

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS DE DISEÑO DEL ING. RÜHLE DE
1967 Y LA ACTUALIZACIÓN 2010 DEL EICAM**

Ing. Alejandro G. Baruzzi
alejandro.baruzzi@unc.edu.ar,

Ing. María Laura Albrieu
l.albrieu@unc.edu.ar,

Ing. Federico A. Baruzzi
fedebaruzzi2@gmail.com

Estud. Mario Augusto Cemino

S.E.C.y T. - F.C.E.F. y N.
Universidad Nacional de Córdoba
Av. Vélez Sarsfield 1616
Ciudad Universitaria X 5016
Córdoba
(0351) 4334149

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS DE DISEÑO DEL ING. RÜHLE DE 1967 Y LA ACTUALIZACIÓN 2010 DEL EICAM

RESUMEN

En el presente trabajo se trató de comprobar si el comportamiento planimétrico de caminos de una calzada con dos carriles diseñados con la Normas de Diseño del Ing. Federico G. O. Rühle de 1967 era satisfactorio considerando las modificaciones impuestas por la Actualización 2010 realizada por la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – EICAM de la Universidad Nacional de San Juan y Supervisada por la Subgerencia de Estudios y Proyectos de la Dirección Nacional de Vialidad.

Dentro del marco teórico, se determinaron los valores mínimos de los distintos parámetros y coeficientes por ambas vías, se los comparó y determinó la incidencia de los cambios producidos en el diseño ya que se obtuvieron resultados diferentes en la determinación de las dimensiones de los distintos elementos del diseño geométrico.

Para la implementación de estos conceptos teóricos se realizó un relevamiento planimétrico de campo en distintos tramos de la Ruta Provincial N°5 trabajando con las mismas solicitaciones y entorno, flujo, clima y vehículo, considerando elementos con características geométricas planimétricas muy distintas, curvas horizontales con radios que varían desde 30 metros hasta 350 metros.

Se utilizaron como variables de comparación la Velocidad Máxima Crítica Segura y Velocidad Directriz Inducida, aplicados siguiendo las condiciones correspondientes a ambas normas. Del análisis de los resultados se debe inferir si el diseño planimétrico existente sigue manteniendo vigencia o deben realizarse mejoras constructivas en aquellos sectores donde no estén dadas las condiciones mínimas de seguridad.

La actualización de las normas tiene sus razones por los avances en los estudios realizados atendiendo el comportamiento del conductor, los adelantos tecnológicos del parque móvil y la necesidad de considerar un criterio flexible de diseño sin abandonar condiciones óptimas de seguridad, comodidad y economía.

1. INTRODUCCION

Las carreteras con calzadas bidireccionales representan el mayor porcentaje de kilómetros dentro de la red vial de Argentina y en un gran porcentaje fueron diseñadas teniendo en cuenta las recomendaciones de la Norma de VN67. Con el paso del tiempo se han modificado las prestaciones de los vehículos, dando por resultado mayores velocidades acompañados de una mejor respuesta al frenado. Dada la respuesta estática de la oferta, ante los cambios de la demanda, es necesaria una actualización de las recomendaciones de diseño. Por este motivo se produce la actualización de la normas, dando como resultado el estudio realizado por el EICAM.

El presente trabajo consta de un marco teórico donde se realiza una comparación expeditiva de la Normas de Diseño del Ing. Federico G. O. Rühle de 1967, VN67, y la actualización 2010 realizada por la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montana – EICAM de la Universidad Nacional de San Juan y Supervisada por la Subgerencia de Estudios y Proyectos de la Dirección Nacional de Vialidad, A10.

A los efectos de aplicar ambas recomendaciones y comparar los resultados se seleccionó la Ruta Provincial Nº5, la cual tiene una longitud de 123 Km. Conecta la Ciudad de Córdoba con Embalse Río Tercero cruzando diversas poblaciones de los valles de Paravachasca y Calamuchita, con sectores de topografía llana, ondulada y montañosa. La carretera tiene uso preponderantemente turístico, con bajo tránsito pesado y en numerosos tramos presenta escaso o nulo porcentaje de distancias de visibilidad de adelantamiento.

Realizado el relevamiento planimétrico se aplicaron como parámetros de comparación la Velocidad Máxima Crítica Segura y Velocidad Directriz Inducida. Ambos fueron calculados utilizando los coeficientes y variables correspondientes a cada norma. Obtenidos los resultados se determinó si es necesaria una reconstrucción planimétrica de los elementos que no verifican las condiciones impuestas por la nueva actualización. Como efecto colateral se deja planteado una metodología que nos permitiría evaluar las prestaciones de ofertas ejecutadas bajo la VN67.

2. MARCO TEÓRICO.

Dado que el análisis se realizó sobre algunos puntos correspondientes a la planimetría consideramos dentro del marco teórico las diferencias entre las normas VN67 y A10 referidas a esos tópicos, concretamente al despiste en curvas horizontales.

Para el diseño de curvas horizontales tanto la DNV 67/80 como la AVN' 10 utilizan el mismo modelo basado en un planteo dinámico, donde la fuerza centrífuga del vehículo circulando en una curva a velocidad constante, es contrarrestada por el peralte de la curva y la fricción transversal húmeda entre los neumáticos y la superficie de la calzada.

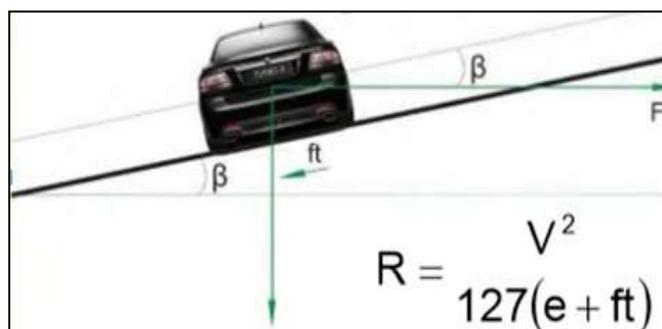


Figura Nº 1

De la fórmula se desprende que los parámetros a cotejar entre ambas normas son:

ft : fricción transversal

e : peralte (e=tangente β)

R.: radio mínimo aceptable (m)

V: velocidad (Km/h)

2.1. Coeficiente de fricción transversal. (Ft)

El coeficiente de fricción transversal depende de una serie de factores: la velocidad de vehículo, el tipo de vehículo, condición y peralte de la superficie del camino, el tipo y estado de los neumáticos.

Para la AVN'10 el coeficiente que utiliza es el de fricción transversal máxima húmeda ($Ft_{m\acute{a}x}$), es el desarrollado en condiciones de inminente deslizamiento lateral del vehículo con un razonable margen de seguridad.

La expresión de $Ft_{m\acute{a}x}$ que propone la AVN'10 es la de AASHTO 94:

$$\text{Para } V \leq 80 \text{ Km/h} \quad Ft_{m\acute{a}x} = 0,188 - 3V/5000$$

$$\text{Para } V > 80 \text{ Km/h} \quad Ft_{m\acute{a}x} = 0.24 - V/ 800$$

Donde V es la velocidad directriz.

Para VN'67/80 el coeficiente de fricción transversal que adopta es prácticamente el mismo que recomienda A.A.S.H.O , y es el máximo que ofrece un razonable margen de seguridad. La variación de este coeficiente con la velocidad directriz se ha considerado lineal decreciente adoptándose la siguiente relación empírica:

$$Ft = 0.196 - 0.0007 V$$

Comparativamente los valores que se obtienen de ambas normas se observan en la tabla N°1.

	AVN'10	DVN'67/80
V (km/h)	ftmax (m)	ftmax (m)
30	0.17	0.18
40	0.164	0.17
50	0.158	0.16
60	0.152	0.15
70	0.146	0.15
80	0.14	0.14
90	0.13	0.13
100	0.12	0.13
110	0.10	0.12
120	0.09	0.11
130	0.08	0.11

Tabla N°1. F transversal máxima según A10 y VN67.

Dichos valores graficados se observan en la Figura N°2.

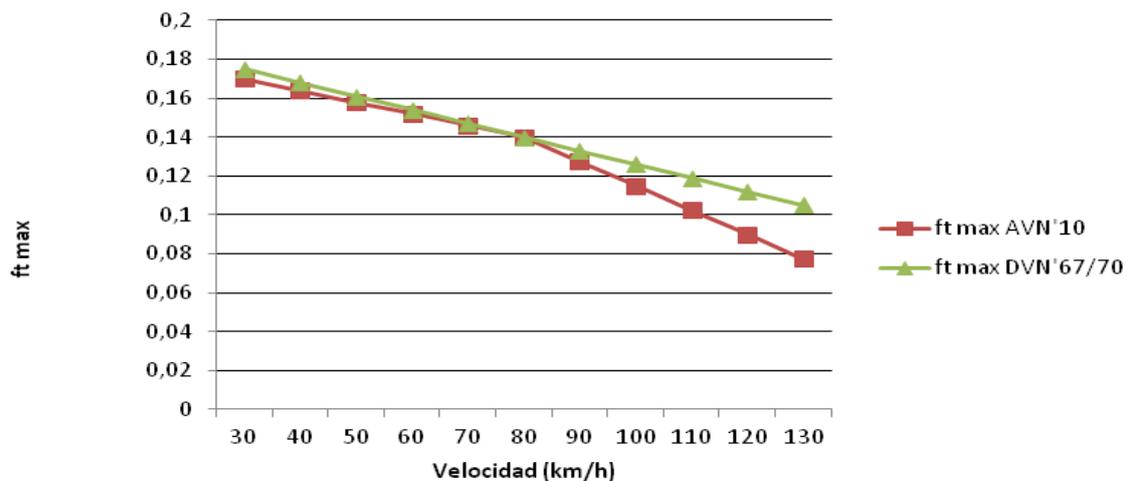


Figura N°2. Comparación gráfica de las F transversales máximas según A10 y VN67.

Podemos apreciar en la gráfica que hasta los 80 Km/h los valores de fricción son prácticamente los mismos, luego la curva que propone la AVN'10 hace un quiebre proporcionando valores menores que la recta propuesta por VN'67/80.

2.2. Peralte (e).

Para colaborar con la condición de equilibrio dinámico, normalmente se inclina la calzada un determinado ángulo β , para disminuir la proyección de la fuerza centrífuga sobre la misma.

$$e\% = \text{tang } \beta \times 100$$

En función de las siguientes condiciones se adopta los valores de peralte máximos:

- Condiciones topográficas (llanura o montaña)
- Condiciones climáticas (zonas de heladas y nevadas)
- Condiciones de operación de los vehículos (zonas de bajas velocidades, intersecciones frecuentes, zonas suburbanas o urbanas)

Sobre la base de la combinación de estos factores o condiciones se fijaron tres valores máximos de peralte ($e_{\text{máx.}}$). Ver tabla N°2

Peralte máximo	Condiciones en que se desarrolla la ruta
10%	En zonas rurales montañosas, con heladas o nevadas poco frecuentes
8%	En zonas rurales llanas, con heladas o nevadas poco frecuentes
6%	En zonas próximas a las urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades, o en zonas rurales, llanas o montañosas, sujetas a heladas o nevadas frecuentes

Tabla N°2. Peraltes máximos. Tanto la AVN'10 como VN' 67/80 utilizan los mismos valores.

2.3. Radios (R).

Radios mínimos absolutos.

Para la AVN'10 se define como radio mínimo absoluto al radio que se obtiene considerando la velocidad directriz y el peralte máximo dados, junto con la fricción húmeda máxima, lo cual corresponde a la condición límite de seguridad contra el deslizamiento transversal.

Para VN' 67/80 corresponde la misma definición, la diferencia está en los distintos valores de $Ft_{m\acute{a}x}$.

$$R_{\min \text{ abs}} = \frac{V^2}{127 \times (e_{\max} + f_{t\max})}$$

En esta condición de radio mínimo absoluto, ningún conductor se sentirá cómodo o seguro al viajar a la velocidad directriz. Esta condición se reserva para casos excepcionales donde el proyectista tiene la obligación de eludir como sea posible y práctico.

En la tabla N°3 se observa un cuadro comparativo de los Radios mínimos absolutos en función de la velocidad y un $e_{m\acute{a}x}$ del 10%.

	AVN'10	DVN'67/80
V (km/h)	Rmin abs (m)	Rmin abs (m)
30	26	26
40	48	47
50	76	75
60	112	112
70	157	156
80	210	210
90	280	274
100	366	348
110	470	435
120	597	535
130	750	649

Tabla N° 3. Cuadro comparativo de $R_{\min \text{ abs}}$.

En la Figura N°3 se observa la gráfica correspondiente.

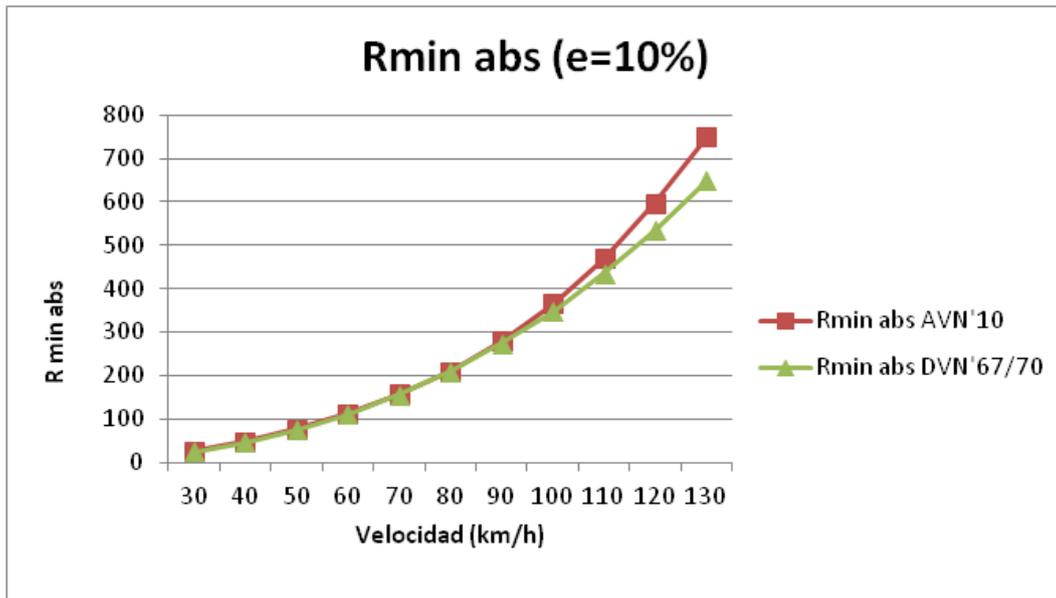


Figura N°3. Gráfica correspondiente de R_{min abs} según norma.

Como se observa los valores de R_{min abs} se separan a partir de los 80 km/h que es cuando hay mayor variación en la determinación de Ft_{máx}.

Radio mínimo deseable.

Para la AVN'10 se obtiene usando la VMM (velocidad media de marcha) para una velocidad directriz, el peralte máximo dado y el coeficiente de fricción transversal húmedo nulo.

$$R_{\min \text{ des}} = \frac{VMM^2}{127 \times (e_{\max} + 0)}$$

Para VN'67/80 se consideran deseables aquellos en que la fricción utilizada para vehículos marchando a la velocidad directriz corresponda a coeficientes menores que la mitad de los máximos (Ft= Ft_{máx} /2).

$$R_{\min \text{ des}} = \frac{V^2}{127 \times \left(e_{\max} + \frac{ft_{\max}}{2} \right)}$$

No se tiene en cuenta criterio de faros.

2.4. Velocidad.(V)

Velocidad Directriz: Tanto para VN67/80 como AVN'10, es la máxima velocidad a la que puede circular con seguridad en todos sus puntos un conductor de habilidad media manejando un vehículo en condiciones mecánicas aceptables en una corriente de tránsito

con volúmenes tan bajos que no influyan en la elección de su velocidad, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables.

Es la velocidad que define los parámetros mínimos de diseño.

Velocidad media de marcha: En condiciones de flujo libre, velocidad promedio, 50% percentil, de una corriente de tránsito computada como la longitud de segmento de camino dividida por el tiempo promedio de viaje de los vehículos que atraviesan el segmento, en kilómetros por hora.

$$\text{VN67/80} \quad \text{VMM} = 1.035 \text{ VD} - \frac{\text{VD}^2}{400}$$

$$\text{AVN'10} \quad \begin{array}{l} \text{VMM} = V \\ \text{VMM} = 1.782 V^{0.83754} \end{array} \quad \begin{array}{l} V \leq 40 \text{ Km/h} \\ V > 40 \text{ Km/h} \end{array}$$

Velocidad directriz Inferida: Los alineamientos horizontales (y verticales) se diseñan para una velocidad directriz designada (seleccionada) de acuerdo con las normas de diseño geométrico correspondiente.

El proceso inverso es tratar de inferir cual fue la velocidad directriz seleccionada del proyecto de un camino existente, de cuyas curvas se conocen R y e por medición, y la norma de aplicación. Tal velocidad recibe el nombre de Velocidad directriz inferida, VDI, que por definición en un buen diseño debería ser igual a la velocidad directriz designada (desconocida). Entre otras aplicaciones se necesita conocer VDI, para tareas de planeamiento, reconstrucciones, mejoramientos y es dato esencial para auditorías de ingeniería de seguridad vial. Para su determinación en A10 se trabaja con la relación que vincula VMM con VD, considerando que para ese caso $Ft_{\text{máx}}$ toma un valor 0 y en el caso de VN67 se trabaja con la correspondiente curva de distribución de peralte y fricción.

Velocidad máxima segura crítica: Un concepto distinto de velocidad directriz (designada o inferida) es la velocidad máxima segura crítica o límite, inferida a partir de los valores R y e medidos, para fricción lateral máxima. Es un indicador límite de seguridad al despiste. Se resuelve por iteración, dado que la fricción es función de V. Se usa tanto para A10 y VN67/80 lo que cambia es el cálculo de $Ft_{\text{máx}}$.

$$\text{VMSC} = \sqrt[2]{127 * R * (e + Ft_{\text{máx}})}$$

3. RELEVAMIENTO DE CAMPO.

La Ruta Provincial N°5, con una longitud de 123 Km, conecta la Ciudad de Córdoba con Embalse Río Tercero cruzando diversas poblaciones de los valles de Paravachasca y Calamuchita, con sectores de topografía llana, ondulada y montañosa. La carretera tiene uso preponderantemente turístico, con bajo tránsito pesado y en extensos tramos presenta escaso o nulo porcentaje de distancias de visibilidad de adelantamiento.

El tramo en análisis presenta una longitud del orden de 39,8 Km, entre las zonas urbanas de Villa Anisacate y Villa General Belgrano. En su recorrido, la RP N°5 bordea el Embalse Los Molinos que actúa como limitante físico en algunos kilómetros de la traza. De acuerdo a información secundaria el TMDA 2015 es del orden de 4500 vehículos por día.

En líneas generales se lo puede considerar compuesto por dos tramos con características de diseño bien diferenciadas; el primero, entre Villa Anisacate y el Embalse Los Molinos, con prohibición de sobrepaso en toda su longitud debido a una planialtimetría muy exigida que

se "pega" al relieve, con curvas horizontales de gran curvatura, corresponde a topografía montañosa, y el segundo, entre el Embalse Los Molinos y Villa General Belgrano, donde el recorrido en general es más recto, con curvas horizontales más espaciadas, de mayor radio, curvas verticales más tendidas y algunas zonas de sobrepaso permitido, corresponde a topografía ondulada. Ambos sectores están unidos por el tramo que bordea al Embalse Los Molinos que tiene parámetros similares al primero.

En ambos tramos se trabajó sobre la planimetría, considerando las curvas horizontales más exigentes o de menor radio en el primero y otras de menor curvatura en el segundo. Sobre ellas se estimarán las velocidades directrices inferidas y máximas seguras críticas aplicando la VN67/80 y la A10.

Se adjuntan las Figura N°4 y N°5 donde se pueden observar algunas de las curvas seleccionadas en cada tramo y la Tabla N°4 donde se presenta la totalidad de las curvas relevadas y los parámetros medidos.



Figura N°4. Planimetría curvas 4,5,6 y 7 y foto de curva N°4 de radio 33 metros.



Figura N°5. Planimetría curvas 8 y 9 y foto de curva N°8 de radio 317 metros.

Curvas relevadas:

CURVA	RADIO (mts)	PERALTE (%)
1	73,00	6
2	75,00	8
3	30,00	8
4	33,00	7
5	30,00	10
6	28,00	8
7	57,00	5
8	317,00	5
9	325,00	5
10	280,00	5

Tabla N°4. Curvas y parámetros relevados de cada una.

4. APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPARACIÓN SELECCIONADOS.

Los parámetros seleccionados para evaluar si se puede esperar que las infraestructuras ejecutadas respetando la VN67 tengan una respuesta planimétrica aceptable bajo las demandas actuales fueron: Velocidad máxima segura crítica (VMSC) y la Velocidad directriz inferida (VDI). Se seleccionó la VDI para determinar cuál sería la Velocidad de diseño correspondiente a cada norma según lo relevado y la VMSC para determinar según las condiciones existentes cual sería la máxima velocidad para cada norma que se podría desarrollar en el límite del despiste.

Conociendo el Radio (R), Peralte (e) y la norma de aplicación es posible definir la VDI y la VMSC.

Para el cálculo de VDI y VMSC según ambas normas se utilizaron las fórmulas correspondientes al trabajo "VELOCIDADES Y DISTRIBUCION DEL PERALTE EN LA CURVAS HORIZONTALES" del Ing. Francisco Justo Sierra e Ing. Alejandra Débora Fissore.(2016).

En la tabla N°5 se adjuntan los resultados correspondientes.

TRAMO	CURVAS HORIZONTALES	PARAMETROS		A10			VN67		
		Radio	Peralte	Ftsal	VDI emax10	VMSC	Ftsal	VDI emax10	VMSC
1	1	73,00	6%	0,1609	22	45	0,1641	28	46
	2	75,00	8%	0,1590	26	48	0,1624	34	48
	3	30,00	8%	0,1690	15	31	0,1743	22	31
	4	33,00	7%	0,1690	15	32	0,1723	21	32
	5	30,00	10%	0,1688	17	32	0,1735	30	32
	6	28,00	8%	0,1700	15	30	0,1749	21	30
	7	57,00	5%	0,1631	17	39	0,1681	22	40
2	8	317,00	5%	0,1328	47	86	0,1355	48	86
	9	325,00	5%	0,1317	48	87	0,1349	49	87
	10	280,00	5%	0,1378	44	82	0,1387	45	82

Tabla N°5. Velocidades de diseño inferidas y máximas seguras críticas según A10 y VN67.

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Para comparar los resultados de las columnas de VDI y VMSC de ambas recomendaciones se graficaron sus valores en función del radio de cada elemento. Ver figuras N° 6, 7, 8.y 9

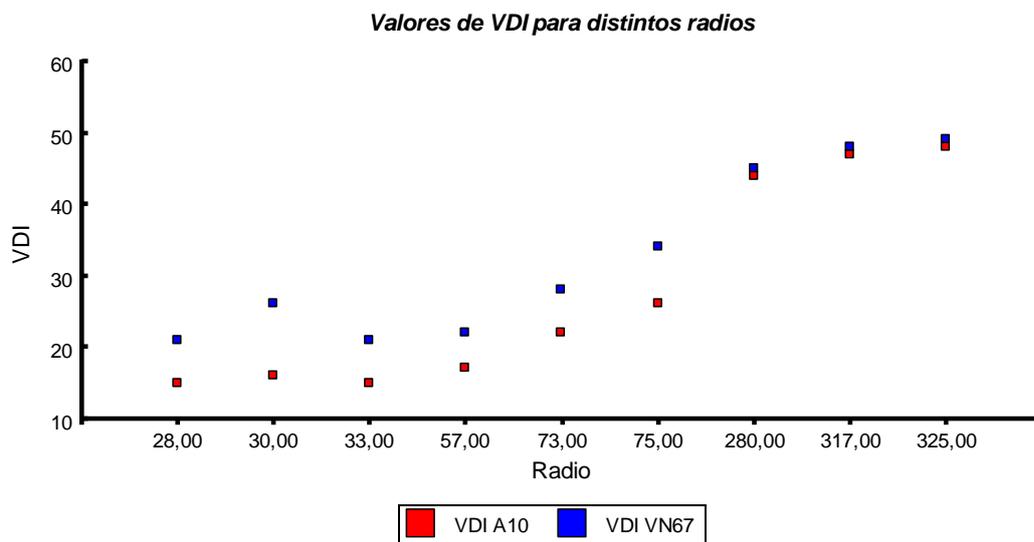


Figura N°6. VDI para distintos radios según la A10 y VN67.

Como se observa en la figura N°6 para radios iguales o menores a 75 metros hay diferencias y para radios iguales o mayores a 280 metros esas diferencias son mínimas. Ver figura N°7.

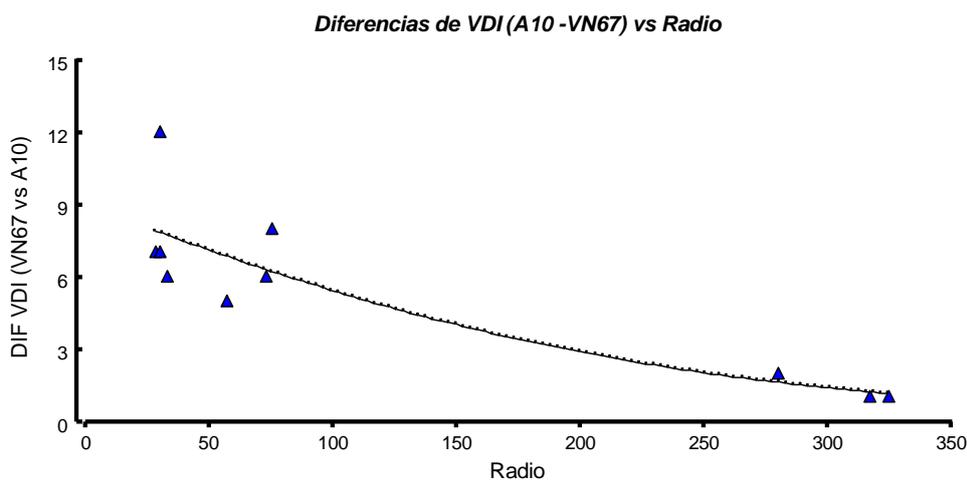


Figura N°7. Diferencias de VDI vs Radio

De la misma forma se procedió con la VMSC graficando las mismas en función de la A10 y VN67, figura N°8 y las diferencias entre los valores de VMSC para los distintos radios. Ver Figura N°9.

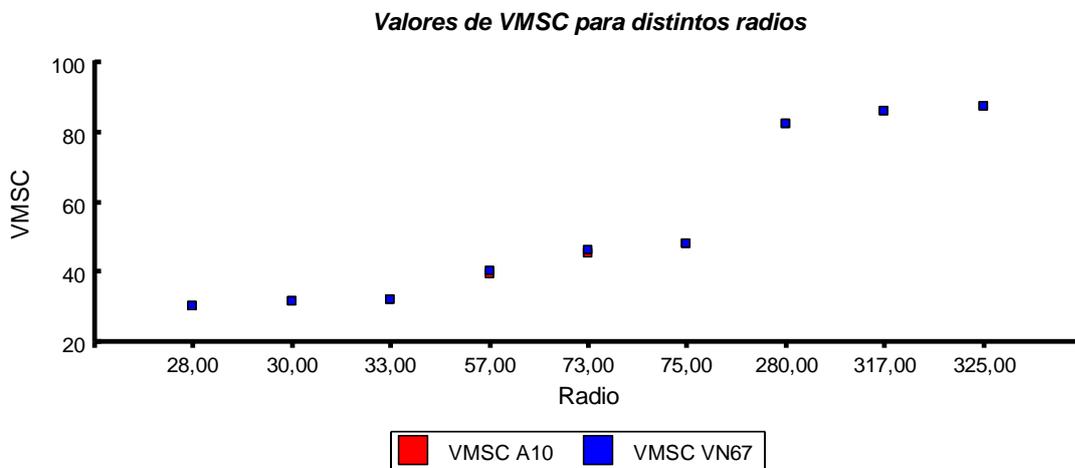


Figura N°8. VMSC para distintos radios según la A10 y VN67.

Como se observa en la figura N°9 para todos los radios analizados las diferencias son mínimas.

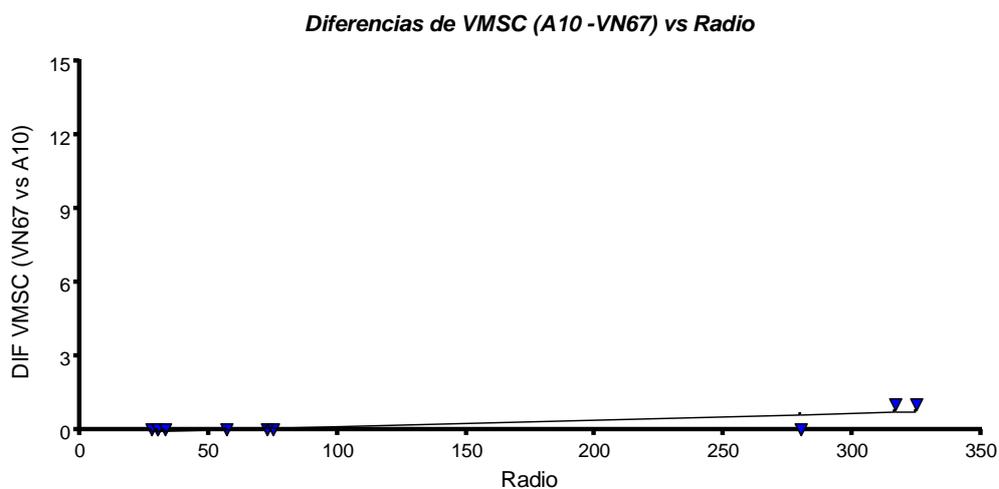


Figura N°9. Diferencias de VMSC vs Radio.

Análisis estadístico. Inferencia basada en dos muestras. Prueba T para observaciones apareadas.

Con la finalidad de verificar si las diferencias encontradas son producto del azar se testearon los valores encontrados para VMSC. Los resultados se muestran en la tabla N° 6

Prueba T (muestras apareadas)						
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	p (2colas)
VMSC A10	VMSC VN67	10	-0,2	0,42	-1,5	0,1679

Tabla N° 6: Prueba T para VMSC

Se considera la comparación de las VMSC correspondientes a la tabla N°5, A10 y VN67. El valor de $p > 0,05$ sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades, o sea que la media de las diferencias de las velocidades es significativamente próxima a cero, por lo tanto se infiere que en las condiciones límites la respuesta de estos elementos es aproximadamente igual.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo analizó el comportamiento de elementos planimétricos independientes, curvas horizontales, de un tramo de RP N°5, calzada con dos carriles indivisos, según Normas de Diseño del Ing. Federico G. O. Rühle de 1967 y las modificaciones impuestas por la Actualización 2010 realizada por la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – EICAM de la Universidad Nacional de San Juan y Supervisada por la Subgerencia de Estudios y Proyectos de la Dirección Nacional de Vialidad. Estos elementos fueron analizados al despiste en forma independiente, sin considerar la consistencia del diseño en el tramo considerado.
- Se efectuó el relevamiento de elementos planimétricos, curvas horizontales, en dos tramos bien diferenciados, uno correspondiente a topografía montañosa y otro a topografía ondulada diseñados con peralte máximo 10%.
- Se utilizaron como indicadores la Velocidad Directriz Inferida y la Velocidad Máxima Segura Crítica, condición límite al despiste.
- Considerando VDI para valores de Radios menores a 75 metros se encontró diferencias entre la VN67 y la A10, para Radios mayores a 280 metros no se encontraron diferencias.
- En cuanto a la VMSC no se encontraron diferencias independientemente del radio relevado, dado que la Fricción Transversal en la A10 difiere muy poco de la correspondiente a la VN67. Las condiciones de seguridad límite, para las características del camino relevado, se mantienen sea la norma que se considere.
- Es de destacar que los valores encontrados corresponden a las condiciones descriptas. Los autores consideran que este estudio debería completarse con el análisis del diseño del resto de los elementos planialtimétricos y con un estudio de coherencia del diseño para tener una opinión acabada respecto a la respuesta geométrica de los caminos, que poseen esas características existentes, atendiendo las exigencias actuales; posteriormente generalizarlo a las ofertas presentes en distintos entornos topográficos y climáticos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Libro Verde. 3a Edición.

AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Libro Verde. 6a Edición

Barnett, Joseph. (1954), *Curvas con transiciones para caminos*. Dirección Nacional de Vialidad 3ª Edición

DNV A10. *Actualización 2010 Normas y recomendaciones de diseño geométrico y seguridad vial – Instrucciones generales de estudios y proyectos A) Obras básicas.* Dirección Nacional de Vialidad

Ruhle, F. . (1967) *Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales.* Dirección Nacional de Vialidad 67/80.

Sierra, Francisco J. (1997). *Comparación normas DNV 67/80 - AASHTO 1994.* Actas del XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito (Premio) Revista Carreteras

https://docs.google.com/folderview?id=0BxLPNTrCi_7uX1dERkJmcm5RU2M&tid=0BxLPNTrCi_7uS0dpcnZGazE0QzQ

https://docs.google.com/folderview?id=0BxLPNTrCi_7ud0RVNTIaamFxbUU&tid=0BxLPNTrCi_7uS0dpcnZGazE0QzQ

http://ingenieriadeseuridadvial.blogspot.com.ar/2012/11/normas-y-recomendaciones-dedisen_6.html