

“CÁLCULO DE CURVAS HORIZONTALES Y VERTICALES MEDIANTE PLANILLAS EXCEL”

Becario: Juan Ignacio Calderón.

Tutores: Ing. Luis Agustín Ricci y el Sr. Luciano Brizuela.

Área Estudios del Transporte.

Año 2009.

En este apunte se desarrollaran las tareas efectuadas como investigación de becario, como objetivo se ha planteado el aprendizaje y conocimiento de los lineamientos fundamentales para el diseño geométrico de curvas horizontales y verticales a proyectar en caminos.

Como aporte o elemento innovador se utilizaran herramientas informáticas actuales generando planillas automatizadas que brinden apoyo al proyectista vial. Con dichas planillas se estudiaran la sensibilidad de algunos parámetros intervinientes en el cálculo de dichas curvas.

2. Desarrollo:

A continuación se describirán los conceptos básicos del diseño geométrico de curvas para caminos, de manera de tener en claro los parámetros que intervendrán en la ejecución de las planillas automatizadas.

2.1 Alineamiento Planimétrico:

En el diseño de un camino, la intersección de dos tramos rectos se resuelve mediante la incorporación de una curva, la cual generalmente es circular.

Al hablar de curvas horizontales el factor fundamental para su definición es el Radio. Para la definición del mismo influyen muchos puntos como el peralte, la fricción, velocidad directriz, etc.

Peralte:

El peralte es la inclinación transversal de la calzada que compensa en parte las fuerzas centrípetas que se generan al transitar en tramos curvos. Estos rondan entre el 6 y el 10 % según las condiciones en que se desarrolla la ruta.

Coefficiente de fricción lateral:

La variación de este coeficiente con la velocidad directriz se ha considerado lineal adoptándose la siguiente relación empírica:

$$f = 0.196 - 0.0007 VD$$

siendo:

f = coeficiente de fricción (adimensional)

VD = velocidad directriz (km/h)

Radio mínimo de curvatura:

De acuerdo a los coeficientes de fricción lateral adoptados se han determinado los radios mínimos de las curvas circulares, para cada valor del peralte, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$R = 0.007865 (VD^2 / p + f)$$

Siendo:

R = radio circular (m)

VD = velocidad directriz (km/h)

p = peralte (adimensional)

f = coeficiente de fricción (adimensional)

Radio mínimo deseables:

Un primer criterio para fijar radios deseables, seria el de encuadrar en tal denominación, a aquellos en los que la fricción, utilizada para vehículos

marchando a la velocidad directriz, corresponda a coeficientes menores que la mitad de los máximos.

En ese caso se utilizaría el 50 % del coeficiente de fricción f .

Por otra parte, un segundo criterio sería el de considerar como deseables, los radios que durante la noche permitan iluminar suficientemente a objetos colocados en el camino, a una distancia igual a la de frenado. Por lo general la velocidad de los vehículos es menor durante la noche, se considera suficiente adoptar la distancia de frenado correspondiente a una velocidad igual al 90 % de la directriz.

En ese caso se utilizaría el 90 % de la velocidad directriz VD .

Ahora bien al transitar por un tramo recto y pasar a circular por una curva circular, se genera una incorporación de una fuerza centrípeta inmediata que influye en la comodidad o confort del conductor. Para evitar esa incomodidad se suelen incorporar curvas de transición que permitan un aumento gradual de la fuerza centrípeta. Dichas curvas suelen llamarse Curvas de Transición y se emplean para las mismas la geometría de una espiral por poseer una disminución gradual de su radio.

Curvas de Transición:

El factor fundamental a definir en una curva de transición es su longitud.

Existen 3 criterios para este punto:

- * Comodidad
- * Apariencia general
- * Apariencia del borde

1º criterio –Comodidad

Adoptando como “transición” la espiral de Euler y en el caso que, en cada uno de sus puntos, el peralte sea proporcional al desarrollo de la curva, se llega a que la longitud necesaria está dada por la siguiente fórmula:

$$L_e = 93.6 \frac{VD}{A} (0.007865 \frac{VD^2}{R} - p)$$

Siendo:

L_e = longitud espiral (m)

VD = velocidad directriz (km/h)

A = aceleración de la aceleración centrífuga en $(m/seg^3)^*$

R = radio circular (m)

p = peralte (adimensional)

* el valor de “ A ” que no proporciona ninguna sensación de incomodidad a los ocupantes de los vehículos, está comprendido entre $0.30 m/seg^3$ y $0.6 m/seg^3$. Se adopta el valor de $0.45 m/seg^3$ (promedio de los dos anteriores).

2º criterio-Apariencia general

Se considera que la transición debe tener una longitud mínima tal que un vehículo marchando a la velocidad directriz, no tarde menos de 2 segundos en recorrerla.

En consecuencia la longitud mínima en metros está dada por la siguiente expresión:

$$L_e = VD / 1.8$$

siendo:

L_e = longitud espiral (m)

VD = velocidad directriz (km/h)

En ningún caso se introducirá una longitud de transición inferior a 30 metros.

3º criterio- Apariencia de borde

Normalmente, el desarrollo del peralte debe efectuarse a lo largo de la espiral. En consecuencia, bajo este aspecto, la longitud mínima surge de la pendiente relativa máxima a dar al borde exterior de la curva de transición con respecto al eje de la calzada.

Para suavizar el quiebre de pendiente en los bordes de la curva en los puntos T.E. (tangente espiral) y C.E. (curva espiral), se han adoptado los siguientes valores máximos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada respecto al eje:

$$i = 40 / VD$$

Siendo:

i = pendiente relativa mencionada (%)

VD = velocidad directriz (km/h)

Además, siendo "a" y "S" el ancho y sobreaño (en metros) de la calzada, y "p" el peralte; la longitud mínima de la transición deberá ser la siguiente:

$$L_e = 1.25 (a+S) p V$$

Longitudes de transición a adoptar:

En este caso se adopta la mayor de las tres longitudes (criterios), redondeándolo en múltiplos de 10 metros.

Longitudes deseables:

Se recalca que las longitudes antes calculadas son las mínimas. Desde el punto de vista estético, cuando no hay inconvenientes de otra índole, es aconsejable aumentarlas en el orden del 50 % al 100% sobre todo para curvas de radios amplios y velocidades directrices elevadas.

Además para que el aspecto agradable de la curva de transición pueda ser apreciado por los usuarios, su longitud no deberá ser inferior a la décima parte del radio.

Radio a partir de los cuales no es indispensable introducir curvas de transición:

Se considera que cuando el desplazamiento "E" entre la curva circular y la tangente es menor que 0.10 m es innecesario introducir una curva de transición entre ambas, ya que el vehículo describirá de por sí una transición sin apartarse más de 0.10 metros del eje de su trocha.

La expresión que da aproximadamente este desplazamiento es la siguiente:

$$E = L_e^2 / 24 R$$

Teniendo en cuenta la condición de comodidad, despreciando el peralte y resolviendo matemáticamente, se llega a despejar el valor R y se obtiene:

$$R = 0.098 VD^2$$

En este caso R es el radio mínimo que no requerirá transición y VD la velocidad directriz fijada.

Sobreanchos:

Para mantener en las curvas las mismas condiciones de seguridad en el cruce de vehículos que en las rectas, es necesario introducir sobreanchos, por las siguientes razones:

- a- el vehículo al describir la curva, ocupa un mayor ancho, ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras. Además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior al del vehículo.
- b- La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su trocha debido a la menor facilidad de apreciar la posición relativa de sus vehículos dentro de la curva.

Esta de más decir que esta dificultad aumentaría con la velocidad y disminuye a medida que los radios de las curvas son mayores.

Para determinar la magnitud del sobreancho, debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta. Dada la gran proporción de camiones que circulan por los caminos, se ha tomado como vehículo representativo un camión semiremolque de las siguientes dimensiones:

Distancia entre la parte frontal y eje delantero (L_1) = 1.20 m

Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora (L_2) = 4.30 m

Distancia entre el eje trasero de la unidad tractora y el eje del semiremolque (L_3) = 6.40 m

Siendo R el radio de la curva en metros y VD la velocidad directriz en km/hora, la expresión que da el sobreancho S, en metros, de un camino de 2 trochas es la siguiente:

$$S = 2 [R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)}] + (\sqrt{R^2 + L_1(2L_2 + L_1)}) - R + (VD/10\sqrt{R})$$

En caso de curvas con transición espiral, el sobreancho se deberá repartir, en general, por partes iguales a ambos lados del eje; en cambio para curvas con transición simple, se lo ubicará siempre en el borde interior de la curva circular.

Por razones prácticas no se proporciona sobreancho a las curvas, cuando su cálculo arroje un valor inferior a 0.50 m.

2.2 Alineamiento Altimétrico:

Para obtener un cambio gradual entre dos rasantes rectilíneas continuas de diferente pendiente, es necesario introducir entre ellas una curva vertical.

El diseño geométrico de las curvas verticales, deberá permitir que se cumplan las siguientes condiciones:

- 1º Seguridad para el tránsito
- 2º Comodidad para los ocupantes de los vehículos
- 3º Apariencia estética de la rasante
- 4º Drenaje superficial adecuado

Existen 2 tipos de curvas:

Curvas Convexas:

Se trata de determinarlos parámetros de este tipo de curvas que permitan cumplir simultáneamente las cuatro condiciones impuestas anteriormente.

1º condición - Seguridad para el tránsito

Para satisfacer esta condición, es indispensable contar con distancias de visibilidad, desde el ojo del conductor hasta el posible obstáculo, iguales a las de detención. Se consideran los casos de operación diurna y nocturna.

a- para operación diurna, las distancias de detención elegidas, son las correspondientes a la velocidad directriz.

b- para operación nocturna se han adoptado distancias de detención correspondientes a una velocidad igual al 90 % de la directriz.

Para el cálculo de los parámetros es necesario conocer los siguientes términos:

P Parámetro mínimo absoluto para operación diurna.

P: Parámetro mínimo absoluto para operación nocturna.

P: parámetro mínimo deseable.

D1: distancia de detención correspondiente a la velocidad directriz.

D': distancia de detención correspondiente al 90 % de la velocidad directriz.

h: altura del ojo del conductor (1.10 m)

h': altura del objeto (0.20 m)

h'': altura de los faros del vehiculo (0.65 m)

h''': altura del vehiculo (1.35 m)

i: diferencia algebraica de pendientes.

L: longitud de la curva vertical.

Parámetros mínimos absolutos para operación diurna:

$$P = 2 D1 / i - 2(\sqrt{h} + \sqrt{h'})^2 / i^2 \text{ (valida para } L < D1 \text{)}$$

$$P = D1^2 / 2(\sqrt{h} + \sqrt{h'})^2 \text{ (valida para } L > D1 \text{)}$$

Parámetros mínimos absolutos para operación nocturna:

$$P' = 2 D' / i - 2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2 / i^2 \text{ (valida para } L < D' \text{)}$$

$$P' = D'^2 / 2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2 \text{ (valida para } L > D' \text{)}$$

Parámetros mínimos deseables:

$$P'' = 2 D1 / i - 2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2 / i^2 \text{ (valida para } L < D1 \text{)}$$

$$P'' = D1^2 / 2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2 \text{ (valida para } L > D1 \text{)}$$

2º condición - Comodidad de los ocupantes de los vehículos

a- aceleración radial máxima: al circular un vehiculo por una curva vertical, sus ocupantes están sujetos a una aceleración radial determinada por la velocidad de aquel y el radio de curvatura. Respecto del valor máximo admisible de dicha aceleración, que no ocasione sensación de incomodidad, variando entre 1.20 m/seg² a 0.15 m/seg².

Se considera que en general un valor de 0.30 m/seg² responde con amplitud a las exigencias de la comodidad.

Teniendo en cuenta que el parámetro de las parábolas cuadráticas es igual al radio de curvatura en su vértice y que estas son sensiblemente equivalentes a curvas circulares a radio igual a dicho parámetro, se tiene:

$$P = VD^2 / a$$

Como $a = 0.30 \text{ m/seg}^2$

$$P = 0.25 \text{ VD}^2$$

3º condición - Apariencia estética de la rasante

Desde el punto de vista estético, para evitar que la rasante presente un aspecto no satisfactorio, se ha fijado para las curvas verticales convexas, una longitud mínima dependiente de la velocidad directriz.

Siendo $L_{\text{mín}}$ la longitud mínima en metros y VD la velocidad directriz en km/hora, la expresión adoptada es la siguiente:

$$L_{\text{mín.}} = 0.7 \text{ VD}$$

$$P_{\text{mín.}} = 0.7 \text{ VD} / i$$

En esta última expresión $P_{\text{mín}}$ es el parámetro, e "i" la diferencia algebraica de pendientes.

Independientemente de la velocidad directriz, se ha elegido, como límite inferior de los parámetros, el valor de 400 metros, o sea:

$$P_{\text{mín}} = 400 \text{ (en metros)}$$

4º condición - Drenaje superficial adecuado

El problema del drenaje solo se presenta en las curvas verticales con pavimentos provistos de cordones.

Las Normas A.A.S.H.O. de diseño geométrico de caminos rurales consideran que en estos casos el drenaje es adecuado, cuando a una distancia de 15.20 metros de dicho punto, la pendiente longitudinal es igual o mayor que 0.35 %. Esto implica que el parámetro no supere los 4.350 m, o sea que para velocidades superiores a 90 km/hora, esta condición estaría en general en contraposición con las del criterio de seguridad.

No obstante es poco frecuente, en caminos rurales, el uso de cordones.

Sobrepaso de vehículos:

Para el caso de operación diurna en que a lo largo de la distancia de sobrepaso (D_2) correspondiente a la velocidad directriz, haya un solo alineamiento recto y que altimétricamente, haya solamente dos rasantes unidas por una curva vertical convexa; los parámetros mínimos que permiten la maniobra de sobrepaso están dados por las siguientes expresiones:

$$P = 2 D_2 / i - 2(\sqrt{h} + \sqrt{h''} - 0.05)^2 / i^2 \text{ (válida para } L < D_2)$$

$$P = D_2^2 / 2(\sqrt{h} + \sqrt{h''} - 0.05)^2 \text{ (válida para } L > D_2)$$

Debido a la baja altura de los faros de los coches, en curvas convexas, de noche, un conductor recién puede ver directamente un vehículo que se acerca en sentido contrario, a una distancia menor que en el caso de operación diurna. No obstante, debido a la iluminación indirecta de elementos próximos al camino, tales como árboles, taludes, etc., o aun el propio resplandor de los

faros en la atmósfera, puede apreciarse la aproximación de un vehículo en sentido contrario, antes de percibir directamente la luz de sus faros.

De suponerse curvas horizontales y verticales o de existir más de una curva vertical a lo largo de una distancia igual a la de sobrepaso, deberá verificarse que no existan obstáculos por encima de la visual de dicha longitud, tendida de ojo del conductor a vehículo, a alturas sobre la calzada de 1.10 m y de 1.30 m respectivamente.

Curvas Cóncavas:

Las condiciones que debe cumplir el diseño geométrico de estas curvas son las ya mencionadas anteriormente.

1º condición - Seguridad para el tránsito

En este caso prevalecen las condiciones de operación nocturna, ya que dada la configuración de la curva, no hay problemas de visibilidad en horas diurnas.

Se han adoptado como mínimos absolutos, los parámetros que permiten una suficiente iluminación nocturna a una distancia igual a la de frenado, correspondiente a una velocidad del vehículo equivalente al 90 % de la velocidad directriz.

Usando las notaciones dadas para las curvas convexas tendremos:

Parámetros mínimos absolutos (operación nocturna)

$$P' = 2 D' / i - (2h'' + 0.035 D') / i^2 \quad (\text{válida para } L < D')$$

$$P' = D'^2 / (2h'' + 0.035 D')^2 \quad (\text{válida para } L > D')$$

Parámetros mínimos deseables (operación nocturna)

$$P'' = 2 D1 / i - (2h'' + 0.035 D1) / i^2 \quad (\text{válida para } L < D1)$$

$$P'' = D1^2 / (2h'' + 0.035 D1) \quad (\text{válida para } L > D')$$

Tanto para “2º condición - Comodidad de los ocupantes de los vehículos”, “3º condición - Apariencia estética de la rasante”, como “4º condición - Drenaje superficial adecuado” los cálculos se efectúan de la misma manera que en curvas convexas.

Sobrepaso de vehículos:

Hay que tener en cuenta cuando la curva vertical es cóncava, y la misma se desarrolla en correspondencia con una intersección a distinto nivel, que la visual del conductor puede quedar obstruida por la estructura superior.

Teniendo en cuenta que la condición más desfavorable se produce cuando el vértice de la curva cóncava se encuentra aproximadamente en correspondencia con la estructura superior, con suficiente exactitud, los parámetros mínimos de las curvas verticales están dados por las siguientes expresiones:

$$P = 2 D2 / i - 8 (D - (h1 + h') / 2) / i^2 \quad (\text{válida para } L < D2)$$

$$P = D2^2 / 8 (H - (h1 + h') / 3) \quad (\text{válida para } L > D2)$$

Siendo:

H = altura de la estructura sobre el pavimento de la curva vertical, en metros.

h1 = altura del ojo del conductor sobre el pavimento. El caso mas desfavorable corresponde a un conductor de ómnibus con h1 = 2.20 m.

h' = altura del objeto. Se adopta el valor de 0.20 m

Análisis de Sensibilidad

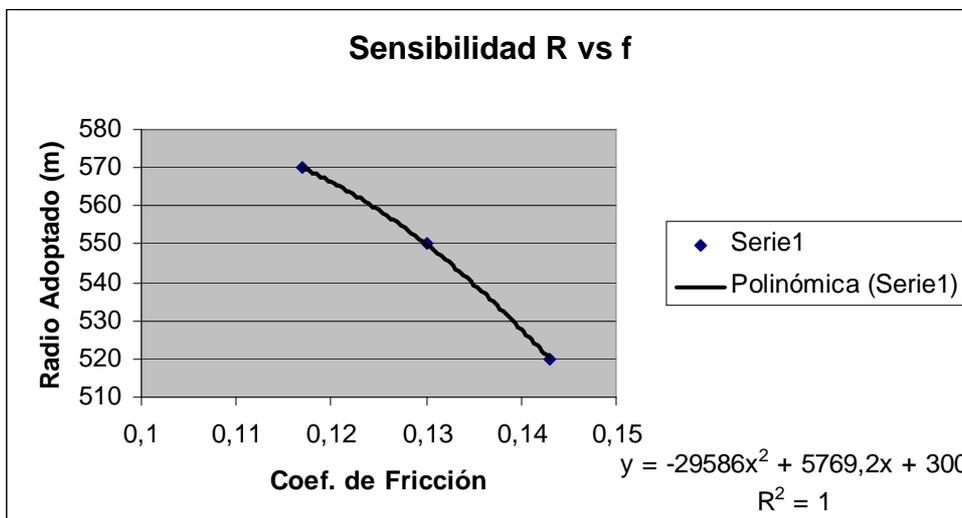
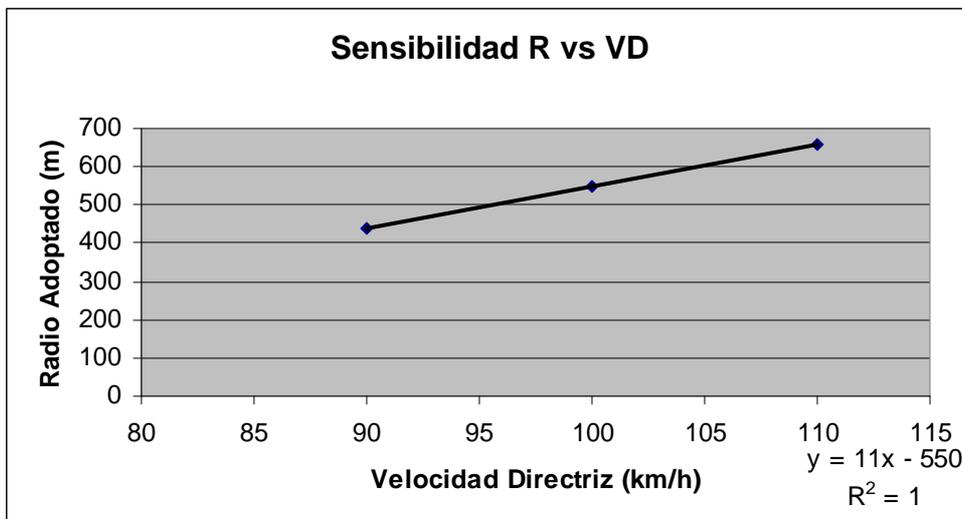
Se hizo un análisis de sensibilidad para saber que variable tenía mayor predominancia en el cómputo de curvas horizontales, es decir, que factor influye más en el cálculo del Radio de Curvatura. Llegando a la conclusión evidente de que la Velocidad Directriz es la variable con mayor “peso”.

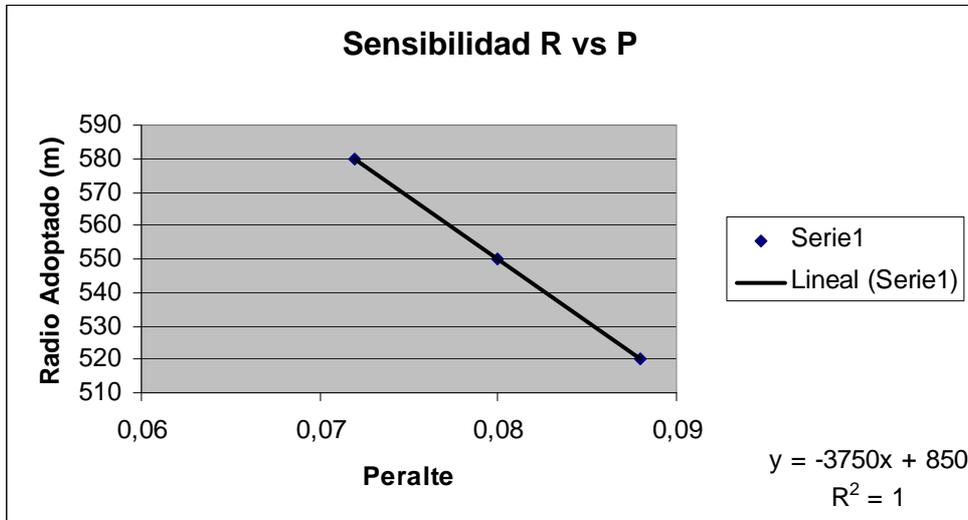
El método que se realizo para dicho análisis fue:

Tomar las variables influyentes en el calculo del radio de curvatura (Velocidad Directriz; coeficiente de fricción lateral y peralte) e ir manteniendo constante dos (2) de ellas y variar una (1).

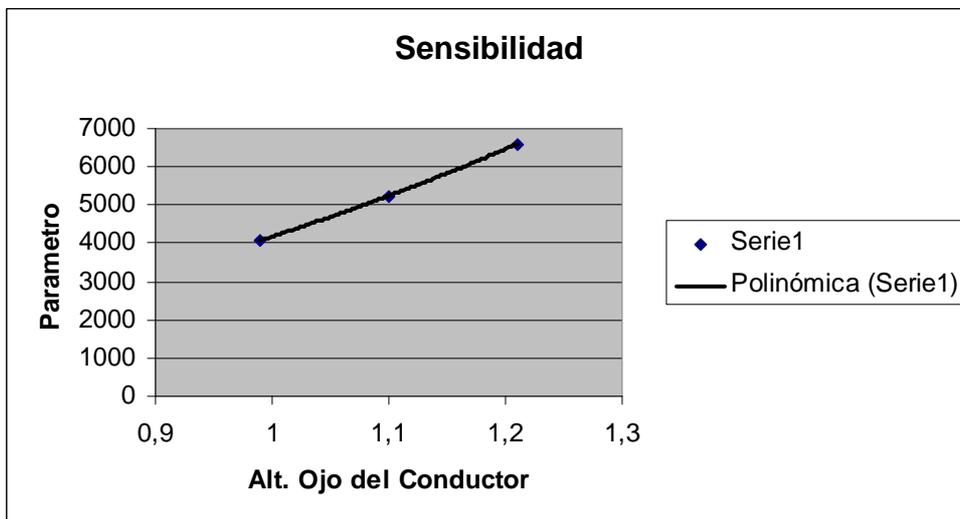
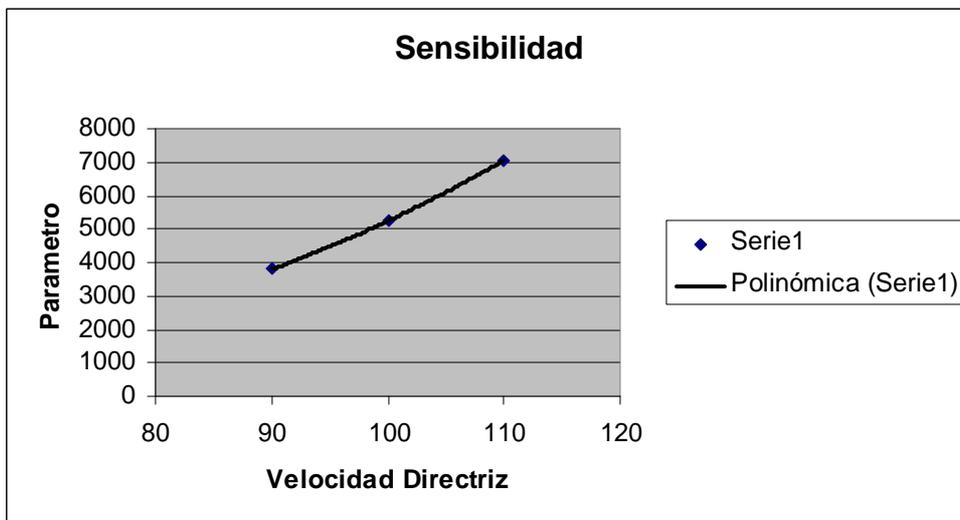
Esta variación corresponde a un aumento y disminución del 10% con respecto a un valor estándar.

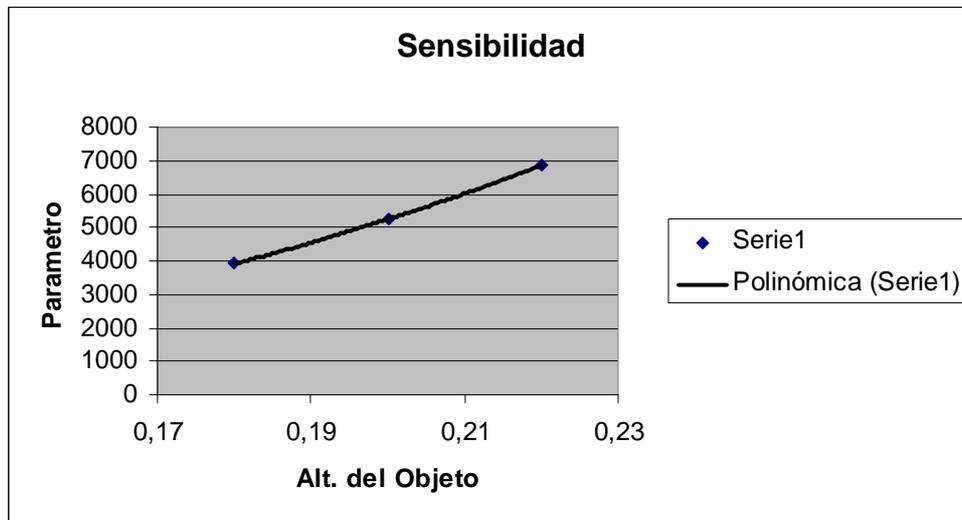
A continuación se presentan las graficas obtenidas.





Así también se realizó un análisis para Curvas verticales, utilizando el método anterior; llegando a la misma conclusión.





Conclusión:

Como conclusión podemos decir que sin duda alguna, la informática ha dado un giro rotundamente en cuanto a velocidad de cálculo y por ende menor tiempo, agilizando las tareas de cálculos en gran escala. Sin dejar de lado la atención de los resultados obtenidos.

Esta tecnología es muy útil para los profesionales de nuestra rama, con innumerables aplicaciones.

Además se hizo un análisis de sensibilidad lo cual certificó que dentro de las variables que afectan el radio de curvatura, la Velocidad Directriz es la de mayor importancia.

En tanto, para curvas verticales, sigue siendo la Velocidad Directriz la variable predominante.

Bibliografía:

- Normas de diseño geométrico de caminos rurales. Por el Ing. Federico G.O.Ruhle
- Trazado y Diseño Geométrico de Caminos Ruales. Ing. Francisco J. Sierra

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.