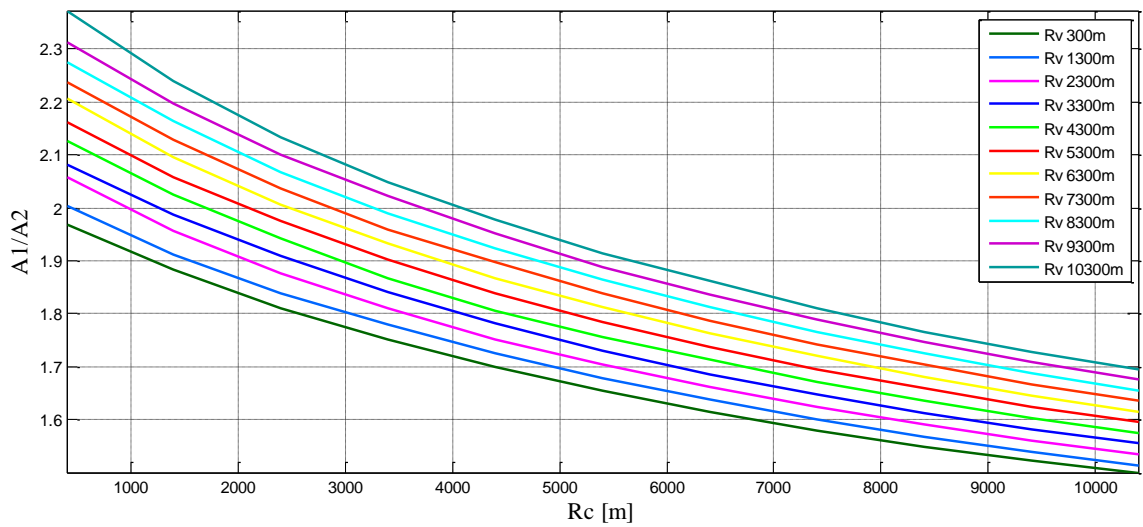


Figura 2 Relación de $A1/A2$ para un perfil de variables fijas de $i_1=12\%$, $i_c=-12\%$, $i_2=12\%$, $d=2400$ m y $TAN_2=2400$ m.

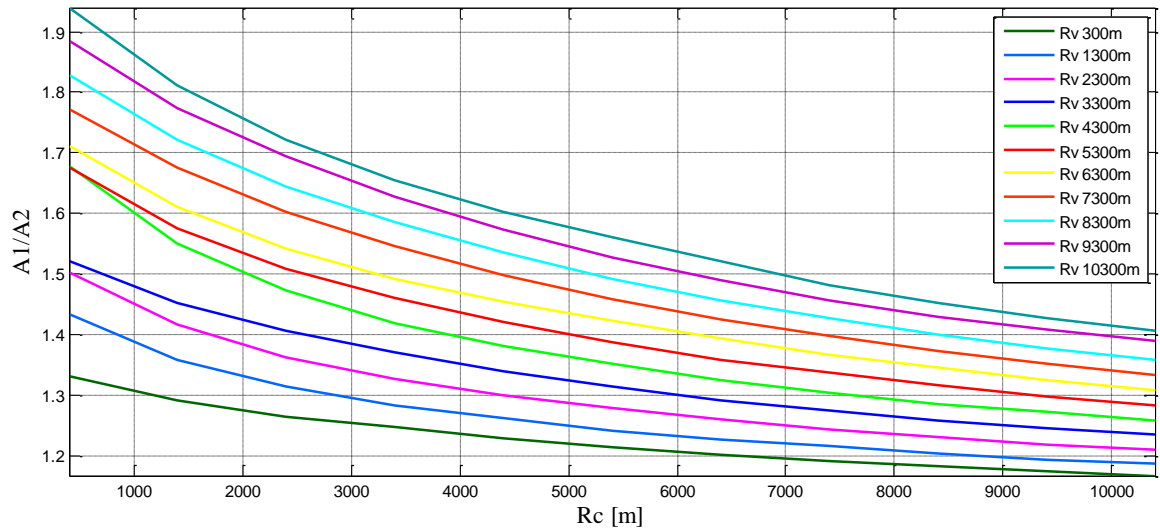


Figura 3 Relación de $A1/A2$ para un perfil de variables fijas de $i_1=6\%$, $i_c=-5\%$, $i_2=4\%$, $d=200$ m y $TAN_2=600$ m.

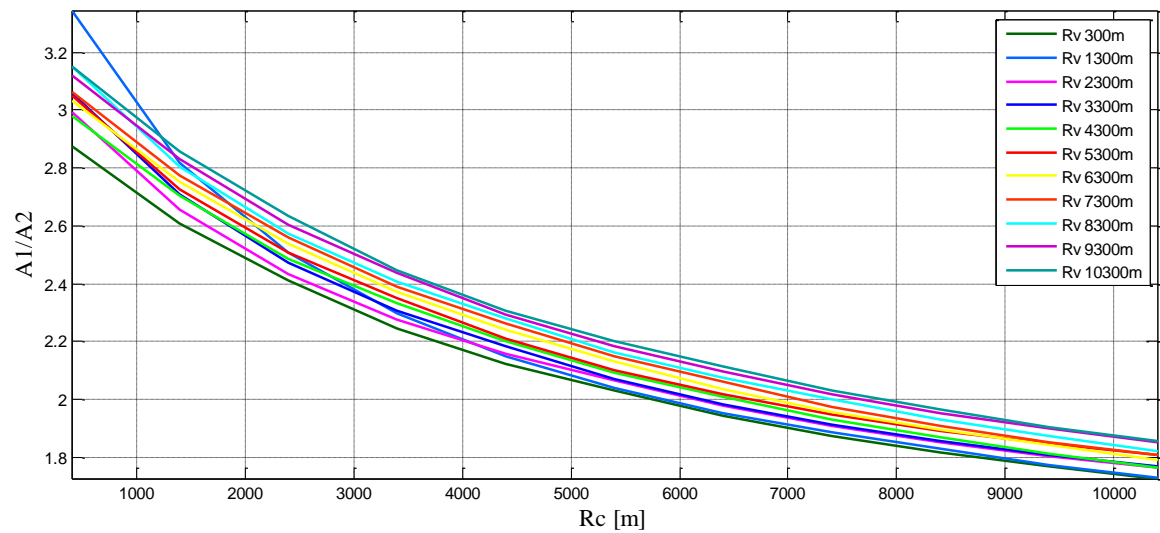


Figura 4 Relación de $A1/A2$ para un perfil de variables fijas de $i_1=4\%$, $i_c=-3\%$, $i_2=4\%$, $d=800$ m y $TAN_2=400$ m.