ANALISIS DE CURVAS VERTICALES

CARRETERAS - I

Diseño geométrico de carreteras

CALCULADORAS HP50G

POR: ALEXANDER GUTIERREZ

DEDICATORIA

A: Arminda Chungara:

Gracias por ser mi mayor inspiración, mi dicha, mi orgullo, mi Bonita, mi ángel, mi amiga que cambió mi vida por completo; sobre todo por darme los ánimos apoyo incondicional en los momentos más difíciles y por estar siempre pendiente de mí.

...A VECES PIENSO QUE ESTOY EN EL LUGAR EQUIVOCADO,
EN UN MUNDO QUE ME ES AJENO Y EXTRAÑO,
Y CADA INTENTO POR SER UN RAYO DE SOL SE VUELVE INÚTIL,
*ENTONCES HUYO DEL MUNDO Y EMPIEZO A **PROGRAMAR...***

CONTENIDO:

NOTACIÓN:

CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS CONCAVA y CONVEXA:

$A = PIV$	=	Punto de intersección vertical. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales.
$B = ICV$	=	Principio de curva vertical. Donde empieza la curva.
$C = FCV$	=	Principio de tangente vertical. Donde termina la curva.
$BC = L_v$	=	Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal.
$VA = E_v$	=	Externa vertical. Es la distancia vertical del *PIV* a la curva.
$VD = f$	=	Flecha vertical.
$P(x_1, y_1)$	=	Punto sobre la curva de coordenadas (x_1, y_1).
$Q(x_1, y_2)$	=	Punto sobre la tangente de coordenadas (x_1, y_2), situado sobre la misma vertical de *P*.
$QP = y$	=	Corrección de pendiente. Desviación vertical respecto a la tangente de un punto de la curva *P*. Valor a calcular.
$BE = x$	=	Distancia horizontal entre el *PCV* y el punto *P* de la curva.
α	=	Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.
β	=	Ángulo de pendiente de la tangente de salida.
γ	=	Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.
$m=\tan\alpha$	=	Pendiente de la tangente de entrada.
$n=\tan\beta$	=	Pendiente de la tangente de salida.
$i=\tan\gamma$	=	Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS CONCAVA y CONVEXA:

$$y_1 = E_v\left(\frac{x_1}{L_1}\right)^2$$

$$y_2 = E_v\left(\frac{x_2}{L_2}\right)^2$$

Para las cuales la externa E_v se calcula así:

$$a + c + E_v = d$$

Pero, la flecha c es igual a la externa E_v, entonces,

Pero $m + n = i$, por lo tanto,

$$E_v = \frac{iL_1L_2}{2L_v}$$

ANALISIS DE CURVAS VERTICALES

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REPLANTEO DE CURVAS:

- Versión: 1.0
- Título: ANALISIS CURVA VERTICAL
- Lenguaje de Programación: 10[%] USER-RPL y 90[%] SYSTEM RPL.
- Biblioteca: L1323
- Tamaño: 72076 Bytes
- Plataformas Soportadas: ROM 2.15 – HP50g

El presente programa va dirigido a estudiantes y a todo profesional de ingeniería civil, en especial a los estudiantes de la Gloriosa Facultad Nacional de Ingeniería Civil (F.N.I.), que cursan el curso de CARRETERAS I. El presente programa Resuelve:

LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES:

- Curva Vertical Cóncava
- Curva Vertical Convexa

CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS CONCAVAS y CONVEXAS:

- Método Directo
- Método de Orden

CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS CONCAVAS y CONVEXAS:

- Método Directo

Se resuelve todos los parámetros y elementos de curva vertical con sus fórmulas y procedimientos paso a paso, y su respectivo replanteo.

El programa funciona en modo RPN y también en Algebraico. Claro que ésta calculadora está diseñada para usarla en RPN.

1. INTRODUCCIÓN:

GENERALIDADES.

El *diseño geométrico vertical* de una carretera, o *alineamiento en perfil*, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina *rasante o sub-rasante.*

El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical deben ser consistentes y balanceados, en forma tal que los parámetros del primero correspondan y sean congruentes con los del segundo. Por lo tanto es necesario que los elementos del diseño vertical tengan la misma *velocidad específica* del sector en planta que coincide con el elemento vertical en estudio.

Lo ideal es la obtención de rasantes largas con un ajuste óptimo de curvas verticales y curvas horizontales a las condiciones del tránsito y a las características del terreno, generando un proyecto lo más económico posible tanto en su construcción como para su operación.

1.2 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS QUE INTEGRAN EL ALINEAMIENTO VERTICAL.

Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de *tramos rectos* denominados *tangentes verticales*, enlazados entre sí por *curvas verticales.*

La pendiente de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

1.21. Tangentes verticales.

Las tangentes sobre un plano vertical se caracterizan por su longitud y su pendiente, y están limitadas por dos curvas sucesivas. De acuerdo con la Figura 1.1, la *longitud T_v* de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente.

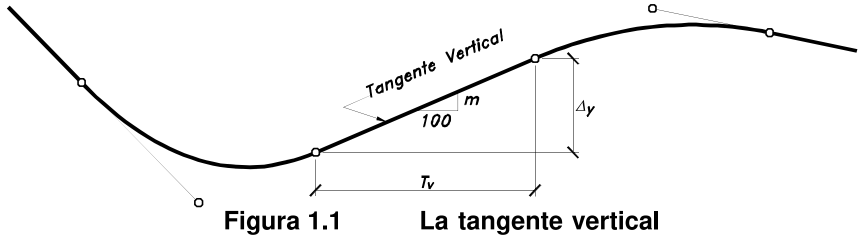


Figura 1.1 La tangente vertical

La *pendiente m* de la tangente vertical es la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma. Por lo tanto:

$$m = \left(\frac{\Delta y}{T_v} \right) 100$$

Obsérvese que en la expresión anterior la pendiente *m* se ha expresado en porcentaje.

Para propósitos del diseño vial, las pendientes deben limitarse dentro de un rango normal de valores, de acuerdo al tipo de vía que se trate, por lo que así se tendrán pendientes máximas y mínimas.

La *pendiente máxima* es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Su valor queda determinado por el volumen de tránsito futuro y su composición, por la configuración o tipo de terreno por donde pasará la vía y por la velocidad de diseño.

Específicamente, la pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de carretera que se desea diseñar. Para *carreteras primarias* las pendientes máximas se establecen considerando velocidades altas, entre *60* y *130 Km/h*. En las *carreteras terciarias* las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre *20* y *60 Km/h*, en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.

Para la selección de la *pendiente máxima* es necesario considerar dos situaciones:

La primera, cuando durante el desarrollo de los estudios para la definición del corredor de ruta, que se llevan a cabo durante la Fase 1 del proyecto, se requiere adoptar la *pendiente media máxima* del corredor *pmmáx*, la cual debe estar en consonancia con la *velocidad de diseño del tramo homogéneo*, *VTR*. En la Tabla 1.1 se presentan los valores correspondientes.

Tabla 1.1 Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (*VTR*)

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	6	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

La segunda situación está asociada a la selección de la *pendiente máxima de una tangente vertical* en particular, caso en el que la pendiente máxima es función de la *velocidad específica* de la *tangente vertical*, *VTV*. En la Tabla 1.2 se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la velocidad específica de la tangente vertical, *VTV.*

Tabla 1.2 Relación entre la pendiente máxima (%) en función de la velocidad específica de la tangente vertical (*VTV*)

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

Las *pendientes máximas* se emplearán cuando sea conveniente desde el punto de vista económico con el fin de salvar ciertos obstáculos de carácter local en tramos cortos tal que no se conviertan en longitudes críticas.

La *longitud mínima de las tangentes verticales* con velocidad específica menor o igual a cuarenta kilómetros por hora ($VTV \leq 40$ *Km/h*) será equivalente a la distancia recorrida en *7* segundos a dicha velocidad, medida como proyección horizontal, de *PIV* a *PIV*. Las tangentes verticales con velocidad específica mayor a cuarenta kilómetros por hora ($VTV > 40$ *Km/h*) no podrán tener una longitud menor a la distancia recorrida en *10* segundos a dicha velocidad, longitud que debe ser medida como proyección horizontal entre *PIV* y *PIV*. En la Tabla 1.3 se presentan los valores de las *longitudes mínimas de la tangente vertical* para diferentes velocidades específicas, *VTV.*

Tabla 1.3 Longitud mínima de la tangente vertical

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008

En el diseño del eje en perfil de la carretera, también se debe considerar la *longitud máxima de la tangente vertical*. Este criterio debe ser aplicado en el desarrollo de la Fase 1, cuando se realiza el trazado de la línea pendiente, ya que es fundamental dejar habilitado el corredor para que sea congruente con la pendiente máxima y la longitud crítica de las tangentes verticales.

Se define *la longitud crítica de una pendiente* como la máxima longitud en ascenso sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Se considera que la longitud crítica es aquella que ocasiona una reducción de *25 Km/h* en la velocidad de operación de los vehículos pesados, en pendientes superiores al *3%*, con respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.

El parque de los vehículos de carga que circula por las carreteras colombianas, presenta en la práctica, unas características de operación que, en promedio, se pueden asimilar a las siguientes relaciones Peso/Potencia.

1. Camiones de chasis rígido (Categoría *C2* y Categoría *C3*): *150 Kg/HP.*
2. Camiones articulados (Categoría *C3S2* y Categoría *C3S3*): *180 Kg/HP.*

En las "Figuras 4.1 y 4.2" del *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*[10] del Instituto Nacional de Vías del año 2008, se presentan las curvas de pérdida de velocidad en función de la pendiente de la tangente vertical para los vehículos con las relaciones Peso/Potencia arriba mencionadas. Con dichas curvas es posible determinar la distancia en la que un vehículo que inicia el recorrido de una tangente vertical pierde *25 Km/h* respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se que se diseña. Tal distancia, como ya se mencionó, corresponde a la *longitud crítica.*

De orden práctico, se establece *la longitud crítica de una pendiente* como la distancia horizontal medida desde el comienzo de la pendiente, necesaria para lograr una altura del orden de los *15* metros respecto al mismo origen.

La pendiente recomendable, de la tangente vertical siguiente a la de longitud crítica, para que el vehículo pesado alcance a recuperar la velocidad inicial que tenía antes de entrar a la tangente de longitud crítica, es de uno por ciento (*1%*) en una longitud igual o mayor a la longitud crítica anteriormente superada.

Para proyectos de carreteras en los cuales se supere la longitud crítica y con volúmenes de tránsito promedio diario mayores a *1000* vehículos, será necesario, para propósitos de capacidad y niveles de servicio, estudiar la posibilidad de construir *vías lentas* o carriles adicionales a la derecha para tránsito lento.

La *pendiente mínima* es la menor pendiente longitudinal de la rasante que se permite en el proyecto. Su valor se fija para facilitar el escurrimiento longitudinal de las aguas lluvias sobre la superficie de rodadura y en las cunetas, pudiendo variar según se trate de un tramo en terraplén o en corte y de acuerdo al tipo de terreno.

La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (*0.5%*) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (*0.3%*) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.

1.2.2 Curvas verticales.

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la *parábola de eje vertical.*

1.3 GEOMETRÍA DE LAS CURVAS VERTICALES PARABÓLICAS.

1.3.1 Curvas verticales simétricas.

La parábola utilizada para el enlace de dos tangentes verticales consecutivas debe poseer las siguientes propiedades:

1. La razón de variación de su pendiente a lo largo de su longitud es una constante.
2. La proyección horizontal del punto de intersección de las tangentes verticales está en la mitad de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia extremos, donde empieza y termina la curva.
3. Los elementos verticales de la curva (alturas o cotas) varían proporcionalmente con el cuadrado de los elementos horizontales (abscisas).
4. La pendiente de cualquier cuerda de la parábola, es el promedio de las pendientes de las líneas tangentes a ella en sus respectivos extremos.

En la Figura 1.2, se presenta la parábola de eje vertical, perfectamente simétrica. Los principales elementos que caracterizan esta parábola son:

A = PIV	=	Punto de intersección vertical. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales.
B = PCV	=	Principio de curva vertical. Donde empieza la curva.
C = PTV	=	Principio de tangente vertical. Donde termina la curva.
$BC = L_v$	=	Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal.
$VA = E_v$	=	Externa vertical. Es la distancia vertical del *PIV* a la curva.
VD = f	=	Flecha vertical.

$P(x_1, y_1)$	=	Punto sobre la curva de coordenadas (x_1 , y_1).
$Q(x_1, y_2)$	=	Punto sobre la tangente de coordenadas (x_1 , y_2), situado sobre la misma vertical de P.
$QP = y$	=	Corrección de pendiente. Desviación vertical respecto a la tangente de un punto de la curva P. Valor a calcular.
$BE = x$	=	Distancia horizontal entre el PCV y el punto P de la curva.
α	=	Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.
β	=	Ángulo de pendiente de la tangente de salida.
γ	=	Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.
$m=\tan\alpha$	=	Pendiente de la tangente de entrada.
$n=\tan\beta$	=	Pendiente de la tangente de salida.
$i=\tan\gamma$	=	Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

Se tiene entonces una parábola de eje vertical coincidiendo con el eje Y y el vértice V en el origen ($0, 0$), según el sistema de coordenadas X versus Y. La ecuación general para esta parábola es:

La ecuación de la tangente de entrada, dados su pendiente m y un punto B, es:

$$y = kx^2$$

$$y - y_3 = m\left(x - \frac{L_v}{2}\right)$$, donde,

$$m = \frac{dy}{dx}$$, evaluada en el punto B,

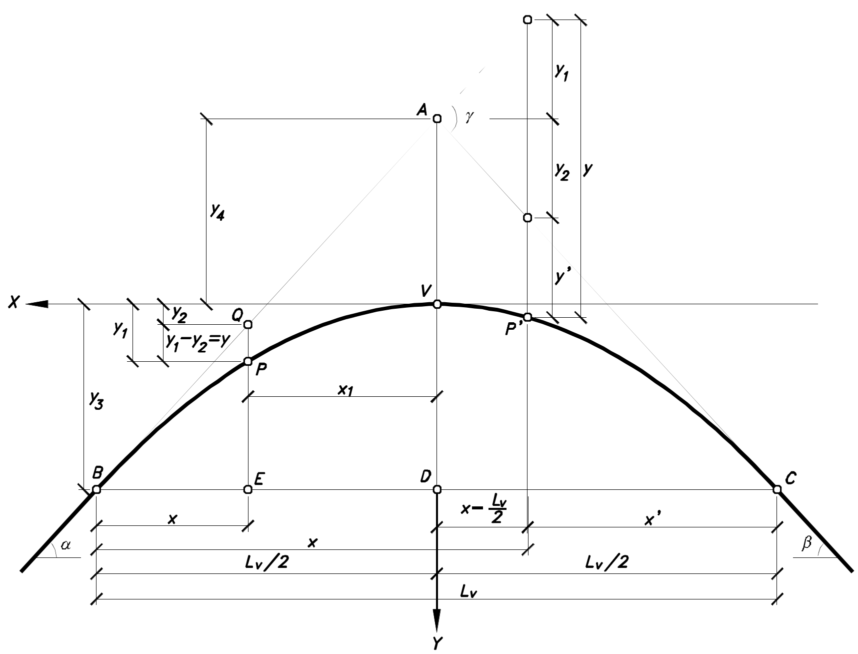


Figura 1.2 Parábola de eje vertical, perfectamente simétrica.

$$m = 2kx = 2k\left(\frac{L_v}{2}\right) = kL_v$$

Para la parábola en el punto B se tiene:

$$y_3 = k\left(\frac{L_v}{2}\right)^2 = \frac{kL_v^2}{4}$$

Reemplazando y_3 y m en la ecuación de la tangente y evaluando para el punto $A\,(0\;,\,y_4)$, se tiene:

$$y_4 - \frac{kL_v^2}{4} = kL_v\left(0 - \frac{L_v}{2}\right) = -\frac{kL_v^2}{2}$$

$$y_4 = -\frac{kL_v^2}{2} + \frac{kL_v^2}{4}$$, de donde,

$$y_4 = -\frac{kL_v^2}{4}$$

Obsérvese que los valores absolutos de y_3 y y_4 son iguales, por lo tanto:

$$VA = VD$$

La anterior igualdad es una importante propiedad de la parábola, la cual dice que:

$$Externa = Flecha$$

La ecuación de la tangente también puede darse considerando su pendiente m y el punto Q:

$$y - y_2 = m(x - x_1)$$
$$y - y_2 = kL_v(x - x_1)$$

Evaluándola en el punto B:

$$y_3 - y_2 = kL_v\left(\frac{L_v}{2} - x_1\right)$$

Reemplazando y_3 y despejando y_2, se tiene:

$$\frac{kL_v^2}{4} - y_2 = \frac{kL_v^2}{2} - kL_v x_1$$

$$y_2 = kL_v x_1 + \frac{kL_v^2}{4} - \frac{kL_v^2}{2}$$

$$y_2 = kL_v x_1 - \frac{kL_v^2}{4}$$

Para la parábola en el punto P se tiene:

$$y_1 = kx_1^2$$

Y efectuando la diferencia entre y_1 y y_2, que es la que se quiere calcular, resulta:

$$y_1 - y_2 = kx_1^2 - kL_v x_1 + \frac{kL_v^2}{4} = k\left(\frac{L_v^2}{4} - L_v x_1 + x_1^2\right)$$

$$y_1 - y_2 = k\left(\frac{L_v}{2} - x_1\right)^2 = y \qquad \text{, pero,}$$

$$k = \frac{4y_3}{L_v^2} = \frac{4y_4}{L_v^2} = \frac{4VA}{L_v^2} = \frac{4E_v}{L_v^2}$$

$$\frac{L_v}{2} - x_1 = BE = x \qquad \text{, por lo tanto,}$$

$$y = \frac{4E_v}{L_v^2}x^2$$

$$y = E_v\left(\frac{x}{\frac{L_v}{2}}\right)^2 \tag{4-1}$$

Esta es la ecuación de la *corrección de pendiente* en función de la externa E_v y con origen el punto B o PCV.

También se observa que:

$$\gamma = \alpha + \beta$$

Para el caso de perfecta simetría, α debe ser igual a β:

$\gamma = \alpha + \alpha = 2\alpha$, esto es, $\alpha = \dfrac{\gamma}{2}$

$$\tan\alpha = \tan\frac{\gamma}{2} \approx \frac{\tan\gamma}{2}$$

Reemplazando los valores de las tangentes:

$$m \approx \frac{i}{2}$$

Regresando a: $y = \dfrac{4E_v}{L_v^2}x^2$, y reordenando,

$$y = \left(\frac{2E_v}{\frac{L_v}{2}}\right)\left(\frac{1}{L_v}\right)x^2 = \frac{AD}{BD}\left(\frac{1}{L_v}\right)x^2 \quad \text{, esto es,}$$

$$y = \tan\alpha\left(\frac{1}{L_v}\right)x^2 = m\left(\frac{1}{L_v}\right)x^2 = \frac{i}{2}\left(\frac{1}{L_v}\right)x^2$$

$$y = \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 \qquad (4\text{-}2)$$

Para $x = \dfrac{L_v}{2}$, se tiene que: $y = E_v$, entonces,

$$E_v = \left(\frac{i}{2L_v}\right)\left(\frac{L_v}{2}\right)^2 = \left(\frac{i}{2L_v}\right)\frac{L_v^2}{4}$$

$$E_v = \frac{L_v i}{8} \qquad (4\text{-}3)$$

Ahora considérese el punto P' sobre la segunda mitad de la curva. Para situarlo desde el punto C o PTV, interesa conocer la distancia x' y la altura y'. Entonces:

$$y' = y - y_1 - y_2$$

$$y = \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 \quad \text{, referido al } PCV$$

$$y_1 = m\left(x - \frac{L_v}{2}\right)$$

$$y_2 = n\left(x - \frac{L_v}{2}\right) = m\left(x - \frac{L_v}{2}\right) \quad \text{, pues aquí } m = n \text{, entonces,}$$

$$y' = \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 - 2m\left(x - \frac{L_v}{2}\right)$$

$$y' = \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 - i\left(x - \frac{L_v}{2}\right) = \frac{i}{2L_v}\left[x^2 - 2L_v\left(x - \frac{L_v}{2}\right)\right]$$

$$y' = \frac{i}{2L_v}\left(x^2 - 2L_v x + L_v^2\right) = \frac{i}{2L_v}\left(L_v^2 - 2L_v x + x^2\right) = \frac{i}{2L_v}\left(L_v - x\right)^2$$

Pero $L_v - x = x'$, entonces,

$$y' = \left(\frac{i}{2L_v}\right)(x')^2 \tag{4-4}$$

Las expresiones de las ecuaciones (4-2) y (4-4) para las correcciones de pendiente *y* y *y'* indican que la primera mitad de la curva se calcula desde el *PCV* y la segunda desde el *PTV* respectivamente.

Como se dijo anteriormente *i* es la diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y salida. En la Figura 1.3 se muestra un caso más general, en el que precisamente $\alpha \neq \beta$:

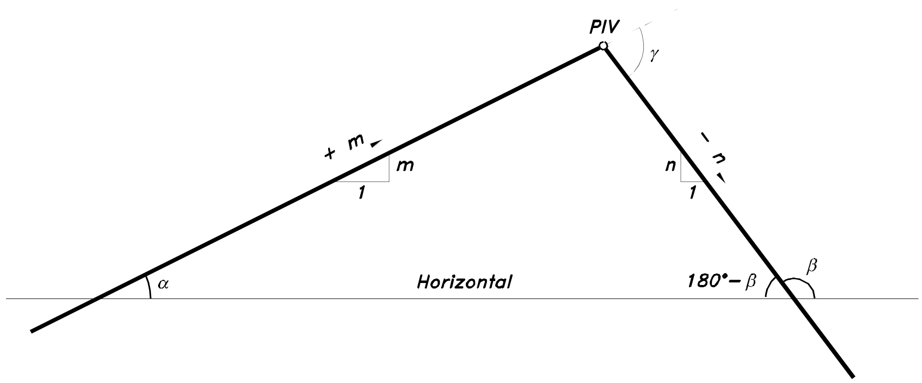


Figura 1.3 Diferencia algebraica entre las pendientes.

Las pendientes analíticas con respecto a la línea horizontal son:

$\tan \alpha = m$, $\tan \beta = -n$, $\tan \gamma = i$, $\gamma = \alpha + (180° - \beta)$

Aplicando la función tangente de la suma de dos ángulos:

$$\tan(a+b) = \frac{\tan a + \tan b}{1 - \tan a \tan b}$$

$$\tan \gamma = \tan\left[\alpha + \left(180^\circ - \beta\right)\right] = \frac{\tan \alpha + \tan\left(180^\circ - \beta\right)}{1 - \tan \alpha \tan\left(180^\circ - \beta\right)}$$

También se sabe que: $\tan\left(180^\circ - \beta\right) = -\tan \beta$

$$\tan \gamma = \tan\left[\alpha + \left(180^\circ - \beta\right)\right] = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \tan \beta}$$

Ahora, reemplazando las funciones tangentes por los valores de sus pendientes, se tiene:

$$i = \frac{m - (-n)}{1 + m(-n)} = \frac{m - (-n)}{1 - mn}$$

Para valores prácticos de las pendientes viales, el producto *mn* es muy pequeño comparado con la unidad, por lo cual se desprecia. Por lo tanto:

$$i = m - (-n) \qquad (4\text{-}5)$$

Esta es la expresión general que define el valor de *i*. En la Figura 4.4, se ilustran los seis casos que se presentan:

Caso 1: $i = m-(-n) = m+n$
$i = +(m+n) > 0$

Caso 2: $i = m-(+n) = m-n$
$i = +(m-n) > 0$

Caso 3: $i = -m-(-n) = -m+n$
$i = +(n-m) > 0$

Caso 4: $i = -m-(+n) = -m-n$
$i = -(m+n) < 0$

<u>Caso 5:</u>

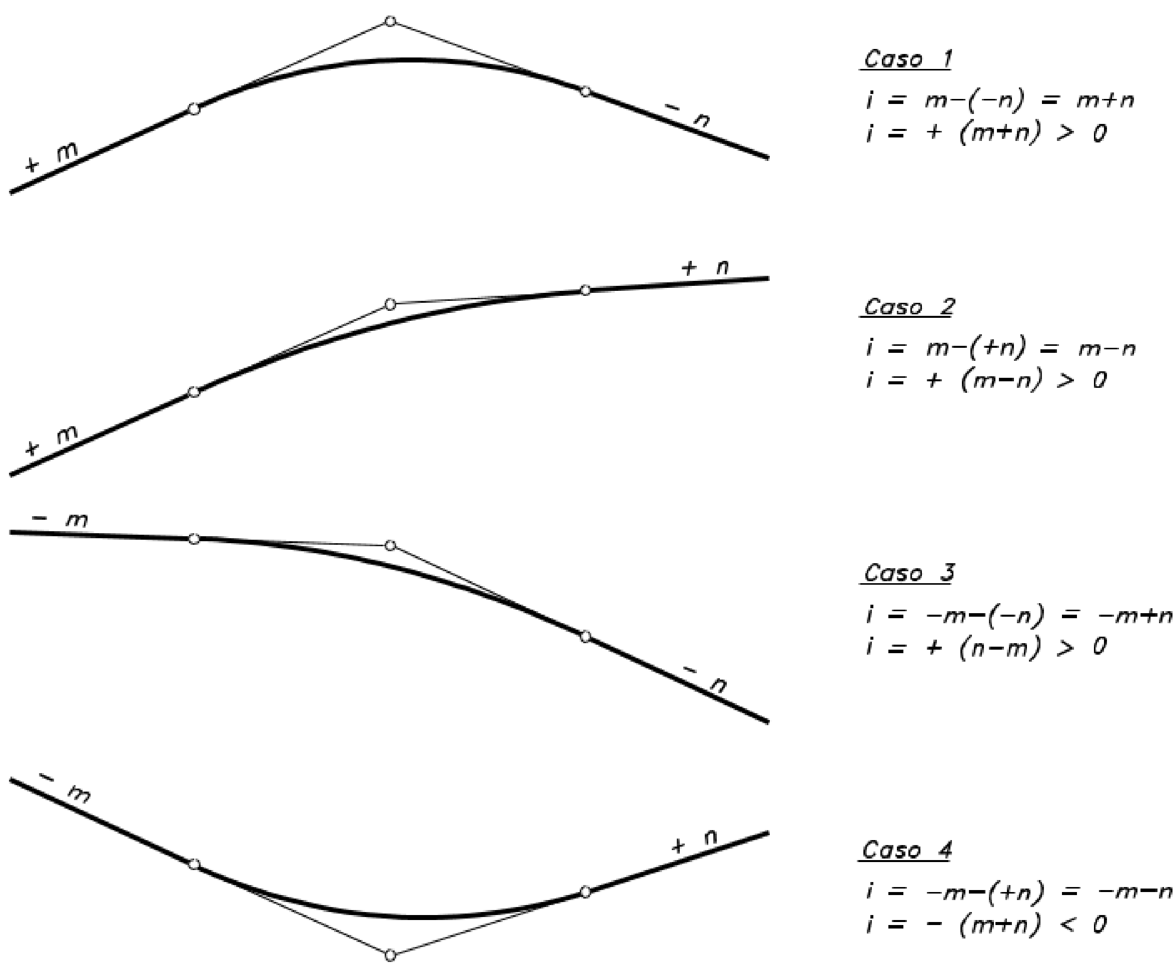
$$i = -m-(-n) = -m+n$$
$$i = -(m-n)<0$$

<u>Caso 6:</u>

$$i = m-(+n) = m-n$$
$$i = -(n-m)<0$$

De acuerdo con lo anterior, se pueden identificar dos características importantes de las curvas verticales:

1. Para el cálculo de *i*, las pendientes de *diferente signo se suman*: Casos *1* y *4*. Las pendientes de *igual signo se restan*: Casos *2*, *3*, *5* y 6.
2. Valores *positivos* de *i* (*i >0*) representan curvas verticales *convexas* o en *cresta*: Casos *1*, *2* y *3*. Valores *negativos* de *i* (*i <0*) representan curvas verticales *cóncavas* o en *columpio*: Casos *4*, *5* y *6.*



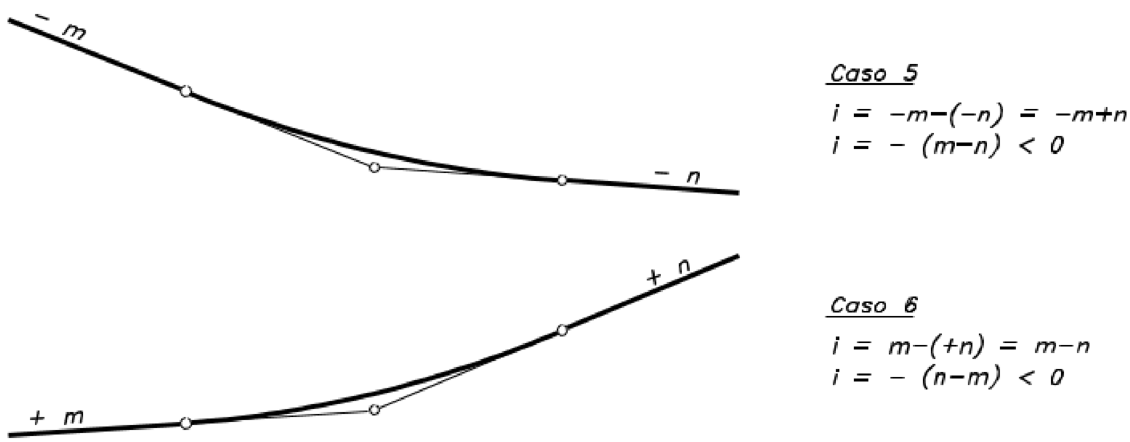


Figura 1.4 Significado de *i*. Tipos de curvas verticales.

Un elemento geométrico importante de ubicar en curvas verticales es su *punto máximo* (el punto más alto de la curva), o su *punto mínimo* (el punto más bajo de la curva). Así por ejemplo, en la Figura 1.5 el punto *P* representa el punto máximo de una curva vertical convexa.

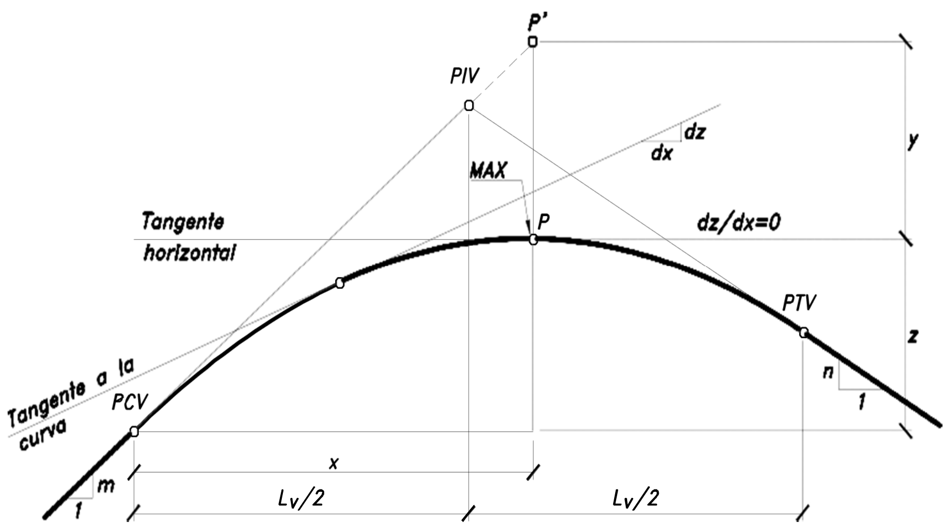


Figura 1.5 Punto máximo de una curva vertical simétrica.

La cota de P a partir de la cota del PCV es:

$$Cota\,P = Cota\,P' - y \qquad \text{, donde,}$$

$$Cota\,P' = Cota\,PCV + mx$$

$$y = \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 \qquad \text{, entonces,}$$

$$Cota\ P = Cota\ PCV + mx - \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2 \quad \text{, pero,}$$

$$Cota\ P - Cota\ PCV = z \quad \text{, esto es,}$$

$$z = mx - \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2$$

La expresión anterior es la ecuación de la parábola, la cual define la posición exacta de *P*, mediante sus coordenadas (*x* , *z*), y de cualquier otro punto sobre la curva. La pendiente de la tangente a cualquier punto de la curva está dada por la primera derivada *dz/dx*, que para el punto máximo es igual a cero:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{d}{dx}\left[mx - \left(\frac{i}{2L_v}\right)x^2\right] = 0$$

$$m - \left(\frac{i}{2L_v}\right)2x = 0 \quad \text{, de donde,}$$

$$x = \left(\frac{m}{i}\right)L_v \qquad (4\text{-}6)$$

Quiere decir que para determinar la posición horizontal *x* o abscisa del *punto máximo*, referida al *PCV*, simplemente se multiplica la longitud de la curva *Lv* por el cociente de dividir a *m* entre *i*. Esta misma expresión también es válida para el cálculo del *punto mínimo* de una curva vertical cóncava.

1.1.1 Curvas verticales asimétricas.

Una curva vertical es asimétrica cuando las proyecciones horizontales de sus tangentes son de distinta longitud. Esta situación se presenta cuando la longitud de la curva en una de sus ramas está limitada por algún motivo. La Figura 1.6, ilustra este caso para una curva vertical cóncava.

De acuerdo con la ecuación (4-1), las correcciones de pendiente para cada rama se calculan como:

$$y_1 = E_v\left(\frac{x_1}{L_1}\right)^2 \quad (4\text{-}7)$$

$$y_2 = E_v\left(\frac{x_2}{L_2}\right)^2 \quad (4\text{-}8)$$

Para las cuales la externa E_v se calcula así:

$$a + c + E_v = d$$

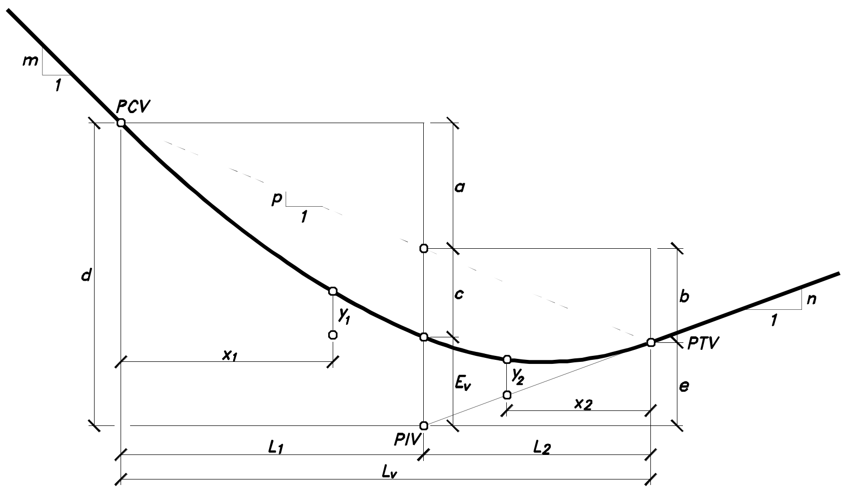


Figura 1.6 Curva vertical asimétrica.

Pero, la flecha c es igual a la externa E_v, entonces,

$$a + E_v + E_v = d$$

$$E_v = \frac{d-a}{2} \quad \text{, donde,}$$

$$d = mL_1$$

$$a = pL_1 = \left(\frac{a+b}{L_1+L_2}\right)L_1 \quad \text{, pero,}$$

$$a + b = d - e = mL_1 - nL_2 \quad \text{, esto es,}$$

$$E_v = \frac{mL_1 - \left(\frac{mL_1 - nL_2}{L_1+L_2}\right)L_1}{2} = \frac{mL_1(L_1+L_2) - (mL_1 - nL_2)L_1}{2(L_1+L_2)}$$

$$E_v = \frac{mL_1^2 + mL_1L_2 - mL_1^2 + nL_1L_2}{2(L_1+L_2)}$$

$$L_1 + L_2 = L_v$$

$$E_v = \frac{(m+n)L_1L_2}{2L_v}$$

Pero $m + n = i$, por lo tanto,

$$E_v = \frac{iL_1L_2}{2L_v} \qquad (4\text{-}9)$$

Como se vio anteriormente es importante ubicar en curvas verticales su *punto máximo* o su *punto mínimo*. Así por ejemplo, en la Figura 1.7 el punto P representa el punto mínimo de una curva vertical cóncava asimétrica.

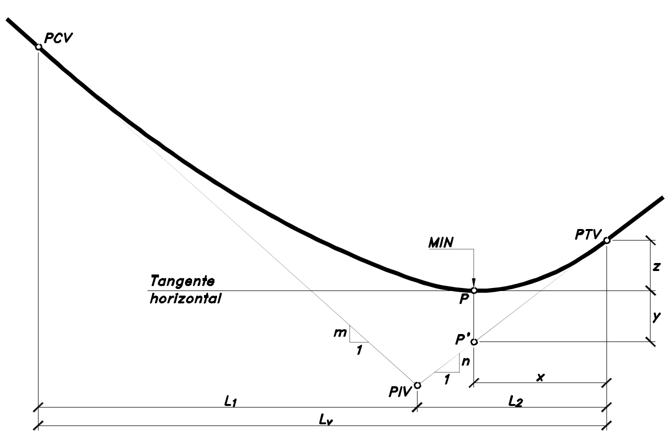


Figura 1.7 Punto mínimo de una curva vertical asimétrica.

La cota de P es:

$$Cota\ P = Cota\ P' + y \quad \text{, donde,}$$
$$Cota\ P' = Cota\ PTV - nx$$
$$y = E_v\left(\frac{x}{L_2}\right)^2 \quad \text{, entonces,}$$
$$Cota\ P = Cota\ PTV - nx + E_v\left(\frac{x}{L_2}\right)^2 \quad \text{, pero,}$$
$$Cota\ PTV - Cota\ P = z \quad \text{, esto es,}$$
$$z = nx - E_v\left(\frac{x}{L_2}\right)^2$$

La expresión anterior es la ecuación de la parábola asimétrica, la cual define la posición exacta de *P*, mediante sus coordenadas (*x* , *z*), y de cualquier otro punto sobre la curva. La pendiente de la tangente a cualquier punto de la curva está dada por la primera derivada *dz/dx*, que para el punto mínimo es igual a cero:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{d}{dx}\left[nx - E_v\left(\frac{x}{L_2}\right)^2\right] = 0$$
$$n - \left(\frac{2E_v}{L_2^2}\right)x = 0 \quad \text{, de donde,}$$
$$x = \frac{nL_2^2}{2E_v} \qquad (4\text{-}10)$$

Esta expresión define la posición horizontal *x* o abscisa del *punto mínimo*, referida al *PTV*, para el caso en que el punto mínimo se encuentre en la *segunda rama* de la curva. Si el punto mínimo se encuentra en la *primera rama* de la curva, la posición horizontal *x* referida al *PCV*, se calcula con la siguiente expresión:

$$x = \frac{mL_1^2}{2E_v} \qquad (4\text{-}11)$$

Estas mismas expresiones también son válidas para el cálculo del *punto máximo* de una curva vertical convexa asimétrica.

1.1.2 Coeficiente angular de una curva vertical.

El *coeficiente angular* k_V de una curva vertical, define la *curvatura* de la parábola como una variación de longitud por unidad de pendiente, así:

$$k_v = \frac{L_v}{i} \ (mts\ /\ \%) \qquad (4\text{-}12)$$

Sí $i = 1\% \rightarrow k_v = L_v / 1\% \ (mts\ /\ \%)$

Entonces k_V es la distancia horizontal en metros, necesaria para que se efectúe un cambio del *1%* en la pendiente de la tangente a lo largo de la curva, tal como se ilustra en la Figura 1.8.

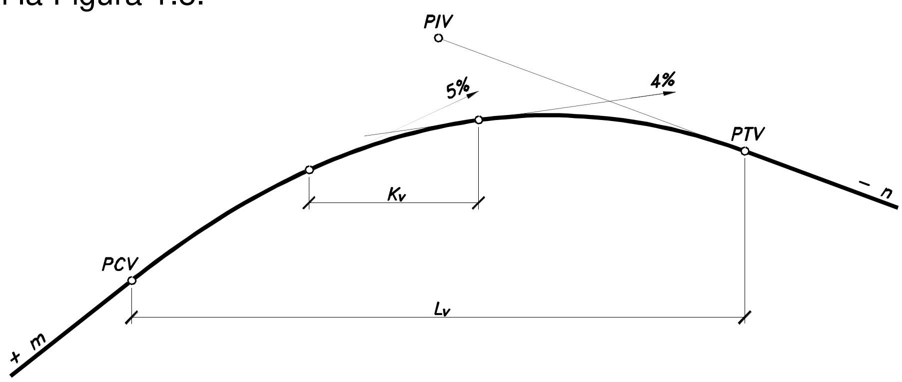


Figura 1.8 Coeficiente angular de una curva vertical.

De esta manera, si k_V es la distancia horizontal para que se produzca un cambio de pendiente del *1%*, la longitud necesaria para que se produzca un cambio total de pendiente del *i %* será la longitud total L_V de la curva, esto es:

$$L_v = k_v i \qquad (4\text{-}13)$$

Mediante la expresión anterior, como se demostrará más adelante, se pueden determinar las longitudes mínimas de las curvas verticales, para un coeficiente angular k_V dado, según los criterios de seguridad, drenaje, comodidad y apariencia, de acuerdo al tipo de carretera a proyectarse.

1.4. VISIBILIDAD EN CARRETERAS.

1.4.1 Principios.

Una de las características más importantes que deberá ofrecer el trazado de una carretera al conductor de un vehículo es la posibilidad de ver hacia delante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente.

La *distancia de visibilidad* se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia delante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Esta distancia de visibilidad deberá ser de suficiente longitud, tal que le permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo pueden ser por la presencia de un obstáculo fijo sobre su carril de circulación (distancia de visibilidad de *parada*), o el adelantamiento de un vehículo lento en carreteras de dos carriles dos sentidos (distancia de visibilidad de *adelantamiento*), o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras terciarias de calzadas angostas (distancia de visibilidad de *encuentro*).

1.4.2 Distancia de visibilidad de parada.

Se considera como *distancia de visibilidad de parada Dp* de un determinado punto de una carretera, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo, que circula a la velocidad específica del elemento (*VCH*, *VETH*, *VCV* o *VTV*) al cual se le quiere verificar esta distancia, pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo fijo que aparezca en su trayectoria.

Entonces, la longitud requerida *Dp* para detener el vehículo en las anteriores condiciones, de acuerdo con el esquema ilustrado en la Figura 4.31, será la suma de dos distancias: la distancia recorrida durante el tiempo de *percepción-reacción dpr* y la distancia recorrida durante el *frenado df*. Esto es:

$$D_p = d_{pr} + d_f \qquad (4\text{-}14)$$

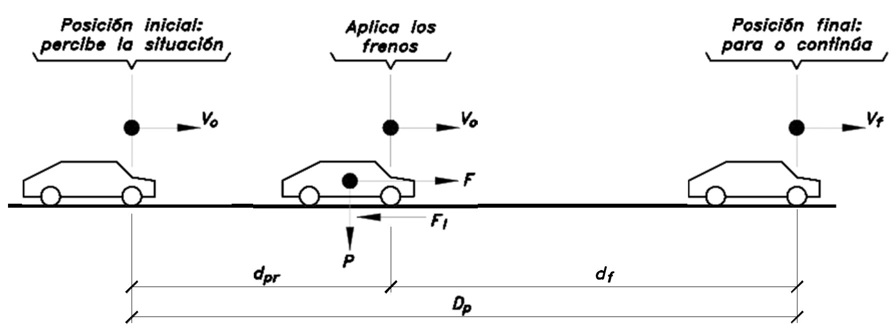


Figura 1.31 Distancia de visibilidad de parada.

Dependiendo de la complejidad del obstáculo y de las características del conductor, el tiempo de percepción-reacción puede variar de *0.5* a *4.0* segundos. Para fines de proyecto, se emplea un valor medio de *2.5* segundos. Durante este tiempo se considera que la velocidad inicial del vehículo *Vo* se mantiene constante, pues su variación es muy pequeña. Por lo tanto, la *distancia de percepción-reacción dpr*, que se mide desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos, para movimiento uniforme es:

$$d_{pr} = V_o\left(t_{pr}\right)$$

Reemplazando *tpr* por *2.5* segundos, para la velocidad *Vo* en kilómetros por hora y la distancia *dpr* en metros, se tiene:

$$d_{pr} = V_o\left(Km/h\right)\left(2.5\,s\right)\left(\frac{1000\,m}{1\,Km}\right)\left(\frac{1\,h}{3600\,s}\right)$$

$$d_{pr} = 0.694\,V_o \qquad (4\text{-}15)$$

La *distancia de frenado df*, que se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente o continúa su movimiento con una velocidad *Vf*, depende de muchos factores: la fricción entre llantas y pavimento, el peso del vehículo, el número de ejes, el tipo de pavimento, etc. Sin embargo, estableciendo ciertas condiciones, es posible calcular dicha distancia.

La potencia de frenado del vehículo y la fricción longitudinal entre las llantas y el pavimento, controlan su capacidad para disminuir la velocidad o parar. Un vehículo que se aproxima a un PARE con el motor desengranado y sin la aplicación de los frenos, es desacelerado solamente por la resistencia al rodamiento y la resistencia del aire.

Cuando la anterior maniobra es realizada por el vehículo con el motor engranado, la desaceleración se lleva a cabo con la resistencia al rodamiento, la resistencia del aire y la resistencia del motor. Ensayos hechos para medir la desaceleración con el vehículo engranado y sin la aplicación de los frenos, indican que ella varía de *3.5 Km/h/s* a *1.4 Km/h/s,* para velocidades comprendidas entre *110 Km/h* y *30 Km/h*, respectivamente.

Adicionalmente, si se aplican los frenos, aparece una cuarta resistencia, denominada resistencia por fricción en el frenado. En el caso de que los frenos sean aplicados súbitamente, las llantas quedarán bloqueadas o inmovilizadas y el vehículo patinará. La longitud de las huellas dejadas por las llantas sobre el pavimento, permitirá conocer la velocidad que traía el vehículo al inicio del deslizamiento.

Por lo tanto, la distancia de frenado *df*, es recorrida por el vehículo en movimiento uniformemente desacelerado, y puede ser calculada a partir de la acción mecánica de pisar los frenos en una superficie horizontal, despreciando las resistencias al rodamiento, del aire y del motor.

La Figura 1.32 ilustra la relación que existe entre la velocidad, el tiempo y la distancia, para el caso de movimiento uniformemente desacelerado.

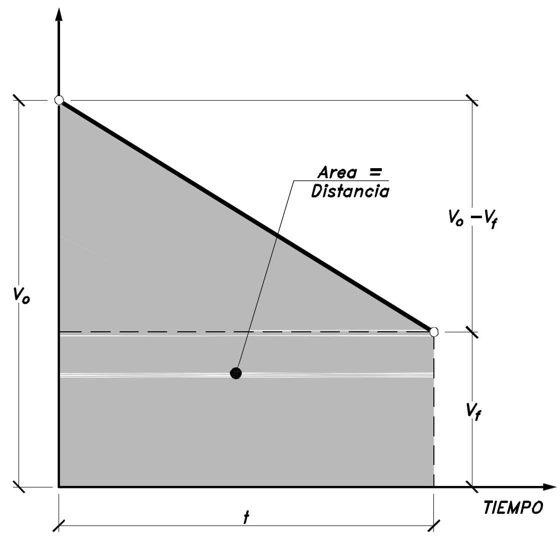


Figura 1.32 Relación entre la velocidad, el tiempo y la distancia, en movimiento uniformemente desacelerado.

La ecuación de la recta es igual a:

$$V = V_o - at \qquad (4\text{-}16)$$

Donde:

V = Velocidad después de un tiempo t.
V_o = Velocidad en el momento de aplicar los frenos.
a = Tasa de desaceleración.

Si al final del frenado se tiene una velocidad V_f, entonces:

$$V_f = V_o - at \qquad (4\text{-}17)$$

El área bajo la recta representa la distancia de frenado, esto es:

$$d_f = V_f t + \frac{1}{2}(V_o - V_f)t$$

Reemplazando la velocidad final V_f, de la ecuación (4-17), se tiene:

$$d_f = (V_o - at)t + \frac{1}{2}(V_o - V_o + at)t = V_o t - at^2 + \frac{1}{2}at^2$$

De donde:

$$d_f = V_o t - \frac{1}{2}at^2 \qquad (4\text{-}18)$$

Ahora despejando *t* de la ecuación (4-17):

$$t = \frac{V_o - V_f}{a}$$

Reemplazando este valor en la ecuación (4-18), también se obtiene:

$$d_f = V_o\left(\frac{V_o - V_f}{a}\right) - \frac{1}{2}a\left(\frac{V_o - V_f}{a}\right)^2$$

$$2ad_f = 2V_o(V_o - V_f) - (V_o - V_f)^2 = 2V_o^2 - 2V_oV_f - V_o^2 + 2V_oV_f - V_f^2$$

Por lo tanto:

$$2ad_f = V_o^2 - V_f^2 \qquad (4\text{-}19)$$

También, en movimiento uniformemente desacelerado y cuando el vehículo finalmente se detiene ($V_f = 0$), la distancia de frenado es:

$$d_f = \frac{V_o^2}{2a} \qquad (4\text{-}20)$$

Por otro lado, sobre el vehículo de masa m actúa una fuerza F, que se valora como:

$$F = ma \qquad (4\text{-}21)$$

La fuerza F debe ser contrarrestada por otra igual, con el fin de detener el vehículo de peso W, denominada fuerza de fricción longitudinal F_l, que se expresa así:

$$F_l = f_l W \qquad (4\text{-}22)$$

Donde f_l representa el coeficiente de fricción longitudinal, generado entre las llantas y el pavimento al producirse el frenado.

Igualando F y F_l, según las ecuaciones (4-21) y (4-22), queda:

$$F = F_l$$

$$ma = f_l W \tag{4-23}$$

Pero también se sabe que:

$$W = mg \tag{4-24}$$

Reemplazando el valor de W dado por la ecuación (4-24), en la ecuación (4-23), resulta:

$$ma = f_l mg$$

$$a = f_l g \tag{4-25}$$

Ahora reemplazando este valor de a en la ecuación (4-20):

$$d_f = \frac{V_o^2}{2f_l g}$$

Utilizando unidades prácticas y usuales, se transforma la expresión anterior para V_o en kilómetros por hora, g igual a $9.81\ m/seg^2$ y d_f en metros, como sigue:

$$d_f = \frac{V_o^2}{254(f_l)} \tag{4-26}$$

Cuando la vía sobre la cual ocurre el frenado se encuentra sobre una rasante de pendiente longitudinal p, la distancia de frenado d_f se expresa como:

$$d_f = \frac{V_o^2}{254(f_l \pm p)} \tag{4-27}$$

La distancia de frenado es menor en ascenso que en descenso, por lo tanto el valor de p expresado en decimal o tanto por uno es positivo (+) para pendientes ascendentes y negativo (-) para pendientes descendentes.

Finalmente, sustituyendo la *distancia de percepción-reacción dpr*, ecuación (4-15), y la *distancia de frenado df*, ecuación (4-27), en la ecuación (4-14), la *distancia de visibilidad de parada Dp*, bajo el supuesto de que el vehículo circula aproximadamente a la velocidad de diseño, o a la velocidad específica $Vo = Vd = Ve$, queda como:

$$D_p = 0.694\,V_d + \frac{V_d^2}{254(f_l \pm p)} = 0.694\,V_e + \frac{V_e^2}{254(f_l \pm p)} \qquad (4\text{-}28)$$

En la Tabla 1.6, se muestran los coeficientes de fricción longitudinal *fl* en pavimentos húmedos, como condición más desfavorable, para diferentes velocidades específicas *Ve.*

Tabla 1.6 Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
COEFICIENTE DE FRICCIÓN LONGITUDINAL f_l	0.440	0.400	0.370	0.350	0.330	0.320	0.315	0.310	0.305	0.300

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*. Bogotá. 1998

También, como se demostró anteriormente, según la ecuación (4-20), la distancia de frenado *df* de un vehículo que circula, sobre un pavimento húmedo de una carretera a nivel (pendiente cero), a la velocidad de diseño *Vd* o a la velocidad específica *Ve* del elemento sobre el cual se lleva a cabo la maniobra de frenado (*VCH*, *VETH*, *VCV* o *VTV*), y que finalmente se detiene, puede ser determinada mediante la siguiente expresión:

$$d_f = \frac{V_o^2}{2a} = \frac{V_e^2}{2a} = \frac{V_e^2\left(\frac{Km^2}{h^2}\right)}{2a\left(\frac{m}{s^2}\right)}\left(\frac{1000^2\ m^2}{1\ Km^2}\right)\left(\frac{1\ h^2}{3600^2\ s^2}\right)$$

$$d_f = 0.039\left(\frac{V_e^2}{a}\right) \qquad (4\text{-}29)$$

Donde, como se puede observar, la velocidad *Ve* está dada en *Km/h* y la desaceleración *a* en m/s^2.

Investigaciones realizadas por la AASHTO, muestran que la mayoría de los conductores desaceleran sus vehículos a tasas mayores de $4.5\ m/s^2$ cuando se confrontan con la necesidad de parar por la presencia inesperada de un obstáculo sobre la carretera. Aproximadamente el *90%* de todos los conductores desaceleran a tasas mayores de *3.4 m/s²*. Tales tasas de desaceleración consideran la capacidad que tienen los conductores de permanecer en su carril y mantener el control de la dirección de sus vehículos, durante las maniobras de frenado sobre pavimentos húmedos.

Por lo tanto, como un valor confortable, se recomienda como tasa de desaceleración el valor de *3.4 m/s²*. La escogencia de este valor se basa en que la mayoría de los sistemas de frenos de los vehículos y los niveles de fricción entre llanta y pavimento húmedo, son capaces de producir desaceleraciones de al menos *3.4 m/s²*.

De esta manera, la *distancia de frenado df*, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_f = 0.039\left(\frac{V_e^2}{a}\right) = 0.039\left(\frac{V_e^2}{3.4}\right) = \frac{V_e^2}{87.18}$$

De allí que la ecuación (4-14), para el cálculo *distancia de visibilidad de parada Dp*, queda como:

$$D_p = 0.694\,V_e + \frac{V_e^2}{87.18} \qquad (4\text{-}30)$$

En la Tabla 1.7 se presentan los valores recomendados por el Manual de la AASHTO, de las *distancias mínimas de visibilidad de parada Dp*, para diferentes velocidades específicas y para tramos de rasantes a nivel (pendiente longitudinal *0%*).

Estas distancias de visibilidad de parada han sido adoptadas por el nuevo Manual de INVIAS.

Tabla 1.7 Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e(Km/h)	DISTANCIA PERCEPCIÓN-REACCIÓN d_{pr}(m)	DISTANCIA DE FRENADO A NIVEL d_f(m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m)	
			CALCULADA (m)	REDONDEADA (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.1	35
40	27.8	18.4	46.1	50
50	34.8	28.7	63.4	65
60	41.7	41.3	82.9	85
70	48.7	56.2	104.8	105
80	55.6	73.4	128.9	130
90	62.6	92.9	155.4	160
100	69.5	114.7	184.1	185
110	76.5	138.8	215.1	220
120	83.4	165.2	248.5	250
130	90.4	193.8	284.1	285

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004.

Para carreteras con pendientes de rasante superiores a tres por ciento (*3%*), tanto en ascenso (*+p*) como en descenso (*-p*), se deberán realizar las correcciones necesarias a las distancias de frenado *df* dadas en la Tabla 1.5 para tramos a nivel, con la siguiente ecuación afectada por la pendiente de la rasante:

$$d_f = \frac{V_d^2}{254(f_l \pm p)} \tag{4-31}$$

Pero, según la ecuación (4-25):

$$f_l = \frac{a}{g} = \frac{a}{9.81}$$

Por lo tanto, la *distancia de frenado* d_f, es:

$$d_f = \frac{V_d^2}{254\left(\frac{a}{9.81} \pm p\right)} \tag{4-32}$$

En la Tabla 1.8 se indican las *distancias mínimas de visibilidad de parada Dp*, en tramos con pendientes mayores a tres por ciento (*3%*), tanto en descenso como en ascenso con desaceleraciones de *3.4 m/s*^{2}.

Tabla 1.8 Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente

VELOCIDAD DE DISEÑO V_d(Km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m)					
	DESCENSO			ASCENSO		
	-3%	-6%	-9%	+3%	+6%	+9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004.

1.4.3 Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Un tramo de carretera de dos carriles y de circulación en dos sentidos, tiene *distancia de visibilidad de adelantamiento Da*, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro, que circula por el mismo carril, a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible en el momento de iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento *Da*, de acuerdo con la Figura 1.33, se determina como la suma de cuatro distancias, así:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \qquad (4\text{-}33)$$

Donde:

D1 = Distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción del conductor que va a efectuar la maniobra (*m*).

D2 = Distancia recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril (*m*).

D3 = Distancia de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo adelantante y el vehículo que viene en la dirección opuesta, recorrida durante el tiempo de despeje (*m*).

D4 = Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto, estimada en *2/3* de *D2* (*m*).

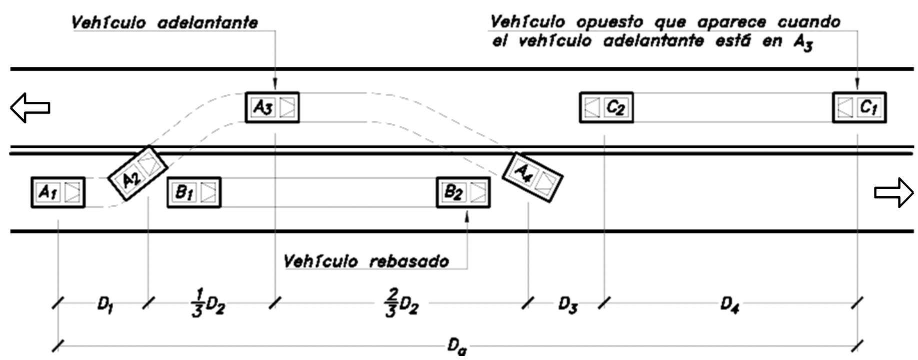


Figura 1.33 Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento se utilizará como guía los valores indicados en el Manual AASHTO, que se presentan en la Tabla 1.9 para cuatro (4) rangos de velocidad específica *Ve*, los cuales se fundamentan en una gran cantidad de observaciones de campo relacionadas con el comportamiento de los conductores.

La distancia *D1* recorrida durante el periodo de la maniobra inicial, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_1 = 0.287 t_1 \left(V - m + \frac{a t_1}{2} \right) \qquad (4\text{-}34)$$

Donde:

t1 = Tiempo de la maniobra inicial, (*segundos*).
a = Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el adelantamiento (*Km/h/s*).
V = Velocidad del vehículo que adelanta (*Km/h*).
m = Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a *15 Km/h* en todos los casos.

La distancia *D2* recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_2 = 0.287 V t_2 \qquad (4\text{-}35)$$

Donde:

t2 = Tiempo empleado por el vehículo adelantante desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, (*segundos*). Este tiempo varía entre *9.3* y *10.4 segundos*.

V = Velocidad del vehículo que adelanta (*Km/h*)

La distancia de seguridad *D3*, entre el vehículo adelantante y el vehículo que viene en la dirección opuesta, recorrida durante el tiempo de despeje, se encontró en estos estudios que varía entre *30* y *90* metros.

La distancia *D4*, recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto, suponiendo que circula a la misma velocidad del vehículo adelantante, es igual a la distancia recorrida por el vehículo adelante desde el momento en que invade el carril del sentido opuesto hasta que regresa a su carril. Esto es:

$$D_4 = \frac{2}{3} D_2 \qquad (4\text{-}36)$$

En la Tabla 1.10 se presentan los valores mínimos recomendados para la *distancia de visibilidad de adelantamiento Da*, calculados con los criterios anteriores para carreteras de dos carriles dos sentidos, donde se asume que la velocidad del vehículo adelantado es la velocidad del volumen de tránsito cercano a capacidad, menor en *15 Km/h* a la velocidad del vehículo que adelanta.

Tabla 1.9 Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos

COMPONENTE DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO	RANGO DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, V_e (Km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, *V* (Km/h)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
Maniobra inicial:				
a = Aceleración promedio (Km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
t_1 = Tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
D_1 = Distancia recorrida (m)	45	66	89	113
Ocupación del carril contrario:				
t_2 = Tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
D_2 = Distancia recorrida (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad:				
D_3 = Distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto:				
D_4 = Distancia recorrida (m)	97	130	168	209
Distancia total:				
$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$	317	446	583	726

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004.

Tabla 1.10 Mínimas distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.

VELOCIDAD ESPECÍFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, V_e (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, *V* (Km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILDAD DE ADELANTAMIENTO D_a (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004

En carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación, se debe procurar obtener la máxima longitud posible en que la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor a la mínima dada por las tablas anteriores. Por esto, como norma de diseño, se deben proyectar en tramos de *5* kilómetros, varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada. En la Tabla 1.11, se presenta como guía, la frecuencia con la que se deben presentar oportunidades de adelantar o el porcentaje mínimo habilitado para adelantamiento en el tramo, de acuerdo a la velocidad de diseño del tramo homogéneo.

Tabla 1.11 Oportunidades de adelantar por tramos de 5 kilómetros

VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)	20-60	60-80	80-100
PORCENTAJE MÍNIMO DE LA LONGITUD CON DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (%)	20%	30%	40%

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

1.4.4 Distancia de visibilidad de encuentro.

En carreteras terciarias de una calzada y sin diferenciación de carriles, la *distancia de visibilidad de encuentro De* es la longitud mínima disponible de carretera, visible para los conductores que circulan en sentidos opuestos, obligados a llevar a cabo maniobras para esquivarse.

Se ha establecido, que esta longitud debe ser lo suficientemente larga, para permitirle a los vehículos que viajan a la velocidad de diseño en sentidos contrarios, esquivarse y cruzarse con seguridad a una velocidad de *10 Km/h.*

Esta distancia se debe determinar con base a un tiempo de percepción- reacción de un (*1*) segundo y una deceleración similar a la de frenado hasta esquivarse y cruzarse a una velocidad de *10 Km/h*, mediante la siguiente relación:

$$D_e = 2(0.278\,V_d) + \left[\frac{V_d^2 - 100}{254(f_l + p)}\right] + \left[\frac{V_d^2 - 100}{254(f_l - p)}\right] \qquad (4\text{-}37)$$

1.4.5 Evaluación de la visibilidad de un proyecto en planos.

La distancia de visibilidad es un elemento que debe tenerse en cuenta desde el principio del proyecto, dada la importancia que tiene tanto en la seguridad como en la capacidad de la futura carretera.

Las distancias de visibilidad, tanto de parada como de adelantamiento, se pueden medir directamente utilizando aplicaciones informáticas o específicas, anotándolas a intervalos frecuentes, usualmente cada *20* ó *25* metros, sobre los planos planta-perfil. De esta manera, el diseñador podrá apreciar de conjunto todo el trazado y realizar un proyecto más equilibrado.

En carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, deben medirse las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento. En carreteras de dos calzadas separadas es suficiente el análisis de visibilidad de parada.

Para la medición de las distancias de visibilidad, para vehículos livianos, se deben considerar las siguientes alturas:

1. Altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: *1.08* metros. Este valor se basa en que se ha encontrado que las alturas promedio de los vehículos ha disminuido hasta los *1.30* metros.

2. Altura del obstáculo que debe ver el conductor y que lo obliga a parar: *0.60* metros. Se considera que esta altura es la representativa de un objeto que implica riesgo a los conductores, que puede ser reconocido por ellos con tiempo, y que les permite parar antes de llegar a él.

3. Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: *1.35* metros.

Para camiones grandes, el valor recomendado como altura de los ojos del conductor es de *2.30* metros sobre la superficie del pavimento.

➊ EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LA VISIBILIDAD EN PLANTA.

Como la visibilidad en planta está limitada por la presencia de obstrucciones laterales, tales como puentes, edificaciones, vallas, cercas, vegetación alta, etc., es necesario que éstas aparezcan dibujadas en los planos para realizar la evaluación.

Cuando la obstrucción se debe a los taludes de las secciones en corte, se deben dibujar en la planta las líneas o trazas del talud a *0.84* metros (promedio entre *1.08* y *0.60* metros) sobre la calzada para *distancia de visibilidad de parada*, y a *1.22* metros (promedio entre *1.08* y *1.35* metros) para *distancia de visibilidad de adelantamiento.*

Para ilustrar como se realiza la medición de las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento en planta, a manera de ejemplo, en la parte superior de la Figura 4.34, se observa que el vehículo que pasa por la sección de abscisa *K4+000* y que circula hacia la derecha, en cada caso (traza del talud a *0.84* y *1.22* metros sobre la calzada), dispondrá en planta de aproximadamente *200* metros como distancia de *visibilidad de parada* y de *260* metros como distancia de *visibilidad de adelantamiento.*

Si las anteriores distancias son mayores que las distancias mínimas de parada y adelantamiento calculadas con las expresiones dadas por las ecuaciones (4.30) y (4.33) anteriores, se dice entonces que en planta el tramo a partir de la abscisa *K4+000* tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo pueda realizar una *parada* con seguridad o una maniobra de *adelantamiento*. De lo contrario, por ejemplo, si ésta última no se cumple, deberá prohibirse el adelantamiento.

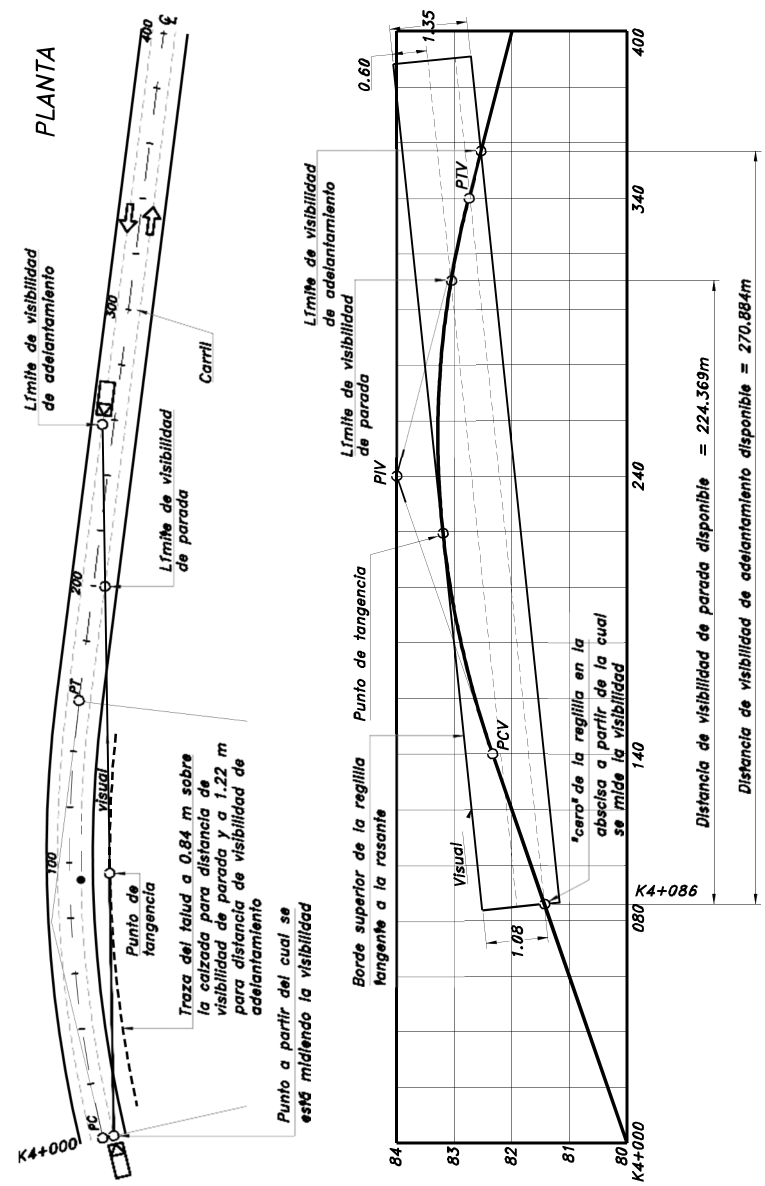


Figura 1.34 Evaluación y medición de las distancias de visibilidad en carreteras.

❷ EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LA VISIBILIDAD EN PERFIL.

Se recomienda el empleo de una reglilla transparente o de plástico, de bordes paralelos separados *1.35* metros a la escala vertical del perfil, con dos líneas paralelas situadas a *0.60* y *1.08* metros del borde superior.

La parte inferior de la Figura 1.34, ilustra la forma como se debe realizar el chequeo de las distancias de visibilidad en perfil para un vehículo ubicado en la sección de abscisa *K4+086*. En la rasante en esta abscisa se coloca el "cero" de la reglilla, la cual se gira hasta que su borde superior sea tangente al perfil del proyecto. En estas condiciones, la distancia desde la estación inicial (*K4+086*) hasta el punto del perfil interceptado por la paralela a *0.60* metros indicará la distancia de *visibilidad de parada* disponible en el perfil, *224.369* metros en este caso. De igual manera, la distancia desde la estación inicial (*K4+086*) hasta el punto del perfil interceptado por la paralela a *1.35* metros indicará la distancia de *visibilidad de adelantamiento* disponible, *270.884* metros en este caso.

De nuevo, si las anteriores distancias son mayores que las distancias mínimas de parada y adelantamiento calculadas con las expresiones dadas por las ecuaciones (4.28) o (4.30) y (4.33), se dice entonces que en el perfil el tramo a partir de la abscisa *K4+086* tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo pueda realizar una *parada* con seguridad o una maniobra de *adelantamiento*. De lo contrario, por ejemplo, si ésta última no se cumple, deberá prohibirse el adelantamiento.

Finalmente puede decirse, que con las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento así medidas tanto en planta como en perfil, en carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, se podrá determinar las zonas en donde se debe prohibir la maniobra de adelantamiento y en donde se debe limitar la velocidad mediante una adecuada señalización. Esto a su vez, determinará el porcentaje de longitud de carretera habilitada para efectuar maniobras de adelantamiento, útil en el cálculo de la capacidad de la carretera.

1.5 CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES.

1.5.1 Longitud mínima de las curvas verticales con visibilidad de parada.

Las longitudes mínimas de las curvas verticales, convexas y cóncavas, además de ser suficientes para producir la variación gradual de la pendiente desde su tangente de entrada hasta su tangente de salida sin que se generen cambios bruscos en la curvatura, deberán satisfacer los requisitos de *visibilidad de parada*. Este requisito es conocido como el *criterio de seguridad*. Generalmente, las longitudes mínimas de las curvas que satisfacen la seguridad, también cumplen confortabilidad y apariencia.

❶ CURVAS VERTICALES CONVEXAS.

Se presentan dos casos, según que la distancia de visibilidad de parada Dp sea mayor o menor que la longitud de la curva Lv.

<u>Caso 1:</u> $Dp > Lv$

Aquí el conductor y el obstáculo están fuera de la curva. La Figura 1.35 muestra este caso, para el cual *H* representa la altura del ojo del conductor sobre el pavimento y *h* la altura del obstáculo.

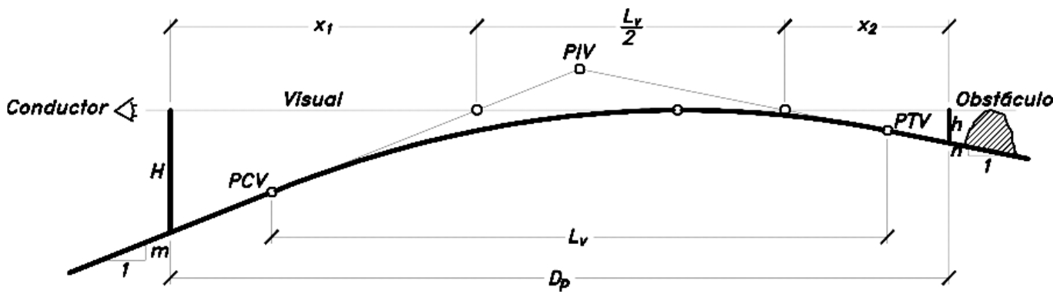


Figura 1.35 Curva vertical convexa con visibilidad de parada. Caso 1: Dp > Lv

De esta figura, se deduce que:

$$D_p = \frac{L_v}{2} + x_1 + x_2 \qquad \text{, donde,}$$

$$x_1 = \frac{H}{m} \quad , x_2 = \frac{h}{n} \qquad \text{, pero,}$$

$$i = m - (-n) = m + n$$

$$n = i - m \qquad \text{, esto es,}$$

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{H}{m} + \frac{h}{n} \tag{4-38}$$

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{H}{m} + \frac{h}{i-m} = \frac{L_v}{2} + Hm^{-1} + h(i-m)^{-1}$$

Para D_p mínima, la visual debe ser tangente al vértice de la curva, por lo tanto:

$$\frac{d}{dm}(D_p) = 0 = -Hm^{-2} - h(i-m)^{-2}(-1) = -\frac{H}{m^2} + \frac{h}{(i-m)^2} = -\frac{H}{m^2} + \frac{h}{n^2}$$

$$\frac{H}{m^2} = \frac{h}{n^2} \qquad \text{, de donde,}$$

$$m = n\sqrt{\frac{H}{h}} \quad , n = m\sqrt{\frac{h}{H}} \qquad \text{, ahora,}$$

$$i = m + n = m + m\sqrt{\frac{h}{H}} = m\left(1 + \sqrt{\frac{h}{H}}\right) \qquad \text{, esto es,}$$

$$m = \frac{i}{1 + \sqrt{\frac{h}{H}}} \qquad \text{, igualmente,}$$

$$n = \frac{i}{1 + \sqrt{\frac{H}{h}}}$$

Reemplazando en la ecuación (4-38), queda:

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{H}{\frac{i}{1 + \sqrt{\frac{h}{H}}}} + \frac{h}{\frac{i}{1 + \sqrt{\frac{H}{h}}}}$$

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{H\left(1+\sqrt{\frac{h}{H}}\right) + h\left(1+\sqrt{\frac{H}{h}}\right)}{i}$$

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{H+\sqrt{Hh}+h+\sqrt{Hh}}{i} = \frac{L_v}{2} + \frac{H+2\sqrt{Hh}+h}{i}$$

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{\left(\sqrt{H}+\sqrt{h}\right)^2}{i}$$, de donde,

$$L_v = 2D_p - \frac{2\left(\sqrt{H}+\sqrt{h}\right)^2}{i} \qquad (4\text{-}39)$$

Como se estableció anteriormente, para la distancia de visibilidad de parada se tienen las siguientes alturas: H=*1.08m* y h=*0.60m*. Por lo tanto, expresando a i en *%*, la longitud mínima *Lv* de la curva vertical es aproximadamente igual a:

$$L_v = 2D_p - \frac{200\left(\sqrt{1.08}+\sqrt{0.60}\right)^2}{i}$$

$$L_v = 2D_p - \frac{658}{i} \qquad (4\text{-}40)$$

<u>Caso 2:</u> *Dp < Lv*

Aquí el conductor y el obstáculo están dentro de la curva, tal como se ilustra en la Figura 1.36.

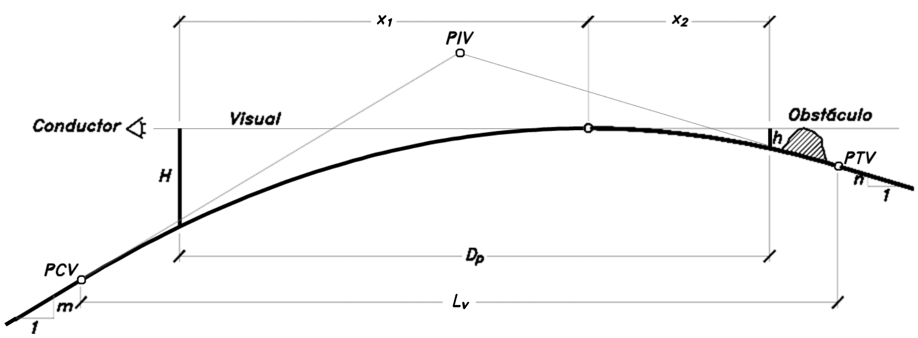


Figura 1.36 Curva vertical convexa con visibilidad de parada. Caso 2: Dp < Lv

Se observa que:

$$D_p = x_1 + x_2$$

Pero, la ecuación general de la corrección de pendiente y es:

$$y = \left(\frac{i}{2L_v} \right) x^2 = Kx^2$$

Donde K es la constante geométrica que define la parábola, que es igual a:

$$K = \frac{y}{x^2} = \frac{H}{x_1^2} = \frac{h}{x_2^2} \quad \text{, de donde,}$$

$$x_1 = \sqrt{\frac{H}{K}} \quad , x_2 = \sqrt{\frac{h}{K}} \quad \text{, esto es,}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{H}{K}} + \sqrt{\frac{h}{K}}$$

$$D_p^2 = \frac{H}{K} + \frac{2}{K}\sqrt{Hh} + \frac{h}{K} = \frac{\left(\sqrt{H} + \sqrt{h}\right)^2}{K} = \frac{\left(\sqrt{H} + \sqrt{h}\right)^2}{\dfrac{i}{2L_v}} = \frac{2L_v\left(\sqrt{H} + \sqrt{h}\right)^2}{i}$$

De la misma manera que el caso anterior, reemplazando a: *H=1.08m* y *h=0.60m*, y expresando a i en %, la longitud mínima L_V de la curva vertical es:

$$L_v = \frac{D_p^2\, i}{658} \qquad (4\text{-}41)$$

Anteriormente, según la ecuación (4-13), se estableció que la longitud de la curva vertical L_V en función del coeficiente angular k_V es:

Por lo tanto, al igualar las dos expresiones anteriores, se obtiene:

$$L_v = \frac{D_p^2\, i}{658} = k_v i \quad \text{, de donde,}$$

$$k_v = \frac{D_p^2}{658} \qquad (4\text{-}42)$$

❷ CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS.

En términos generales, las curvas verticales cóncavas, por su forma, son de visibilidad completa durante el día, más no así durante la noche. En este sentido, la longitud de carretera iluminada hacia adelante por la luz de los faros delanteros del vehículo deberá ser al menos igual a la distancia de *visibilidad de parada*. Esta longitud llamada *visibilidad nocturna*, depende de la altura de las luces delanteras sobre el pavimento, asumida como *0.60* metros, y del ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba o respecto al eje longitudinal del vehículo, supuesto en *1°*.

<u>Caso 1:</u> *Dp > Lv*

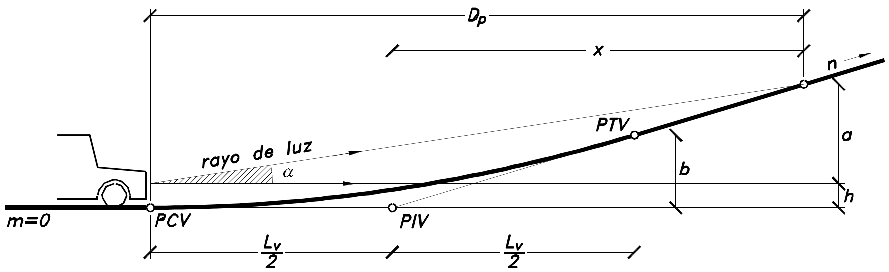


Figura 1.37 Curva vertical cóncava con visibilidad de parada. Caso 1: Dp > Lv

En esta figura, se observa que:

$$D_p = \frac{L_v}{2} + x \qquad (4\text{-}43)$$

Por relación de triángulos semejantes:

$$\frac{x}{a+h} = \frac{\frac{L_v}{2}}{b} \quad \text{, donde,}$$

$$a = D_p \tan\alpha = D_p \tan 1^\circ = 0.0175\,D_p$$

$$b = n\left(\frac{L_v}{2}\right) \quad \text{, entonces,}$$

$$\frac{x}{0.0175\,D_p + 0.60} = \frac{\frac{L_v}{2}}{n\left(\frac{L_v}{2}\right)} = \frac{1}{n}$$

Despejando *x*:

$$x = \frac{0.0175\,D_p + 0.60}{n} \quad \text{, pero,}$$

$$i = m - n = 0 - n = -n$$

Reemplazando el valor absoluto de *n* por *i*, queda:

$$x = \frac{0.0175\,D_p + 0.60}{i}$$

Regresando a la ecuación (4-43), se tiene:

$$D_p = \frac{L_v}{2} + \frac{0.0175\,D_p + 0.60}{i}$$

Por lo tanto, expresando a *i* en %, la longitud mínima L_v de la curva vertical es:

$$L_v = 2D_p - \frac{120 + 3.5\,D_p}{i} \qquad (4\text{-}44)$$

Caso 2: *Dp < Lv*

En este caso, ilustrado en la Figura 1.38, se observa también que:

$$D_p = \frac{L_v}{2} + x$$

$$\frac{x}{a+h} = \frac{\frac{L_v}{2}}{b} = \frac{\frac{L_v}{2}}{n\left(\frac{L_v}{2}\right)} = \frac{1}{n} = \frac{1}{i}$$

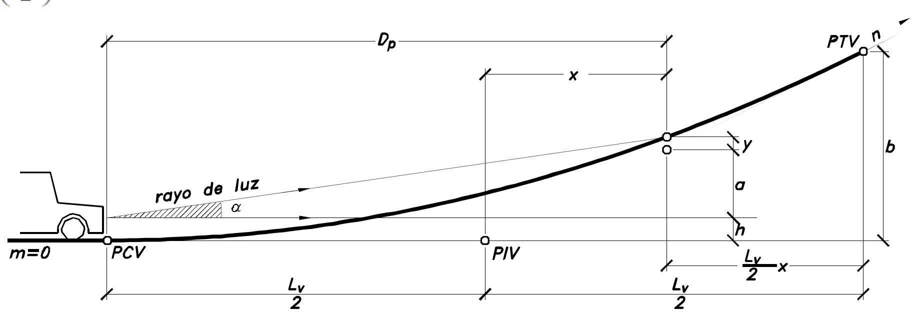


Figura 1.38 Curva vertical cóncava con visibilidad de parada. Caso 2: Dp < Lv

$$a = xi - h$$

$$\tan\alpha = \frac{a+y}{\frac{L_v}{2} + x} = \frac{xi - h + y}{D_p} = \tan 1^\circ = 0.0175$$

$$xi - h + y = 0.0175\,D_p$$

$$y = \frac{i}{2L_v}\left(\frac{L_v}{2} - x\right)^2$$

$$\frac{L_v}{2} - x = L_v - D_p$$

$$xi - h + \frac{i}{2L_v}\left(L_v - D_p\right)^2 = 0.0175\,D_p \quad \text{, pero } x = D_p - \frac{L_v}{2} \quad \text{, entonces,}$$

$$\left(D_p - \frac{L_v}{2}\right)i - h + \frac{i}{2L_v}\left(L_v^2 - 2L_vD_p + D_p^2\right) = 0.0175\,D_p$$

$$D_pi - \frac{L_vi}{2} - h + \frac{L_vi}{2} - D_pi + \frac{D_p^2i}{2L_v} = 0.0175\,D_p$$

$$\frac{D_p^2i}{2L_v} - h = 0.0175\,D_p$$

$$\frac{D_p^2i}{L_v} - 2h = 0.035\,D_p$$

Expresando a i en % y reemplazando a $h=0.60m$, se obtiene que la longitud mínima L_V de la curva vertical es:

$$L_v = \frac{D_p^2i}{120 + 3.5\,D_p} \qquad (4\text{-}45)$$

De la expresión anterior, se observa que el coeficiente angular k_V es:

$$k_v = \frac{D_p^2}{120 + 3.5\,D_p} \qquad (4\text{-}46)$$

En la Tabla 1.12, aparecen los valores mínimos recomendados de k_V, para las sucesivas velocidades específicas de las curvas verticales *VCV* y sus correspondientes distancias mínimas de visibilidad de parada *Dp*, tanto para curvas verticales convexas como para cóncavas.

Tabla 1.12 Valores mínimos de kv para curvas verticales convexas y cóncavas con visibilidad de parada (criterio de seguridad).

VELOCIDAD ESPECÍFICA CURVA VERTICAL V_{CV} (Km/h)	VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m) (1)	COEFICIENTE ANGULAR k_v	
		CURVAS VERTICALES CONVEXAS (2)	CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS (3)
20	20	1	3
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38
100	185	52	45
110	220	74	55
120	250	95	63
130	285	124	73

(1): Obtenida en la Tabla 1.7.
(2): Calculado con la ecuación (4-42) y redondeado.
(3): Calculado con la ecuación (4-46) y redondeado

1.5.2 Longitud mínima de las curvas verticales con visibilidad de adelantamiento.

En aquellos casos en que sea económicamente posible, se pueden adoptar longitudes de curvas verticales amplias, incluso hasta obtener distancias de visibilidad de adelantamiento *Da.*

❶ CURVAS VERTICALES CONVEXAS

<u>Caso 1:</u> *Da > Lv*

Reemplazando en la ecuación (4-39) a D_p por D_a, se tiene:

$$L_v = 2D_a - \frac{2\left(\sqrt{H}+\sqrt{h}\right)^2}{i}$$

Para la distancia mínima de visibilidad de adelantamiento *Da* se tienen las siguientes alturas: *H=1.08m* y *h=1.35m*. Por lo tanto, expresando a *i* en *%*, la longitud mínima *Lv* de la curva vertical es aproximadamente igual a:

$$L_v = 2D_a - \frac{200\left(\sqrt{1.08}+\sqrt{1.35}\right)^2}{i}$$

$$L_v = 2D_a - \frac{969}{i} \qquad (4\text{-}47)$$

<u>Caso 2:</u> *Da < Lv*

Análogamente, según lo establecido anteriormente, también se puede llegar a la siguiente expresión:

$$D_a^2 = \frac{2L_v\left(\sqrt{H}+\sqrt{h}\right)^2}{i}$$

De nuevo, como en el caso anterior, reemplazando a: *H=1.08m* y *h=1.35m*, y expresando a *i* en *%*, la longitud mínima *Lv* de la curva vertical es aproximadamente igual a:

$$L_v = \frac{D_a^2\, i}{969} \qquad (4\text{-}48)$$

A pesar de que estas longitudes mínimas para las curvas verticales convexas se puedan calcular para los dos casos anteriores, y debido a las grandes longitudes requeridas, es difícil proveer durante la gran parte del diseño las curvas convexas con distancia de visibilidad de adelantamiento.

❷ CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS

Para la distancia de visibilidad nocturna de adelantamiento, no es indispensable calcular la longitud mínima de la curva vertical cóncava, porque se pueden ver las luces del vehículo que viene en sentido contrario.

1.5.3 Longitud mínima de las curvas verticales con comodidad en la marcha.

El efecto de incomodidad producido por los cambios de pendiente, es mayor en las curvas verticales cóncavas que en las convexas, ya que las fuerzas componentes de la gravedad y el peso actúan en el mismo sentido, generando una mayor fuerza centrífuga vertical. En las curvas convexas las dos fuerzas componentes son opuestas, lo que hace que se compensen, produciendo un menor efecto centrífugo, que las convierte en menos incómodas.

El confort debido a este efecto depende, entre otros factores, de la suspensión del vehículo, la presión en las llantas y la carga transportada. Investigaciones al respecto, indican que no se presenta incomodidad mientras la aceleración centrífuga vertical no exceda el valor de *0.305 m/seg²*.

Asimilando la parábola a un arco de circunferencia de radio *R*, a la velocidad específica de la curva vertical *VCV*, la aceleración centrífuga vertical *ac* es:

$$a_c = \frac{V_{CV}^2}{R} \leq 0.305\, m/seg^2$$, de donde,

$$R \geq \frac{V_{CV}^2}{0.305}$$

Pero, para el arco de circunferencia, su longitud L_s es:

$$L_s = R\,\Delta$$, donde, $\Delta = i$, esto es,

$$L_v = R\, i \quad , R = \frac{L_v}{i} \geq \frac{V_{CV}^2}{0.305}$$

Por lo tanto despejando L_v, se tiene:

$$L_v \geq \frac{V_{CV}^2\, i}{0.305} = \frac{V_{CV}^2\left(\frac{Km^2}{hr^2}\right) i}{0.305\left(\frac{m}{seg^2}\right)}\left(\frac{1000^2\, m^2}{1\,Km^2}\right)\left(\frac{1\,hr^2}{3600^2\, seg^2}\right) = \frac{V_{CV}^2\, i}{3.953}$$

Expresando a i en %, la longitud mínima L_v de la curva vertical cóncava, con *criterio de comodidad* o *confort*, es igual a:

$$L_v = \frac{V_{CV}^2\, i}{395} \qquad (4\text{-}49)$$

1.5.4 Longitud mínima de las curvas verticales con apariencia.

Las curvas verticales cóncavas, por ser de completa visibilidad diurna, deben presentar al conductor una buena apariencia o estética. Experimentalmente se ha encontrado que la longitud mínima *Lv* de estas curvas, con *criterio de apariencia* o *estética*, expresando a *i* en *%*, es:

$$L_v = 30\,i \qquad (4\text{-}50)$$

Como puede observarse en la expresión anterior el valor de *kv* es de *30*. Comparado con los valores de *kv* del criterio de seguridad para curvas verticales cóncavas, según la Tabla 1.12 anterior, estas curvas corresponden a velocidades específicas *VCV* superiores a *80 Km/hr*. Quiere esto decir, que para carreteras de alta jerarquía, es necesario disponer de longitudes amplias en las curvas para así garantizar una buena apariencia o estética.

1.5.5 Longitud máxima de las curvas verticales con control por drenaje.

Las curvas verticales, con pendientes de entrada y salida de signo contrario, tanto convexas como cóncavas, que sean muy amplias, presentan en su parte alta o baja, tramos casi a nivel que podrían ocasionar dificultad en el drenaje de las aguas lluvias. Se ha encontrado, que no se tendrán problemas de drenaje, si al menos en una distancia de *15* metros desde el vértice de la curva se alcanza una pendiente del *0.3%*. Esto arroja un *kv* de:

$$k_v = \frac{15m}{0.3\%} = 50$$

Por lo tanto, expresando a *i* en *%*, la longitud máxima *Lv* de las curvas verticales convexas y cóncavas, que satisfacen el *criterio de drenaje*, es:

$$L_v = 50\,i \qquad (4\text{-}51)$$

Ahora, partiendo del principio de que el criterio más importante es de seguridad, el cual prevalecerá sobre el de drenaje, según los valores de *kv* de la Tabla 1.12 anterior, las curvas verticales con valores superiores a *kv=50* requerirán de una atención especial para proporcionar condiciones adecuadas de drenaje cerca de su vértice, mediante un conveniente bombeo y con pendientes longitudinales del fondo de las cunetas mayores a la pendiente de la rasante.

1.5.6 Longitud mínimum de las curvas verticales.

Para valores pequeños de *i*, en las curvas verticales convexas y cóncavas, para los casos donde *Dp >Lv*, la longitud de la curva puede llegar a ser negativa, significando esto que no se necesitaría curva.

Sin embargo, de orden práctico, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente, se exige una cierta longitud mínima de curva vertical *Lv* según la velocidad específica de la curva vertical *VCV* expresada en *Km/h*, de acuerdo con la siguiente expresión, denominado *criterio de operación:*

$$L_v = 0.6\, V_{CV} \qquad (4\text{-}52)$$

Por otro lado, en el diseño de vías urbanas, algunos ingenieros, para valores de *i* menores al *1%*, no proyectan curva vertical. Pero, las modificaciones de campo durante la construcción finalmente producen una curva vertical equivalente, aun así sea corta.

INSTALACION:

1.- Transferir el programa desde una PC con el kit de conectividad, una vez conectada la calculadora con cable USB arrastrar L1323 Análisis Curva Vertical V1.0 a la calculadora hp50g.

2.- Ejecutar el programa con **EVAL** y elegir el puerto a instalar la biblioteca preferiblemente elegir el puerto 2: FLASH y luego reiniciar la calculadora con las siguientes teclas 

y 

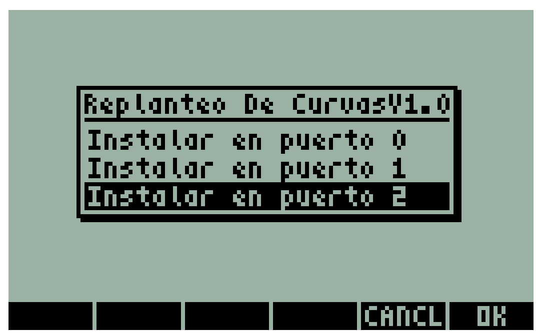
presionando simultáneamente soltar y queda finalmente instalada la biblioteca del programa.

NOTA:

Si copia el programa L1323 Análisis Curva Vertical V1.0 desde una **SD** los anteriores pasos no es necesario simplemente tiene que copiar el programa del SD a la calculadora hp50g en **HOME** y ejecutar con **EVAL** e instalar al puerto 2: FLASH y luego reiniciar la calculadora con las siguientes teclas 

y 

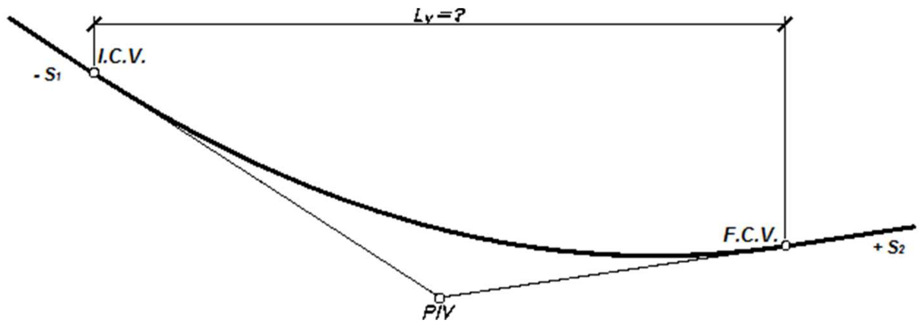
presionando simultáneamente soltar y queda finalmente instalada la biblioteca del programa.



EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA:

EJEMPLO N°1

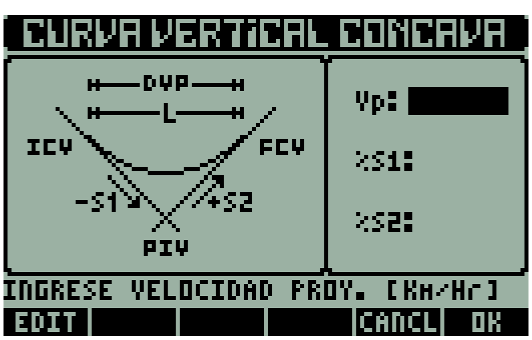
Determinar la longitud "L" de la curva vertical cóncava simétrica para los siguientes datos: Vp=70 [Km/hr], S1=-3 [%], S2=+6 [%]

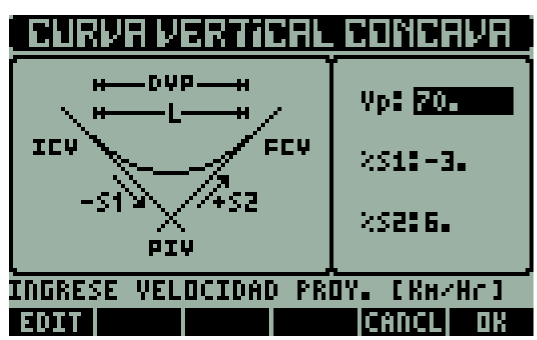


DATOS:

Vp=70 [Km/hr]
S1=-3 [%]
S2=+6 [%]

INGRESO DE DATOS:



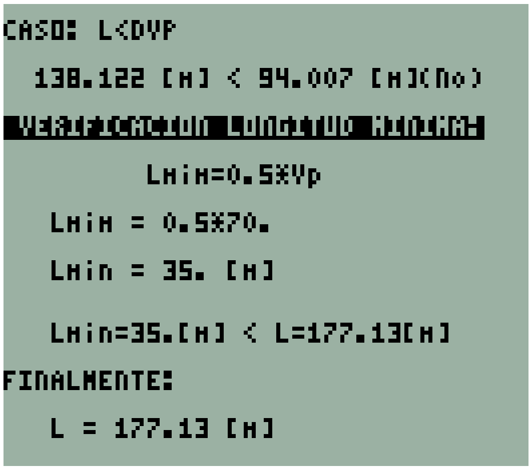


Elegimos la Primera Opción del menú elegimos la opción Curva Concava e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:

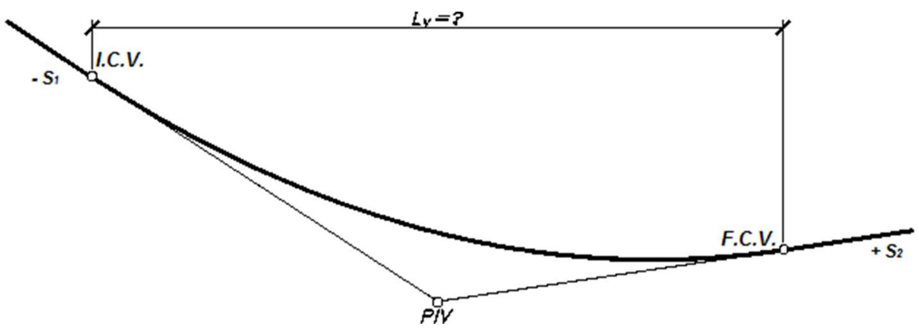
• Para ver todos los resultados desplazarse con las teclas de direccion:

```
    CALCULO DE LONGITUD MINIMA:
CALCULO DE DVP:
          Vp*t          Vp²
  DVP = ------ + ------------
          3.6     254*(frl±i)
DE TABLA [6-1] frl:
  Vp = 70.[Km/Hr] => frl = .38
    70.*2          (70.)²
DVP=-------- + ----------------
      3.6     254*(.38+-.03)
   DVP = 94.007 [m]
CALCULO DE PARAMETRO A:
         A=|S1-S2|
   A = |(-3.)-(6.)|
   A = 9. [%]
CASO:  L>DVP
            A*DVP²
      L=--------------
         120+3.5*DVP
            9.*(94.007)²
   L = --------------------
         120+3.5*94.007
   L = 177.13 [m]
CASO:  L<DVP
               120+3.5*DVP
     L=2*DVP- -------------
                   A
                  120+3.5*94.007
   L = 2*94.007- ---------------
                        9.
   L = 138.122 [m]
CRITERIO DE ANALISIS:
CASO: L>DVP
  177.13 [m] > 94.007 [m](Si)
```



<u>EJEMPLO N°2</u>

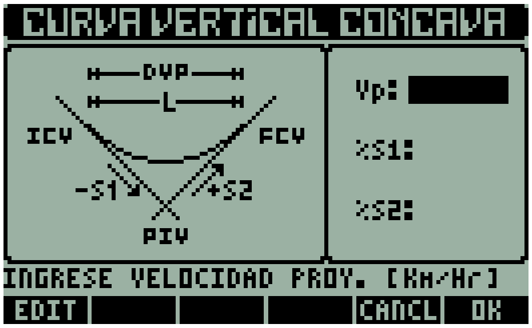
Determinar la longitud "L" de la curva vertical cóncava simétrica a partir de los siguientes datos: Vp=95 [Km/hr], S1=-5.2 [%], S2=+3.5 [%]

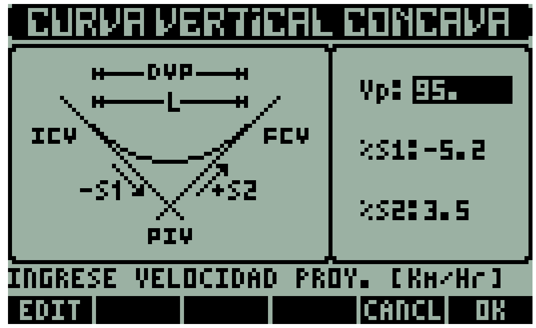


<u>DATOS:</u>

Vp=95 [Km/hr]
S1=-5.2 [%]
S2=+3.5 [%]

<u>INGRESO DE DATOS</u>:

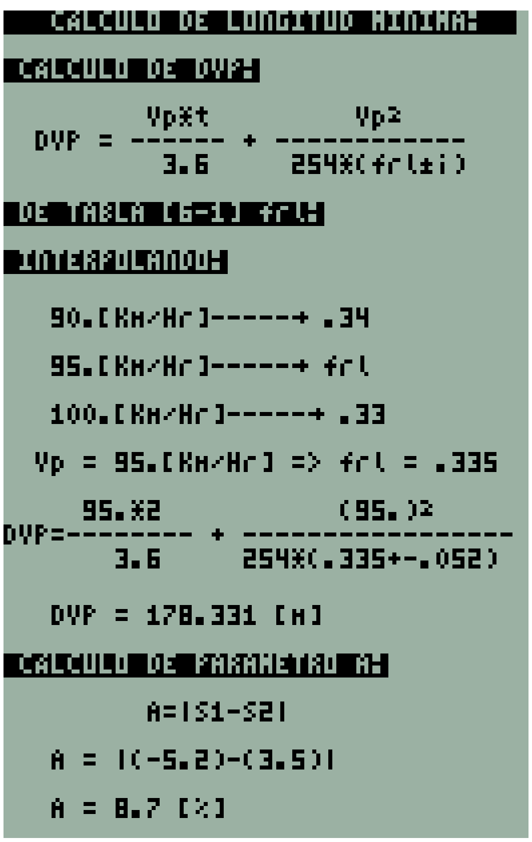




Elegimos la Primera Opción del menú elegimos la opción Curva Concava e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:

• Para ver todos los resultados desplazarse con las teclas de direccion:



CASO: L>DVP

$$L=\frac{A*DVP^2}{120+3.5*DVP}$$

$$L=\frac{8.7*(178.331)^2}{120+3.5*178.331}$$

$L = 371.798$ [m]

CASO: L<DVP

$$L=2*DVP-\frac{120+3.5*DVP}{A}$$

$$L=2*178.331-\frac{120+3.5*178.331}{8.7}$$

$L = 271.127$ [m]

CRITERIO DE ANALISIS:

CASO: L>DVP

371.798 [m] > 178.331 [m](Si)

CASO: L<DVP

271.127 [m] < 178.331 [m](No)

VERIFICACION LONGITUD MINIMA:

$$Lmin=0.5*Vp$$

$Lmin = 0.5*95.$

$Lmin = 47.5$ [m]

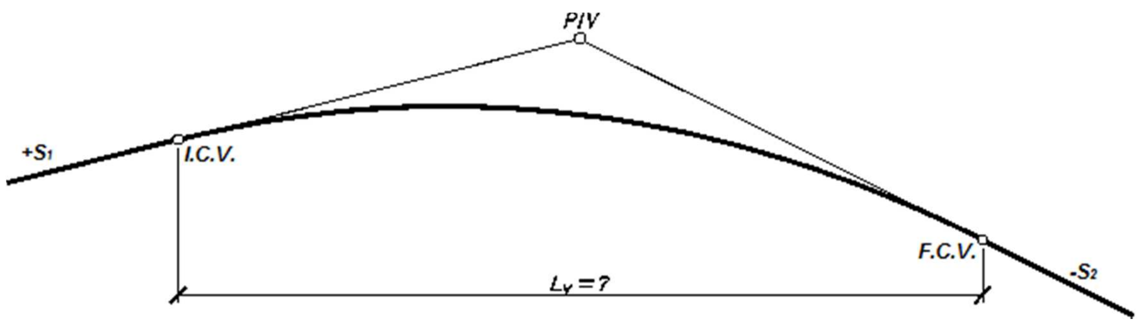
Lmin=47.5[m] < L=371.798[m]

FINALMENTE:

$L = 371.798$ [m]

EJEMPLO N°3

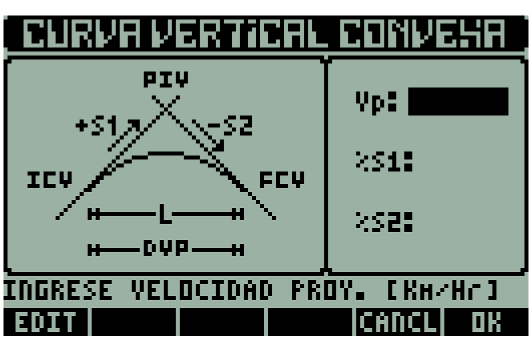
Determinar la longitud mínima "L" de la curva vertical cónvexa simétrica a partir de los siguientes datos: Vp=70 [Km/hr], S1=+4.4 [%], S2=-2.6 [%]

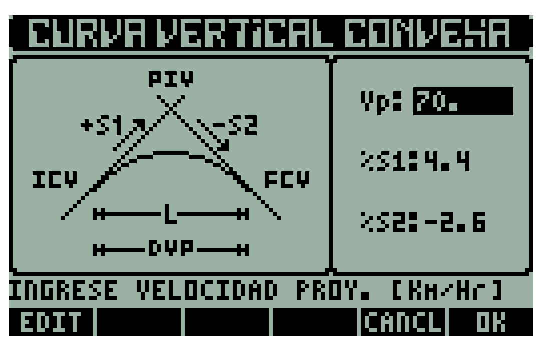


DATOS:

Vp=70 [Km/hr]
S1=+4.4 [%]
S2=-2.6 [%]

INGRESO DE DATOS:





Elegimos la Primera Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:

CALCULO DE LONGITUD MINIMA:

CALCULO DE DVP:

$$DVP = \frac{Vp*t}{3.6} + \frac{Vp^2}{254*(fr l \pm i)}$$

DE TABLA [6-1] fr l:

$$Vp = 70.[Km/Hr] \Rightarrow fr\,l = .38$$

$$DVP = \frac{70.*2}{3.6} + \frac{(70.)^2}{254*(.38+.044)}$$

$$DVP = 84.387\ [m]$$

CALCULO DE PARAMETRO A:

$$A = |S1-S2|$$

$$A = |(4.4)-(-2.6)|$$

$$A = 7.\ [\%]$$

$$A = .07\ [m/m]$$

CASO: L>DVP

$$L = \frac{A*DVP^2}{4.48}$$

$$L = \frac{.07*(84.387)^2}{4.48}$$

$$L = 111.268\ [m]$$

CASO: L<DVP

$$L = 2*DVP - \frac{4.48}{A}$$

$$L = 2*84.387 - \frac{4.48}{.07}$$

$$L = 104.774\ [m]$$

CRITERIO DE ANALISIS:

CASO: L>DVP

$111.268\ [m] > 84.387\ [m]$ (Si)

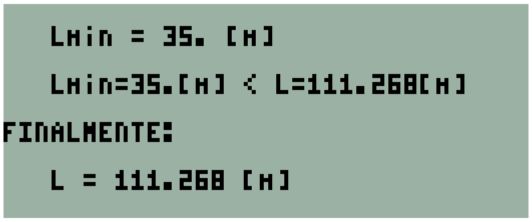
CASO: L<DVP

$104.774\ [m] < 84.387\ [m]$ (No)

VERIFICACION LONGITUD MINIMA:

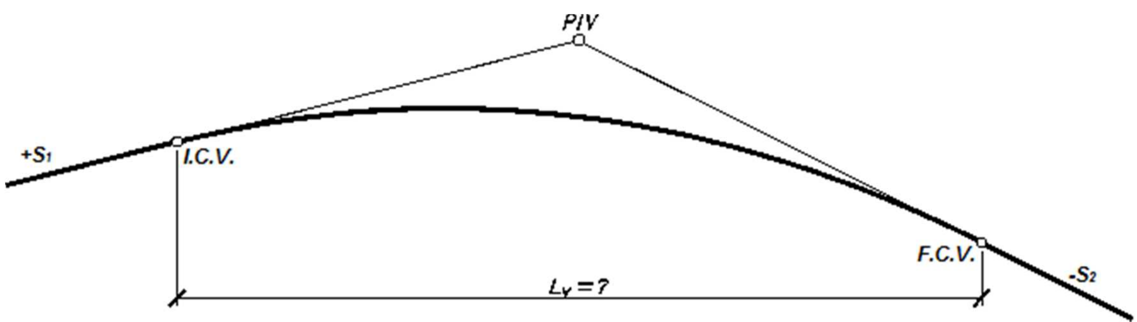
$$Lmin = 0.5*Vp$$

$$Lmin = 0.5*70.$$



EJEMPLO N°4

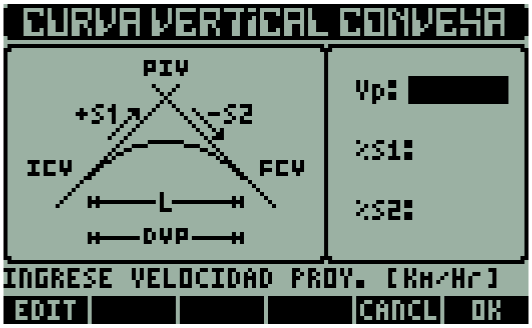
Determinar la longitud mínima "L" de la curva vertical cónvexa simétrica a partir de los siguientes datos: Vp=85 [Km/hr], S1=+4.8 [%], S2=-2.8 [%]

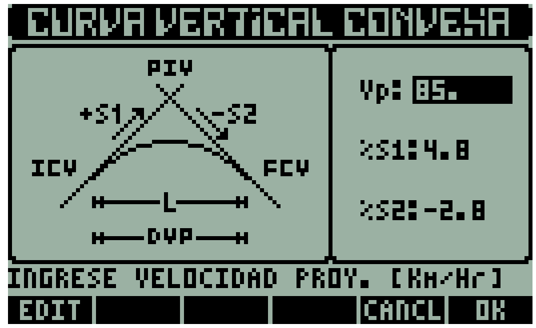


DATOS:

Vp=85 [Km/hr]
S1=+4.8 [%]
S2=-2.8 [%]

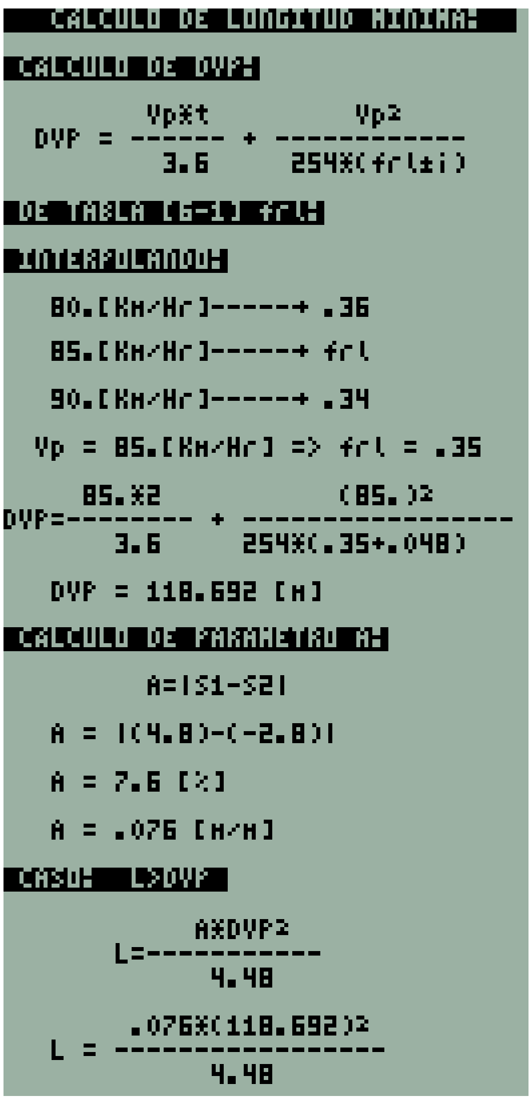
INGRESO DE DATOS:





Elegimos la Primera Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:



CALCULO DE LONGITUD MINIMA:

CALCULO DE DVP:

$$DVP = \frac{Vp*t}{3.6} + \frac{Vp^2}{254*(frl\pm i)}$$

DE TABLA [6-1] frl:

INTERPOLANDO:

80.[KM/Hr]------→ .36

85.[KM/Hr]------→ frl

90.[KM/Hr]------→ .34

Vp = 85.[KM/Hr] => frl = .35

$$DVP=\frac{85.*2}{3.6} + \frac{(85.)^2}{254*(.35+.048)}$$

DVP = 118.692 [M]

CALCULO DE PARAMETRO A:

A=|S1-S2|

A = |(4.8)-(-2.8)|

A = 7.6 [%]

A = .076 [M/M]

CASO: L>DVP

$$L=\frac{A*DVP^2}{4.48}$$

$$L = \frac{.076*(118.692)^2}{4.48}$$

L = 238.989 [m]

CASO: L<DVP

$$L = 2 * DVP - \frac{4.48}{A}$$

$$L = 2 * 118.692 - \frac{4.48}{.076}$$

L = 178.437 [m]

CRITERIO DE ANALISIS:

CASO: L>DVP

238.989 [m] > 118.692 [m](Si)

CASO: L<DVP

178.437 [m] < 118.692 [m](No)

VERIFICACION LONGITUD MINIMA:

Lmin=0.5*Vp

Lmin = 0.5*85.

Lmin = 42.5 [m]

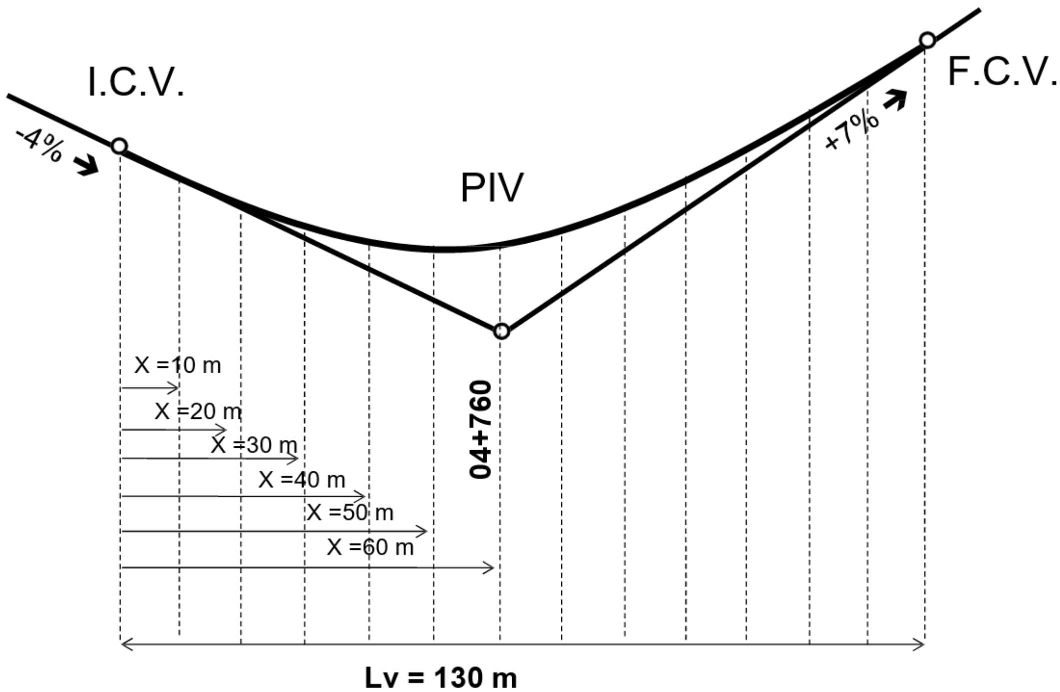
Lmin=42.5[m] < L=238.989[m]

FINALMENTE:

L = 238.989 [m]

EJEMPLO N°5

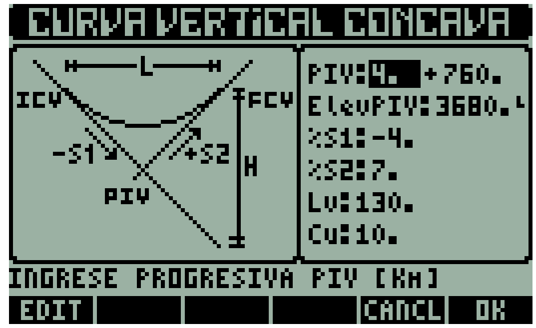
Diseñar y replantear la curva vertical cóncava simétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

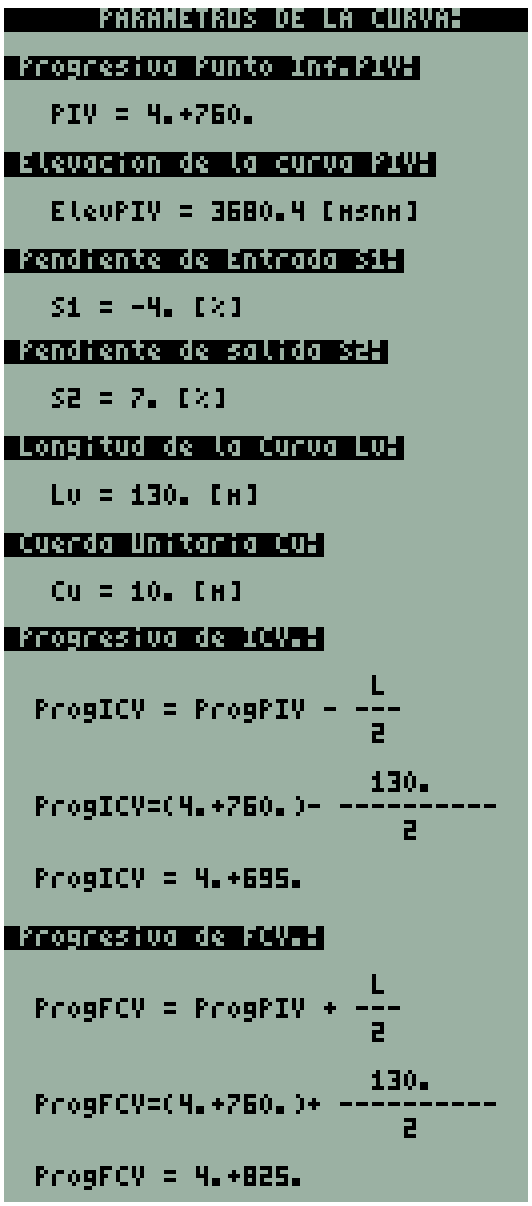
ProgPIV=04+760
ElevPIV=3680.40 [msnm]
S1=-4.0 [%]
S2=+7.0 [%]
Lv=130 [m]
Cu=10 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Concava Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3680.4 - \frac{-4. \cdot \frac{130.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3683. \ [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3680.4 + \frac{7. \cdot \frac{130.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3684.95 \ [msnm]$$

Elevación de la Rasante:

$$Elev(i) = ElevICV - \frac{S1 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(1) = 3682.8 \ [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(-4.)-(7.)|$$

$$A = 11. \ [\%]$$

Cálculo de H:

$$H = \frac{A \cdot L}{2}$$

$$H = \frac{\frac{11.}{100} \cdot 130.}{2}$$

$$H = 7.15 \ [m]$$

Cálculo de Ci:

$$Ci = \frac{H}{L^2} \cdot (a)^2$$

$$C(1) = \frac{7.15}{(130.)^2} \cdot (5.)^2$$

C(1) = .011

Elevacion de la Curva:

ELEVcurva(i) = ElevRazante + Ci

ELEVcurva(1) = 3682.8+.011

ELEVcurva(1) = 3682.811 [msnm]

Verificacion de E:

$$E = \frac{A*L}{800}$$

$$E = \frac{11.*130.}{800}$$

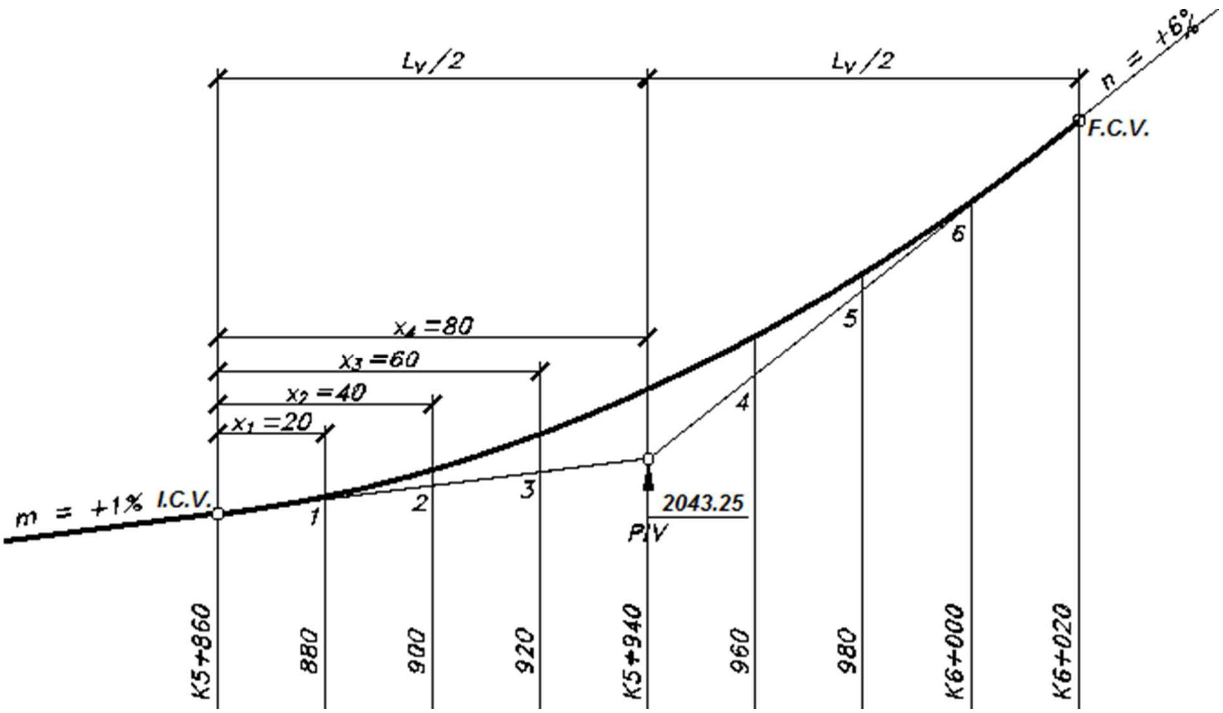
E = 1.788 [m] Ok...

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONCAVA:(METODO DIRECTO)

Est.	Progresiva	ElevRazante	a	a²	C=H/L²*a²	ElevCurva[msnm]
ICV=	4.+695.	3683.	-	-	-	3683.
1.	4.+700.	3682.8	5.	25.	.011	3682.811
2.	4.+710.	3682.4	15.	225.	.095	3682.495
3.	4.+720.	3682.	25.	625.	.264	3682.264
4.	4.+730.	3681.6	35.	1225.	.518	3682.118
5.	4.+740.	3681.2	45.	2025.	.857	3682.057
6.	4.+750.	3680.8	55.	3025.	1.28	3682.08
PIV=	4.+760.	3680.4	65.	4225.	E=1.788	3682.188
7.	4.+770.	3680.	75.	5625.	2.38	3682.38
8.	4.+780.	3679.6	85.	7225.	3.057	3682.657
9.	4.+790.	3679.2	95.	9025.	3.818	3683.018
10.	4.+800.	3678.8	105.	11025.	4.664	3683.464
11.	4.+810.	3678.4	115.	13225.	5.595	3683.995
12.	4.+820.	3678.	125.	15625.	6.611	3684.611
FCV=	4.+825.	3677.8	130.	16900.	H=7.15	3684.95

EJEMPLO N°6

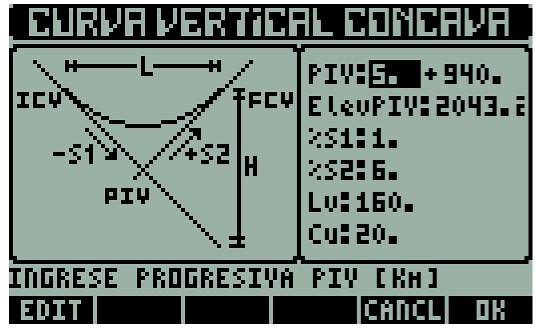
Diseñar y replantear la curva vertical cóncava simétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

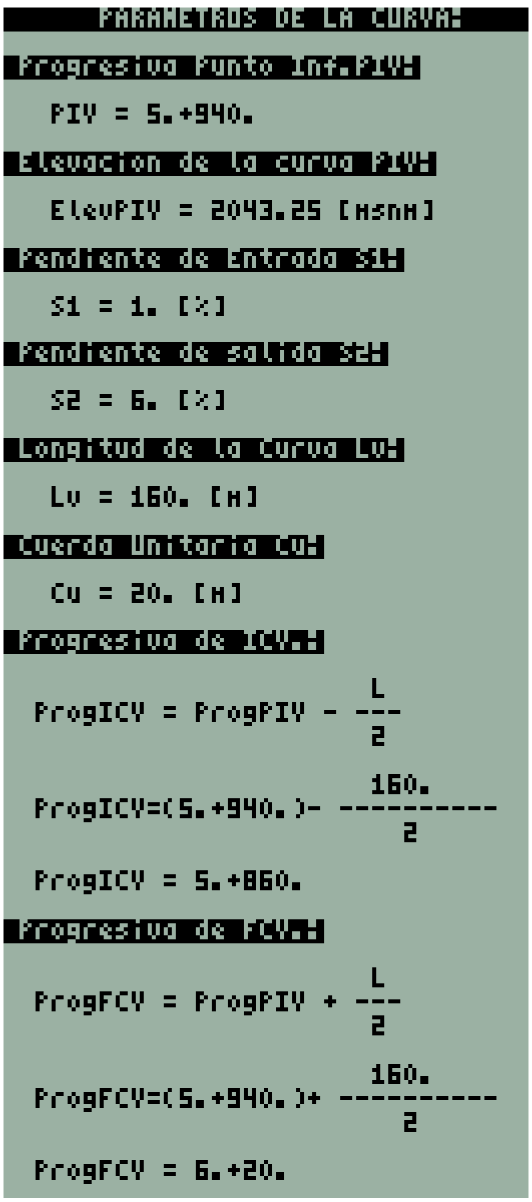
ProgPIV=05+940
ElevPIV=2043.25 [msnm]
S1=+1.0 [%]
S2=+6.0 [%]
Lv=160 [m]
Cu=20 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Concava Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 \times \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 2043.25 - \frac{1. \times \frac{160.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 2042.45 \ [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 \times \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 2043.25 + \frac{6. \times \frac{160.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 2048.05 \ [msnm]$$

Elevación de la Razante:

$$Elev(i) = ElevICV - \frac{S1 \times DH}{100}$$

$$Elev(1) = 2042.65 \ [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = |\ S1 - S2\ |$$

$$A = |(1.)-(6.)|$$

$$A = 5. \ [\%]$$

Cálculo de H:

$$H = \frac{A \times L}{2}$$

$$H = \frac{\frac{5.}{100} \times 160.}{2}$$

$$H = 4. \ [m]$$

Cálculo de Ci:

$$Ci = \frac{H}{L^2} \times (a)^2$$

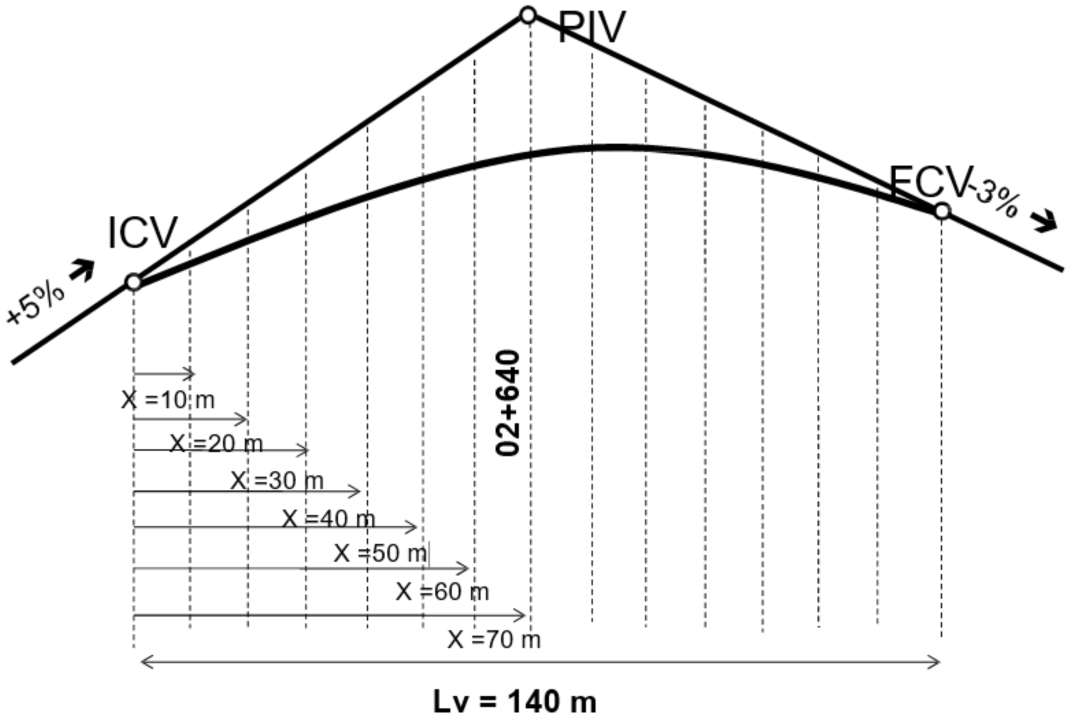
$$C(1) = \frac{4.}{(160.)^2} \times (20.)^2$$

```
 C(1) = .063
Elevacion de la Curva:
ELEVcurva(i) = ElevRazante + Ci
ELEVcurva(1) = 2042.65+.063
ELEVcurva(1) = 2042.713 [msnm]
Verificacion de E:
         A*L
   E = -----
         800
        5.*160.
   E = ----------
          800
   E = 1. [m]  Ok...
```

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONCAVA:(METODO DIRECTO)						
Est.	Progresiva	ElevRazante	a	a²	C=H/L²*a²	ElevCurva[msnm]
ICV=	5.+860.	2042.45	-	-	-	2042.45
1.	5.+880.	2042.65	20.	400.	.063	2042.713
2.	5.+900.	2042.85	40.	1600.	.25	2043.1
3.	5.+920.	2043.05	60.	3600.	.563	2043.613
PIV=	5.+940.	2043.25	80.	6400.	E=1.	2044.25
4.	5.+960.	2043.45	100.	10000.	1.563	2045.013
5.	5.+980.	2043.65	120.	14400.	2.25	2045.9
6.	6.+0.	2043.85	140.	19600.	3.063	2046.913
FCV=	6.+20.	2044.05	160.	25600.	H=4.	2048.05

EJEMPLO N°7

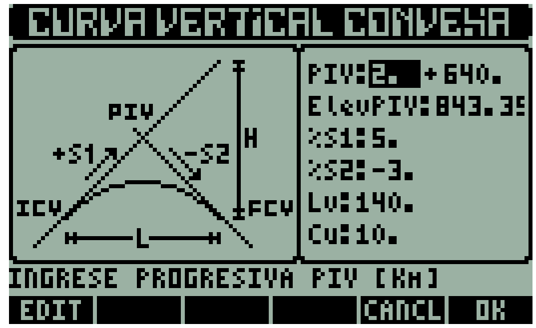
Diseñar y replantear la curva vertical convexa simétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

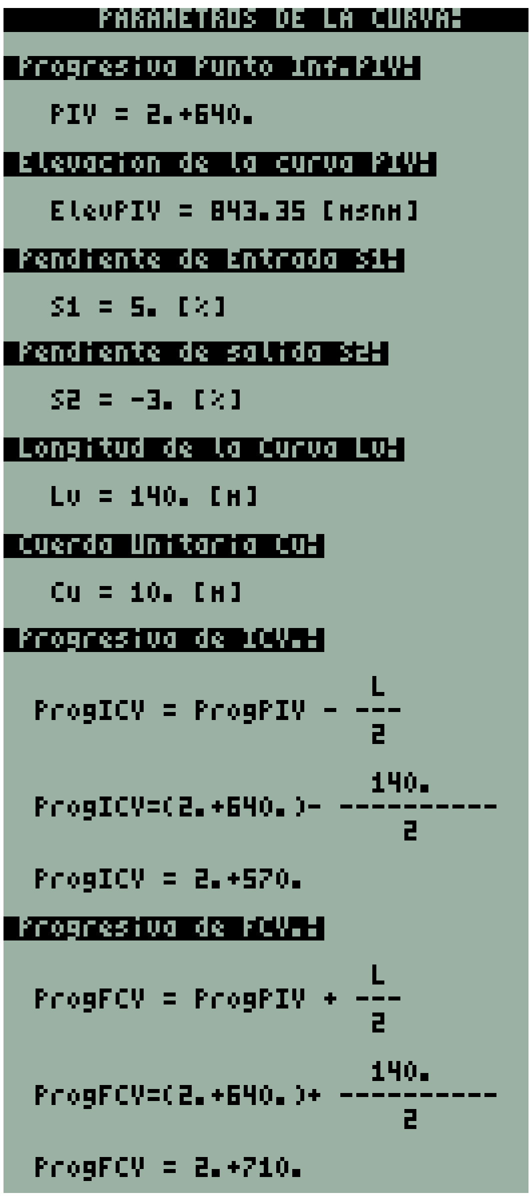
ProgPIV=02+640
ElevPIV=843.35 [msnm]
S1=+5.0 [%]
S2=-3.0 [%]
Lv=140 [m]
Cu=10 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 * \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 843.35 - \frac{5. * \frac{140.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 839.85 \ [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 * \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 843.35 + \frac{-3. * \frac{140.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 841.25 \ [msnm]$$

Elevación de la Rasante:

$$Elev(i) = ElevICV + \frac{S1 * DH}{100}$$

$$Elev(1) = 840.35 \ [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(5.)-(-3.)|$$

$$A = 8. \ [\%]$$

Cálculo de M:

$$M = \frac{A * L}{2}$$

$$M = \frac{\frac{8.}{100} * 140.}{2}$$

$$M = 5.6 \ [m]$$

Cálculo de Ci:

$$Ci = \frac{M}{L^2} * (a)^2$$

$$C(1) = \frac{5.6}{(140.)^2} * (10.)^2$$

C(1) = .029

Elevacion de la Curva:

ELEVcurva(i) = ElevRazante - Ci

ELEVcurva(1) = 840.35-.029

ELEVcurva(1) = 840.321 [msnm]

Verificacion de E:

$$E = \frac{A*L}{800}$$

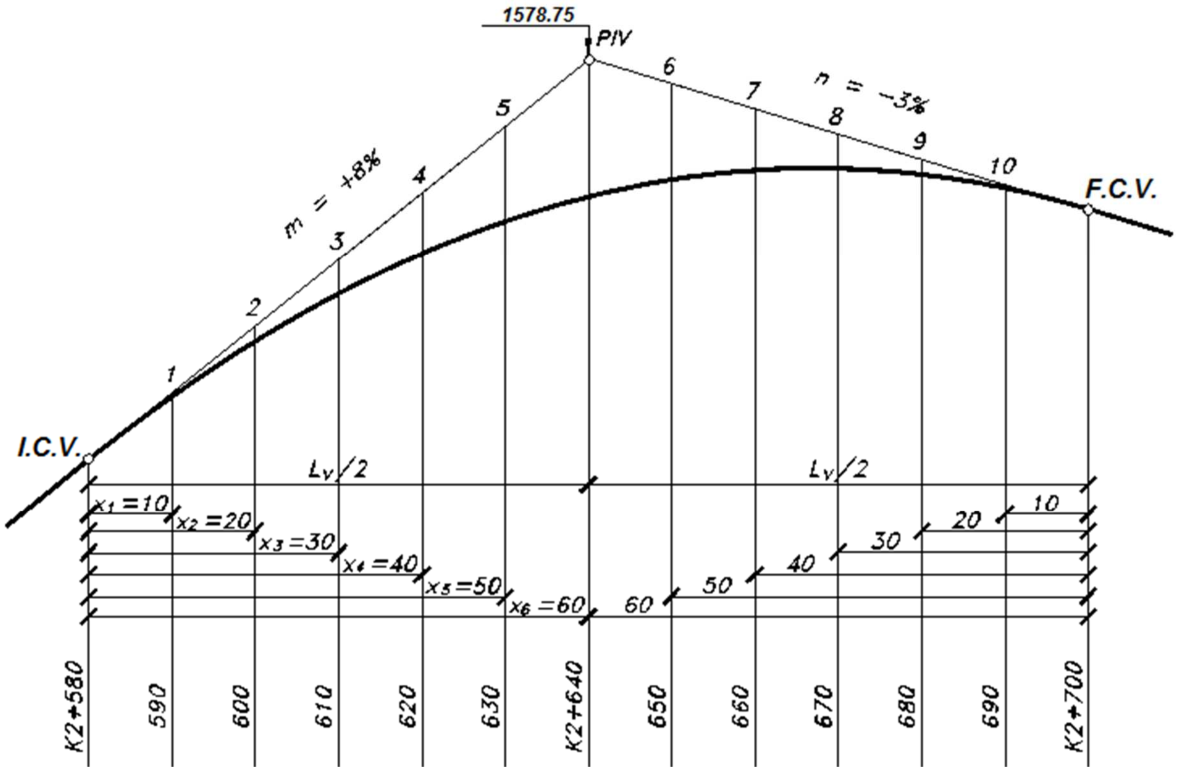
$$E = \frac{8.*140.}{800}$$

E = 1.4 [m] Ok...

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONVEXA:(METODO DIRECTO)						
Est.	Progresiva	ElevRazante	a	a²	C=H/L²*a²	ElevCurva[msnm]
ICV=	2.+570.	839.85	-	-	-	839.85
1.	2.+580.	840.35	10.	100.	.029	840.321
2.	2.+590.	840.85	20.	400.	.114	840.736
3.	2.+600.	841.35	30.	900.	.257	841.093
4.	2.+610.	841.85	40.	1600.	.457	841.393
5.	2.+620.	842.35	50.	2500.	.714	841.636
6.	2.+630.	842.85	60.	3600.	1.029	841.821
PIV=	2.+640.	843.35	70.	4900.	E=1.4	841.95
7.	2.+650.	843.85	80.	6400.	1.829	842.021
8.	2.+660.	844.35	90.	8100.	2.314	842.036
9.	2.+670.	844.85	100.	10000.	2.857	841.993
10.	2.+680.	845.35	110.	12100.	3.457	841.893
11.	2.+690.	845.85	120.	14400.	4.114	841.736
12.	2.+700.	846.35	130.	16900.	4.829	841.521
FCV=	2.+710.	846.85	140.	19600.	H=5.6	841.25

EJEMPLO N°8

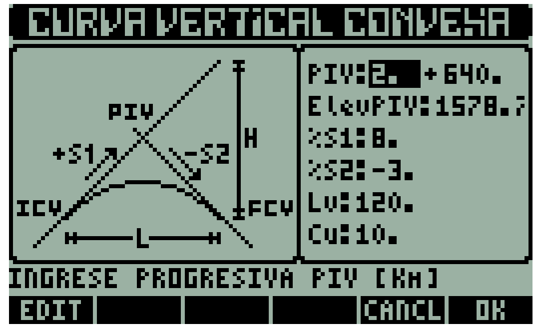
Diseñar y replantear la curva vertical convexa simétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

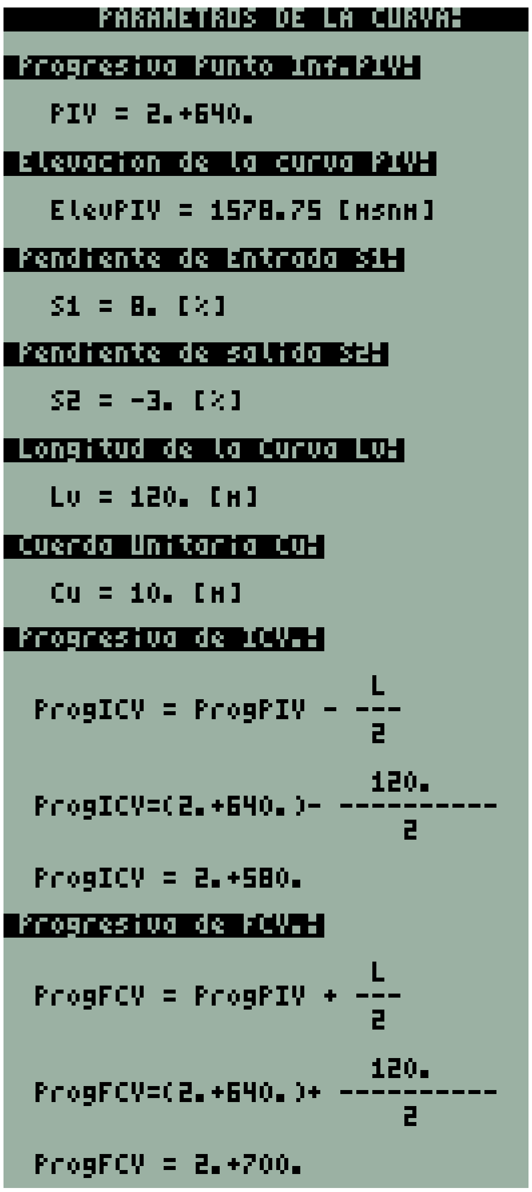
ProgPIV=02+640
ElevPIV=1578.75 [msnm]
S1=+8.0 [%]
S2=-3.0 [%]
Lv=120 [m]
Cu=10 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 1578.75 - \frac{8. \cdot \frac{120.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 1573.95\ [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 1578.75 + \frac{-3. \cdot \frac{120.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 1576.95\ [msnm]$$

Elevación de la Razante:

$$Elev(i) = ElevICV + \frac{S1 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(1) = 1574.75\ [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = |\ S1 - S2\ |$$

$$A = |(8.)-(-3.)|$$

$$A = 11.\ [\%]$$

Cálculo de H:

$$H = \frac{A \cdot L}{2}$$

$$H = \frac{\frac{11.}{100} \cdot 120.}{2}$$

$$H = 6.6\ [m]$$

Cálculo de Ci:

$$Ci = \frac{H}{L^2} \cdot (a)^2$$

$$C(1) = \frac{6.6}{(120.)^2} \cdot (10.)^2$$

C(1) = .046

Elevacion de la Curva:

ELEVcurva(i) = ElevRazante - Ci

ELEVcurva(1) = 1574.75-.046

ELEVcurva(1) = 1574.704 [msnm]

Verificacion de E:

$$E = \frac{A*L}{800}$$

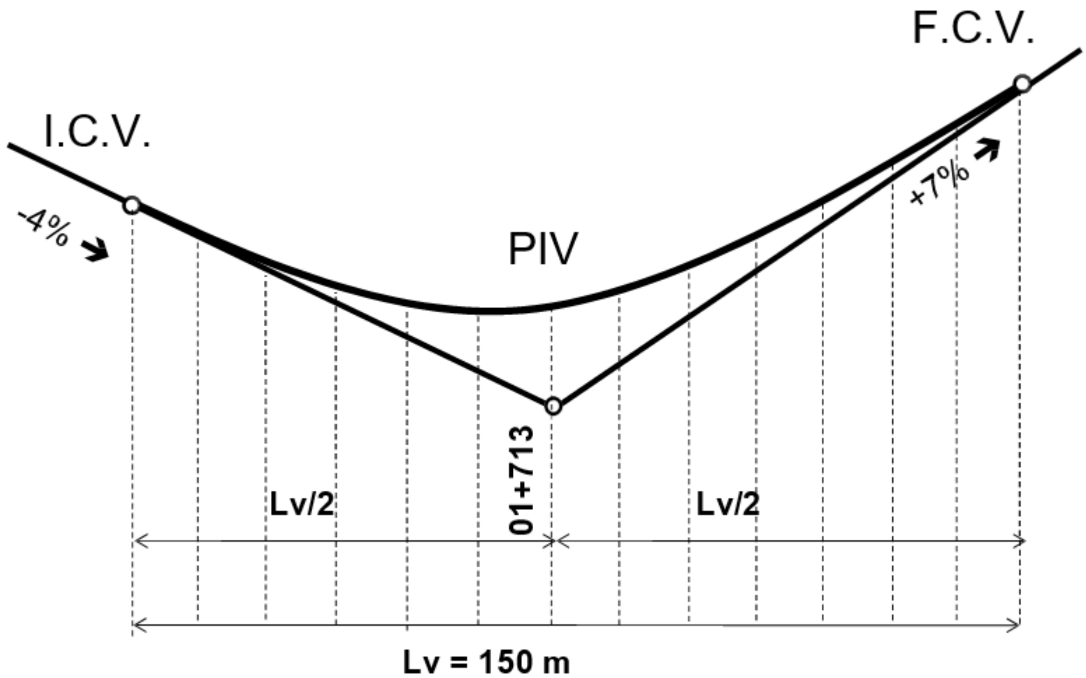
$$E = \frac{11.*120.}{800}$$

E = 1.65 [m] Ok...

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONVEXA:(METODO DIRECTO)						
Est.	Progresiva	ElevRazante	a	a²	C=H/L²*a²	ElevCurva[msnm]
ICV=	2.+580.	1573.95	-	-	-	1573.95
1.	2.+590.	1574.75	10.	100.	.046	1574.704
2.	2.+600.	1575.55	20.	400.	.183	1575.367
3.	2.+610.	1576.35	30.	900.	.413	1575.937
4.	2.+620.	1577.15	40.	1600.	.733	1576.417
5.	2.+630.	1577.95	50.	2500.	1.146	1576.804
PIV=	2.+640.	1578.75	60.	3600.	E=1.65	1577.1
6.	2.+650.	1579.55	70.	4900.	2.246	1577.304
7.	2.+660.	1580.35	80.	6400.	2.933	1577.417
8.	2.+670.	1581.15	90.	8100.	3.713	1577.437
9.	2.+680.	1581.95	100.	10000.	4.583	1577.367
10.	2.+690.	1582.75	110.	12100.	5.546	1577.204
FCV=	2.+700.	1583.55	120.	14400.	H=6.6	1576.95

EJEMPLO N°9

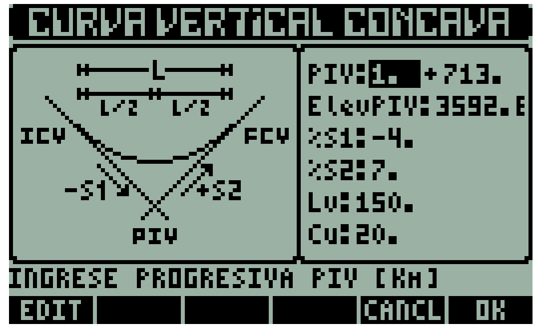
Diseñar y replantear la curva vertical cóncava simétrica por **Método de Orden**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

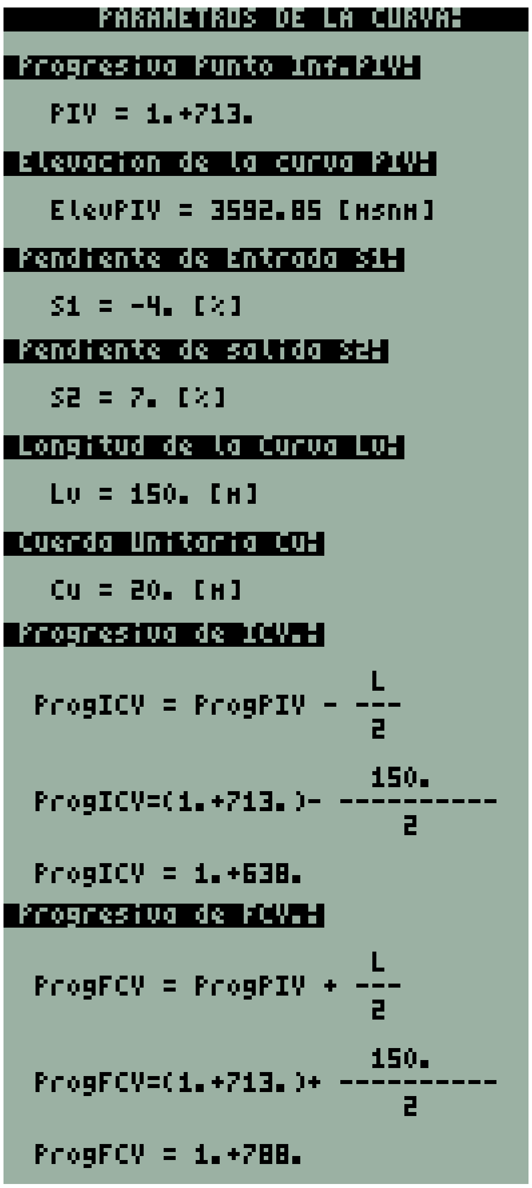
ProgPIV=01+713
ElevPIV=3592.85 [msnm]
S1=-4.0 [%]
S2=+7.0 [%]
Lv=150 [m]
Cu=20 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Concava Método de Orden e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3592.85 - \frac{-4. \cdot \frac{150.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3595.85 \; [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3592.85 + \frac{7. \cdot \frac{150.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3598.1 \; [msnm]$$

Elevación de la Razante:

$$Elev(i) = ElevICV - \frac{S1 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(j) = ElevPIV + \frac{S2 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(1) = 3595.77 \; [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(-4.)-(7.)|$$

$$A = 11. \; [\%]$$

Cálculo del D:

$$D = \frac{L}{20}$$

$$D = \frac{150.}{20}$$

$$D = 7.5 \; [m]$$

Cálculo de K:

$$K = \frac{A}{10 \cdot D}$$

$$K = \frac{11.}{10*7.5}$$

K = .146667

Cálculo de yi:

yi = K*di²

yi = .146667*.01

yi = .00147

Cálculo de E:

$$E = \frac{A*L}{800}$$

$$E = \frac{11.*150.}{800}$$

E = 2.0625 [m] Ok...

Elevacion de la Curva:

ELEVcurva(i) = ElevRazante + yi

ELEVcurva(1) = 3595.77+.00147

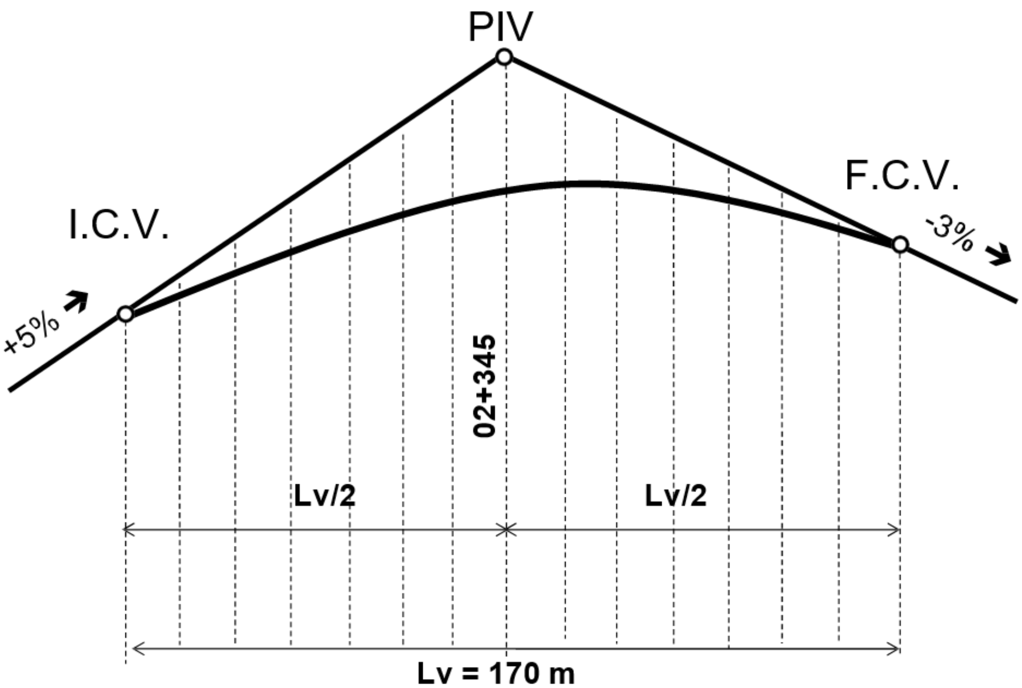
ELEVcurva(1) = 3595.771 [msnm]

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONCAVA:(METODO DE ORDEN)

Est.	Progresiva	C.Unitaria	ElevRazante	di	di²	K=A/10*D	Y=K*di²	ElevCurva[msnm]
ICV=	1.+638.	-	3595.85	0.	0.	-	0.	3595.85
1.	1.+640.	2.	3595.77	.1	.01	.146667	.00147	3595.771
2.	1.+660.	20.	3594.97	1.1	1.21	.146667	.17747	3595.147
3.	1.+680.	20.	3594.17	2.1	4.41	.146667	.6468	3594.817
4.	1.+700.	20.	3593.37	3.1	9.61	.146667	1.40947	3594.779
PIV=	1.+713.	13.	3592.85	3.75	14.0625	.146667	E=2.0625	3594.913
5.	1.+720.	7.	3593.34	3.4	11.56	.146667	1.69547	3595.035
6.	1.+740.	20.	3594.74	2.4	5.76	.146667	.8448	3595.585
7.	1.+760.	20.	3596.14	1.4	1.96	.146667	.28747	3596.427
8.	1.+780.	20.	3597.54	.4	.16	.146667	.02347	3597.563
FCV=	1.+788.	8.	3598.1	0.	0.	-	0.	3598.1

EJEMPLO N°10

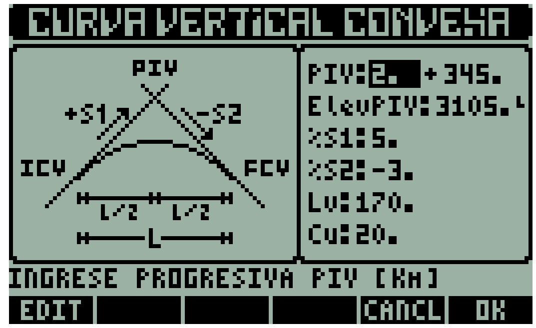
Diseñar y replantear la curva vertical convexa simétrica por **Método de Orden**, tomar en cuenta la siguiente información:



DATOS:

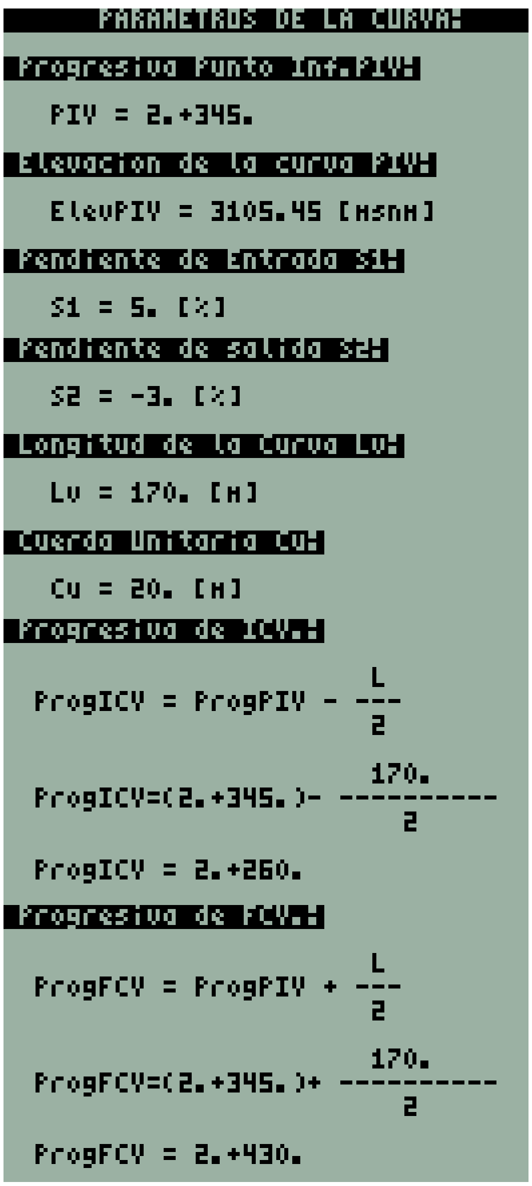
ProgPIV=02+345
ElevPIV=3105.45[msnm]
S1=+5.0 [%]
S2=-3.0 [%]
Lv=170 [m]
Cu=20 [m]

INGRESO DE DATOS:



Elegimos la Segunda Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa Método de Orden e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:


PARAMETROS DE LA CURVA:

Progresiva Punto Inf.PIV:

PIV = 2.+345.

Elevacion de la curva PIV:

ElevPIV = 3105.45 [msnm]

Pendiente de Entrada S1:

S1 = 5. [%]

Pendiente de salida S2:

S2 = -3. [%]

Longitud de la Curva Lv:

Lv = 170. [m]

Cuerda Unitaria Cu:

Cu = 20. [m]

Progresiva de ICV.:

$$ProgICV = ProgPIV - \frac{L}{2}$$

$$ProgICV=(2.+345.)- \frac{170.}{2}$$

ProgICV = 2.+260.

Progresiva de FCV.:

$$ProgFCV = ProgPIV + \frac{L}{2}$$

$$ProgFCV=(2.+345.)+ \frac{170.}{2}$$

ProgFCV = 2.+430.

Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3105.45 - \frac{5. \cdot \frac{170.}{2}}{100}$$

$$ElevICV = 3101.2 \; [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2 \cdot \frac{L}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3105.45 + \frac{-3. \cdot \frac{170.}{2}}{100}$$

$$ElevFCV = 3102.9 \; [msnm]$$

Elevación de la Razante:

$$Elev(i) = ElevICV + \frac{S1 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(j) = ElevPIV - \frac{S2 \cdot DH}{100}$$

$$Elev(1) = 3102.2 \; [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(5.)-(-3.)|$$

$$A = 8. \; [\%]$$

Cálculo del D:

$$D = \frac{L}{20}$$

$$D = \frac{170.}{20}$$

$$D = 8.5 \; [m]$$

Cálculo de K:

$$K = \frac{A}{10 \cdot D}$$

$$K = \frac{8.}{10*8.5}$$

K = .094118

Cálculo de yi:

yi = K*di²

yi = .094118*1.

yi = .09412

Cálculo de E:

$$E = \frac{A*L}{800}$$

$$E = \frac{8.*170.}{800}$$

E = 1.7 [m] Ok...

Elevacion de la Curva:

ELEVcurva(i) = ElevRazante + yi

ELEVcurva(1) = 3102.2-.09412

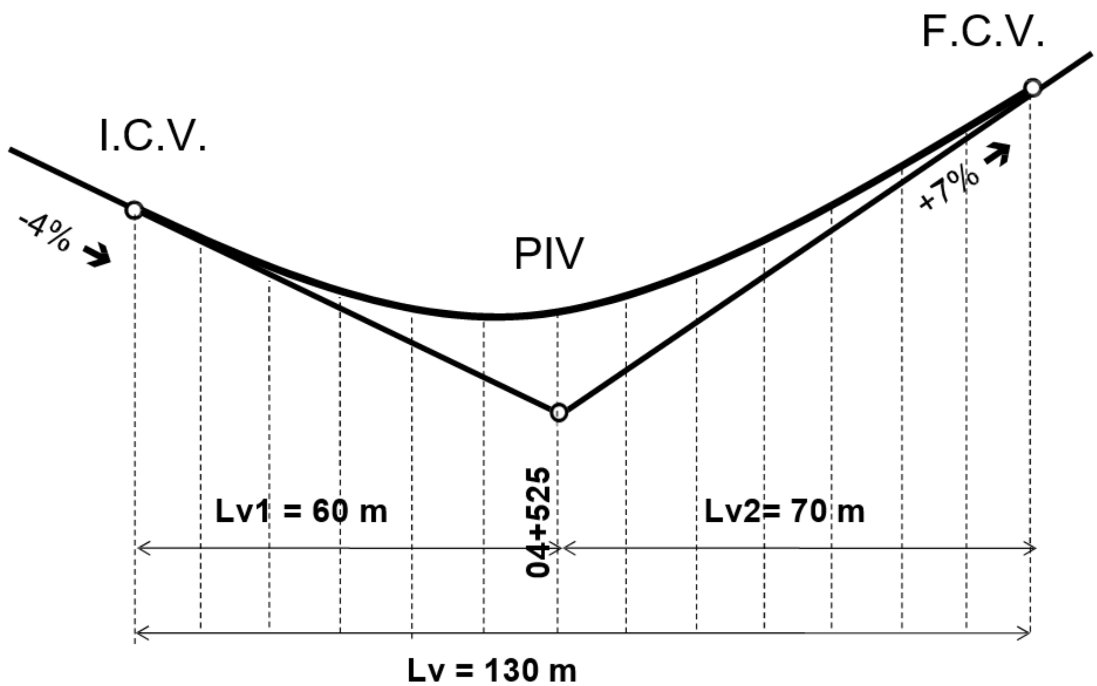
ELEVcurva(1) = 3102.106 [msnm]

REPLANTEO DE CURVA SIMETRICA CONVEXA:(METODO DE ORDEN)

Est.	Progresiva	C.Unitaria	ElevRazante	di	di²	K=A/10*D	Y=K*di²	ElevCurva[msnm]
ICV=	2.+260.	-	3101.2	0.	0.	-	0.	3101.2
1.	2.+280.	20.	3102.2	1.	1.	.094118	.09412	3102.106
2.	2.+300.	20.	3103.2	2.	4.	.094118	.37647	3102.824
3.	2.+320.	20.	3104.2	3.	9.	.094118	.84706	3103.353
4.	2.+340.	20.	3105.2	4.	16.	.094118	1.50589	3103.694
PIV=	2.+345.	5.	3105.45	4.25	18.0625	.094118	E=1.70001	3103.75
5.	2.+360.	15.	3105.	3.5	12.25	.094118	1.15295	3103.847
6.	2.+380.	20.	3104.4	2.5	6.25	.094118	.58824	3103.812
7.	2.+400.	20.	3103.8	1.5	2.25	.094118	.21177	3103.588
8.	2.+420.	20.	3103.2	.5	.25	.094118	.02353	3103.176
FCV=	2.+430.	10.	3102.9	0.	0.	-	0.	3102.9

EJEMPLO N°11

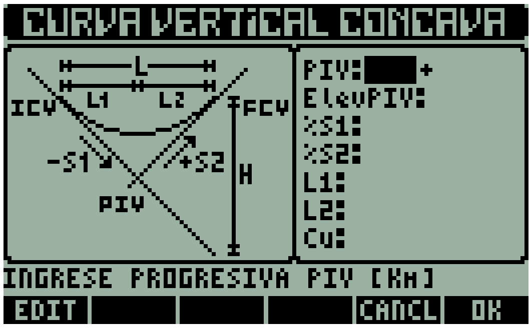
Diseñar y replantear la curva vertical cóncava asimétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:

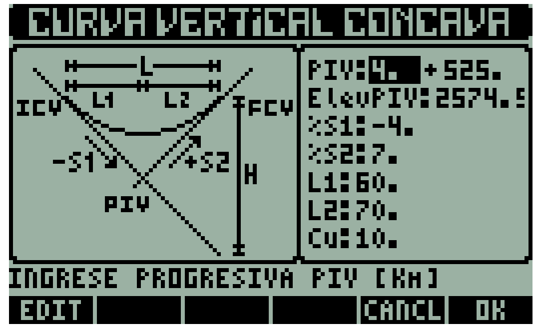


DATOS:

ProgPIV=04+525
ElevPIV=2574.50 [msnm]
S1=-4.0 [%]
S2=+7.0 [%]
Lv1=60 [m]
Lv2=70 [m]
Cu=10 [m]

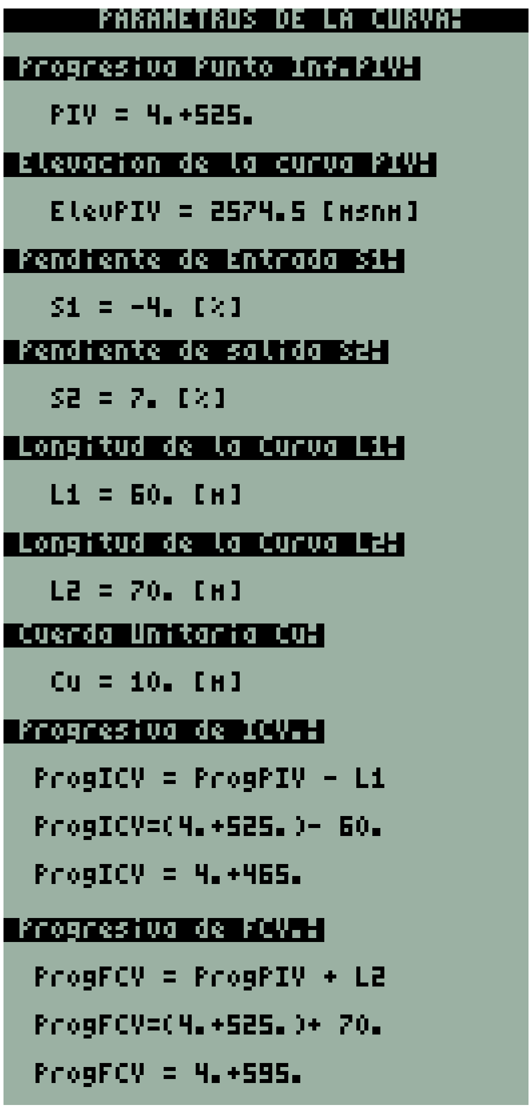
INGRESO DE DATOS:





Elegimos la Tercera Opción del menú elegimos la opción Curva Concava Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

OBTENCION DE RESULTADOS:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1*L1}{100}$$

$$ElevICV = 2574.5 - \frac{-4.*60.}{100}$$

$$ElevICV = 2576.9 \ [msnm]$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2*L2}{100}$$

$$ElevFCV = 2574.5 + \frac{7.*70.}{100}$$

$$ElevFCV = 2579.4 \ [msnm]$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(-4.)-(7.)|$$

$$A = 11. \ [\%]$$

Cálculo de la E:

$$E = \frac{L1*L2}{200*(L1+L2)}*A$$

$$E = \frac{60.*70.}{200*(60.+70.)}*11.$$

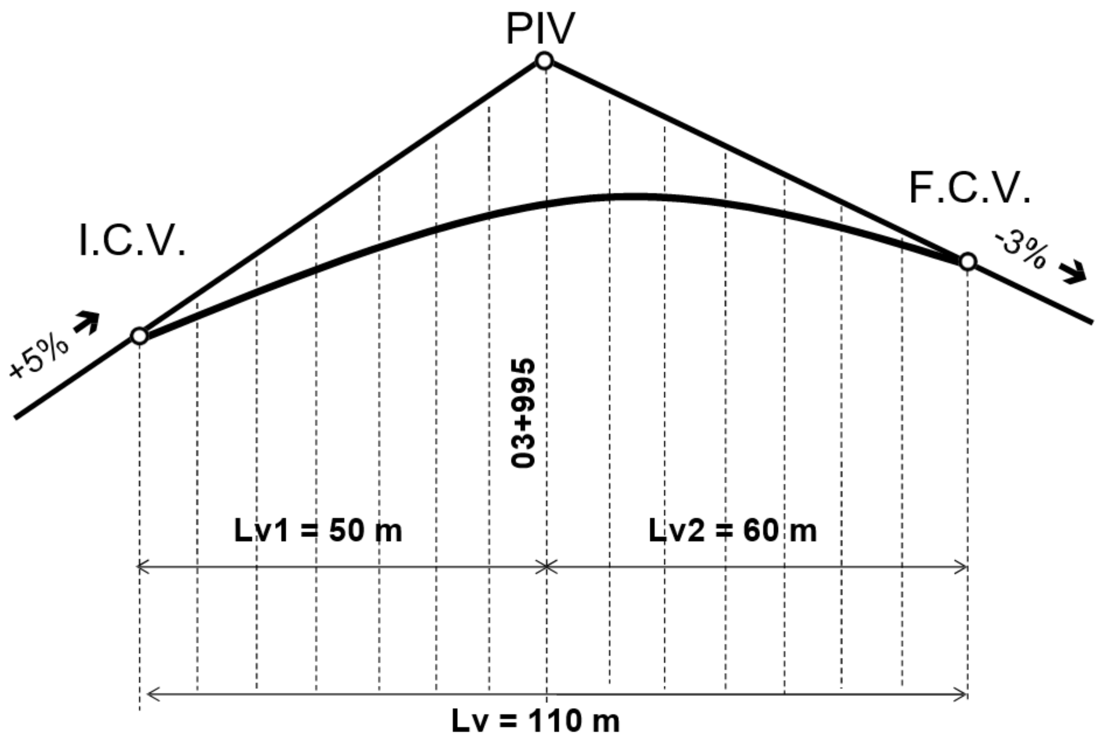
$$E = 1.777 \ [m]$$

REPLANTEO DE CURVA ASIMETRICA CONCAVA:(METODO DIRECTO)

Est.	Progresiva	x1	x2	E	y1=(x1/L1)²*E	y2=(x2/L2)²*E	ElevRazante	ElevCurva[msnm]
ICV=	4.+465.	-	-	-	-	-	2576.9	2576.9
1.	4.+470.	5.	0.	1.777	.012	0.	2576.7	2576.712
2.	4.+480.	15.	0.	1.777	.111	0.	2576.3	2576.411
3.	4.+490.	25.	0.	1.777	.309	0.	2575.9	2576.209
4.	4.+500.	35.	0.	1.777	.605	0.	2575.5	2576.105
5.	4.+510.	45.	0.	1.777	1.	0.	2575.1	2576.1
6.	4.+520.	55.	0.	1.777	1.493	0.	2574.7	2576.193
PIV=	4.+525.	60.	70.	1.777	1.777	1.777	2574.5	2576.277
7.	4.+530.	0.	65.	1.777	0.	1.532	2574.85	2576.382
8.	4.+540.	0.	55.	1.777	0.	1.097	2575.55	2576.647
9.	4.+550.	0.	45.	1.777	0.	.734	2576.25	2576.984
10.	4.+560.	0.	35.	1.777	0.	.444	2576.95	2577.394
11.	4.+570.	0.	25.	1.777	0.	.227	2577.65	2577.877
12.	4.+580.	0.	15.	1.777	0.	.082	2578.35	2578.432
13.	4.+590.	0.	5.	1.777	0.	.009	2579.05	2579.059
FCV=	4.+595.	-	-	-	-	-	2579.4	2579.4

EJEMPLO N°12

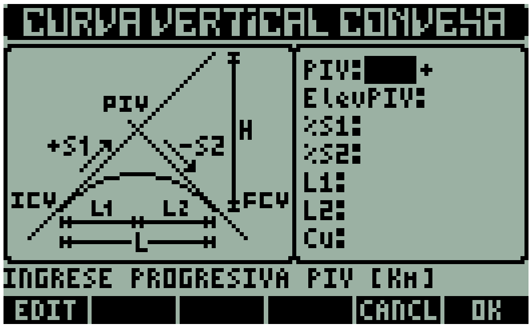
Diseñar y replantear la curva vertical convexa asimétrica por **Método Directo**, tomar en cuenta la siguiente información:

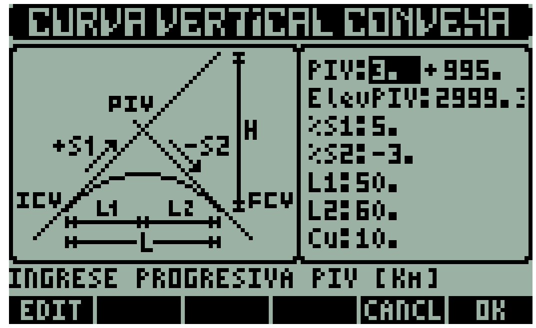


DATOS:

ProgPIV=03+995
ElevPIV=2999.370 [msnm]
S1=+5.0 [%]
S2=-3.0 [%]
Lv1=50 [m]
Lv2=60 [m]
Cu=10 [m]

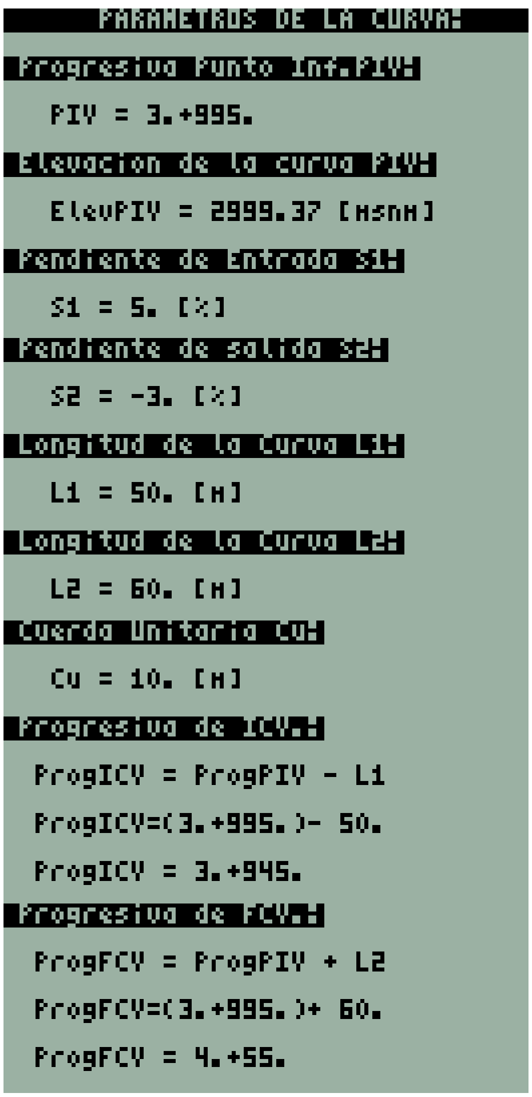
INGRESO DE DATOS:





Elegimos la Tercera Opción del menú elegimos la opción Curva Convexa Método Directo e ingresamos los datos y presionamos **OK.** ó **ENTER.**

<u>OBTENCION DE RESULTADOS</u>:



Cálculo de ElevICV.:

$$ElevICV = ElevPIV - \frac{S1*L1}{100}$$

$$ElevICV = 2999.37 - \frac{5.*50.}{100}$$

$$ElevICV = 2996.87 \text{ [msnm]}$$

Cálculo de ElevFCV.:

$$ElevFCV = ElevPIV + \frac{S2*L2}{100}$$

$$ElevFCV = 2999.37 + \frac{-3.*60.}{100}$$

$$ElevFCV = 2997.57 \text{ [msnm]}$$

Cálculo de parametro A:

$$A = | S1 - S2 |$$

$$A = |(5.)-(-3.)|$$

$$A = 8. \text{ [\%]}$$

Cálculo de la E:

$$E = \frac{L1*L2}{200*(L1+L2)}*A$$

$$E = \frac{50.*60.}{200*(50.+60.)}*8.$$

$$E = 1.091 \text{ [m]}$$

REPLANTEO DE CURVA ASIMETRICA CONVEXA:(METODO DIRECTO)

Est.	Progresiva	x1	x2	E	$y1=(x1/L1)^2*E$	$y2=(x2/L2)^2*E$	ElevRazante	ElevCurva[msnm]
ICV=	3.+945.	-	-	-	-	-	2996.87	2996.87
1.	3.+950.	5.	0.	1.091	.011	0.	2997.12	2997.109
2.	3.+960.	15.	0.	1.091	.098	0.	2997.62	2997.522
3.	3.+970.	25.	0.	1.091	.273	0.	2998.12	2997.847
4.	3.+980.	35.	0.	1.091	.535	0.	2998.62	2998.085
5.	3.+990.	45.	0.	1.091	.884	0.	2999.12	2998.236
PIV=	3.+995.	50.	60.	1.091	1.091	1.091	2999.37	2998.279
6.	4.+0.	0.	55.	1.091	0.	.917	2999.22	2998.303
7.	4.+10.	0.	45.	1.091	0.	.614	2998.92	2998.306
8.	4.+20.	0.	35.	1.091	0.	.371	2998.62	2998.249
9.	4.+30.	0.	25.	1.091	0.	.189	2998.32	2998.131
10.	4.+40.	0.	15.	1.091	0.	.068	2998.02	2997.952
11.	4.+50.	0.	5.	1.091	0.	.008	2997.72	2997.712
FCV=	4.+55.	-	-	-	-	-	2997.57	2997.57

EL SANTO GRIAL DE LA HP50G:

Primeramente antes de empezar nuestra búsqueda del santo grial de la hp, debemos comenzar entendiendo de que es lo que estamos buscando.

La programación nativa de la Hp, en el caso nuestro el RPL del usuario (User RPL), es un lenguaje de programación básico de alto nivel, en donde se tiene una estructura fácil de seguir, y es completamente imposible que produzcas un daño en la calculadora (claro siempre programando totalmente en User RPL), además que todos los comandos están disponibles en la misma calculadora, y la misma calculadora sirve de compilador a la hora de programar. Pero al ser un lenguaje de alto nivel, el tiempo de ejecución se hace más lento debido a que tiene que hacer una verificación de errores para comprobar de que no ha existido error en la ejecución del programa y no dañar el CPU, es algo parecido al Visual Basic, que cuando se realiza un programa más o menos extenso, se puede notar sensiblemente alguna demora, a comparación de haber programado en otro lenguaje de más bajo nivel, por ejemplo el C. Por otro lado, al programar en el RPL del Usuario solo tenemos acceso a un limitado conjunto de comandos, como quien diría solo los más necesarios en las aplicaciones matemáticas y de ingeniería.

Para solucionar este problema (realmente problema) del tiempo de ejecución, los programadores eventuales de la hp, se decidieron por realizar programas en el RPL del sistema (System RPL), que es un lenguaje de más bajo nivel que el User RPL, debido a que este lenguaje NO HACE VERIFICACIÓN DE ERRORES EN LA COMPILACIÓN, por lo tanto si haces un programa que sume dos números almacenados en la pila, y que al ejecutarlo no existan esos dos números en la pila, la calculadora, se puede decir que entrara en "shock" ya que le pediste que haga un trabajo y no había con que hacer ese trabajo, y como no tiene detector de errores u otras instrucciones en caso de suceda ese problema no sabrá que hacer, lo mandara todo al diablo, y reseteara en frio la calculadora, pudiendo perder los datos almacenados en el directorio HOME y los puertos no protegidos de la calculadora. Pero a cambio de este riesgo que supone programar en el RPL del sistema, obtenemos más velocidad de lo que significaría programar en el RPL del usuario, y además un alcance más amplio de los comandos que tiene la calculadora para programar, ya que el RPL del Usuario es un subconjunto del RPL del sistema, se podría decir en un 25%. Además para poder programar en el sistema es necesario que tengas instalado un compilador extra, ya que la calculadora no compila los programas de manera natural como lo hace con el RPL del usuario, en este caso necesita un ayudita, como ser la librería JAZZ, o el EMACS (este es mi preferido) o en último caso del debug4x, además de tener instalada la biblioteca de fuentes universales UFL, EXTABLE.

Otro lenguaje de más bajo nivel que los dos anteriores mencionados es el ML o lenguaje de máquina, programar en este lenguaje significa programar en el cerebro mismo de la calculadora, es como si quisieras adentrarte hasta la misma médula que controla todos los movimientos de la calculadora, evidentemente programar en este lenguaje significa, un dominio total de todo lo que significa el CPU interno, y una velocidad máxima a la que se podría aspirar con la calculadora, pero al mismo tiempo un sin fin de posibilidades de dañar la calculadora, ya que programar en ML es como si hicieras un trasplante a corazón abierto, un mal pulso o mala puntería, chau paciente. También se necesita un compilador para poder hacer correr los programas.

Bueno hasta aquí todo lo que hemos hablado se aplica a todas las calculadoras de la serie Hp, pero con un pequeño pero decisivo detalle: Las calculadoras de la serie 48, y la calculadora 49g, tienen un chip procesador SATURNO, en cambio las calculadoras 49g+ y 50g, tienen un procesador ARM samsung S3C2410X-ARM9 (ARM920T), (que para el que le interese, a mí no, puede descargar su manual de aquí: http://www.mculand.com/sub1/mcu/arm9_device/pdf/um_s3c2410x.pdf)

Por lo tanto programar en ML Saturno, no tienen ningún sentido porque este es un chip ARM.

Entonces porque funcionan las calculadoras 49g+ y 50g como las demás anteriores?

La respuesta a esta interrogante es que hp hizo que el chip ARM simule ser un Saturno, dicho de otras palabras solo está EMULANDO!!!, es como si tuviéramos un emulador de la calculadora en nuestro ordenador, pareciera que estuviéramos manejando una calculadora de verdad, pero sabemos de antemano que solo es la emulación de una calculadora, que hagamos lo que hagamos con esa calculadora nunca podremos arruinarla, porque el procesador con que funciona la calculadora emulada es el CPU del ordenador que solo emula ser una calculadora. Del mismo modo las calculadoras 49g+ y 50g, solo emulan ser un Saturno que por lo expuesto anteriormente (que a mi juicio es solo flojera y tacañería de la compañía Hp) no escribió un nuevo lenguaje para las nuevas calculadoras en el chip ARM.

Vaya entonces si con la emulación no tenemos ningún problema, porque querer programar en ARM?

-Una simple respuesta: La tecnología. Los Chip Saturno corren a 4 Mhz, y los modernos ARM son cronometrados por hp a 75 Mhz, ósea mucho más rápido, pero la velocidad real del procesador es mucho más que 75 Mhz!!!, además de ser tecnología de punta, por qué no utilizarla al máximo?

Entonces como podemos programar en el chip ARM?, ya que emulando Saturno no podemos ”tocar la médula” de estas nuevas calculadoras.

-Pues la respuesta se da, gracias a Claudio Lapilli que logro que ahora podamos programar en el chip ARM, mediante HPGCC, que es un entorno de programación en donde podemos programar directamente en el chip ARM, utilizando para ello el lenguaje comercial para programación más aceptado por todos en el mundo: EL LENGUAJE C. No entrare en detalles de cómo se logra ejecutar un programa hecho para el ARM, desde la emulación del Saturno, ese no es nuestro objetivo. Eso es un tema prohibido para nosotros, guerreros de la verdad!, solo debemos aceptar que eso se puede, y punto…

Por último decirles que yo no soy ningún programador de carrera, solo soy un eventual profesional de Ingeniería Civil, que por azares del destino, un día encontró la señal de que otro mundo si es posible... esa señal fue la calculadora Hp.

AGRADECIMIENTOS:

Esta fue mi búsqueda del santo grial de la hp, en el que desarrollé programas en su mayoría en el entorno de hpgcc, como también en el RPL del Usuario, y si la salvación divina me permitió abarcar el hereje inframundo del System RPL y el ML.

Por demás esta que mi búsqueda del santo grial de la hp, es para conseguir la bendición divina de mi reina: La ingeniería civil.

Muchos caballeros reales ya han partido con excelentes resultados y que ahora son una leyenda entre los libros de los luchadores de ese santo grial: Edwin Córdova con el Secc+ y su espada gloriosa... VIGAG (aquí todos agachamos la cabeza y decimos Amén).

Oscar Fuentes con su excelentísimo Hica49, la luz entre los profetas que fueron a dominar el líquido elemento: el agua... Como olvidar sus traducciones que me sirvieron para aprender este camino que ahora pretendo seguir adelante. Andrés García, con su libro de programación orientada a la ingeniería civil, un verdadero libro de la fe que me enseño a creer en ese mundo sublime y que está al alcance de la imaginación.

A Roger Broncano por su HpUserEdit una verdadera arma que sirve para empezar a introducirnos al sagrado mundo de la creación.

A Claudio Lapilli un guerrero semidios que logro comunicarse con el mundo paralelo del ARM.

Al creador del FEM, al creador del Openfire, al creador del XCELL48, etc. En fin a todos los usuarios y cooperantes de http://www.adictoshp.org/ y http://www.deachp.com/ y http://www.hpcalc.org/ que son tres templos sagrados de este mundo de números y algoritmos...

LA ORACIÓN DE LOS FIELES:

Este es una oración que encontré entre los libros perdidos del pagano mundo del internet.
Esta será la oración de cada día en mi lucha del santo grial de la hp:

EL CREDO DEL PROGRAMADOR:

Creo en un solo lenguaje de programación, "C" Todopoderoso
Creador de UNIX y de Windows
Creo en un solo "C++",hijo único de "C" Nacido de "C" antes de "Visual C++
""C" de "C", Compilador de Compilador,
"C"(c) copyrighted, Compilado, no interpretado,
de los mismos programadores que el Padre
por quien todo es programado,
que por nosotros los hombres y nuestros servidores
fue desarrollado
y por obra del Lenguaje Binario se encarnó en
ensamblador y se hizo Lenguaje
y por nuestra causa
es ampliamente aceptado en tiempos de Bill Gates.
Decayó y fue olvidado y se renovó al tercer día,
según los usuarios.
Y subieron las ventas, y está ubicado dentro de todo UNIX
Por quien todo es programado
Y de nuevo vendrá mejorado para juzgar a virus y programas
Y su dominio no tendrá fin.
Creo en el lenguaje binario, código y base del sistema
Que precede al padre y al hijo. Que con el padre y el hijo
recibe una misma aplicación y memoria
y que habló por los procesadores...
Creo en la arquitectura IBM, que es una, sólida, compacta y compatible.
Confieso que no hay ni un solo "undo" para la corrección de los errores
Espero la resurrección de las Macs y la vida en un mundo con
Internet...Enter
AMEN!!!!

COMPARANDO HP PRIME vs HP50G:

Calculadora: HP Prime	Calculadora: HP 50g
HP Prime, con su esbelta silueta y refinado diseño en metal pulido nos ofrece desde su pantalla táctil a full color el acceso a sus potentes funciones sin la necesidad de descargar nada extra. Con un sistema operativo completamente rediseñado y hardware de vanguardia HP ha designado a la Prime como su calculadora de 5ta generación. Al contar con una pantalla táctil de fácil acceso y un sistema operativo muy amigable será indistinto el modo que se elija para su uso: RPN ó Algebraico, dejando atrás la tradicional estética de las antiguas calculadoras. Perfecta para las matemáticas e ingeniería. La HP Prime trae un potente lenguaje de programación que permitirá crear desde el más sencillo de los programas hasta las más complejas y potentes aplicaciones. En su menú táctil de aplicaciones encontrarás al graficador de funciones y al graficador avanzado, también una aplicación para geometría interactiva y la tan esperada hoja de cálculo, tres aplicaciones para estadística, solucionadores para ecuaciones lineales y no lineales, un explorador gráfico para funciones cuadráticas, un explorador para funciones trigonométricas, la aplicación para gráficas paramétricas y otra para polares. La HP Prime trae incorporado un excelente escritor de ecuaciones que además es táctil y permite el ingreso de objetos algebraicos básicos como fracciones y números en formato grados hasta sumatorias, derivadas e integrales, pasando por funciones por tramos, límites y matrices. **Actualización del Sistema Operativo** Procedimiento para actualizar el sistema operativo (firmware) de la HP Prime, novedades y ventajas de cada actualización. **Manuales, Guía de Inicio y Guía de Usuario** Documentación para el adiestramiento básico,	HP50G la calculadora gráfica más avanzada de HP proporciona una potencia y una flexibilidad máximas para estudiantes universitarios y profesionales de matemáticas, ciencias e ingeniería. La calculadora gráfica HP 50G cuenta con una memoria total de 2,5 MB (1,13 MB disponibles para el usuario), entradas y salidas personalizables, pantalla grande de alto contraste, modos gráficos en 2-D y 3-D, y conectividad USB (cable incluido), a travéz de un puerto SERIAL y vía Infrarrojo. **Solución de sistema de ecuaciones:** La aplicación incorporada HP Solve permite ahorrar tiempo: Resuelva ecuaciones para cualquier variable sin tener que volver a escribir la ecuación. Además gracias a las potentes herramientas incorporadas podrá solucionar sistemas de ecuaciones lineales numéricas ó simbólicas en tan solo tres pasos. **Representaciones Graficas 2D/3D:** En su pantalla de gran tamaño y alto contraste se pueden apreciar claramente las representaciones gráficas que posee: Funciones, Polares, Paramétricas, Cónicas, Ecuaciones Diferenciales, Regresión, Histogramas, Funciones 3D, etc. Además calcule expresiones avanzadas y visualice las soluciones!. **Sistema Algebraico Computarizado CAS:** La HP50G ofrece manipulación simbólica dinámica y la solución numérica para realizar fácilmente operaciones aritméticas o cálculos complejos, los cuales pueden ser aplicados en la solución de ecuaciones, derivadas, integrales, cálculo de matrices, etc. Incluso mostrando su solución Paso a Paso. **Modos de entrada:** RPN y Algebraico: introduzca los datos en el formato que le resulte más fácil de utilizar. La Notación Polaca Inversa (RPN) de HP es una eficaz secuencia de cálculo que no requiere paréntesis y que reduce la cantidad de teclas

avanzado y programación de la calculadora HP Prime. **Programas y el Emulador de la HP Prime** Versión actualizada del kit de conexión HP Prime, y del emulador HP Prime, programas varios. **Transferencia de Archivos** Tutorial detallado para llevar a cabo la transferencia de archivos desde la computadora a la calculadora HP Prime. **Transferencia e Instalación de Aplicaciones** Tutorial detallado para instalar aplicaciones en la calculadora HP Prime. Podrás acceder a tus nuevas aplicaciones desde la tecla Apps. Memoria: más de 32 MB de RAM Además de las funciones Gamma y Psi: Beta, Zeta, Error (erf), Complemento de error (erfc), Ei, Ci, Si. Procesador más rápido: 400 MHz opuesto a 75 MHz (ambos tienen chips ARM 9). Forma fácil de escribir comentarios dentro de un programa (//). **Lenguaje de programación:** PPL HP (PROGRAMACION NATIVA DEL USUARIO Y DE ALTO NIVEL)	utilizadas. Es la forma de uso recomendada por usuarios más avanzados en calculadoras gráficas HP. **Gran capacidad de almacenamiento:** Posee 2,5 MB de memoria total (512 KB de RAM y 2 MB de flash ROM), de los cuales 330 KB de RAM y 800 KB de flash ROM están disponibles para el usuario, además se puede ampliar la memoria de la HP50G a través de tarjetas **SD** muy comerciales y fáciles de encontrar. La nueva tecnología de memoria flash permite realizar futuras actualizaciones electrónicas a través del puerto USB ó mediante la tarjeta SD. Puede descargar gratuitamente el nuevo sistema operativo desde la página oficial de HP. Procesador más rápido: 400 MHz opuesto a 75 MHz (ambos tienen chips ARM 9). Transición más fácil de la familia HP 48S / HP 48G / HP 49g + No es necesario tener modos separados para Home y CAS. **Lenguaje de programación:** - USER RPL (MODO AGEBRAICO) - USER RPL (RPL DEL USUARIO) - SYSTEM RPL (RPL DEL SISTEMA) - ML ENSAMBLADOR (LENGUAJE MAQUINA) HPGCC (PROGRAMADO DIRECTAMENTE EN EL CHIP ARM 9 SAMSUNG)
Puntaje: 70[%]	**Puntaje: 99.99[%]**

CONCLUSIONES Y CRÍTICAS:

En conclusión la HP 50g fue muy buena en su tiempo y en la actualidad sigue siendo, yo recomiendo la hp50g que es una muy buena calculadora, pero es un poco complejo entender al principio la Sintaxis y la secuencia de RPN, pero una vez que te acostumbras es decir, es una calculadora práctica e intuitiva, si quieres sacarle el verdadero provecho y el máximo poder a la hp50g tienes que leerte su manual de 1200 pág. aprox., pero su manual por sí solo no basta, si quieres programar en la 50g en mi opinión el lenguaje RPL de la hp50g no basta, tienes que aprenderte otros lenguajes de programación por ejemplo: el System RPL en combinación con RPN, entonces sólo conoces parte de lo que la calculadora hp50g puede hacer. El lenguaje de programación System RPL te da el poder de hacer muchas cosas que ni siquiera imaginaste. Por ejemplo, en System RPL puedes manejar objetos de todos los tipos disponibles. Con User RPL solamente puedes acceder a algunos de estos. También puedes hacer operaciones matemáticas con 15 dígitos de precisión, usar arreglos con elementos no numéricos, y mucho más. System RPL puede ser usado para hacer las mismas cosas que los programas hechos en User RPL, pero mucho más rápido.

Tras la decepción de la Hp Prime la cual la tengo botada en un esquina de mi librero, puesto que ni siquiera quiero tocarla porque me dan ganas de romperla en pedazos por la bronca de la estafa de hp, la vendería pero estaría estafando al igual que hp a otra persona, así que prefiero tenerla ahí botada esperando que ojalá algún día tal vez hp se digne en sacar una actualización digna y decente para esta basura llamada HP Prime.

Tras esto recurrí sigue a la hp50g y sigo quedando maravillado, esta si es una calculadora en todo el sentido de la palabra y más que una calculadora parece un computador numérico total, es súper fácil de usar es súper intuitiva y potente, dado que incluso permite el cálculo con una precisión de 15 dígitos es muy versátil y potente que permite interactuar con todas las aplicaciones y programas que existen escritos en todos sus lenguajes de la hp50g.

En lo que respecta a la Hp Prime, no te la recomiendo yo la compre y me siento ESTAFADO en todo el sentido de la palabra, si la comparo con la hp50g, la HP Prime es una calculadora retrograda y obsoleta, obviamente en lo que respecta al software, dado que el hardware es potente, pero de qué sirve una maquina potente con un software de porquería, a mi parecer La Hp Prime es una COPIA BARATA de la casio classpad fx-400 en lo que respecta al software, y RECALCO COPIA BARATA porque ni copiar bien pudieron, por ejemplo:

Solucionador numérico (HP Prime): solo acepta 10 ecuaciones, no permite el uso de variables representativas en el uso de las ecuaciones, lo cual genera confusión cuando trabajas por ejemplo en cálculos que poseen una diversidad de variables (ejemplo: cálculos geodésicos - correcciones, optimizaciones, etc.); es decir tienes que adaptarte a las variables que te permita la calculadora (patético), asimismo presenta limitaciones en los cálculos en lo que respecta a los dígitos y errores, por ejemplo: si A=6378206.4 y B=6356583.8 => (A^2) - (B^2)=C donde te dice que C=0 en ocasiones y en otras no hace nada o error, ohhhh que paso no se supone que un algoritmo tiene que ser: definido, preciso y finito, es como decir 5*3=65.... Disculpa (tono sarcástico) que tipo de matemáticas son esas...
Notas: Dejo en blanco, la explicación está más abajo:
Graficas 2D y 3D: si comparamos análisis de gráficos de la hp prime y hp50g, la prime es burda y nada creativa y en lo que respecta a 3D no posee a excepción de una

aplicación de terceros que es muy limitada, no tiene comparación con lo fácil e intuitivo y creativo. La hp50g tiene y posee una potente editor de ecuaciones, pero HP Prime no lo tiene, solo tiene plantillas preparadas para cada ecuaciones.

Lenguaje de programación: En la HP Prime es una porquería total, el lenguaje PPL HP, es en lo que más ha retrocedido en comparación con la hp50g, el hp50g tiene 5 lenguajes de programación de lo más Alto Nivel hasta lo más Bajo Nivel. Es cierto que el RPL es tedioso con su RPN y su sintaxis, pero no hay que quitarle méritos, el RPL es potente, versátil y flexible, solo que no es tan sencillo su programación.

Pero el lenguaje PPL HP de la HP Prime es lamentable de Alto Nivel y NO HAY aún un lenguaje de Bajo nivel por lo cual hay un sinfín de piraterías de las pocas programas existentes así quitando los créditos de los autores de los programas escritos en este único lenguaje PPL HP es por el cual no hay una manera de proteger el derecho de autor intelectual.

Por ejemplo en hp50g la entrada de datos **INFORM**, es una de las cosas que rescato del User RPL y el **DoInputForm**, el **Ifmain** claro estos comandos en System RPL son de lo mejor en la hp50g, simplemente una pequeña comparación de lenguajes la HP prime no la tiene, cambio eso y muchas cosas más por un **IMPUT** patético y un único lenguaje de programación PPL HP Básico retrogrado.

Algunos usuarios dicen que la hp50g en el cual es tedioso de seguir una secuencia de estructuras de programación y el uso del RPL, también vi quejarse de que la hp50g no se pueden utilizarse grados, minutos y segundos, también vi quejarse que no se puede arrojar resultados entendibles como en una TABLA, fíjese que todo este proceso si se puede y punto…. y lo demuestro en mi programa que presento ahora…

IMPORTANTE: Lo mejor y lo que más rescato de la hp50g fue su escritor de ecuaciones, hp50g tiene 5 lenguajes de programación de lo más Alto Nivel hasta lo más Bajo Nivel. Un aplauso para ello, pero en esta Hp Prime lo combinaron en la entrada de texto que es una porquería que no se compara con el escritor de ecuaciones de la Hp50g.

Podría seguir y seguir haciendo comparativas entre la hp50g, la Hp Prime y sacar a relucir los errores que presenta prime, pero en si la conclusión es que la HP prime es una porquería retrograda que no le llega ni a los talones a la Hp50g.

Pero debo agradecer a la compañía de hp por sacar semejante basura como lo es la HP Prime, dado que gracias a esa decepción llego a mis manos la hp50g y seguiré con mi poderosa, potente versátil hp50g y estaré esperando que ojalá algún día tal vez hp se digne en sacar una actualización digna y decente para esta basura llamada HP Prime.

CONDICIONES DE USO:

Este programa se proporciona **tal como está** con la esperanza de que sea útil. No ofrece garantía alguna con respecto a este programa, el autor no se hace responsable ante cualquier persona por daños especiales, colaterales, accidentales o consecuentes relacionados o causados por este programa. Para modificarlo y lanzarlo nueva versión se me debe comunicar y consultar previamente, por lo tanto respetar el derecho intelectual del autor.

DONDE ENCONTRARME:

Si utilizas el programa mándame algún comentario críticas o reportes de error para poder mejorarlo.
Para más programas solo contáctese con el autor mediante:

- https://m.facebook.com/gregorio.gutierrezquispe?ref=bookmarks
- alexanderr.fni@gmail.com
- Teléfono Celular WhatsApp: (+591) 77145555

REFERENCIAS:

- Manual Carreteras Volumen: 1 “Manual de Diseño Geométrico” (ABC) Administradora Boliviana de Carretras.

- “Diseño Geométrico de Carreteras” - Segunda Edición: Bogotá Abril de 2013 “James Cárdenas Grisales”

- Apuntes en clases del cuaderno de la materia de Carreteras I del Docente: “Casto Medinacelli Ortiz” ejercicios selectos resueltos de modelos de examen en la materia CIV-3323, vigente en la Facultad Nacional de Ingeniería.

OTROS PROGRAMAS DE INTERÉS:

- *QUIMICA GENERAL*
- *QUIMICA INORGANICA*
- *FISICA I*
- *FISICA II*
- *FISICA III*
- *ALGEBRA I*
- *ALGEBRA II*
- *CALCULO I*
- *CALCULO II*
- *FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN*
- *METODOS NUMERICOS I*
- *ESTADISTICA I*
- *ECUACIONES DIFERENCIALES I*
- *ANALISIS VECTORIAL Y TENSORIAL*
- *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*
- *MECANICA DE ESTRUCTURAS*
- *RESISTENCIA DE MATERIALES I*
- *RESISTENCIA DE MATERIALES II*
- *ANALISIS ESTRUCTURAL*
- *TECNOLOGIA DEL HORMIGON*
- *TOPOGRAFIA I*
- *TOPOGRAFIA II*
- *MECANICA DE SUELOS I*
- *MECANICA DE SUELOS II*
- *MECANICA DE SUELOS APLICADA*
- *HIDRAULICA I*
- *HIDRAULICA II*
- *PLANIFICACION Y OPTIMIZACION DE OBRAS DE INGENIERIA CIVIL*
- *INSTALACIONES*
- *GEOLOGIA APLICADA*
- *GEOMATICA*
- *HORMIGON ARMADO I*
- *HORMIGON ARMADO II*
- *HORMIGON PRESFORZADO*
- *INGENIERIA SANITARIA I*
- *INGENIERIA SANITARIA II*
- *ESTRUCTURAS EN MADERA*
- *MAQUINARIA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION*
- *INGENIERIA ECONOMICA*
- *ESTRUCTURAS METALICAS*
- *FUNDACIONES*
- *CARRETERAS I*
- *CARRETERAS II*
- *DIRECCION DE OBRAS Y VALUACIONES*
- *IMPACTO AMBIENTAL EN OBRAS CIVILES*
- *INGENIERÍA DE TRAFICO*
- *PUENTES*
- *FERROCARRILES*
- *AEROPUERTOS*
- *ELABORACIÓN DE PROYECTOS*
- *Y OTROS.*

CARRETERAS - I

ANALISIS DE CURVAS VERTICALES

Primera Edición: Diciembre de 2017

- *https://m.facebook.com/gregorio.gutierrezquispe?ref=bookmarks*
- *alexanderr.fni@gmail.com*
- *Teléfono Celular WhatsApp: (+591) 77145555*

ORURO – BOLIVIA

Area: *Ingeniería*
Colección: *Ingeniería e Ingeniería Civil*

FOTOCOPIAR UN LIBRO ¡ES PIRATEARLO!
SEA ORIGINAL NO FOTOCOPIE