

# Proyecto Final



**Ruta Provincial N 11 - Tramo La Caldera**

**Km 2.1 a Km 8.1**

**Carrera: Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería**

**Año: 2021**

**Alumnos:**

**Choque, Augusto Aramis**

**Zamora Rivera, Mateo**

**Profesores Guía:**

Ing. Ramiro Reyes

**Tribunal Evaluador:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Católica de Salta por permitirnos formarnos profesionalmente.

A nuestro profesor guía, Ing. Ramiro Reyes por su predisposición, acompañamiento y apoyo a lo largo de todo este proyecto.

A la Ing. Cecilia y al Ing. Quispe por la colaboración para poder realizar los ensayos, y permitirnos la facilitación de ciertos equipos de trabajos necesarios para culminar este trabajo final.

A la Pato y Edith por ayudarnos con las diligencias administrativas.

A los profesores por transmitirnos sus conocimientos e incentivos a cumplir con nuestros sus objetivos.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por acompañarme, y por siempre motivarme a nunca bajar los brazos.

A cada una de las personas que aportaron gentilmente a la realización y culminación de este proyecto.

¡Muchas gracias!

**Choque, Augusto Aramis**

Agradezco a mis padres, por haber sido el pilar fundamental durante todos estos años, por acompañarme y haber confiado en mí en todo momento.

A mis hermanos y familia en general, por cada consejo y buena energía que me dieron siempre.

A mis amigos y a todos aquellos que fueron parte de esta linda etapa.

**Zamora, Mateo**

**INDICE:**

Capítulo 1: Introducción .....	pág. 6
Capítulo 2: Antecedentes .....	pág. 9
i.    Información de transito .....	pág. 9
ii.   Información hidrológica .....	pág. 11
iii.  Evaluación de infraestructura existente .....	pág. 14
iv.   Análisis proyectos anteriores propuestos .....	pág. 19
Capítulo 3: Transito .....	pág. 20
Capítulo 4: Topografía y Modelo digital.....	pág. 23
i.    Relevamiento topográfico y mediciones del terreno digital .....	pág. 23
Capítulo 5: Diseño geométrico.....	pág. 34
i.    Parámetros de diseño .....	pág. 34
ii.   Planimetría .....	pág. 36
iii.  Altimetría .....	pág. 47
iv.   Secciones transversales .....	pág. 53
v.    Diagrama de Bruckner .....	pág. 55
Capítulo 6: Estudio de suelos .....	pág. 58
i.    Granulometría del material .....	pág. 59
ii.   Límite de Atteberg .....	pág. 62
iii.  Ensayo Proctor .....	pág. 66
iv.   Ensayo CBR .....	pág. 71
Capítulo 7: Dimensionamiento del paquete estructural .....	pág. 77
i.    Método Shell .....	pág. 78
ii.   Método ASHTOO .....	pág. 82
Capítulo 8: Dimensionamiento de una obra de arte .....	pág. 94
i.    Alcantarilla .....	pág. 94
Capítulo 9: Ambiental .....	pág. 101
i.    Identificar impactos negativos y brindar soluciones	
Capítulo 10: Computo y Presupuesto .....	pág. 108
Capítulo 11: Conclusiones .....	pág. 115

**ANEXOS:**

Anexo I: Conceptos Generales. ....	pág. 118
Anexo II: TABLA DE PUNTOS COORDENADAS PENZ (Punto, Este, Norte, Elevación) .....	pág. 120
Anexo III: Tablas de Rühler – Características de diseño geométrico en caminos rurales .....	pág. 150
Anexo IV: Distancia de detención y de sobrepaso – Tablas de Rühler .....	pág. 152
Anexo V: Calculo Curvas Horizontales .....	pág. 153
Anexo VI: Calculo Curvas Verticales .....	pág. 166
Anexo VII: Diagrama de Bruckner .....	pág. 176
Anexo VIII: Normas de Ensayos .....	pág. 179
Anexo IX: Tablas Método Shell .....	pág. 213
Anexo X: Tablas Pesos máximos .....	pág. 214
Anexo XI: Tablas AASHTO .....	pág. 215

**BIBLIOGRAFIA:**

Pereyra, Apuntes de Catedra: Vías de comunicación 2018

Pereyra, Apuntes de Cátedra “Construcción de Carreteras” 2019

Universidad Nacional de la Plata s.f.) – Caminos I, Caminos de Montaña

Vialidad nacional s.f. [www.vialidad.gov.ar](http://www.vialidad.gov.ar)

Ruhle 1967

Zamarian, Gustavo: Apuntes topografía

Proyecto de carreteras "Guía para elaborar informe de ingeniería", Ramírez & Morantes

Proyecto Final: "Ruta Provincial 11"

Datos históricos climáticos [climate-data.org](http://climate-data.org)

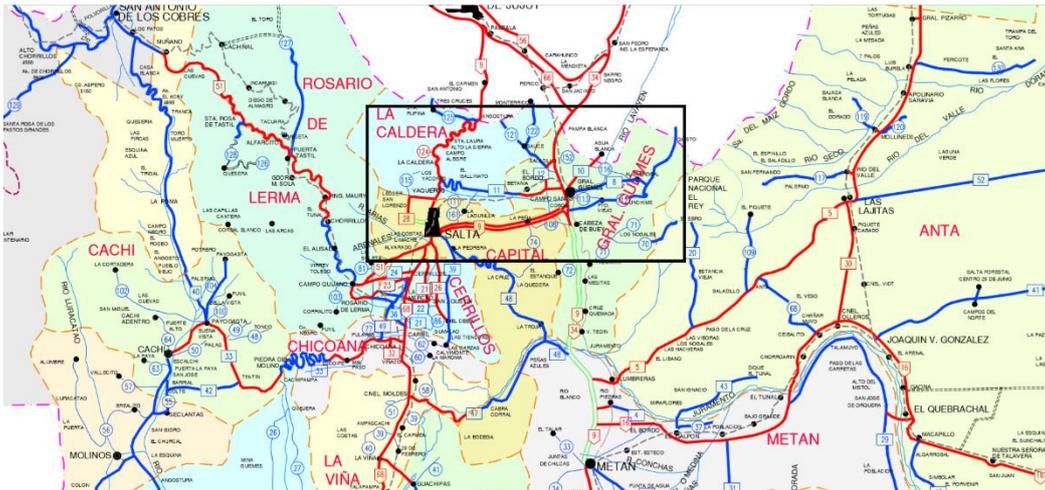
PROYECTO FINAL:

TEMA: “Ruta Provincial N°11 - Tramo La Caldera Km 2.1 a Km 8.1”

PROFESOR GUIA: Ing. Ramiro Reyes

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION**

El presente proyecto consta del trazado y pavimentación de la Ruta Provincial N°11, la cual se encuentra ubicada entre las localidades La Caldera - Gral. Güemes, en la Provincia de Salta Capital.



**MAPA DE RUTAS SALTA**



**ZOOM RUTA 11**

Dicho proyecto se realizó en una longitud de 6 km, partiendo el mismo a 2,1 km del punto del inicio de la ruta en cuestión y la cual empalma en el Km. 1616 de la Ruta Nacional 9. Se tomó dicho punto como punto de partido debido a que en el año 2017 se realizó el proyecto de estos primeros kilómetros “Ruta provincial N° 11-La Caldera”, a lo que consideramos conveniente continuar con el tramo.

En la siguiente imagen satelital se muestra la ubicación general de la zona del proyecto. La misma intercepta con la ruta nacional número 9, la cual se encuentra a 17 km del centro de la ciudad de Salta Capital.



**RUTA TESIS 6KM VISTA EN PLANTA**



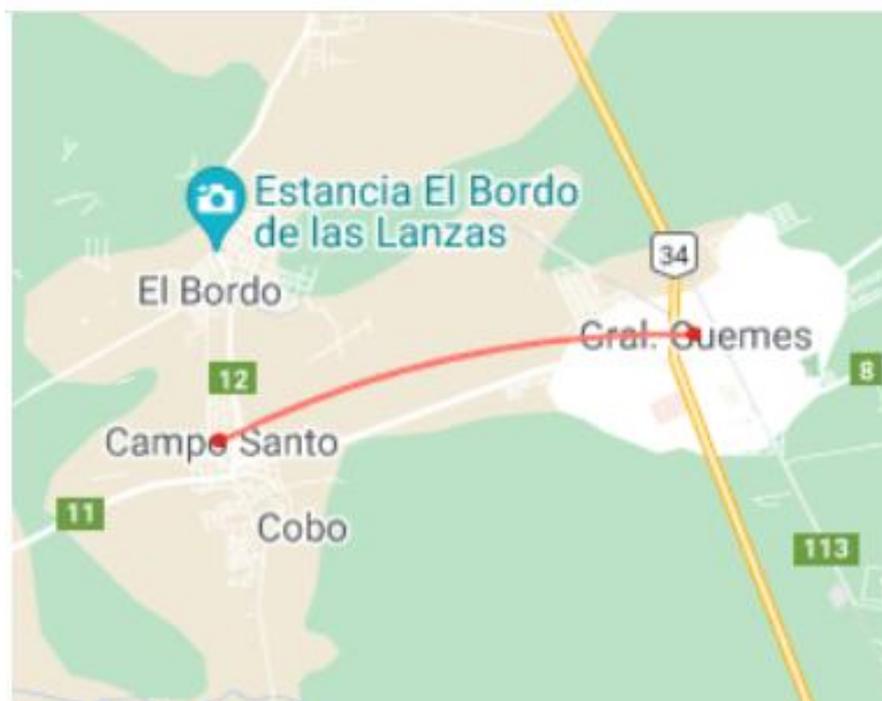
**EMPALME RUTA NACIONAL 9 - RUTA PROVINCIAL N°11**

**Objetivos:**

El objetivo principal de este trabajo es de poder brindar a la población y sobre todo a los usuarios que transitan por el acceso Norte de la Provincia de Salta una mejor categoría de camino al existente, dando para ellos una mejor alternativa de circulación. Así podrán desplazarse en un menor tiempo desde La caldera hasta la Ciudad de Güemes, o viceversa, con comodidad y seguridad.

La distancia desde la Caldera hasta Güemes cruzando por la ciudad de Salta es de aproximadamente 65 km, con la circulación en adecuadas condiciones de la Ruta en cuestión, la misma se reduce a una distancia de 39 km.

Así mismo, con este proyecto se contribuirá a la interconexión (fortalecimiento de la relación interdepartamental) entre el municipio Campo Santo y el departamento Gral. Güemes. Lugares que se encuentran atravesando la Ruta Provincial 11 distantes entre sí aproximadamente 6km.



***Campo Santo – Gral. Güemes***

## **CAPITULO 2: ANTECEDENTES**

### **i. Información de tránsito:**

Es de vital importancia, ya que en base a esta información se estimará el flujo de vehículos que circula y así diseñar y definir la categoría del camino.

Según vialidad de la Nación, el diseño de un camino, se encontrará influenciado por dos factores: la configuración y naturaleza del terreno que debe atravesar y las modalidades y exigencias del tránsito que debe soportar.

El volumen, composición, distribución, velocidad del tránsito, conjuntamente con la topografía, determinan diversas magnitudes del diseño geométrico de un camino, tales como radios y peraltes de curvas horizontales, parámetros de curvas verticales, pendientes, anchos de calzada, etc.

En el caso de la carretera proyectada, la misma se diseñó para que puedan circular automóviles, ómnibus y camiones semirremolque.

Al tratarse de una Ruta Provincial, dicha información se buscó obtenerla a través de Vialidad Provincial de Salta, la misma no fue encontrada por tratarse de una ruta no pavimentada y actualmente con muy poco uso, por lo que se prosiguió a determinar el flujo de forma indirecta.

Para ello se consideraron dos tramos, bajo el criterio de que los mismos contaban con características geométricas y condiciones climáticas similares y además de estar próximo a la ruta en cuestión.

En las siguientes imágenes se pueden observar las *Tablas TMDA – Vialidad Nacional: Ruta 9*

### **Ruta: 0009**

### **Distrito: 5 - Salta**

Límites del Tramo	Inicio	Fin	TMDA
ACC.A LA CALDERA (I) - LTE.C/JUJUY	1623,29	1647,93	385

## **Información adicional de la Estación Permanente**

### **Serie Histórica**

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
TMDA	326	342	352	359	357	364	372	374	385

### Clasificación

#### Promedio Anual 2019

Liv  
94

S/A-Bus-C/A-Semi  
6

### Censo Cobertura

#### Clasificación

Año	Mes	Horas	Autos y Ctas.	Bus	S/A	C/A	Semi	TMD	Cant. Puestos
2019	1	48	96,2	0,3	3,5	0	0	314	1

**Ruta: 0009**

Nº Distrito	Distrito	Límites del Tramo		Ini.	Fin	TMDA
5	Salta	Rº.VAQUEROS (FIN.INT.) - ACC.A LA CALDERA (I)		1608,61	1623,29	1650

**Censo Cobertura**

Clasificación

Año	Mes	Horas	Autos y Ctas.	Bus	S/A	C/A	Semi	TMD	Cant. Puestos
2014	10	26	87,5	0,7	10,8	0,4	0,6	1869	1

Velocidad

Estimador	Liv	Otros
P85	73,5	67,2
VM	60,7	55,9

Según los datos obtenidos para la ruta nacional N°9, El TMDA en el año 2019 fue:

-Tramo La caldera - límite de Jujuy: 385 vehículos por día

-Tramo Vaqueros – La Caldera: 1650 vehículos por día

Se analizaron estos dos tramos para tener en cuenta el flujo de vehículos que circula partiendo desde la Caldera hacia el norte y hacia el sur de la provincia.

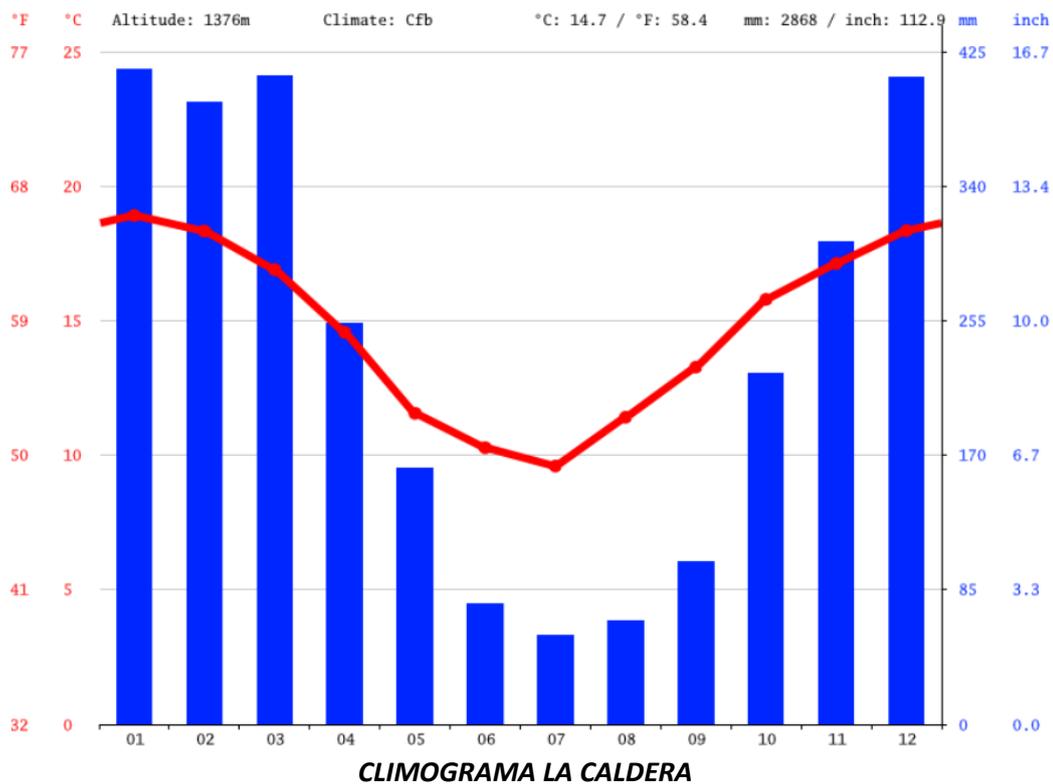
De esta manera quedan presentados los antecedentes que serán tenidos en cuenta en el capítulo 3 denominado “TRANSITO” para la definición del TMDA.



Como se puede observar en tabla climática adjunta:

- El mes más seco es julio, con 56 mm de precipitación. Mientras que la caída media en enero es de 414 mm. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.
- El mes más caluroso del año con un promedio de 18.9 °C de enero. El mes más frío del año es de 9.6 °C en el medio de julio.
- La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 358 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 9.3 °C.

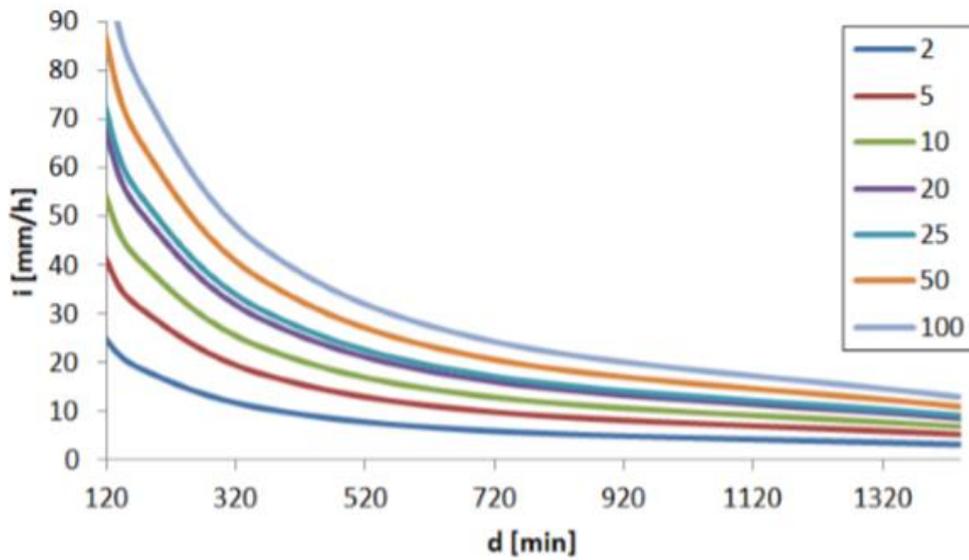
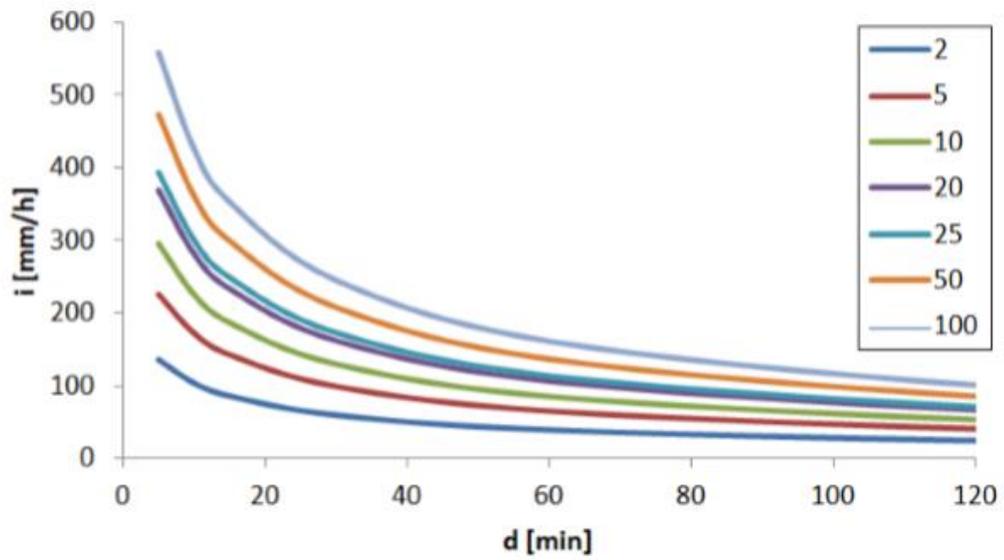
La temperatura media anual en La Caldera se encuentra a 14,7 °C y la precipitación es de 2868 mm al año, según se puede observar en el siguiente climograma.



Dichos datos respecto al clima y precipitaciones nos permiten analizar y optar por el tipo de mezcla asfáltica a utilizar y el diseño de alcantarillas respectivamente.

Por otra parte, se analizaron las curvas IDR de una estación próxima al camino, llamada el Angosto-Mojotoro con las cuales se pudo obtener el caudal y de así poder determinar las alcantarillas necesarias y sus dimensiones que se desarrollarán en el *Capítulo 8: Dimensionamiento de una obra de arte*.

Mojotoro – El Angosto



**CURVAS IDR**

Todos los datos obtenidos tanto de tabla climática, climograma y curvas IDR fueron obtenidos de la página [climate-data.org](http://climate-data.org). Esta es una página mundial que provee los datos históricos del clima avalada y respaldada por los que manejan la misma.

### iii. Evaluación de infraestructura existente

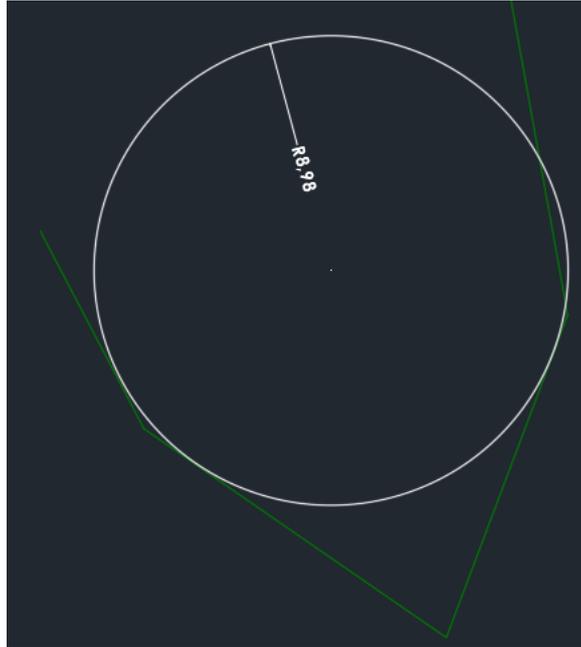
El camino existente no presenta la correcta señalización, y el estado de la calzada no pavimentada se encuentra en un muy mal estado. Se puede observar como al camino construido, se le añadió una capa de ripiosa para así lograr una mejor adherencia entre los neumáticos de los vehículos y la rasante. Además, no cumple con las normas vigentes de Rhüle y en el cual los vehículos no pueden desplazarse con seguridad a una velocidad mayor de 20 km/hs.



**ESTADO ACTUAL DE LA RUTA**

Para nuestro proyecto, se realizó el relevamiento topográfico de la siguiente curva horizontal donde se ve que el radio de la curva es demasiado pequeño, no cumpliendo así con el reglamento de Rhüle.

Una vez obtenidos los puntos necesarios con sus coordenadas y alturas, se exporto al programa Civil 3D, donde comparamos la curva actual con una curva de radio mínimo para una velocidad de 20km/h en zona montañosa, en la siguiente imagen se muestra con una línea continua color verde la unión de los puntos relevados con la estación total.



Vemos como la curva existente, posee un radio menor a 10m, lo cual es un valor fuera de los parámetros admisibles presentados posteriormente. Este es una de las razones por las cuales se decidió optar por este proyecto, además de, el mal estado y la inseguridad que esto provoca a los usuarios del mismo.

A 1,9 Km. del punto de partida de la ruta en cuestión existe una Escuela, en este sector no se cumple con las normas requeridas tanto de señalización como de velocidad por lo que se la deberá tomar en cuenta a la hora del diseño.

Se puede observar que no existe una zona de dársena destinada a la detención transitoria para buscar o dejar a los escolares, la cual constituye un factor importante con respecto a la seguridad de tránsito.

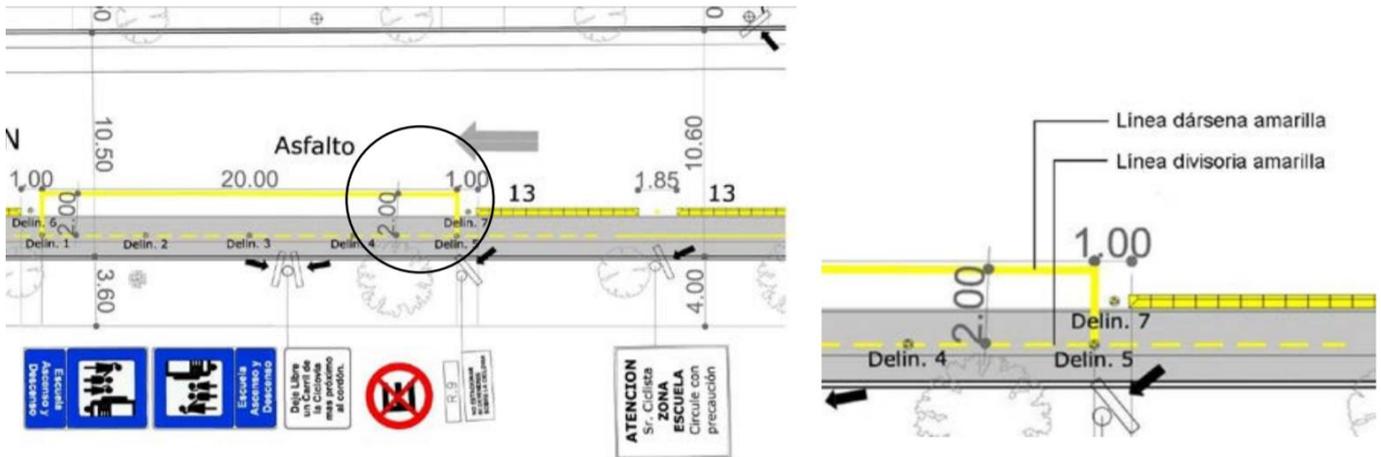


**ESCUELA A 1,9 KM**

La longitud de la zona de dársena estará en función de la demanda de micros escolares de la institución. Esta estará compuesta por señalización especial, demarcación horizontal (cajón amarillo) y delimitadores verticales

(delineadores reflectivos). El cajón amarillo donde se puede detener el vehículo, se implanta en el carril próximo a la calzada y sobresale del tramo de cordones 0,65 m. En ese sector, se colocan delineadores en la línea divisoria de sentidos como un límite físico que los vehículos no pueden traspasar.

A continuación, se muestra un esquema general del tipo de señalización que deberá disponer.

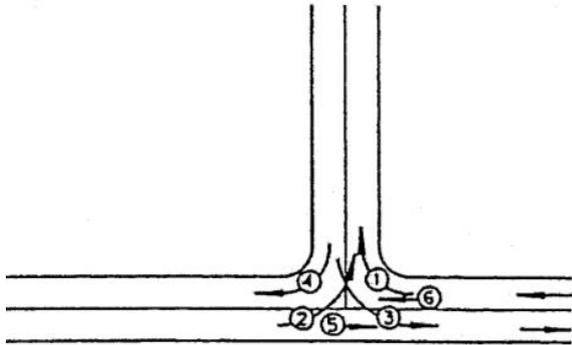


Las dimensiones de los carteles serán las siguientes según estipula el manual de señalamiento de vialidad de la nación.



También se observó una gran cantidad de propiedades privadas con entrada y salida directa a la Ruta, las mismas deberán ser señalizadas por comodidad y seguridad de los usuarios.

Se tratan de intersecciones convencionales a nivel sin sistemas de regulación, estas admiten una libre circulación del tránsito a un mismo nivel.

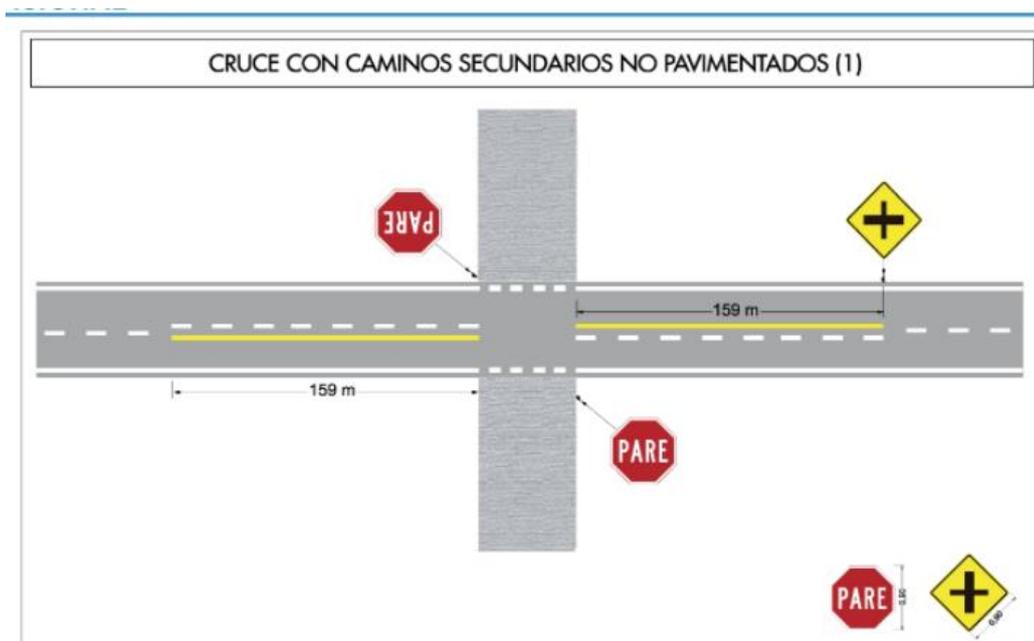


INTERSECCION EN T



PROPIEDAD PRIVADA

El tipo de señalización vertical como horizontal que se deberá implementar para la intersección de la ruta con dichas propiedades privadas se muestra en el siguiente esquema:



Se observaron varias alcantarillas a lo largo del tramo, son aquellas áreas adyacentes a arroyos naturales y a ríos. Estas obras de arte son estructuras hidráulicas en forma de canal cubierto de longitud relativamente corta, diseñada para desalojar el agua, producto del escurrimiento de la lluvia en una planicie cuando su flujo es interrumpido por algún terraplén como es el caso de la carretera en análisis, de tal forma que el agua que circula puede seguir su curso natural y así no se acumule. Se observaron tramos en que la cuneta no está bien conformada por lo cual fue parte del proyecto el perfilado de la misma (**LAMINA - TESIS**).

Se tratan de alcantarillas de mampostería de piedra canteada con mortero de cemento. Todas presentan las mismas propiedades geométricas.



**Sección transversal Alcantarilla**



Se pudo observar a simple vista que se encuentran en correcto estado y funcionamiento por lo que en un principio no presentaría mayores problemas hidráulicos. Estas serán analizadas y verificadas correspondientemente en *el Capítulo 8: Dimensionamiento de una obra de arte*. una vez definida la traza y los parámetros necesarios en *el Capítulo 5: Diseño geométrico – Parámetros de diseño*.

iv. Análisis proyectos anteriores propuestos.

Como bien se sabe, nuestro proyecto es la continuación de un tramo de 2,1km proyectado por dos ex alumnos de la Universidad Católica de Salta. Ambos proyectos tienen un objetivo en común, entre otros, el cual es mejorar la situación actual de la Ruta Provincial N°11 que une la localidad de La Caldera con Güemes.

El empalme se realizó en la progresiva 1+789, desde el inicio de la Ruta Provincial 11 que comienza en el empalme en el kilómetro 1616 de la Ruta Nacional 9, en dirección a Campo Santo. Para esto se buscó hacer coincidir la rasante de su proyecto con el nuestro, esto era más que necesario para que ambos proyectos continúen sin ningún tipo de desnivel, ya que parte del proyecto es lograr una ruta uniforme en todo sentido para que los usuarios se manejen con seguridad y comodidad.

Al iniciar con este trabajo, se tuvo en cuenta donde termina el proyecto “Ruta Provincial 11” para así comenzar con el nuestro. En la imagen adjunta al final del capítulo se puede observar este punto. Como puede apreciarse, este finaliza donde termina una curva horizontal. Esto nos presenta una dificultad a la hora de querer continuar con el nuestro, ya que, si bien podríamos extender la longitud de la recta tangente para luego comenzar con la otra curva, lo que buscamos es alejarnos lo menos posible de la traza existente, y así reducir el movimiento de suelo, ya que al ser una zona montañosa, se necesitara cortar gran parte del cerro para poder trazar la curva horizontal que cumpla con las normas vigentes, primordialmente, el radio mínimo, velocidad directriz, entre otros parámetros. Por esta razón, es que decidimos comenzar nuestro proyecto unos metros antes.

En la siguiente imagen se puede ver un tramo final del Proyecto “Ruta Provincial 11” con una línea continua verde y ver el punto de empalme con nuestro Proyecto “Ruta Provincial N°11 tramo La Caldera km 2,1 a 8,1”, con línea continua azul. Siendo la línea roja, el camino existente.



**CAPITULO 3: TRANSITO**

Se visitó la Ruta y se hizo un conteo general de tránsito a lo largo de tres horas aproximadamente durante tres días, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

RUTA PROVINCIAL N° 11							
DIA	HORAS	Autos y Ctas.	Bus	S/A	C/A	Semi	TMDA
1	3	8	0	0	0	0	8
2	3	5	0	1	0	0	6
3	3	6	0	1	0	0	7
							<b>21</b>
<b>Livianos</b>		91%					
<b>S/A-Bus-C/A-Semi</b>		9%					

Debido al gran tiempo que demanda realizar de forma precisa y correcta la obtención del TMDA de una ruta cualquiera, vimos por conveniente tomar como referencia el tramo analizado en el *Capítulo 2: Antecedentes- Información de Tránsito*, bajo el criterio de que el mismo fue escogido ya que cuenta con características geométricas y condiciones climáticas similares al ser los dos caminos de montaña y además de estar próximo a la ruta en cuestión.

Para obtener los datos de velocidad y volumen de tránsito, se tomó como referencia el tramo de la Ruta Nacional N°9, Tramo La Caldera – Lte. Jujuy y el tramo R° Vaqueros – Acc a La Caldera.

El censo obtenido para dicho tramo fue en el año 2019, considerando un crecimiento en el TMDA causado por un crecimiento de la población en la zona y también suponiendo una serie de factores como:

- La pavimentación de la ruta.
- Por ser una zona tranquila.
- Que la ciudad de Salta está creciendo hacia sus orillas y esto conlleva a un crecimiento aún más notable de la población por lo que se puede crear una serie de loteos para la construcción de barrios, lo que producirá una demanda inducida de tránsito vehicular.
- El turismo que esta zona posee y que, por motivo de la pavimentación, se vería con un incremento considerable, las actividades turísticas que se desarrollan en el lugar entre otras tenemos: cabalgatas, montañismo, trekking, mountain bike, entre otros.

En la siguiente imagen se observa el punto de intersección de la Ruta Nacional N°9 con el comienzo de la Ruta Provincial N° 11.

Para una mejor comprensión de los distintos tramos y TMDA obtenidos de la página de vialidad, se realizaron los siguientes esquemas:

La línea azul representa el tramo desde la intersección de ambas rutas hacia el sur, es decir, el tramo de R° Vaqueros – La Caldera y posee un TMDA de 1650 vehículos por día según los datos obtenidos de Vialidad para el año 2019. La línea verde, representa el tramo desde la intersección hacia el norte, es decir, hacia el límite con la Provincia de Jujuy, el TMDA en este tramo es de 385 vehículos por día. Y por último, con línea continua color rojo, se representa el TMDA igual a 1500 adoptado en la tesis anterior a la nuestra.



El TMDA es un dato incierto en nuestro proyecto, al no contar con información sobre el mismo, vamos a comentar como podríamos obtenerlo realizando ciertos procedimientos.

Si bien se tiene el dato de la cantidad de vehículos que se movilizan desde R° Vaqueros hasta La Caldera, y de La Caldera hasta el límite con Jujuy, gracias a los valores aportados por Vialidad, no se sabe con exactitud cuál es la cantidad de vehículos, de los que ingresan desde Vaqueros en dirección a La Caldera, que se desplazan luego por la Ruta Provincial N°11 con destino a Güemes. Para poder obtener este dato, planteamos la siguiente alternativa.

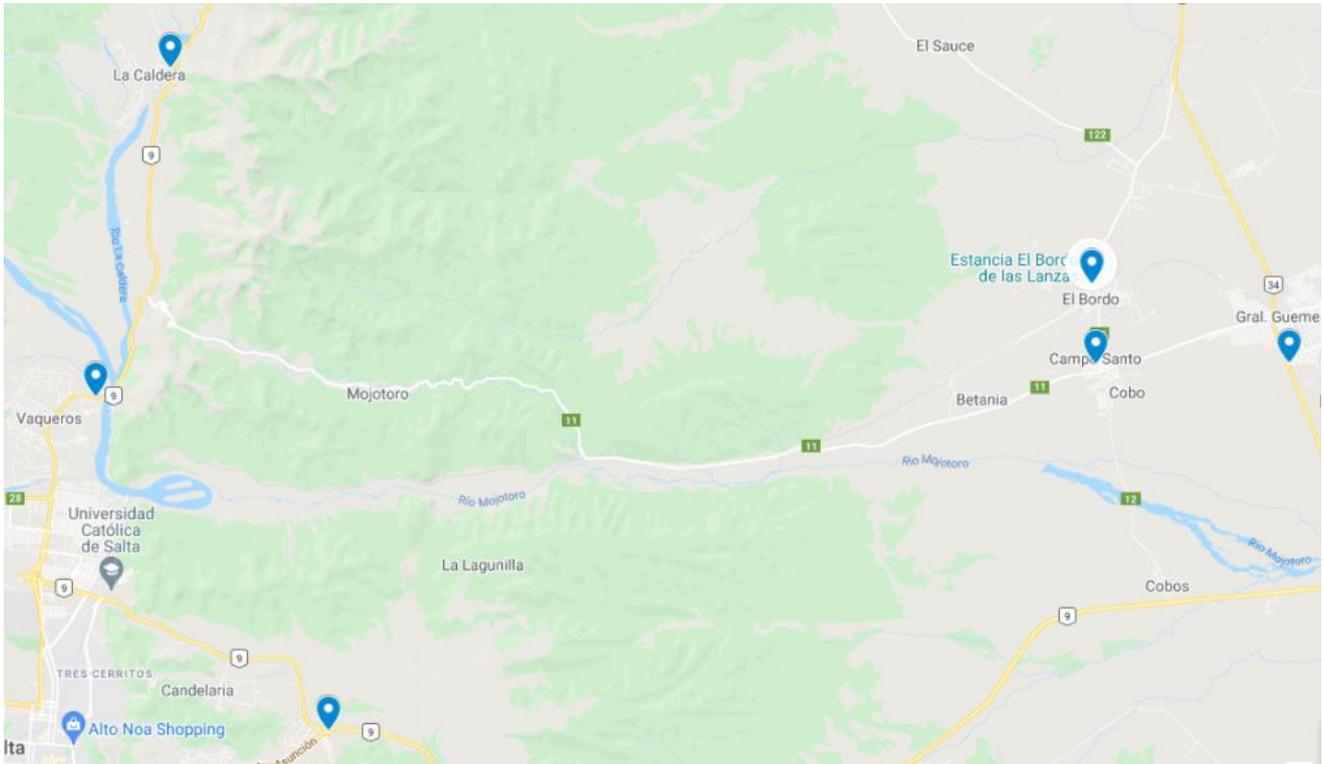
Se debe realizar una Encuesta Origen- Destino. Este es un procedimiento que escapa a los fines de nuestra tesis académica, por lo que solo se explicara, de manera teórica, como tendría que ser realizado en caso de ser concretado.

Lo primero es tener en cuenta ciertos puntos estratégicos donde realizar la encuesta, estos deberían ser lugares donde se le pueda realizar una serie de preguntas a los conductores con el fin de saber su destino, y cuál es el camino que elegirán para llegar al mismo. Es decir, los puntos estratégicos son aquellos lugares por donde circule el tránsito que nuestro proyecto atraería porque resultaría de interés para los conductores. Como ser: Campo Santo, la ciudad de Güemes, la localidad de La Caldera y El Bordo.

Se adjunta una planilla con una Encuesta Origen – Destino tipo

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO					
Ubicación: Semáforo Gral. Güemes				Fecha y Hora:	
Tipo de Vehículo	Origen	Destino	Motivo	Frecuencia del viaje	Responsable

Se adjunta un mapa donde se muestran algunos ejemplos de los puntos estratégicos, con marcas azules, donde debería realizarse el censo para obtener los datos relacionados a nuestro proyecto en cuestión



Si bien estos puntos no son exactos, representan aproximadamente donde deberían realizarse las encuestas.

Una vez especificado esto, y el porqué, no se cuenta con un dato exacto del TMDA de la Ruta Provincial N°11, se procede a la elección de un TMDA final de 1500 vehículos por día para nuestro proyecto, valor que coincide con el TMDA del proyecto en el tramo anterior al nuestro.

## **CAPITULO 4: TOPOGRAFIA Y MODELO DIGITAL**

### **i. Relevamiento topográfico y mediciones del terreno digital**

El diseño de una carretera se inicia con el recorrido y reconocimiento del terreno. Una vez conocida la topografía del mismo se procedió a la toma de datos.

Utilizando el programa *Google Earth*, realizamos el track a lo largo de 5,35km de longitud de la Ruta Provincial N°11.

Decidimos usar una metodología digital para obtener la topografía necesaria para proceder con este proyecto, por las siguientes razones principalmente:

- Al momento de realizar este proyecto, nos encontramos en una pandemia a la cual tuvimos que adaptarnos. Esta pandemia nos obligó a estar varios meses en pausa del proyecto.
- La peligrosidad que conlleva hacer la topografía en una ruta sin todos los elementos ni el personal necesario se convierte en otro obstáculo para nosotros.

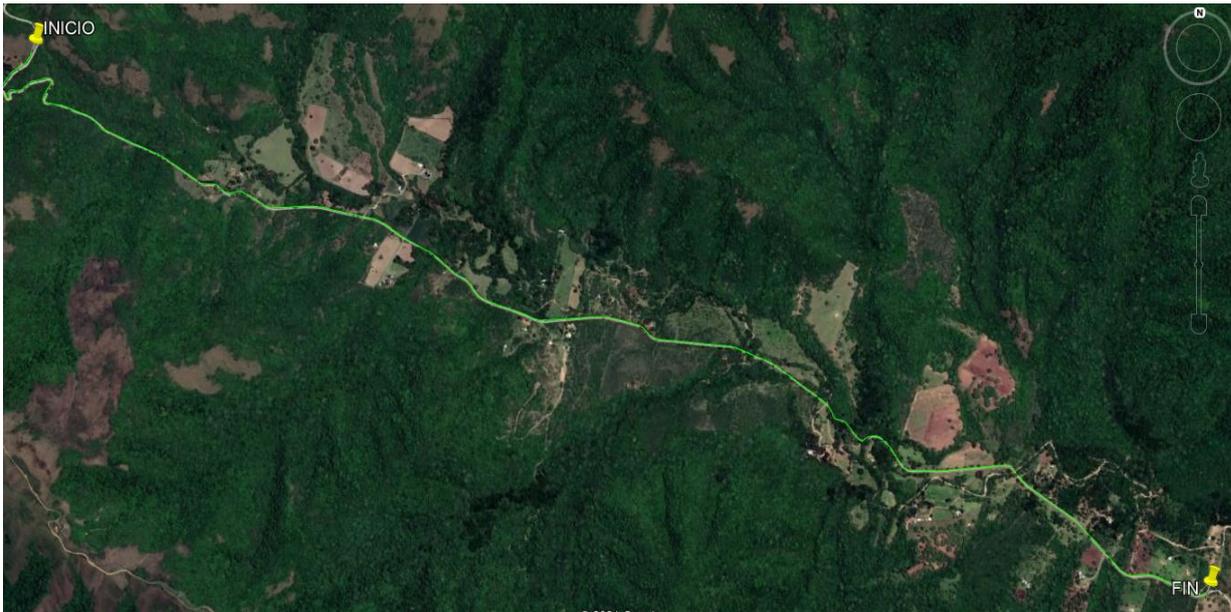
Es por esto, que se optó por realizar un modelo de elevación digital que represente de forma aproximada la topografía real del terreno. Si bien esto no es lo adecuado, a fines de este proyecto académico, y por lo mencionado anteriormente se decidió por esta opción de trabajar con un modelo digital de elevación.

Luego de una profunda investigación, se optó por utilizar el Modelo Digital de Elevación (DEM) llamado “ALOS PALSAR”.

ALOS Es un avanzado satélite japonés de observación terrestre con imágenes estereoscópicas, multiespectrales y de RADAR (Advanced Land Observing Satellite-1). Es un DEM que toma puntos cada 12,5m lo cual es suficiente para nuestro proyecto. Este modelo de elevación digital fue obtenido de ASF (Alaska Satellite Facility) que es parte del “Geophysical Institute” de la universidad de Alaska Fairbank en colaboración con la NASA.

*“El uso de los DEM no es recomendado para hacer trabajos topográficos, siendo la mejor solución un trabajo de campo”.*

Del programa Google Earth se tomaron las coordenadas correspondientes al comienzo y fin de los únicos dos puentes ubicados a lo largo de la ruta, para ser tenidos en cuenta a la hora de trazar el eje en el AutoCAD Civil 3D.



Utilizando el sistema de coordenadas UTM84., se estableció el grupo de puntos correspondientes a los 5,35km de camino **(Anexo II)**.

1	<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Z</b>				
2	1	3563372	7272509	1436	27	3563254	7272369	1434
3	2	3563365	7272495	1436	28	3563254	7272360	1433
4	3	3563361	7272486	1436	29	3563254	7272356	1432
5	4	3563357	7272482	1436	30	3563257	7272352	1431
6	5	3563352	7272477	1436	31	3563259	7272346	1429
7	6	3563347	7272473	1437	32	3563261	7272340	1428
8	7	3563342	7272466	1436	33	3563264	7272336	1426
9	8	3563336	7272460	1437	34	3563274	7272334	1424
10	9	3563332	7272456	1437	35	3563275	7272339	1425
11	10	3563325	7272452	1439	36	3563275	7272346	1426
12	11	3563322	7272450	1439	37	3563275	7272351	1427
13	12	3563313	7272445	1440	38	3563276	7272355	1427
14	13	3563308	7272441	1440	39	3563284	7272362	1427
15	14	3563303	7272438	1440	40	3563297	7272363	1425
16	15	3563301	7272438	1441	41	3563307	7272365	1423
17	16	3563294	7272430	1439	42	3563321	7272370	1420
18	17	3563288	7272424	1438	43	3563334	7272376	1418
19	18	3563285	7272417	1437	44	3563341	7272382	1418
20	19	3563280	7272412	1436	45	3563348	7272392	1418
21	20	3563275	7272407	1435	46	3563353	7272398	1418
22	21	3563271	7272400	1434	47	3563374	7272406	1415
23	22	3563267	7272395	1434	48	3563393	7272412	1413
24	23	3563265	7272389	1434	49	3563408	7272415	1411
25	24	3563261	7272387	1434	50	3563425	7272421	1412
26	25	3563258	7272382	1435	51	3563436	7272419	1412
27	26	3563255	7272375	1435				

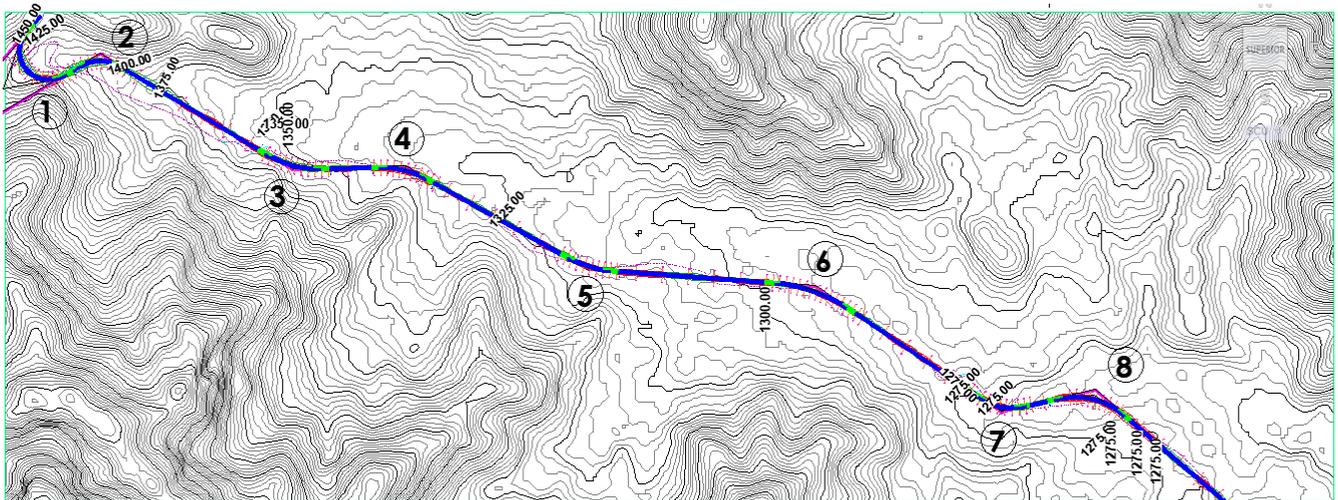
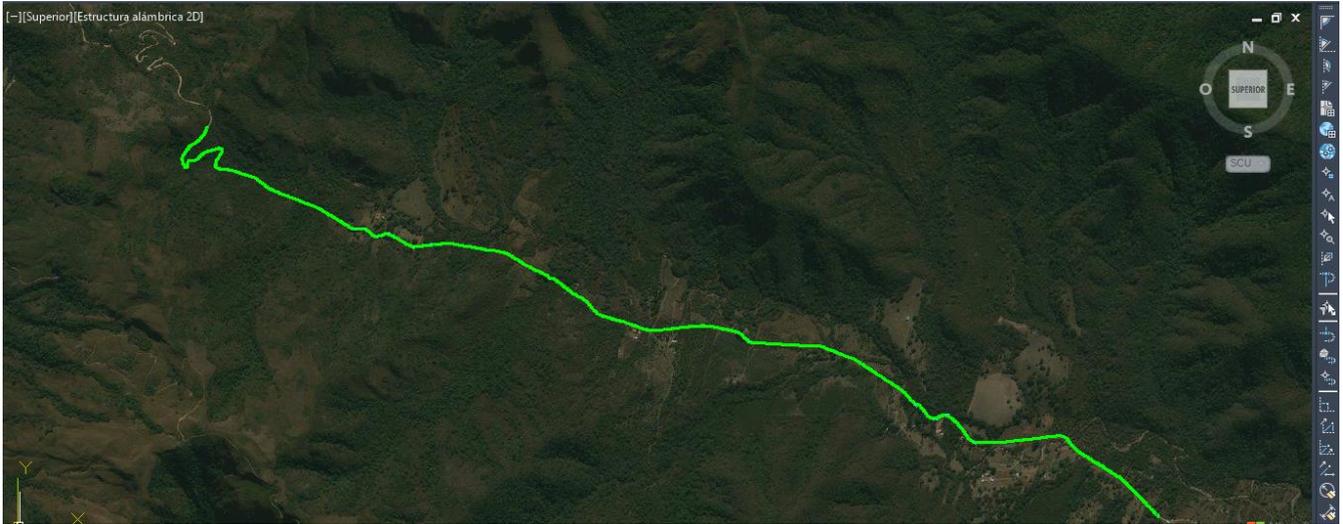
***TABLA DE PUNTOS COORDENADAS PENZ (Punto, Este, Norte, Elevación)***

Se realizó la correcta conversión de coordenadas, ya que en Argentina trabajamos con el marco de referencia geodésico POSGAR que se divide en 7 franjas para nuestra provincia. Nuestro proyecto se encuentra ubicado en FAJA 3.

Se los exporto a Civil 3D con sus respectivas coordenadas para obtener un plano georreferenciado.

Se adjunta una captura de pantalla del AutoCAD Civil 3D que incluye un ráster (método para el almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos) con la georreferenciación de los puntos donde se ve la

coincidencia de los mismos con la traza original existente. (se verifico que las coordenadas obtenidas digitalmente eran correctas)



**SUPERFICIE CURVAS DE NIVEL 5-25m**

Una vez obtenido el DEM (Modelo digital de elevación) del terreno, se procedió a elegir el eje de camino que cumpla con todas las normas y requisitos.

En una primera instancia se buscó acompañar la traza del camino existente con la de diseño, pero al ser esto imposible, ya que no cumple en varios tramos con las normas vigentes del Ing. Rhüle para la categoría del camino que se está adoptando (Cap. 5: Parámetros de diseño), nos vimos en la necesidad de modificar la traza para ajustarla a las normas de diseño.

En la siguiente imagen se ve el trazado del camino existente en color rojo, y en color azul vemos la primera curva horizontal, la cual se decidió adoptar un radio de 120m, valor que se ajusta con el eje que necesitamos diseñar y que además cumple con los parámetros de diseño del Ing. Rhüle según se puede observar en “Planilla 1 de Diseño geométrico de caminos rurales, del Ing. Federico G.O. Rhüle – Cap. 5”

De esta forma se permitirá a los usuarios desplazarse con una mayor seguridad y comodidad.



Una vez georreferenciadas las coordenadas obtenidas por el método de campo, vemos como el modelo digital se asemeja bastante a la realidad. Para el trabajo de campo, se realizaron 3 estaciones en puntos que debían cumplir ciertas condiciones, las cuales son: poder visualizar el punto atrás, para poder realizar una medición continua de toda la curva, entre ambos puntos no debe haber objetos que interrumpan la vista, es decir, objetos que dificulten la visualización del mismo. Estos puntos, además, deben contar con por lo menos tres testigos, es decir, tomamos tres mediciones con cinta a objetos prácticamente inamovibles o difícilmente de remover, para poder volver a ubicarlos, en caso de que se tenga que volver a realizar el trabajo de campo por alguna complicación.

Queremos aclarar que todo esto lo hicimos a fines prácticos, al ser solo dos estudiantes esto se tornó una actividad complicada y peligrosa, al no contar con todos los elementos de seguridad, como ser señalizaciones y al encontrarse en un camino que no cumple con los parámetros necesarios, tuvimos que detener las mediciones cada cierto tiempo por ciertos vehículos que pasaban a grandes velocidades cerca del equipo donde tomábamos los datos de los puntos, levantando una gran cantidad de polvo y tierra.



También se realizó el replanteo de una alcantarilla con la estación total.

Para el replanteo de la misma, se tomaron puntos en ambos extremos de la misma, a nivel de la rasante del camino, y un punto en cada lado de la solera de la alcantarilla, es decir, donde comienza y donde termina. Esto fue necesario para determinar la longitud de la misma y su pendiente. Se determinó así que la alcantarilla existente tiene una diferencia de nivel de 1,6m en 20 metros de longitud lo que nos da una pendiente del 8%. Así mismo se determinaron otras características geométricas de la misma, como ser las dimensiones de su sección transversal. Estos datos serán utilizados posteriormente en el capítulo 8 “Dimensionado de una obra de arte”, donde se explica detalladamente cada uno de los parámetros de la alcantarilla con su respectivo plano.

En la siguiente imagen vemos los puntos obtenidos.

Para el relevamiento de la misma, solo hizo falta hacer estación en un punto, ya que el mismo fue elegido estratégicamente para poder obtener todos los datos necesarios de una sola vez.

En la siguiente imagen se muestran los puntos de los extremos de alcantarillas, y al medio de estos en la solera de la misma se tomaron los dos puntos mencionados anteriormente.



Presentamos los puntos obtenidos en la siguiente imagen obtenida del programa Civil 3D. Siendo los puntos color rojo los correspondientes a la solera de la alcantarilla.



A continuación, por la importancia que esto significa en un proyecto de este tipo, se menciona uno de los métodos topográficos e instrumentos que se aplicarían para el relevamiento.

En nuestro caso se hubiera optado por el método de polígono abierto con método de radiación en las estaciones, este es de uso común en este tipo de proyectos.

La metodología consistiría en tomar puntos de: el eje del camino existente, bordes izquierdos, derechos y banquetas (existentes o futuras a construir). En ciertos casos se podrán tomar puntos extras para así poder obtener curvas de nivel más precisas.

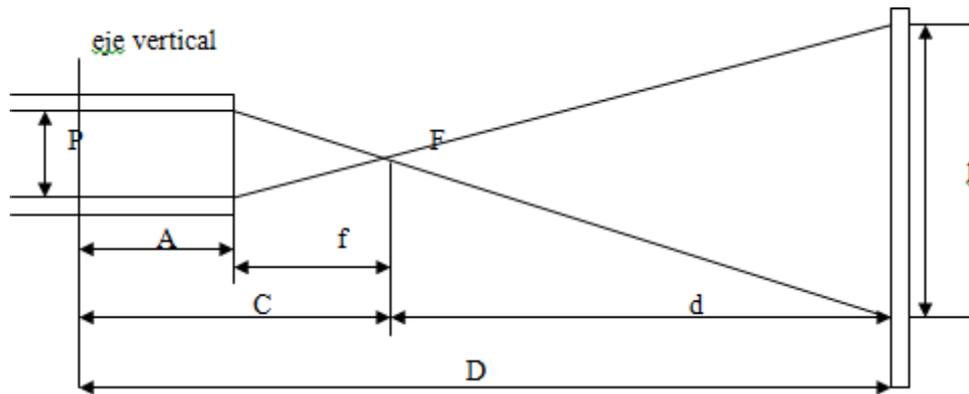
Las distancias de radiación se realizarían cada 25 m. disminuyendo esta distancia si se encontrase con algún obstáculo o alcantarilla.

En caminos de montañas la topografía planteada presenta por lo general dificultades en la accesibilidad a algunas zonas de estudio, provocando que deban utilizarse métodos de medición indirectos para la elección de la traza del camino y parte del diseño. El método adecuado para poder determinar los puntos y verificar los mismos es el “Método de determinación de distancias de forma indirecta no alineado” el cual se explica a continuación:

- **Determinación indirecta de distancias:**

Cuando en el anteojo del nivel o el teodolito, aparte de los hilos horizontal y vertical, tenemos otros dos hilos horizontales, separados por una distancia  $p$  constante, decimos que este es un anteojo estadimétrico. Si apuntamos a una mira a una cierta distancia, leemos entre dichos hilos una distancia  $l$ , esta distancia se irá incrementando a medida que nos alejamos de la estación con la mira.

Sea un anteojo y una mira a una cierta distancia del eje vertical del aparato, veamos la marcha de los rayos que pasan por los hilos del retículo que están separados por una distancia  $p$ , nuestra incógnita será la distancia entre el punto de estación y el de la mira.



$f$  = distancia focal objetivo.

$A$  = distancia objetivo – eje vertical del aparato.

$P$  = distancia de separación de los hilos estadiométricos del retículo.

$C$  = distancia del foco anterior al eje vertical del aparato.

$F$  = foco, punto de confluencia de los rayos de los hilos estadiométricos.

$l$  = distancia en la mira de la proyección de los hilos estadiométricos.

$d$  = distancia del foco a la mira.  $D$  = distancia incógnita =  $d + C$ .

Con los hilos estadiométricos efectuamos dos lecturas, una con el hilo superior y otra con el hilo inferior, efectuamos la diferencia y obtenemos la longitud  $l$  en la mira.

Considerando los triángulos opuestos por el vértice  $f$  de la figura, tenemos:

$$d / l = f / P \quad = \quad d = (f * l) / P$$

Pero  $f$  es un valor constante al igual que  $P$ , luego:

$$f / P = K \quad = \quad d = K * l$$

Finalmente resulta:

$$D = C + (K * l)$$

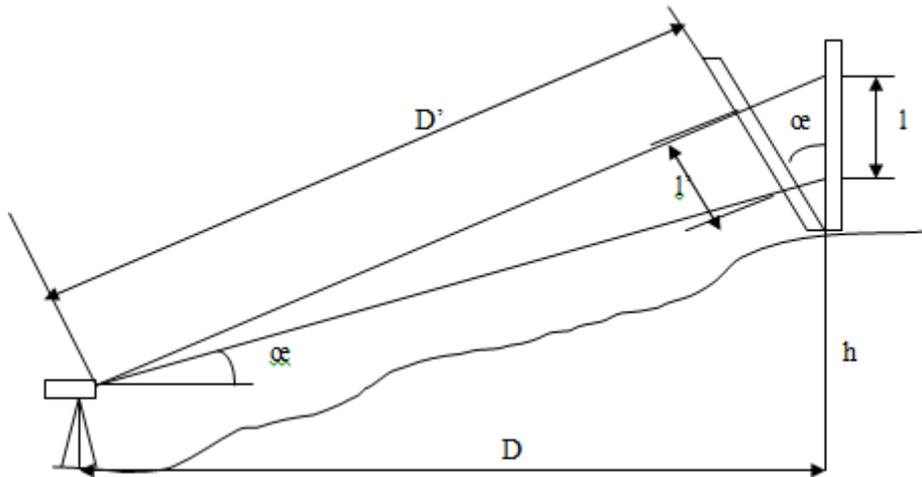
Donde  $C$  = constante de adición  $K$  = constante de multiplicación.

En la práctica y con aparatos modernos para facilitar los cálculos hacemos  $K = 100$  y  $C = 0$ .

- **Método para el trabajo de campo:**

Una vez estacionado el aparato estadiométrico, se procede a colocar la mira en cada punto al cual se requiere obtener la distancia, se mide con una cinta la altura instrumental al centro del círculo vertical y se apunta a esa medida a la mira, leyendo los valores en los hilos superior e inferior y realizando la diferencia, la que multiplicada por 100 nos dará la distancia de separación entre el aparato y la mira.

Para el caso de que el terreno sea inclinado (caso frecuente que se da en un terreno montañoso) se realizarán los siguientes cálculos:



$l$  = corte de mira

$l'$  = corte de mira real por la inclinación del terreno.

$D$  = proyección horizontal entre la distancia de la mira al aparato.

$h$  = diferencia de altura entre el punto del aparato y la mira.

$D'$  = la distancia estadimétrica medida.

$D' = C + K * l'$  Pero  $l' = l * \cos. \alpha$

Luego  $D' = C + (K * l * \cos. \alpha)$

Por otra parte:  $D = D' * \cos \alpha$

Reemplazando:  $D = C * \cos \alpha + k * l * \cos^2 \alpha$

Como  $C = 0$ , entonces:  $D = K * l * \cos^2 \alpha$

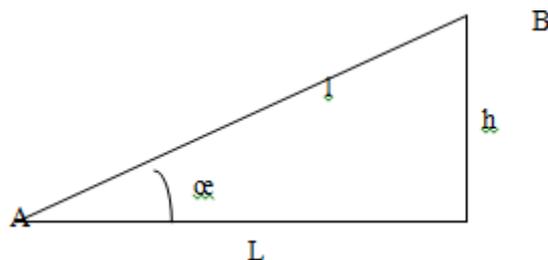
El desnivel entre los puntos es:  $h = D' * \sen \alpha$

Pero:  $D' = C + (K * l \cos \alpha)$

Luego resulta:  $h = (K * l / 2) * \sen^2 \alpha$

- **Nivelación trigonométrica:**

Se fundamenta en principios de la trigonometría, obteniendo el desnivel entre dos puntos a partir del conocimiento de la distancia que separa los puntos y el ángulo vertical entre ellos.



$l$  = longitud A-B sobre el terreno medida con cinta o con mira topográfica.

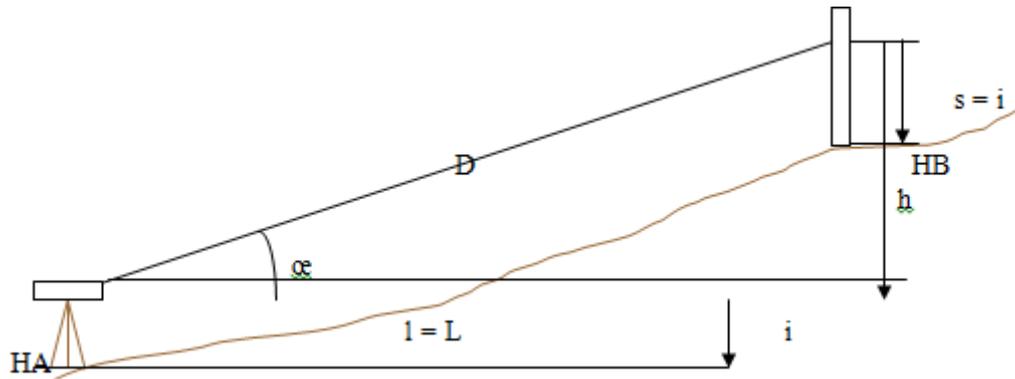
$L$  = proyección horizontal de la longitud A-B.

$\alpha$  = ángulo vertical medido en el círculo vertical de un teodolito.

$$h = L * \text{Tangente } \alpha$$

$$h = l * \text{seno } \alpha$$

- Metodología y cálculo del desnivel y altura entre dos puntos:



$L$  = longitud que separa los puntos.

$\alpha$  = ángulo vertical medido con teodolito.

$i$  = altura instrumental medida desde el terreno al centro del círculo vertical.

$s$  = lectura medida sobre la mira igual a la altura instrumental.

$HA$  y  $HB$  = altura de cada punto con respecto a un plano de referencia.

Se estaciona el aparato en el punto A y se coloca la mira en el punto B. Se apunta de A a la mira a la altura instrumental medida con cinta desde el terreno al centro del círculo vertical, se mide la longitud  $L$  y el ángulo vertical  $\alpha$ , y se debe verificar lo siguiente:

$$HA + i = HB + s - h \quad HB - HA = h + i - s$$

Como  $h = L * \text{Tangente } \alpha$  y  $s = i$

$$HB - HA = L * \text{Tangente } \alpha$$

- Determinación de la altura de un objeto:

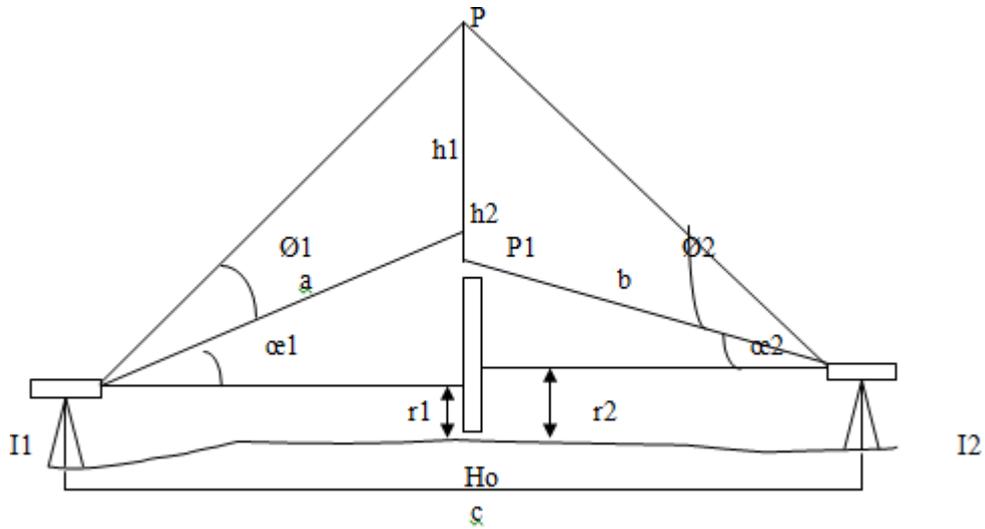
A través de la utilización de la trigonometría y la combinación de la medición de ángulos horizontales y verticales, se procede a determinar la altura de un objeto.

El procedimiento consiste en replantear un triángulo, en lo posible equilátero, entre la proyección del punto más elevado sobre el terreno y dos puntos convenientemente elegidos sobre la superficie más plana del lugar, los que representarán la base de dicho triángulo y cuya longitud se medirá con cinta y con buena precisión.

Desde cada vértice de la base se obtendrá los valores de los ángulos horizontales al punto de proyección sobre el terreno del objeto y los ángulos verticales de cada vértice de la base con el punto más alto de la torre, con todos los datos medidos se procederá a realizar el cálculo de la altura a través del siguiente desarrollo.

El método se aplica para determinar cotas de puntos que son inaccesibles, es decir que no podemos estacionar en el punto y por ende realizar una nivelación geométrica.

Se determinará a determinar en la figura la cota del punto P a partir de la cota de un punto conocido.



$c$  = distancia medida en el terreno con cinta.

$I1$  = altura instrumental en el punto 1.

$I2$  = altura instrumental en el punto 2.

$\alpha1$  = ángulo horizontal medido en  $I1$ .  $\alpha2$  = ángulo horizontal medido en  $I2$ .

$\varnothing1$  = ángulo vertical medido en  $I1$ .

$\varnothing2$  = ángulo vertical medido en  $I2$ .

$r1$  = lectura a la mira desde el punto  $I1$ , igual a la altura  $I1$ .

$r2$  = lectura a la mira desde el punto  $I2$ , igual a la altura  $I2$ .

La cota del punto P desde  $I1$  sería:  **$H_p = H_o + r_1 + h_1$**

La cota del punto P desde  $I2$  sería:  **$H_p = H_o + r_2 + h_2$**

Pero:  **$h_1 = a * \text{tg } \varnothing1$  y  $h_2 = b \text{ tg } \varnothing2$**

Para calcular  $a$  y  $b$ , calculamos el ángulo  $\alpha3 = 180 - (\alpha1 + \alpha2)$ , y a partir de allí aplicamos el teorema del seno de la siguiente manera:

$$a/c = \text{sen } \alpha2 / \text{sen } \alpha3 \quad b/c = \text{sen } \alpha1 / \text{sen } \alpha3$$

Luego:  **$a = \text{sen } \alpha2 / \text{sen } \alpha3 * c$   $b = \text{sen } \alpha1 / \text{sen } \alpha3 * c$**

Con estos valores se calcula  $h_1$  y  $h_2$ , y con  $h_1$  y  $h_2$  se calcula  $H_p$ , teniendo como contralor de cálculo que  $H_p$  debe ser igual calculado con  $h_1$  que con  $h_2$ .



proyectos que se encuentren hasta 500msnm, debiéndose reducir en nuestro caso. Su análisis está justificado a mayor detalle en el sub-índice *iii. Altimetría – Pendiente máxima (pág. 40)*.

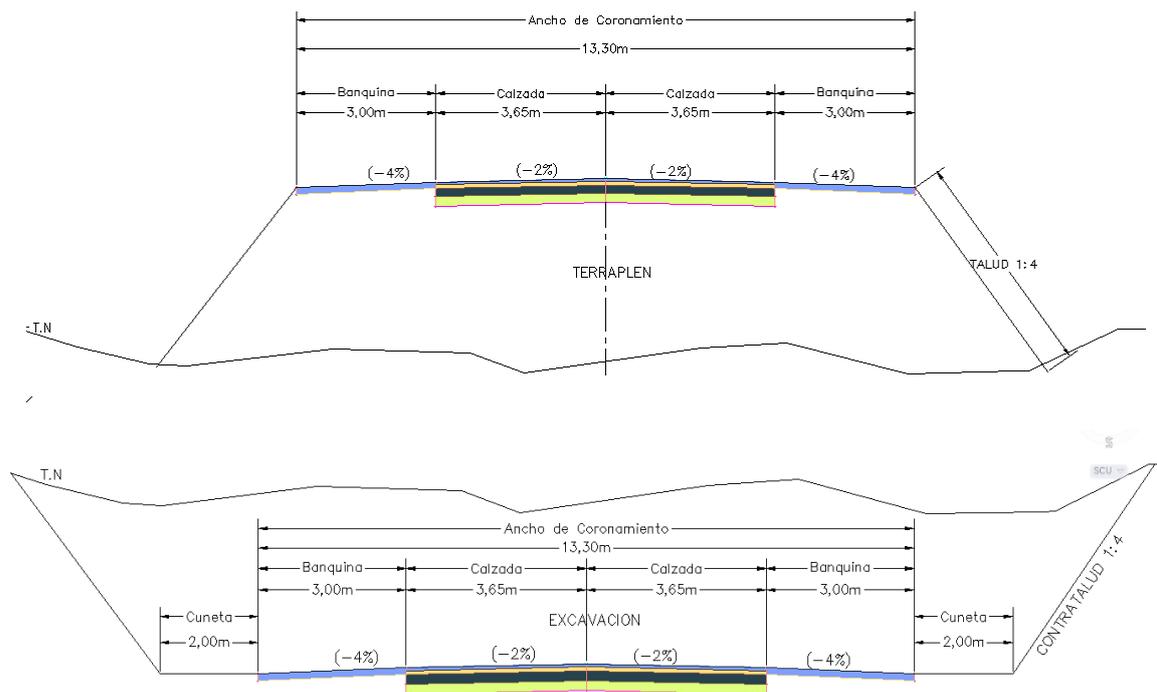
- Se adopta un **ancho de calzada de 3,65 m** (por trocha), y un **ancho de banquina de 3m**. Obteniendo así un **ancho total de coronamiento de 13,3m**.

La calzada es el lugar destinado a la circulación de los vehículos. Tomando en cuenta este aspecto su ancho deberá contemplar la presencia de dos vehículos circulando en direcciones opuestas.

Para caminos de montaña la Planilla 1 del Ing. Federico Rhule indica anchos de calzada menores que los de igual categoría, pero distinta topografía. Esto se justifica por dos razones:

- 1) La velocidad directriz es menor por lo tanto el conductor experimenta una sensación de mayor seguridad al cruzarse con un vehículo que circula en dirección opuesta.
- 2) Para no estimular al conductor a tomar velocidades mayores, incompatibles con los parámetros de diseño.

Además, para la determinación del ancho de calzada y de banquina se tuvo en cuenta la Planilla 1 del Ing. Rhule. La misma nos indica las longitudes a considerar, dependiendo de la cantidad de vehículos que circulan por día y del tipo de camino.



Las características del paquete estructural serán vistas en el *Capítulo 7- "Diseño del paquete estructural"*

- Se adoptan las siguientes pendientes de **calzada, banquina y talud** respectivamente: 2% - 4% y (1:4).
- Radio mínimo del proyecto:

$$R_{\min} = \frac{(0,6 * v)^2}{127 * p} = \frac{(0,6 * 60 \text{ km/h})^2}{127 * 8\%}$$

$$R_{\min} = 119,56 \text{ m}$$

- Se adopta un **Radio mínimo de 120 m** según Planilla 1 del Ing. Rhule.
- Se adopta una **distancia de detención** para una velocidad directriz de 60 km/hs de **72,87 m**. Según Planilla 2 del Ing Rühler. **(Pág. 32)**
- Según la Planilla 3 de Rühler, para una Velocidad de 60 km/hs, la **distancia de sobre paso** que se adopta es de 400 m. **(Pág. 32)**

Tanto la **distancia de detención** como la de **sobrepaso** serán explicadas y analizadas con mayor detalle posteriormente en el título **Distancia de visibilidad. (pág. 31)**

- Para curvas verticales se adopta un parámetro **P min = 900 m**. El mismo es desarrollado y justificado en la **Pág. 37 - Planilla 4 del Ing. Rühler.**

## ii. Planimetría

Se define a la **planimetría** como “*parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana (plano geometría), prescindiendo de su relieve y se representa en una proyección horizontal*”.

La planimetría del proyecto se realizó con el programa “AutoCAD Civil 3D” calculando las curvas horizontales aplicando los conocimientos dados en la Catedra: Vías de Comunicación correspondiente a la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Salta

### Trazado del camino

Se propuso una traza diferente al camino existente, ya que el mismo no cumplía con los radios mínimos para las velocidades de diseño, pendientes, peraltes e inclinaciones, entre otras cosas.

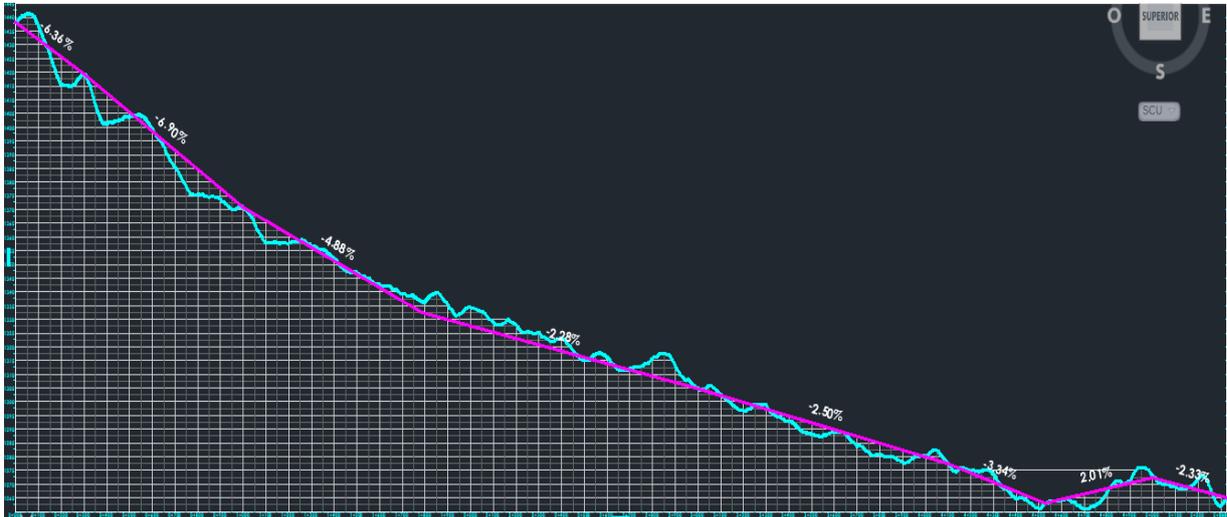
Se deberá proveer durante la construcción de la obra, la señalización correspondiente para cumplir con las normas de higiene y seguridad. Además, se determinará un sector a lo largo del camino donde se puedan acopiar materiales.

En la siguiente imagen se puede observar el camino ya existente con rojo y con color cian camino que se propuso en primera instancia.



**EJE ORIGINAL – EJE PROPUESTO**

En la siguiente imagen adjunta se ve con línea continua cian, el perfil longitudinal del terreno a lo largo de unos 5,35km de longitud con una escala vertical 1:100 para que se pueda apreciar el desnivel. Vemos como el terreno comienza en una altura de cota absoluta de 1438m y al final del tramo la elevación es 1265m. Habiendo un desnivel total de 173 m a lo largo de un tramo total de 5,35 km de longitud.



**Perfil longitudinal del terreno a lo largo de unos 5,35km**

Como se ve en el gráfico los mayores desniveles se encuentran al comienzo del proyecto, produciéndose un desnivel de casi 100 metros en aproximadamente el primer kilómetro y medio de recorrido. Esto nos complicó el trazado de la nueva rasante ya que se producían pendientes excesivas.

Al trazar esta rasante, línea continua color magenta, se buscó lograr la opción más eficiente, es decir, la alternativa menos costosa, con menor movimiento de suelos y que también cumpla con las normas con la cual fue diseñada. Buscamos que el movimiento de suelo sea el mínimo, y a su vez, que la cantidad de desmonte sea aproximada a la cantidad de m<sup>3</sup> de tierra que se necesitan para hacer los terraplenes. Con esta nueva traza, también se buscó reducir las pendientes máximas del camino, lo cual lo vuelve más seguro para los usuarios.

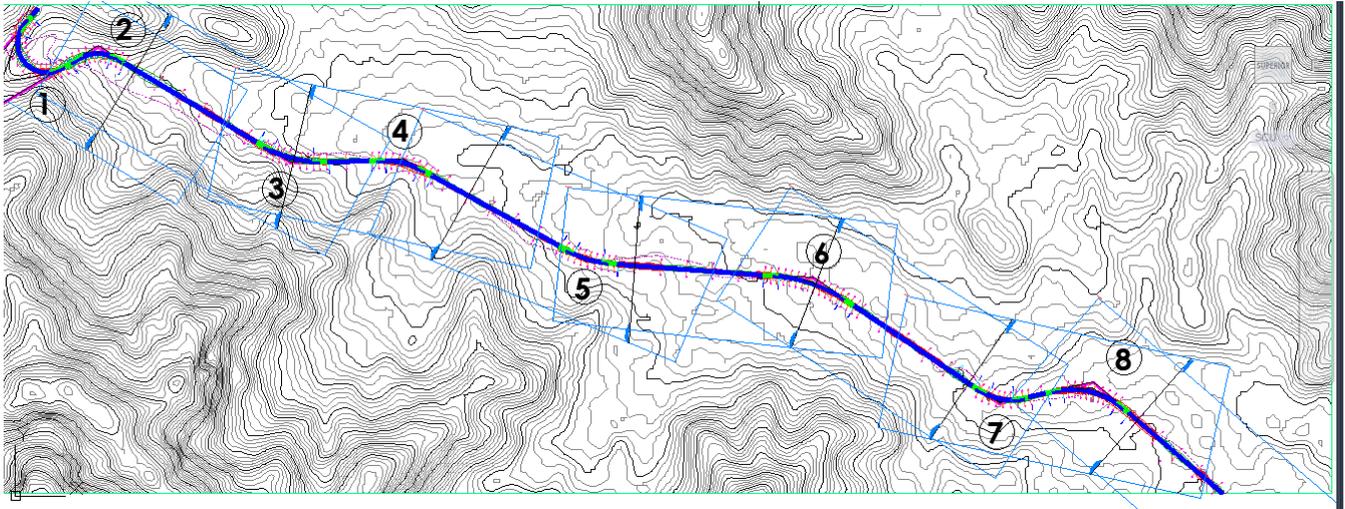
Si bien esta primera alternativa presentaba la ventaja, de poseer menos curvas de nivel, pendientes menores, a fin de cuentas, terminaba siendo contradictorio con el objetivo de todo proyecto de ingeniería, es decir, demandaba muchos recursos lo que conlleva a una obra muy costosa. Realizando ciertos cambios buscamos el equilibrio entre un proyecto que no sea muy costoso y que cumpla con su función de permitir a los usuarios circular con seguridad y comodidad.

Esta primera propuesta, fue modificada para obtener finalmente la rasante final, en donde, no solo se cambió la misma agregando más curvas verticales, sino que también se modificó el eje de camino ya que buscamos disminuir aún más el movimiento de suelo, logrando esto acompañando con el eje de la ruta la forma de las curvas de nivel que posee la superficie

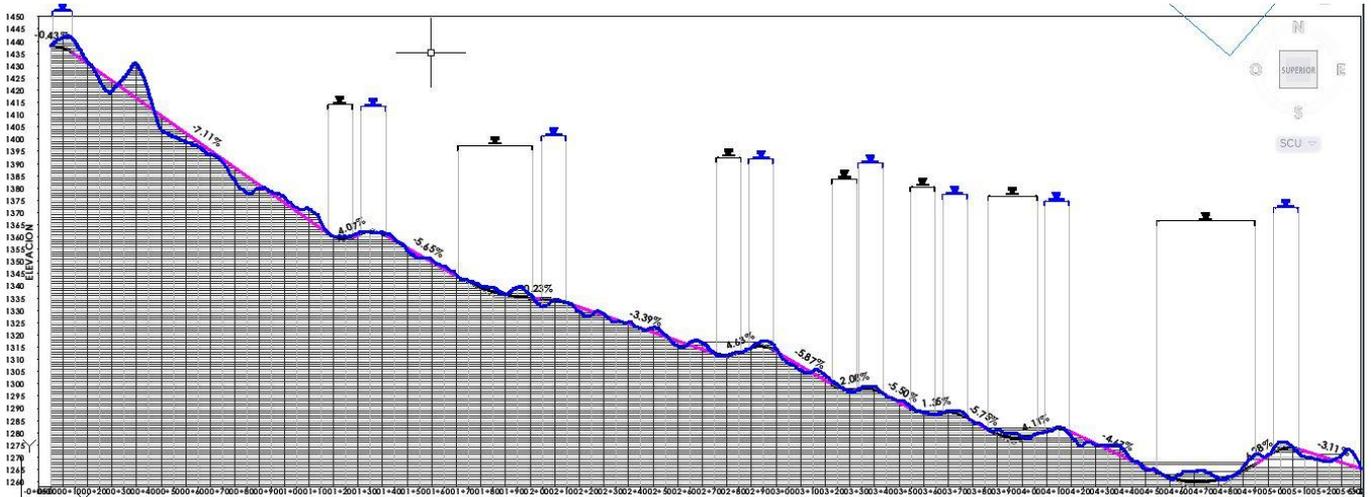
Obtenemos así la traza definitiva de nuestro proyecto. Se adjuntan sus correspondientes imágenes.

Una vez obtenida las curvas de nivel, y planteada la rasante propuesta, la misma llegaba a una pendiente de no más del 8% en toda su longitud, y con la cual, no se tenía que recurrir a un gran movimiento de suelo. Por consiguiente, se propuso modificar ciertas curvas de dichos tramos y después de probar con una serie de

opciones se optó por una traza final, la cual contempla una pendiente máxima del 7,11% y un movimiento de suelo razonable con el camino.



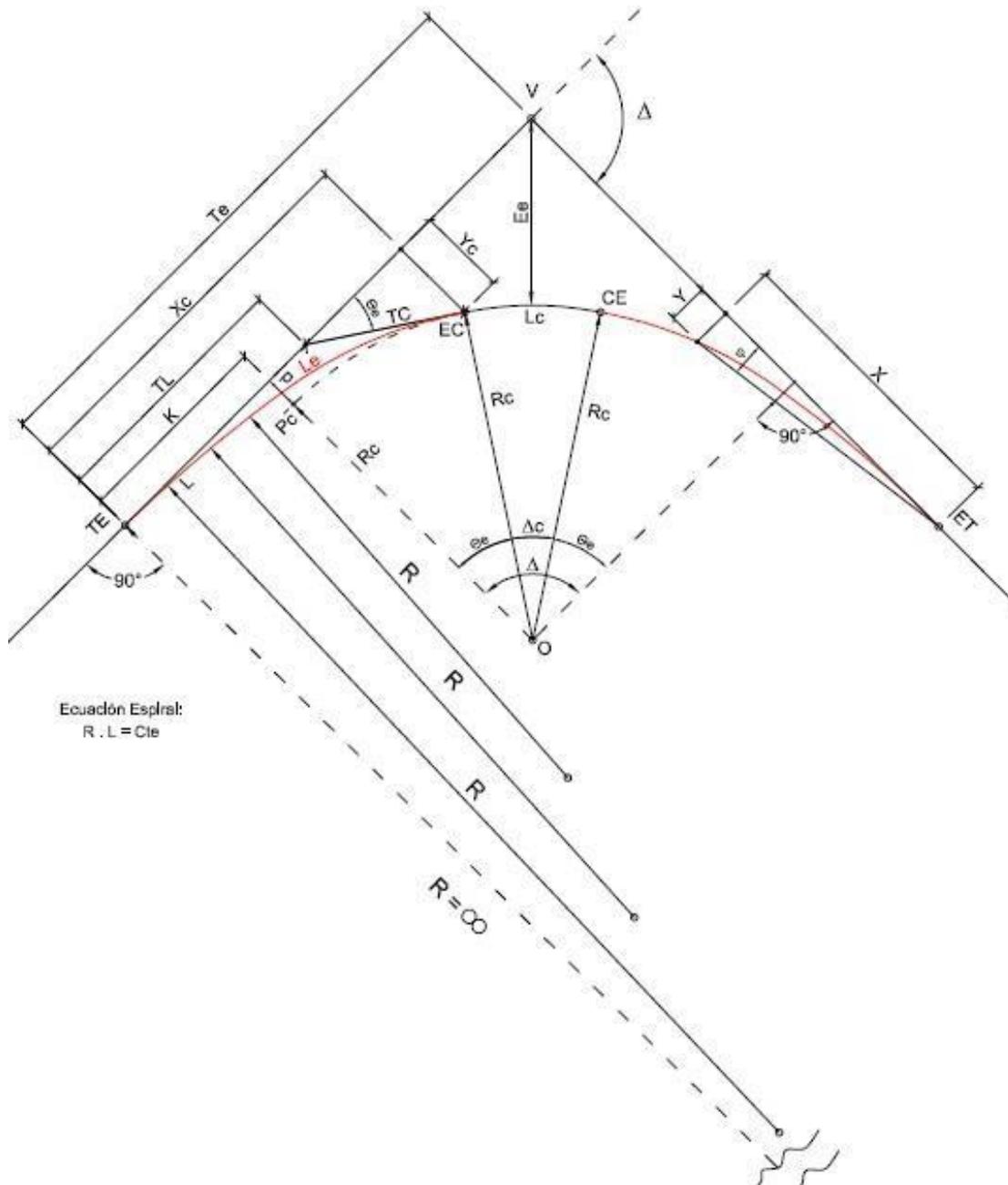
Traza del proyecto



Perfil longitudinal del proyecto.

**Curvas Horizontales:**

Las curvas horizontales son aquellas que están definidas por un arco de circunferencia.



Una vez que definimos la traza a partir de los datos topográficos obtenidos en el modelo digital, y establecidos los parámetros de diseño, radios mínimos, procedimos al cálculo de sus correspondientes peraltes.

Procedimiento para el cálculo de curvas horizontales

Con un peralte máximo del 8%, con una velocidad de diseño de 60 km/hs y el ángulo  $\Delta$  para cada vértice de la traza propuesta, a continuación, explayamos el procedimiento para el cálculo de una curva horizontal del camino a modo de ejemplo.

**EJEMPLO CALCULO CURVA HORIZONTAL N° 1**1. Radio mínimo:

- a. Cálculo del Radio mínimo:

$$R_{min} = [0,6 * (Vd)^2 / 127 * p(\%) / 100]$$

$$R_{min} = [0,6 * (60)^2 / 127 * 0,10]$$

$$R_{min} = 102,05 \text{ m}$$

- b. Se adopta un radio
- $R_c$
- , de manera tal que
- $R_c > R_{min}$

$$R_c = 150 \text{ m}$$

- c. Cálculo de Peralte con
- $R_c$
- :

$$p = [0,36 * (Vd)^2 / 127 * R_c]$$

$$p = [0,36 * (60)^2 / 127 * 150]$$

$$p = 0,07 = 7 \%$$

Debe ser menor que el Peralte máximo dado por Rühler, es decir,  $p < p_{m\acute{a}x}$ .

2. Curva de transición:

Estas curvas van al principio y fin de la curva, es decir, es el medio por el cual se une la recta con la curva circular. Al pasar de una línea recta a una curva circular bruscamente aparece una fuerza centrípeta la cual provoca incomodidad y peligro de deslizamiento, ya que en la recta el valor de la aceleración centrípeta es 0 y en la curva toma un valor igual a  $V^2/R$ . Por ello es necesario un tiempo de transición, para acomodarse y recién tomar la curva. Entonces, la curva de transición es una curva que se intercepta entre el tramo recto y la curva en si propiamente dicha.

- a. Cálculo de Longitud de Espiral Mínima (
- $L_e$
- )

$$L_{emin} = [(Vd)^3 / (28 * R_c)]$$

$$L_{emin} = [(60)^3 / (28 * 150)]$$

$$L_{emin} = 51,43 \text{ m}$$

- b. Se adopta una longitud espiral de manera tal que
- $L_e > L_{emin}$

$$L_e = 60 \text{ m}$$

- c. Cálculo de ángulos
- $\theta_{e1}$
- y
- $\Delta_{c1}$

$$\theta_{e1} = [L_e / (2 * R_c)]$$

$$\theta_{e1} = [60 / (2 * 150)]$$

$$\theta_{e1} = 11,45^\circ$$

$$\Delta c1 = \Delta 1 - (2 * \theta_{e1})$$

$$\Delta c1 = 61^\circ 15' 9'' - (2 * 11,45^\circ)$$

$$\Delta c1 = 38^\circ 20' 3''$$

d. Cálculo de la Longitud de curva (Lc)

$$Lc1 = [2 * \pi * R * \Delta c1 / 360^\circ]$$

$$Lc1 = [2 * \pi * 150 * 38^\circ 20' 3'' / 360^\circ]$$

$$Lc1 = 100,35 \text{ m}$$

e. Otros parámetros para la definición de curva son: K, P, TL, Tc, TE, Ee y las coordenadas Xc, Yc. Los mismos se pueden observar en la imagen anterior.

- $K = Le / 2 = 30 \text{ m}$
- $P = [Le^2 / (24 * Rc)] = 1,00 \text{ m}$
- $TL = 2/3 * Le = 40 \text{ m}$
- $Tc = Le / 3 = 20 \text{ m}$
- $Te = [K + (Rc + P) * Tg(\Delta/2)] = 119,39 \text{ m}$
- $Ee = [(Rc + P) / \cos(\Delta/2)] - Rc = 25,47 \text{ m}$
- $Xc = Le = 60 \text{ m}$
- $Yc = [Le^2 / (6 * Rc)] = 4,00 \text{ m}$

3. Longitud de desarrollo: Es la longitud total de la curva

$$Ds = 2 * Le + Lc$$

$$Ds = 2 * 60 + 100,35$$

$$Ds = 220,35 \text{ m}$$

4. Progresivas:

La progresiva de un punto cualquiera de la traza es “la distancia que hay desde el origen hasta dicho punto por sobre la traza o el eje del camino”, normalmente se le asigna progresiva 0,00 al punto de inicial.

- $Progresiva TE1 = D1 - Te1 = 763,6 - 716,25 = 47,35 \text{ m}$
- $Progresiva EC1 = Prog. TE1 + Le = 47,35 + 80 = 127,35 \text{ m}$
- $Progresiva CE1 = Prog. EC1 + Lc = 127,35 + 230,13 \text{ m} = 357,48 \text{ m}$
- $Progresiva ET1 = Prog. CE1 + Le = 357,48 + 80 = 437,48 \text{ m}$

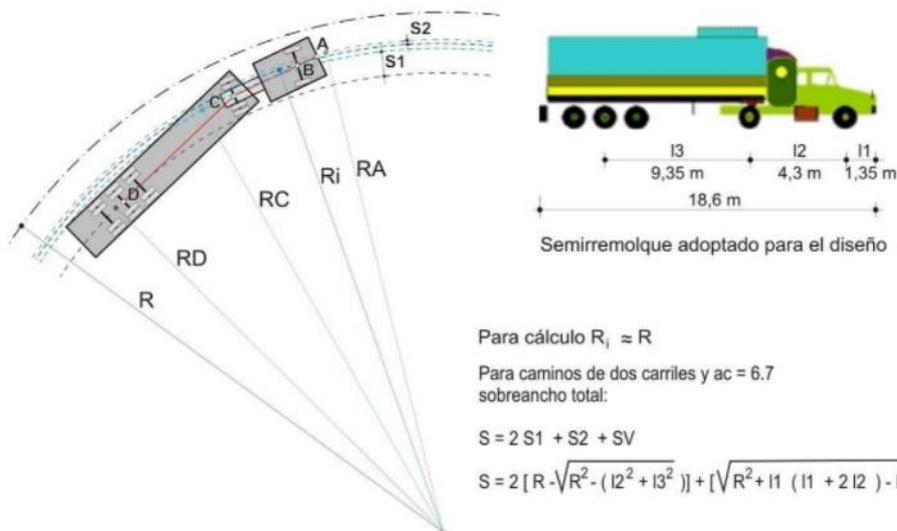
5. Sobreechancho:

Para que las curvas horizontales presenten las mismas condiciones de seguridad que las rectas, ante el cruce de vehículos con sentidos opuestos, es necesario introducirles sobre anchos por las siguientes razones:

- El vehículo al describir una curva, ocupa un mayor ancho, ya que sus ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de las descritas por las ruedas delanteras. Además, el extremo lateral delantero externo del vehículo, describe una trayectoria que resulta exterior a la de las ruedas delanteras.
- La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril por la menor facilidad para apreciar la posición relativa de sus vehículos en la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que aumentan los radios de las curvas horizontales.

Para determinar la magnitud del sobreechancho, debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta. Dada la gran proporción de vehículos pesados que circulan, esta norma define como vehículo representativo o de control al camión semirremolque, según práctica de la DNV, que posee las siguientes dimensiones:

- Distancia entre la parte frontal y eje delantero:  $l_1 = 1,35$  m
- Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora:  $l_2 = 4,3$  m
- Distancia entre el eje trasero de la unidad tractora y el eje del semirremolque:  $l_3 = 9,35$  m



A fin de facilitar la operación del vehículo en las curvas, el ancho de las calzadas debe aumentarse. Éste aumento del ancho recibe el nombre de sobreechancho de las curvas. Entonces el sobreechancho “es el aumento en la dimensión transversal de la calzada o ancho adicional en las curvas horizontales”

$$S_1 = n \left( R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2 - l_1^2 - L_1^2} \right) + \frac{Vd}{10 * \sqrt{R_c}}$$

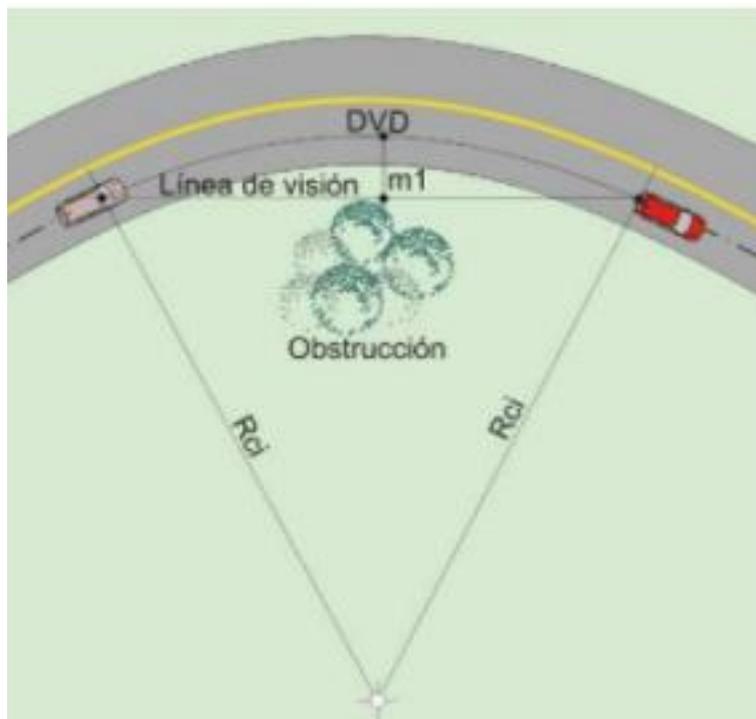
Sobreechanco en curvas horizontales.			
Numero de trochas	n	2	
Longitud camion [m]	L	4,3	
Longitud vinculo [m]	l1	1,2	
Longitud acoplado [m]	L1	6,4	
Sobreechanco en curvas			
Curva	Rc [m]	Vd [km/h]	S
Curva 1	110	60	1,13

Queda determinado que en esta ruta circularan autos, camionetas y solamente camiones con semirremolque.

La traza del camino, cuenta con ocho vértices, por lo que se realizó el cálculo de ocho curvas horizontales que pueden verse en el **Anexo V**. Para mismo se realizaron planillas en Excel.

**Distancia de visibilidad:**

- a. Distancia de detención: Se denomina así a la distancia que recorre, sobre una calzada en condiciones favorables, un conductor de habilidad media, manejando a velocidad directriz, un vehículo en condiciones mecánicas aceptables, desde el instante que observa un obstáculo imprevisto en el camino, hasta el momento en que se detiene. El tiempo de detención se compone en dos partes:
  - Tiempo de percepción y reacción ( $t_1$ ): es decir el lapso que transcurre desde que el conductor observa el obstáculo hasta que acciona el pedal de freno
  - El tiempo de frenado ( $t_2$ ) desde que el conductor acciona el pedal del freno hasta que el vehículo se detiene.



Según la Planilla 2 del Ing Rühler la distancia de detención para una velocidad directriz de 60 km/hs es de 72,87 m.

V: velocidad directriz	t: tiempo de percepción y reacción	f: Coeficiente de fricción	D <sub>1</sub> : Distancia de detención
km/hora	seg	-	m
30	2,9	0,54	30,72
40	2,8	0,52	43,22
50	2,7	0,50	57,18
60	2,6	0,48	72,87
70	2,5	0,46	90,54
80	2,4	0,44	110,59
90	2,3	0,42	133,43
100	2,2	0,40	159,55
110	2,1	0,39	186,30
120	2,0	0,37	219,88
130	2,0	0,35	262,32
140	2,0	0,33	311,16

Planilla 2 del Ing Rühler

- b. Distancia de sobrepaso: Para efectuar, en condiciones seguras, una maniobra de sobrepaso en un camino de dos trochas indivisas, el conductor deberá divisar, delante de su vehículo una sección de camino, que, en una longitud suficiente, se encuentre libre de vehículos circulando en sentido contrario

Las hipótesis que se formulan para determinar la longitud que debe ser abarcada por la visual del conductor para efectuar una maniobra de sobre paso segura son:

- i. El vehículo que debe ser sobrepasado circula a la velocidad media de marcha.
- ii. El tiempo de percepción, evaluación, de las posibilidades de sobrepaso reacción y comienzo de la aceleración se estima 4 segundos.
- iii. El coche que sobrepasa circula a la misma velocidad del vehículo que tiene adelante.
- iv. El promedio de velocidad del vehículo que sobrepasa, desde que inicia su desplazamiento hacia la trocha izquierda, hasta cuando retorna a la derecha, supera los 15km/hs al del vehículo sobrepasado.
- v. La calzada izquierda debe quedar libre en una longitud adicional d<sub>3</sub>, de manera que permita que un vehículo que sobrepasa circule en sentido contrario a una velocidad V<sub>2</sub> igual a la del vehículo que se adelanta, la recorra en el mismo tiempo que tarda el primero en desplazarse a la trocha izquierda, y retomar a la trocha derecha.

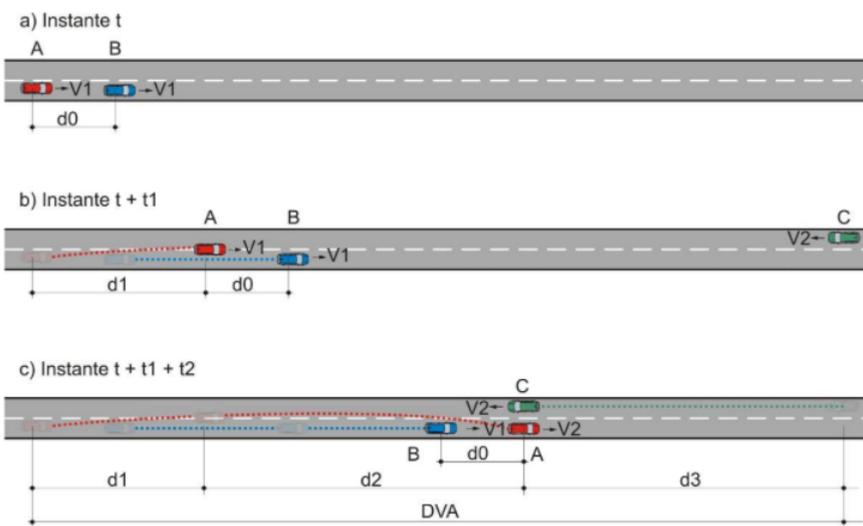
Según la Planilla 3 de Rühler, para una Velocidad de 60 km/hs, la distancia de sobre paso que se adopta es de 400 m.

Velocidades			Tiempos parciales		Distancias parciales			Distancia de sobrepaso	
V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>2</sub> calculada	D <sub>2</sub> adoptada
km/h	km/h	km/h	seg	seg	m	m	m	m	m
30	28,8	43,8	4,00	6,60	13,76	32,00	80,28	192,56	190
40	37,4	52,4	4,00	7,43	15,48	41,55	108,10	257,75	260
50	45,5	60,5	4,00	8,20	17,10	50,55	137,75	326,05	330
60	53,1	68,1	4,00	8,93	18,62	59,00	168,88	396,76	400
70	60,2	75,2	4,00	9,61	20,04	66,88	200,70	468,28	470
80	66,8	81,8	4,00	10,25	21,36	74,81	232,88	539,97	540
90	72,8	87,9	4,00	10,83	22,58	81,00	264,40	609,80	610
100	78,5	93,5	4,00	11,37	23,70	87,21	295,27	677,75	680
110	83,6	98,6	4,00	11,86	24,72	92,88	324,78	742,44	740
120	88,2	103,2	4,00	12,30	25,64	98,00	352,53	803,06	800
130	92,3	107,3	4,00	12,70	26,46	102,55	378,44	859,43	860
140	95,9	110,9	4,00	13,04	27,18	106,55	401,67	909,88	910

Planilla 3 del Ing. Rühler

**DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA SOBREPASO**

- A : vehículo que se adelanta
- B : vehículo que es sobrepasado
- c : vehículo que circula en sentido contrario
- v : velocidades
- : trayectoria de los vehículos



Se adjunta una tabla resumen donde se observan los valores obtenidos para cada curva en particular con los datos más importantes.

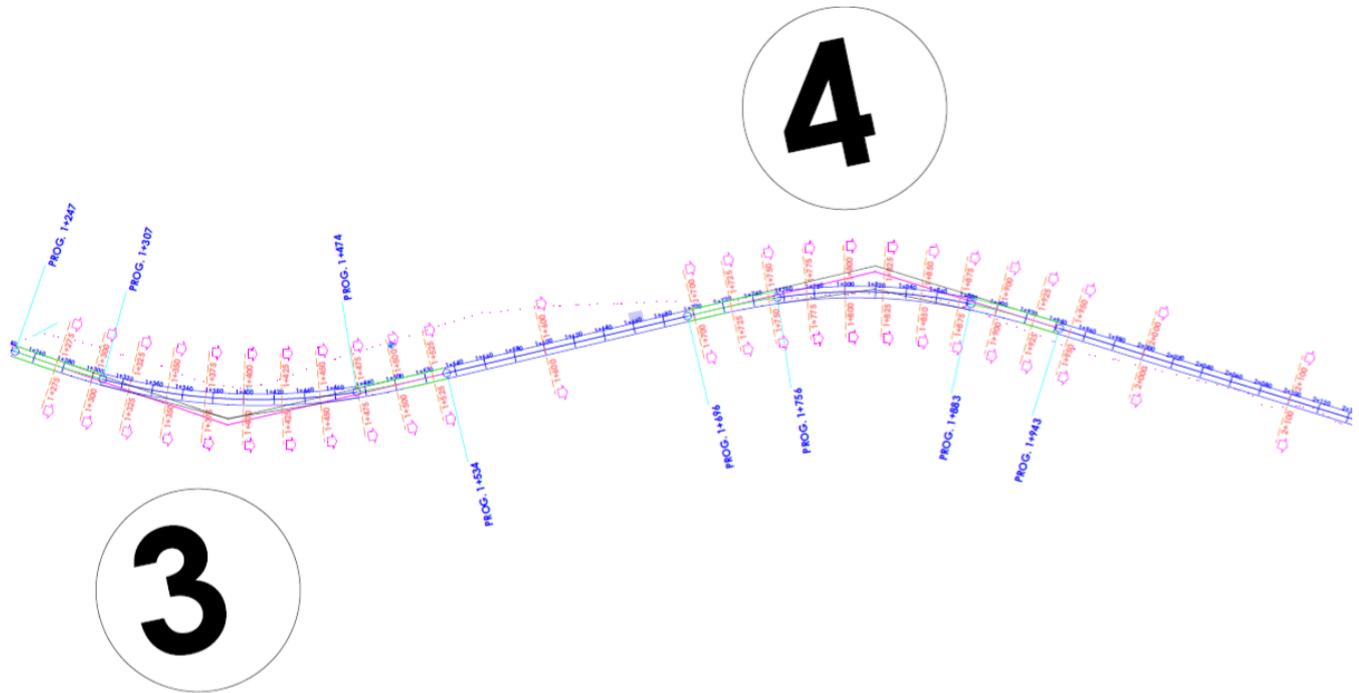
CURVAS HORIZONTALES									
Rc adoptado	Peralte adoptado	Le	Lc	DS	Prog. TE	Prog EC	Prog CE	Prog ET	S
120	8,00%	80	230,13	390,13	47,35	127,35	357,48	437,48	1,13
150	7,60%	60	100,4	220,4	441,51	501,51	601,91	661,91	0,9
400	4,60%	60	162,91	282,91	1265,88	1325,88	1488,79	1548,79	0,45
350	5,00%	60	127,28	247,28	1717,63	1777,63	1904,91	1964,91	0,49
400	4,60%	60	114,38	234,38	2525,22	2585,22	2699,5	2759,5	0,45
600	3,400	60	252,47	372,47	3320,34	3380,34	3632,81	3692,81	0,35
200	6,80%	60	104,22	224,22	4247,15	4307,15	4411,37	4471,37	0,73
300	5,60%	60	220,99	340,99	4541,18	4601,18	4822,17	4882,17	0,55

Como se puede observar en la tabla resumen de las curvas horizontales, el peralte mínimo obtenido en el diseño de la ruta es del 3,4% y el peralte máximo del 8% cumpliendo con lo reglamentación de la norma Rühler. En el plano de peraltes se puede observar la transición de los mismos y en los perfiles transversales las inclinaciones mencionadas.

**Transición del peralte**

El peralte es la pendiente transversal que se da en las curvas a la calzada de una carretera, con el fin de compensar parte de la fuerza centrífuga que se genera cuando el vehículo circula por la misma.

En el siguiente grafico se observa la transición que sigue el peralte en las curvas horizontales, designando como P al peralte adoptado en cada curva TE a la tangente espiral, EC a la espiral curva, CE a curva espiral y ET espiral tangente.



17	-2%	-2%
16	-2%	ET2 0%
15	-2%	+2%
14	-4,6%	CE2 +4,60%
13	-4,6%	+4,60%
12	-4,6%	EC2 +4,60%
11	-2%	+2%
10	-2%	TE2 0%
9	-2%	-2%

9	-2%	-2%
8	0%	ET1 -2%
7	+2%	-2%
6	+5%	CE1 -5%
5	+5%	-5%
4	+5%	EC1 -5%
3	+2%	-2%
2	0%	TE1 -2%
1	-2%	-2%

### iii. Altimetría:

Se define la **altimetría** (también llamada **hipsometría**) como “la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o “cota” de cada punto respecto de un plano de referencia. Con la altimetría se consigue representar el relieve del terreno”.

Para obtener un cambio gradual entre dos rasantes rectilíneas contiguas de diferente pendiente, es necesario introducir entre ellas una **curva vertical**. El diseño de las curvas verticales, deberá permitir que se cumplan las siguientes condiciones: seguridad para el tránsito, comodidad para los ocupantes del vehículo, una apariencia estética de la rasante y un drenaje de la superficie adecuado.

#### Curvas Verticales:

Para el diseño del alineamiento vertical se realizó el trazado de la rasante, que es el conjunto de segmentos, rectos o curvos, que definen el trazado en alzado de una carretera teniendo en consideración seguir la pendiente del terreno y a su vez teniendo en cuenta:

- No superar la pendiente establecida para su diseño 7% ( en caso de superarse, no superar un tramo de longitud de 4000m)
- Minimizar el movimiento de tierra

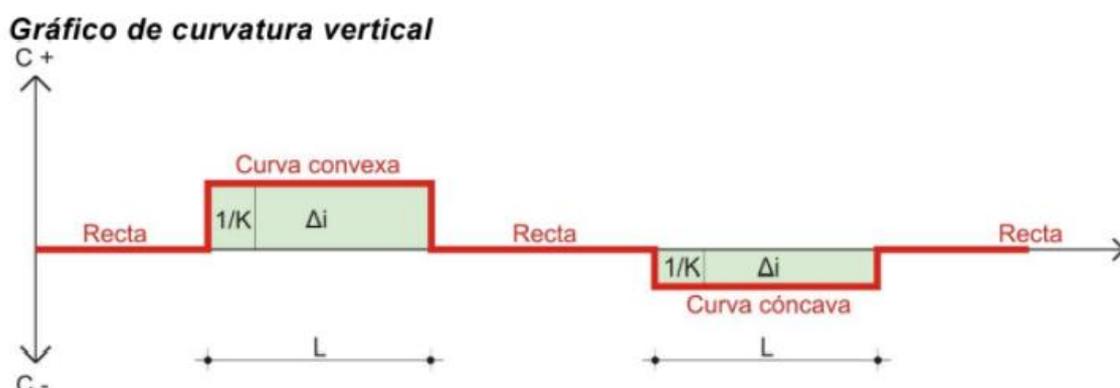
En una curva vertical tipo los parámetros  $i_1$ ,  $i_2$  son las pendientes de la misma. Así mismo  $P_c$  es el principio de curva y  $F_c$  el fin de curva.

Para el cálculo necesitamos los siguientes datos:

- Pendientes  $i_1$ ,  $i_2$
- Velocidad directriz
- Altura del conductor sentado en el vehículo ( $h_1$ )
- Altura de un obstáculo ( $h_2$ )
- Tiempo de recepción ( $t$ )
- Coeficiente de roce ( $f$ ) que depende de la velocidad, neumáticos, entre otros.

En este proyecto se calcularon 15 curvas verticales, esto fue el resultado de la traza definitiva, la cual se ajusta de manera correcta y eficiente al proyecto.

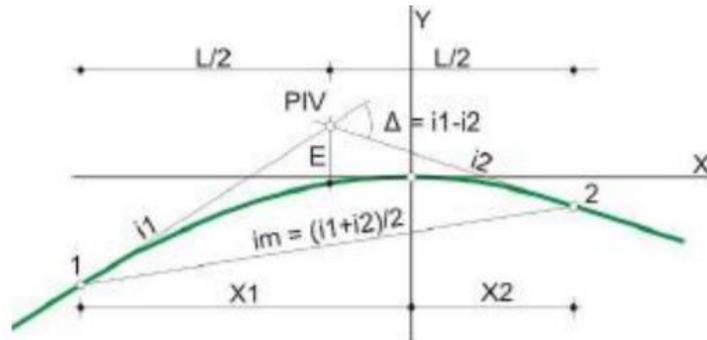
Las curvas verticales son cóncavas o convexas y para cada una de ellas existe un tipo de ecuación para poder obtener la longitud mínima de la misma. En nuestro proyecto se obtuvieron un total de 8 curvas convexas y 7 cóncavas. A continuación, se expresan ambos casos:



Curvas convexas:  $L_{min} = \frac{Dd^2 * (i1 - i2)}{430}$

Curvas concavas:  $L_{min} = \frac{Dd^2 * (i2 - i1)}{3,5 * Dd + 130}$

Para poder realizar un análisis correcto de curvas verticales, como primera instancia definiremos el **parámetro básico P (m)**. Este se define como el “parámetro o radio del círculo oscilador en el vértice de una parábola de eje vertical que proporciona como mínimo la distancia visual hasta pendiente media  $\pm 2\%$ , necesaria para esa velocidad, cualquiera que sea la diferencia algebraica de pendientes.”



**ESQUEMA TEORICO DE CURVAS VERTICALES**

El parámetro K se define como la distancia horizontal requerida para obtener una variación de pendiente del 1%. Numéricamente equivale a  $P(m)/100$  y podemos expresar a la longitud horizontal de la curva vertical L como:

$$L(m) = P(m) * \Delta i(\%)$$

Donde:

L: Long. De curva vertical

P(m): Parámetro (m)

$\Delta$ : Diferencia algebraica de pendientes

Dicho parámetro (P) se determina tanto para las curvas cóncavas y convexas que permita cumplir simultáneamente las cuatro condiciones impuestas:

- Seguridad para el tránsito (tanto para operaciones diurnas como nocturnas).
- Comodidad para los ocupantes de los vehículos.
- Apariencia estética de la rasante.
- Y drenaje superficial adecuado.

Los criterios de comodidad de viajeros y drenaje superficial generan parámetros superiores a los dos primeros, por lo tanto, se verifican solo los dos primeros criterios.

Para determinar la altura del objeto, según DNV – Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial, las operaciones se clasifican en dos: diurnas y nocturnas.

- Para el cálculo de **curvas verticales convexas** se adopta la operación diurna, por ser más desfavorable.

- **Operación diurna**

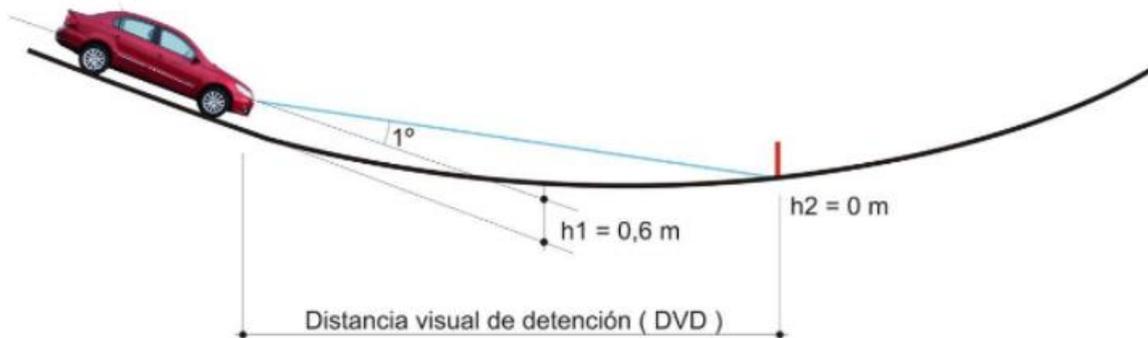


Para el caso de estudio se empleó una diferencia algebraica constante de 2 %, obteniéndose los resultados presentados en la siguiente tabla:

VD	DNV 2015	
	pminabs (	L CONVEXA
30	161	30
40	359	40
50	716	50
60	1254	60
70	2130	70
80	3351	80
90	5081	102
100	7483	150
110	10277	206
120	14445	289

- Para el caso de **curvas verticales cóncavas**, la visibilidad en operación nocturna es más desfavorable que en operación diurna por ser la altura de los faros delanteros menor que la altura de los ojos.

- **Operación nocturna**



Así mismo, las curvas verticales cóncavas suelen ser más pequeñas que las curvas verticales convexas. Esta diferencia se incrementa a medida que aumenta la velocidad directriz. Tomando el mismo procedimiento de

cálculo como metodología de análisis se obtienen los valores de longitud de curva y sus parámetros en función de distintas velocidades directrices:

DNV 2015		
VD	pminabs )	L CONCAVA
30	400	30
40	705	40
50	1142	50
60	1656	60
70	2317	70
80	3057	80
90	3913	90
100	4897	100
110	5865	117
120	7094	142
130	8482	170
140	10044	201

A modo de ejemplo, a continuación, se desarrolla el cálculo de una curva vertical convexa, la misma hace referencia a la primera curva vertical del proyecto según se puede observar en el Perfil longitudinal de la carretera (pág. 38).

Procedimiento para el cálculo de curvas verticales

Una vez obtenida la Dd (distancia de detención) por medio de la Planilla 2 del Ing. Ruhle para una velocidad directriz de 60 km/h, procedimos a calcular la longitud de la curva vertical.

$$Dd = 72,87 \text{ m}$$

**EJEMPLO CALCULO CURVA VERTICAL N° 1 (CONVEXA)**

1. Calculo del ángulo  $\alpha$  y de la pendiente i

$$tg \alpha_1 = \frac{h}{d} = \frac{0.17}{40} = 0$$

$$i_1 (\%) = \frac{h}{d} * 100 = -0,43$$

$$tg \alpha_2 = \frac{h}{d} = \frac{80.23}{1128.59} = 0,07$$

$$i_2 (\%) = \frac{h}{d} * 100 = -7,11$$

2. Ecuación de la parábola

La curva que se utiliza es una parábola porque es la que asegura que la “variación de la pendiente” es una constante.

$$y = \frac{i2 - i1}{200L} * X^2 + \frac{i1}{100} * X = -0,84$$

3. Longitud mínima de la curva

$$L_{min} = \frac{Dd^2 * (i1 - i2)}{430} = \frac{72,87^2 * (-5,64 + 6,58)}{430} = 82,54 \text{ m}$$

Donde:  $Dd = d1 + d2$

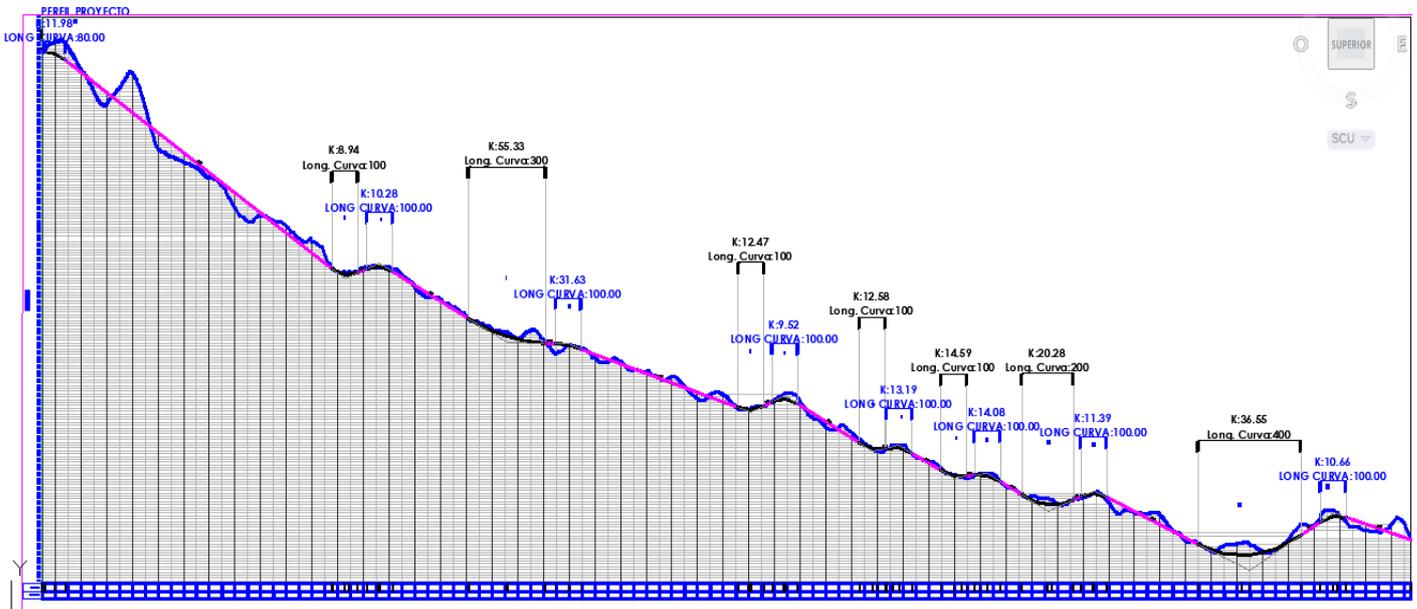
Se adopta una longitud de curva de manera que  $L > L_{min}$

$$L = 100$$

4. Calculo del parámetro

$$P = \frac{100 * L}{i2 - i1} = \frac{100 * 100}{-7,11 + 0,43} = 1497 \text{ m} > P_{min} = 1254 \text{ m} \rightarrow \text{Verifica}$$

En el plano de Altimetría adjunto se muestra el perfil longitudinal de la carretera y la rasante. Para lo cual tuvimos que realizar 15 curvas verticales, como se mencionó anteriormente, de esta manera la traza definitiva se ajustó de manera correcta y eficiente al proyecto. El cálculo de las curvas restantes se encuentra en **Anexo VI**.



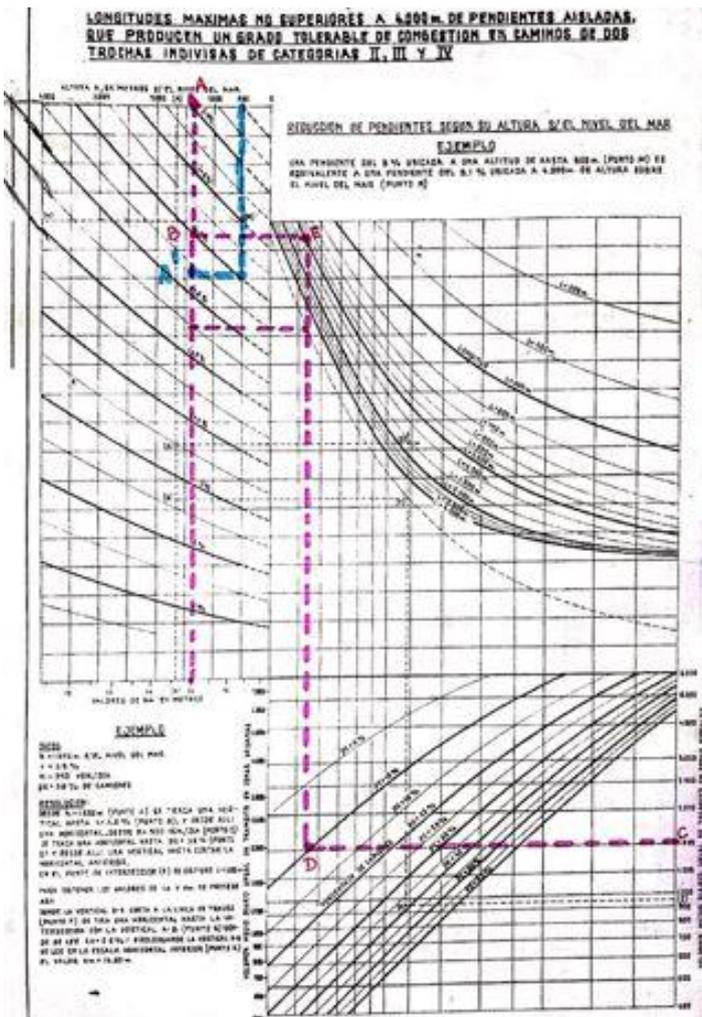
**PERFIL LONGITUDINAL DE LA CARRETERA**

En la siguiente tabla resumen se puede observar los resultados obtenidos en las curvas verticales:

N°	Curva	Curvas Verticales									
		Vértice		Pendientes		L min	L	Pc	Fc	P min	P
		Progresiva	Cota	i1(%)	i2(%)						
1	Convexa	49,75	1438,01	-0,43	-7,11	60	80	9,75	89,75	1254	1497,00
2	Concava	1178,44	1357,78	-7,11	4,07	60	100	1128,44	1228,44	1656	2463,21
3	Convexa	1313,28	1363,27	4,07	-5,65	60	100	1263,28	1363,28	1254	1773,14
4	Concava	1809,15	1335,24	-5,65	-0,23	60	300	1659,15	1959,15	1656	130183,44
5	Convexa	2047,83	1334,69	-0,23	-3,39	60	100	1997,83	2097,83	1254	2947,82
6	Concava	2758,9	1310,57	-3,39	4,63	60	100	2708,9	2808,9	1656	2161,98
7	Convexa	2890,79	1316,68	4,63	-5,87	60	100	2840,79	2940,79	1254	1706,94
8	Concava	3229,89	1296,76	-5,87	2,08	60	100	3179,89	3279,89	1656	4802,22
9	Convexa	3334,93	1298,95	2,08	-5,5	60	100	3284,93	3384,93	1254	1820,38
10	Concava	3547,67	1287,25	-5,5	1,35	60	100	3497,67	3597,67	1656	7417,43
11	Convexa	3678,12	1289,01	1,35	-5,75	60	100	3628,12	3728,12	1254	1740,73
12	Concava	3913,11	1275,5	-5,75	4,11	60	200	3813,11	4013,11	1656	4867,89
13	Convexa	4092,28	1282,87	4,11	-4,67	60	100	4042,28	4142,28	1254	2147,47
14	Concava	4698,85	1254,57	-4,67	6,28	60	400	4498,85	4898,85	1656	6377,06
15	Convexa	5024,32	1275	6,28	-3,11	60	100	4824,32	5224,32	1254	3209,16

Como se puede observar en la tabla adjunta, se cumplen en todas las curvas verticales la condición tanto de Parámetro mínimo como de Longitud mínima. Dichos valores fueron preestablecidos en los cuadros adjuntos en la **pág. 37 y 38**.

**Pendiente máxima:**



En general, la influencia de las pendientes, con relación a la circulación de vehículos aislados, se hace sentir mucho más fuertemente sobre la velocidad de camiones que sobre automóviles. Según la Planilla 1 del Ing. Rhule (**pág. 22**) la pendiente recomendada a nivel del mar para este tipo de caminos es del 7%. La misma fue corregida obteniendo un valor del 6,5% debido a que la ruta en cuestión ubicada en la Provincia de Salta se encuentra a una altura de 1421 msnm. Es evidente que el valor de pendiente corregida será menor al recomendado para una altura al nivel del mar, bajo el concepto de la disminución de potencia de los motores en altura.

En el grafico se muestra cómo se disminuye la pendiente por altura sobre el nivel del mar.

Primeramente, con la línea discontinua azul, vemos como una pendiente del 8% a una altura de 500msnm es equivalente a una pendiente de 6,5% a una altura de 1400msnm (Punto A').

Con línea de trazo magenta, se realizó la verificación de las longitudes máximas de pendientes, que producen un grado de congestión tolerable en un camino de dos trochas indivisas. Según cuadro resumen de curvas verticales, en el tramo que se supera dicha pendiente máxima de 6,5 % a 7,11 %,

por poseer una longitud menor a 4000m metros es aceptable dicho valor, no generando problemas para el tránsito. En el resto de los tramos se verifica y cumple tanto con la pendiente como su longitud de desarrollo, por lo que los camiones no generaran la velocidad de gateo, ni formación de colas. Por ello no es necesario el análisis de un tercer carril para el tránsito pesado ascendente.

iv. Secciones transversales:

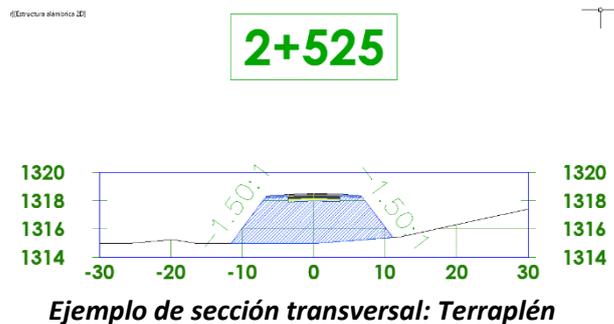
Una vez obtenido el perfil longitudinal del terreno, procedimos a realizar los perfiles transversales de la ruta en cuestión. Una vez obtenidas las secciones transversales a lo largo de los 6 km, vimos que el movimiento de suelo resultaba exagerado, lo cual nos llevó a realizar un proceso iterativo, modificando la rasante, las curvas horizontales, verticales, y demás parámetros para poder así obtener la traza definitiva, con un movimiento de suelo aceptable. Las secciones transversales finales, se realizaron cada 25m en curvas horizontales, cada 100 en tramos rectos entre curvas. Con esto se obtuvieron más de 130 secciones transversales a lo largo de toda la ruta, lo que nos permitió realizar un cómputo de movimiento de suelo más exacto, ya que al tener secciones cada menos distancia se obtiene un movimiento de suelo más acorde con el que se realizara en la realidad.

Consideramos un ancho de calzada de 3,65m para cada carril, una banquina de 3m en cada extremo y un terraplén en 1:1.5 y un desmorte en 1.1. Estos taludes fueron propuestos, de recorrer la traza y ver los cortes existentes, medimos los taludes existentes los cuales se veían estables, al no presentar signos de erosión, ni desmoronamiento, y se medían taludes del orden del 1:1.5.

Al trabajar con estos taludes, en secciones donde el terraplén posea una altura mayor a 2,00m se deberá colocar barandas metálicas, denominadas flex-beam, como una medida de seguridad, con el objetivo de absorber los impactos de los vehículos en caso de un accidente, preservando la vida de las personas y minimizando los daños al permitir la reinscripción de los vehículos a la vía. En otros casos, donde la altura del terraplén es menor a 2,00m, no es necesario colocar flex-beam.

Como se puede observar en las secciones transversales y en la planilla de movimiento de suelo, predomina el terraplén en los siguientes tramos:

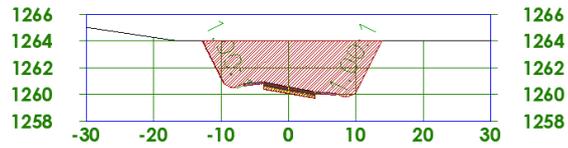
- Progresiva 200 a 300
- Progresiva 400 a 550
- Progresiva 600 a 900
- Progresiva 1400 a 1600
- Progresiva 4350 a 4500



Y en los tramos en los que predomina el desmorte son:

- Progresiva 0 a 100
- Progresiva 300 a 375
- Progresiva 1800 a 1900
- Progresiva 4600 a 5000

4+600



**Ejemplo de sección transversal: Desmonte**

En los tramos que restan el movimiento de suelo es muy pequeño, ya sea terraplén o desmonte, y en varios de los tramos tenemos terraplén hacia un lado y desmonte hacia el otro.

## v. Diagrama de Bruckner

El diagrama de Bruckner nos sirve para la compensación de volúmenes de suelo y la determinación de distancia de transporte.

Este diagrama se constituye a partir de la planilla de movimiento de suelo. Utilizando la primera columna de progresiva y la última columna de volumen acumulado. En el eje de las abscisas, se grafica las progresivas en hectómetro y en el eje de las ordenadas, los metros cubico de volumen acumulado.

Se adjunta el diagrama de Bruckner con la planilla de movimiento de suelos completa en el **(Anexo VII)**.

Computo Movimiento de Suelos PROYECTO						
Progresiva	Area de Terraplen	Area Excavacion	Volumen Terraplen	Volumen Excavacion	Acumulado Terraplen m3	Acumulado Excavacion m3
5+000	0	25,82	0	5868,13	105489,11	105451,43
5+100	60,92	0	3046,1	1290,78	108535,21	106742,21
5+200	0	39,48	3046,1	1974,13	111581,3	108716,34
5+300	64,19	0	3209,48	1974,13	114790,79	110690,46

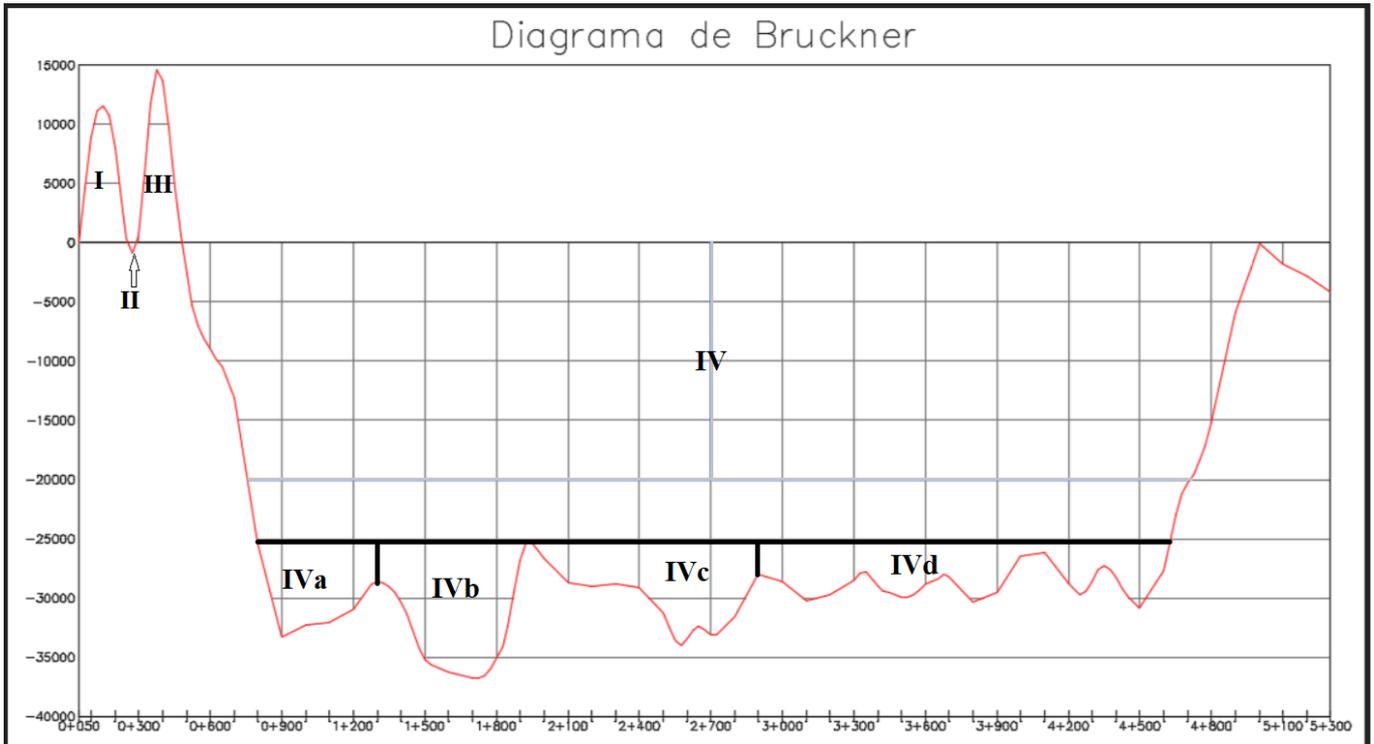
Se puede observar parte de la planilla tipo que se utilizó para el cálculo de movimiento de suelos con las ultimas 4 progresivas cada 100 m. De la 5+000 a 5+300. Se adjuntó esta parte de planilla para poder observar la diferencia entre el volumen de terraplén acumulado y el volumen de excavación acumulado. Esto nos dio como resultado un volumen de terraplén no compensado de 5000 m<sup>3</sup>. Se analizaron distintas alternativas para obtener este suelo faltante, como se puede observar en el diagrama de Bruckner adjunto (al final) no es posible obtener este suelo en algún tramo anterior sobre la rasante ya que se van compensando en todos ellos el terraplén y la excavación según sea el caso. Por lo que se optó en extraer el suelo de dos fincas aledañas a la ruta ubicadas en las progresivas 5+040 y 5+195. Esto se realizó con el consentimiento de los dueños de fincas, los cuales recibirán como intercambio la construcción de una represa para riego, considerando que en esta zona existe un problema grande de agua. Las dimensiones de la represa serán de 75 m de largo, 55 m de ancho y 5 m de profundidad. Con ello se obtendrá el suelo necesario faltante y así se favorecerán ambas partes tanto para solucionar el problema del agua para riego como para poder agilizar y economizar la construcción de la carretera ya que el suelo que se necesita se deberá extraer de la misma zona y por ende la distancia de transporte es corta.

Prácticamente en todos los terrenos, al ser excavados para efectuar su expansión; sufren un cierto aumento de su volumen. Este incremento de volumen, expresado en porcentaje del volumen in situ, se llama esponjamiento. Si el material se emplea como relleno puede, en general, recuperar su volumen e incluso puede reducirse.

A fines de la elaboración de la planilla de movimiento de suelos, no se consideró esponjamiento. Es por esto que tiene el valor de 1.

En cada cámara que se forma hay una compensación en el movimiento de suelo, donde la curva ascendente es excavación y la curva descendente es terraplén. Una vez obtenida toda la tabla del movimiento de suelo se realizó el diagrama de Bruckner.

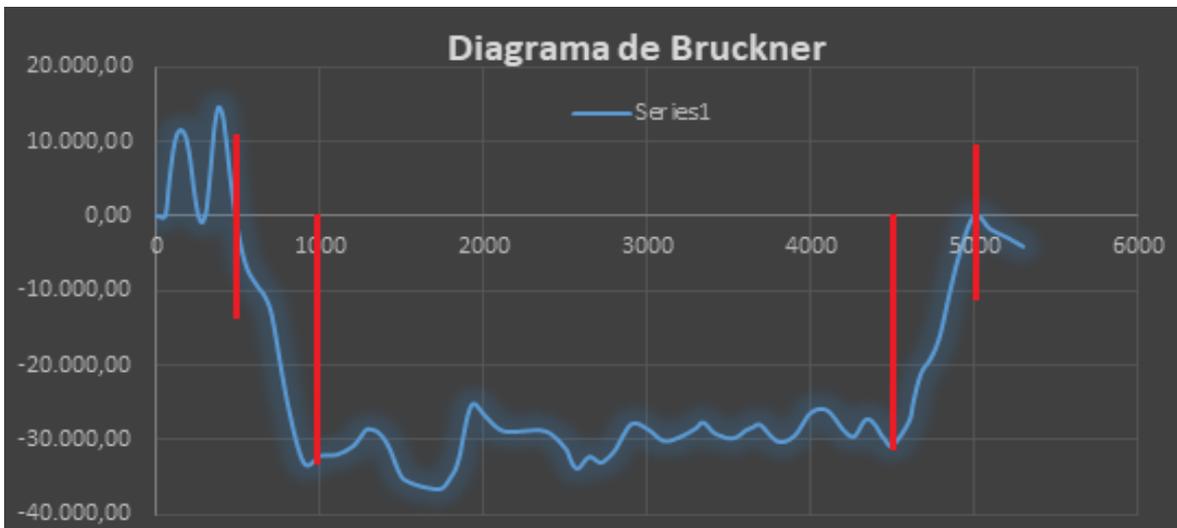
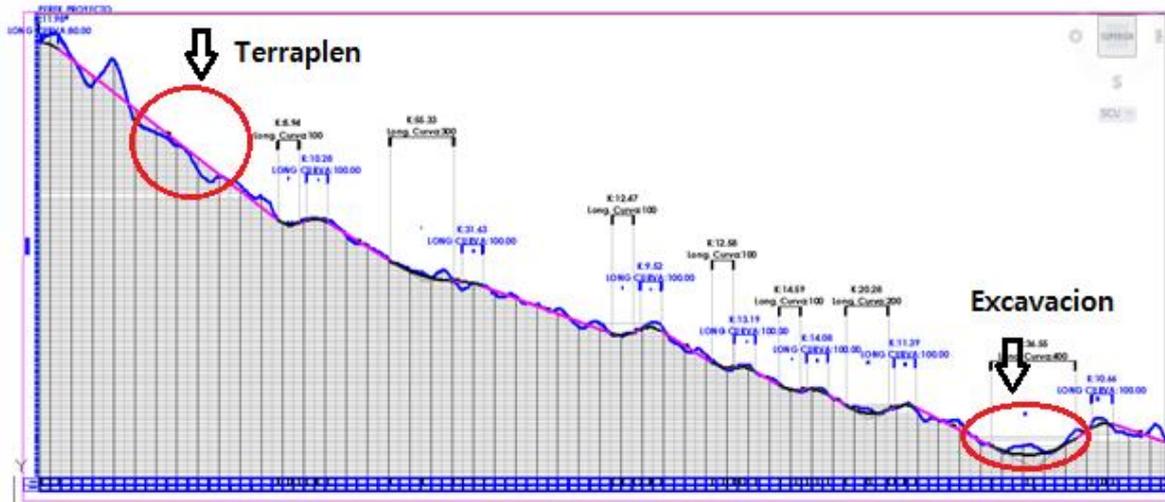
En nuestro caso dividimos dicho diagrama en 4 cámaras.



Esc V =	1 cm : 10 m3
Esc H =	1cm: 1m = 0,01 Hm

Los resultados obtenidos tanto del momento de transporte y la distancia media de transporte se adjuntan en la siguiente tabla:

CAMARA	I	II	III	IV			
				IVa	IVb	IVc	Ivd
Superficie [cm2]	73505,52	739,49	76316,66	527676,62			
				142482,76	251004,49	224816,33	294534,05
Momento de transporte [Hm.m3]	7350,55	73,95	7631,67	52767,66			
				14248,28	25100,45	22481,63	29453,41
Volumen [m3]	11581,27	875,92	14652,60	25338,33			
				7934,75	11406,52	8640,98	5535,79
Distancia media de transporte [Hm]	0,63	0,08	0,52	2,08			
				1,80	2,20	2,60	5,32



Según se pueden observar en las imágenes adjuntas correspondientes al perfil longitudinal del proyecto y al diagrama de Bruckner respectivamente, existen dos tramos en los que la compensación requiere de un gran movimiento de suelo. Estos se demarcan en las imágenes y corresponden a las progresivas 0+500 a 1+000, tramo en el que crece el volumen acumulado por terraplén y de la progresiva 4+500 a 5+000, tramo que corresponde a la excavación por existencia de un cerro. Este último volumen de suelo acumulado compensará el primer tramo mencionado, por lo que el movimiento de transporte se deberá realizar de adelante para atrás, cortando en primera instancia el gran cerro existente para poder llevar y terraplenar la otra zona.

Para calcular el momento de transporte en el resto de las cámaras, las cuales no presentan mayores complicaciones, se determina el área de  $Hm^3$  de cada cámara. El volumen en cada cámara es la ordenada correspondiente a la parte más baja o más alta de dicha cámara. Y finalmente para calcular nuestra distancia de media de transporte se dividirá el momento de transporte sobre el volumen de la cámara.

## **CAPITULO 6: ESTUDIO DE SUELOS**

El estudio de suelo juega un papel fundamental al momento de proyectar una carretera. Estos datos son fundamentales al momento de desarrollar el proyecto en el cual venimos trabajando. No solo se tuvo en cuenta, a la hora de diseñar, las características del suelo, sino que también el comportamiento climático de la zona ya que en invierno no se generan mayores problemas, pero si en verano que es cuando se producen las mayores precipitaciones del año.

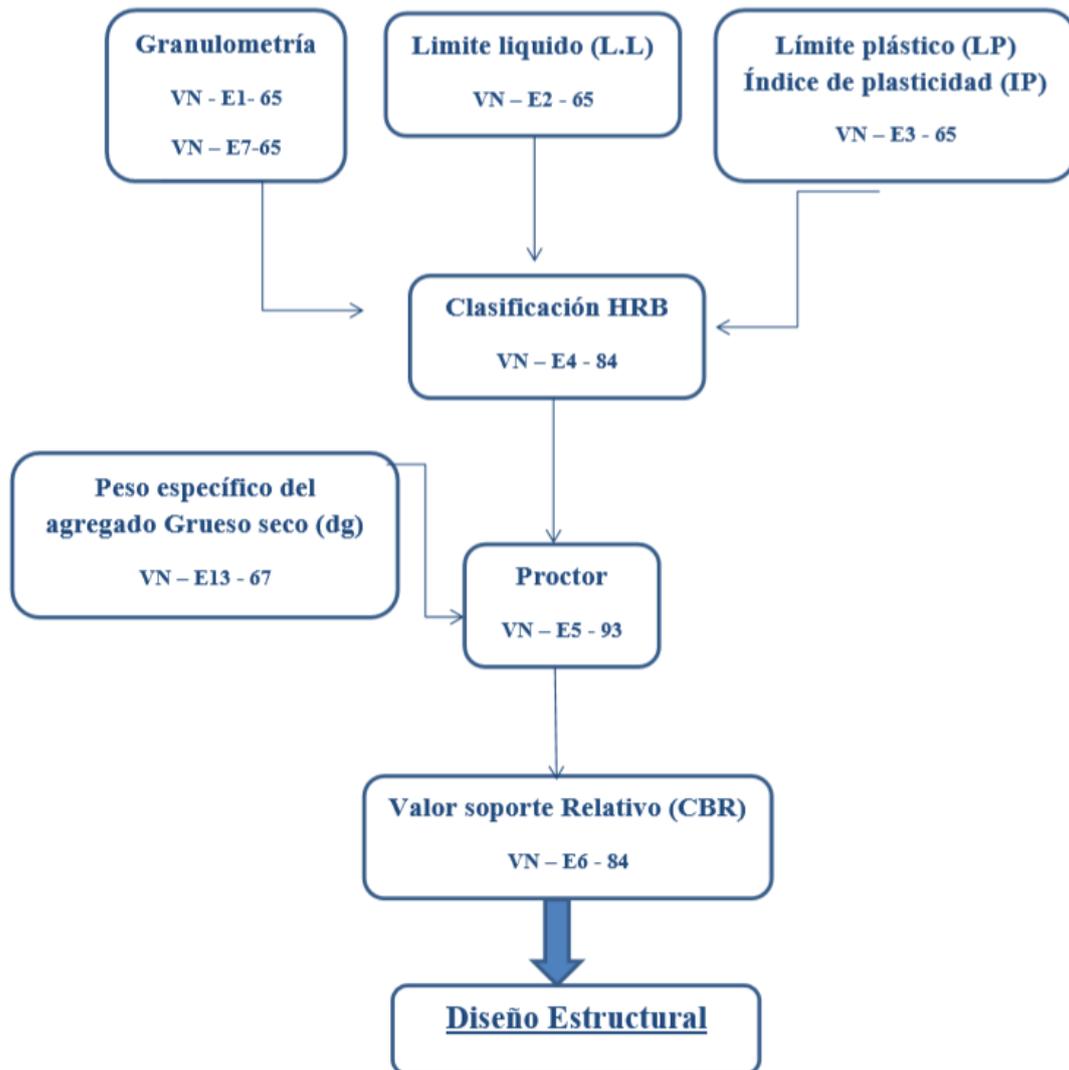
La obtención de muestras del suelo, que serán utilizadas para luego ser ensayadas, es uno de los pasos más importantes, requiere de conocimiento del suelo, experiencia y criterio del proyectista para saber cada cuanto se van a tomar o donde se deben realizar las calicatas. Además, se debe tener sumo cuidado, ya que, si la muestra tomada no fue cuidadosamente realizada y cuidada hasta llevarse al laboratorio, estas pueden dar una idea falsa del terreno, lo cual puede llegar a ser muy perjudicial.

En este proyecto, realizado en el año 2020-2021, nos encontramos atravesando una gran pandemia, a causa de un virus, la cual complico de manera crucial el poder llevar a cabo las tareas y trabajos de campos que se requieren para poder realizar este proyecto, como ya se mencionó antes, se buscó la manera de realizarlo de todas maneras con las herramientas que tuvimos a disposición y gracias al gran avance de la tecnología.

Los ensayos del suelo necesarios para poder hacer un correcto análisis del suelo, fueron extraídos del proyecto de grado “Ruta Provincial N°11 – La Caldera” elaborado el año 2017 en la Universidad Católica de Salta. Estos resultados, fueron obtenidos de ensayos realizados sobre la misma Ruta provincial en un tramo anterior, por lo cual se acercan bastante a la realidad. Si bien esto no es lo correcto, nos vemos obligados a continuar el diseño con los datos que se han podido obtener del suelo.

Los estudios que se hicieron para la obtención del tipo de suelo fueron los siguientes:

- a. VN-E7-65 GRANULOMETRIA (análisis mecánico de materiales granulares)
- b. VN-E2-65 LIMITE LIQUIDO
- c. VN-E3-65 LIMITE PLASTICO
- d. VN-E4-84 CLASIFICACION DE LOS SUELOS
- e. VN-E5-93 COMPACTACION DE SUELO
- f. VN-E6-84 DETERMINACION DEL VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO DE SUELO



Se realizó el procedimiento esquematizado para poder clasificar el tipo de suelo que se encuentra en el terreno.

**NOTA:** Todos los ensayos fueron realizados en el Proyecto de grado "Ruta Provincial N°11 – La Caldera", tramo anterior al nuestro, excepto por la determinación granulométrica del suelo que se lo realizó en los laboratorios de Vialidad de la Provincia.

"Se armó un anexo de Normas de Ensayo, con todos los necesarios para poder seguir el procedimiento esquematizado en la figura anterior" **Anexo VIII**"

### i. Granulometría del Material:

Consiste en determinar el tamaño de las partículas y el porcentaje con que entra en la formación de la masa de suelo en peso. Los 3 parámetros fundamentales que se tuvieron en cuenta fueron: forma de las partículas, dureza de las partículas y granulometría.

Para determinar el tamaño de las partículas se lo hace de una forma indirecta mediante cribas o tamices. En este proyecto se utilizaron tamices y se siguió la norma VN-E7-65 (**Anexo VIII**).

Para la obtención de la muestra en la carretera se tomó una calicata en una zona que se consideró representativa del suelo. Así mismo se buscó un lugar seguro para no perjudicar el tránsito sobre la misma.

La calicata tomada fue a una profundidad de 0,50 m.



Dicha muestra fue ensayada en el laboratorio de Vialidad de la Provincia. El peso humedototal de la muestra fue de 7132 g.



Los resultados obtenidos se adjuntan en la siguiente tabla:

RUTA PROVINCIAL 11		GRANULOMETRIA			
POZO	1	PESO TOTAL		7132 g	
TAMIZ	ABERTURA mm	RETIENE	% RET	PASANTE	% PAS
1 1/2	38,1	103,7	1,45	6480,2	90,86
1	25,4	288	4,04	6097,5	85,49
3/4	18,1	338	4,74	5759,5	80,76
1/2	12,7	413	5,79	5346,5	74,96
3/8	9,52	230,3	3,23	5116,2	71,74
4	4,76	437	6,13	4679,22	65,61
10	2	115,05	1,61	4564,17	64,00
40	0,42	230,1	3,23	4334,07	60,77
200	0,074	760,51	10,66	3573,56	50,11

Se toma una porción del peso humedo para determinar su peso seco:

5180 g	100%
500,9 g	9,67%
P. Seco =	4679,2 g

Factor para determinar el Retenido en tamices 10 - 40 - 200:

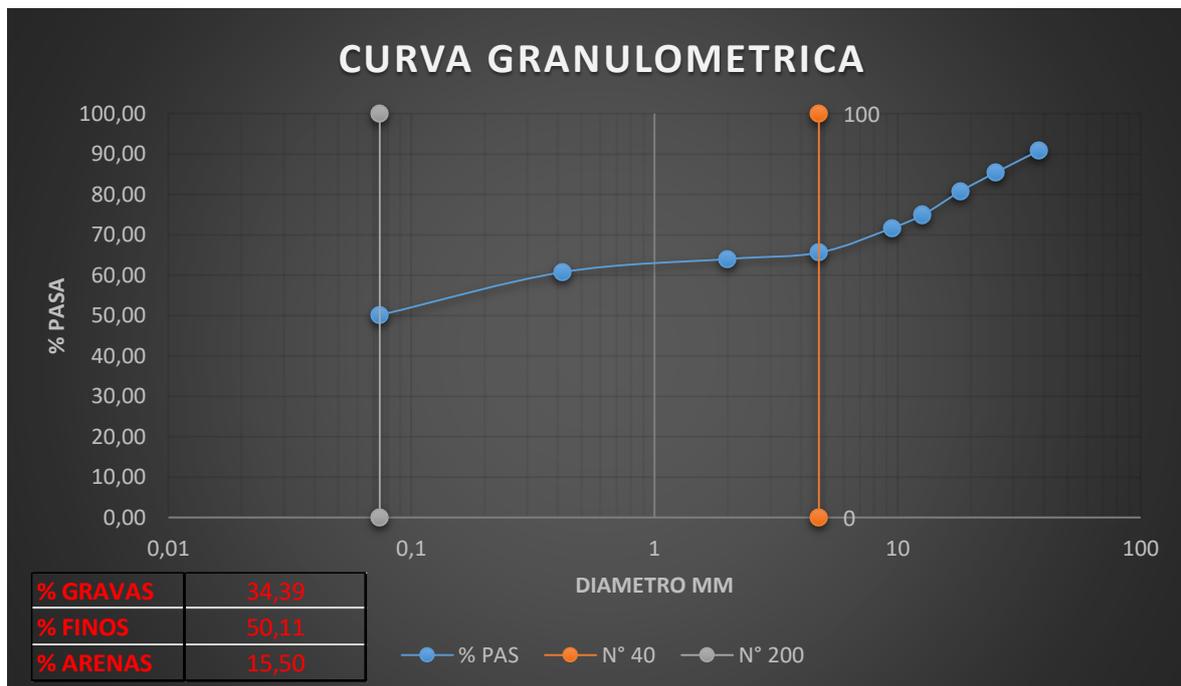
500 g	100%
48,35 g	9,67%

f =  $\frac{4679,2}{500 - 48,35} = 10,36$

Ph =	500 g
Ps =	455,9 g

$$\%H = \frac{(Ph - Ps) * 100}{Ps} = \frac{44,1 * 100}{455,9} = 9,67\%$$

$$\frac{Ph * 100}{\%H + 100} = \frac{5180 * 100}{9,67 + 100} = 4723,26$$



Según se puede observar, de los datos extraídos del ensayo de laboratorio, más del 50 % de la muestra corresponde a suelos finos. Y al ser estos de un diámetro entre 0,02 – 0,06 mm. Corresponde clasificarlo como suelo limoso.

ii. Constantes físicas de los suelos:

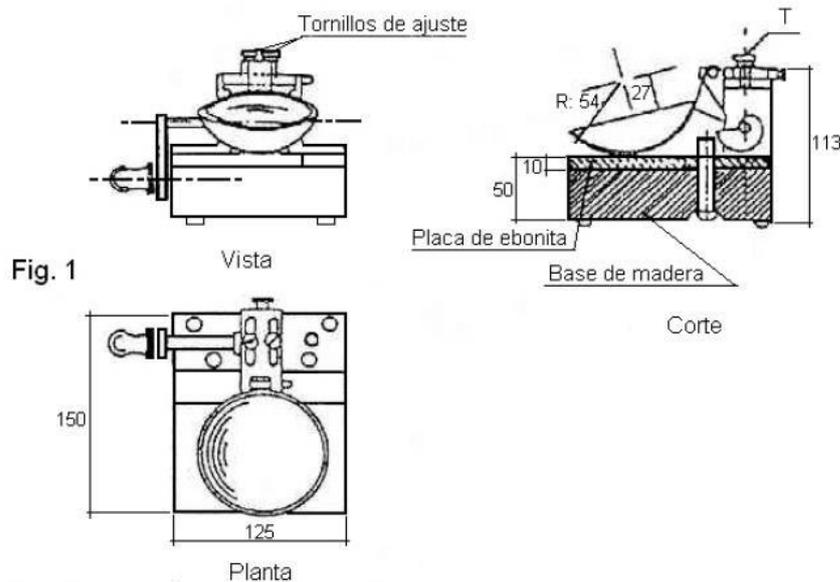
Las constantes físicas de los suelos (también llamadas Límite de Consistencia o Límite de Atterberg) son porcentajes de humedad a partir de los cuales el suelo cambia su comportamiento mecánico. Las constantes físicas que se determinaron en el laboratorio para poder realizar la clasificación del suelo fueron:

- Límite Líquido (LL): Es el porcentaje de humedad necesario para que un suelo pase de estado líquido a estado plástico. Previamente el suelo se encontraba en un estado líquido y el mismo comienza a perder humedad, hasta llegado el momento en el que el suelo mantiene su forma, pero se lo puede moldear sin que se rompa.
- Límite Plástico (LP): Es el porcentaje de humedad necesario para que un suelo pase de un estado plástico a un estado sólido. El suelo sigue perdiendo humedad hasta que al pretender modelarlo se rompe o se desmenuza.
- Índice plástico (IP): Nos indica la humedad necesaria para que el suelo se mantenga en un estado plástico y se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Para determinar el Límite Líquido se siguieron las indicaciones del ensayo VN – E2 – 65 (**Anexo VIII**), en el cual se utiliza el aparato de Casa Grande (cápsula de bronce que gira alrededor de un punto y tiene una manivela).

APARATO SEMIAUTOMATICO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO



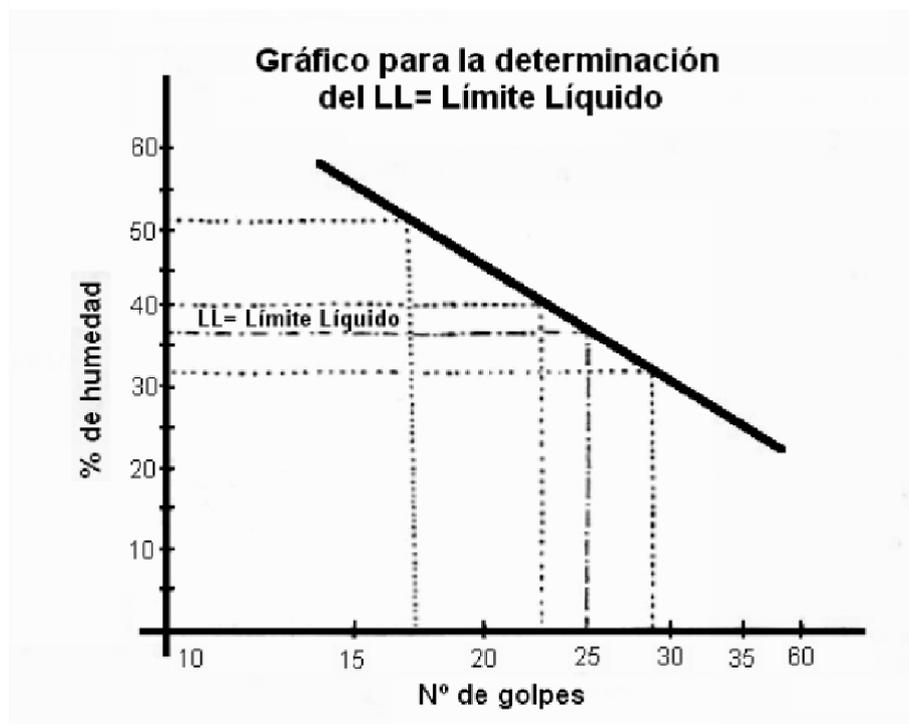
Se tomaron 50 gramos del pasante del tamiz N°40. Se mezcló y se agregó agua en una cápsula de porcelana. Se pasó una porción a la capsula de bronce y se realizó una muestra con el acanalador. Se acciono la manivela levantando y dejando caer la capsula de bronce hasta que las dos partes del suelo separadas por el acanalador se juntaron en una longitud de 1cm. Con este ensayo determinamos el número de golpes (N) necesarios para que se una la muestra. “N” debe estar comprendido entre 20 y 30 golpes, ya que el límite líquido corresponde a un N = 25 golpes.



Se tomó una porción de la muestra y se colocó en el pesa filtro, llevándola a la balanza obtuvimos el peso húmedo (Ph). Luego se llevó a estufa y se determinó el peso seco (Ps). Con los mismos se pudo obtener el porcentaje de humedad (H%) y una vez obtenido el mismo se determinó el límite líquido (L.L).

$$H(\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps - Pf} * 100$$

$$LL(\%) = \frac{H(\%)}{1,419 - 0,3 \log N}$$



Para determinar el Límite Plástico se siguieron las indicaciones del ensayo VN – E3 – 65 (**Anexo VIII**), se tomaron 20 gramos de muestra aproximadamente, y se la humedeció con agua potable. Se la hizo rodar con la palma de la mano sobre una superficie lisa no absorbente hasta formar cilindros de 3 mm de diámetro hasta que al llegar a dicho tamaño aparecieron las primeras fisuras superficiales. Se tomó la muestra y se la colocó en el pesa filtro y con la misma al pesarla se determinó el peso húmedo (Ph). Se secó en estufa y se determinó el peso seco (Ps). Luego con la siguiente fórmula se pudo calcular el límite plástico.

$$LP = \frac{Ph - Ps}{Ps - Pf} * 100$$

Una vez obtenido el límite plástico y el límite líquido se calculó el índice de plasticidad y se pudo clasificar el suelo, según la clasificación H.R.B (VN-E4-84 – **Anexo VIII**).

*“El sistema de clasificación de suelos del H.R.B\*, para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio, fueron agrupados en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7.*

*Los suelos de cada grupo tienen, dentro de ciertos límites, características en común. A menudo, dentro de cada grupo hay una amplia variación en las capacidades portantes, cuyos valores pueden ser comunes a distintos grupos.*

*La calidad de los suelos, para ser utilizados en subrasantes, va disminuyendo desde el A-1 al A-7, que es el más pobre.*

*En los últimos años, estos siete grupos básicos de suelos, fueron divididos en subgrupos y se ideó el índice de grupo, para diferenciar aproximadamente algunos suelos dentro de cada grupo. Los índices de grupo, aumentan su valor con la disminución de la condición del suelo para constituir subrasantes. El crecimiento del índice de grupo, en cada grupo básico de suelos, refleja los efectos combinados de los crecimientos del límite líquido e índice de plasticidad, y el decrecimiento de los materiales gruesos en detrimento de la capacidad portante de las subrasantes”.*

Por lo tanto, se puede definir al índice de grupo como un número adimensional, que permite determinar a priori la calidad del suelo desde el punto de vista vial. El mismo se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ig = (F - 35) (0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15) (IP - 10)$$

Por otra parte, la clasificación de suelos comprende dos grandes conjuntos, el de los materiales granulares con 35 % o menos pasando el tamiz IRAM 75 micrómetro (Nº 200) y el de los materiales limo-arcillosos, conteniendo más del 35 % que pasa al tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

En la siguiente tabla resumen se representan los resultados obtenidos de todos los ensayos mencionados anteriormente de los 2 pozos y sus distintas profundidades. Como se puede observar los ensayos se realizaron para profundidades de 0.80 m y 1.20 m ya que una vez retirado el manto vegetal, el suelo a una profundidad de 0.60 m era prácticamente igual que 0.80 m.

**CLASIFICACION DE SUELOS**

RUTA PROV Nº 11 (LaCalderilla)

SALTA 18/05/2017

PROFUNDIDAD : (MTS)		POZO 1_0,80		POZO 1_1,20		POZO 2_0,80		POZO 2_1,20	
Tamices y Aberturas en ( mm )		PESOS	(%)	PESOS	(%)	PESOS	(%)	PESOS	(%)
		(grs)		(grs)		(grs)		(grs)	
2 1/2"	RETIENE	0		0		0		0	
53,8	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
2"	RETIENE	0		0		0		0	
50,8	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
1 1/2"	RETIENE	0		0		0		0	
38,1	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
1"	RETIENE	0		0		0		0	
25,4	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
3/4"	RETIENE	0		0		0		0	
18,1	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
3/8"	RETIENE	0		0		0		0	
9,83	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
Nº 4	RETIENE	0		0		0		0	
4,76	PASA	300	100,0	300	100,0	200	100,0	200	100,0
Cuarteo sobre			300		300		200		200
Factor			1,00		1,00		1,00		1,00
Nº 10	RETIENE	1,4		3,0		0,0		0,0	
2,00	PASA	299	99,5	297	99,0	200	100,0	200	100,0
Nº 40	RETIENE	10,5		7,0		2,2		2,3	
0,42	PASA	288	96,0	290	96,7	198	98,9	198	98,9
Nº 200	RETIENE	58,1		34,8		72,0		64,0	
0,074	PASA	230	76,7	255	85,1	126	62,9	134	66,9
PESO SECO INICIAL ( grs )			300		300		200		200
		LL	LP	LL	LP	LL	LP	LL	LP
PESA FILTRO Nº		16	17	17	16	12	13	12	13
P.F. + S.H = (a) grs		62,3	49,5	45,9	56,8	71,3	49,3	72,9	51,8
P.F. + S.S. = (b) grs		57,2	47,4	43,2	54,2	66	48,2	66,5	50,2
TARA PESA FILTRO = (c) grs		41	36,2	36,2	41,0	44,3	40,9	44,3	40,9
AGUA = (a-b) = (d) grs		5,1	2,1	2,7	2,6	5,3	1,1	6,4	1,6
SUELO SECO = (b-c) = (e) grs		16,2	11,2	7	13,2	22	7,3	22,2	9,3
% DE HUMEDAD = (d/e) * 100 = (f)		31,5		38,6		24,4		28,8	
Nº DE GOLPES		22		20		28		26	
FACTOR = K		1,017		1,029		0,985		0,995	
LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO		31,0	18,8	37,5	19,7	24,8	15,1	29,0	17,2
INDICE PLASTICO = ( LL - LP )			12,2		17,8		9,7		11,8
CLASIFICACION SEGUN H.R.B			A 6-9		A 6-10		A 4-6		A 6-7

Se puede observar que el tipo de suelo obtenido en los dos pozos y en los dos estratos representa a suelos finos. Los cuales generalmente son resultado de mezclas de arena, limos y arcilla.

Para el primer pozo se obtuvo un tipo de suelo A6, se denomina areno-arcilloso. Es una mezcla de arena y arcilla. Este tipo de suelo es regular para subrasante, por lo tanto, más adelante se analizarán la posibilidad de realizar la subrasante con material del camino o bien hacer un cambio de suelo.

Para el segundo pozo se obtuvo un tipo de suelo A4 y A6. El suelo A4 se denomina areno-limoso y es bueno para la subrasante. Por lo tanto, en el caso de utilizar el material del lugar para realizar la subrasante deberíamos utilizar este tipo de suelo.

Una vez determinado el tipo de suelo, se determinó el peso específico del agregado grueso seco (dg) con la norma VN – E13 – 67 (**Anexo VIII**) y se procedió a determinar el contenido de humedad óptima del suelo y la densidad seca máxima a través de la teoría de compactación (Ensayo Proctor).

### iii. Teoría de Compactación:

En 1933, Proctor utilizó cuatro variables para estudiar la compactación: peso unitario seco, contenido de humedad del suelo, energía de compactación y tipo de suelo. Determino que al compactar un suelo se tiene las siguientes ventajas:

- Se establece un contacto más firme entre las partículas.
- Las partículas de menor tamaño, pasan a ocupar los vacíos dejados por las partículas de mayor tamaño. Por lo tanto, la capacidad de absorber agua en un suelo quedará reducida por el efecto de la compactación.
- Cuando un suelo se compacta aumenta su valor soporte y se hace más estable.

Proctor elaboró un método de laboratorio que produce las condiciones de campo y que permite predecir dentro de ciertos límites las condiciones de compactación de un suelo dado.

Cuando se compacta un suelo bajo condiciones de humedad y se relaciona las densidades secas con la cantidad de humedad respectiva, se obtiene la curva de compactación. El máximo en dicha curva de compactación define en abscisas el porcentaje óptimo de contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca máxima (Ds).

En la rama seca a medida que aumenta el contenido de humedad también lo hace la densidad seca del suelo, esto se debe a que a medida que se aumenta agua al suelo la resistencia disminuye y las partículas se reubican haciendo más compacta la masa de suelo y disminuyendo los espacios vacíos entre las partículas y mermando por consiguiente la capacidad de absorber agua.

Si se incrementa aún más el contenido de humedad (Rama Humedad) el agua ya no tiene más espacios vacíos para ocupar, comienza a separar las partículas (HINCHAMIENTO). Si la humedad se sigue incrementando, llegará el momento en el que el suelo se satura y ya no hay más disminución de los vacíos y por lo tanto ya no hay más compactación.

En el laboratorio se realizó el ensayo de Próctor siguiendo con la norma VN-E5-93 (**Anexo VIII**), se realizó el ensayo varias veces con distintos contenidos de humedad para poder trazar adecuadamente la curva y determinar la densidad seca máxima. Para realizar el ensayo proctor se utilizó la siguiente tabla y se determinó la energía de compactación con la fórmula:

$$Ec = \frac{P * h * N * n}{Vol}$$

Siendo el cociente el volumen interno del molde.

Para determinar la densidad húmeda y la densidad seca se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$Dh = \frac{Ph - Pm}{V}$$

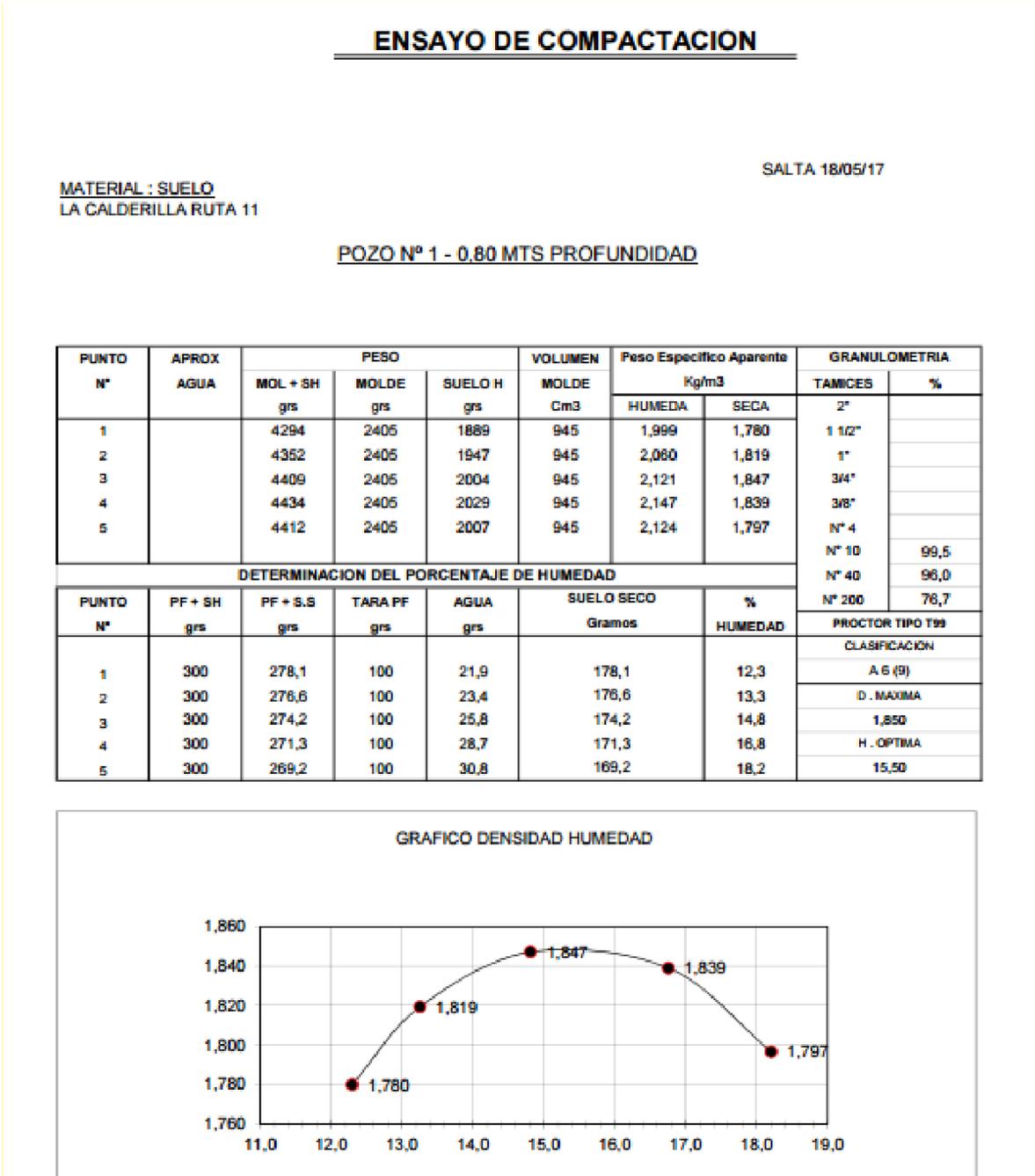
$$Ds = \frac{Dh * 100}{100 + H\%}$$

Donde:

Ph: peso del molde con el material compactado húmedo Pm: peso del molde

H%: porcentaje de humedad

En las siguientes tablas se observan los resultados obtenidos para cada pozo, en cada profundidad, con sus curvas respectivamente:



Pozo 1: 0.80 m. Suelo A6 (9)

D max: 1.85

H. óptima: 15.5

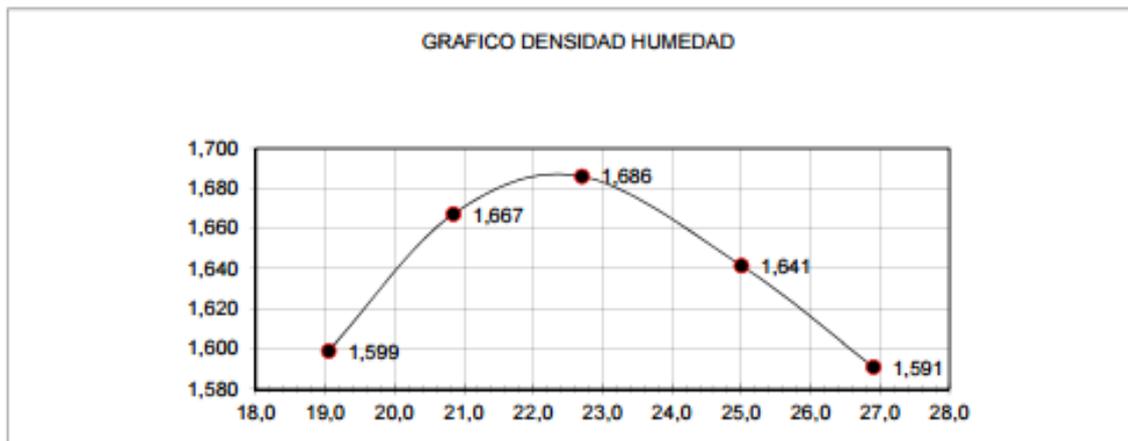
**ENSAYO DE COMPACTACION**

SALTA 18/05/17

MATERIAL : SUELO  
LA CALDERILLA RUTA 11

**POZO Nº 1 - 1,20 MTS PROFUNDIDAD**

PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA	
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO H grs		HUMEDA	SECA	TAMICES	%
1		4204	2405	1799	945	1,904	1,599	2"	
2		4309	2405	1904	945	2,015	1,667	1 1/2"	
3		4360	2405	1955	945	2,069	1,686	1"	
4		4344	2405	1939	945	2,052	1,641	3/4"	
5		4313	2405	1908	945	2,019	1,591	3/8"	
<b>DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>									
PUNTO N°	PF + SH grs	PF + S.S grs	TARA PF grs	AGUA grs	SUELO SECO Gramos	% HUMEDAD	PROCTOR TIPO T99		
1	300	268	100	32	168,0	19,0	CLASIFICACION		
2	300	265,5	100	34,5	165,5	20,8	A 6 (10)		
3	300	263	100	37	163,0	22,7	D . MAXIMA		
4	300	260	100	40	160,0	25,0	1,687		
5	300	257,6	100	42,4	157,6	26,9	H . OPTIMA		
							22,50		



Pozo 1: 1.20 m. Suelo A6 (10)

D max: 1.687

H. óptima: 22.50

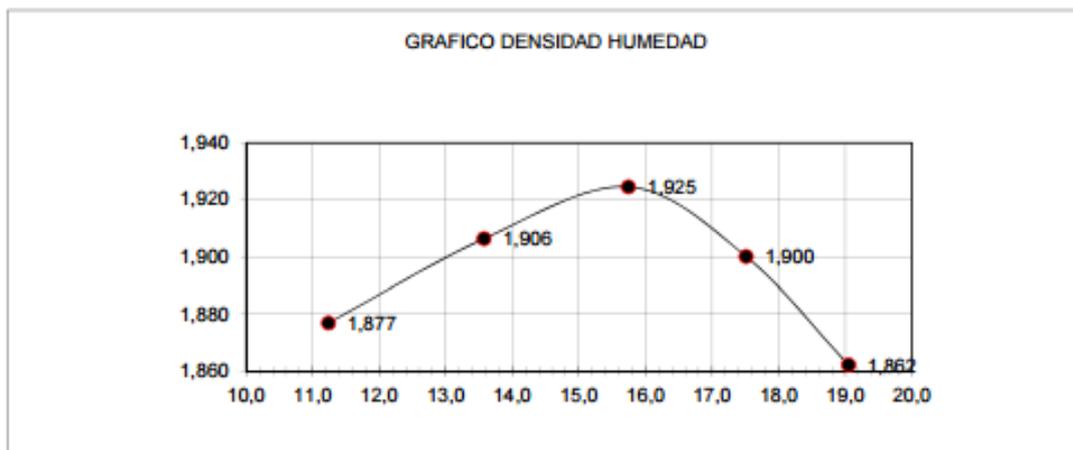
**ENSAYO DE COMPACTACION**

SALTA 19/05/17

MATERIAL : SUELO  
LA CALDERILLA RUTA 11

POZO N° 2 - 0.80 MTS PROFUNDIDAD

PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA	
		MOL + SH	MOLDE	SUELO H		HUMEDA	SECA	TAMICES	%
		grs	grs	grs					
1		4378	2405	1973	945	2,088	1,877	2"	
2		4451	2405	2046	945	2,165	1,906	1 1/2"	
3		4510	2405	2105	945	2,228	1,925	1"	
4		4515	2405	2110	945	2,233	1,900	3/4"	
5		4500	2405	2095	945	2,217	1,862	3/8"	
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD									
PUNTO N°	PF + SH	PF + S.S	TARA PF	AGUA	SUELO SECO Gramos	%		PROCTOR TIPO T99	
	grs	grs	grs	grs		HUMEDAD			
1	300	279,8	100	20,2	179,8	11,2		CLASIFICACION	
2	300	276,1	100	23,9	176,1	13,6		A 4 (5)	
3	300	272,8	100	27,2	172,8	15,7		D . MAXIMA	
4	300	270,2	100	29,8	170,2	17,5		1,925	
5	300	268	100	32	168,0	19,0		H . OPTIMA	
								15,50	



Pozo 2: 0.80 m. Suelo A4 (6)

D max: 1.925

H. óptima: 15.50

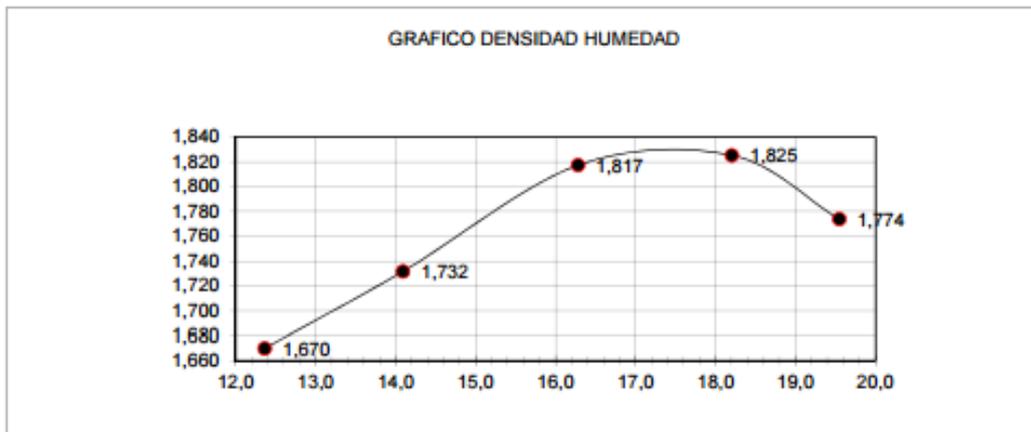
**ENSAYO DE COMPACTACION**

SALTA 22/05/17

**MATERIAL : SUELO**  
LA CALDERILLA RUTA 11

**POZO Nº 2 - 1,20 MTS PROFUNDIDAD**

PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA	
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO H grs		HUMEDA	SECA	TAMICES	%
1		4178	2405	1773	945	1,876	1,670	2"	
2		4272	2405	1867	945	1,976	1,732	1 1/2"	
3		4402	2405	1997	945	2,113	1,817	1"	
4		4444	2405	2039	945	2,158	1,825	3/4"	
5		4409	2405	2004	945	2,121	1,774	3/8"	
<b>DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>									
PUNTO N°	PF + SH grs	PF + S.S grs	TARA PF grs	AGUA grs	SUELO SECO Gramos	% HUMEDAD			
1	300	278	100	22	178,0	12,4			
2	300	275,3	100	24,7	175,3	14,1			
3	300	272	100	28	172,0	16,3			
4	300	269,2	100	30,8	169,2	18,2			
5	300	267,3	100	32,7	167,3	19,5			
							<b>PROCTOR TIPO T99</b>		
							<b>CLASIFICACION</b>		
							A 6 (7)		
							D . MAXIMA		
							1,830		
							H . OPTIMA		
							17,50		



Pozo 2: 1.20 m. Suelo A6 (7)

D max: 1.83

H. óptima: 17.50

Una vez determinada la densidad máxima y la humedad óptima, se realizó el ensayo CBR, para poder obtener el valor soporte del suelo relativo y con dicho valor poder realizar el Diseño estructural, es decir dimensionar los espesores del paquete estructural.

iv. CBR (California Bearing Ratio):

El CBR o VSR (valor soporte del suelo relativo): de un suelo es la resistencia que ofrece al punzonado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas.

Se lo expresa como porcentaje de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón (piedra partida)

Al realizar este ensayo también se determinó el hinchamiento del suelo, definiéndolo al mismo como el aumento porcentual de altura referido a la altura inicial que experimenta una probeta de suelo cuando la humedad del mismo aumenta por inmersión desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del periodo de inmersión.

Existen cuatro posibles variantes de este ensayo:

1. Método estático a carga fija preestablecida.
2. Método estático a densidad prefijada.
3. Método dinámico simplificado.
4. Método dinámico completo

En este proyecto por simplificación, se utilizó la variable 3. “Método dinámico simplificado”, para poder realizar el ensayo se procedió a seguir los pasos de la norma VN – E6 – 84 (**Anexo VIII**).

Para cada pozo y cada altura se realizó el ensayo CBR, según las densidades e humedades óptimas obtenidas del ensayo de Proctor.

Las siguientes tablas expresan los resultados obtenidos durante el ensayo y sus gráficos respectivamente:

## ENSAYO VALOR SOPORTE

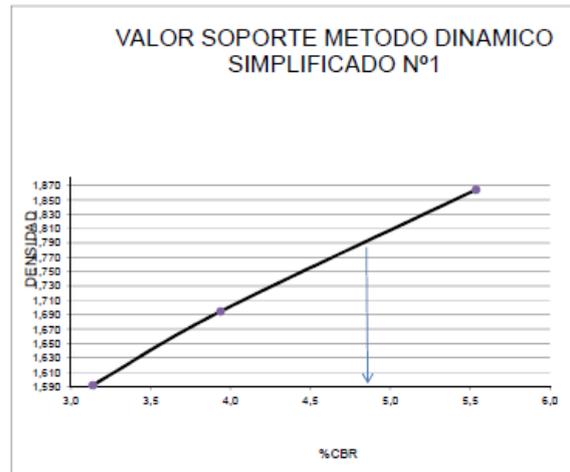
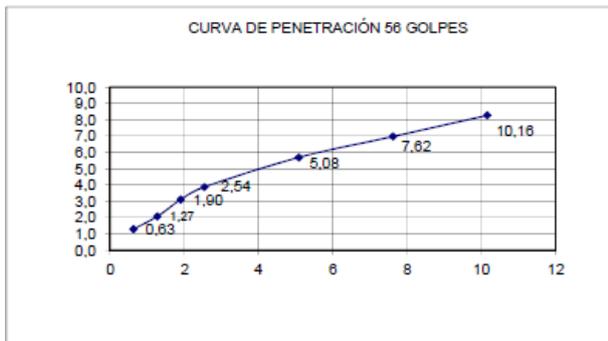
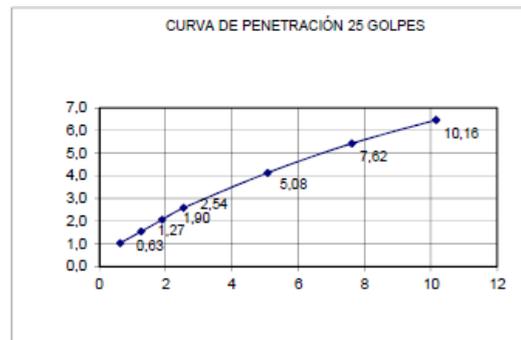
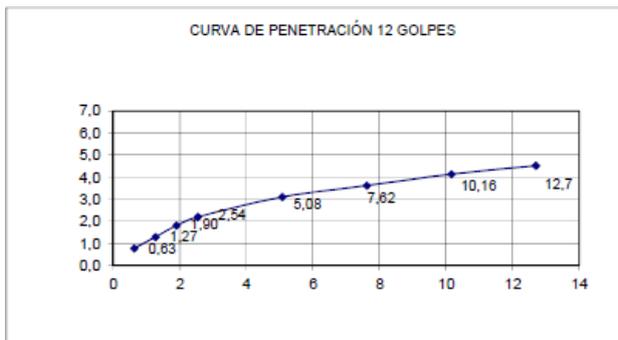
MATERIAL: SUELO ( Ruta 11. La Calderilla)  
EXTRACCION POZO Nº 1 - 0,80 MTS PROFUNDIDAD

18/05/2017

Aro de: 1000 kg.	Sobrecarga	Altura probeta: 11,66	PROCTOR
Factor: 5,000 Kg/Div.	Hinchamiento: 10lb	11,66	D. MAX. Tn /m3 1,850
Defi. Max. 2,00 mm.	Penetración: 10lb	11,66	% H. O. 15,5

Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Densidad húmeda	Densidad seca	Lectura Hinchamiento	Hinchamiento %
12	6	8715	12501	3788	2059	15,5	1,839	1,592	0,70	0,60%
25	7	8725	12800	4075	2082	15,5	1,957	1,695	0,50	0,43%
56	8	8510	12885	4375	2032	15,5	2,153	1,864	0,35	0,30%

Penetración [mm] Standart kg/cm <sup>2</sup>		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S adoptado
6	Nº molde	3	5	7	8,5	12	14	16	17,5	3,1
	Nº de golpes	12	25	35	43	60	70	80	88	
	Lectura dial	0,8	1,3	1,8	2,2	3,1	3,6	4,1	4,5	
	Carga total									
7	Nº molde	4	6	8	10	16	21	25	29	3,9
	Nº de golpes	20	30	40	50	80	105	125	145	
	Lectura dial	1,0	1,6	2,1	2,6	4,1	5,4	6,5	7,5	
	Carga total									
8	Nº molde	5	8	12	15	22	27	32	36	5,5
	Nº de golpes	25	40	60	75	110	135	160	180	
	Lectura dial	1,3	2,1	3,1	3,9	5,7	7,0	8,3	9,3	
	Carga total									



	12	25	56	97%Dmax
DENSIDAD	1,592	1,695	1,864	1,795
CBR(%)	3,1	3,9	5,5	4,8

**ENSAYO VALOR SOPORTE**

MATERIAL: SUELO ( Ruta 11, La Calderilla)

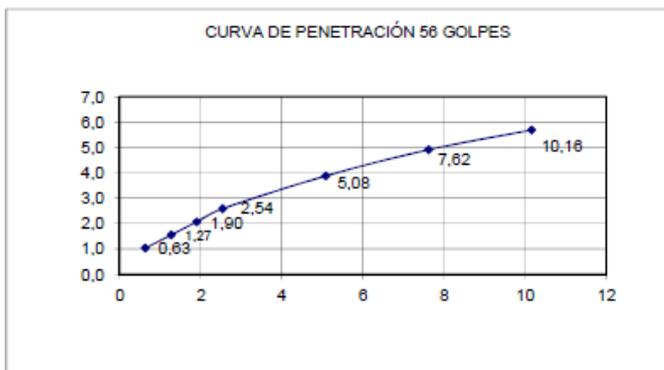
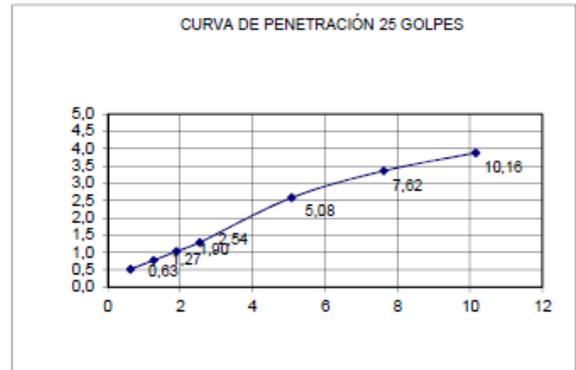
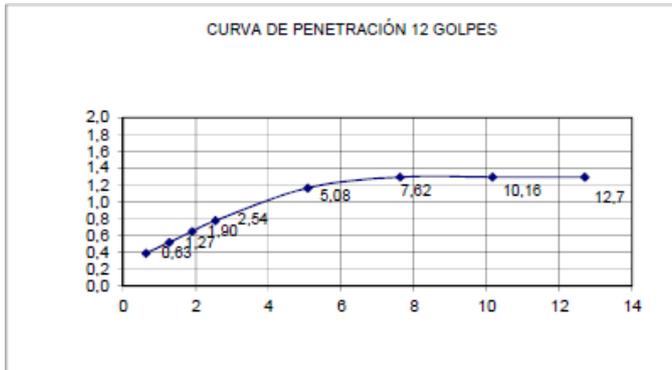
EXTRACCION POZO Nº 1 - 1,20 MTS PROFUNDIDAD

23/05/2017

Aro de:	1000	kg.	Sobrecarga		Altura probeta	11,66	11,66	11,66	PROCTO
Factor:	5,000	Kg/Div.	Hinchamiento	Penetración				D. MAX. Tn /m3	
Defl. Max.:	2,00	mm.	10lb	10lb				% H. O.	

Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Densidad húmeda	Densidad seca	Lectura Hinchamiento	Hinchamiento %
12	3	8745	12505	3760	1988	22,5	1,891	1,544	0,00	0,00
25	4	8745	12812	4067	2032	22,5	2,001	1,634	0,00	0,00
56	5	8480	12700	4220	2006	22,5	2,104	1,717	2,90	0,02

Penetración [mm]		Standart kg/cm <sup>2</sup>		V.S adoptado								
Nº molde	Nº de golpes	Lectura dial	1,5	2	2,5	3	4,5	5	5	5	5	
3	12	Carga total	8	10	13	15	23	25	25	25	25	
		Car.tot./19,36cm <sup>2</sup>	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	
		Carga correg.										
		% Standart				1,1	1,1	1,0	0,8	0,7		
4	25	Lectura dial	2	3	4	5	10	13	15	16		
		Carga total	10	15	20	25	50	65	75	80		
		Car.tot./19,36cm <sup>2</sup>	0,5	0,8	1,0	1,3	2,6	3,4	3,9	4,1		
		Carga correg.										
% Standart				1,8	2,5	2,5	2,4	2,3				
5	56	Lectura dial	4	6	8	10	15	19	22	25		
		Carga total	20	30	40	50	75	95	110	125		
		Car.tot./19,36cm <sup>2</sup>	1,0	1,6	2,1	2,6	3,9	4,9	5,7	6,5		
		Carga correg.										
% Standart				3,7	3,7	3,7	3,5	3,5				



	12	25	56	97%Dmax
DENSIDAD	1,544	1,634	1,717	1,636
CBR(%)	1,1	2,5	3,7	2,5

**ENSAYO VALOR SOPORTE**

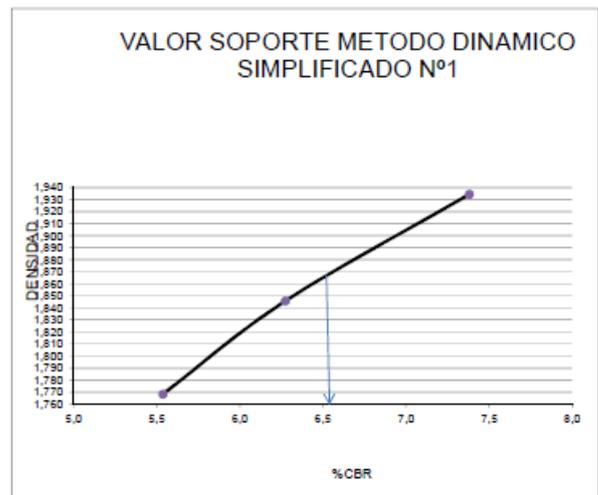
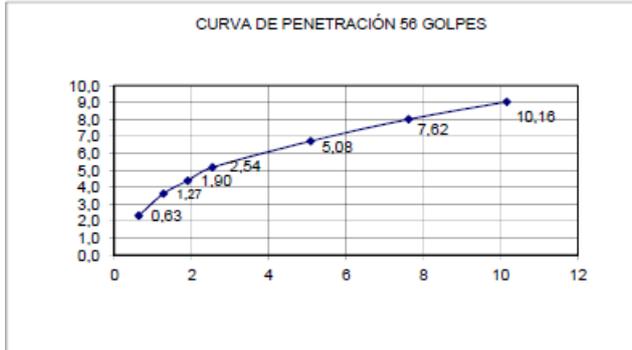
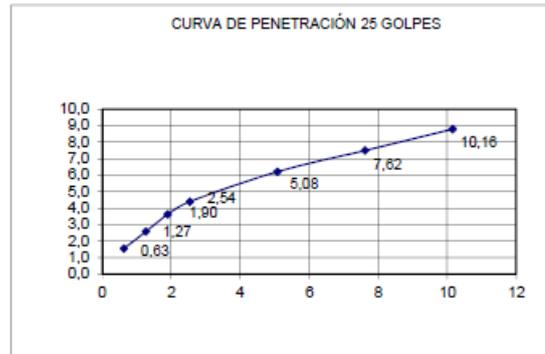
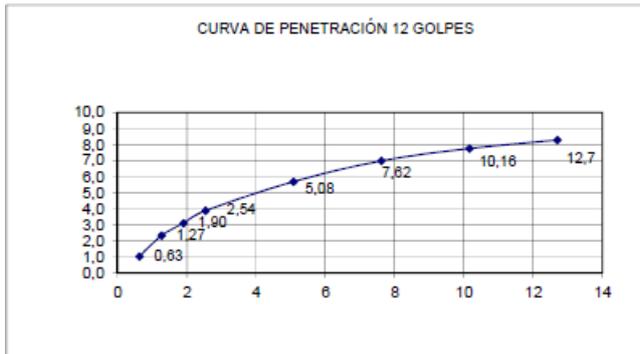
MATERIAL: SUELO ( Ruta 11. La Calderilla)  
EXTRACCION POZO Nº 2 - 0,80 MTS PROFUNDIDAD

29/05/2017

Aro de: 1000 kg.		Sobrecarga		Altura probeta	11,66	11,66	11,66	PROCTOR	
Factor:	5,000 Kg/Div.	Hinchamiento	Penetración					D. MAX. Tn/m <sup>3</sup>	1,925
Defl. Max.	2,00 mm.	10lb	10lb					% H. O.	15,5

Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Densidad húmeda	Densidad seca	Lectura Hinchamiento	Hinchamiento %
12	9	8535	12632	4097	2006	15,5	2,042	1,768	0,52	0,45%
25	8	8510	12842	4332	2032	15,5	2,132	1,846	0,40	0,34%
56	7	8725	13377	4652	2082	15,5	2,234	1,935	0,22	0,19%

Penetración (mm)		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S adoptado	
Standart kg/cm <sup>2</sup>					70	105	133	161	183		
Nº molde	Nº de golpes	Lectura dial	4	9	12	15	22	27	30	32	5,5
		Carga total	20	45	60	75	110	135	150	160	
		Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	1,0	2,3	3,1	3,9	5,7	7,0	7,8	8,3	
		% Standart				5,5	5,4	5,2	4,8	4,5	
8	25	Lectura dial	6	10	14	17	24	29	34	39	6,3
		Carga total	30	50	70	85	120	145	170	195	
		Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	1,6	2,6	3,6	4,4	6,2	7,5	8,8	10,1	
		% Standart				6,3	5,9	5,6	5,5	5,5	
7	56	Lectura dial	9	14	17	20	26	31	35	40	7,4
		Carga total	45	70	85	100	130	155	175	200	
		Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	2,3	3,6	4,4	5,2	6,7	8,0	9,0	10,3	
		% Standart				7,4	6,4	6,0	5,6	5,6	



	12	25	56	97%Dmax
DENSIDAD	1,768	1,846	1,935	1,867
CBR(%)	5,5	6,3	7,4	6,6

**ENSAYO VALOR SOPORTE**

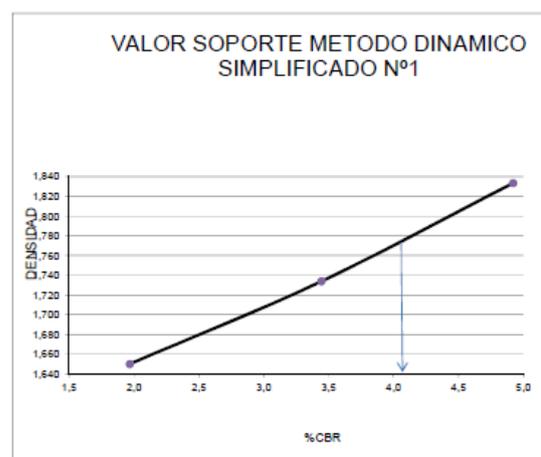
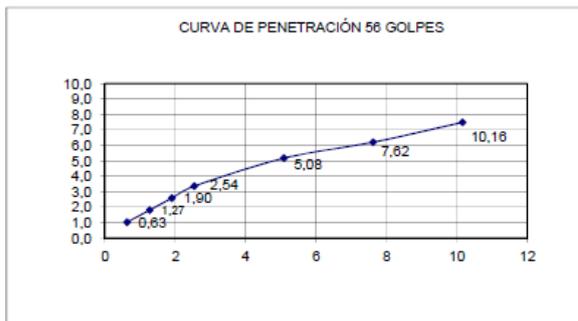
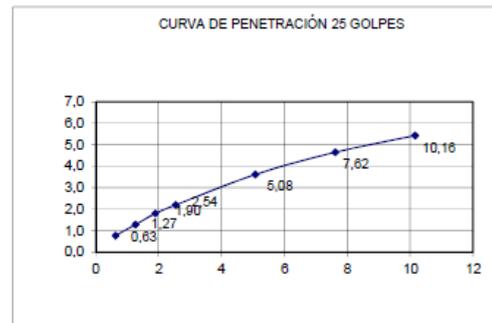
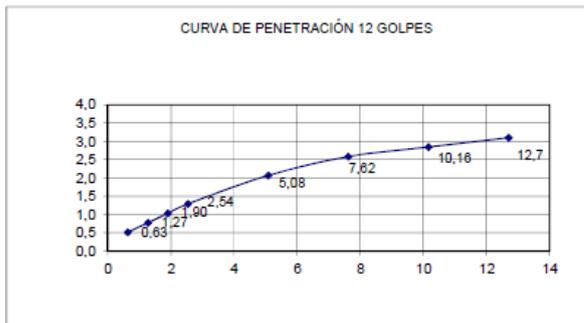
MATERIAL: SUELO ( Ruta 11. La Caldenilla)  
EXTRACCION POZO Nº 2 - 1,20 MTS PROFUNDIDAD

05/06/2017

Aro de: 1000 kg.		Sobrecarga		Altura probeta	11,66	11,66	11,66	PROCTOR	
Factor: 5,000 Kg/Div.		Hinchamiento	Penetración					D. MAX. Tn/m3	1,830
Defl. Max: 2,00 mm.		10lb	10lb					% H. O.	17,5

Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Densidad húmeda	Densidad seca	Lectura Hinchamiento	Hinchamiento %
12	8	8510	12450	3940	2032	17,5	1,939	1,650	0,00	0,00
25	6	8715	12910	4195	2059	17,5	2,037	1,734	0,00	0,00
56	7	8725	13210	4485	2082	17,5	2,154	1,833	1,94	0,02

Penetracion (mm) Standart kg/cm <sup>2</sup>		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S adoptado
Nº molde	Nº de golpes									
	Lectura dial	2	3	4	5	8	10	11	12	
	Carga total	10	15	20	25	40	50	55	60	
	Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	0,5	0,8	1,0	1,3	2,1	2,6	2,8	3,1	2,0
Carga correg.										
% Standart										
6	Nº de golpes									
	Lectura dial	3	5	7	8,5	14	18	21	25	
	Carga total	15	25	35	43	70	90	105	125	
	Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	0,8	1,3	1,8	2,2	3,6	4,7	5,4	6,5	3,4
Carga correg.										
% Standart										
7	Nº de golpes									
	Lectura dial	4	7	10	13	20	24	29	31	
	Carga total	20	35	50	65	100	120	145	155	
	Car.tot./19,35cm <sup>2</sup>	1,0	1,8	2,6	3,4	5,2	6,2	7,5	8,0	4,9
Carga correg.										
% Standart										



	12	25	56	97%Dmax
DENSIDAD	1,850	1,734	1,833	1,775
CBR(%)	2,0	3,4	4,9	4,1

Las dimensiones de los pozos se indican en los ensayos con sus respectivas profundidades. Es importante destacar, que este último aspecto de las calicatas varía según el trabajo a realizar y el criterio del proyectista a cargo. En este proyecto, nos guiamos con las calicatas realizadas para el proyecto de tesis anterior que creemos correctas en base a un recorrido y análisis visual del terreno que realizamos, ya que los taludes se veían firmes, el suelo presenta un aspecto homogéneo a lo largo de todo el recorrido, no posee desmoronamientos, ni erosiones u otros indicios que puedan llegar a hacernos creer que las características del mismo varíen respecto a los primeros kilómetros.

En varios tramos a lo largo del camino, es necesario llevar a cabo terraplenes, los cuales serán construidos con el suelo provisto de las excavaciones realizadas para el mismo proyecto, es por eso que es tan fundamental conocer el perfil.

En nuestro caso al ser el primer tramo con pendientes altas, y gran movimiento de suelo de excavación, es necesario realizar varias calicatas, con una frecuencia elevada, pero una vez que el suelo se vuelve más llano a medida que vamos recorriendo la ruta en dirección a Güemes, vemos que se necesita más terraplén por lo cual no es necesario realizar tantos pozos, pudiendo realizarse cada distancias más grande, además, cabe mencionar que el suelo resulta bastante homogéneo a lo largo de todo el camino, por lo cual no es necesario tomar muestras cada pequeños tramos.

Los estudios de suelo que se realizaron fueron según las normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad.

Según los resultados obtenidos, se puede observar que en la zona contamos con un suelo de bajo valor soporte. El CBR menor obtenido es de 2,5% en el primer pozo a una profundidad de 1.20 m. Es necesario destacar que cuando se realizó la excavación en este pozo se encontraron con restos de basuras, por lo que el mismo fue descartado, ya que no es posible admitir muestras de un suelo que contiene distintos residuos las cuales disminuyen la calidad del ensayo. Basándonos en estos antecedentes donde se detectaron zonas con CBR muy bajo, debemos tener en cuenta, que si al momento de ejecutar la obra, se llegaran a encontrar este tipo de características, se deberá utilizar otro suelo.

De los ensayos obtenidos, se clasifica el suelo como un suelo tipo A4 según la planilla HRB (Clasificación de suelos para Subrasante), se corroboraron estos datos mediante el ensayo granulométrico realizado (**Granulometría del material. Pág. 49**) y también mediante una apreciación y análisis visual de las características de campo, al recorrer la traza no se vieron partículas de grandes diámetros, cumpliendo con la clasificación A4 en la cual el pasante del tamiz N°200 debe ser mayor al 35% de la muestra por lo que vimos que era un tipo de suelo limoso, lo cual nos beneficia ya que si tuviéramos un suelo arcilloso no sería apto para la construcción del proyecto. Estos suelos, tienen buena aptitud para construir subrasante por lo tanto compactándolo a la densidad máxima de Proctor sirven para este proyecto, y no hace falta ningún ligante para cementarlo ni mejorarlo.

De la observación de las características de campo, de recorrer la traza, de realizar un análisis visual de los cortes existentes del camino, se vio que el tipo de suelo de la segunda calicata es el que se condice con los estudios existentes, con lo que se concluye que este es el estudio más representativo de nuestro suelo. Finalmente, el CBR característicos es 6,6% y es el que vamos a considerar para el cálculo del paquete estructural. En los lugares donde no se pueda llegar a este CBR se deberá realizar una mezcla de suelo para poder obtener el mismo.

## **CAPITULO 7: Diseño del paquete estructural**

Mezclas asfálticas en calientes:

El diseño del paquete estructural consiste en determinar el espesor de las distintas capas que lo conforman.

\*dibujar perfil sección transversales\*

Existen muchos métodos para dimensionar, en cada uno hay dos orientaciones

- a. Científica: que basan sus cálculos en las leyes físicas
- b. Empírica: Según el comportamiento practico de los materiales

En este proyecto se optó por realizar un pavimento flexible, ya que en la provincia de Salta y en la República Argentina predominan estos tipos de pavimentos por razones económicas y facilidad de ejecución.

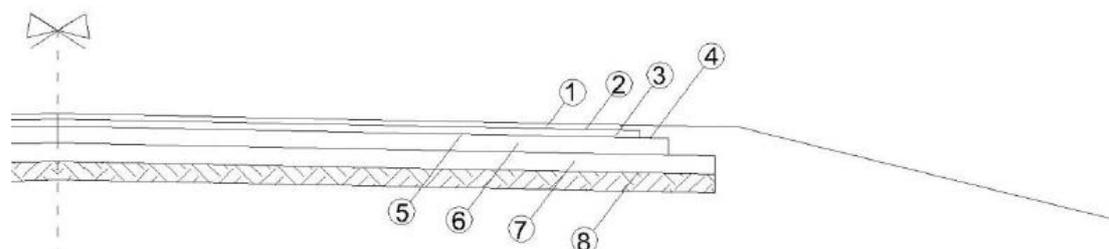
La carpeta de concreto asfaltico por ser la capa de rodamiento, está sometida a mayores exigencias que las demás capas del paquete estructural.

### ***DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES:***

Consiste en determinar el espesor de las distintas capas del paquete estructural y las características de los materiales que la componen. Existen dos grandes métodos: Shell (es un método científico que se rige por las leyes físicas) y AASHTO (es un método de orientación empírica).

El paquete estructural está formado por tres capas

1. Capa o capas con ligante asfáltico
2. Una capa o capas granulares no cementadas. Es decir, capas compactas de material granular o estabilizado.
3. Suelo natural o subrasante: que es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento.



#### **Referencias:**

- 1 - Carpeta de rodamiento en 6 m de ancho y 0.06 m de espesor
- 2- Riego de liga con CRR-0 a razón de 0.4 lt/m<sup>2</sup>.
- 3- Base negra en 6.20 m de ancho y 0.08 m de espesor.
- 4- Riego de liga con CRR-0 a razón de 0.4 lt/m<sup>2</sup>.
- 5 - Imprimación de la base granular con catiónica de imprimación a razón de 1.5 lt/m<sup>2</sup>
- 6 - Base granular en 6.50 m de ancho y 0.16 m de espesor de CBR mínimo 80.
- 7 - Subbase granular en 7 m de ancho y 0.20 m de espesor de CBR mínimo 40.
- 8- Terraplén con compactación especial.

### **Perfil tipo del paquete estructural**

Se entiende por sub-base a la capa que se encuentra entre la base y la subrasante. Esta recibe los esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base y absorbe parte de ellos de manera que a la subrasante lleguen magnitudes adecuadas. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y está

constituida por materiales locales granulares que cumplan con las condiciones dadas. El tamaño máximo es de  $2\frac{1}{2}$ ". Debe controlar los cambios volumétricos de la sub-rasante y reducir el costo del pavimento. Por consiguiente, la resistencia requerida debe llegar a ser mayor o igual al 40% del CBR

La base granular es la capa que se encuentra bajo la capa de rodamiento, esta debe absorber la mayor parte de los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito. Debido a su proximidad con la superficie, debe poseer alta resistencia a la deformación, para soportar las altas presiones que recibe. Se construye con materiales granulares procesados con tamaño máximo de las partículas de  $1\frac{1}{2}$ ". La base granular debe estar exenta de material vegetal y no presentar cantidades significativas de arcilla. Siendo, además, su CBR mínimo igual a 80%.

La capa de rodamiento tiene cuatro funciones principales:

1. Suministrar una superficie segura para el tránsito, libre de polvo y barro
2. Debe resistir los efectos de la intemperie
3. Impedir la filtración de agua hacia las subcapas
4. Lograr una buena adherencia entre neumático y pavimento

Proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar las filtraciones de agua de lluvia, que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o desintegre la base a causa del tránsito de vehículos. Esta capa está constituida por dos elementos: agregados minerales y un producto bituminoso (asfalto)

Para tener más certeza en el proyecto se decidió calcular el paquete estructural por medio del método AASHTO 1993 y por el método Shell.

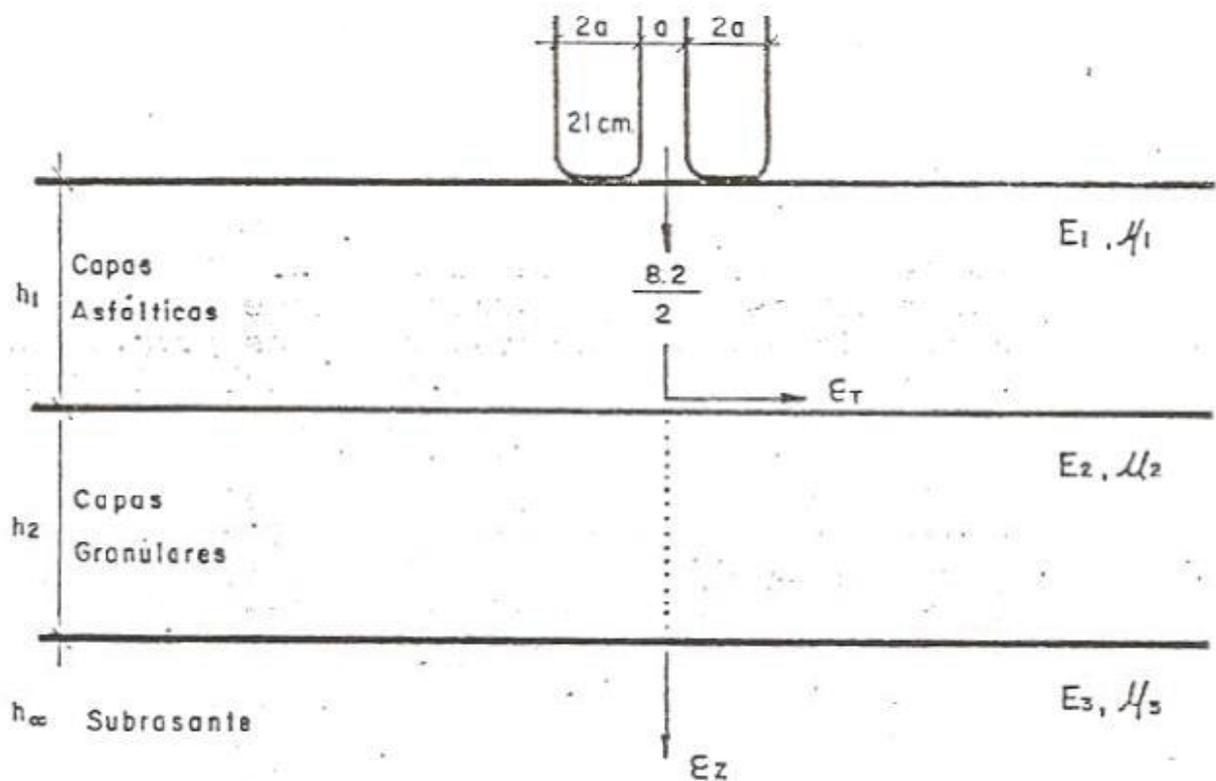
#### **i. DIMENSIONADO DE UN PAVIMENTO ASFALTICO SEGÚN METODO SHELL**

Se supone que las estructuras bien proyectadas se comportan elásticamente bajo las cargas dinámicas del tránsito, y que, por consiguiente, es posible aplicar la teoría de la elasticidad para sistemas de capas con la finalidad de determinar las tensiones y deformaciones.

Teoría de Boussinesq: Se consideran tres capas

1. Una capa o capas con ligante asfáltico
2. Una capa o capas granulares (no cementadas)
3. Suelo natural o subrasante.

Este método considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, bajo la acción de las cargas de tránsito, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por su módulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson ( $\mu$ ). Los materiales de la estructura se consideran homogéneos y se asume que las capas tienen una extensión infinita en sentido horizontal. El procedimiento básico supone al pavimento como una estructura tricapa, en la que la capa superior corresponde a las carpetas asfálticas, la intermedia a las capas granulares y la inferior, que es la infinita en sentido vertical, corresponde a la subrasante.



El diseño consiste en elegir espesores de las capas asfálticas y granulares y características de sus materiales ( $E, \mu$ ), de manera que se cumpla un determinado criterio de deformaciones.

Criterios básicos para el diseño estructural:

- Si la deformación horizontal por tracción  $E_T$  en la fibra inferior de las capas asfálticas supera la admisible, se producirá el agrietamiento de ellas.
- Si la deformación vertical por compresión en la subrasante  $E_z$  es excesiva, se producirá una deformación permanente de la subrasante y por consiguiente del pavimento.

El mismo consta de 4 etapas:

1. **Características de la subrasante:** El cálculo se basa en el método elástico dinámico del suelo de la subrasante  $E$ . Como este es de difícil determinación directa se utiliza el CBR, siendo:

$$E = 100 * \text{CBR} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = E = 1500 * \text{CBR} \text{ (Lb/pulg}^2\text{)}$$

$$\text{CBR medio} = \Sigma \text{CBR} / n$$

En nuestro proyecto:

$$E = 100 \times \text{CBR} = 100 * 6,6 \text{ kg/cm}^2 = 660 \text{ kg/cm}^2$$

Durante la ejecución se debe procurar que, al ejecutar la subrasante, la misma tenga como mínimo el CBR definido para el proyecto

2. **Exigencias del tránsito:** Es de vital importancia la influencia de las cargas pesadas. Los automotores particulares y los camiones livianos tienen poca incidencia. Para el diseño se adoptó el promedio del tránsito representado por el número N de ejes equivalentes de 8,2 tn (18000lb). Es decir, se proyecta el pavimento para que resista un número de repeticiones de carga N hasta que falle por fatiga. La relación de transformación de una carga en otra depende de la potencia cuarta.

$$(p/P)^4$$

Carga por eje	N° de ejes por día	Factor de conversión	N° de ejes equivalentes por día
3,5	1329	0,03	39,87
5	98	0,14	13,72
8,2	70	1	70
10,6	3	2,79	8,37
TMDA	1500	Σ	131,96

**N° Ejes equivalentes por año = N° ejes equivalentes por día x 365**

N° Ejes equivalentes por año	77781,5
------------------------------	---------

Tasa de crecimiento anual= 2%	0,02
Vida útil= 20años	20

Factor de sumatoria de tránsito (g)

$$g = \frac{(1 + b)^{n+1} - 1}{b} - 1$$

g=	24,78331719
----	-------------

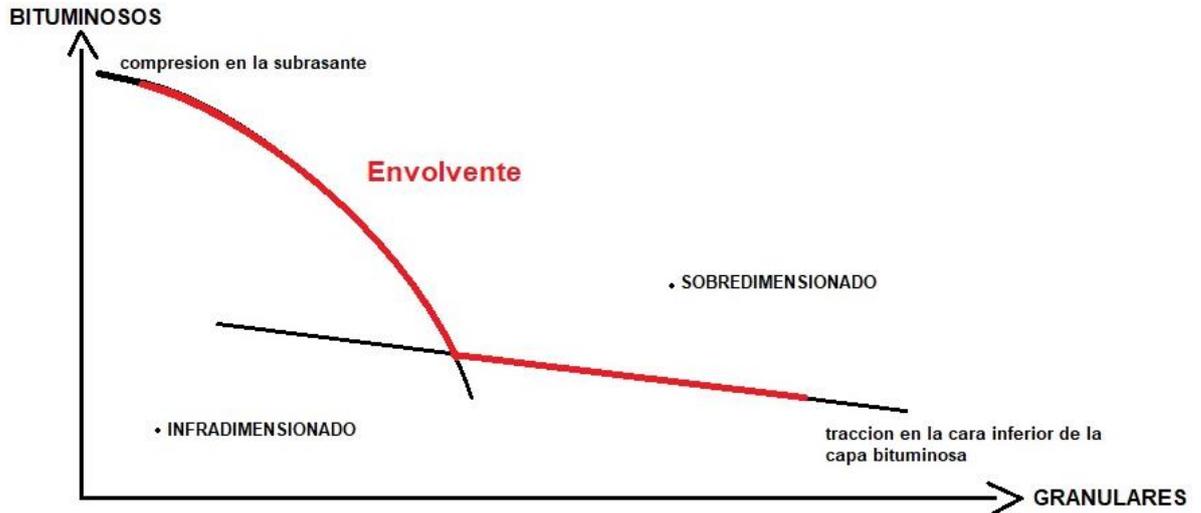
**N: número de ejes equivalentes**

$$N = 1927683,586$$

<b>N=</b>	<b>1x10<sup>6</sup></b>
-----------	-------------------------

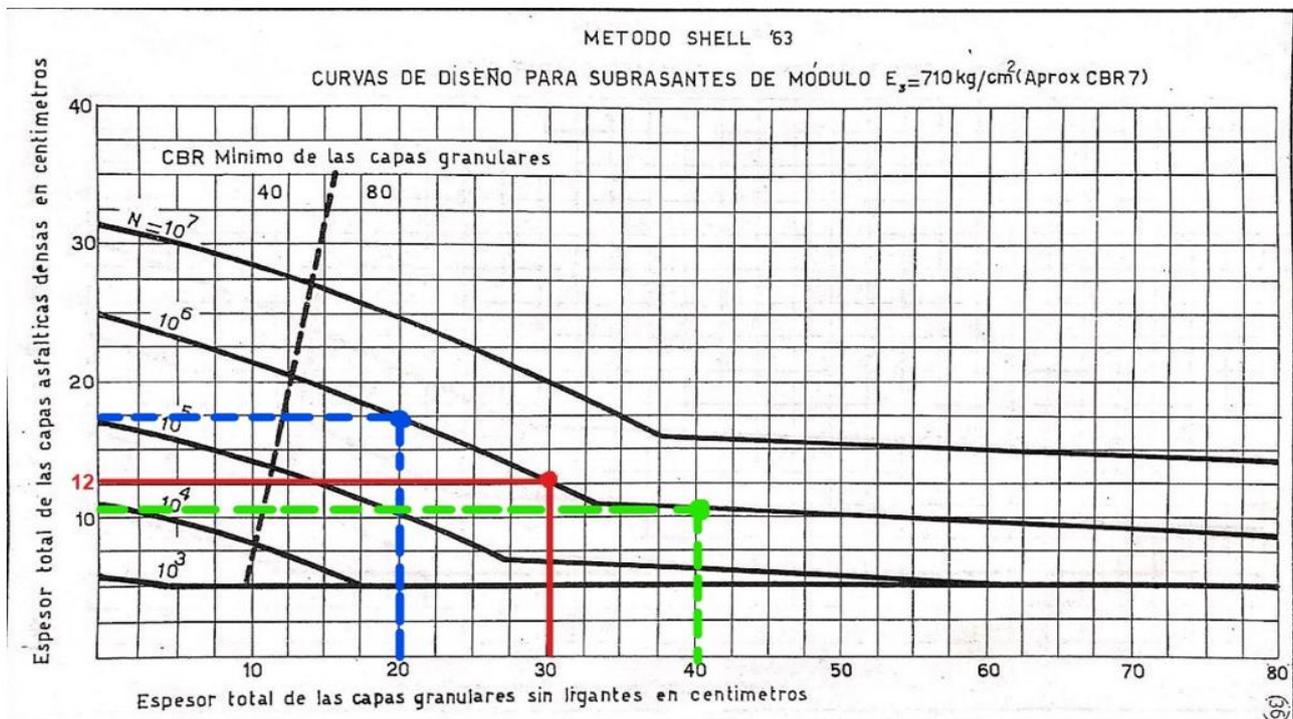
3. **Espesores de construcción del paquete estructural:** Establecido el CBR y N, se recurrió a los diagramas del diseño que se encuentran en el **Anexo XIII**. Y se obtuvieron los espesores para las distintas capas bituminosas y granulares.

Para que se cumplan las dos exigencias hay que tomar la envolvente. Para determinar se elige el grafico, según el valor E, de la subrasante y luego se elige la curva según el numero N obtenido. Cualquier punto que se encuentre sobre la curva nos da una combinación de espesores bituminoso y granular que satisface los requerimientos del diseño del paquete estructural.



4. **Características del material granular:** Se determinó el CBR de las capas granulares a efectos de tener la seguridad de que el material va a soportar parte de las cargas mediante un módulo de servicio adecuado y resistencia a corte.

Con los ábacos de Shell (**Anexo XIII**) se analizó la tabla para CBR 7 de manera de poder determinar los espesores de las capas a partir del suelo que tenemos en el terreno donde se va a realizar la ruta.



A la hora de escoger los espesores de las capas del paquete estructural, vemos que dada la curva envolvente que representa un  $N=10^6$ , cualquier punto sobre esta verifica.

La alternativa 1, se representa con línea discontinua azul, esta combinación nos verifica adoptando un espesor total de capas granulares de 20cm, con un espesor total de las capas asfálticas de 18cm. Esta alternativa no es muy conveniente, por el alto costo que poseen las capas asfálticas en esta región del país.

La alternativa 2, se representa con una línea discontinua verde, esta combinación de 40cm de espesor de capas granulares con 10cm de espesor de las capas asfálticas, presenta una buena alternativa, al tener un espesor de capas asfálticas reducido.

Finalmente, se decidió por optar la alternativa número 3, vemos que esta es una opción equilibrada en cuanto a los espesores, es decir, adoptando un espesor de 30cm para las capas granulares, por ende, reduciendo en 10cm el espesor respecto a la alternativa 2, se obtiene un espesor de 12 cm de capas asfálticas, es decir, casi la mitad de espesor que la alternativa 1, se verifica el paquete estructural para las cargas que fue proyectado. Siendo esta la opción optima, por el análisis anteriormente realizado se presentan los espesores finales del paquete estructural dimensionado por el *Método Shell*.

**LOS RESULTADOS OBTENIDOS FUERON:**

CBR	7
Bituminoso	12 cm
Granular	30 cm

Se optó por esta combinación, ya que, en esta parte del país, es decir, en el norte del mismo, resulta más económico proyectar un pavimento con una capa de material granular de más espesor, pudiendo así reducir el espesor de las capas asfálticas, ya que los mismos poseen un elevado costo.

Desde el punto de vista constructivo, las capas bituminosas deben cumplir:

1. Para la capa de rodamiento: 4-7cm
2. Para base negra: 5-9cm
3. Para capa granular: 10-30cm
4. Subbase: 15-20cm

Al final del capítulo se presenta una imagen esquemática en la cual se pueden comparar los espesores obtenidos por los distintos métodos de dimensionamiento para el paquete estructural del proyecto, es decir, una comparación entre el paquete estructural obtenido por el Método Shell y el obtenido por el Método AASHTO'93

**ii. DIMENSIONADO DE UN PAVIMENTO ASFALTICO SEGÚN EL METODO AASHTO**

Los fundamentos de diseño del método AASHTO se basa en los resultados AASHO Road Test, que fue desarrollado en los Estados Unidos en la década del 60 introduciendo factores de confiabilidad drenaje y aspectos climáticos, su criterio de falla es el índice de serviciabilidad final, el transito que lleva a la falla del pavimento es función del número estructural, de resistencia de la subrasante, de la perdida deseada de índice de servicio, y de la confiabilidad elegida. Es un método empírico y se aplica tanto a pavimentos flexibles como rígidos, que a diferencia del método Shell solo es válido para pavimentos flexibles

El método AASHTO introdujo un concepto de una falla funcional de un pavimento, en oposición a los métodos tradicionales que se contaban a la fecha, los cuales se fundamentaban en un concepto de falla estructural. Para cuantificar esta descripción funcional se introdujeron varios conceptos fundamentales. El primero se refiere a la "serviciabilidad" es decir a la habilidad que tiene un pavimento para servir al tráfico para el cual este fue

diseñado. Otro concepto fue el del “comportamiento” del pavimento, es decir, su habilidad para servir al tráfico a lo largo del tiempo.

Para establecer los distintos deterioros que se producen, se define como PSI (Índice de serviciabilidad presente” o simplemente “p”

$$PSI = 5.03 - 1.91 \text{ LOG} (1 + sv) - 1.38 RD^2 - 0.01 (RAIZ (C + P))$$

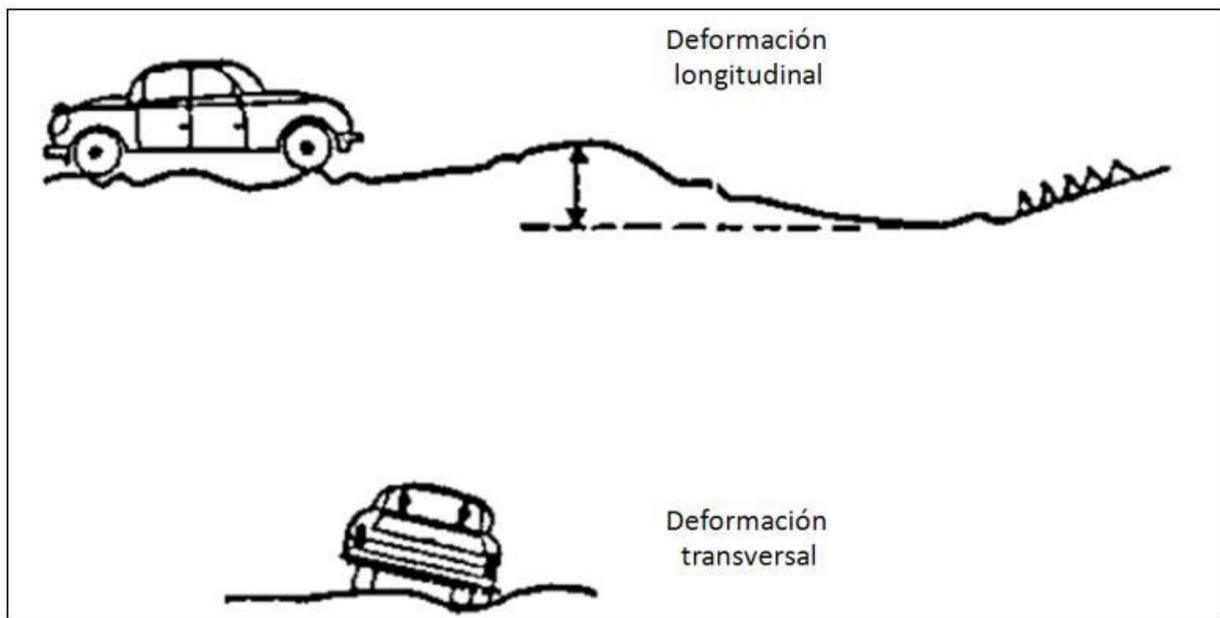
En donde:

SV= Varianza de la pendiente longitudinal, que mide la influencia de las deformaciones longitudinales

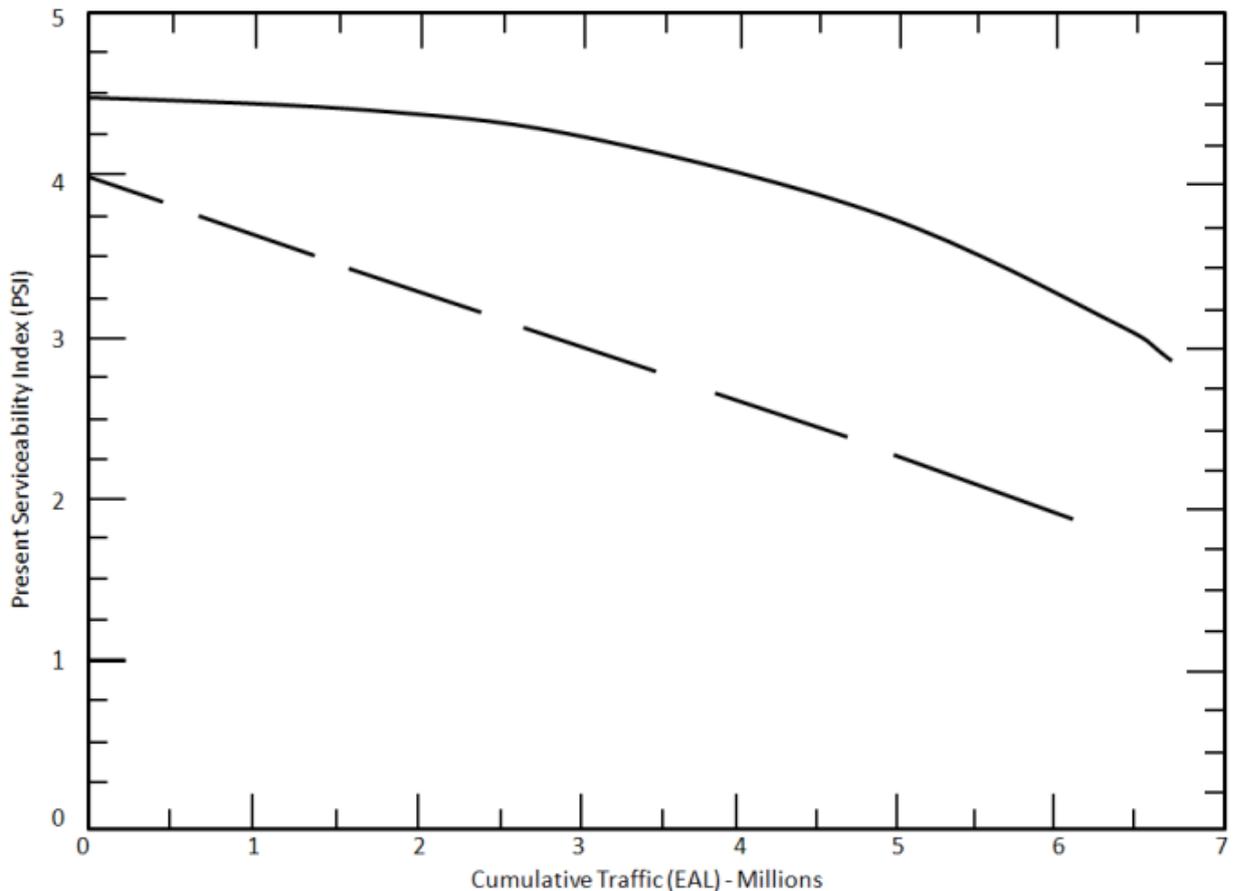
RD= Promedio aritmético de las deformaciones transversales

C= Área de grieta por cada 1.000 pie cuadrado de pavimento

P= Área reparada por cada 1.000 pie cuadrado de pavimento



**Significado de los principales términos de la ecuación del PSI**



### Variación del valor de PSI con las cargas acumuladas

Selección del valor de serviciabilidad final (Pf):

Los valores que son empleados en la fórmula de diseño, y que representan la condición del pavimento para el momento final del periodo de diseño, antes que sea requerida una rehabilitación del pavimento, son los siguientes:

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico, Pf=3,0.
- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal. Pf=2,5
- Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor Pf=2,0.

Se recomienda, normalmente, que el valor de pt nunca sea menor que 2,0, aun cuando las características del tráfico sean muy reducidas.

En este proyecto se adoptó un periodo de diseño de 20 años y un valor de serviciabilidad final Pf = 2.

A continuación, damos un análisis detallado del método.

Para la aplicación del método AASHTO se debe verificar la siguiente ecuación adoptando un valor de SN que la verifique:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log \frac{\Delta Psi}{4,2 - 1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log Mr - 8,07$$

**1. Primer término de la ecuación:**

*Representativo de las cargas o solicitaciones*

W18 = GF. ESALS. DD. LD. 365

W18: Cantidad de ejes equivalentes de 18 kips que se acumulan a lo largo de toda la vida útil del pavimento que estoy diseñando 18 Kips (peso en kips de un peso equivalente a 8,2tn)

*Determinación de GF (factor de crecimiento)*

Periodo de análisis considerado: 20 años

Tasa de crecimiento anual: 2%

Usando la formula se obtiene que:

$$GF = \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

*Determinación de ESALs:*

Para el diseño de pavimento la demanda que corresponde al del tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia. El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>. Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento

Para la determinación de los ESALs (transito medio diario anual expresado en ejes equivalentes de 8,2 tn) se refiere al factor de camiones, se requiere adoptar un SN, por lo que se itera adoptando valores de SN siguiendo el método de aproximaciones sucesivas. Es decir, es el TMD expresado en ejes equivalentes en un día.

En el **Anexo X** se puede ver la tabla 2 de pesos máximos establecidos por la ley de vialidad nacional

En este proyecto, se tomó la decisión de utilizar el caso más desfavorable.

*Determinación de DD (Distribución direccional).*

Se adopta un DD= 0,5 por ser el transito igual en ambas direcciones. En el caso de ser una ruta en la cual el transito circule en una sola dirección se tomaría DD=1.

*Determinación de LD (distribución por trocha).*

Se determinó usar LD=1.

Al emplear el método AASHTO debemos aplicar los “factores de equivalencia de cargas – “FEi”- “y que se presentan en el **Anexo XI**. Cada tabla se identifica en función del valor de serviciabilidad final (Pf) seleccionando – valores de 2, 2.5, y 3 respectivamente- de la configuración de los ejes (simples, dobles y triples), y del valor de SN asumido.

Como ya habíamos mencionado antes, este método es un procedimiento de diseño iterativo, es decir, se debe asumir un valor de SN, sin conocerse los espesores finales, para poder estimar las cargas de diseño, ya que los factores equivalencia de carga son función, entre otras variables, de “SN”. Una vez estimadas las cargas, a partir

de este SN asumido, y concluido el diseño real del paquete estructural, se compara el SN obtenido con el SN asumido. Si la diferencia entre el SN asumido y el SN obtenido es mayor de 0,5, debe reiniciarse la estimación de las cargas de diseño partiendo de los factores de equivalencia de este “SN obtenido”. Se repite el proceso hasta que la diferencia entre ambos SN sea menor a 0,5. Generalmente se comienza con una primera aproximación de un SN=3,0.

SN, como se ve, es un valor adimensional y nos brinda una idea de la magnitud del espesor de todo el paquete estructural, es decir, a mayor valor de SN se tendrá un mayor espesor del paquete estructural.

- a. Tránsito (ESAL): se partió de un censo supuesto de 1650 vehículos por día, luego se calculó los distintos tipos de vehículos que hay dentro de los 1650 y así se obtuvo la cantidad de ejes equivalentes de cada tipo.

CALCULO PAQUETE ESTRUCTURAL-METODO AASHTO 93'					
				TMDA	15000 VEHICULOS
TRANSITO	CONFIGURACION	CARGAS		Distribucion del censo	
		Tn	Kips	Porcentaje	Vehiculos
LIV		-	-	92,1	1382
BU1	S-1	6	13,22	0,9	13
	D-1	10,5	23,14		
SA1	S-1	6	13,22	6	90
	D-1	10,5	23,14		
SA2	S-1	6	13,22	0,3	4
	D-2	25,5	56,21		
CA1	S-1	6	13,22	0,57	9
	D-1	10,5	23,14		
	D-1	10,5	23,14		
CA2	S-1	6	13,22	0,13	2
	D-1	10,5	23,14		
	D-2	25,5	56,21		
TOTAL				100	1500

Luego se ingresó a las tablas LEEF (Anexo XV) y suponiendo un SN, se determinó el ESAL, para luego poder calcular W18.

Supongo	SN=3						
LEF	S1	SN					
	Carga x eje (kips)	1	2	3	4	5	6
Valor anterior	12	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
Valor	13,22	0,262	0,275	0,289	0,284	0,274	0,268
Valor posterior	14	0,325	0,338	0,354	0,35	0,338	0,3331
LEF	D1	SN					
	Carga x eje (kips)	1	2	3	4	5	6
Valor anterior	22	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
Valor	23,14	3,18	3,11	2,96	2,89	2,94	3,03
Valor posterior	24	3,71	3,62	3,43	3,33	3,4	3,51
LEF	D2	SN					
	Carga x eje (kips)	1	2	3	4	5	6
Valor anterior	40	2,22	2,19	2,15	2,13	2,16	2,18
Valor	40,32	2,3	2,27	2,23	2,21	2,24	2,26
Valor posterior	42	2,77	2,73	2,64	2,62	2,66	2,7

TABLA LEF FINAL	CARGA POR EJE KIPS	SN					
		1	2	3	4	5	6
LEF S1	13,22	0,262	0,275	0,289	0,284	0,274	0,268
LEF D1	23,14	3,185	3,112	2,965	2,891	2,948	3,037
LEF D3	56,21	1,985	1,983	1,962	1,961	1,972	1,974

TABLA LEFs FINAL

Comienzo adoptando SN=3							
Livianos	BUS	S/A	C/A	SEMI	ESALs		
	0,608	48,735	334,246	66,839			450,428
Factor de crecimiento del transito (GF)							
g(%)	0,02						
n(años)	20						
GF	24,2973698						
Distribucion por trocha				N°Carriles	L.D		
LD	1			1	1		
				2	0,8-1		
Distribucion direccional				3	0,6-0,8		
DD	0,5			4	0,5-0,6		
W18=	1997319,362		Ejes equivalentes de 8,2 tn				
<b>Logw18</b>	<b>6,30045</b>		<b>Primer termino que representa las cargas</b>				

CALCULO LogW18

2. Segundo término de la ecuación:

$$Z_r \times S_o + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log \frac{\Delta Psi}{4,2 - 1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log Mr - 8,07$$

Determinación de Zr:

R: Probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de la vida útil y bajo las condiciones ambientales que tienen lugar en ese lapso de tiempo, es decir, una confiabilidad del 70% indica que hay un 30% de posibilidad de que el pavimento comience a fallar antes de completar su vida útil. Una confiabilidad alta implica un pavimento más costoso de entrada, es decir un mayor costo inicial, pero pasara más tiempo hasta que necesite una reparación, es decir, requiere un menor costo de mantenimiento. Entonces se debe buscar el equilibrio entre ambas para lograr los mejores resultados.

De tabla de confiabilidad para ruta nacional en zona rural se obtiene un valor de R=85

Tipo de camino	R recomendado	
	Zona Urbana	Zona Rural
Ruta Nacional y Autopista	65-99.9	60-99.9
Ruta Provincial y Primaria	80-90	75-99
Ruta Provincial y Secundaria	60-95	75-95
Caminos vecinales	50-60	50-60

TABLA VALORES DE CONFIABILIDAD

Confiabilidad	Z <sub>R</sub>	Confiabilidad	Z <sub>R</sub>
50	0	92	1.405
60	0.253	94	1.555
70	0.524	95	1.645
75	0.674	96	1.751
80	0.841	97	1.881
85	1.037	98	2.054
90	1.282	99	2.327

TABLA VALORES DE Z<sub>R</sub>

Interpolando y redondeando obtenemos  $Z_r = 1,04$ .

Z<sub>r</sub>: Es la abscisa de la curva de distribución normal para una confiabilidad R

*Determinación de S<sub>o</sub>:*

Desviación estándar: Es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio y está directamente relacionado con la confiabilidad

De tabla para la variación en la predicción del comportamiento del pavimento CON ERRORES en el tránsito y pavimento flexible se obtiene:

	So
Sin errores en el tránsito	0,34 p/pavimento rígido
	0,44 p/pavimento flexible
Con errores en el tránsito	0,39 p/pavimento rígido
	0,49 p/pavimento flexible

TABLA DESVIÓ ESTÁNDAR

A lo cual  $S_o = 0,49$

*Determinación de  $\Delta Psi$ :*

Psi: Índice de serviciabilidad presente.

$\Delta Psi$ : Perdida de serviciabilidad del pavimento.

$$\Delta Psi = P_o - P_f$$

Serviciabilidad: Capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Es un valor adimensional que va desde 0 a 5.

0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Índice de serviciabilidad inicial:  $P_o = 4,2$

Índice de serviciabilidad final:  $P_f = 2,0$

*Determinación de  $M_r$ :*

Es el módulo resiliente de la subrasante, se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$M_R = 1500 * CBR_{\text{subrasante}} \text{ (adimensional)}$$

Adoptando el valor soporte del suelo obtenido en laboratorio  $CBR = 6,6\%$

Con esto obtenemos todos los valores del segundo término, se procede a reemplazar los valores hallados en la ecuación completa.

SEGUNDO TERMINO DE LA ECUACION AASHTO 93'			
<b>R: Confiabilidad recomendada</b> (varia entre 85 y 99,99%)		<b>SNadoptado</b>	<b>3</b>
R(%):	85		
Zr:	1,04		
<b>So: desviación estandar</b>			
So:	0,49		
<b>DELTAPSI: Perdida de serviciabilidad</b>			
Po	4,2		
Pf	2		
ΔPsi	2,2		
<b>Mr: Modulo Resiliente de la Sub-Rasante en funcion del CBR</b>			
CBR:	6,6	Valor soporte de la Sub-Rasante	
MR(psi):	9900		
<b>SEGUNDO TERMINO:</b>	<b>6,30042932</b>		
<b>SNnecesario</b>	<b>2,276089267</b>		

	Carga x eje (kips)	SN		
		2	2,27	3
LEF S1	13,22	0,275	0,278	0,289
LEF D1	23,14	3,112	3,072	2,965
LEF D3	56,21	1,983	1,977	1,962

**DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL POR EL CRITERIO DE ESPESORES MINIMOS:**

Una vez que obtuvimos el Sn, procedemos a calcular los espesores mínimos del paquete estructural, en el cual se debe cumplir la condición:

$$SN_{proyecto} \geq SN_{necesario}$$

Siendo:

$$SN_{proyecto} = a1.D1 + a2.D2.m2 + a3.D3.m3$$

En donde:

- a<sub>i</sub>: espesores de las distintas capas
- m: coeficientes de drenaje (**Anexo XVI**)
- D: espesores
- a<sub>i</sub>: Coeficientes de capa:

Los coeficientes estructurales, son una función de los materiales que forman cada capa del paquete estructural, y se obtienen de los ábacos en función del CBR. Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante, a ello, estos coeficientes estas correlacionados con distintos parámetros resistentes.

ai: Coeficientes de capa					
De ABACOS obtengo					
	a1=	0,44	[1/pulg]	0,17	[1/cm]
CBR> 80	a2=	0,13	[1/pulg]	0,05	[1/cm]
CBR> 40	a3=	0,12	[1/pulg]	0,047	[1/cm]

Equivalencia:

1 pulg = 2,54 cm
------------------

Los valores de los coeficientes fueron establecidos segun los distintos nomogramas (**ANEXO XI**)

Para obtener el valor del coeficiente a1, entramos al nomograma (**ANEXO XI**) buscando el valor de Estabilidad Marshall de 1800lb, lo que nos da un valor de 0,44 [1/pulgada], realizando la conversion de unidades correspondientes llegamos al valor 0,17 [1/cm]

Para obtener el coeficiente a2 ingresamos al nomograma (**ANEXO XI**) con un valor de CBR>80 para la base estabilizadora granular, obteniendo nuevamente un valor del coeficiente a2 en [1/pulgada], haciendo conversión de unidades obtenemos 0,05 [1/cm].

Para el coeficiente a3, se realiza el mismo procedimiento que para obtener el coeficiente a2, ingresando al nomograma correspondiente (**ANEXO XI**) de sub base con un CBR>40 y obteniendo finalmente un valor a3= 0,047[1/cm].

a1: La capa de rodamiento por lo general llega a valores de Estabilidad Marshall de 1800 lb	
a2: Se uso el criterio de Vialidad de la Nacion que exige un CBR> 80	
a3: Se uso el criterio de Vialidad de la Nacion que exige un CBR> 40	

mi: Coeficientes de drenaje de la base y sub base	
m2=	1,00
m3=	1,00

Los coeficientes de drenaje igual a 1, indican una calidad de drenaje de la carretera denominado “Regular”.

El primer paso que se debe hacer es determinar el SN1 correspondiente a la carpeta de rodamiento  
 Para así poder obtener la altura de dicha capa, se trabaja con un módulo resiliente (Mr) correspondiente a un CBR = 80% equivalente a la base, es decir

CBR	80
MR (psi)	25025

**Calculo de SN1 para la carpeta asfaltica.**

Utilizando la igualdad  $\text{Log}W18=6,3004$ . Despejamos SN1 para que cumpla con la igualdad y así obtenemos SN1.

SN=	1,589262741	SN de la carpeta asfaltica	Termino Der. LogW18 con Mr=120000	6,30
-----	-------------	----------------------------	-----------------------------------	------

$D1 > SN1/a1$	
---------------	--

D1[cm]=	9,35
---------	------

Se adopta un D1\*

D1*[cm]=	10
----------	----

$SN1^* = a1 \times D1^*$	
--------------------------	--

SN1*	1,7
------	-----

Siguiendo con el método se debe calcular SN2 correspondiente a la base granular  
 Para hallar la altura de dicha base se trabaja con el módulo resiliente (MR) correspondiente

CBR	40
MR (psi)	15224

SN2=	1,935081172	Termino Der. LogW18 Mr=15224	6,3
------	-------------	------------------------------	-----

$D2 > (SN2-SN1^*)/a2 \times m2$	
---------------------------------	--

D2=	4,70
-----	------

Se adopta un D2\*

D2*[cm]=	10
----------	----

$SN2^* = a2 \times m2 \times D2^*$	
------------------------------------	--

SN2*	0,5
------	-----

Siguiendo con el método calculamos la altura de la sub-base granular  
 Para D3 ya tengo el SN, que es el SN necesario, porque use la subrasante para su calculo.

$D3 > (SN-SN2^*-SN1^*)/a3 \times m3$	
--------------------------------------	--

D3=	1,62
-----	------

D3*[cm]=	15
----------	----

SN3*=	0,705
-------	-------

Para finalizar con el metodo se debe verificar:

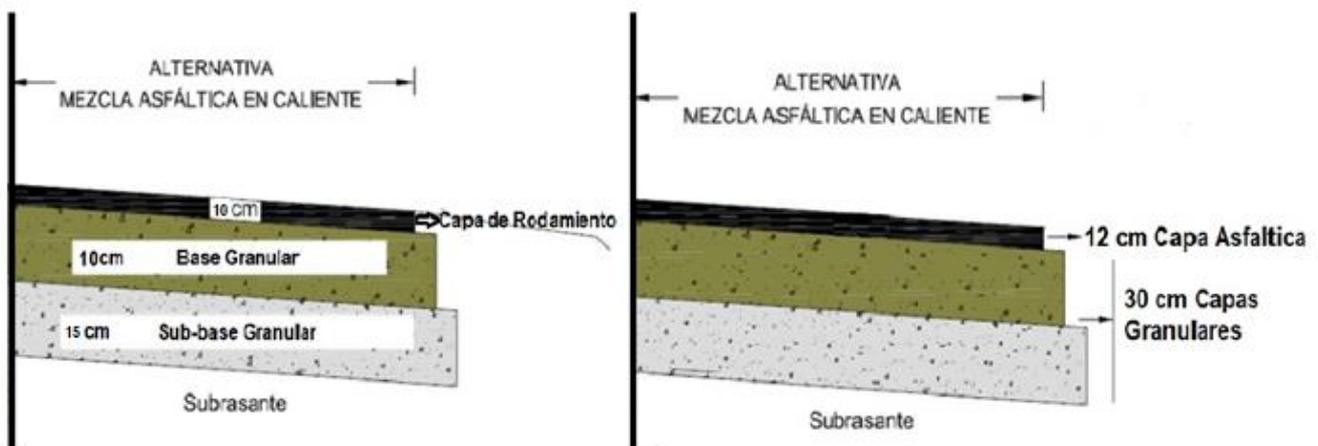
$SN1^*+SN2^*+SN3^* > SN \text{ necesario}$	
--	--

2,905	>2,27	VERIFICA
-------	-------	----------

Finalmente

<b>CAPA DE RODAMIENTO:</b>	10cm
<b>BASE GRANULAR:</b>	10cm
<b>SUB BASE GRANULAR:</b>	15cm

El siguiente grafico muestra los espesores de los paquetes estructurales obtenidos según los distintos metodos (A la izquierda por el metodo AASHTO'93, esquema derecha metodo SHELL)



#### PAQUETE ESTRUCTURAL METODO AASHTO'93 – PAQUETE ESTRUCTURAL METODO SHELL

En el paquete estructural obtenido por el método AASHTO'93 vemos como obtenemos una capa de rodamiento de menor espesor, con un espesor de capas granulares también reducido a comparación del método Shell.

En ambos métodos, el TMDA de partida fue el mismo así también, el CBR utilizado para la subrasante. Las cargas fueron calculadas por cada método arrojando resultados diferentes para cada uno de ellos. Ambos paquetes cumplen con las condiciones necesarias para soportar las distintas cargas y cumplir su función durante la vida útil para la cual fue proyectada.

La conclusión de este capítulo, es que, al realizar el dimensionamiento del paquete estructural por ambos métodos, se decidió finalmente que para realizar el proyecto y el cómputo y presupuesto se optarán por los valores obtenidos con el método AASHTO, al nosotros preferir el tamaño de los espesores dados por el mismo, ya que tiene en cuenta ciertos parámetros que el Método Shell no tiene en cuenta, como ser, la confiabilidad, coeficientes de drenajes, en definitiva, se tiene un mayor control en los parámetros de diseño por lo cual, el paquete estructural definitivo para este proyecto será el debido al dimensionamiento por el Método AASHTO'93.

## **CAPITULO 8: DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACION DE UNA OBRA DE ARTE**

Las lluvias provocan que el agua caiga sobre la superficie de la tierra, la cual un porcentaje escurre por la misma, una parte se infiltra en el terreno, y otra se evapora. El agua que escurre superficialmente, y el agua que se infiltra puede ocasionar grandes problemas a un proyecto de obra civil si no se realizan los estudios y las obras adecuadas, como ser, inundaciones.

La función principal de las obras de arte es proveer las facilidades necesarias para el paso de aguas de un lado al otro de la vida, para el drenaje de las aguas que caen directamente sobre la plataforma, y de otras áreas que desagüen en ella.

La construcción de obras de arte, como ser alcantarillas, badenes, canales abiertos, canales cerrados, etc. Nos permiten no sólo un saneamiento y estabilización adecuados de los caminos forestales, sino también un eficaz control de erosión y conservación de las aguas. Por esta razón es que se debe tener especial atención en abarcar toda la superficie a intervenir, para así disminuir al máximo la alteración del medioambiente.

Para la construcción de la obra de arte se requieren de algunas implementaciones muy similares al resto de las actividades, cumpliendo con toda normativa interna de Medio Ambiente, Salud y Seguridad. En nuestro proyecto se eligió como obra de arte el dimensionamiento de una alcantarilla, en el que se tuvieron en cuenta varios aspectos, entre ellos la topografía del lugar, el cauce del río o arroyo, datos hidrológicos de la cuenca que la alimenta, etc.

### **i. Alcantarilla**

Alcantarillas: son canalizaciones que cruzan transversalmente o paralelamente el camino y permiten la evacuación de cursos de agua natural o artificial.

Las obras de arte como las alcantarillas son un instrumento que permite mantener los cursos naturales del agua, conservando el sistema original de escorrentía superficial de las cuencas. Al mismo tiempo, las obras complementarias se utilizan como un instrumento de decantación de sedimentos arrastrados por el agua, disminuyendo su velocidad y capacidad erosiva.

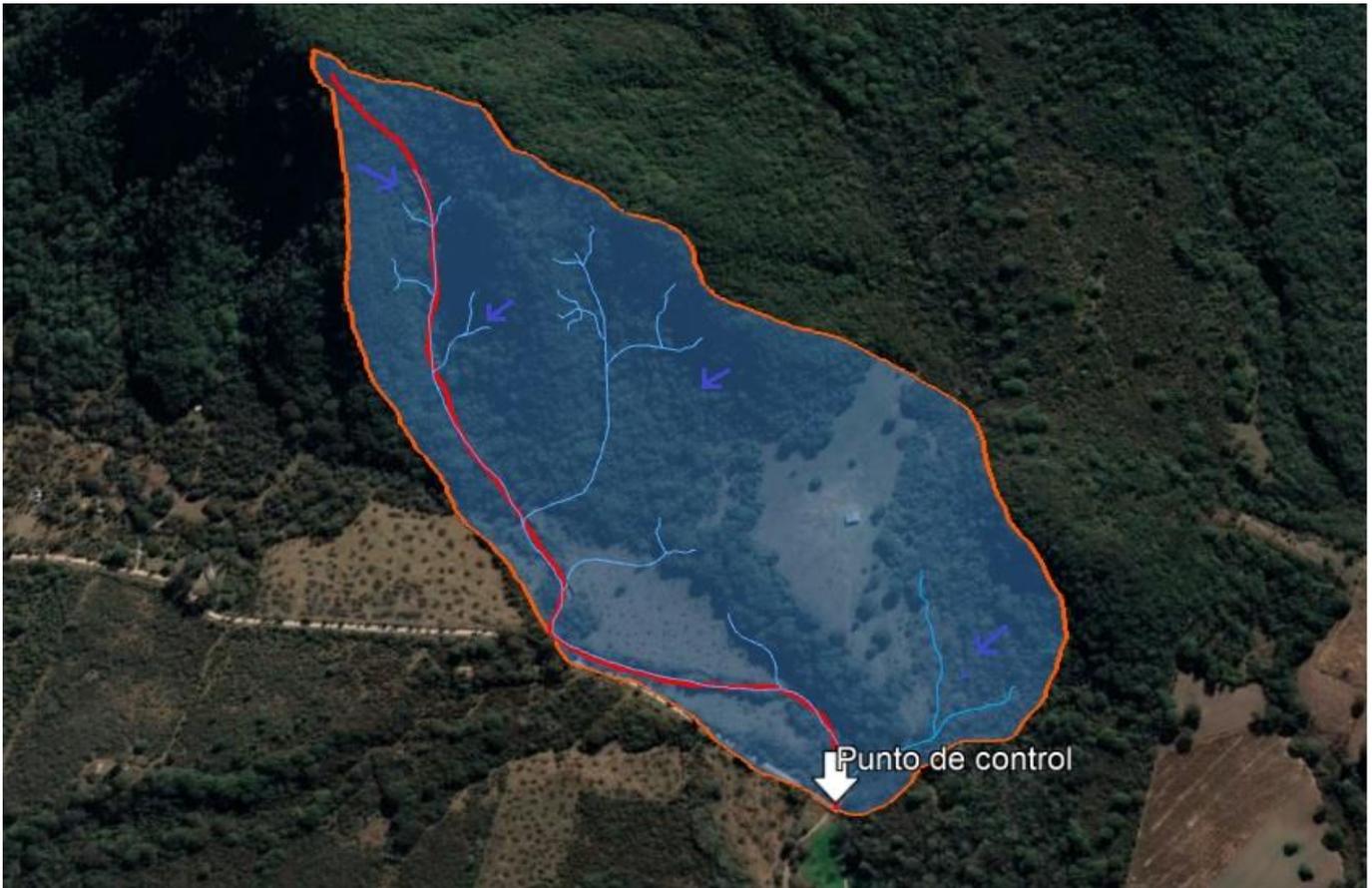
Es de vital importancia evitar la contaminación del agua con los sedimentos generados en la excavación, por lo que se debe procurar que el material removido no tome contacto con el escurrimiento, depositándolo siempre sobre el camino.

En nuestro proyecto, la alcantarilla estudiada se encuentra ubicada en la progresiva 3+913. Mediante el programa Google Earth se ubicó el lugar y se procedió a limitar el área, perímetro y longitud del área de la cuenca endorreica que desagua en la alcantarilla a verificar para nuestro proyecto.

A continuación, se presenta un esquema donde se ve el área ocupada por la cuenca, con las líneas divisoras de aguas, en color naranja, y sus afluentes en color celeste.

En color rojo, marcamos la línea correspondiente al cálculo del tiempo de concentración para el diseño y verificación de la obra de arte.

Se marca con una flecha blanca el punto de control.



**CUENCA ANALIZADA**

Cuenca		
	Unidad	Cantidad
Superficie	km <sup>2</sup>	0,42
Perímetro	km	2,86
Long cuenca	km	1,24

Se optó para el cálculo del caudal de diseño el método racional con los siguientes parámetros:

- Recurrencia: 25 años (Obra de arte menor)
- Curva IDF de Salta
- Tc: Tiempo de concentración, calculado mediante la fórmula de Kirpich
- C: Coeficiente de escorrentía, de tabla adjunta.

Primeramente, se necesita el tiempo de concentración Tc para poder ingresar a la curva IDR. Se procede al cálculo.

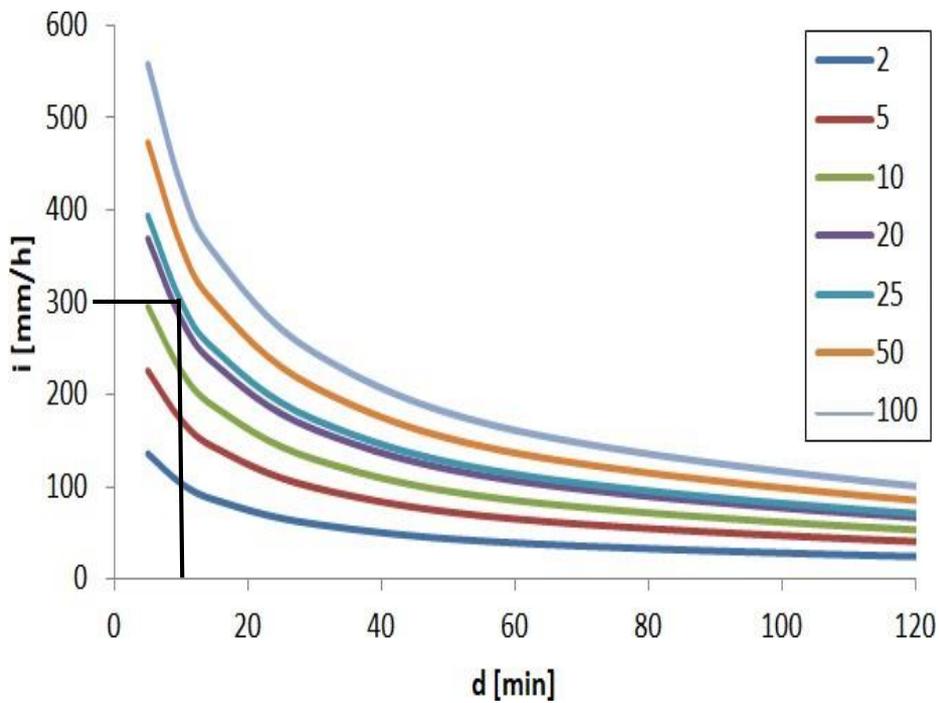
Con la siguiente fórmula se obtuvo el tiempo de concentración y con el gráfico de las curvas IDR, se obtuvo la intensidad de lluvia en mm/hs.

$$T_c = \left(0,87 * \frac{L^3}{Dh}\right)^{0,385} = \left(0,87 * \frac{1,10^3}{203}\right)^{0,385} = 0,13 = 7,8 \text{ minutos}$$

Siendo:

- L: Longitud del escurrimiento más largo
- Dh: Diferencia altimétrica del punto más alto y el punto más bajo
  - Dh = 1455m – 1252m= 203m

Se adopta un Tc = 8 minutos.



Intensidad de lluvia: i=300 (mm/hs).

Se procedido al calculó el caudal con el método racional:

$$Q = \frac{c * i * A}{360} = \frac{0,40 * 300 * 42}{360} = 14 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Siendo:

Q = Caudal máximo de derrame en m3/seg.

C = coeficiente de escorrentía obtenido de tabla 1 (0,40)

i = intensidad de lluvia (mm/hs)

A = área de la cuenca en Ha.

**TABLA I**  
**Coefficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.**

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<i>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</i>							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50 % del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

*Nota:* Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.

**TABLA I – Coeficientes de escorrentía**

Se obtiene entonces un caudal igual a:

$$Q = 14 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Una vez obtenido el caudal, se procedió a calcular el área mojada de la alcantarilla, luego la velocidad, para finalmente obtener las dimensiones de la alcantarilla.

Para el cálculo de la velocidad utilizamos la fórmula de Manning que corresponde a canales abiertos

Velocidad con la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2} = 2,81 \text{ m/s}$$

Dónde:

V = velocidad m/seg

Rh = radio hidráulico = 0.30

S = pendiente del cauce que atraviesa la carretera = 8% (Este dato se obtuvo tomando un punto aguas arriba de la alcantarilla y uno aguas abajo, calculando el  $\Delta h$ /Longitud nos da este valor de pendiente media)

N= Coeficiente de Manning = 0,045

Teniendo las secciones transversales de las alcantarillas existentes, procedemos al cálculo del radio hidráulico.

Área alcantarilla:  $h \times b = 1,00\text{m} \times 1,40\text{m} = 1,4 \text{ m}^2$

Perímetro alcantarilla: 4,8m

Pendiente media = Cota más alta – Cota más baja / Longitud medida

Pendiente media =  $(1275,4 + 1273,8 / 20) = 0,08 = 8\%$

Radio hidráulico = Área / Perímetro

Rh= 0,30

En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de rugosidad de Manning

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
<b>A Cauces naturales</b>			
<b>A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida &lt; 30 m)</b>			
<i>A.1.1 Cursos en planicies</i>			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunas piedras y pastos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
<i>A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida</i>			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
<b>A.2 Cursos en planicies inundadas</b>			
<i>A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos</i>			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
<i>A.2.2 Zonas cultivadas</i>			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
<i>A.2.3 Zonas arbustivas</i>			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
<i>A.2.4 Zonas arbóreas</i>			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
<b>A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida &gt; 30 m)</b>			
En este caso, los valores del coeficiente <i>n</i> son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Luego se obtuvo el área de la alcantarilla con la siguiente formula:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{14 \text{ m}^3/\text{seg}}{2,81 \text{ m}/\text{seg}} = 4,97 \text{ m}^2$$

Por seguridad y teniendo en cuenta que al producirse una tormenta fuerte se podría llegar a arrastrar sedimentos y elementos flotantes, se optó dimensionar una alcantarilla para un área de 5 m<sup>2</sup>. Para la cual se propone una alcantarilla de luces múltiples doble de L=2m de ancho cada tramo y una altura H= 1.25 m. En la siguiente tabla se resumen los valores adoptados para la alcantarilla según el plano tipo de la DNV O41211.

Alcantarilla de dos luces															
Cuadro N°1															
L	H	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	
2	1,25	0,6	0,3	1,44	4,88	0,25	0,2	0,42	0,11	0,3	2,26	2,04	0,64	0,12	
Cuadro N°2															
Tipo	Luz	Espesor	Armadura Losa				Tapada Max								
			Resistente		Repartición		Luz	luz							
			$\phi$	separac.	$\phi$	separac.	simpl	Mult							
"C" - aplanadora 20 tn	m	m	mm	m	mm	m	m	m							
	2	0,25	12	0,15	8	0,3	3,25	2							
Profundidad del diente de fundación: 1,50 m															

Se adjunta plano de alcantarilla tipo DNV O41211.

## **CAPITULO 9: AMBIENTAL**

Puede definirse al impacto ambiental como la modificación neta (positiva o negativa) de las condiciones, calidad o aptitud del ambiente producida por una acción, proyecto u obra. Es la diferencia entre la situación futura del ambiente modificado como consecuencia de la realización del proyecto y la situación futura del ambiente tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación. Esta modificación puede afectar tanto sus componentes como los procesos que se desarrollan en el sistema ambiental considerado.

Un impacto ambiental es toda alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del ambiente, causada por cualquier forma de materia o energía resultante de la actividad humana que, directa o indirectamente afecta: a) la salud, la seguridad y el bienestar de la población b) las actividades socioeconómicas; c) los ecosistemas; d) las condiciones estéticas y sanitarias del ambiente; e) la calidad de los recursos naturales.

Si bien se reconoce que toda actividad humana tiene efectos sobre el ambiente, solamente algunos de ellos se consideran suficientemente significativos como para considerarse impacto ambiental.

Las obras de infraestructura de transporte o vías terrestres, como son, por ejemplo: caminos, carreteras, autovías o autopistas, y vías férreas, y sus obras de cruce y empalmes utilizan áreas importantes en el territorio creando en el entorno impactos ambientales importantes.

Los posibles beneficios socioeconómicos proporcionados por las vías terrestres, incluyen la confiabilidad bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la contratación de trabajadores locales en obras en sí, el mayor acceso a la atención médica y otros servicios sociales y el fortalecimiento de las economías locales.

Sin embargo, las vías terrestres pueden producir también complejos impactos negativos directos e indirectos, a continuación, se mencionan los principales:

- Impactos directos

Los impactos más importantes relacionados con la construcción son aquellos que corresponden a la limpieza, nivelación o construcción del piso: pérdida de la capa vegetal, exclusión de otros usos para la tierra; modificación de patrones naturales de drenaje; cambios en la elevación de las aguas subterráneas; deslaves, erosión y sedimentación de ríos y lagos; degradación del paisaje o destrucción de sitios culturales; e interferencia con la movilización de animales silvestres, ganado y residentes locales. Muchos de estos impactos pueden surgir no sólo en el sitio de construcción sino también en las pedreras, canteras apropiadas y áreas de almacenamiento de materiales que sirven al proyecto. Adicionalmente, pueden darse impactos ambientales y socioculturales adversos en proyectos tanto de construcción como de mantenimiento, como resultado de la contaminación del aire y del suelo, proveniente de las plantas de asfalto, el polvo y el ruido del equipo de construcción y la dinamita; el uso de pesticidas, derrame de combustibles y aceites; la basura; y, en proyectos grandes, la presencia de mano de obra no residente.

Los impactos directos por el uso de las vías terrestres pueden incluir: mayor demanda de combustibles para los motores; accidentes con los medios no motorizados de transporte o el reemplazo de los mismos; mayor contaminación del aire, ruido, desechos a los lados del camino; daños físicos o muerte a animales y personas que intentan cruzar la vía; riesgos de salud y daños ambientales a raíz de los accidentes con materiales peligrosos en tránsito; y contaminación del agua debido a los derrames o la acumulación de contaminantes en la superficie de los caminos.

- Impactos indirectos

Muchos de estos son principalmente socioculturales. Éstos incluyen: la degradación visual debido a la colocación de carteles a los lados del camino; los impactos de la urbanización no planificada, inducida por el proyecto; la alteración de la tenencia local de tierras debido a la especulación; la construcción de nuevos caminos secundarios, primarios y terciarios; el mayor acceso humano a las tierras silvestres y otras áreas naturales; y la migración de mano de obra y desplazamiento de las economías de subsistencia. Estos impactos indirectos pueden producir:

- ✓ Pérdida de tierras agrícolas

La mejor tierra agrícola, relativamente plana y con buen drenaje, proporciona una ruta ideal para las vías terrestres, y muchos son colocados allí. En sí, la pérdida de tierra para el derecho de paso puede ser relativamente insignificante y normalmente se toma en cuenta al decidir si procede con un proyecto. Sin embargo, el fenómeno del desarrollo inducido, junto con el aumento del valor de la tierra por los caminos, puede resultar en la conversión de grandes áreas de tierra agrícola a otros usos. Tales conversiones pueden tener impactos negativos sobre los programas nacionales para agricultura sostenible y la autosuficiencia, así como sobre la viabilidad de la economía agrícola local.

- ✓ Interferencia con los métodos acostumbrados de transporte local

Los peatones y vehículos tirados por animales y de pedal, son tipos importantes de tránsito por los caminos de muchos países, especialmente los caminos locales y aquellos que llevan a los principales mercados urbanos. El mejoramiento de los caminos rurales no pavimentados al nivel de los pavimentados, que no tome en cuenta el volumen de dicho tránsito, resultará en un número inaceptable de accidentes y el reemplazo de los modos más lentos de transporte.

- ✓ Implicaciones nacionales y globales

La construcción de caminos y carreteras puede incrementar la demanda de vehículos motorizados, combustibles y lubricantes. Si éstos deben ser importados, se puede agravar el problema del balance de pagos. Puede deteriorarse la calidad del aire a nivel local o regional, y aumentará el aporte a los gases de efecto invernadero.

## Gestión ambiental

Se entiende por gestión ambiental al conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, basada en una coordinada información multidisciplinar y en la participación ciudadana.

## Desarrollo sustentable

Se denomina al desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Básicamente está formado por dos partes:

- a) El marco legal está formado por las normas de las diferentes jurisdicciones internacional, nacional, provincial y municipal:
  - Constitución Nacional y tratados internacionales.
  - Normativa Nacional, provincial y municipal.
  - Mega. (Manual de evaluación en gestión Ambiental)
  - Requerimiento de entidades de financiación.

- Pliegos y especificaciones técnicas generales y particulares.
- Contrato de obra.
- Políticas empresariales.
- Consideraciones de las necesidades y aspiraciones de la sociedad civil.
- Ley provincial en salta ley 7070 (Ley de Protección al Medio Ambiente).
- Ley nacional 25675.
- Temas considerados en legislación municipal y provincial.
- Inclusión de la obra vial como objeto de impacto ambiental.
- Licencia y duración.

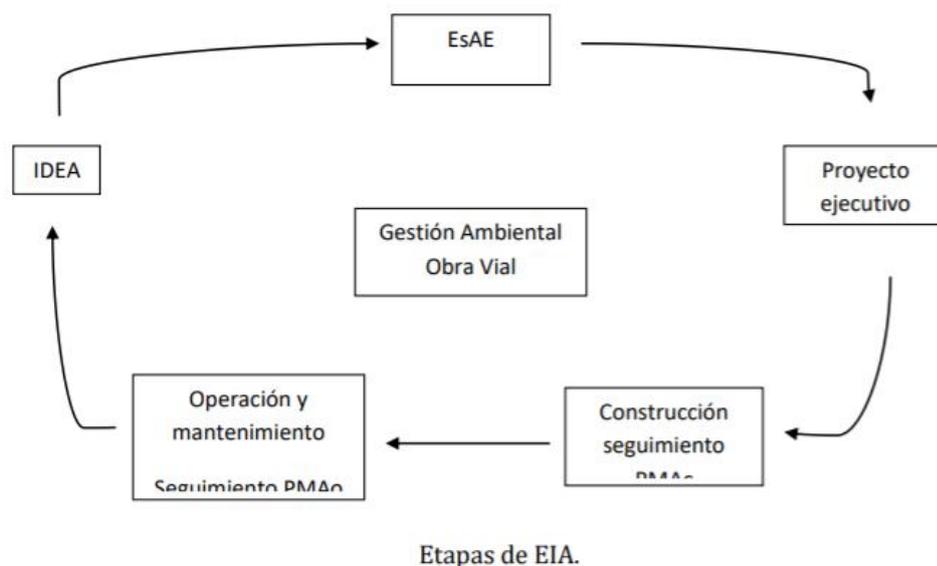
El más representativo es el MEGA II. Manual de evaluación en gestión ambiental. En él se refleja la política ambiental de la nación y de la DNV incorporando los objetivos de desarrollo sustentable en materia vial, el marco legal vigente a nivel nacional, la organización federal en relación a la participación de las autoridades ambientales provinciales donde se localiza el proyecto en concordancia con la constitución nacional.

Es una herramienta que brinda el marco técnico y de procedimiento para la consideración y aplicación de criterios ambientales en la planificación, proyecto, construcción, mantenimiento y operación de la red vial.

1. Participación ciudadana (audiencia pública)
2. Los plazos de la E.I.A.
3. Requisitos profesionales del E.I.A.
4. Autoridad de aplicación: permisos, utilización de agua, minerales, transporte y deposición de residuos.

b) Etapas de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Ciclo de la vida del proyecto vial. Se describe las decisiones y los puntos críticos de la evaluación ambiental para las fases de proyecto y construcción de la obra vial.



- EAE: Evolución Ambiental estratégico.

Procedimiento que tiene por objetivo la evaluación de las consecuencias ambientales que determinadas políticas, planes y programas pueden producir en el territorio, en la utilización de recursos naturales y en el logro de un desarrollo sostenible y equilibrado.

- EsAE: Estudio ambiental Expresivo.

Identificación que realiza la DNV para obtener en forma sencilla un diagnóstico preliminar de las principales interrelaciones de la obra y su ambiente. Sobre la base de esta información se estimarán los potenciales efectos negativos de la obra sobre el medio ambiente y el nivel de detalle requerido posteriormente para su adecuado manejo. Puede ser A, B, C, D. De A y B salen los terrenos referencia de pliego.

A: estudio de impacto ambiental detallado.

B: estudio de impacto ambiental preliminar de menor alcance.

C: plan de manejo ambiental.

D: Revisión y/o rechazo de la propuesta.

Para A y B se necesita EsIA preliminar.

Categorización por tipo de proyecto:

- Obra nueva.
- Ampliación.
- Rehabilitación.
- Mantenimiento.
- Mejoramiento.

Sensibilidad de medio natural:

- Alta.
- Media.
- Baja
- No significativa

Se debe considerar los componentes más sobresalientes del patrimonio natural y los ecosistemas argentinos.

Categorización en función del riesgo:

- Naturales. Por ejemplo: topografía elevada, presencia de ríos, zonas inundables, etc.
- Antrópico. Por ejemplo: construcciones, cementerios, canales, gasoductos, etc.

El grado de vulnerabilidad de las estructuras de las estructuras viales determinara las consecuencias de las eventuales acciones de estos condicionantes.

Se define Vulnerabilidad a la propensión o susceptibilidad al daño, dado la ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico con potencial destructivo. Es decir, es la resistencia o capacidad de respuesta que ofrece una obra, proyecto o sector social en particular a la acción de una amenaza. Siendo esta ultima un fenómeno sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesión u otro impacto a la salud, igual que

daños a la propiedad, pérdida de medios sustentables, trastornos sociales y económicos o daños ambientales. Puede ser: Amenaza natural o Amenaza Antrópicas.

Dicho esto, se define análisis de vulnerabilidad a la capacidad de un sistema o de un elemento para hacer frente, eludir, neutralizar o absorber los efectos de fenómenos naturales o entrópicos.

EsIAP: Estudio Impacto Ambiental Preliminar.

Estudio técnico de carácter interdisciplinario destinado a predecir, identificar valorar y corregir en forma preliminar las consecuencias o efectos ambientales que un determinado emprendimiento puede causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. Desde el punto de vista ambiental es el punto más importante.

EsIA del anteproyecto.

Se analizan los IA de la alternativa seleccionada. Para cada impacto se debe corresponder una medida de mitigación. Siendo esta un conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos y de fortalecimiento de los impactos positivos que deben acompañar al desarrollo de un proyecto para incrementar su sustentabilidad ambiental.

Cuando los siguientes ítems estén definidos se recomienda la audiencia pública.

- Pactos ambientales: son conceptos o premisas que ya quedan incorporadas en el diseño del proyecto. Por ejemplo: mantener taludes con cierta pendiente máxima. No reciben pago directo ni cuentan con una especificación, pero quedan materializados en planos y memorias del proyecto.
- Especificaciones técnicas particulares ambientales: quedan incluidas directamente en el proyecto, aparecen en los planos y memorias, cuentan con una especificación propia y reciben pago directo. Por ejemplo: pasa camino, pasarela, puentes, cruce a distinto nivel, etc.
- Especificaciones técnicas generales ambientales. No siempre pueden materializarse en un plano, pero son las que definen las pautas para la elaboración del plan del manejo ambiental de la fase de construcción. Por ejemplo: una empresa no puede sacar agua sin permiso de Recursos Hídricos.

Estudio de impacto ambiental definitivo.

Es un documento autosuficiente que contiene toda la información necesaria para comprender los alcances y analizar los impactos del proyecto y en qué medida son mitigados. Es el que se presenta a la autoridad de aplicación para la obtención de la licencia ambiental.

- Listado mínimo de obtener previo el inicio de la obra.
- Licencia ambiental (certificado de aptitud ambiental).
- Liberación de traza.
- Permiso de explotación de canteras.
- Permiso de expropiación de afluentes.
- Disposición de residuos de construcción.
- Plan de manejo ambiental de construcción.

Consideramos como una de las medidas más importantes referidas anteriormente, el PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE CONSTRUCCION, que refiere en base a las mitigaciones en el proyecto.

Si bien existe un número amplio de factores ambientales, como se mencionó anteriormente, se puede determinar que existen algunos que son más importantes para poder a través de ellos identificar los factores que se verán afectados de manera directa o indirecta por las actividades del proyecto.

En la siguiente tabla se presentan los factores ambientales más significativos.

Subsistema	Medio	Factores Ambientales	Sub-Factores
<b>Biológico</b>	Biótico	Vegetación	Unidades de vegetación
		Fauna	Número de individuos
<b>Físico</b>	Inerte	Aire	Contaminación del aire
			Olores
			Ruido
	Agua	Calidad del agua	
		Cantidad de agua (caudal ecológico)	
		Calidad del suelo	
Perceptual	Paisaje	Generación de residuos sólidos	
		Calidad del paisaje	
<b>Socio</b>	Social	Aceptabilidad	Cobertura de servicios básicos
			Uso eficiente del recurso hídrico
	Económico	Empleo	Mercado laboral
	Salud	Salud humana	Incidencia de enfermedades
			Salud de los usuarios
		Salud de los trabajadores	

Las actividades más impactantes de proyecto, desde el punto de vista negativo, son el movimiento de tierra y la pavimentación asfáltica, ya que el movimiento de tierras y el uso de maquinarias poseen un alto impacto. Además, la construcción de bases y sub bases remarcan gran cambio en el medio ambiente y en el paisaje.

Durante la construcción, se producirá contaminación por material particulado y en menor medida por gases. También se verá afectada la calidad del aire, se incrementarán los niveles de ruido debido a la operación de maquinarias y distintos equipos.

Se presenta una desestabilización de taludes, donde están previstos cortes y rellenos y se generaran zonas susceptibles a procesos de erosión pluvial e hídrica, es decir, en zonas extensas donde queda tierra sin cobertura vegetal, sujeta a la acción directa del agua y del viento. La contaminación del suelo es otro impacto negativo, esto se podría producir por vertimientos accidentales de combustibles y aceites durante la movilización y operación de maquinaria en la obra. Como se mencionó, se verá afectada la cobertura vegetal, debido al ensanchamiento de la sección de la ruta existente en aquellos lugares donde existe presencia de maleza.

Respecto a los impactos socio culturales, hay que tener en cuenta que se producirán molestias a la población adyacente al proyecto por la generación de ruido, polvo y gases dispersos. Se podrá tener un posible conflicto con los propietarios linderos debido a los predios afectados

No todos los impactos son negativos, sino que, mediante este proyecto, se verán afectados positivamente ciertos contextos como el factor social, debido a la generación de empleos en sus diversas etapas. También podemos mencionar, el comercio que genera grandes movimientos económicos, viéndose afectado el aspecto turístico también.

Cabe aclarar, que el mejoramiento de la ruta existente además permitirá elevar los niveles de ingreso de la población relacionada directa o indirectamente a las obras. Esto quiere decir, un aumento de la capacidad

adquisitiva de los propietarios de las fincas vecinas, además de generar mejores condiciones para el acceso a los servicios de salud, educación, transporte, etc.

En este proyecto se debe considerar un plan de manejo ambiental con la finalidad de disminuir y eliminar dichos aspectos negativos. Cabe aclarar, que ninguno de los impactos negativos supera a los positivos en ningún caso, ya que este proyecto, mejorara la calidad de vida de la población del área de influencia directa e indirecta.

Se propone que se lleven a cabo las siguientes actividades:

- Elaboración de informes periódicos acerca de la operación y mantenimiento
- Evaluaciones periódicas y directas de las unidades
- Evaluación del desempeño del plan de manejo ambiental

También se recomienda realizar 3 monitoreos durante la puesta en marcha del proyecto, en los cuales deben considerarse ciertos parámetros como ser pH, turbiedad (UNT), cloruro, sulfatos, etc.

Para este proyecto se consideran las siguientes medidas de mitigación:

- Respecto a la deforestación, se efectuarán forestaciones con especies nativas a efectos de compensar la limpieza de vegetación, cobertura vegetal y la extracción de árboles. Por cada árbol extraído se colocarán cinco arboles nuevos.
- Para disminuir los ruidos y vibraciones concretamente, la contratista deberá evitar el uso de maquinarias que producen niveles altos de ruidos (como ser martillo neumático, retroexcavadora, etc.) junto con la carga y transporte de los suelos extraídos. Tampoco se pondrán en circulación simultáneamente mas de tres camiones desinados al movimiento de suelo.
- Para evitar el exceso de material particulado y/o polvo en exceso, no se realizarán tareas que provoquen un levantamiento de partículas días ventosos, además se deberá regar periódicamente con agua para reducir el polvo en la zona de obra.
- Para evitar la contaminación de los cauces naturales, se deberá lograr una correcta gestión de los efluentes líquidos generados durante el desarrollo de la obra. Se deberá evitar el lavado de maquinarias que puedan producir escurrimientos y/o derrames de contaminantes cerca de cursos de agua.
- Para evitar la excesiva remoción del suelo y cobertura vegetal, no se harán excavaciones de suelo innecesarias que perjudiquen la flora y fauna silvestre. Realizando en forma manual ciertas tareas de excavaciones menores.
- El armado de terraplenes, afecta la calidad del suelo, al escurrimiento superficial, flora y fauna entre otros, esta actividad debe maximizar las medidas de seguridad para evitar también cualquier tipo de incidentes de los trabajadores. No se realizarán en días lluviosos para no generar una acumulación excesiva de agua en el lugar de trabajo que perjudicara al escurrimiento superficial. Además, se colocarán alcantarillas simultáneamente para evitar la interrupción de los drenajes naturales.
- Una vez terminada las actividades propias de la construcción, se procede a la limpieza de predios o terrenos ocupados para dicha obra.

## **CAPITULO 10: COMPUTO Y PRESUPUESTO**

El cómputo métrico consiste en dividir la obra en Ítems y determinar la cantidad de cada uno de ellos. Teniendo como objetivos:

- Determinar la cantidad de material necesario para ejecutar la obra.
- Establecer el costo de la obra
- Elegir la opción más conveniente.

Son problemas de medición de longitudes, áreas y volúmenes que requieren el manejo de fórmulas geométricas.

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida adoptada. Se compone de una valoración de los materiales, la mano de obra, equipos y herramientas a utilizar para realizar dicha tarea, fijando un rendimiento. En este intervienen todos los materiales a utilizar.

Una vez realizado el cómputo métrico se debe determinar el precio unitario de cada Ítem en base al análisis de precio. Luego la planilla de presupuesto se obtiene de la cantidad de cada Ítem multiplicado por cada precio para después sumarlos.

Los ítems que se consideraron para nuestro proyecto fueron los siguientes:

1. Terraplén con compactación especial.
2. Preparación de subrasante.
3. Sub - base estabilizada granular de agregado pétreo y suelo.
4. Base estabilizada granular de agregado pétreo y suelo.
5. Carpeta con mezcla bituminoso tipo concreto asfáltico e = 5 cm.
6. Imprimación bituminosa de la base estabil. Granular, con E.M 1 INCL. Aplicación
7. Riego de Liga C/E. R1, INCL. Aplicación a razón de 0,0004 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
8. Obras de arte (alcantarillas)
  - Hormigón H-17 excluida armadura para alcantarillas.
  - Hormigón H-21 excluida armadura para alcantarillas.
  - Acero especial en barras colocado.
  - Excavación para fundaciones.
9. Seguridad y señalización
  - Flex-beam
  - Señalizaciones horizontales
  - Señalizaciones verticales
10. Movilización.
11. Gastos de inspección.

Obtuvimos el siguiente computo métrico según los ítems desarrollados:

ITEM	DESIGNACION DE OBRA	UNIDAD	Dimension			CANTIDAD
			Largo	Ancho	Altura	
1	Terraplen con compactacion especial	m3	Datos AutoCAD			114790
2	Preparación de subrasante	m2	5350	7,3	0	39055
3	Construccion de sub-base estabilizada granular de agregado petreo y suelo. Esp	m3	5350	7,3	0,15	5858,25
4	Construccion de base estabilizada granular de agregado petreo y suelo. Esp 0,10	m3	5350	7	0,1	3745
5	Ejecucion de carpeta con mezcla bituminoso tipo concreto asfaltico Esp 0,10 m	m2	5350	6,7	0,1	32100
6	Imprimacion bituminosa de la base estabil. Granular, con E.M 1INCL. Aplicación	m2	5350	6,7	0,0013	35845
7	Riego de liga C/E.R1, INCL. Aplicación a razon de 0,0004 m3/m2	m2	5350	6,5	0,0004	34775
8	Obras de Arte (alcantarilals)					
	Excavacion para fundaciones (Volumen alcant+diente)	m3	De acuerdo a plano de Alcantarilla Vol = 30,90 x Unidad			61,8
	Hormigon H-21 exluida armadura (Losa+estribos laterales+tabique)	m3	De acuerdo a plano Alcantarilla Vol=11,64x Unidad			23,28
	Hormigon H-17 exluida armadura (Platea fundacion+diente)	m3	De acuerdo a plano Alcantarilla Vol=6,90x Unidad			13,8
	Acero especial en barras colocado	Tn	De acuerdo a analisis de la cant H°			15
9	Segurida y señalizacion					
	Defensa vehicular tipo Flex-Beam s/PL DNV H-10237	m	De acuerdo a condiciones de terraplen			800
	Señalizacion Vertical Reflectiva	m2	Se calculo de forma aproximada			100
	Señalizacion Horizontal Termoplastica	m2	5350	0,8	0,005	21,4
10	Movilizacion	Gbl	De acuerdo a pliego			1
11	Gastos de inspeccion	Gbl	De acuerdo a pliego			1

A continuación, se realiza a modo de ejemplo el análisis de precio de los ítems “Terraplén con compactación especial” y “Carpeta con mezcla bituminoso tipo concreto asfáltico e = 5 cm.”. Se eligieron estos dos ítems considerando su incidencia sobre el costo total de obra. Se involucra los equipos a usar, sus rendimientos, involucrando variables tales como:

- 1) Mano de Obra: Los precios fueron obtenidos del ministerio de Economía y Servicios públicos en el periodo de agosto del presente año.

UNIDAD CENTRAL DE CONTRATACIONES		Ministerio de Economía y Servicios Públicos				
Dirección Contratistas de Obras Públicas		Gobierno de Salta				
MANO DE OBRA - PERIODO AGOSTO 2.021						
CATEGORIA	IMPORTE \$/h	CARGA SOCIAL	TOTAL	NO REMUNERATIVOS		TOTAL
				CONVENCIONAL	TOTAL NO REMUNERATIVO	
mo.001	\$ 333,36	\$ 317,959	\$ 651,319	\$ 1,506	\$ 1,506	\$ 652,824
mo.002	\$ 284,05	\$ 270,927	\$ 554,977	\$ 1,506	\$ 1,506	\$ 556,483
mo.003	\$ 261,89	\$ 249,791	\$ 511,681	\$ 1,506	\$ 1,506	\$ 513,186
mo.004	\$ 240,43	\$ 229,322	\$ 469,752	\$ 1,506	\$ 1,506	\$ 471,258
Sin Cargas Sociales						
JORNAL DIARIO		\$1.923,44				
ayudante (\$) x 8 (hs)						
7500 JORNALES		\$ 14.425.800,00				
ayudante (\$) x 7500 x 8 (hs)						

PERSONAL	\$/hs	\$/dia
Oficial Especializado	651,319	5210,552
Oficial o chofer	554,977	4439,816
1/2 Oficial	551,681	4413,448
Ayudante	469,752	3758,016

2) Amortizaciones e intereses:

- Amortización: 5 años a 2.000 horas/año ósea a 10.000 horas, considerando el trabajo de la maquinaria 8 hs/día.

$$A \left( \frac{\$}{\text{dia}} \right) = \frac{CAPITAL * 8 \text{ hs/dia}}{10000 \text{ hs}} = 0,00080 * CAP/dia$$

Donde:

CAPITAL: Costo del Equipo

8 hs/día: Jornal de Trabajo

10.000 hs: Vida Útil = Años \* 2000 horas /año

VIDA UTIL	AÑOS	Horas
<i>Equipo Liviano</i>	3	6.000
<i>Equipo Pesado</i>	5	10.000
<i>Equipo super Pesado</i>	8	16.000

- Intereses: a 2.000 horas, considerando el trabajo de la maquinaria 8 hs/día a una tasa de interés de 8%.

$$I \left( \frac{\$}{\text{dia}} \right) = \frac{CAPITAL * I (\%/\text{año}) * 8 \text{ hs/dia}}{2000 \text{ hs/año}} = 0,000160 * CAP/dia$$

Donde:

CAPITAL: Costo del Equipo

8 hs/día: Jornal de Trabajo

2.000 hs/año: Tiempo trabajado anualmente

I%/año: Interés Anual

- 3) Reparación y repuestos: Se estima, con bastante aproximación; que por reparación y repuestos una máquina, durante su vida útil, consume un porcentaje del Valor de Adquisición, que varía según el tipo de la complejidad del trabajo.  
Se adopta el 70 % de la amortización.

$$RR = R * \% \text{ de Amortizacion} = 0,7 * 0,00080 * CAP/dia$$

- 4) Combustible y lubricantes: con respecto al combustible se considera 0.13 lt/HP y con respecto al lubricante se considera un 25 % del combustible.

- $Comb. = Consumo * Costo combustible * 8 \frac{hs}{dia} = 0,13 \frac{lt}{HP.hs} * 81,80 \frac{\$}{lt} * 8 \frac{hs}{dia} = 85,072 \frac{\$}{HP.dia}$

- $Lubric. = 0,25 * Comb. = 0,25 * 85,072 \frac{\$}{HP.dia} = 21,268 \frac{\$}{HP.dia}$

- 5) Materiales

- 6) Gastos Generales, Beneficios e I.V.A

Coficiente Resumen: La suma de los ítems descriptos anteriormente nos dan el COSTO DIRECTO, para llegar al PRECIO DE VENTA se debe afectarlos del COEFICIENTE RESUMEN:

- al costo directo 100%
- los gastos generales que atrae la obra considerado el 15%
- el beneficio para el contratista valuado en el 10%, ambos aplicados al costo directo
- para luego sumarle el I.V.A (21%) a dicho valor.

$$1 + 0,15 + 0,10 = 1,25$$

$$1,25 + 0,21 * 1,25 = 1,5125$$

Dicho todo esto se procede a presentar la planilla de los ítems mencionados respectivamente: “Terraplén con compactación especial” y “Carpeta con mezcla bituminoso tipo concreto asfáltico e = 5 cm.”

ALUMNOS		OBRA : RUTA PROVINCIAL N° 11 - TRAMO LA CALDERA			HOJA NRO.	1
Choque Augusto		SECCION : (PROG. 2+100 - PROG. 8+100)				
Zamora Mateo		COMPUTO Y PRESUPUESTO				
ITEM:	TERRAPLEN CON COMPACTACION ESPECIAL		UNIDAD: m3	COSTO		
EQUIPOS	CANTIDAD/DIA	POTENCIA (HP)	PRECIO			
Motoniveladora	2	360	\$ 31.905.288,31			
Topadora	2	400	\$ 43.977.068,44			
Rodillo pata de cabra	2	0	\$ 1.671.590,91			
Rodillo neumatico autopropulsado	1	70	\$ 13.975.565,12			
Camion regador de agua	1	140	\$ 17.355.687,96			
Rastra de disco	1	0	\$ 1.840.350,49			
Camion volcador	4	560	\$ 20.410.342,99			
Compactador P. de C. autoptop.	1	120	\$ 33.096.603,49			
Tanque de agua 15000 lt	2	0	\$ 1.040.900,00			
<b>RENDIMIENTO :</b>	<b>1300 m3/dia</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1650</b>	<b>\$ 165.273.397,71</b>		
<b>1- AMORTIZACION E INTERESES :</b>						
C x CAP/dia	0,0008	165.273.397,71		132.219 \$/d		
I x CAP/dia	0,00016	165.273.397,71		26.444 \$/d		
				158.662 \$/d		
<b>RENDIMIENTO :</b>	<b>1300 m3/dia</b>				<b>122 \$/m3</b>	
<b>2- REPARACION Y REPUESTOS :</b>						
RR x CAP/dia	0,00056	165.273.397,71		92.553 \$/d		
<b>RENDIMIENTO :</b>	<b>1300 m3/dia</b>				<b>71 \$/m3</b>	
<b>3- COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES :</b>						
GAS-OIL	85,072	1650		140.369 \$/d		
LUBRICANTES	21,268	1650		35.092 \$/d		
				175.461 \$/d		
<b>RENDIMIENTO :</b>	<b>1300 m3/dia</b>				<b>135 \$/m3</b>	
<b>4- MANO DE OBRA</b>						
	<b>CANT.</b>	<b>PRECIO</b>	<b>COSTO PARC.</b>			
OFICIAL	17	4.440 \$/d	75.477 \$/d			
AYUDANTE	6	3.758 \$/d	22.548 \$/d	98.025 \$/d		
VIGILANCIA 10 %				9.802 \$/d		
				107.827 \$/d		
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1300 m3/dia</b>				<b>83 \$/m3</b>	
<b>5- MATERIALES</b>						
	<b>INSUMOS</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>				
	0	0	0		0	
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1300 m3/dia</b>				<b>0 \$/m3</b>	
					*****	
				<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>411 \$/m3</b>	
		<b>COEFICIENTE DE RESUMEN</b>	<b>0,5125</b>		<b>211 \$/m3</b>	
					<b>622 \$/m3</b>	
				<b>ADOPTADO</b>	<b>622 \$/m3</b>	

Como se puede observar el precio unitario es de 622 \$/m3.

ALUMNOS	OBRA : RUTA PROVINCIAL N° 11 - TRAMO LA CALDERA			HOJA NRO.	2
Choque Augusto	SECCION : (PROG. 2+100 - PROG. 8+100)				
Zamora Mateo	COMPUTO Y PRESUPUESTO				
ITEM:	CARPETA CON MEZCLA BITUMINOSO TIPO CONCRETO ASFALTICO e = 10 cm		UNIDAD: m3	COSTO	
EQUIPOS	CANTIDAD/DIA	POTENCIA (HP)	PRECIO		
Planta Asfaltica	1	400	\$ 124.908.000,00		
Pala cargadora	1	140	\$ 31.783.420,74		
Compactador asfalto doble rodillo O CAT CB434 D	1	83	\$ 24.079.876,85		
Rodillo neumatico autopropulsado	1	70	\$ 13.975.565,12		
Vibrocompactador s/neumatico rodillo liso	2	200	\$ 20.158.216,65		
RENDIMIENTO:	300 Tn/dia	TOTAL	893	\$ 214.905.079,36	
<b>1- AMORTIZACION E INTERESES :</b>					
C x CAP/dia	0,0008	214.905.079,36		171.924 \$/d	
I x CAP/dia	0,00016	214.905.079,36		34.385 \$/d	
				206.309 \$/d	
RENDIMIENTO:	300 Tn/dia				687,70 \$/Tn
<b>2- REPARACION Y REPUESTOS :</b>					
RR x CAP/dia	0,00056	214.905.079,36		120.347 \$/d	
RENDIMIENTO :	300 Tn/dia				401,16 \$/Tn
<b>3- COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES :</b>					
GAS-OIL	85,072	893		75.969 \$/d	
LUBRICANTES	21,268	893		18.992 \$/d	
				94.962 \$/d	
RENDIMIENTO :	300 Tn/dia				316,54 \$/Tn
<b>4- MANO DE OBRA</b>					
	CANT.	PRECIO	COSTO PARC.		
OFICIAL	10	4.440 \$/d	44.398 \$/d		
AYUDANTE	16	3.758 \$/d	60.128 \$/d	104.526 \$/d	
VIGILANCIA 10 %				10.453 \$/d	
				114.979 \$/d	
RENDIMIENTO	300 Tn/dia				383,26 \$/Tn
<b>5- MATERIALES</b>					
		INSUMOS	PRECIO UNIT.		
Triturado grueso P/C.C.ASF.		0,15 Tn/Tn	4.859,96 \$/Tn		728,99 \$/Tn
Triturado intermedio P/C.C.ASF.		0,08 Tn/Tn	4.859,96 \$/Tn		388,80 \$/Tn
Arena de trituracion P/C.C.ASF.		0,12 Tn/Tn	4.859,96 \$/Tn		583,20 \$/Tn
Zarandeado fino P/C.C.ASF.		0,45 Tn/Tn	1.062,25 \$/Tn		478,01 \$/Tn
Zarandeado grueso P/C.C.ASF.		0,25 Tn/Tn	1.289,12 \$/Tn		322,28 \$/Tn
					*****
				COSTO DIRECTO	4.289,93 \$/Tn
				COEFICIENTE DE RESUMEN	0,5125
					2.198,59 \$/Tn
					6.488,52 \$/Tn
				ADOPTADO	6.489,00 \$/Tn

Como se puede observar el precio unitario es de 6.489 \$/Tn.

Una vez obtenido el computo métrico y los precios unitarios de todos los ítems computados, se realizó el presupuesto de la obra para de esta manera obtener el precio final:

ITEM	DESIGNACION DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario por ítem \$	Costo total por ítem
1	Terraplen con compactacion especial	m3	114790	\$ 488,87	\$ 56.117.387
2	Preparación de subrasante	m2	39055	\$ 500,00	\$ 19.527.500,00
3	Construccion de sub-base estabilizada granular de agregado petreo y suelo. Esp	m3	5858,25	\$ 1.374,86	\$ 8.054.273,60
4	Construccion de base estabilizada granular de agregado petreo y suelo. Esp 0,10	m3	3745	\$ 3.956,96	\$ 14.818.815
5	Ejecucion de carpeta con mezcla bituminoso tipo concreto asphaltico Esp 0,10 m	m2	32100	\$ 6.200,00	\$ 199.020.000
6	Imprimacion bituminosa de la base estabil. Granular, con E.M 1INCL. Aplicación	m2	35845	\$ 126,14	\$ 4.521.488,30
7	Riego de liga C/E.R1, INCL. Aplicación a razon de 0,0004 m3/m2	m2	34775	\$ 55,96	\$ 1.946.009,00
8	Obras de Arte (alcantarilals)				
	Excavacion para fundaciones (Volumen alcant+diente)	m3	61,8	\$ 679,96	\$ 42.021,53
	Hormigon H-21 exluida armadura (Losa+estribos laterales+tabique)	m3	23,28	\$ 27.512,37	\$ 640.487,97
	Hormigon H-17 excluida armadura (Platea fundacion+diente)	m3	13,8	\$ 27.100,00	\$ 373.980,00
	Acero especial en barras colocado	Tn	15	\$ 198.643,60	\$ 2.979.654,00
9	Segurida y señalizacion				
	Defensa vehicular tipo Flex-Beam s/PL DNV H-10237	m	800	\$ 5.426,03	\$ 4.340.824,00
	Señalizacion Vertical Reflectiva	m2	100	\$ 16.526,35	\$ 1.652.635,00
	Señalizacion Horizontal Termoplastica	m2	21,4	\$ 1.549,30	\$ 33.155,02
10	Movilizacion	Gbl	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
11	Gastos de inspeccion	Gbl	1	\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
					\$ 314.338.231

Como se puede observar el costo total de obra será de \$ 314.338.231, lo que equivaldría a aproximadamente a \$ 52.389705 cada kilómetro.

*Nota: Todos los precios utilizados, tanto para el análisis de precio como el precio unitario por ítem fueron extraídos de la página web de la unidad central de contrataciones de la provincia de Salta y del diario el constructor con actualización del mes de julio del presente año.*

## **CAPITULO 11: CONCLUSIONES**

En este capítulo vamos a abordar las conclusiones que nos llevó este trabajo final para el título de Ingeniero. Son varios los conocimientos y experiencias que vivimos en el desarrollo del mismo.

El tema seleccionado, una obra vial, no es algo muy frecuente en la facultad, pocos alumnos venían realizando dichos trabajos, a lo mejor por la complejidad que el tema conlleva. Nuestra decisión fue debido a que es una de las ramas de la ingeniería que más nos atrae. Los trabajos viales son trabajos a gran escala, con programas nuevos, trabajos de campo, laboratorios, en el cual eran otras características que nos atrajeron a la decisión final.

Lamentablemente, debido a la situación en la que nos encontramos durante la elaboración de dicho proyecto, atravesando una pandemia, no tuvimos la oportunidad de vivir la experiencia realizando laboratorios y en algunos casos los trabajos de campo. Sin embargo, esto nos exigió de cierta forma a inducirnos aún más en el tema, llevando investigaciones profundas para poder reemplazar los datos exactos que por fuerza mayor no los pudimos obtener de manera correcta, pero llegando a aproximaciones aproximadas por medio de modelos digitales y datos extraídos de otras tesis realizadas.

Decidimos optar por la Ruta Provincial N° 11 “Tramo La Caldera”, debido a que consideramos que la misma será muy necesaria e importante en un futuro, contribuyendo principalmente a la interconexión (fortalecimiento de la relación interdepartamental) entre el municipio Campo Santo y el departamento Gral. Güemes. Lugares que se encuentran atravesando la Ruta Provincial 11 distantes entre sí aproximadamente 6km.

Así mismo se podrá brindar a la población y sobre todo a los usuarios que transitan por el acceso Norte de la Provincia de Salta una mejor categoría de camino al existente, dando para ellos una mejor alternativa de circulación. Así podrán desplazarse en un menor tiempo desde La caldera hasta la Ciudad de Güemes, o viceversa. Con ello se dará pie a un mayor crecimiento poblacional y turístico en la zona.

Fue de vital importancia poder continuar con el tramo realizado en el Proyecto de grado “Ruta Provincial N° 11” elaborado el año 2011, esto nos facilitó al momento de obtener los ensayos correspondientes para determinar el tipo de suelo.

Si bien, debido a las complejidades mencionadas en la que nos encontramos no pudimos obtener la topografía de manera correcta (trabajo de campo), esto nos sirvió para incursionarnos aún más en tareas de investigación para poder buscar la mejor alternativa para seguir adelante con el proyecto. Reiteramos que esto no es lo correcto en el ámbito profesional, pero a fines de este proyecto nos dio un gran resultado y sobre todo una herramienta más de aprendizaje para nuestra vida profesional.

Cuando por fin logramos obtener las curvas de nivel y demás datos de la superficie, comenzamos a trabajar con el famoso programa AutoCAD CIVIL 3D, el cual fue uno de los retos más grandes, ya que toda la planimetría y altimetría de nuestro proyecto fue realizada mediante este. Este es uno de los programas más utilizados, por lo cual nos sirvió además este desafío a progresar como ingenieros, adquiriendo conocimientos de programas como estos.

El análisis del camino lo hicimos mediante el programa CIVIL 3D, es un programa muy complejo y un desafío importante para nosotros aprender a usarlo en su totalidad.

Este proyecto que se desarrolló ha contribuido de manera muy importante para identificar y resaltar los problemas que afectan la traza de tramo analizado.

Se tomó en cuenta trabajar sobre la traza existente, modificando está en situaciones en las cuales se consideró necesaria y no analizar una propuesta totalmente diferente, para así obtener una menor cantidad de movimiento

de suelo y consecuentemente procurar economizar el proyecto. Se verificaron todos los parámetros necesarios para que la misma al ser transitada cumpla con los requisitos fundamentales de una carretera “seguridad y comodidad” para los usuarios.

La traza del camino que se planteo tiene 8 curvas horizontales y 15 curvas verticales. Dichas curvas se plantearon de tal forma de acompañar el terreno existente y evitar pendientes pronunciadas. Este fue un resultado muy optimo y dentro del alcance económico para poder llevarlo a cabo.

En la etapa final del trabajo nos tocó aprender ciertas cosas que la verdad no estábamos al tanto de cómo se desarrolla en un trabajo vial, entre esas cosas tenemos el dimensionamiento de alcantarillas, vimos un análisis completo de cómo se desarrolla esta etapa previa al inicio de obra, los análisis de precio correspondientes que se deben realizar, el impacto ambiental que genera una obra de esta magnitud, vimos los pasos a seguir, informes a realizar y los posibles daños que se puedan realizar y como se solventan los mismos.

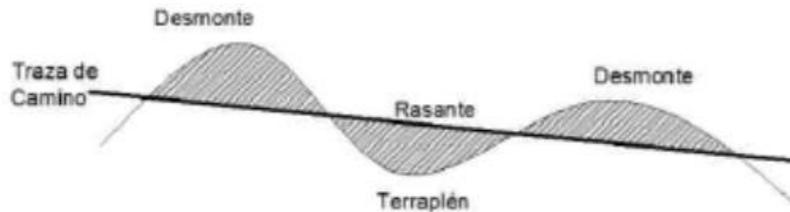
Toda obra ingenieril tiene un precio, a lo cual se puede ver que esta analizado con los ítems que se consideran los más importantes con su respectivo computo métrico. Para un suelo con CBR= 6,6 %, un TMDA= 1500, se obtuvo un paquete estructural, con una capa de rodamiento igual a 10 cm, base granular de 10 cm y una sub-base igual a 15 cm. La obra tiene un presupuesto a julio del año 2021 igual a \$ 314.338.231.

Como conclusión final creemos que se abordó el proyecto lo más profesional posible tratando de llegar y optimizar los resultados obtenidos, y afirmando que la rama de la parte vial de ingeniería civil sigue siendo una de las más lindas, entretenidas, no monótona y en la cual siempre se aprende algo nuevo.

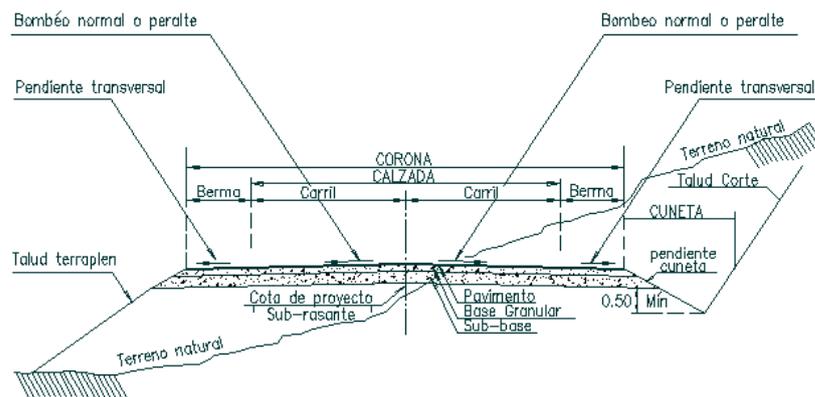
# ANEXOS

**Anexo I: CONCEPTOS GENERALES**

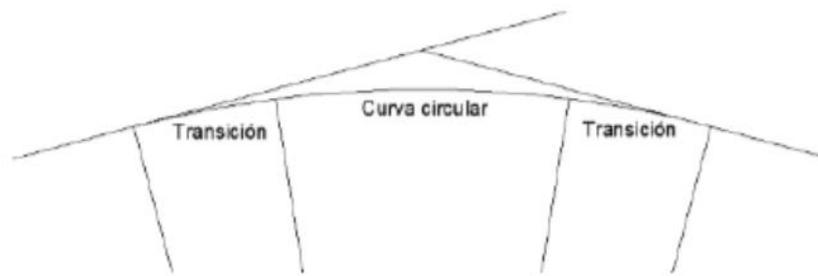
- Vía de comunicación: Es una trayectoria a través de la cual se pueden desplazar materiales o personas desde un punto a otro.
- Carretera: Es una superficie en la cual predomina la longitud con respecto al ancho sobre la cual los vehículos pueden desplazarse con seguridad y comodidad, para una velocidad preestablecida.
- Perfil Longitudinal: Es el que se obtiene por la intersección de un plano vertical en coincidencia con el eje del camino.



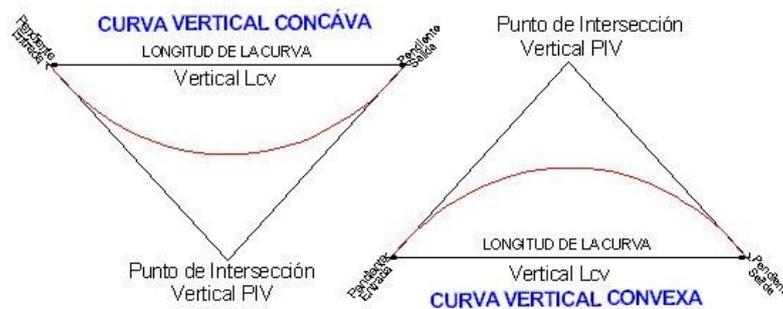
- Perfil Transversal: Es el que se obtiene cortando a la superficie con un plano vertical y perpendicular al eje del camino.



- Progresiva: Es la distancia en metros desde el punto inicial o cualquiera otra arbitraria hasta cualquier punto de la trayectoria del camino, que en aquella recorre el camino.
- Curva horizontal: En todo vértice debe existir curva de un determinado radio.
- Velocidad directriz: Depende de la categoría de camino y de las condiciones topográficas de la zona donde se realizará. Es aquella a la cual un conductor de habilidad media puede recorrer la carretera con seguridad y comodidad.
- Peralte: El peralte es la inclinación transversal de la vía en las curvas. Se construye para compensar la fuerza centrífuga, que haría que el vehículo se saliera de la calzada.
- Curva con transición: Al pasar de una alineación recta a una curva circular, aparece bruscamente la fuerza centrífuga, con dos consecuencias. Incomodidad y peligro de deslizamiento. Para evitar estos efectos se intercala una transición entre la alineación y la curva circular.



- **Curva vertical:** La altimetría de la rasante se caracteriza por la pendiente de la misma que salvo casos excepcionales no debe superar el 4 %, cuando hay un cambio de pendiente las dos rectas se deben empalmar mediante una curva. La curva que se utiliza es la parábola, para que la variación de la pendiente sea una constante.



- **Tránsito Medio Diario Anual:** es una medida fundamental del tránsito y en el sentido estricto se define como el volumen de tránsito total anual dividido por el número de días del año, generalmente se abrevia **T.M.D.A.**
- **Volumen de tránsito:** Se denomina volumen de tránsito al número de vehículos que pasa por un tramo dado durante un período de tiempo.
- **Grupos principales de tránsito:**
  - ✓ *Automóviles:* Se incluyen también en esta categoría a las camionetas y todo otro vehículo cuyas características de operación se asemeje a las de los automóviles.
  - ✓ *Ómnibus:* Incluye a los "colectivos", micro-ómnibus y similares.
  - ✓ *Camiones:* Incluye a los camiones con y sin acoplado, semi-remolques, semi-remolques con acoplado y todo otro vehículo cuyas características de operación sean similares a las de los camiones.

**Anexo II: TABLA DE PUNTOS COORDENADAS PENZ (Punto, Este, Norte, Elevación)**

Punto	Este	Norte	Z
9	3563372	7272509	1436
10	3563365	7272495	1436
11	3563361	7272486	1436
12	3563357	7272482	1436
13	3563352	7272477	1436
14	3563347	7272473	1437
15	3563342	7272466	1436
16	3563336	7272460	1437
17	3563332	7272456	1437
18	3563325	7272452	1439
19	3563322	7272450	1439
20	3563313	7272445	1440
21	3563308	7272441	1440
22	3563303	7272438	1440
23	3563301	7272438	1441
24	3563294	7272430	1439
25	3563288	7272424	1438
26	3563285	7272417	1437
27	3563280	7272412	1436
28	3563275	7272407	1435
29	3563271	7272400	1434
30	3563267	7272395	1434
31	3563265	7272389	1434
32	3563261	7272387	1434
33	3563258	7272382	1435
34	3563255	7272375	1435
35	3563254	7272369	1434
36	3563254	7272360	1433
37	3563254	7272356	1432
38	3563257	7272352	1431
39	3563259	7272346	1429
40	3563261	7272340	1428
41	3563264	7272336	1426
42	3563274	7272334	1424
43	3563275	7272339	1425
44	3563275	7272346	1426
45	3563275	7272351	1427
46	3563276	7272355	1427
47	3563284	7272362	1427
48	3563297	7272363	1425
49	3563307	7272365	1423
50	3563321	7272370	1420

51	3563334	7272376	1418
52	3563341	7272382	1418
53	3563348	7272392	1418
54	3563353	7272398	1418
55	3563374	7272406	1415
56	3563393	7272412	1413
57	3563408	7272415	1411
58	3563425	7272421	1412
59	3563436	7272419	1412
60	3563443	7272413	1412
61	3563445	7272404	1410
62	3563444	7272396	1409
63	3563441	7272394	1408
64	3563438	7272390	1408
65	3563435	7272385	1407
66	3563432	7272378	1406
67	3563430	7272374	1405
68	3563428	7272371	1405
69	3563424	7272362	1405
70	3563428	7272367	1405
71	3563422	7272358	1405
72	3563420	7272353	1405
73	3563417	7272348	1405
74	3563416	7272341	1406
75	3563416	7272338	1406
76	3563416	7272333	1407
77	3563422	7272328	1407
78	3563434	7272324	1406
79	3563432	7272324	1406
80	3563450	7272322	1404
81	3563459	7272320	1403
82	3563470	7272318	1402
83	3563477	7272316	1402
84	3563493	7272314	1401
85	3563503	7272311	1402
86	3563511	7272308	1402
87	3563523	7272304	1402
88	3563532	7272300	1401
89	3563541	7272298	1401
90	3563552	7272294	1400
91	3563563	7272291	1399
92	3563578	7272288	1397
93	3563591	7272282	1397
94	3563606	7272274	1396
95	3563606	7272278	1396

96	3563617	7272268	1395
97	3563627	7272262	1394
98	3563635	7272255	1393
99	3563645	7272248	1392
100	3563649	7272242	1391
101	3563656	7272237	1390
102	3563662	7272232	1390
103	3563674	7272225	1389
104	3563682	7272221	1388
105	3563692	7272219	1387
106	3563704	7272212	1385
107	3563717	7272207	1384
108	3563732	7272202	1383
109	3563739	7272197	1383
110	3563746	7272196	1383
111	3563758	7272190	1382
112	3563758	7272190	1382
113	3563773	7272184	1383
114	3563790	7272177	1383
115	3563801	7272175	1384
116	3563811	7272171	1385
117	3563826	7272165	1386
118	3563836	7272161	1387
119	3563841	7272158	1387
120	3563855	7272154	1387
121	3563861	7272149	1386
122	3563877	7272144	1385
123	3563883	7272141	1384
124	3563890	7272139	1383
125	3563899	7272135	1382
126	3563906	7272131	1381
127	3563917	7272124	1381
128	3563928	7272119	1380
129	3563934	7272114	1379
130	3563946	7272108	1377
131	3563953	7272105	1376
132	3563962	7272100	1375
133	3563974	7272092	1374
134	3563984	7272086	1374
135	3563995	7272081	1373
136	3564000	7272077	1373
137	3564010	7272070	1372
138	3564021	7272063	1372
139	3564029	7272057	1371
140	3564037	7272052	1371

141	3564047	7272046	1370
142	3564055	7272042	1370
143	3564072	7272037	1368
144	3564085	7272036	1366
145	3564099	7272035	1364
146	3564110	7272033	1362
147	3564124	7272033	1361
148	3564132	7272028	1361
149	3564131	7272029	1361
150	3564141	7272019	1361
151	3564147	7272012	1361
152	3564158	7272007	1361
153	3564169	7272002	1362
154	3564176	7272002	1362
155	3564200	7272005	1361
156	3564212	7272006	1360
157	3564224	7272008	1359
158	3564230	7272010	1359
159	3564245	7272007	1358
160	3564256	7272000	1358
161	3564264	7271995	1358
162	3564273	7271990	1357
163	3564285	7271985	1356
164	3564295	7271980	1356
165	3564313	7271972	1355
166	3564320	7271967	1355
167	3564328	7271961	1355
168	3564334	7271956	1355
169	3564348	7271952	1354
170	3564358	7271950	1353
171	3564367	7271950	1352
172	3564379	7271950	1351
173	3564397	7271953	1349
174	3564424	7271955	1346
175	3564439	7271957	1345
176	3564465	7271960	1344
177	3564491	7271963	1344
178	3564518	7271964	1341
179	3564538	7271963	1340
180	3564557	7271960	1340
181	3564587	7271956	1340
182	3564604	7271954	1340
183	3564633	7271948	1340
184	3564653	7271944	1340
185	3564679	7271939	1338

186	3564703	7271934	1338
187	3564729	7271930	1339
188	3564743	7271928	1338
189	3564760	7271926	1337
190	3564779	7271923	1336
191	3564792	7271917	1338
192	3564804	7271912	1339
193	3564819	7271906	1339
194	3564832	7271899	1339
195	3564844	7271890	1338
196	3564858	7271881	1337
197	3564876	7271871	1334
198	3564890	7271862	1333
199	3564901	7271854	1331
200	3564918	7271845	1332
201	3564935	7271837	1333
202	3564952	7271830	1334
203	3564967	7271824	1334
204	3564982	7271816	1333
205	3564998	7271810	1332
206	3565007	7271803	1332
207	3565018	7271799	1331
208	3565031	7271793	1330
209	3565041	7271787	1329
210	3565054	7271775	1328
211	3565067	7271767	1328
212	3565076	7271759	1328
213	3565088	7271749	1329
214	3565104	7271739	1329
215	3565111	7271733	1329
216	3565120	7271727	1329
217	3565133	7271715	1329
218	3565143	7271710	1328
219	3565157	7271705	1326
220	3565167	7271700	1326
221	3565176	7271692	1326
222	3565187	7271682	1326
223	3565196	7271673	1326
224	3565205	7271664	1327
225	3565209	7271654	1328
226	3565218	7271646	1328
227	3565231	7271634	1328
228	3565229	7271638	1327
229	3565242	7271625	1327
230	3565251	7271619	1328

231	3565266	7271613	1327
232	3565281	7271607	1327
233	3565297	7271603	1326
234	3565312	7271598	1324
235	3565330	7271592	1321
236	3565349	7271588	1318
237	3565367	7271583	1316
238	3565387	7271579	1315
239	3565402	7271571	1315
240	3565420	7271565	1316
241	3565442	7271558	1317
242	3565460	7271551	1317
243	3565487	7271544	1315
244	3565497	7271542	1314
245	3565505	7271542	1313
246	3565514	7271542	1313
247	3565524	7271544	1312
248	3565536	7271545	1310
249	3565548	7271548	1309
250	3565572	7271549	1309
251	3565586	7271549	1310
252	3565598	7271551	1310
253	3565614	7271553	1310
254	3565632	7271556	1309
255	3565650	7271559	1309
256	3565670	7271562	1309
257	3565686	7271562	1310
258	3565700	7271565	1309
259	3565725	7271569	1311
260	3565749	7271568	1311
261	3565769	7271563	1310
262	3565786	7271560	1308
263	3565803	7271558	1307
264	3565821	7271555	1307
265	3565843	7271550	1306
266	3565866	7271543	1304
267	3565885	7271539	1303
268	3565904	7271535	1303
269	3565925	7271527	1303
270	3565921	7271529	1303
271	3565937	7271519	1305
272	3565939	7271514	1305
273	3565946	7271506	1305
274	3565954	7271500	1304
275	3565958	7271494	1304

276	3565968	7271489	1303
277	3565986	7271486	1302
278	3566015	7271484	1301
279	3566043	7271483	1300
280	3566072	7271479	1299
281	3566089	7271479	1298
282	3566103	7271479	1298
283	3566121	7271477	1299
284	3566148	7271475	1300
285	3566173	7271473	1299
286	3566201	7271472	1297
287	3566227	7271470	1295
288	3566246	7271470	1294
289	3566270	7271468	1293
290	3566290	7271468	1292
291	3566307	7271462	1291
292	3566329	7271452	1290
293	3566344	7271446	1290
294	3566362	7271440	1289
295	3566376	7271437	1289
296	3566393	7271430	1288
297	3566408	7271425	1287
298	3566423	7271421	1287
299	3566434	7271419	1287
300	3566449	7271413	1288
301	3566465	7271405	1289
302	3566477	7271398	1289
303	3566493	7271389	1289
304	3566497	7271385	1289
305	3566509	7271380	1288
306	3566521	7271371	1286
307	3566527	7271365	1285
308	3566536	7271359	1283
309	3566545	7271354	1282
310	3566554	7271348	1281
311	3566568	7271339	1280
312	3566584	7271330	1281
313	3566596	7271324	1280
314	3566599	7271319	1280
315	3566609	7271313	1280
316	3566620	7271304	1280
317	3566632	7271296	1281
318	3566642	7271289	1280
319	3566653	7271282	1280
320	3566669	7271272	1280

321	3566681	7271263	1280
322	3566702	7271246	1280
323	3566709	7271238	1279
324	3566719	7271226	1278
325	3566724	7271214	1277
326	3566734	7271204	1278
327	3566749	7271191	1279
328	3566757	7271186	1279
329	3566766	7271183	1279
330	3566775	7271179	1280
331	3566782	7271174	1280
332	3566789	7271171	1280
333	3566799	7271162	1280
334	3566803	7271155	1281
335	3566806	7271148	1281
336	3566813	7271141	1280
337	3566816	7271135	1281
338	3566829	7271127	1281
339	3566835	7271124	1280
340	3566849	7271123	1280
341	3566860	7271126	1279
342	3566846	7271120	1280
343	3566874	7271131	1278
344	3566886	7271134	1277
345	3566899	7271136	1276
346	3566918	7271133	1276
347	3566922	7271129	1276
348	3566928	7271124	1276
349	3566936	7271118	1277
350	3566946	7271110	1277
351	3566955	7271099	1278
352	3566966	7271091	1279
353	3566973	7271082	1278
354	3566981	7271073	1278
355	3566986	7271064	1277
356	3566991	7271056	1276
357	3566995	7271050	1276
358	3566999	7271042	1276
359	3567007	7271032	1275
360	3567011	7271026	1275
361	3567018	7271020	1275
362	3567029	7271014	1274
363	3567034	7271009	1274
364	3567048	7271005	1272
365	3567059	7271005	1271

366	3567071	7271005	1269
367	3567085	7271005	1268
368	3567101	7271006	1268
369	3567117	7271006	1266
370	3567129	7271005	1265
371	3567141	7271004	1264
372	3567151	7271004	1263
373	3567167	7271005	1263
374	3567191	7271008	1262
375	3567210	7271009	1262
376	3567222	7271011	1261
377	3567242	7271014	1261
378	3567269	7271016	1261
379	3567297	7271020	1263
380	3567306	7271020	1263
381	3567321	7271021	1264
382	3567345	7271025	1264
383	3567361	7271025	1263
384	3567381	7271030	1262
385	3567402	7271032	1261
386	3567421	7271035	1261
387	3567447	7271037	1261
388	3567439	7271036	1261
389	3567461	7271035	1261
390	3567473	7271028	1262
391	3567481	7271021	1262
392	3567492	7271007	1263
393	3567502	7270998	1265
394	3567514	7270986	1267
395	3567523	7270977	1268
396	3567534	7270966	1270
397	3567545	7270958	1271
398	3567560	7270946	1270
399	3567573	7270938	1270
400	3567585	7270930	1270
401	3567595	7270922	1271
402	3567608	7270916	1274
403	3567622	7270908	1275
404	3567636	7270898	1275
405	3567647	7270890	1275
406	3567659	7270883	1274
407	3567675	7270876	1273
408	3567690	7270869	1271
409	3567702	7270862	1269
410	3567712	7270856	1269

411	3567719	7270850	1268
412	3567726	7270841	1268
413	3567735	7270836	1268
414	3567744	7270828	1268
415	3567751	7270822	1268
416	3567758	7270815	1267
417	3567764	7270811	1267
418	3567772	7270803	1267
419	3567784	7270792	1266
420	3567788	7270785	1267
421	3567796	7270777	1267
422	3567803	7270769	1267
423	3567810	7270761	1268
424	3567819	7270752	1268
425	3567828	7270743	1269
426	3567835	7270736	1270
427	3567845	7270727	1270
428	3567853	7270719	1269
429	3567861	7270709	1267
430	3567870	7270701	1265
431	3567879	7270692	1263
432	3567886	7270684	1262
433	3567892	7270678	1261
434	3567897	7270670	1261
435	3567905	7270661	1262
436	3567917	7270651	1264
437	3563367	7272516	1438
438	3563364	7272511	1438
439	3563360	7272504	1439
440	3563357	7272499	1439
441	3563354	7272495	1439
442	3563350	7272488	1439
443	3563347	7272485	1439
444	3563345	7272480	1439
445	3563342	7272476	1439
446	3563340	7272472	1439
447	3563335	7272470	1440
448	3563331	7272465	1440
449	3563327	7272462	1440
450	3563325	7272459	1440
451	3563319	7272456	1442
452	3563315	7272454	1442
453	3563310	7272450	1442
454	3563306	7272447	1443
455	3563300	7272444	1443

456	3563294	7272440	1443
457	3563291	7272438	1442
458	3563289	7272435	1442
459	3563284	7272431	1441
460	3563284	7272426	1439
461	3563280	7272422	1439
462	3563275	7272415	1438
463	3563273	7272411	1437
464	3563270	7272407	1436
465	3563269	7272404	1436
466	3563264	7272397	1435
467	3563261	7272392	1435
468	3563258	7272387	1435
469	3563254	7272383	1436
470	3563251	7272378	1436
471	3563250	7272373	1436
472	3563249	7272370	1435
473	3563248	7272364	1435
474	3563249	7272359	1434
475	3563251	7272353	1432
476	3563253	7272347	1431
477	3563254	7272343	1430
478	3563255	7272340	1430
479	3563257	7272335	1429
480	3563259	7272330	1427
481	3563261	7272326	1426
482	3563264	7272324	1425
483	3563268	7272323	1423
484	3563274	7272324	1423
485	3563278	7272326	1422
486	3563280	7272330	1423
487	3563280	7272335	1423
488	3563281	7272341	1424
489	3563280	7272344	1425
490	3563280	7272349	1426
491	3563281	7272353	1426
492	3563284	7272356	1426
493	3563294	7272357	1425
494	3563300	7272357	1423
495	3563307	7272358	1422
496	3563311	7272358	1421
497	3563315	7272359	1420
498	3563321	7272361	1419
499	3563325	7272364	1418
500	3563328	7272366	1418

501	3563332	7272369	1418
502	3563337	7272372	1417
503	3563342	7272376	1417
504	3563346	7272381	1417
505	3563350	7272385	1417
506	3563351	7272388	1417
507	3563357	7272391	1416
508	3563361	7272394	1416
509	3563367	7272396	1415
510	3563373	7272398	1413
511	3563378	7272399	1412
512	3563385	7272401	1411
513	3563389	7272402	1411
514	3563393	7272403	1411
515	3563397	7272405	1411
516	3563402	7272407	1411
517	3563407	7272409	1410
518	3563412	7272410	1410
519	3563416	7272412	1410
520	3563421	7272414	1411
521	3563425	7272414	1411
522	3563430	7272413	1411
523	3563437	7272411	1411
524	3563437	7272408	1410
525	3563437	7272405	1410
526	3563437	7272401	1409
527	3563436	7272399	1409
528	3563435	7272394	1408
529	3563432	7272392	1408
530	3563431	7272390	1408
531	3563430	7272388	1407
532	3563429	7272384	1407
533	3563427	7272381	1406
534	3563426	7272378	1406
535	3563423	7272375	1406
536	3563422	7272372	1406
537	3563420	7272370	1406
538	3563418	7272366	1405
539	3563417	7272363	1405
540	3563416	7272360	1405
541	3563416	7272358	1405
542	3563413	7272354	1406
543	3563410	7272349	1406
544	3563408	7272344	1407
545	3563406	7272339	1407

546	3563406	7272335	1407
547	3563408	7272331	1408
548	3563411	7272326	1408
549	3563412	7272322	1408
550	3563417	7272319	1408
551	3563423	7272318	1408
552	3563431	7272316	1408
553	3563439	7272315	1406
554	3563449	7272314	1406
555	3563459	7272314	1404
556	3563463	7272314	1403
557	3563469	7272313	1402
558	3563474	7272313	1402
559	3563483	7272311	1401
560	3563488	7272309	1401
561	3563494	7272309	1401
562	3563501	7272306	1402
563	3563510	7272303	1402
564	3563517	7272301	1402
565	3563532	7272295	1402
566	3563541	7272292	1402
567	3563554	7272289	1400
568	3563563	7272286	1400
569	3563571	7272283	1399
570	3563580	7272280	1398
571	3563589	7272277	1398
572	3563598	7272272	1397
573	3563606	7272268	1397
574	3563613	7272264	1396
575	3563620	7272261	1395
576	3563625	7272256	1394
577	3563630	7272253	1394
578	3563637	7272248	1393
579	3563641	7272243	1393
580	3563646	7272237	1392
581	3563651	7272233	1391
582	3563657	7272229	1391
583	3563661	7272225	1391
584	3563668	7272221	1390
585	3563676	7272217	1389
586	3563686	7272213	1388
587	3563696	7272209	1387
588	3563708	7272204	1385
589	3563718	7272200	1384
590	3563726	7272197	1384

591	3563736	7272193	1383
592	3563745	7272189	1383
593	3563748	7272186	1383
594	3563757	7272184	1383
595	3563768	7272180	1383
596	3563774	7272177	1383
597	3563784	7272174	1383
598	3563792	7272171	1384
599	3563803	7272166	1385
600	3563813	7272164	1385
601	3563821	7272160	1386
602	3563833	7272156	1387
603	3563843	7272152	1387
604	3563852	7272148	1388
605	3563865	7272143	1385
606	3563872	7272139	1385
607	3563880	7272136	1384
608	3563889	7272133	1384
609	3563899	7272128	1383
610	3563906	7272123	1382
611	3563916	7272118	1381
612	3563922	7272113	1381
613	3563929	7272109	1381
614	3563939	7272106	1379
615	3563945	7272101	1378
616	3563952	7272099	1377
617	3563959	7272092	1377
618	3563969	7272088	1376
619	3563977	7272083	1375
620	3563989	7272076	1374
621	3563994	7272072	1373
622	3563999	7272068	1373
623	3564008	7272063	1373
624	3564016	7272057	1372
625	3564026	7272050	1372
626	3564038	7272042	1371
627	3564047	7272038	1371
628	3564054	7272033	1371
629	3564067	7272032	1369
630	3564075	7272031	1368
631	3564088	7272030	1366
632	3564099	7272029	1365
633	3564108	7272028	1363
634	3564122	7272027	1362
635	3564130	7272023	1362

636	3564137	7272017	1362
637	3564138	7272011	1362
638	3564142	7272003	1361
639	3564151	7271998	1362
640	3564161	7271996	1362
641	3564171	7271994	1363
642	3564185	7271994	1363
643	3564200	7271996	1362
644	3564212	7272001	1361
645	3564219	7272003	1360
646	3564228	7272004	1359
647	3564240	7271999	1359
648	3564247	7271995	1359
649	3564255	7271991	1359
650	3564268	7271984	1359
651	3564280	7271979	1358
652	3564291	7271974	1357
653	3564305	7271966	1357
654	3564310	7271962	1357
655	3564314	7271957	1357
656	3564327	7271952	1356
657	3564339	7271946	1356
658	3564348	7271943	1355
659	3564360	7271943	1354
660	3564381	7271944	1352
661	3564395	7271945	1351
662	3564415	7271947	1348
663	3564427	7271947	1347
665	3564473	7271954	1345
666	3564495	7271957	1344
667	3564509	7271957	1343
668	3564526	7271957	1342
669	3564543	7271955	1341
670	3564560	7271954	1340
671	3564575	7271950	1341
672	3564591	7271947	1341
673	3564603	7271945	1341
674	3564619	7271943	1341
675	3564640	7271939	1340
676	3564662	7271935	1340
677	3564682	7271930	1339
678	3564701	7271928	1339
679	3564717	7271925	1340
680	3564737	7271922	1339
681	3564750	7271920	1339

682	3564764	7271919	1338
683	3564782	7271916	1338
684	3564796	7271908	1340
685	3564808	7271903	1341
686	3564821	7271896	1341
687	3564833	7271889	1341
688	3564846	7271882	1339
689	3564856	7271874	1338
690	3564866	7271867	1337
691	3564873	7271863	1336
692	3564887	7271858	1333
693	3564895	7271851	1332
694	3564906	7271844	1332
695	3564919	7271838	1333
696	3564929	7271832	1333
697	3564943	7271826	1334
698	3564957	7271821	1335
699	3564970	7271813	1334
700	3564982	7271807	1334
701	3564993	7271800	1333
702	3565007	7271797	1332
703	3565017	7271791	1331
704	3565026	7271785	1330
705	3565035	7271780	1329
706	3565044	7271773	1328
707	3565055	7271765	1328
708	3565065	7271755	1328
709	3565078	7271747	1328
710	3565086	7271739	1329
711	3565104	7271726	1330
712	3565114	7271719	1331
713	3565125	7271712	1330
714	3565136	7271706	1329
715	3565146	7271700	1329
716	3565158	7271694	1328
717	3565168	7271689	1328
718	3565177	7271683	1327
719	3565182	7271677	1328
720	3565189	7271669	1328
721	3565194	7271662	1328
722	3565204	7271651	1329
723	3565211	7271642	1330
724	3565218	7271636	1330
725	3565225	7271629	1330
726	3565236	7271620	1329

727	3565252	7271613	1329
728	3565262	7271607	1329
729	3565272	7271603	1328
730	3565287	7271598	1327
731	3565299	7271595	1326
732	3565312	7271590	1324
733	3565328	7271586	1322
734	3565340	7271583	1320
735	3565354	7271578	1318
736	3565372	7271574	1316
737	3565381	7271570	1316
738	3565395	7271565	1315
739	3565409	7271560	1316
740	3565424	7271556	1316
741	3565436	7271550	1317
742	3565453	7271545	1318
743	3565469	7271541	1317
744	3565484	7271536	1316
745	3565500	7271535	1314
746	3565515	7271537	1313
747	3565530	7271538	1311
748	3565546	7271538	1311
749	3565559	7271541	1310
750	3565580	7271544	1310
751	3565604	7271546	1311
752	3565623	7271547	1310
753	3565633	7271549	1310
754	3565643	7271551	1310
755	3565652	7271552	1309
756	3565676	7271555	1310
757	3565702	7271558	1310
758	3565724	7271557	1312
759	3565749	7271559	1312
760	3565773	7271555	1310
761	3565793	7271552	1308
762	3565812	7271549	1307
763	3565834	7271544	1307
764	3565853	7271540	1305
765	3565875	7271535	1304
766	3565889	7271531	1303
767	3565902	7271526	1303
768	3565911	7271524	1303
769	3565922	7271517	1304
770	3565934	7271501	1305
771	3565942	7271495	1305

772	3565955	7271487	1304
773	3565969	7271483	1303
774	3565992	7271479	1302
775	3566015	7271476	1301
776	3566039	7271475	1302
777	3566067	7271472	1301
778	3566091	7271471	1299
779	3566108	7271469	1299
780	3566133	7271469	1300
781	3566163	7271468	1300
782	3566188	7271466	1298
783	3566216	7271463	1296
784	3566237	7271463	1295
785	3566264	7271461	1293
786	3566285	7271461	1292
787	3566304	7271456	1291
788	3566320	7271448	1290
789	3566333	7271444	1290
790	3566345	7271439	1290
791	3566358	7271433	1290
792	3566375	7271429	1289
793	3566395	7271424	1288
794	3566415	7271416	1288
795	3566430	7271412	1288
796	3566444	7271406	1288
797	3566457	7271401	1289
798	3566472	7271392	1289
799	3566484	7271385	1289
800	3566499	7271377	1289
801	3566506	7271371	1288
802	3566522	7271361	1285
803	3566533	7271352	1284
804	3566546	7271344	1282
805	3566559	7271335	1282
806	3566573	7271328	1282
807	3566586	7271317	1281
808	3566600	7271308	1280
809	3566620	7271298	1280
810	3566630	7271287	1280
811	3566643	7271280	1280
812	3566658	7271271	1280
813	3566672	7271262	1280
814	3566681	7271256	1280
815	3566696	7271243	1279
816	3566703	7271234	1278

817	3566706	7271224	1277
818	3566715	7271219	1277
819	3566724	7271212	1277
820	3566733	7271202	1277
821	3566744	7271194	1278
822	3566745	7271186	1278
823	3566755	7271179	1279
824	3566764	7271175	1278
825	3566773	7271174	1279
826	3566782	7271170	1279
827	3566792	7271165	1280
828	3566795	7271161	1280
829	3566801	7271153	1280
830	3566801	7271144	1280
831	3566805	7271137	1280
832	3566810	7271131	1280
833	3566816	7271124	1280
834	3566825	7271118	1280
835	3566841	7271116	1280
836	3566855	7271115	1278
837	3566870	7271120	1278
838	3566880	7271124	1277
839	3566891	7271128	1276
840	3566903	7271127	1275
841	3566912	7271123	1275
842	3566929	7271115	1276
843	3566937	7271108	1276
844	3566946	7271100	1277
845	3566953	7271095	1277
846	3566961	7271087	1278
847	3566965	7271076	1277
848	3566971	7271072	1277
849	3566980	7271063	1277
850	3566984	7271054	1276
851	3566989	7271044	1275
852	3566996	7271032	1274
853	3567003	7271025	1275
854	3567010	7271015	1275
855	3567020	7271007	1274
856	3567035	7271001	1273
857	3567057	7270997	1271
858	3567081	7270997	1268
859	3567102	7270998	1267
860	3567119	7270999	1266
861	3567132	7270998	1264

862	3567173	7271000	1262
863	3567209	7271004	1261
864	3567253	7271008	1261
865	3567291	7271014	1263
866	3567340	7271017	1264
867	3567379	7271023	1261
868	3567413	7271028	1260
869	3567443	7271029	1261
870	3567460	7271029	1262
871	3567472	7271022	1262
872	3567478	7271015	1262
873	3567489	7271002	1263
874	3567502	7270989	1265
875	3567510	7270979	1268
876	3567518	7270971	1269
877	3567535	7270958	1271
878	3567545	7270948	1270
879	3567558	7270939	1270
880	3567574	7270929	1270
881	3567586	7270921	1271
882	3567598	7270911	1273
883	3567612	7270906	1275
884	3567622	7270900	1276
885	3567640	7270887	1276
886	3567659	7270875	1274
887	3567669	7270868	1273
888	3567681	7270861	1271
889	3567694	7270854	1269
890	3567703	7270847	1269
891	3567714	7270840	1269
892	3567729	7270832	1268
893	3567743	7270823	1268
894	3567752	7270815	1268
895	3567755	7270811	1267
896	3567764	7270800	1268
897	3567773	7270790	1267
898	3567780	7270783	1267
899	3567798	7270764	1267
900	3567810	7270753	1268
901	3567818	7270745	1269
902	3567828	7270734	1270
903	3567839	7270722	1271
904	3567853	7270711	1269
905	3567864	7270700	1267
906	3567875	7270687	1263

907	3567886	7270674	1262
908	3567895	7270664	1262
909	3567906	7270653	1263
910	3563379	7272502	1434
911	3563367	7272488	1435
912	3563361	7272480	1435
913	3563355	7272470	1434
914	3563349	7272467	1434
915	3563356	7272504	1440
916	3563360	7272515	1440
917	3563363	7272519	1440
918	3563347	7272495	1442
919	3563345	7272487	1441
920	3563339	7272487	1442
921	3563339	7272479	1441
922	3563357	7272474	1434
923	3563343	7272462	1435
924	3563341	7272455	1434
925	3563333	7272453	1436
926	3563330	7272450	1436
927	3563328	7272471	1443
928	3563333	7272477	1443
929	3563336	7272482	1443
930	3563326	7272445	1437
931	3563314	7272437	1437
932	3563313	7272460	1445
933	3563322	7272466	1443
934	3563307	7272455	1445
935	3563300	7272449	1445
936	3563302	7272433	1439
937	3563321	7272441	1437
938	3563295	7272424	1437
939	3563303	7272428	1437
940	3563287	7272441	1444
941	3563294	7272446	1445
942	3563279	7272428	1441
943	3563283	7272435	1443
944	3563286	7272408	1435
945	3563278	7272403	1434
946	3563274	7272397	1434
947	3563269	7272389	1433
948	3563265	7272383	1433
949	3563261	7272380	1434
950	3563258	7272373	1434
951	3563258	7272369	1433

952	3563257	7272365	1433
953	3563259	7272357	1431
954	3563260	7272352	1430
955	3563264	7272345	1428
956	3563266	7272337	1426
957	3563269	7272340	1426
958	3563271	7272345	1427
959	3563272	7272352	1428
960	3563270	7272336	1425
961	3563247	7272352	1433
962	3563245	7272359	1435
963	3563245	7272364	1435
964	3563247	7272373	1436
965	3563248	7272379	1437
966	3563251	7272386	1437
967	3563255	7272393	1437
968	3563262	7272400	1436
969	3563266	7272407	1437
970	3563271	7272415	1438
971	3563277	7272426	1440
972	3563275	7272421	1439
973	3563247	7272343	1432
974	3563248	7272337	1431
975	3563252	7272331	1429
976	3563256	7272324	1427
977	3563258	7272321	1426
978	3563267	7272318	1423
979	3563279	7272318	1421
980	3563282	7272324	1422
981	3563283	7272329	1422
982	3563284	7272336	1423
983	3563284	7272344	1424
984	3563286	7272351	1425
985	3563290	7272355	1425
986	3563298	7272354	1423
987	3563312	7272352	1419
988	3563320	7272355	1418
989	3563328	7272360	1417
990	3563333	7272363	1417
991	3563337	7272367	1417
992	3563274	7272363	1429
993	3563278	7272361	1428
994	3563290	7272363	1426
995	3563296	7272364	1426
996	3563301	7272364	1425

997	3563314	7272368	1422
998	3563323	7272375	1420
999	3563328	7272378	1420
1000	3563335	7272383	1420
1001	3563340	7272389	1420
1002	3563347	7272394	1419
1003	3563359	7272401	1417
1004	3563350	7272398	1419
1005	3563357	7272386	1416
1006	3563366	7272406	1416
1007	3563384	7272409	1413
1008	3563367	7272388	1414
1009	3563379	7272394	1412
1010	3563394	7272398	1410
1011	3563380	7272411	1415
1012	3563403	7272419	1413
1013	3563414	7272422	1413
1014	3563426	7272424	1413
1015	3563434	7272423	1413
1016	3563444	7272417	1412
1017	3563408	7272401	1409
1018	3563417	7272406	1409
1019	3563425	7272409	1410
1020	3563432	7272405	1409
1021	3563431	7272398	1409
1022	3563427	7272391	1408
1023	3563440	7272382	1406
1024	3563443	7272391	1408
1025	3563420	7272382	1407
1026	3563416	7272379	1407
1027	3563415	7272372	1406
1028	3563414	7272366	1406
1029	3563410	7272359	1406
1030	3563407	7272351	1407
1031	3563423	7272348	1405
1032	3563423	7272339	1405
1033	3563430	7272330	1406
1034	3563419	7272313	1409
1035	3563407	7272318	1409
1036	3563402	7272326	1409
1037	3563403	7272336	1408
1038	3563403	7272345	1407
1039	3563408	7272358	1407
1040	3563441	7272328	1404
1041	3563452	7272325	1404

1042	3563460	7272322	1403
1043	3563469	7272320	1402
1044	3563433	7272309	1409
1045	3563442	7272310	1407
1046	3563457	7272309	1405
1047	3563466	7272309	1403
1048	3563475	7272307	1403
1049	3563487	7272305	1402
1050	3563498	7272302	1402
1051	3563508	7272297	1403
1052	3563474	7272321	1402
1053	3563488	7272319	1401
1054	3563505	7272316	1401
1055	3563520	7272295	1403
1056	3563532	7272289	1403
1057	3563543	7272287	1402
1058	3563560	7272284	1400
1059	3563572	7272278	1399
1060	3563583	7272272	1399
1061	3563517	7272313	1401
1062	3563533	7272309	1401
1063	3563542	7272303	1400
1064	3563556	7272298	1399
1065	3563570	7272292	1398
1066	3563587	7272290	1397
1067	3563597	7272284	1396
1068	3563597	7272266	1399
1069	3563617	7272254	1397
1070	3563628	7272267	1393
1071	3563642	7272254	1392
1072	3563652	7272247	1391
1073	3563663	7272236	1390
1074	3563645	7272230	1393
1075	3563637	7272241	1394
1076	3563656	7272220	1392
1077	3563668	7272214	1391
1078	3563681	7272227	1388
1079	3563681	7272209	1389
1080	3563703	7272218	1386
1081	3563698	7272200	1387
1082	3563719	7272195	1384
1083	3563730	7272189	1383
1084	3563744	7272184	1383
1085	3563760	7272178	1383
1086	3563721	7272214	1384

1087	3563739	7272206	1383
1088	3563757	7272200	1382
1089	3563775	7272190	1382
1090	3563795	7272181	1383
1091	3563809	7272180	1384
1092	3563789	7272167	1383
1093	3563777	7272170	1383
1094	3563807	7272161	1385
1095	3563822	7272156	1387
1096	3563833	7272151	1387
1097	3563848	7272144	1388
1098	3563822	7272167	1385
1099	3563850	7272159	1387
1100	3563872	7272147	1385
1101	3563863	7272137	1386
1102	3563873	7272132	1385
1103	3563882	7272126	1384
1104	3563895	7272121	1383
1105	3563906	7272116	1382
1106	3563895	7272141	1382
1107	3563915	7272112	1382
1108	3563929	7272103	1381
1109	3563941	7272100	1380
1110	3563955	7272092	1378
1111	3563963	7272086	1378
1112	3563973	7272080	1377
1113	3563984	7272073	1375
1114	3563998	7272065	1374
1115	3564004	7272060	1373
1116	3564013	7272057	1373
1117	3564021	7272049	1372
1118	3564031	7272042	1372
1119	3564048	7272050	1370
1120	3564037	7272057	1370
1121	3564039	7272037	1372
1122	3564064	7272039	1369
1123	3564068	7272024	1370
1124	3564088	7272021	1368
1125	3564102	7272022	1366
1126	3564113	7272021	1364
1127	3564126	7272017	1362
1128	3564094	7272042	1363
1129	3564112	7272039	1361
1130	3564133	7272009	1362
1131	3564136	7272000	1362

1132	3564150	7271993	1362
1133	3564165	7271990	1362
1134	3564178	7271989	1363
1135	3564168	7272005	1362
1136	3564184	7272004	1362
1137	3564195	7272005	1361
1138	3564203	7272008	1360
1139	3564218	7272014	1358
1140	3564233	7272010	1358
1141	3564227	7272014	1358
1142	3564216	7271996	1361
1143	3564231	7271996	1360
1144	3564242	7271990	1360
1145	3564259	7271983	1359
1146	3564275	7271975	1359
1147	3564288	7271972	1357
1148	3564299	7271964	1358
1149	3564307	7271955	1358
1150	3564320	7271947	1357
1151	3564288	7271988	1356
1152	3564275	7271996	1357
1153	3564265	7272003	1357
1154	3564302	7271983	1354
1155	3564329	7271965	1354
1156	3564344	7271955	1354
1157	3564335	7271943	1357
1158	3564376	7271956	1351
1159	3564387	7271936	1352
1160	3564401	7271956	1348
1161	3564412	7271941	1349
1162	3564418	7271962	1345
1163	3564443	7271939	1347
1164	3564450	7271965	1343
1165	3564470	7271943	1346
1166	3564491	7271964	1343
1167	3564494	7271947	1345
1168	3564475	7271966	1343
1169	3564484	7271945	1346
1170	3564512	7271970	1341
1171	3564520	7271952	1343
1172	3564529	7271969	1340
1173	3564538	7271948	1342
1174	3564558	7271969	1339
1175	3564558	7271949	1341
1176	3564574	7271963	1339

1177	3564570	7271945	1341
1178	3564594	7271957	1340
1179	3564587	7271936	1342
1180	3564618	7271954	1340
1181	3564612	7271941	1341
1182	3564642	7271949	1340
1183	3564631	7271939	1341
1184	3564666	7271945	1339
1185	3564654	7271930	1341
1186	3564679	7271925	1340
1187	3564692	7271942	1338
1188	3564696	7271922	1340
1189	3564717	7271941	1337
1190	3564723	7271921	1340
1191	3564729	7271937	1338
1192	3564741	7271932	1337
1193	3564744	7271913	1340
1194	3564758	7271932	1336
1195	3564760	7271916	1339
1196	3564779	7271930	1335
1197	3564779	7271910	1339
1198	3564802	7271922	1336
1199	3564804	7271899	1342
1200	3564834	7271910	1336
1201	3564824	7271887	1342
1202	3564846	7271898	1337
1203	3564845	7271873	1340
1204	3564875	7271877	1334
1205	3564873	7271860	1336
1206	3564889	7271867	1332
1207	3564899	7271859	1331
1208	3564918	7271852	1331
1209	3564931	7271844	1332
1210	3564949	7271835	1334
1211	3564904	7271862	1331
1212	3564875	7271851	1336
1213	3564890	7271843	1333
1214	3564901	7271839	1333
1215	3564913	7271832	1333
1216	3564926	7271825	1334
1217	3564944	7271817	1335
1218	3564965	7271809	1335
1219	3565000	7271790	1333
1220	3565018	7271782	1331
1221	3565040	7271768	1329

1222	3565057	7271758	1328
1223	3565078	7271741	1328
1224	3565092	7271733	1330
1225	3565096	7271727	1330
1226	3565463	7271539	1318
1227	3565469	7271556	1316
1228	3565510	7271533	1313
1229	3565526	7271535	1312
1230	3565520	7271547	1312
1231	3565539	7271550	1310
1232	3565564	7271552	1309
1233	3565572	7271539	1310
1234	3565598	7271543	1311
1235	3565588	7271559	1309
1236	3565618	7271545	1311
1237	3565621	7271559	1309
1238	3565642	7271545	1310
1239	3565659	7271549	1310
1240	3565676	7271552	1310
1241	3565695	7271553	1311
1242	3565659	7271567	1308
1243	3565695	7271571	1309
1244	3565743	7271574	1310
1245	3565735	7271555	1313
1246	3565763	7271551	1312
1247	3565777	7271567	1308
1248	3565787	7271550	1309
1249	3565801	7271565	1307
1250	3565820	7271542	1307
1251	3565835	7271557	1306
1252	3565860	7271536	1305
1253	3565870	7271550	1304
1254	3565893	7271525	1303
1255	3565899	7271544	1302
1256	3565952	7271487	1304
1257	3565974	7271479	1303
1258	3565987	7271475	1303
1259	3565998	7271475	1302
1260	3566002	7271487	1301
1261	3566009	7271475	1302
1262	3566011	7271487	1301
1263	3566029	7271474	1302
1264	3566029	7271489	1299
1265	3566056	7271488	1298
1266	3566055	7271469	1301

1267	3566082	7271468	1300
1268	3566099	7271465	1299
1269	3566118	7271466	1299
1270	3566115	7271480	1298
1271	3566084	7271484	1298
1272	3566138	7271480	1299
1273	3566147	7271462	1300
1274	3566162	7271480	1299
1275	3566171	7271462	1299
1276	3566187	7271477	1298
1277	3566198	7271461	1297
1278	3566219	7271476	1295
1279	3566228	7271459	1295
1280	3566257	7271473	1293
1281	3566254	7271459	1293
1282	3566293	7271456	1291
1283	3566297	7271468	1292
1284	3566404	7271416	1288
1285	3566449	7271400	1289
1286	3566459	7271413	1289
1287	3566463	7271390	1289
1288	3566483	7271377	1289
1289	3566495	7271369	1288
1290	3566497	7271394	1289
1291	3566531	7271369	1284
1292	3566608	7271294	1280
1293	3566625	7271287	1281
1294	3566662	7271260	1280
1295	3566878	7271117	1277
1296	3566895	7271123	1275
1297	3566898	7271129	1275
1298	3567008	7271018	1275
1299	3567026	7271003	1274
1300	3567048	7270998	1272
1301	3567094	7270997	1267
1302	3567094	7271006	1268
1303	3567255	7271021	1261
1304	3567231	7271017	1261
1305	3567205	7271017	1262
1306	3567177	7271012	1263
1307	3567186	7270996	1262
1308	3567222	7270999	1261
1309	3567241	7271001	1261
1310	3567275	7271003	1261
1311	3567287	7271024	1263

1312	3567311	7271006	1263
1313	3567356	7271034	1263
1314	3567363	7271016	1263
1315	3567382	7271040	1262
1316	3567397	7271018	1260
1317	3567424	7271046	1261
1318	3567434	7271025	1261
1319	3567461	7271047	1261
1320	3567488	7271031	1261
1321	3567470	7271009	1263
1322	3567495	7270984	1266
1323	3567514	7270970	1269
1324	3567524	7270955	1271
1325	3567550	7270935	1270
1326	3567570	7270927	1270
1327	3567627	7270892	1276
1328	3567645	7270877	1275
1329	3567664	7270863	1273
1330	3567683	7270853	1271
1331	3567699	7270842	1269
1332	3567716	7270830	1268
1333	3567738	7270830	1268
1334	3567744	7270813	1268
1335	3567762	7270790	1268
1336	3567776	7270780	1267
1337	3567921	7270648	1264
1338	3567915	7270646	1264

Anexo III: Tablas de Rühler – Características de diseño geométrico en caminos rurales.

**CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES**

**PLANILLA N° 1**

CATEGORÍA DEL CAMINO	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	RADIO MÍNIMO			VALORES MÁXIMOS Y LONGITUDES CORRESPONDIENTES EN RECTA		DISTANCIAS DE VISIBILIDAD		ANCHOS DE CORRIPIAMIENTO		VALORES DEL ANCHO DE ANTEPIEDE		C R U C E S		
			DESARROLLO ABSOLUTO	DESARROLLO RELATIVO	DESARROLLO RELATIVO	VALORES MÁXIMOS	LONGITUDES	PARA CALZADA	PARA BANCA	TOTAL	CENTRAL	VALORES DEL ANCHO DE ANTEPIEDE	VALORES DEL ANCHO DE ANTEPIEDE	CON FERROCARRILES	CON CAMINOS	
ESPECIAL	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 3000 - CHAS	100	1200	700	2	1400	3	2600	280	260	750	350	1.10	1.20	0-10	10-100
			110	800	3	940	4	2100	185	140	750	340	1.10	1.20	10-100	100-1500
			100	800	3	940	3	1800	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			90	800	3	940	3	1600	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			80	800	3	940	3	1400	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			70	800	3	940	3	1200	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			60	800	3	940	3	1000	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			50	800	3	940	3	800	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			40	800	3	940	3	600	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			30	800	3	940	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000
I	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 2000 - CHAS	100	1000	600	2	1200	3	2200	260	260	750	300	1.10	1.20	0-10	10-100
			90	600	2	1000	3	1800	260	180	750	300	1.10	1.20	10-100	100-1500
			80	600	2	1000	3	1600	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			70	600	2	1000	3	1400	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			60	600	2	1000	3	1200	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			50	600	2	1000	3	1000	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			40	600	2	1000	3	800	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			30	600	2	1000	3	600	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			20	600	2	1000	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			10	600	2	1000	3	200	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000
II	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 1500 - CHAS	100	800	500	2	1000	3	1800	260	260	750	300	1.10	1.20	0-10	10-100
			70	500	2	800	3	1400	260	180	750	300	1.10	1.20	10-100	100-1500
			60	500	2	800	3	1200	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			50	500	2	800	3	1000	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			40	500	2	800	3	800	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			30	500	2	800	3	600	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			20	500	2	800	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			10	500	2	800	3	200	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			5	500	2	800	3	100	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			0	500	2	800	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000
III	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 1000 - CHAS	100	600	400	2	800	3	1400	260	260	750	300	1.10	1.20	0-10	10-100
			50	400	2	600	3	1000	260	180	750	300	1.10	1.20	10-100	100-1500
			40	400	2	600	3	800	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			30	400	2	600	3	600	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			20	400	2	600	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			10	400	2	600	3	200	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			5	400	2	600	3	100	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			0	400	2	600	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			0	400	2	600	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			0	400	2	600	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000
IV	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 500 - CHAS	100	400	300	2	600	3	1000	260	260	750	300	1.10	1.20	0-10	10-100
			30	300	2	400	3	600	260	180	750	300	1.10	1.20	10-100	100-1500
			20	300	2	400	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			10	300	2	400	3	200	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			5	300	2	400	3	100	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			0	300	2	400	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			0	300	2	400	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			0	300	2	400	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			0	300	2	400	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			0	300	2	400	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000
V	VOL. TOTAL DE ACCESOS - 200 - CHAS	100	300	200	2	400	3	600	260	260	750	300	1.10	1.20	0-10	10-100
			20	200	2	300	3	400	260	180	750	300	1.10	1.20	10-100	100-1500
			10	200	2	300	3	200	260	180	750	300	1.10	1.20	100-1500	1500-2000
			5	200	2	300	3	100	260	180	750	300	1.10	1.20	1500-2000	2000-3000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	2000-3000	3000-4000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	3000-4000	4000-5000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	4000-5000	5000-6000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	5000-6000	6000-7000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	6000-7000	7000-8000
			0	200	2	300	3	0	260	180	750	300	1.10	1.20	7000-8000	8000-9000

**NOTAS:**

- EL VOLUMEN MEDIO DIARIO DE TRANSITO DE DISEÑO DEBERIA CORRESPONDER AL TRANSITO PROBABLE A LOS 25 AÑOS. LOS VOLUMENES LÍMITES SON VALORES APROXIMADOS.
- PODEAN APLICARSE VARIACIONES DIFERENCIALES MÍNIMAS, COMO NO SUPERAR NUNCA LOS VALORES DE LOS DISEÑOS DE LA OBRA.
- EN ZONAS PROXIMAS A LAS URBANAS O EN ZONAS DE TRÁFICO INTENSIVO, DEBERIA SER DE DISEÑO DE LA OBRA.
- EN ESTE CASO UN RÁPIDO MINIMO SE APLICARÁ A UNO PRECISAMENTE EN LA CALZADA, DE ACORDA CON EL RÁPIDO MÁXIMO DE 8%.
- LAS PENDIENTES MÁXIMAS Y SUS LONGITUDES DEBERAN CORRESPONDER A LAS DE MENOS 800 m SOBRE EL NIVEL DEL MAR Y TRANSITO DE DISEÑO CON UN 20% DE CAMIONES. PARA OTRAS ALTURAS Y PENDIENTES DE CAMIONES SE UTILIZARÁN LOS VALORES DE LOS CÁLCULOS EN 5% DE LLANURA DE PROGRESIVA FORMACIÓN DE HIELO SOBRE LA CALZADA INVIERNAL. LAS PENDIENTES MÁXIMAS SERÁN EN LO POSIBLE DEL 2% EN LLANURA DE PROGRESIVA FORMACIÓN.
- LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DEBERAN MANTENERSE EN TODO EL CAMINO.
- EN SECCIONES DE CAMINO DE 3 m DE CALZADA PARA DETERMINACIÓN DE SECCIONES DESENVOLVIDAS EN UNO DE LOS LADOS QUE PERMITAN EL SOBREPASO: 20% LLANURA, 80% 1ª ZONA ONDULADA, 50% 2ª ZONA ONDULADA, 50% 3ª ZONA ONDULADA, 50% 4ª ZONA ONDULADA, 50% 5ª ZONA ONDULADA, 50% 6ª ZONA ONDULADA, 50% 7ª ZONA ONDULADA, 50% 8ª ZONA ONDULADA, 50% 9ª ZONA ONDULADA, 50% 10ª ZONA ONDULADA, 50% 11ª ZONA ONDULADA, 50% 12ª ZONA ONDULADA, 50% 13ª ZONA ONDULADA, 50% 14ª ZONA ONDULADA, 50% 15ª ZONA ONDULADA, 50% 16ª ZONA ONDULADA, 50% 17ª ZONA ONDULADA, 50% 18ª ZONA ONDULADA, 50% 19ª ZONA ONDULADA, 50% 20ª ZONA ONDULADA, 50% 21ª ZONA ONDULADA, 50% 22ª ZONA ONDULADA, 50% 23ª ZONA ONDULADA, 50% 24ª ZONA ONDULADA, 50% 25ª ZONA ONDULADA, 50% 26ª ZONA ONDULADA, 50% 27ª ZONA ONDULADA, 50% 28ª ZONA ONDULADA, 50% 29ª ZONA ONDULADA, 50% 30ª ZONA ONDULADA, 50% 31ª ZONA ONDULADA, 50% 32ª ZONA ONDULADA, 50% 33ª ZONA ONDULADA, 50% 34ª ZONA ONDULADA, 50% 35ª ZONA ONDULADA, 50% 36ª ZONA ONDULADA, 50% 37ª ZONA ONDULADA, 50% 38ª ZONA ONDULADA, 50% 39ª ZONA ONDULADA, 50% 40ª ZONA ONDULADA, 50% 41ª ZONA ONDULADA, 50% 42ª ZONA ONDULADA, 50% 43ª ZONA ONDULADA, 50% 44ª ZONA ONDULADA, 50% 45ª ZONA ONDULADA, 50% 46ª ZONA ONDULADA, 50% 47ª ZONA ONDULADA, 50% 48ª ZONA ONDULADA, 50% 49ª ZONA ONDULADA, 50% 50ª ZONA ONDULADA, 50% 51ª ZONA ONDULADA, 50% 52ª ZONA ONDULADA, 50% 53ª ZONA ONDULADA, 50% 54ª ZONA ONDULADA, 50% 55ª ZONA ONDULADA, 50% 56ª ZONA ONDULADA, 50% 57ª ZONA ONDULADA, 50% 58ª ZONA ONDULADA, 50% 59ª ZONA ONDULADA, 50% 60ª ZONA ONDULADA, 50% 61ª ZONA ONDULADA, 50% 62ª ZONA ONDULADA, 50% 63ª ZONA ONDULADA, 50% 64ª ZONA ONDULADA, 50% 65ª ZONA ONDULADA, 50% 66ª ZONA ONDULADA, 50% 67ª ZONA ONDULADA, 50% 68ª ZONA ONDULADA, 50% 69ª ZONA ONDULADA, 50% 70ª ZONA ONDULADA, 50% 71ª ZONA ONDULADA, 50% 72ª ZONA ONDULADA, 50% 73ª ZONA ONDULADA, 50% 74ª ZONA ONDULADA, 50% 75ª ZONA ONDULADA, 50% 76ª ZONA ONDULADA, 50% 77ª ZONA ONDULADA, 50% 78ª ZONA ONDULADA, 50% 79ª ZONA ONDULADA, 50% 80ª ZONA ONDULADA, 50% 81ª ZONA ONDULADA, 50% 82ª ZONA ONDULADA, 50% 83ª ZONA ONDULADA, 50% 84ª ZONA ONDULADA, 50% 85ª ZONA ONDULADA, 50% 86ª ZONA ONDULADA, 50% 87ª ZONA ONDULADA, 50% 88ª ZONA ONDULADA, 50% 89ª ZONA ONDULADA, 50% 90ª ZONA ONDULADA, 50% 91ª ZONA ONDULADA, 50% 92ª ZONA ONDULADA, 50% 93ª ZONA ONDULADA, 50% 94ª ZONA ONDULADA, 50% 95ª ZONA ONDULADA, 50% 96ª ZONA ONDULADA, 50% 97ª ZONA ONDULADA, 50% 98ª ZONA ONDULADA, 50% 99ª ZONA ONDULADA, 50% 100ª ZONA ONDULADA, 50% 101ª ZONA ONDULADA, 50% 102ª ZONA ONDULADA, 50% 103ª ZONA ONDULADA, 50% 104ª ZONA ONDULADA, 50% 105ª ZONA ONDULADA, 50% 106ª ZONA ONDULADA, 50% 107ª ZONA ONDULADA, 50% 108ª ZONA ONDULADA, 50% 109ª ZONA ONDULADA, 50% 110ª ZONA ONDULADA, 50% 111ª ZONA ONDULADA, 50% 112ª ZONA ONDULADA, 50% 113ª ZONA ONDULADA, 50% 114ª ZONA ONDULADA, 50% 115ª ZONA ONDULADA, 50% 116ª ZONA ONDULADA, 50% 117ª ZONA ONDULADA, 50% 118ª ZONA ONDULADA, 50% 119ª ZONA ONDULADA, 50% 120ª ZONA ONDULADA, 50% 121ª ZONA ONDULADA, 50% 122ª ZONA ONDULADA, 50% 123ª ZONA ONDULADA, 50% 124ª ZONA ONDULADA, 50% 125ª ZONA ONDULADA, 50% 126ª ZONA ONDULADA, 50% 127ª ZONA ONDULADA, 50% 128ª ZONA ONDULADA, 50% 129ª ZONA ONDULADA, 50% 130ª ZONA ONDULADA, 50% 131ª ZONA ONDULADA, 50% 132ª ZONA ONDULADA, 50% 133ª ZONA ONDULADA, 50% 134ª ZONA ONDULADA, 50% 135ª ZONA ONDULADA, 50% 136ª ZONA ONDULADA, 50% 137ª ZONA ONDULADA, 50% 138ª ZONA ONDULADA, 50% 139ª ZONA ONDULADA, 50% 140ª ZONA ONDULADA, 50% 141ª ZONA ONDULADA, 50% 142ª ZONA ONDULADA, 50% 143ª ZONA ONDULADA, 50% 144ª ZONA ONDULADA, 50% 145ª ZONA ONDULADA, 50% 146ª ZONA ONDULADA, 50% 147ª ZONA ONDULADA, 50% 148ª ZONA ONDULADA, 50% 149ª ZONA ONDULADA, 50% 150ª ZONA ONDULADA, 50% 151ª ZONA ONDULADA, 50% 152ª ZONA ONDULADA, 50% 153ª ZONA ONDULADA, 50% 154ª ZONA ONDULADA, 50% 155ª ZONA ONDULADA, 50% 156ª ZONA ONDULADA, 50% 157ª ZONA ONDULADA, 50% 158ª ZONA ONDULADA, 50% 159ª ZONA ONDULADA, 50% 160ª ZONA ONDULADA, 50% 161ª ZONA ONDULADA, 50% 162ª ZONA ONDULADA, 50% 163ª ZONA ONDULADA, 50% 164ª ZONA ONDULADA, 50% 165ª ZONA ONDULADA, 50% 166ª ZONA ONDULADA, 50% 167ª ZONA ONDULADA, 50% 168ª ZONA ONDULADA, 50% 169ª ZONA ONDULADA, 50% 170ª ZONA ONDULADA, 50% 171ª ZONA ONDULADA, 50% 172ª ZONA ONDULADA, 50% 173ª ZONA ONDULADA, 50% 174ª ZONA OND

2 - Pendientes.

En general la influencia de las pendientes, con relación a la circulación de vehículos aislados, se hace sentir mucho más fuertemente sobre la velocidad de camiones que sobre la de automóviles, por cuya causa, en los proyectos, la magnitud de aquéllas, deberá fijarse en función de las características y proporción de camiones dentro de la corriente vehicular.

Pendientes máximas.

Las pendientes máximas que pueden subir, a velocidad uniforme, camiones con remolque, y el coeficiente de fricción desarrollado, están relacionados por la siguiente expresión, en la cual se ha despreciado por ser pequeña, la resistencia del aire (velocidades reducidas):

$$P_a f = (P_c + P_r) (r + i_m)$$

Los términos tienen el siguiente significado:

$P_c$  : Peso del camión.

$P_a$  : Peso adherente.

$P_r$  : Peso del remolque.

$r$  : Resistencia a la tracción en recta y en horizontal por unidad de peso. (Coeficiente de resistencia al rodamiento).

$f$  : Coeficiente de fricción.

$i_m$  : Pendiente máxima.

Despejando  $i_m$  se obtiene:

$$i_m = \frac{P_a f}{P_c + P_r} - r$$

En general se tiene que aproximadamente (20):

$$P_a = \frac{2}{3} P_c \quad P_r = \frac{3}{4} P_c \quad \text{y } r = 0,015 \quad (\text{Pavimento poco rugoso})$$

$$i_m = 0,38 f - 0,015$$

Considerando como caso más desfavorable de pavimentos poco rugosos y húmedos, tendríamos  $f = 0,30$ , o sea

$$i_m = 10 \%$$

En cambio para camiones sin remolque y automóviles, en el caso más desfavorable mencionado, la pendiente máxima sería del orden del 18 %.

Anexo IV: Distancia de detención y de sobrepaso – Tablas de Rühler

Distancia de detención

V: velocidad directriz	t: tiempo de percepción y reacción	f: Coeficiente de fricción	D <sub>1</sub> : Distancia de detención
km/hora	seg	-	m
30	2,9	0,54	30,72
40	2,8	0,52	43,22
50	2,7	0,50	57,18
60	2,6	0,48	72,87
70	2,5	0,46	90,54
80	2,4	0,44	110,59
90	2,3	0,42	133,43
100	2,2	0,40	159,55
110	2,1	0,39	186,30
120	2,0	0,37	219,88
130	2,0	0,35	262,32
140	2,0	0,33	311,16

Distancia de sobrepaso

Velocidades			Tiempos parciales		Distancias parciales			Distancia de sobrepaso	
V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>2</sub> calculada	D <sub>2</sub> adoptada
km/h	km/h	km/h	seg	seg	m	m	m	m	m
30	28,8	43,8	4,00	6,60	13,76	32,00	80,28	192,56	190
40	37,4	52,4	4,00	7,43	15,48	41,55	108,10	257,75	260
50	45,5	60,5	4,00	8,20	17,10	50,55	137,75	326,05	330
60	53,1	68,1	4,00	8,93	18,62	59,00	168,88	396,76	400
70	60,2	75,2	4,00	9,61	20,04	66,88	200,70	468,28	470
80	66,8	81,8	4,00	10,25	21,36	74,81	232,88	539,97	540
90	72,8	87,9	4,00	10,83	22,58	81,00	264,40	609,80	610
100	78,5	93,5	4,00	11,37	23,70	87,21	295,27	677,75	680
110	83,6	98,6	4,00	11,86	24,72	92,88	324,78	742,44	740
120	88,2	103,2	4,00	12,30	25,64	98,00	352,53	803,06	800
130	92,3	107,3	4,00	12,70	26,46	102,55	378,44	859,43	860
140	95,9	110,9	4,00	13,04	27,18	106,55	401,67	909,88	910

**Anexo V: Calculo curvas horizontales**

## Planilla de formulas

FORMULAS	
Vel. Diseño [km/h]	60
Peralte máx.	0,1
Radio mínimo [m]	$R_{min} = [ (0,6 * V_d)^2 / 127 * p(\%) / 100 ]$
Rc [m] adoptado > Rmin	
Rmin s/ Ruhl [m]	110

Cálculo de peralte	P adoptado < Pmax
$p = [0,36 * V_d^2 / 127 * R_c]$	

Cálculo de espirales y otros elementos.	
Longitud espiral mínima	Le Adoptada
$L_{min} = [(V_d)^3 / (28 * R_c)]$	$L_e > L_{min}$

Cálculo de ángulos $\theta_{e1}$ $\Delta c1$	
Cálculo de ángulo $\theta_{e1}$	Cálculo de ángulo $\Delta c1$
$\theta_{e1} = [ L_e / (2 * R_c)]$	$\Delta c1 = \Delta 1 - (2 * \theta_{e1})$

Longitud Circular de Curva
$L_{c1} = [2 * \pi * R * \Delta c1 / 360^\circ]$

Factores de diseño	
K	$K = L_e / 2$
P	$P = [L_e^2 / (24 * R_c)]$
TL	$TL = 2/3 * L_e$
Tc	$T_c = L_e / 3$
Te	$T_e = [K + (R_c + P) * T_g (\Delta/2)]$
Ee	$E_e = [ (R_c + P) / \cos (\Delta/2) ] - R_c$
Xc	$X_c = L_e$
Yc	$Y_c = [L_e^2 / (6 * R_c)]$

**CURVA HORIZONTAL N°1**

Curva 1	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte max	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	110,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta 1$
161° 7' 23"
$\Delta 1/2$
80° 33' 41"

Calculo de peralte
0,0928
P < Pmax
0,0928

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral mínima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
70,13	80

Calculo de ángulos $\theta e1$ y $\Delta c1$	
Calculo de ángulos $\theta e1$	
0,36	20,83
Calculo de angulos $\Delta c1$	
119° 27' 47"	

Longitud de curva Lc [m]
230,13

Factores de diseño	
K	40
P	2,42
TL	53,33
Tc	26,67
Te	716,25
Ee	575,52

Xc [m]	80,00
Yc [m]	9,70

PROGRESIVAS	Direccion de curva:	hacia la izquierda	d1=
Te anterior	0		
Prog ET fin de curva anterior	0		
Progresiva TE1	47,35	→	
Progresiva EC1	127,35	→	
Progresiva CE1	357,48	→	
Progresiva ET1	437,48	→	

	Borde izq	Borde der
	-2%	-2%
	0%	-2%
	8,00%	-8,00%
	8,00%	-8,00%
	8,00%	-8,00%
	0%	-2%
	-2%	-2

**CURVA HORIZONTAL N°2**

CURVA 2	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	150,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta 2$
61° 15' 9"
$\Delta 2/2$
30° 37' 35"

Calculo de peralte
0,0680
P < Pmax
0,068

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral mínima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
51,43	60

Calculo de ángulos $\theta_{e2}$ y $\Delta c2$	
Calculo de ángulos $\theta_{e2}$	
0,20	11,46
Calculo de ángulos $\Delta c1$	
38° 21' 9"	

Longitud de curva $L_c$ [m]
100,4

Factores de diseño	
K	30
P	1,00
TL	40,00
$T_c$	20,00
$T_e$	119,39
$E_e$	25,47
$X_c$ [m]	60,00
$Y_c$ [m]	4,00

PROGRESIVAS	Dirección de curva:	hacia la derecha	$V2-V1=$	839,67
$T_e$ anterior	716,25			
Prog ET fin de curva anterior	437,48			
Progresiva TE2	441,51	→		
Progresiva EC2	501,51	→		
Progresiva CE2	601,91	→		
Progresiva ET2	661,91	→		

	Borde izq	Borde der
	-2%	-2%
	0%	2%
	-7,60%	7,60%
	-7,60%	7,60%
	-7,60%	7,60%
	0%	-2%
	-2%	-2%

### CURVA HORIZONTAL N°3

Curva 3	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte max	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
$R_c$ [m] adoptado > $R_{min}$ [m]	400,00
$R_{min}$ s/ Ruhl	110,00

$\Delta_3$
31° 54' 58"
$\Delta_3/2$
15° 18' 48"

Calculo de peralte
0,0255
P < Pmax
0,0255

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral mínima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
19,29	60

Calculo de ángulos $\theta_{e3}$ y $\Delta c_3$	
Calculo de ángulos $\theta_{e3}$	
0,075	4,30
Calculo de angulos $\Delta c_3$	
23° 20' 10"	

Longitud de curva Lc [m]
162,91

Factores de diseño	
K	30
P	0,38
TL	40,00
Tc	20,00
Te	139,63
Ee	15,11
Xc [m]	60,00
Yc [m]	1,50

PROGRESIVAS	Dirección de curva:	hacia la izquierda	V3-V2=	862,99
Te anterior	119,39			
Prog ET fin de curva anterior	661,91			
Progresiva TE3	1265,88			

	<b>Borde izq</b>	<b>Borde der</b>
→	v	-2%
	0%	-2%

Progresiva EC3	1325,88	→	4,60%	-4,60%
			4,60%	-4,60%
Progresiva CE3	1488,79	→	4,60%	-4,60%
			0%	-2%
Progresiva ET3	1548,79	→	-2%	-2%

### CURVA HORIZONTAL N°4

Curva 4	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	350,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta 4$
30° 39' 25"
$\Delta 4/2$
15° 19' 43"

Calculo de peralte
0,0292
P < Pmax
0,029

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral mínima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
22,04	60

Calculo de ángulos $\theta e4$ y $\Delta c4$	
Calculo de ángulos $\theta e4$	
0,086	4,910571429
Calculo de ángulos $\Delta c4$	
20° 50' 13"	

Longitud de curva Lc [m]
127,28

Factores de diseño	
K	30
P	0,43
TL	40,00
Tc	20,00
Te	126,05
Ee	13,35
Xc [m]	60,00
Yc [m]	1,71

PROGRESIVAS	Dirección de curva:	hacia la derecha	V4 - V3=	434,5
Te anterior	139,63			
Prog ET fin de curva anterior	1548,79			
Progresiva TE4	1717,63	→		
Progresiva EC4	1777,63	→		
Progresiva CE4	1904,91	→		
Progresiva ET4	1964,91	→		

Borde izq	Borde der
-2%	-2%
0%	2%
-5,00%	5,00%
-5,00%	5,00%
-5,00%	5,00%
0%	-2%
-2%	-2%

**CURVA HORIZONTAL N°5**

Curva 5	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	400,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta 5$
24° 57' 1"
$\Delta 5/2$
12° 28' 30"

Calculo de peralte
0,0255

<b>P &lt; Pmax</b>
0,0255

<b>Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición</b>	
<b>Longitud espiral mínima [m]</b>	<b>Le Adoptada Le&gt; Lmin [m]</b>
19,29	60

<b>Calculo de ángulos <math>\theta_{e5}</math> y <math>\Delta c5</math></b>	
<b>Calculo de ángulos <math>\theta_{e5}</math></b>	
0,075	4,30
<b>Calculo de ángulos <math>\Delta c5</math></b>	
16° 22' 13"	

<b>Longitud de curva Lc [m]</b>
114,28

<b>Factores de diseño</b>	
K	30
P	0,38
TL	40,00
Tc	20,00
Te	118,57
Ee	10,06
Xc [m]	60,00
Yc [m]	1,50

<b>PROGRESIVAS</b>	Dirección de curva:	hacia la izquierda	V5-V4=	804,93
Te anterior	126,05			
Prog ET fin de curva anterior	1964,91			
<b>Progresiva TE5</b>	2525,22	→	<b>Borde izq</b>	<b>Borde der</b>
			-2%	-2%
<b>Progresiva EC5</b>	2585,22	→	0%	-2%
			4,60%	-4,60%
<b>Progresiva CE5</b>	2699,50	→	4,60%	-4,60%
			0%	-2%
<b>Progresiva ET5</b>	2759,50	→	-2%	-2%

**CURVA HORIZONTAL N°6**

<b>Curva 6</b>
----------------

Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	600,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta_6$
29° 49' 47"
$\Delta_6/2$
14° 54' 54"

Calculo de peralte
0,0170
P < Pmax
0,017

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral mínima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
12,86	60

Calculo de ángulos $\theta_{e6}$ y $\Delta c_6$	
Calculo de ángulos $\theta_{e6}$	
0,050	2,8645
Calculo de angulos $\Delta c_6$	
24° 6' 35"	

Longitud de curva Lc [m]
252,47

Factores de diseño	
K	30
P	0,25
TL	40,00
Tc	20,00
Te	189,88
Ee	21,17
Xc [m]	60,00
Yc [m]	1,00

<b>PROGRESIVAS</b>	Dirección de curva:	hacia la derecha	V6- V5=	869,3
Te anterior	118,57			
Prog ET fin de curva anterior	2759,5			
Progresiva TE6	3320,34	→		
Progresiva EC6	3380,34	→		
Progresiva CE6	3632,81	→		
Progresiva ET6	3692,81	→		

Borde izq	Borde der
-2%	-2%
0%	2%
-3,40%	3,40%
-3,40%	3,40%
-3,40%	3,40%
0%	-2%
-2%	-2%

**CURVA HORIZONTAL N°7**

Curva 7	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	200,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

$\Delta 7$
47° 2' 18"
$\Delta 7/2$
23° 31' 9"

Calculo de peralte
0,0510
P < Pmax
0,0510

Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición	
Longitud espiral minima [m]	Le Adoptada Le > Lmin [m]
38,57	60

Calculo de ángulos $\theta e7$ y $\Delta c7$	
Calculo de angulos $\theta e7$	
0,150	8,59
Calculo de ángulos $\Delta c5$	

29° 51' 30"
-------------

<b>Longitud de curva Lc [m]</b>
104,22

<b>Factores de diseño</b>	
K	30
P	0,75
TL	40,00
Tc	20,00
Te	117,36
Ee	18,93
Xc [m]	60,00
Yc [m]	3,00

<b>PROGRESIVAS</b>	Dirección de curva:	hacia la izquierda	V7-V6=	861,58
Te anterior	189,88			
Prog ET fin de curva anterior	3692,81			
<b>Progresiva TE7</b>	4247,15	→	<b>Borde izq</b>	<b>Borde der</b>
			-2%	-2%
<b>Progresiva EC7</b>	4307,15	→	0%	-2%
			6,80%	-6,80%
<b>Progresiva CE7</b>	4411,37	→	6,80%	-6,80%
			0%	-2%
<b>Progresiva ET7</b>	4471,37	→	-2%	-2%

**CURVA HORIZONTAL N°8**

<b>Curva 8</b>	
Vel. Diseño [km/h]	60,00
Peralte máx.	0,10
Radio mínimo. [m]	102,05
Rc [m] adoptado > Rmin [m]	300,00
Rmin s/ Ruhl	110,00

<b>Δ8</b>
53° 38' 52"
<b>Δ8/2</b>
26° 49' 26"

<b>Calculo de peralte</b>	
	0,0340
<b>P &lt; Pmax</b>	
	0,034

<b>Calculo de espirales y otros elementos. Para curva transición</b>	
<b>Longitud espiral mínima [m]</b>	<b>Le Adoptada Le&gt; Lmin [m]</b>
25,71	60

<b>Calculo de angulos <math>\theta_{e8}</math> y <math>\Delta c8</math></b>	
<b>Calculo de angulos <math>\theta_{e8}</math></b>	
0,100	5,729
<b>Calculo de angulos <math>\Delta c8</math></b>	
42° 12' 28"	

<b>Longitud de curva Lc [m]</b>
220,99

<b>Factores de diseño</b>	
K	30
P	0,50
TL	40,00
Tc	20,00
Te	181,95
Ee	36,73
Xc [m]	60,00
Yc [m]	2,00

<b>PROGRESIVAS</b>	Dirección de curva:	hacia la derecha	V8 - V7=	369,1
<b>Te anterior</b>	117,36			
<b>Prog ET fin de curva anterior</b>	4471,37			
<b>Progresiva TE8</b>	4541,18	→	<b>Borde izq</b>	<b>Borde der</b>
			-2%	-2%
<b>Progresiva EC8</b>	4601,18	→	0%	2%
			-5,60%	5,60%
<b>Progresiva CE8</b>	4822,17	→	-5,60%	5,60%
			-5,60%	5,60%
			0%	-2%

Progresiva ET8	4882,17	→	-2%	-2%
----------------	---------	---	-----	-----

**CALCULO DE SOBREANCHOS CURVA 1-8**

Sobrancho en curvas horizontales.		
Numero de trochas	n	2
Longitud camión [m]	L	4,3
Longitud vinculo [m]	l1	1,2
Longitud acoplado [m]	L1	6,4

Sobrancho en curvas			
Curva	Rc [m]	Vd [km/h]	S
Curva 1	110	60	1,13
Curva 2	150	60	0,90
Curva 3	400	60	0,45
Curva 4	350	60	0,49
Curva 5	400	60	0,45
Curva 6	600	60	0,35
Curva 7	200	60	0,73
Curva 8	300	60	0,55

**Anexo VI: Calculo Curvas Verticales**

Progresiva (m) :	progresiva en el vertice
cota (m)	cota de altura en el vertice
h1 (m)	distancia vertical desde el inicio de pendiente al vértice
d1 (m)	distancia horizontal desde el inicio de pendiente al vértice
h2 (m)	distancia vertical desde el inicio de pendiente al vértice
d2 (m)	distancia horizontal desde el inicio de pendiente al vértice
Lmin (m)	distancia minima horizontal entre principio y fin de curva
L (m)	distancia horizontal adoptada entre principio y fin de curva
Pc (m)	progresiva de principio de curva
Fc (m)	progresiva de fin de curva
y (m)	distancia vertical del vértice al punto de curva medio
H (m)	cota de altura del punto de curva medio

**REFERENCIAS**

ingreso de datos
datos adoptados
resultados

**CURVA VERTICAL N°1**

Progresiva (m) =	49,75
cota (m) =	1438,01

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	0,17
d1 (m) =	40
tg $\alpha$ 1 =	0,00
i1 (%) =	-0,43

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	80,23
d2 (m) =	1128,59
tg $\alpha$ 2 =	0,07
i2 (%) =	-7,11

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	82,54
L (m) =	80
Pc (m) =	9,75
Fc (m) =	89,75

y (m) =	-0,84
H (m) =	1437,17

CURVA VERTICAL N°2

Progresiva (m) =	1178,44
cota (m) =	1357,78

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	80,23
d1 (m) =	1128,59
tg $\alpha$ 1 =	0,07
i1 (%) =	-7,11

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	5,49
d2 (m) =	134,84
tg $\alpha$ 2 =	0,04
i2 (%) =	4,07

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	154,18
L (m) =	100
Pc (m) =	1128,44
Fc (m) =	1228,44

y (m) =	-2,16
H (m) =	1355,62

CURVA VERTICAL N°3

Progresiva (m) =	1313,28
cota (m) =	1363,27

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
h1 (m) =	5,49
d1 (m) =	134,84
tg $\alpha$ 1 =	0,04
i1 (%) =	4,07

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	28,03
d2 (m) =	495,87

tg $\alpha_2$ =	0,06
i2 (%) =	-5,65

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	120,08
L (m) =	100
Pc (m) =	1263,28
Fc (m) =	1363,28

y (m) =	0,82
H (m) =	1364,09

**CURVA VERTICAL N°4**

Progresiva (m) =	1809,15
cota (m) =	1335,24

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	28,03
d1 (m) =	495,87
tg $\alpha_1$ =	0,06
i1 (%) =	-5,65

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	0,55
d2 (m) =	238,68
tg $\alpha_2$ =	0,00
i2 (%) =	-0,23

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	74,78
L (m) =	300
Pc (m) =	1759,15
Fc (m) =	1859,15

y (m) =	-6,45
H (m) =	1328,79

**CURVA VERTICAL N°5**

Progresiva (m) =	2047,83
cota (m) =	1334,69

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	0,55
d1 (m) =	238,68
tg $\alpha$ 1 =	0,00
i1 (%) =	-0,23

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	24,12
d2 (m) =	711,07
tg $\alpha$ 2 =	0,03
i2 (%) =	-3,39

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	39,04
L (m) =	100
Pc (m) =	1997,83
Fc (m) =	2097,83

y (m) =	-0,51
H (m) =	1334,18

**CURVA VERTICAL N°6**

Progresiva (m) =	2758,9
cota (m) =	1310,57

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	24,12
d1 (m) =	711,07
tg $\alpha$ 1 =	0,03
i1 (%) =	-3,39

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	6,11
d2 (m) =	131,89
tg $\alpha$ 2 =	0,05
i2 (%) =	4,63

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	110,67
L (m) =	100

Pc (m) =	2708,9
Fc (m) =	2808,9

y (m) =	-6,45
H (m) =	1304,12

**CURVA VERTICAL N°7**

Progresiva (m) =	2890,79
cota (m) =	1316,68

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
h1 (m) =	6,11
d1 (m) =	131,89
tg $\alpha$ 1 =	0,05
i1 (%) =	4,63

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	19,92
d2 (m) =	339,1
tg $\alpha$ 2 =	0,06
i2 (%) =	-5,87

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	129,75
L (m) =	100
Pc (m) =	2840,79
Fc (m) =	2940,79

y (m) =	-6,45
H (m) =	1310,23

**CURVA VERTICAL N°8**

Progresiva (m) =	3229,89
cota (m) =	1296,76

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	19,92
d1 (m) =	339,1
tg $\alpha$ 1 =	0,06

$i_1$ (%) =	-5,87
-------------	-------

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
$h_2$ (m) =	2,19
$d_2$ (m) =	105,04
$\text{tg } \alpha_2$ =	0,02
$i_2$ (%) =	2,08

$D_d$ (m) =	72,87
$L_{\text{min}}$ (m) =	109,76
$L$ (m) =	100
$P_c$ (m) =	3179,89
$F_c$ (m) =	3279,89

$y$ (m) =	-6,45
$H$ (m) =	1290,31

**CURVA VERTICAL N°9**

Progresiva (m) =	3334,93
cota (m) =	1298,95

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
$h_1$ (m) =	2,19
$d_1$ (m) =	105,04
$\text{tg } \alpha_1$ =	0,02
$i_1$ (%) =	2,08

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
$h_2$ (m) =	11,7
$d_2$ (m) =	212,74
$\text{tg } \alpha_2$ =	0,06
$i_2$ (%) =	-5,50

$D_d$ (m) =	72,87
$L_{\text{min}}$ (m) =	93,66
$L$ (m) =	100
$P_c$ (m) =	3284,93
$F_c$ (m) =	3384,93

$y$ (m) =	-6,45
$H$ (m) =	1292,50

CURVA VERTICAL N°10

Progresiva (m) =	3547,67
cota (m) =	1287,25

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	11,7
d1 (m) =	212,74
tg $\alpha$ 1 =	0,06
i1 (%) =	-5,50

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	1,76
d2 (m) =	130,45
tg $\alpha$ 2 =	0,01
i2 (%) =	1,35

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	94,45
L (m) =	100
Pc (m) =	3497,67
Fc (m) =	3597,67

y (m) =	-6,45
H (m) =	1280,80

CURVA VERTICAL N°11

Progresiva (m) =	3678,12
cota (m) =	1289,01

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
h1 (m) =	1,76
d1 (m) =	130,45
tg $\alpha$ 1 =	0,01
i1 (%) =	1,35

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	13,51
d2 (m) =	234,99
tg $\alpha$ 2 =	0,06

$i_2$ (%) =	-5,75
-------------	-------

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	87,66
L (m) =	100
Pc (m) =	3628,12
Fc (m) =	3728,12

y (m) =	-6,45
H (m) =	1282,56

**CURVA VERTICAL N°12**

Progresiva (m) =	3913,11
cota (m) =	1275,5

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	13,51
d1 (m) =	234,99
tg $\alpha_1$ =	0,06
$i_1$ (%) =	-5,75

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	7,37
d2 (m) =	179,17
tg $\alpha_2$ =	0,04
$i_2$ (%) =	4,11

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	136,01
L (m) =	200
Pc (m) =	3863,11
Fc (m) =	3963,11

y (m) =	-6,45
H (m) =	1269,05

**CURVA VERTICAL N°13**

Progresiva (m) =	4092,28
cota (m) =	1282,87

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
h1 (m) =	7,37
d1 (m) =	179,17
tg $\alpha$ 1 =	0,04
i1 (%) =	4,11

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	28,3
d2 (m) =	606,57
tg $\alpha$ 2 =	0,05
i2 (%) =	-4,67

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	108,41
L (m) =	100
Pc (m) =	4042,28
Fc (m) =	4142,28

y (m) =	-6,45
H (m) =	1276,42

**CURVA VERTICAL N°14**

Progresiva (m) =	4698,85
cota (m) =	1254,57

**Pendiente 1 :**

pendiente:	negativa
h1 (m) =	28,3
d1 (m) =	606,57
tg $\alpha$ 1 =	0,05
i1 (%) =	-4,67

**Pendiente 2 :**

pendiente:	positiva
h2 (m) =	20,43
d2 (m) =	325,47
tg $\alpha$ 2 =	0,06
i2 (%) =	6,28

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	150,91
L (m) =	400
Pc (m) =	4648,85

Fc (m) =	4748,85
----------	---------

y (m) =	-6,45
H (m) =	1248,12

**CURVA VERTICAL N°15**

Progresiva (m) =	5024,32
cota (m) =	1275

**Pendiente 1 :**

pendiente:	positiva
h1 (m) =	20,43
d1 (m) =	325,47
tg $\alpha$ 1 =	0,06
i1 (%) =	-6,28

**Pendiente 2 :**

pendiente:	negativa
h2 (m) =	4,45
d2 (m) =	50
tg $\alpha$ 2 =	0,09
i2 (%) =	-3,11

Dd (m) =	72,87
Lmin (m) =	39,11
L (m) =	100
Pc (m) =	4974,32
Fc (m) =	5074,32

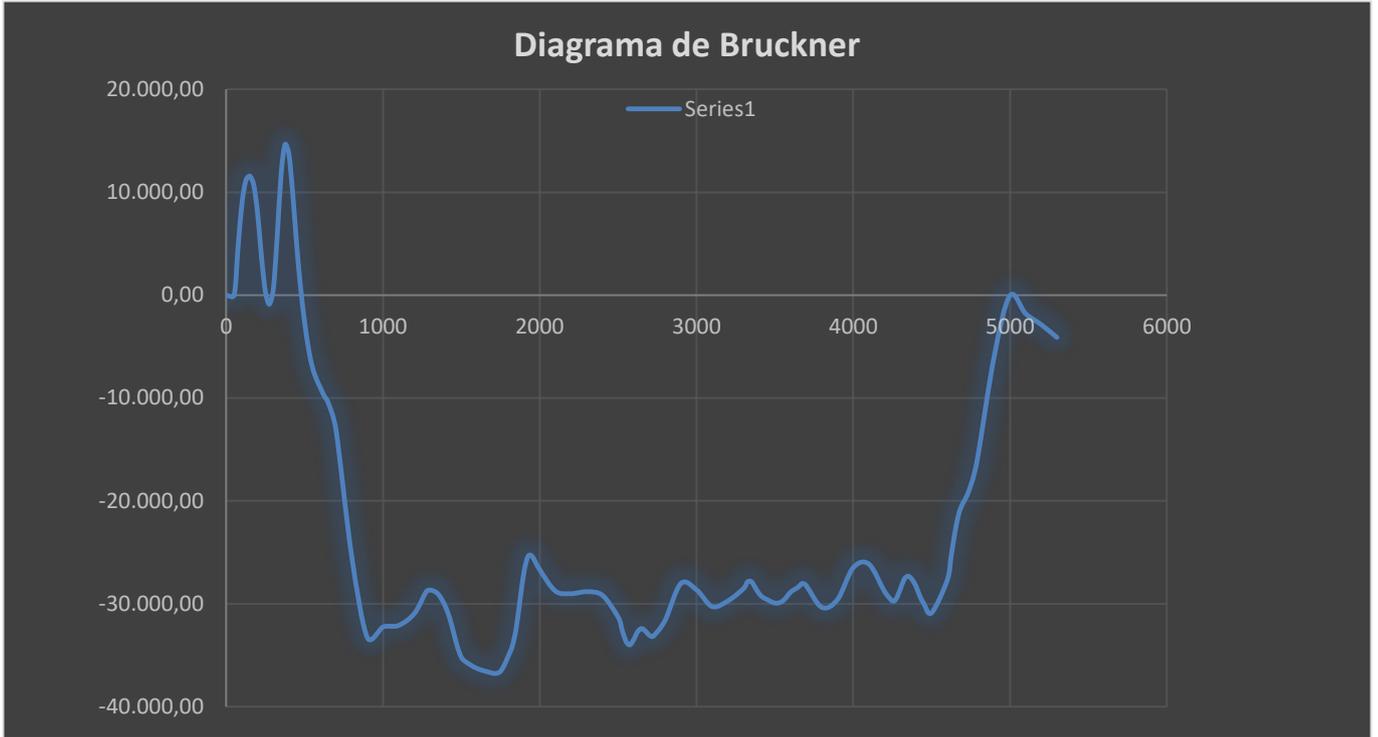
y (m) =	-6,45
H (m) =	1268,55

**Anexo IV: Diagrama de Bruckner**

Computo Movimiento de Suelos PROYECTO						
Progresiva	Area de Terraplen	Area Excavacion	Volumen Terraplen	Volumen Excavacion	Acumulado Terraplen m3	Acumulado Excavacion m3
0+050	0	161,58	0	0	0	0
0+075	0	202,74	0	4657,38	0	4657,38
0+100	0	127,12	0	4285,78	0	8943,16
0+125	0,03	41,54	0,39	2200,86	0,39	11144,02
0+150	8,42	0	102,41	540,05	102,79	11684,07
0+175	62,75	0,01	872,52	0,12	975,31	11684,2
0+200	162,67	0	2769,44	0,12	3744,75	11684,32
0+225	184,53	0	4288,82	0	8033,58	11684,32
0+250	85,75	0	3341,98	0	11375,56	11684,32
0+275	16,51	4,72	1247,23	62,56	12622,79	11746,88
0+300	0	118,86	195,12	1627,67	12817,91	13374,55
0+325	0	270,44	0,03	5156,29	12817,94	18530,84
0+350	0	192,14	0,03	6076,24	12817,97	24607,08
0+375	0,01	30,71	0,14	2863,64	12818,11	27470,72
0+400	109,68	0	1354,77	389,87	14172,88	27860,58
0+425	212	0	4004,41	0	18177,29	27860,58
0+450	183,48	0	4950,26	0	23127,56	27860,59
0+475	144,58	0	4102,74	0,02	27230,29	27860,61
0+500	118,99	0	3271,12	0,02	30501,41	27860,63
0+525	90,52	0	2579,6	0	33081,01	27860,63
0+550	57,33	0	1810,12	0	34891,13	27860,63
0+575	34,07	0	1113,74	0	36004,88	27860,63
0+600	34,94	0	837,52	0	36842,39	27860,63
0+625	32,22	0	825,11	0	37667,5	27860,63
0+650	19,11	0	638,29	0	38305,79	27860,63
0+700	86,3	0	2635,16	0	40940,95	27860,63
0+800	159,13	0	12271,46	0	53212,41	27860,63
0+900	5,37	6,07	8224,9	303,61	61437,31	28164,24
1+000	0	19,95	268,44	1301,18	61705,75	29465,42
1+100	16,95	0	847,36	997,58	62553,11	30463
1+200	0	40,03	847,36	2001,74	63400,47	32464,73
1+275	0,85	17,13	31,9	2143,49	63432,37	34608,22
1+300	7,91	4,83	108,48	277,43	63540,85	34885,65
1+325	11,12	5,35	234,65	129,71	63775,5	35015,36
1+350	16,88	1,69	345,61	89,83	64121,11	35105,19
1+375	28,91	0	568,38	21,64	64689,49	35126,83
1+400	32,14	0	759,49	0	65448,98	35126,83
1+425	52,04	0	1048,11	0	66497,1	35126,83
1+450	60,06	0	1397,02	0	67894,11	35126,83
1+475	54,5	0	1426,91	0	69321,02	35126,83
1+500	25,13	0	990,35	0	70311,37	35126,83
1+525	11,27	2,86	453,16	36,05	70764,53	35162,88
1+600	12,04	2,47	874,05	200,03	71638,59	35362,91
1+700	1,15	1,48	659,34	197,6	72297,93	35560,51
1+725	3,62	2,73	59,84	52,4	72357,77	35612,9
1+750	2,21	18,76	73,68	265,5	72431,45	35878,4
1+775	0	35,81	28,14	673,03	72459,58	36551,43
1+800	0	34,57	0	867,74	72459,58	37419,17
1+825	0,37	42,64	4,67	949,34	72464,25	38368,51
1+850	0	99,36	4,67	1749,31	72468,93	40117,82
1+875	0	130,64	0	2836,55	72468,93	42954,37
1+900	0	85,21	0	2666,66	72468,93	45621,03
1+925	0,69	33,09	8,66	1468,89	72477,59	47089,93
1+950	28,46	0	364,28	413,6	72841,87	47503,52
2+000	25,23	0	1342,17	0	74184,04	47503,52
2+100	16,31	0	2076,77	0	76260,81	47503,52
2+200	0	11,35	815,37	567,33	77076,17	48070,86
2+300	7,53	0	376,43	567,33	77452,61	48638,19
2+400	2,31	2,82	492,06	141,1	77944,66	48779,29
2+500	42,81	0	2256,23	141,1	80200,9	48920,4

*UCASAL – Facultad de Ingeniería*

2+525	55,19	0	1225,03	0	81425,92	48920,4
2+550	35,4	0	1131,81	0	82557,74	48920,4
2+575	0	7,98	442,11	100,14	82999,84	49020,54
2+600	0	34,24	0,05	530,52	82999,89	49551,05
2+625	0	25,81	0	754,43	82999,89	50305,49
2+650	2,08	0,11	25,99	325,41	83025,88	50630,89
2+675	19,04	0	263,08	1,33	83288,96	50632,22
2+700	13,4	0	403,85	0	83692,8	50632,22
2+725	1,02	8,95	179,69	112,42	83872,5	50744,63
2+800	0	33,13	38,18	1578,25	83910,68	52322,88
2+900	0	38,15	0	3564,06	83910,68	55886,95
3+000	50,17	0	2508,28	1907,34	86418,95	57794,29
3+100	0	17,55	2508,28	877,61	88927,23	58671,89
3+200	10,39	3,57	519,52	1056,19	89446,75	59728,08
3+300	0	30,93	519,52	1724,86	89966,26	61452,94
3+325	0	20,06	0	637,35	89966,26	62090,29
3+350	16,69	0	209,17	250,34	90175,43	62340,64
3+375	29,34	0	577,39	0	90752,82	62340,64
3+400	19,03	0	606,48	0	91359,3	62340,64
3+425	9,58	0,01	358,38	0,18	91717,67	62340,82
3+450	5,28	0	185,83	0,18	91903,5	62341,01
3+475	11,94	0	215,48	0	92118,98	62341,01
3+500	3,57	4,45	194,54	55,08	92313,52	62396,09
3+525	0,02	0	45,23	55,08	92358,75	62451,17
3+550	0,79	15,74	10,14	195,06	92368,89	62646,23
3+575	0,81	17,91	20,11	417,24	92389	63063,48
3+600	0	20,62	10,16	478,77	92399,16	63542,25
3+625	0	0	0	256,67	92399,16	63798,92
3+650	0	18,88	0	236,01	92399,16	64034,93
3+675	0	9,25	0	351,67	92399,16	64386,6
3+700	24,92	0	311,52	115,65	92710,68	64502,25
3+800	17,68	0	2130,2	0	94840,88	64502,25
3+900	0	32,99	884,12	1649,73	95725	66151,99
4+000	0	28,81	0	3090,28	95725	69242,26
4+100	21,76	0	1087,9	1440,55	96812,9	70682,81
4+200	31,4	0	2657,69	0	99470,59	70682,81
4+250	9,75	4,51	1029,9	112,35	100500,49	70795,16
4+275	0	24,63	123,91	359,29	100624,4	71154,44
4+300	0	46,04	0	874,89	100624,4	72029,33
4+325	0	32,48	0	975,41	100624,4	73004,74
4+350	8,47	1,64	108,46	422,38	100732,86	73427,13
4+375	17,62	0	331,98	19,75	101064,83	73446,88
4+400	33,5	0	645,66	0	101710,5	73446,88
4+425	43,34	0	966,82	0	102677,32	73446,88
4+450	13,73	0	715,14	0	103392,45	73446,88
4+500	23,41	0	928,49	0	104320,94	73446,88
4+600	0	86,96	1167,58	4341,87	105488,53	77788,75
4+625	0	100,65	0	2340,07	105488,53	80128,82
4+650	0	89,42	0	2374,64	105488,53	82503,46
4+675	0,01	54,58	0,14	1801,3	105488,67	84304,76
4+700	0	22,1	0,14	959,63	105488,8	85264,39
4+725	0	35,14	0	713,22	105488,8	85977,61
4+750	0	47,1	0	1020,6	105488,8	86998,21
4+775	0,01	57,7	0,15	1299,16	105488,96	88297,37
4+800	0	96,28	0,15	1909,57	105489,11	90206,94
4+900	0	91,55	0	9376,37	105489,11	99583,3
5+000	0	25,82	0	5868,13	105489,11	105451,43
5+100	60,92	0	3046,1	1290,78	108535,21	106742,21
5+200	0	39,48	3046,1	1974,13	111581,3	108716,34
5+300	64,19	0	3209,48	1974,13	114790,79	110690,46



## **Anexo VIII: Normas de Ensayos**

### **NORMA DE ENSAYO**

**VN - E7 - 65**

### **ANÁLISIS MECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES**

#### **7.1 OBJETO.**

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, que se usara en la construcción de terraplenes, bases o sub-bases, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

#### **7.2. APARATOS.**

- a. Cribas y tamices. La serie de cribas y tamices normales IRAM establecida en el Pliego de Especificaciones de la Obra, con su correspondiente tapa y fondo.
- b. Tamizadora mecánica.
- c. Bandeja de hierro galvanizado de 600 mm. x 400 mm. x 100 mm.
- d. Bandejas de hierro galvanizado de 300 mm. x 300 mm. x 80 mm.
- e. Bandejas de hierro galvanizado de bordes inclinados. Medidas de fondo 500mm.x300 mm. altura 250 mm. Inclinación de los bordes 60º respecto a la horizontal. Con vertedero lateral, provisto de tapón, a unos 30 mm. del fondo.
- f. Balanza tipo Roberval de 25 Kg. de capacidad por plato con sensibilidad de 1 gramo.
- g. Lona de 2 m. x 2 m.
- h. Equipo para cuartear muestras.
- i. Pala ancha y espátulas para manipular el material.
- j. Pileta con plataforma provista lateral para sostener la bandeja de lavado. Canilla provista de un tubo de goma de 1 m. de longitud.
- k. Mortero de porcelana de 20 cm. de diámetro, con mano revestida de goma en uno de sus extremos.
- l. Material de uso corriente en Laboratorio: estufas, calentadores etc.

#### **7.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.**

- a. La cantidad de muestra a ensayar en función del mayor tamaño de sus partículas. Se pueden adoptar como criterio general el siguiente: Llamado D al tamaño, en mm., de las partículas más grandes y P al peso en gramos de la muestra, la cantidad mínima a ensayar deberá ser mayor que 500 D, tomando D en milímetros.
- b. La muestra remitida al laboratorio debe pesar por lo menos cuatro (4) veces la capacidad necesaria para el ensayo, calculada en el párrafo anterior.
- c. En el laboratorio el material debe ser minuciosamente homogenizado volcándolo sobre la lona indicada en ap. (7.2 g) removiéndolo hasta obtener completa uniformidad utilizando para ello la pala ancha ap. (7.2 i).
- d. Si se dispone del equipo cuarteador ap. (7.2 h); por sucesivos pasajes se reduce la muestra hasta tener una cantidad conforme a lo establecido en el ap. (7.3 a).
- e. En caso contrario, el cuarteo del material se ejecuta a mano para lo cual se distribuye el material sobre la lona formando un cono cuya base superior se achata con la pala. Se divide en cuatro sectores aproximadamente iguales, según dos diámetros perpendiculares. Se toman los dos sectores opuestos, se unen y mezclan cuidadosamente. Si la cantidad que resulta es mayor que la que se indica en ap. (7.3 a) se repite en forma idéntica esta operación, tantas veces como sea necesario, hasta obtener una cantidad de material de acuerdo con lo establecido en dicho apartado.

El material así obtenido se seca en estufa a 105° - 110° C. hasta peso constante.

#### 7. 4. PROCEDIMIENTO.

Se consideran dos cosas:

El material que se presenta limpio con partículas sanas y sin películas adheridas y el que tiene apreciable proporción de cohesivos que forman películas adheridas a las partículas de mayor tamaño.

1. Caso de material limpio:
  - a. Obtenida, como se explicó en (7.3 d), la cantidad a ensayar, se pesa ésta y se anota su peso (Pt).
  - b. Se pasa el total del material por las distintas cribas ap. (7.2 a), comenzando por la de mayor abertura y se determina el peso retenido por cada criba: P1, P2, P3 respectivamente. Esta operación se completa hasta el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº4).

**NOTA:** Para efectuar el tamizado, colocada la muestra sobre el tamiz de mayor abertura, mientras se mantiene el tamiz ligeramente inclinado con una mano, con la otra se golpea a razón de dos golpes por segundo; después de veinticinco golpes se gira el tamiz horizontalmente 60° golpeándolo suavemente sobre una base firme.
  - c. Se pesa la cantidad librada por el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4). Si este peso es menor que 1500 gr. se prosigue el tamizado por los tamices de la serie ap. (7.2 a), en la forma indicada en 7.4.1 (b) y se anotan los pesos retenidos por cada tamiz (ver observación 7.7 c).
  - d. Si la cantidad librada por el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4) es mayor que 1500 gramos, se toma por cuarteos una cantidad inferior a ésta última, se pesa (PC) y se prosigue la operación con los restantes tamices de la serie, como se indica en el párrafo anterior, anotando los pesos retenidos por cada tamiz.
2. Caso de materia con películas adheridas a las partículas o mezclado con cohesivo:
  - a. Se pesa la cantidad obtenida según ap. (7.3. d), llamémoslo Pt.
  - b. Se coloca todo el material dentro de la bandeja para lavado, ap. (7.2 e), se tapa el vertedero, se agrega agua de modo que cubra toda la muestra. Se remueve con una espátula o con la mano, procurando desmenuzar los terrones que pudieran existir. Se deja actuar el agua durante un tiempo más o menos largo, que debe llegar a las 24 horas cuando se trata de cohesivo muy activo. Tratándose de arenas finas es conveniente calentar el agua a 80° C.
  - c. Se coloca debajo del vertedero un tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) sobre el cual se pone uno de abertura algo mayor, por ejemplo, el de 2 mm. (Nº10). Se destapa el vertedero, y se sigue haciendo correr agua dentro de la bandeja removiendo suavemente de modo que la corriente arrastre el material fino. Se sigue la operación hasta que el líquido que pasa a través del tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) salga limpio.
  - d. Se recoge todo el material sobrante en la bandeja y el retenido por los tamices, se seca a peso constante y se anota el peso (P1).
  - e. Se prosigue como se indicó desde ap. (7.4. 1. b) hasta (7. 4.1 d).

#### 7. 5. CÁLCULOS.

1. Caso de material limpio
  - a. Se resta del material seco total (PT) lo retenido por el tamiz IRAM mayor abertura. Se obtiene así la cantidad librada por ese tamiz: P1. De este peso, P1, se resta lo retenido por el segundo tamiz y se obtiene el peso del material librado por él. Se sigue en esta forma por restas sucesivas hasta el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4) inclusive. Determinando así el peso total del material que pasa este tamiz valor que llamaremos PA.

- b. Se calcula el cociente PA/PC y se multiplica por este resultado las porciones retenidas por cada uno de los tamices subsiguientes siendo las cantidades resultantes las que se tomaran como sustrayendo en las restas sucesivas indicadas (7.5.1 a).
- c. Los porcentajes de películas que pasan por cada tamiz se calculan por medio de la siguiente fórmula:

$$P \% \text{ que pasa} = \frac{P}{P_t} * 100$$

Dónde:

P = Cantidad total librada para cada tamiz.

Pt = Cantidad total de muestra ensayada.

2. Caso de material con películas adheridas a las partículas o mezclado con adhesivos.
  - a. Se procede igual que en (7- 5. 1 a) hasta el tamiz IRAM 4,75 Mm. (Nº 4).
  - b. De la porción librada por este tamiz, se resta la parte eliminada por el lavado realizado según 7.4.2, que es Pt- P1. El resultado se divide por Pc, siendo este cociente el factor por el que se multiplican las cantidades retenidas en el tamizado subsiguiente. Los resultados de estas multiplicaciones será los sustraendos de las restas sucesivas.
  - c. Para obtener los porcentajes de las partículas que pasan por cada tamiz se utiliza la misma fórmula indicada en (7.5.1 c).

#### 7.6. CURVA GRANULOMÉTRICA

- a. Para el trazado de la curva representativa del material se utiliza un diagrama de coordenadas semilogarítmicas, como el de la planilla adjunta, en el se indican en abscisas el logaritmo de las aberturas de cribas y tamices; y en ordenadas están representados, en escala aritmética, los porcentajes librados por cada criba o tamiz.
- b. Se unen con un trazo continuo los puntos de intersección y se obtiene la representación gráfica de la granulometría del material estudiado.

#### 7 .7. OBSERVACIONES

- a. Cuando se reduce una muestra por cuarteos, siempre debe tomarse el producto total de una operación pesando cuidadosamente el material obtenido. Nunca debe completarse a un peso determinado, quitando o agregando material.
- b. La operación de tamizar a través de mallas de hasta 4,75 mm. (Nº 4) no ofrece dificultades. No ocurre lo mismo con las mallas de aberturas pequeñas, pues estas se tapan con facilidad. Deben limpiarse con frecuencia con cepillos adecuados de cerda, o de cerda entremezclada con hilos muy finos de bronce. También se limpian golpeando suavemente el marco del tamiz contra la mesa de trabajo.
- c. Para los tamices IRAM 4,75 mm. (Nº 4) y menores, se considera finalizada la tarea del tamizado cuando, luego de un minuto de zarandeo, pasa menos de 1% de la porción que queda retenida.
- d. Durante la ejecución del tamizado no debe forzarse el paso de las partículas a través de los tamices con ningún elemento extraño (mano, pincel, espátula, etc.).

## NORMA DE ENSAYO VN - E2 – 65

### LIMITE LÍQUIDO

#### 2.1 OBJETO.

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el límite líquido de un suelo.

Límite Líquido: Es el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm. de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm., aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm., a la velocidad de 2 golpes por segundo.

#### 2.2 APARATOS

- a. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).
- c. Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.
- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. De ancho, con mango de madera.
- e. Aparato para la determinación semi mecánica del límite líquido de las dimensiones y demás características indicadas en la figura Nº 1.
- f. Acanalador de bronce o acero inoxidable de las dimensiones y demás características indicadas en la figura Nº2.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. De altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio con robinetas.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105º C. –110º C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

#### 2.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El ensayo se realiza sobre la fracción del material que pasa por el tamiz IRAM 425micrómetros (Nº 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma VNE4-84, y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte según lo indicado en el ap. 1.3 (c) de la Norma VN-E1-65 “Tamizado de suelos por vía húmeda”.

##### 1. Suelos Finos:

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., desuelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº40). La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se la desmenuza en el mortero con el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.  
Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

- b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

##### 2. Suelos con material grueso:

- a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10).

- b. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con a la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor a 60º C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

## 2.4 CALIBRACIÓN DEL APARATO

Verificar que el aparato de Casagrande para la determinación del límite líquido esté en buenas condiciones de funcionamiento, que el eje sobre el que gira la cápsula no esté desgastado hasta el punto de permitir desplazamientos laterales de la misma; que los tornillos que conectan la cápsula al brazo estén apretados y que la superficie de la cápsula no presente excesivo desgaste.

La base de 50 mm. de espesor, debe ser de ebonita o de madera dura con una placa de ebonita, de no menos de 10 mm. de espesor, firmemente encastrada en la madera.

La cápsula debe ser de bronce pulido, debe tener las dimensiones fijadas y su peso, incluido el engarce y la pestaña, debe ser de 205 + ó -5 gr.

El acanalador que acompaña al aparato, debe ser de bronce o de acero inoxidable.

La calibración mecánica del aparato se efectúa en la siguiente forma:

- a. Se aflojan los tornillos de regulación, designados T en la figura Nº 1.
- b. Se intercala entre la base y la cápsula una chapa de 10 mm. de espesor. Si el acanalador tiene su mango terminado en forma de cubo de 10 mm. de arista, se puede usar para este calibrado.
- c. Mientras se va haciendo girar la manivela que acciona el excéntrico se hace correr la cápsula en uno u otro sentido, hasta que se observe que el excéntrico la libere exactamente desde 10 mm. de altura.
- d. Se ajustan los tornillos de regulación. Se retira el espesor colocado y se verifica si la altura de caída libre es exactamente 10 mm. se efectúan los retoques necesarios.

## 2.5 PROCEDIMIENTO

- a. Se toman 50 o 60 gr. Del material obtenido de acuerdo al título 2.3 y se coloca en una cápsula de hierro enlozado o porcelana, ap. 2.2 (c).
- b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo en especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- d. Cuando la pasta adquiere una consistencia tal que, al ser dividida en dos porciones, éstas comiencen a fluir cuando se golpea la cápsula contra la palma de la mano, se transfiere una porción de la misma a la cápsula de bronce del aparato, se la amasa bien y se la distribuye como lo indica la figura Nº 3, de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente de 1 cm.
- e. Con el acanalador se hace una muesca en forma tal que quede limpio el fondo de la cápsula en un ancho de 2 mm.; la muesca debe seguir una dirección normal aleje de rotación en su punto medio, figura Nº 3.
- f. Se acciona la manivela a razón de dos vueltas por segundo, y se cuenta el número de golpes necesarios para que, por fluencia se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 12 mm.

- g. Verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para esto se procura separar con la espátula los bordes unidos. Si hubo corrimiento de toda la masa la separación se logra fácilmente, quedando limpio el fondo de la cápsula. En cambio, si ha habido fluencia, la cápsula mueve únicamente la parte que ataca y el resto queda adherido al fondo de la cápsula.
- h. Se retira una porción de pasta, de peso más o menos 10 gr. de la parte en la que se produjo la unión, y se la coloca en el pesa filtro previamente tarado. Se pesa y se anota en la planilla. También se anotará el peso del pesa filtro, su número de identificación y el número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta.
- i. Se repite estas operaciones dos veces más, con contenidos crecientes de agua, procurando que los números de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean, uno mayor y otro menor de 25 golpes.
- j. La pasta colocada en el pesa filtro para cada operación se seca en la estufa a temperatura de 105º a 110º C hasta peso constante.

**NOTA:**

Para los suelos altamente plásticos, arcillas muy pesadas, se deberá preparar la muestra, de acuerdo a lo indicado en los ap. 2.5 (a) y (b) el día anterior al ensayo.

Efectuado esto, se cotejará al resultado obtenido al hallado siguiendo el procedimiento normal del ensayo. En caso de obtenerse valores diferentes se adoptará el logrado por la muestra humedecida el día anterior al de ejecución del ensayo.

**2.6 CÁLCULOS:**

- a. La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$LP = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} * 100$$

Donde:

P1= Peso del pesa filtro más la porción pasta de suelo húmedo.

P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco.

Pt= Peso del pesa filtro vacío.

- b. Sobre un sistema de coordenadas rectangulares se toma, en abscisas el logaritmo del número de golpes, y en ordenadas el porcentaje de humedad.  
Se ubican los puntos obtenidos, los que estarán sensiblemente alineados. Se traza la línea recta que mejor ligue a esos puntos y sobre el eje de las ordenadas, en el punto correspondiente a aquel en que esta recta corta la perpendicular trazada las abscisas por el punto correspondiente a 25 golpes.

**2.7 OBSERVACIONES.**

- a. Los mejores resultados se obtienen cuando el número de golpes de los distintos puntos está comprendido entre 20 y 30.
- b. Como variante simplificadora que ahorra mucho tiempo y suministra resultados satisfactorios, se podrá utilizar el método de un solo punto.
- c. Para esto se determina un punto en la forma indicada en ap. 2.5 (a) a (h) y se calcula la humedad en por ciento, anotando el número de golpes necesarios (N) para el cierre de la muesca, procurando que este número de golpes esté comprendido entre 20 y 30 golpes.
- d. Siendo H la humedad en por ciento y N el número de golpes necesarios, el valor del Límite Líquido está dado por la fórmula:

$$LL = \frac{H}{1,419 - 0,3 * \log N}$$

## NORMA DE ENSAYO VN - E3 - 65

### LÍMITE PLÁSTICO – ÍNDICE DE PLASTICIDAD

#### 3.1 OBJETO.

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el Límite Plástico de un suelo.

Límite Plástico: Es el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. de diámetro.

#### 3.2 APARATOS.

- a. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).
- c. Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.
- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. de ancho, con mango de madera.
- e. Vidrio plano de 30 x 30 cm., o un trozo de mármol de las mismas dimensiones.
- f. Trozos de alambre galvanizado redondos de 3 mm. de diámetro para ser utilizados como elementos de comparación.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio graduada, con robinete.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105º C. a 110º C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

**NOTA:** Las dimensiones dadas en los aparatos (c), (d), (e) y (g) son aproximadas.

#### 3.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

El ensayo se realiza sobre la porción del material que pasa por el tamiz IRAM

425 micrómetros (Nº 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma VNE4-84, y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte, de acuerdo a lo indicado en el ap. 1.3 (c) de la Norma VN- E1-65 “Tamizado de Suelos por Vía Húmeda”.

##### 1. Suelos finos:

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., de suelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº40).

La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se la desmenuza con el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.

Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

- b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

##### 2. Suelos con material grueso:

- a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10). Con la parte final se procede como se indicó en el ap.3.3

- 1 (a) y (b).

- b. Si a pesar del desmenuzamiento se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, en estufa, a temperatura no mayor a 60º C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

### 3.4 PROCEDIMIENTO.

- a. Se toman 15 a 20 gr. del material obtenido de acuerdo al título 3.3 y se colocan en una cápsula de porcelana o de hierro enlozado, ap. 3.2 (c).
- b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado; procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- d. Se continúa el mezclado hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador.
- e. Una porción de la parte así preparada se hace rodar por la palma de la mano sobre láminas de vidrio, ap. 3.2 (e), dándole la forma de pequeños cilindros.
- f. La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.
- g. La velocidad con la que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 80 a 90 impulsos por minuto, entendiéndose como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y atrás.
- h. Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm. de diámetro y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se reúnen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario.

La operación también se repite si las barritas cilíndricas se agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. En este caso se reúne el material amasándolo con más agua hasta completa uniformidad.

- i. El ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a figurarse o agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro, punto que resulta fácil de establecer comparándolo con los trozos de alambre, ap. 3.2 (f).
- j. Obtenido este estado se colocan las barritas cilíndricas en un pesa filtro, tapándolo de inmediato para evitar evaporación; se pesan y se secan en estufa a 105º C – 110º C hasta peso constante.

**NOTA:** Para los suelos altamente plásticos, arcillas muy pesadas, se deberá preparar una muestra de acuerdo a lo indicado en los ap. 3.4 (a) y (b), en el día anterior al ensayo. Efectuado éste, se cotejará el resultado obtenido con el hallado siguiendo el procedimiento normal de ensayo.

En caso de obtenerse valores diferentes se adoptará el logrado con la muestra humedecida el día anterior al de la ejecución del ensayo.

### 3.5 CÁLCULOS.

El Límite Plástico del suelo se calcula con la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} * 100$$

Donde:

LP= Límite plástico.

P1= Peso del pesa filtro más el suelo húmedo, al centigramo. P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco, al centigramo.

Pt= Peso del pesa filtro vacío, al centigramo.

### 3.6 ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo.

Es decir:

$$IP = LL - LP$$

### 3.7 OBSERVACIONES.

- a. Si el suelo presenta características de plasticidad bien definidas, se amasa el suelo con un contenido de humedad que satisfaga las condiciones establecidas en el ensayo del límite plástico y se ejecuta este. Luego se agrega más agua a la pasta restante en la cápsula y se realiza el ensayo del límite líquido.
- b. Si el suelo tiene poca plasticidad, se realiza primeramente el ensayo de límite líquido y de inmediato con la parte del material restante se ejecuta el ensayo de límite plástico.
- c. Si el suelo no tiene plasticidad, pero sí límite líquido. Este caso se presenta cuando al intentar formar la barrita cilíndrica, ésta se rompe antes de alcanzar el diámetro de 3 mm. se determina el límite líquido y se indica IP= 0.
- d. El suelo no tiene plasticidad ni tampoco puede determinarse el valor del límite líquido. Pasa esto cuando el suelo por su excesiva aridez no permite conformar la pastilla en la cápsula del aparato para la determinación semi mecánica del límite líquido (aparato de Casagrande). Se indica entonces sin límite líquido, IP= 0.

**NORMA DE ENSAYO VN - E4 – 84**  
**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

**4.1 CLASIFICACIÓN.**

La clasificación de suelos comprende dos grandes conjuntos, el de los materiales granulares con 35 % o menos pasando el tamiz IRAM 75 micrómetro (Nº 200) y el de los materiales limo-arcillosos, conteniendo más del 35 % que pasa al tamiz IRAM 75micrómetros (Nº 200). Cinco fracciones de tamaños se diferencian entre las dimensiones de los siguientes tamices:

**4.2 DEFINICIÓN DE “GRAVA”, “ARENA GRUESA”, “ARENA FINA” Y “SUELO ARCILLO-LIMOSO”.**

- GRAVA

Pasa tamiz de abertura cuadrada de 3” y retenido en el tamiz IRAM 2,00 mm. (Nº10).

- ARENA GRUESA

Pasa tamiz IRAM 2,00 mm. (Nº 10) y retenido en el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).

- ARENA FINA

Pasa tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40) y retenido en el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

- LIMO Y ARCILLA COMBINADOS

Pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200)

Las condiciones y características generales de cada grupo de suelos, se da a continuación:

**4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS Y SUBGRUPOS.**

**4.3.1 MATERIALES GRANULARES.**

**A-1-**

Suelos bien graduados, de gruesos a finos, con un ligante no plástico o débilmente plástico.

**A-1-a.**

Suelos en los que predominan fragmentos de piedra, o grava, con o sin material ligante bien graduado.

**A-1-b.**

Suelos en los que predominan arenas gruesas, con o sin material ligante bien graduado.

Algunos suelos A-1, pueden requerir materiales finos para constituir bases firmes.

Generalmente suelen ser muy estables bajo la acción de las cargas transmitidas

por las ruedas, sin tener en cuenta su contenido de humedad. Pueden usarse satisfactoriamente como bases para delgadas carpetas bituminosas. Los suelos de este grupo son adecuados para superficies granulares de rodamiento.

**A-2.-**

Suelos compuestos por una extendida gama de materiales granulares que no pueden clasificarse en los grupos A-1 o A-3, por el contenido de finos, su plasticidad o ambas cosas a la vez.

**A-2-4 y A-2-5.-**

Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-4 o A-5

**A-2-6 y A-2-7.-**

Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-6 o A-7.

Los suelos A-2 son inferiores a los A-1 por su pobre gradación o inferior ligante, o ambas cosas a la vez.

Pueden ser muy estables con drenaje satisfactorio, y en relación con la cantidad y calidad del ligante, pueden ablandarse con la humedad y presentarse sueltos y polvorientos en épocas de sequías; algunos son dañados por las heladas. Los A-2-4 y A-2-5, bien arenados y compactados, pueden servir de bases. Utilizados como superficie

de rodamiento, los A-2-6 y A-2-7, pueden perder estabilidad por efectos de la saturación capilar o falta de drenaje. La calidad de los suelos A-2-6 y A-2-7 como bases varía desde buena, cuando el porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 75micrómetro (Nº 200) es bajo, hasta dudosa, con alto porcentaje pasando aquel tamiz e índice plástico mayor de 10.

Generalmente los suelos A-2 son adecuados para cubrir subrasantes muy plásticas, cuando se construya un pavimento de hormigón.

#### **A-3.**

Suelos compuestos por arenas pobres en ligante y materiales gruesos. Ejemplos típicos de ese grupo son, las arenas finas de las playas y de los desiertos (formación eólica) y los materiales depositados por las corrientes de agua y constituidos por arenas finas pobremente graduadas y cantidades limitadas de arena gruesa y grava. Son comunes en ocasiones y les falta estabilidad bajo la acción de las cargas, a menos que estén bien húmedos. Son ligeramente alterados por la acción de la humedad, no experimentan cambios volumétricos y confinados constituyen adecuadas subrasantes para cualquier tipo de pavimento. No pueden ser compactados con los rodillos “pata de cabra” y se consolidan por vibración o por riegos y cilindrado.

#### **4.3.2. MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS.**

##### **A-4.-**

Suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y sólo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal. Son muy comunes en ciertas ocasiones y secos proveen una superficie de rodamiento firme, con ligero rebote al desaparecer las cargas. Cuando absorben agua rápidamente, sufren expansión perjudicial o pierden estabilidad aún sin manipularlos. Se levantan por la acción de las heladas. Su textura varía ampliamente desde el loam-arenoso hasta el limo y loamlimoso.

Los loam-arenosos tienen mejor estabilidad, para diversas densidades, que los limos y los loam-limosos. Sufren pequeñas variaciones de volumen y no producen grandes distorsiones del pavimento, aun cuando hayan sido compactados secos.

Los loam-limosos y limos, no adquieren altas densidades, porque su pobre graduación y carencia de material ligante, da lugar a un gran volumen de vacíos.

Son relativamente inestables con cualquier contenido de humedad, y cuando éste es grande, tienen muy baja estabilidad y valor soporte. Son difíciles de compactar porque el contenido de humedad, para obtener densidad satisfactoria, está dentro de estrechos límites. Secos, estos suelos son elásticos, mostrando considerable rebote cuando deja de actuar la carga. Los más plásticos se expanden al crecer su contenido de humedad.

Esto es más fácil de producirse, cuando han sido compactados con una humedad debajo de la óptima. Las carpetas bituminosas requieren importantes capas bases, cuando se empleen suelos de este grupo, como subrasantes.

Cuando el valor hallado resulta negativo, el índice de grupo será registrado como cero (0).

Se tomará el número entero más cercano al valor calculado.

El gráfico correspondiente permite hallar el índice de grupo sumando los valores parciales obtenidos mediante el límite líquido y el índice plástico, partiendo del porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200.

Cuando se calcula el índice de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 sólo interviene el valor obtenido a través del índice plástico.

#### **4.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE GRUPO.**

El índice de grupo en esta clasificación de suelos, se puede determinar con la fórmula basada en la granulometría, límite líquido e índice plástico del suelo, o recurriendo para determinaciones rápidas, a los gráficos confeccionados con este fin.

La fórmula es la siguiente:

$$IG = (F - 35) * [0,2 + 0,005 * (LL - 40)] + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

*F= por ciento de material que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200), expresado como un número entero. Este por ciento se expresa en función del material que pasa por el tamiz de 75 mm. (3").*

*LL = límite líquido*

*IP = índice plástico*

#### **4.5. BASES PARA LA FORMULA ÍNDICE DE GRUPO.**

La fórmula desarrollada para evaluar cuantitativamente los materiales granulares con arcilla y los materiales limo arcillosos, se basa en las siguientes consideraciones:

Los materiales A1-a, A1-b, A2-4, A2-5 y A3 son satisfactorios para subrasantes, cuando están adecuadamente drenados y compactados debajo de moderados espesores de pavimento (base y/o capa superficial) compatibles con el tránsito que soportarán, o cuando han sido mejorados por la adición de pequeñas cantidades de un ligante natural o artificial.

Los materiales granulares con arcilla de los grupos A2-6 y A2-7 y los limo- arcillosos de los grupos A4, A5, A6 y A7 varían en su comportamiento como material de subrasante desde el equivalente a los buenos suelos A2-4 y A2-5 hasta el regular y pobre, requiriendo una capa de material de sub-base o un espesor mayor de la capa de base para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

El por ciento mínimo crítico que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200), es de 35 despreciando la plasticidad y 15 cuando los índices plásticos son mayores que 10.

Se consideran críticos los límites de 40 o mayores.

Para suelos no plásticos o cuando el límite líquido no puede ser determinado, se considerará que el índice de grupo es cero (0).

No hay límite superior para el índice de grupo obtenido con la fórmula. Los valores críticos de PT Nº 200, límite líquido e índice de plasticidad se basan en una evaluación de diferentes organizaciones que practican estos ensayos, sobre comportamiento de subrasantes y capas de base y sub-base.

Bajo condiciones promedio de drenaje y compactación adecuados, el valor soporte de una subrasante puede ser considerado inversamente proporcional al valor del índice de grupo. Un índice de grupo 0 indica un "buen" material de subrasante y otro de 20 o mayor un material "muy pobre".

#### **A-5.-**

Son suelos similares a los A-4, con la diferencia que incluyen materiales muy pobremente graduados y otros como micas, y diatomeas que proveen elasticidad y dan lugar a baja estabilidad. No son muy comunes en ciertas ocasiones. Rebotan al dejar de actuar la carga, aun estando secos. Sus propiedades elásticas intervienen desfavorablemente en la compactación de las bases flexibles que integran y no son adecuados para subrasantes de delgadas bases de este tipo o carpetas bituminosas.

Están sujetos al levantamiento por la acción de las heladas.

#### **A-6.-**

Suelos que están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Son suelos muy comunes. En estado plástico, con variada consistencia, absorben agua sólo cuando son manipulados. Tienen buen valor soporte compactados a máxima densidad; pero, lo pierden al absorber agua. Son compresibles, con poco rebote al dejar de actuar la carga y muy expansivos compactados en subrasantes con humedad debajo de la óptima. Los índices de plasticidad mayores de 18, indican alta cohesión del material ligante (arcilla y coloides) con bajos contenidos de humedad. Poseen muy poca fricción interna, y baja estabilidad para altos contenidos de humedad.

Colocados y "conservados" con poca humedad, son aceptables en terraplenes y subrasantes. La presión capilar del agua, que se ejerce por el secado, es de tal intensidad que acerca las partículas del suelo, formando una masa compacta y densa.

Este proceso se pone en evidencia por la formación de grietas de contracción en épocas de sequía.

Como estos suelos tienen poros muy pequeños, el agua se mueve lentamente por ellos, aún bajo considerable carga hidrostática. Absorben agua o se secan muy lentamente, a menos que sean manipulados. Son difíciles de drenar. Mientras el movimiento del agua gravitacional es lento, la presión capilar que empuja el agua de las porciones húmedas a las secas, es muy grande, e importantes fuerzas expansivas se desarrollan por este motivo. No son adecuados para usar como subrasantes, bajo delgadas bases flexibles o carpetas bituminosas, por los grandes cambios volumétricos al variar la humedad y su bajo valor soporte al humedecerse.

Entre los suelos más pesados de este grupo y los pavimentos de hormigón, debe interponerse una capa de otros materiales, para prevenir distorsiones del pavimento o la producción del “bombeo”. Todos los pavimentos flexibles necesitan la interposición de capas de suelos A-1 o A-2 o piedra partida, para prevenir la acción de la arcilla sobre las bases flexibles, con pérdida de su capacidad portante.

**A-7.-**

Como en los suelos A-6, predominan en éstos la arcilla, pero debido a la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica, escamas de mica o carbonato de calcio, son elásticos. Bajo cierto contenido de humedad se deforman rápidamente bajo la acción de la carga, y muestran apreciable rebote al desaparecer aquella. Poseen las mismas características de los suelos A-6 y el mismo comportamiento constituyendo subrasantes en otras aplicaciones de la construcción. Además de los altos cambios volumétricos al variar la humedad, bajo valor soporte al humedecerse, necesidad de interposición de capas de otros materiales para separarlos del pavimento, etc., los suelos A-7 son elásticos y rebotan al dejar de actuar las cargas, lo que impide la adecuada compactación y los hacen inaceptables como subrasantes para pavimentos flexibles.

**A-7-5.-**

Suelos como los A-7 con moderados índices de plasticidad en relación al límite líquido, pueden ser altamente elásticos y sujetos a considerables cambios volumétricos.

**A-7-6.-**

Suelos como los A-7 con altos índices de plasticidad en relación al límite líquido y sujetos a extremados cambios volumétricos. Suelos compuestos de turbas blandas y tierras abonadas que, tienen grandes cantidades de materia orgánica y humedad y no pueden ser usados en subrasantes y terraplenes o cualquier otro tipo de construcción.

**NORMA DE ENSAYO VN - E13 - 67**  
**“PESO ESPECIFICO APARENTE Y ABSORCION**  
**DE AGREGADOS PETREOS GRUESOS”**

**13.1 OBJETO.**

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el peso específico aparente y la absorción de agregados pétreos gruesos.

- a. Peso específico aparente: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material.
- b. Peso específico del agregado seco: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.
- c. Peso específico del agregado saturado: Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada. El volumen incluye los vacíos permeables o impermeables del material.
- d. Absorción: Es el volumen de los vacíos permeables del material expresada en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa a 105º-110ºC hasta constancia de peso.

**13.2 APARATOS.**

- a. Tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4).
- b. Balanza de 10 kg. de capacidad y sensibilidad al gramo.
- c. Cesto de malla de alambre IRAM 2,36 mm. (Nº 8) de forma cilíndrica de 20cm. de diámetro y 20 cm. de altura aproximadamente.
- d. Recipiente de capacidad suficiente para sumergir el cesto totalmente en agua.
- e. Elementos varios de uso corriente, bandejas para mezclar el material, cucharas, espátulas, estufa para secado de muestras, etc.

**13.3 PREPARACION DE LA MUESTRA.**

- a. Se obtiene una muestra representativa del material a ensayar y se reduce por cuarteos sucesivos hasta un peso de 5 kg. aproximadamente.
- b. Se elimina, por zarandeo, de la muestra así obtenida todo el material que pasa el Tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4).

**13- 4 PROCEDIMIENTO.**

- a. Se lava cuidadosamente el material retenido en el Tamiz IRAM 4.75 mm. (Nº4) en una bandeja con agua hasta eliminar totalmente el polvo y las partículas adheridas a las partículas gruesas.
- b. Se sumerge la muestra lavada en agua limpia a temperatura ambiente durante 24 horas, agitando el recipiente para conseguir que se desprendan totalmente las partículas de aire adheridos al material.
- c. Transcurridas las 24 horas se retira la muestra del agua y se la seca haciéndola rodar sobre un paño absorbente preferentemente húmedo, de manera de eliminar solamente la película de agua superficial que da una apariencia brillante a las partículas. Enjuagar las partículas de mayor tamaño una por una. La superficie de las partículas debe mantenerse opaca y húmeda. Se tendrá especial cuidado de evitar la evaporación al realizar este trabajo.
- d. Se determina el peso de la muestra, saturada a superficies seca, con aproximación al gramo, designado Ph a este valor.

- e. Pesada la muestra se la coloca en el cesto de malla de alambre ap. 13-2-C, cuyo peso vacío y sumergido en agua debe haberse determinado previamente y sede termina su peso sumergida en agua, con aproximación al gramo. Llamaremos:  
Pi = Peso del cesto con la muestra en agua- Peso del cesto vacío en agua.
- f. Se saca la muestra del cesto, se la coloca en una bandeja y se introduce en estufa a 105°- 110°C hasta peso constante se la deja enfriar y se pesa.  
Designado Ps este valor.

### 13- 5 CALCULOS.

- a. Peso específico aparente

Se determina mediante la fórmula:

$$P.E.A. = \frac{P_s}{P_s - P_i}$$

Dónde: P: E: A: S: = Peso específico aparente.

Ps= Peso de la muestra seca en estufa a peso constante.

Pi = Peso sumergida en agua de la muestra saturada a superficie seca.

- b. Peso específico del agregado seco

Para calcularlo se aplica la fórmula siguiente:

$$P.E.A.S = \frac{P_s}{P_h - P_i}$$

Dónde:

P.E.A.S = Peso específico del agregado seco

Ph = Peso de la muestra en condición de saturada a superficie seca. Ps; Pi = Con igual significado que en la fórmula anterior.

- c. Peso específico del agregado saturado:

Se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$P.E.A.Sat = \frac{P_h}{P_h - P_i}$$

Donde:

P.E.A. Sat = Peso específico del agregado saturado.

Ph = Peso de la muestra saturada a superficie seca.

Pi = Peso de la muestra saturada a superficie seca sumergida en agua.

- d. Absorción:

Para su determinación se aplica la fórmula siguiente:

$$A\% = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

Donde:

A% = Absorción en por cientos de peso seco.

Ph = Peso de la muestra saturada a superficie seca.

Ps = Peso de la muestra seca en estufa a peso constante.

### 3- 6 OBSERVACIONES.

- a. Los resultados se expresan para los pesos específicos aparente y aparente saturado en números adimensionales y con aproximación al centésimo, para la absorción en porcentaje del peso seco del material y con aproximación al décimo.

- b. Se considerarán correctos los resultados cuando dos determinaciones no difieran en más de 0,02 % para los pesos específicos y en más de 0,05 % para la absorción.

**NORMA DE ENSAYO VN - E5 - 93**  
**COMPACTACIÓN DE SUELOS**

**5.1 OBJETO.**

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para estudiar las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a un determinado esfuerzo de compactación. Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del Peso unitario, llamado Densidad seca máxima.

**5.2 APARATOS.**

- a. Moldes cilíndricos de acero para compactación con tratamiento superficial para que resulten inoxidables (Cincado, cadmiado, etc.) de las características y dimensiones indicadas en las figuras 1 y figura 2.
- b. Pisones de compactación, de acero tratado superficialmente, con las características y dimensiones que se dan en la figura 3.
- c. Aparato mecánico de compactación que permita regular el peso, la altura de caída del pisón y el desplazamiento angular del molde o pisón (opcional).
- d. Balanza de precisión, de 1 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0,01 gramo.
- e. Bala Balanza tipo Roberval de por lo menos 20 Kg. de capacidad, con sensibilidad de 5 gramos.
- f. Dispositivo para extraer el material compactado del interior del molde (opcional).
- g. Cuchilla de acero o espátula rígida, cuya hoja tenga por lo menos 20 cm. De longitud.
- h. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura.
- i. Tamiz IRAM 19 mm. (3/4")
- j. Tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4)
- k. Dispositivo para pulverizar agua.
- l. Bandeja de hierro galvanizado de 660 x 400 x 100 mm.
- m. Bandeja de hierro galvanizado de 150 x 50 mm.
- n. Espátula de acero, de forma rectangular, con las características indicadas en la figura 4.
- o. Elementos de uso corriente en laboratorio: estufas, probetas graduadas, cucharas, etc.

**NOTA:** Las dimensiones dadas en los ap. g), l), m), son aproximadas.

**5.3 FORMA DE OPERAR DE ACUERDO CON LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL.**

- a. Si se trata de suelo que pasa totalmente por el tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4), se opera con todo el material librado por dicho tamiz. Si la cantidad de material que queda retenida en ese tamiz es pequeña, igual o menor de 5 %, puede incorporarse a la muestra realizándose el ensayo con el total del suelo. Si la porción retenida es apreciable, mayor del 5 %, se opera como si se tratara de material granular.
- b. Cuando se emplean materiales granulares, o sea los que tienen más del 5 % retenido sobre el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4), se pasa la muestra representativa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), debiendo realizarse el ensayo cuando se correlacione éste con el ensayo de Valor Soporte, según norma VN-E6-68, únicamente con la fracción librada por este tamiz.
- c. Si el peso del material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es menor del 15% del peso total de la muestra, cuando no se correlacione este ensayo con el Valor Soporte, según norma VN-E6 68, después de realizar el ensayo de acuerdo al título 5.4 ap. 2, deberá efectuarse la corrección por material grueso de los resultados obtenidos, tal como se indica en el párrafo 5.7. Para tal fin es necesario determinar el peso específico del material en la condición de saturado ya superficie seca y la humedad de absorción del mismo.

- d. Si el material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es superior al 15 % del peso total de la muestra y no se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte según Norma VN-E6-68 no se harán correcciones por la incidencia del material grueso, pero deberá tenerse la precaución, al verificar las densidades logradas en obra de aplicar la fórmula que se detalla en el ap. d) del título 5.8
- e. Únicamente en los casos en que se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte, según Norma VN-E6-68 el ensayo de Compactación se ejecutará con material que pase el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), compensando el material retenido por este tamiz, por un mismo peso de materia comprendido entre el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") y el tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4). La granulometría del material corrector será la misma que la de la fracción contenida en el material a ensayar que pasa por criba de 3/4" y retiene el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4), teniendo en cuenta las cribas intermedias.
1. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea inferior al 15 %, se compensará el material en su totalidad.
  2. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea superior al 15 %, se compensará hasta dicho porcentaje desechándose en la compensación el excedente.
- A los efectos de la exigencia de compactación, este apartado no tendrá vigencia.*

#### 5.4 PROCEDIMIENTO.

De acuerdo con las características del material a ensayar se presentan dos casos:

- **Material "fino"**  
Corresponde a suelos que cumplan con lo especificado en el ap. 5.3 (a). Preparación de la muestra:
  - a. Para cada punto de la curva Humedad-densidad se requieren aproximadamente 2500 gramos de material seco. Si se trata de suelo no muy plástico y sin partículas quebradizas puede usarse la misma muestra para todo el ensayo.
  - b. Se prepara material suficiente para seis puntos. El ensayo normal requiere cinco puntos, tres en la rama ascendente y dos en la descendente de la curva Humedad-Densidad, pero eventualmente puede requerirse un sexto punto.
  - c. La porción de suelo destinada a un punto se distribuye uniformemente en el fondo de la bandeja (ap. 5.2-l).  
Con la ayuda del dispositivo adecuado (ap. 5.2-k) se agrega el agua prevista para tal punto y con la espátula (ap. 5.2-n) se homogeniza bien.

#### NOTA:

Si el material a ensayar presenta dificultades para la homogeneización del agua incorporada, se preparan las seis porciones con contenidos de humedad crecientes, dados en dos unidades aproximadamente. Se mezclan los más homogéneamente posible y se dejan en ambiente húmedo durante 24 horas.

#### Compactación de la probeta

- d. Se opera con el molde de 101,6 mm. de diámetro. La energía de compactación quedará determinada por el tipo de pistón, cantidad de capas y número de golpes por capa.

A continuación, se dan las características de los distintos tipos de ensayos de compactación a realizar:

Ensayo	φ molde (mm)	P: Pesos pistón (Kg)	h: Altura de caía (mm)	N: Numero de capas	n: Numero de golpes
I (T 99)	101,6	2,56	30,5	3	25
II (T 180)	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35

- e. Se verifican las constantes del molde: Peso del molde ( $P_m$ ) sin collar, pero con base y su volumen interior ( $V$ ).
- f. Cuando se considere que la humedad está uniformemente distribuida se arma el molde y se lo apoya sobre una base firme. Con una cuchara de almacenero, o cualquier otro elemento adecuado, se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto que alcance una altura un poco mayor del tercio o del quinto de la altura del molde con el collar de extensión, si se han de colocar tres o cinco capas respectivamente.
- g. Con el pisón especificado (2,5 Kg. o 4,54 Kg.) se aplica el número de golpes previstos (25, 35, 56, etc.) uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo.  
Para esto debe cuidarse que la camisa guía del pisón apoye siempre sobre la cara interior del molde, se mantenga bien vertical y se la desplace después de cada golpe de manera tal, que al término del número de golpes a aplicar, se haya recorrido varias veces la superficie total del suelo.
- h. Se repite la operación indicada en el párrafo anterior las veces que sea necesaria para completar la cantidad de capas previstas, poniendo en tal caso, la cantidad de suelo necesaria para que, al terminar de compactar la última capa, el molde cilíndrico quede lleno y con un ligero exceso, 5 a 10 mm. En caso contrario, debe repetirse íntegramente el proceso de compactación.
- i. Se retira con cuidado el collar de extensión. Con una regla metálica, puede servir de espátula, ap. 5.2 (g), se limpia el exceso de material. Se limpia exteriormente el molde con un pincel y se pesa ( $P_h$ ).
- j. Se saca la probeta del molde, con el extractor de probetas si se dispone de él, o mediante la cuchilla o espátula, en caso contrario. Se toma una porción de suelo que sea promedio de todas las capas, se coloca en un pesa filtro y se pesa. Se seca en estufa a 100-105° C, hasta peso constante, para efectuar la determinación de humedad.
- k. Se repiten las operaciones indicadas en los párrafos anteriores, ap. (f) a (j), con cada una de las porciones de muestra preparadas para los otros puntos.  
Si se opera con una sola porción, estas operaciones se repiten luego de haber desmenuzado cuidadosamente el material sobrante e incorporado un 2% de agua más, aproximadamente, para cada uno de los puntos a determinar.
- l. Se da por finalizado el ensayo cuando se tiene la certeza de tener dos puntos de descenso en la curva Humedad-Densidad.

- **Material granular**

Corresponde a suelos que cumplan con las características granulométricas indicadas en el párrafo 5 -3 (b).  
Preparación de la muestra:

- a. Para cada punto de la curva Humedad - Densidad, se requieren alrededor de 6000 gamos de material seco.
- b. Igual que en el caso de suelos finos se requieren 5 puntos y se prevé la eventualidad de un 6º punto. Por lo tanto, se preparan 36 Kg. de material y por cuidadoso cuarteo se lo divide en seis porciones para otros tantos puntos.

- **Compactación de la probeta**

- c. Se opera con el molde de 152,4 mm. de diámetro. Previa verificación de sus constantes, se lo coloca sobre una base firme y se realizan las operaciones indicadas en los párrafos (f) a (l) del título anterior 5.4 (1), con la salvedad de que: Los huecos que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, al enrasar la cara superior de la probeta, deben ser rellenados con material fino y compactados con una espátula rígida.

La humedad de cada punto se determina de acuerdo al párrafo (j), sobre una cantidad de material no menor de 1000 gramos y secándolo en bandeja.

- m. En el siguiente cuadro, se dan las características de los distintos tipos de ensayo de compactación a realizar:

IV (T99)	152,4	2,5	30,5	3	56
V (T180)	152,4	4,53	45,7	5	56

### 5.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS.

Para cada contenido de humedad de la probeta, determinado en la forma indicada en los párrafos precedentes, se calculan:

- a. La densidad húmeda (Dh) del suelo compactado, aplicando la fórmula:

$$Dh = \frac{Ph - Pm}{V}$$

Donde:

P h = Peso del molde con el material compactado húmedo.

Pm = Peso del molde.

V = Volumen interior del molde.

- b. La densidad seca (Ds), que se obtiene mediante la fórmula:

$$Ds = \frac{Dh * 100}{100 + H\%}$$

Donde:

D h = Densidad húmeda.

H = Humedad, en %, del material compactado.

### TRAZADO DE LA CURVA HUMEDAD DENSIDAD

- c. En un sistema de ejes rectangulares se llevan en abscisas, los valores de la humedad porcentual, y en ordenadas los de la densidad seca.
- d. Los puntos así obtenidos se unen por un trazo continuo obteniéndose de este modo una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende.
- e. El punto máximo de la curva así obtenida indica, en ordenadas, la densidad máxima (Ds) que puede lograrse con la energía de compactación empleada y en abscisas la humedad óptima (H) que se requiere para alcanzar aquella densidad.

### 5.6 PLANILLAS Y CURVAS.

- a. La marcha del ensayo se lleva anotada en una planilla similar al modelo que se adjunta.
- b. El trazado de la curva Humedad-Densidad se realiza en el cuadrículado que se encuentra al pie de la planilla, adoptando las escalas que sean más convenientes en cada caso.

### 5.7 INCIDENCIA DEL MATERIAL GRUESO

Cuando, conforme a lo indicado en ap. 5.3 (c), en la muestra ensayada se tuvo hasta el 15 % de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), se determina la incidencia del material de tamaño mayor que este último tamiz, utilizando las fórmulas que se indican a continuación:

- a. Humedad óptima corregida

Se la calcula con la siguiente fórmula:

$$H_c = \frac{(G * H_a) + (F * H)}{100}$$

Dónde:

H c = Humedad óptima corregida.

G = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

Ha = Porcentaje de humedad absorbida por el material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

F = Porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

H = Humedad óptima resultante para el material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”), expresada en por ciento.

b. Densidad máxima corregida

Se la obtiene reemplazando valores en la siguiente fórmula:

Dónde:

$$D_{mc} = \frac{100}{\frac{G}{d_g} + \frac{F}{D_s}}$$

Dónde:

Dmc = Densidad máxima corregida.

G = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”). F = Porcentaje de material que pasa el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

dg = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

Ds = Densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación ejecutado con el material librado por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

**NOTA:** Los valores obtenidos con la fórmula dada en el ap. 5.7(b) tienen tendencia a ser mayores que los reales. La diferencia es pequeña para valores de G hasta 15%.

### 5.8 OBSERVACIONES

- La introducción de las variantes con que es posible ejecutar el ensayo de compactación: tamaño del molde, número de capas, cantidad de golpes por cada y peso total del pisón, se justifica en ciertos casos, por la naturaleza de los suelos a utilizar, las características de la obra a ejecutar o la capacidad de los equipos que se prevé emplear.
- Para la fijación de la humedad del primer punto del ensayo juega un papel muy importante la experiencia del operador. En ausencia de ésta, puede servir de referencia el valor del límite plástico. En general, el valor de la humedad óptima es algo inferior al límite plástico y atento a que deben conseguirse tres puntos en la rama ascendente de la curva Humedad – densidad, resulta relativamente fácil dar un valor aproximado a la humedad que debe tener el suelo en ese primer punto.
- En laboratorios importantes, donde se ejecute un gran número de ensayos se recomienda emplear el aparato mecánico de compactación.
- Cuando se apliquen los resultados del ensayo de compactación a materiales granulares que tengan un porcentaje mayor del 15 % retenido sobre el tamiz IRAM 19 mm., no se efectuarán correcciones por la incidencia de material grueso (ver ap. 5.3-d), y se deberá aplicar al controlar las densidades logradas en obra, la siguiente fórmula:

$$D_{sc} = \frac{P_t - O_r}{V_t - V_r}$$

Siendo:

$$V_r = \frac{P_r}{V_g}$$

Donde:

Dsc = Densidad seca corregida.

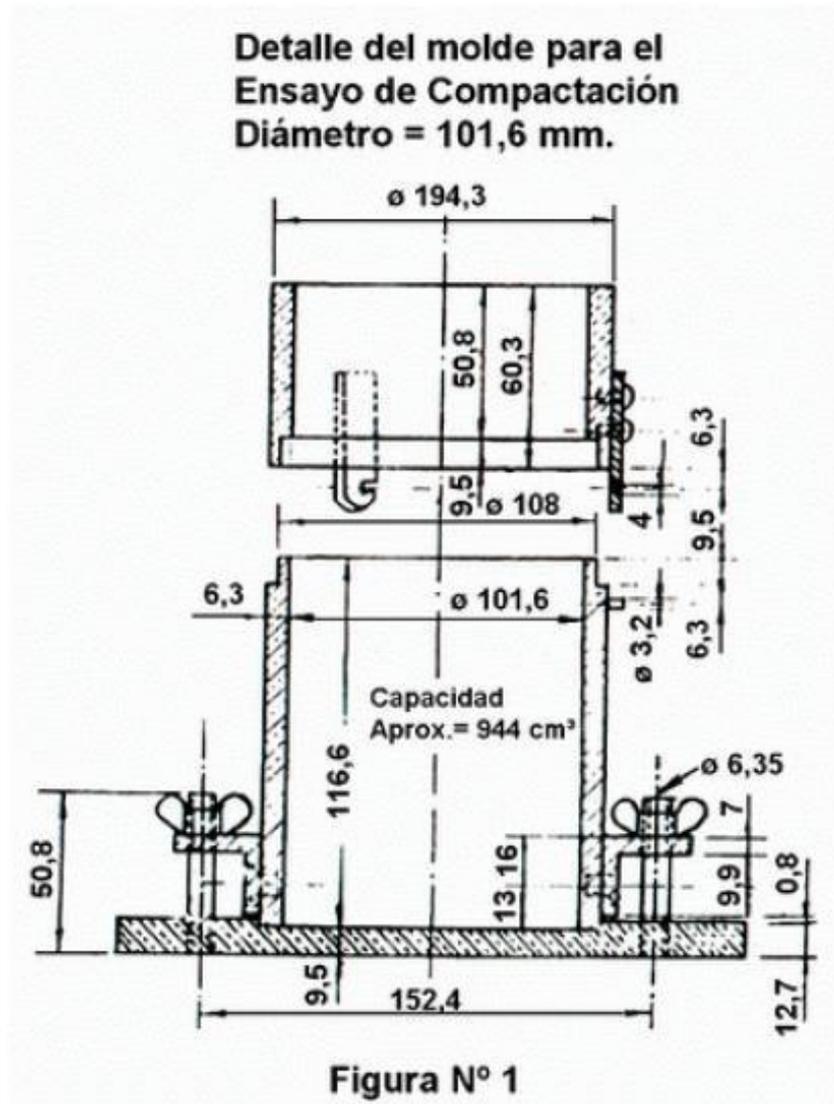
Pt = Peso total de la muestra extraída del pozo.

Pr = Peso del material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

Vr = Volumen ocupado por el material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

Vt = Volumen total del pozo.

dg = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).



Detalle del molde para el  
Ensayo de Compactación  
Diámetro = 152,4 mm.

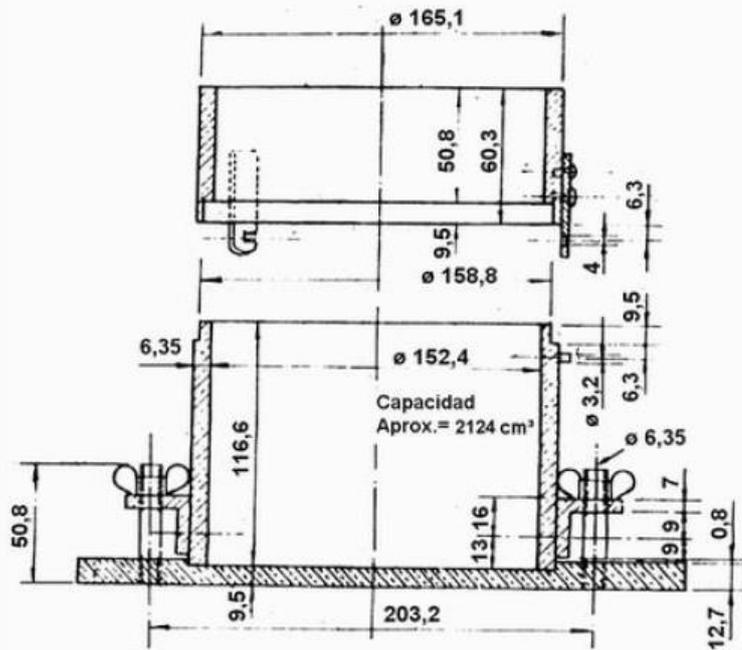


Figura N° 2

Detalle del Pisón

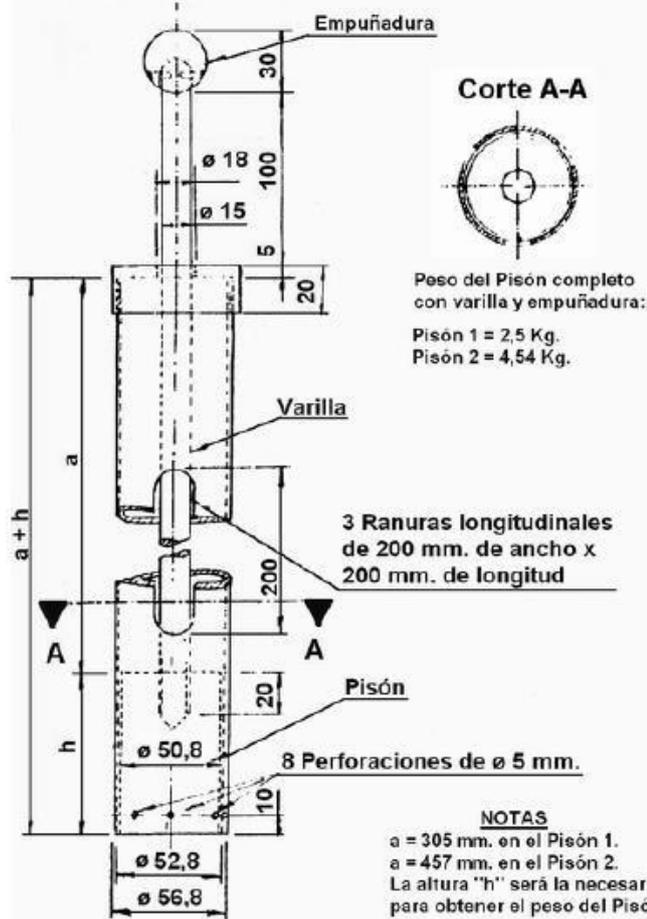


Figura N° 3

**NORMA DE ENSAYO VN - E6 – 84**  
**DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE E**  
**HINCHAMIENTO DE SUELOS**

**6.1 OBJETO.**

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para conocer el “valor soporte relativo” de un suelo y determinar su hinchamiento.

- a. Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.
- b. Hinchamiento es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimente una probeta de suelo cuando la humedad de la misma aumenta por inmersión, desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del periodo de inmersión.

**6.2 ENSAYO PREVIO A EFECTUAR.**

De acuerdo a la norma de ensayo VN-E5-67 “Compactación de suelo” determinar la densidad seca máxima y humedad óptima correspondiente, empleando la energía de compactación adoptada en el proyecto de la obra para la cual se efectuarán las determinaciones.

**6.3 MÉTODOS DE ENSAYO.**

Se considera cuatro posibles variantes para efectuar este ensayo

1º Método estático a carga fija preestablecida.

2º Método estático a densidad prefijada.

3º Método dinámico Nº 1 (simplificado).

4º Método dinámico Nº 2 (completo).

**6.4 METODO DINAMICO Nº 1 (SIMPLIFICADO)**

**6.4.1. APARATOS**

- a. Moldes de compactación cilíndricos de acero tratados superficialmente para volverlos inoxidable de las características y dimensiones indicadas en la figura Nº 11.
- b. Compactador mecánico: con pisones de 4,54 Kg. de peso, con un mecanismo que permita regular su caída libre en 45,7 cm. y 30,5 cm. y dar a la base un desplazamiento angular entre 40º y 45º por golpe.
- c. Trípode: de material inoxidable con dial extensométrico de 0,01 mm. de precisión para medir variaciones de altura de características y dimensiones indicadas en la figura Nº 6.
- d. Prensa de penetración: con pistón de penetración de 49,63 mm. de diámetro, de accionamiento mecánico, comando manual, que permita lograr una velocidad de avance del pistón de 1,27 mm./minuto.
- e. Aros dinamométricos: de 500; 1000; 3000 y 5000 Kg. respectivamente con sus diales extensométricos de 0,01 mm. de precisión mínima.
- f. Disco espaciador: de 61,2 mm. de espesor y con un diámetro de 15,24 cm. Para obtener una altura de probeta de 11,66 cm. en todos los casos. Ver figura Nº 12.
- g. Platos perforados: con vástago de altura regulable y peso adicional, todo de material inoxidable, con un peso total de 4,54 kg. y de dimensiones dadas en las figuras Nº 2 y figura Nº 3 (uno por molde).
- h. Pesas adicionales para henchimientos: seis pesas por molde, de 2,27 Kg. Cada una de material inoxidable y de dimensiones indicadas en la figura Nº 4.
- i. Pesas de penetración: deberá proveerse un juego por prensa y consiste en: una pesa de 4,54 g. y seis pesas de 2,27 Kg. cada una de dimensiones indicadas en la figura Nº 5.

- j. Dial extensométrico de 25 mm. de carrera de precisión mínima de 0,01 mm. montado sobre un soporte que será fijado al pistón de penetración (Ver figura N°9).
- k. Elementos varios de uso corriente: Estufa regulable a 105 - 110° C, balanza de 20Kg. sensible al gramo; bandeja para mezclar el material, llanas, regla de 20 cm. de longitud para enrasar, espátulas, probetas, rociadores cronómetros, etc.

#### 6.4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El método que se describe a continuación es para cuando se especifica en obra el 95% o el 98 % de la densidad del ensayo de compactación, realizado con 5 capas y pisón de 4,5 Kg., altura de caída 45,7 cm. y 56 golpes por capa.

Cuando se especifique el 100 % de la densidad de este ensayo o de cualquier otro, se moldearán solo dos probetas con la humedad óptima correspondiente.

El suelo no contiene partículas de tamaño superior a 19 mm. (3/4”).

- a. Se secan alrededor de 40 Kg. de suelo, hasta que éste se convierte en friable bajo la acción de una llana o espátula.

El secado podrá realizarse al aire o en estufa, pero siempre que la temperatura no exceda los 60° C.

- b. Se desmenuza la muestra evitando reducir el tamaño de las partículas individuales.
- c. Se mezcla bien el suelo y por cuarteo se separan 6 porciones de aproximadamente 6 Kg. cada una.
- d. Se agrega agua hasta llevarla a la humedad óptima previamente determinada de acuerdo al ensayo VN-E5-67. Se amasa cuidadosamente la muestra para obtener humedad homogénea.

La muestra se encuentra lista para ser compactada. De la misma forma se preparan otras cinco muestras.

El suelo contiene partículas mayores de 19 mm. (3/4”)

- e. Se tratan alrededor de 80 Kg. de acuerdo a lo especificado en los párrafos anteriores (a) y (b).
- f. Se pasa la muestra por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”) y lo retenido en el mismo se sustituye por igual cantidad (en peso) de material que pasa por dicho tamiz IRAM 19 mm. (3/4”) y sea retenido por el de 4,8 mm. (N° 4) hasta un máximo del 15 % tal como se indica en 5.3-e de la norma VN-E5-67.
- g. Se mezclan bien estos materiales y se preparan por cuarteo seis muestras de 6 kilogramos aproximadamente.
- h. Se agrega agua hasta llevarla a la humedad óptima previamente determinada de acuerdo al ensayo VN-E5-67. Se amasa cuidadosamente la muestra para obtener humedad homogénea.

La muestra se encuentra lista para ser compactada. De la misma manera se preparan otras cinco muestras.

- i. Los apartados IV.2-b); V.2-a); VI.2-f) y VII.2-b) quedan modificados en el sentido de que, la compactación del material retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”) se realizará como se indica en los apartados 5.3-c) y 5.3-d) en la Norma VN-E5-67.

Especificación complementaria.

#### 6.4.3. COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Pesar 6 moldes vacíos, con sus collares de extensión y placas de base.
- b. Se coloca el disco espaciador en el molde y se compacta la primera muestra en cinco capas con 56 golpes por capa. La segunda muestra se compacta con igual número de capas, pero con 25 golpes por capa y la tercera también en cinco capas y 12 golpes por capa. Se preparan dos probetas para cada condición. Si se exige el 100 % de la densidad del ensayo de compactación mencionado en VI.2 o de cualquier otro ensayo, se moldearán dos probetas en esa condición.
- c. Se determina la humedad de cada probeta sacando una muestra representativa del suelo, (no menor de 40 gr. en los suelos finos y mayor de 1000 gr. en los granulares), antes de la compactación y otra del

material sobrante una vez terminada la misma. La humedad de ambas muestras no deberá diferir = 0,5 de la óptima del respectivo ensayo de compactación.

De no cumplirse este requisito deberá repetirse el ensayo. Mientras se efectúe la compactación de la probeta, la bandeja que contiene la muestra de suelo deberá cubrirse con un paño húmedo a los efectos de evitar la evaporación de la humedad.

- d. Quitar el collar de extensión y enrasar la muestra con una regla metálica recortándola a ras del borde. En el caso de materiales granulares los huecos que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, deben ser rellenados con material fino y compactadas con una espátula rígida.
- e. Colocar un papel de filtro sobre la cara enrasada. Aflojar la base, retirar el disco espaciador, dar vuelta el molde de manera que la parte superior quede abajo.

Fijar de nuevo la base, colocar un papel de filtro en la cara ahora superior, ajustar el collar de extensión y pesar todo el conjunto. La muestra se encuentra lista para el ensayo de hinchamiento.

#### **6.4.4. DETERMINACIÓN DEL HINCHAMIENTO.**

Se procederá en forma similar a la indicada para el método estático. Ver título IV- 4 (ap. c al ap. h).

#### **6.4.5. ENSAYO DE PENETRACIÓN.**

Se procederá en forma similar a la detallada en el método estático. Ver título IV.4 (ap. i al ap. l).

#### **6.4.6. RESULTADOS:**

Cálculo del hinchamiento

El hinchamiento se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Hinchamiento} = \frac{hn * 100}{11,6}$$

hn = Lectura del hinchamiento en el último día de inmersión (en cm.)

11,66 = Altura de la probeta

#### **Cálculo del Valor Soporte:**

Se procede de acuerdo a lo detallado para el método estático.

Ver título VI.5 desde ap. (a) al ap. (k) inclusive.

1. En el caso que se especifique el 95 % o el 98 % de la densidad del ensayo de compactación realizado con pisón de 4,54 Kg., caída de 45,7 cm., 5 capas y 56 golpes por capa se lleva, en un sistema de ejes rectangulares, sobre las abscisas los valores de V.S.R. de las probetas ensayadas y compactadas con 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes por cada capa respectivamente y sobre las ordenadas los valores de las densidades de cada una de ellas.

Uniendo por un trazo continuo los puntos así determinados se obtiene un diagrama como el representado en la figura 13.

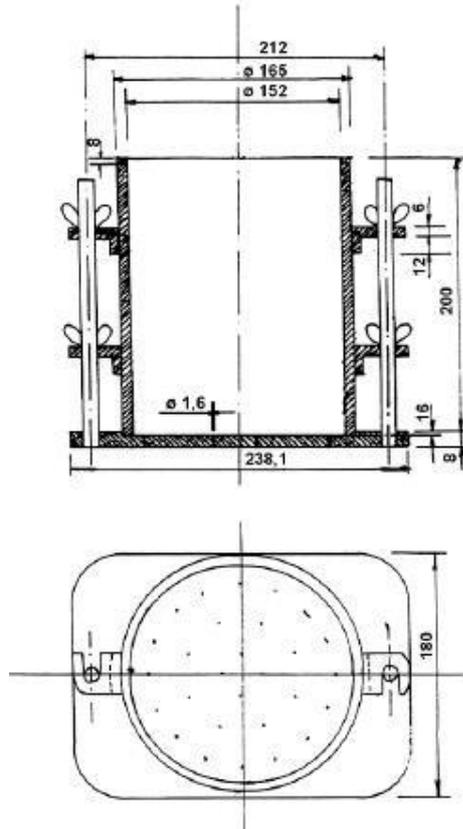
Entrando con el 95 % o el 98 % de la densidad máxima del ensayo de compactación, se intercepta a la curva y bajando una perpendicular desde el punto de intersección, donde ésta corta el eje de las abscisas se obtiene un valor de V.S.R. Este valor deberá ser mayor o igual que el especificado.

**6.4.7. OBSERVACIONES**

Ver el título IV.7 ap. (a) al ap. (f) inclusive.

**Figura N° 1**

**MOLDE PARA LA DETERMINACION  
DEL VALOR SOPORTE**



**BASE PERFORADA.  
EN CADA LABORATORIO SE DEBERA CONTAR  
CON UNA BASE SIN PERFORACIONES.**

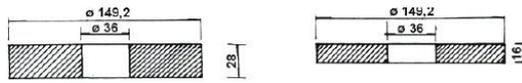
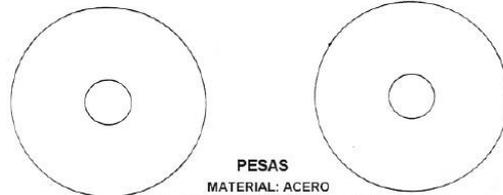


Figura N° 3

Figura N° 4



PESAS  
MATERIAL: ACERO  
TRATAMIENTO: CINCADO A FUEGO  
(NORMA IRAM N° 252)

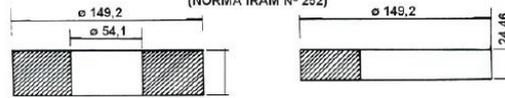
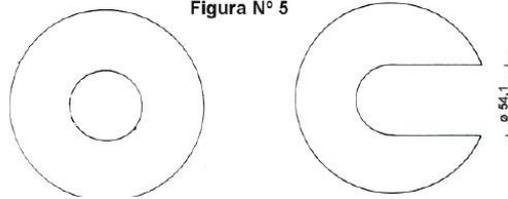
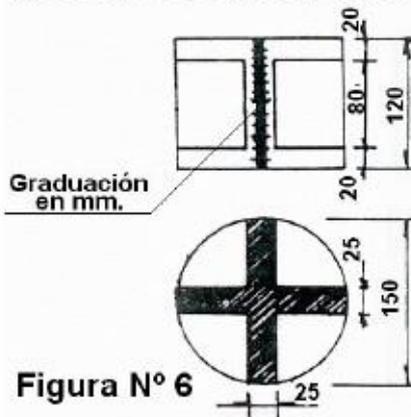


Figura N° 5



**PISON DE COMPACTACION**



Graduación en mm.

Figura N° 6

**TRIPODE PORTA DIAL PARA MEDIR HINCHAMIENTO**

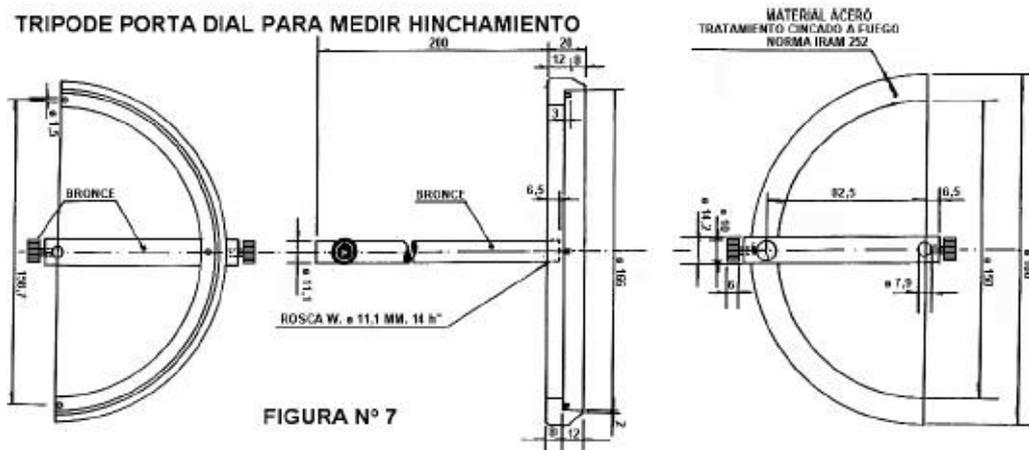
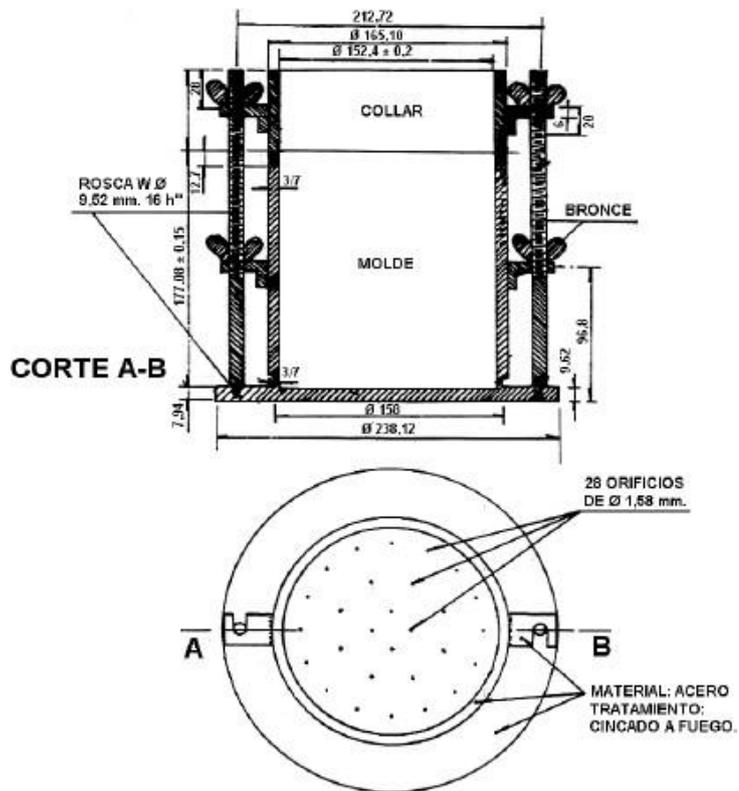
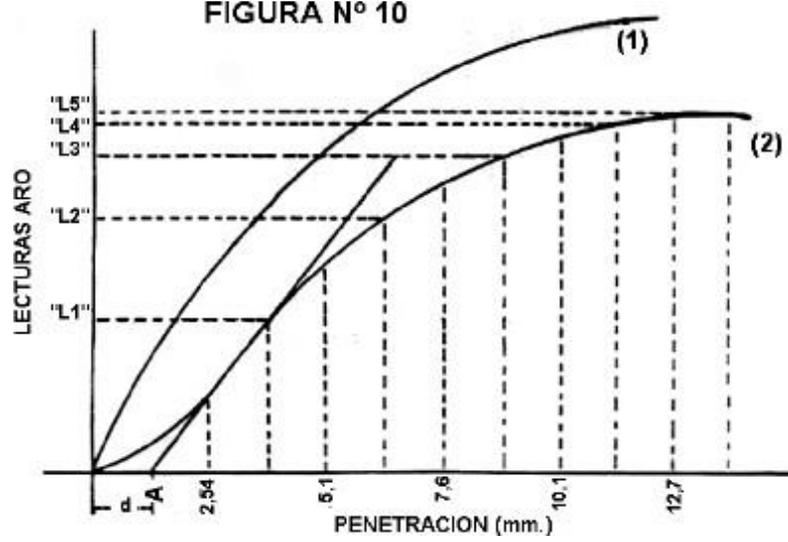
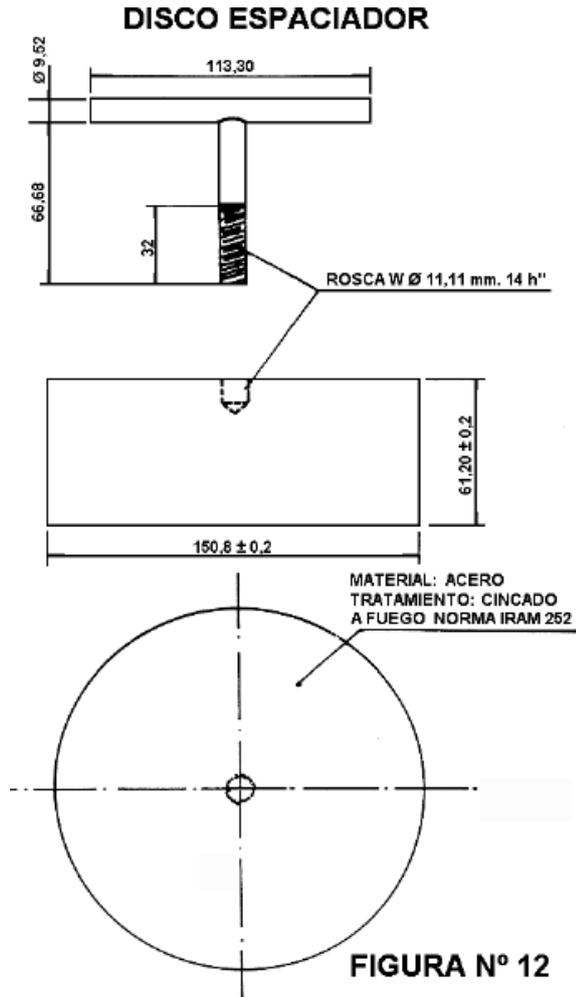


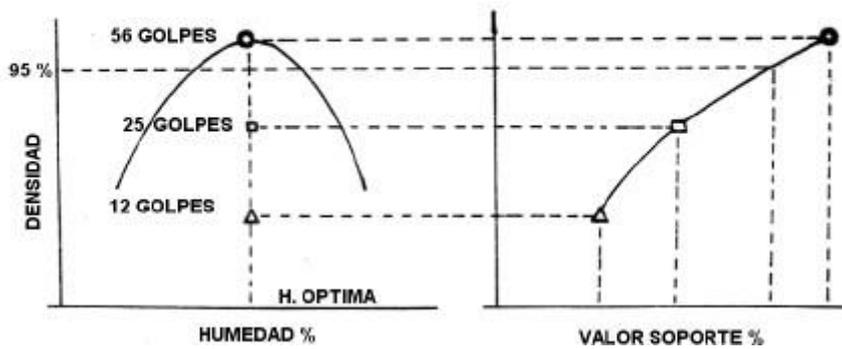
FIGURA N° 7

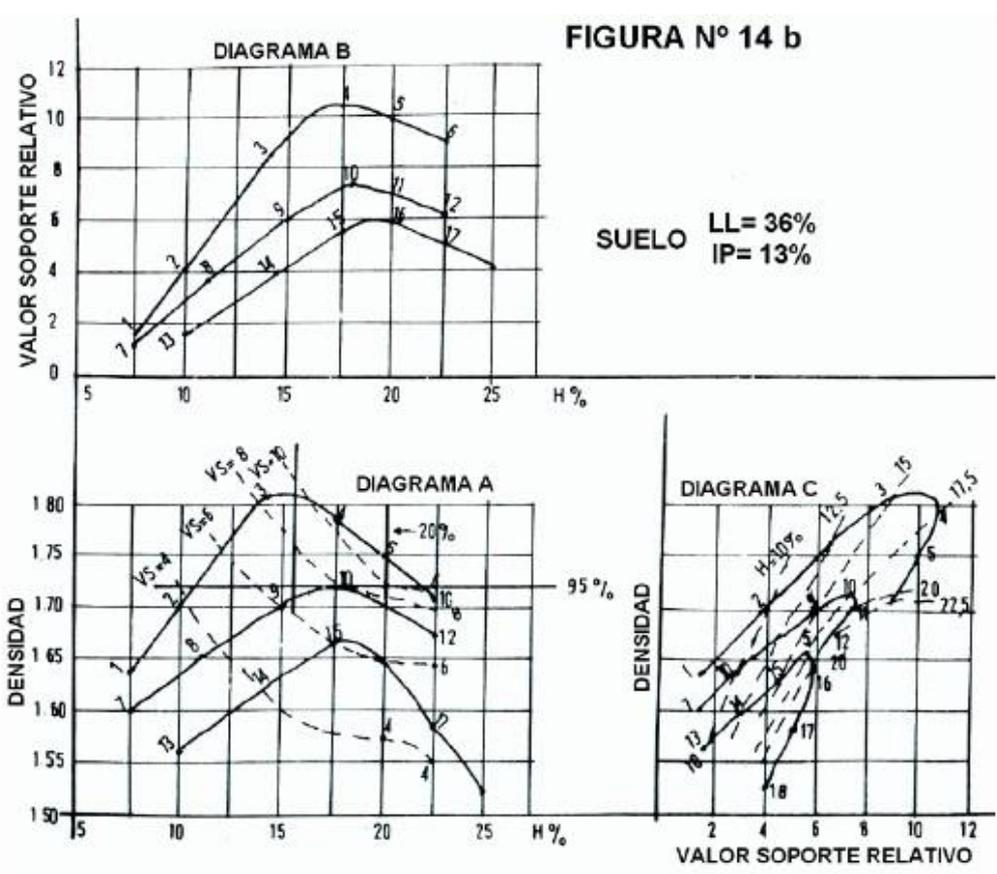
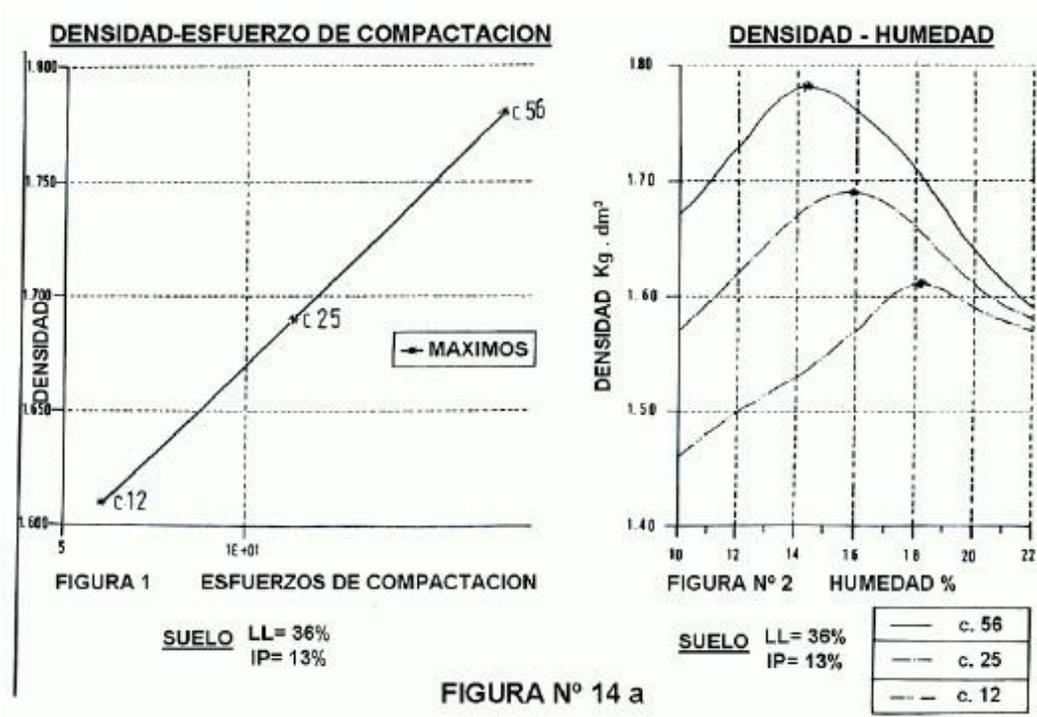
FIGURA N° 10





**FIGURA N° 13**





**NORMA DE ENSAYO VN - E30 – 68**  
**“ESTABILIDAD Y FLUENCIA MARSHALL DE**  
**MEZCLAS DE 10 % DE AGREGADO MAYOR DE 25.4 mm.”**

**30.1. OBJETO**

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para la determinación de la estabilidad y la fluencia de mezclas asfálticas por el Método Marshall cuando el agregado pétreo posee más del 10 % de material mayor de 25,4 mm. (1 pulgada).

Cuando el retenido de la criba de 25,4 mm. (1”) no sea mayor del 10 % de material mayor de 25,4 mm. (1 pulgada).

Cuando el retenido de la criba de 25,4 mm. (1”) no sea mayor del 10 % se aplicará la Norma Provisoria N° 9. Salvo las indicaciones señaladas en esta norma rige lo establecido en la Norma Provisoria N° 9.

**30.2. APARATOS:**

Los aparatos y demás elementos son los especificados en la Norma Provisoria N° 9.-

**30.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA:**

Se seguirá el procedimiento indicado en el apartado 9 - 3 de la Norma Provisoria N° 9, con la salvedad que el fraccionamiento del agregado indicado en el párrafo 9-3-4 comenzará con las siguientes fracciones: Pasa 2 “ Retiene 1½” Pasa ½” Retiene 1 “Se calcula la cantidad de mezcla a emplear siguiendo las indicaciones señaladas en los apartados 9-3-5 y 9-3-6 pero teniendo en cuenta que si bien en la preparación de pastón se utiliza el material con la gradación total, en la compactación de la probeta solo se emplea la fracción del pastón que pasa el Tamiz IRAM 25,4 mm. (1”).

**30.4. PROCEDIMIENTO:**

**30.4.1. PREPARACIÓN DEL PASTÓN:**

Seguirá el procedimiento indicado en el apartado 9-4-1 con las acotaciones siguientes: Mezclar la gradación total de agregados (incluyendo la fracción mayor de 25,4 mm.) con el contenido de asfalto seleccionado para el ensayo. –

**30.4.2 MOLDEO DE LA PROBETA:**

Tamizar por el Tamiz IRAM 25,4 mm. (1”) el pastón mezclado en caliente. Desechar la fracción mayor de 25,4 mm. y proceder al moldeo de la probeta con el material menor de 25,4 mm. de acuerdo a las indicaciones del apartado 9-4-2 y respetando las exigencias en cuanto a la temperatura establecidas en los párrafos 9-4-1-6 a 9-4-1-9.

**30.4.3. EJECUCIÓN DEL ENSAYO:**

Rige lo establecido en el apartado 9-4-3.-

**30.5. CÁLCULOS**

**30.5.1. ESTABILIDAD Y FLUENCIA:**

Se utilizarán los valores de Estabilidad y Fluencia obtenidos de las probetas compactadas según se ha indicado.

**30.5.2. DENSIDAD CORREGIDA:**

Se calculará la densidad corregida, utilizando el peso específico del agregado seco mayor de 25,4 mm. (1") según la Norma de Ensayo VN-E13-67 y la densidad de la probeta compactada, determinada según la Norma de Ensayo VN-E12-67, mediante la fórmula siguiente:

$$Densidad\ corregida\ dc = \frac{100}{\frac{A}{C} + \frac{B}{D}} + 0,995$$

Dónde:

A = Material seco mayor de 25,4 mm. (1") (Previamente determinado) expresado como % del peso total del pastón. El peso total del pastón incluye asfalto más agregado pétreo.

B = Fracción total del pastón que resta luego de eliminar el material seco mayor de 25,4 mm. (1") o sea, 100 % - A %.

C = Peso específico del agregado seco mayor de 25,4 mm. (1").

D = Densidad de la probeta compactada con material del cual se ha extraído la fracción mayor de 25,4 mm. (1") - 0,995 factor empírico.

### 30.5.3 DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA

Se calcula por la fórmula siguiente:

$$CMT = \frac{100}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{F}{GF} + \frac{C.A}{Gca}}$$

Dónde:

P1 = Porcentaje en peso del agregado pétreo total mayor de 4,8 mm. (Tamiz Nº 4). P2 = Porcentaje en peso del agregado pétreo total menor de 4,8 mm. (Tamiz Nº 4). F = Porcentaje en peso del relleno mineral.

C.A.= Porcentaje en peso del cemento asfáltico.

G1 G2 = Peso específico aparente de las fracciones gruesa y fina del agregado pétreo total (Tamiz Nº 4)

GF = Peso específico aparente del relleno mineral.

GCA = Peso específico del cemento asfáltico.

### 30.5.4. VACÍOS DE LA MEZCLA COMPACTADA

Se calculará por la fórmula siguiente:

$$V = 100 * \left(1 - \frac{de}{Dt}\right)$$

de = densidad corregida de la probeta compactada.

DT = densidad máxima teórica.

### 30.5.5 VACIOS DEL AGREGADO MINERAL:

Se calculará por la fórmula siguiente:

$$VAM = V + (dc * \%CA)$$

Dónde:

V = Vacíos de la mezcla compactada.

dc = Densidad corregida de la probeta compactada

% CA = Porcentaje en peso de C.A que interviene en la mezcla.

### 30.5.6 RELACION BETUN – VACIOS

Se calcula por la fórmula siguiente:

$$REV = \frac{100 * dc * \%CA}{VAM}$$

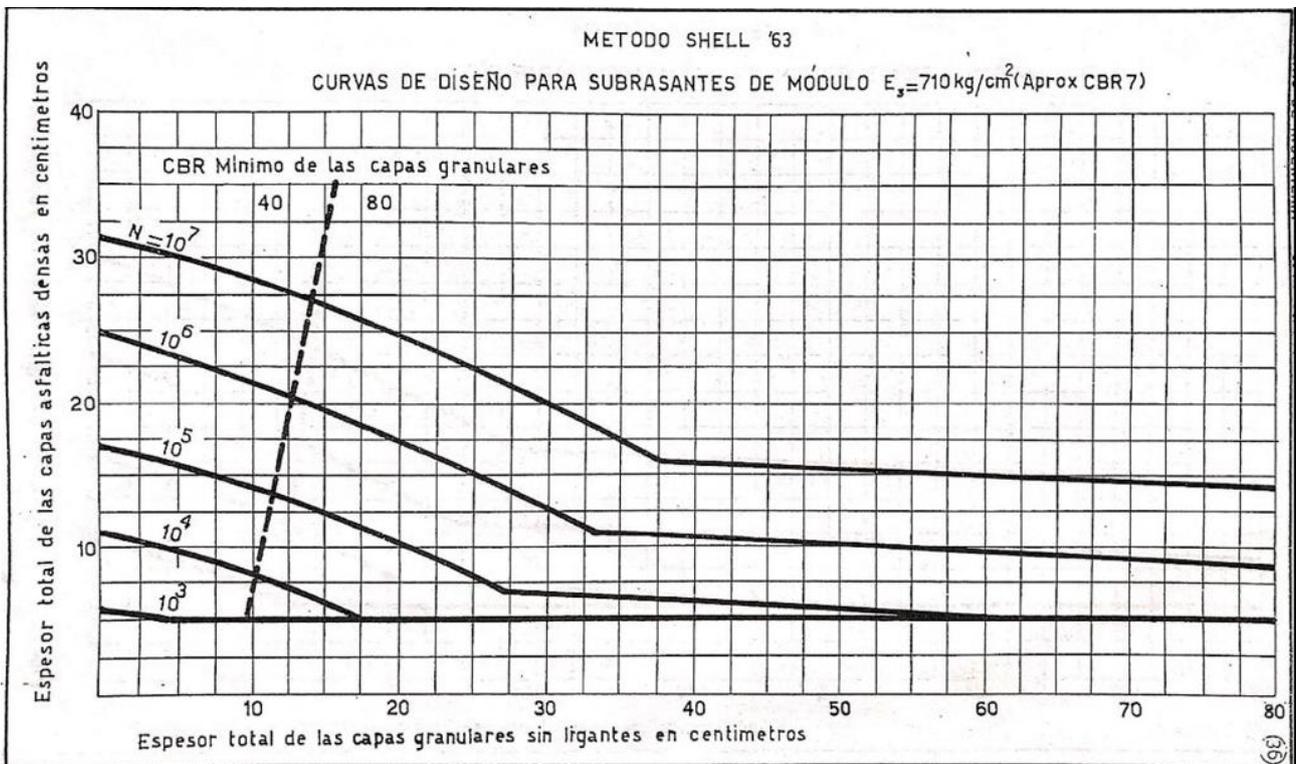
Todos los términos de esta ecuación son conocidos.

### **30.6 OBSERVACIONES**

Para la determinación de los pesos específicos aparentes de las fracciones gruesas y finas del agregado pétreo total, se mezclarán los distintos materiales en los porcentajes establecidos y luego la mezcla de áridos sin relleno mineral se tamizará por el Tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4) procediéndose luego de acuerdo a las Normas de Ensayo VN- E13-67 y VN-E14-67.

**ANEXOS IX: TABLAS DIMENSIONAMIENTO METODO SHELL**

**Curvas de diseño para subrasante de CBR=7**



## ANEXOS X: TABLA PESOS MÁXIMOS

<b>PESOS MÁXIMOS ESTABLECIDOS POR LA LEY</b> CONFIGURACIONES VEHICULARES SEGÚN TRANSMISIÓN A CALZADA DECRETO 32/2018			
CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]	SUSPENSIÓN NEUMÁTICA [toneladas]
EJE SIMPLE. -Ruedas individuales, (neumáticos no superanchos)		6 SEIS	6,3 SEIS COMA TRES
EJE SIMPLE. -Ruedas superanchas		6 SEIS (8 ocho - maquinaria especial)	8 OCHO
EJE SIMPLE. -Ruedas dobles		10,5 DIEZ COMA CINCO	11 ONCE
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales		10 DIEZ (5 por eje)	10,5 DIEZ COMA CINCO (5,25 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas dobles		18 DIECIOCHO (9 por eje)	18,9 DIECIOCHO COMA NUEVE (9,45 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas y ruedas dobles		15 QUINCE (9 eje con ruedas doble y 6 eje de ruedas superanchas)	16,5 DIECISEIS COMA CINCO (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales y ruedas dobles		14 CATORCE (9 eje con ruedas doble y 5 eje de ruedas individuales)	14,7 CATORCE COMA SIETE (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		12 DOCE (6 por eje)	14 CATORCE (7 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas dobles.		25 VEINTICINCO COMA CINCO (8,5 por eje)	26,8 VEINTISÉIS COMA OCHO (8,93 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - 2 ejes con ruedas dobles. - 1 eje con ruedas individuales		21 VEINTIUNO (8,5 ejes con ruedas doble y 4 eje de ruedas individuales)	22 VEINTIDÓS (8,93 ejes con ruedas doble y 4,2 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		18 DIECIOCHO (6 por eje)	19,5 DIECINUEVE COMA CINCO

**ANEXOS XI: TABLAS METOD AASHTO**

**Tablas LEFS**

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $p_f=2,0$

Carga /eje (kips)	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.0	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

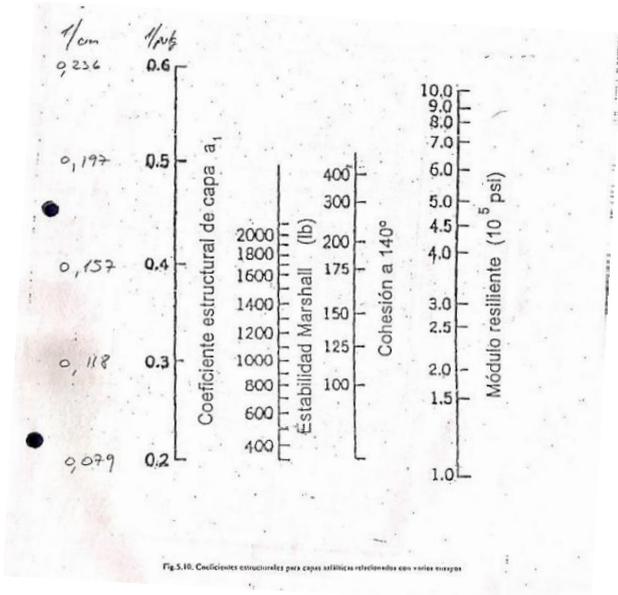
Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem,  $p_f=2,0$

Carga p/eje (kips)	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.003
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.237	.244	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.30	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.3	21.3
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.3	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.3	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

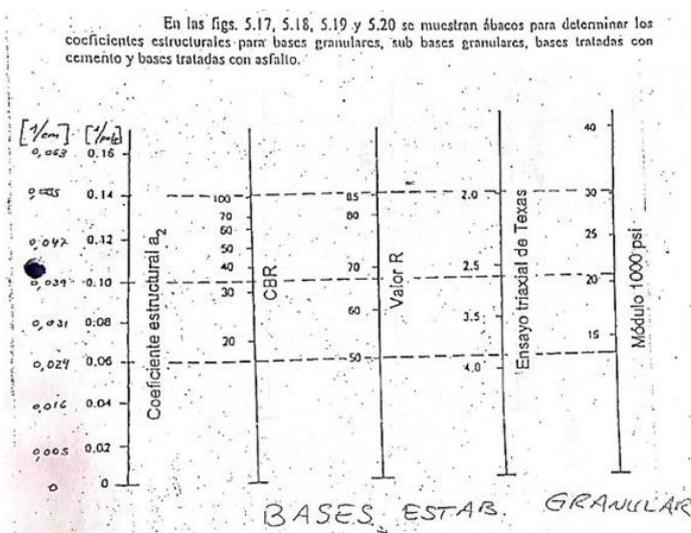
Tabla 3.3. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes úndem,  $p_1=2,0$

Carga p/eje (kips)	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
6	.0004	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003
8	.0009	.0010	.0009	.0008	.0007	.0007
10	.002	.002	.002	.002	.002	.001
12	.004	.004	.004	.003	.003	.003
14	.006	.007	.007	.006	.006	.005
16	.010	.012	.012	.010	.009	.009
18	.016	.019	.019	.017	.015	.015
20	.024	.029	.029	.026	.024	.023
22	.034	.042	.042	.038	.035	.034
24	.049	.058	.060	.055	.051	.048
26	.068	.080	.083	.077	.071	.068
28	.093	.107	.113	.105	.098	.094
30	.125	.140	.149	.140	.131	.126
32	.164	.182	.194	.184	.173	.167
34	.213	.233	.248	.238	.225	.217
36	.273	.294	.313	.303	.288	.279
38	.346	.368	.390	.381	.364	.353
40	.434	.456	.481	.473	.454	.443
42	.538	.560	.587	.580	.561	.548
44	.662	.687	.710	.705	.686	.673
46	.807	.825	.852	.849	.831	.818
48	.976	.992	1.015	1.014	.999	.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5

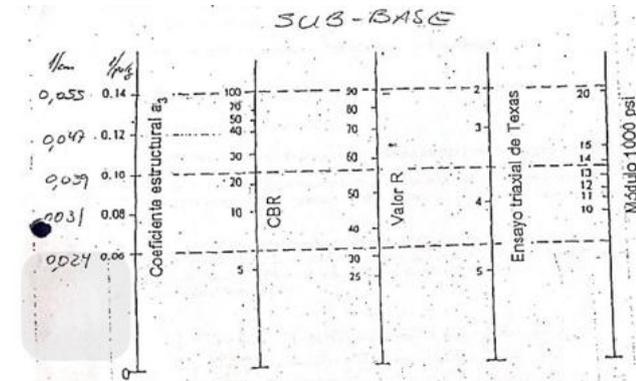
**Coefficientes estructurales para capas asfálticas relacionados con varios ensayos**



**Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes**



**Relación entre el coeficiente estructural para sub base granular y distintos parámetros resistentes.**



**Tabla coeficiente de drenaje**

*Tabla 7.2. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles*

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40