

1. Introducción

Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas. En el caso de los pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas. La mayoría de los métodos de diseño de pavimentos suponen que las deformaciones permanentes ocurren solamente en la subrasante. Sin embargo, en vías donde se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez las capas granulares soportan el esfuerzo aplicado casi en su totalidad y la magnitud de dichos esfuerzos pueden llegar a generar valores altos de deformación permanente. Por lo tanto, las metodologías de diseño deben comenzar a tener en cuenta las deformaciones que se producen en estas capas, y los modelos para predecir dichas deformaciones, deben ser capaces para reproducir el comportamiento de estos materiales bajo diversas trayectorias de carga cíclica y condiciones del medio ambiente.

El uso de los métodos de diseño empírico-mecanistas, hace necesaria la determinación de las propiedades dinámicas de los materiales usados en la construcción de pavimentos. En especial, los módulos resilientes o módulos dinámicos y la relación de Poisson, establecidas a partir de sollicitaciones cíclicas.

La variación de las propiedades dinámicas se da por el cambio de temperatura, pues un aumento de esta genera una disminución en el módulo resiliente. El efecto de la frecuencia de carga, que se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, genera módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa.

Se puede decir que el módulo resiliente no es una propiedad constante del material, sino que depende de muchos factores. Los principales son: número de aplicaciones del esfuerzo, tixotropía, magnitud del esfuerzo desviador, método de compactación y condiciones de compactación.

En otros países se han realizado numerosas investigaciones sobre el módulo resiliente y sobre la influencia que tienen las cargas de tránsito en una estructura de pavimento logrando a su vez verificar el efecto que se produce en el mismo, para eso se requiere de equipos que consigan simular las cargas de los vehículos, lo que los hace muy costosos en

un país como el nuestro que no cuenta con los suficientes medios para obtener una investigación adecuada.

2. Justificación

En base a la experimentación por muchos años en evaluación de suelos y pavimentos, mediante la medición y análisis de deflexiones con la metodología Hogg-Burmister se han desarrollado correlaciones entre las propiedades medidas y los parámetros elásticos del sistema suelo-pavimento, lo que han permitido el desarrollo de un método simple y rápido para ser aplicado en obra con la finalidad de evaluar la capacidad de soporte de los suelos, ya sea a través del módulo de resiliencia o del valor del CBR del substrato. Se presenta los conceptos teóricos en que se basa el método propuesto, así como el procedimiento de cálculo que debe seguirse en campo para la obtención de la capacidad de soporte; asimismo, se presentan valores tabulados que facilitan y hacen más rápido el proceso. También se incluyen verificaciones efectuadas aplicando el método riguroso cuyos resultados demuestran la validez y confiabilidad de la nueva herramienta desarrollada.

El nuevo método permitirá la completa aplicación del análisis deformacional para la construcción y supervisión de pavimentos, superando de esa manera las limitaciones conocidas que tienen los métodos empíricos para la caracterización de la performance de los pavimentos, así como las dificultades operacionales que presentan los métodos mecanísticos. Este método simplificado facilitará en la práctica la rápida verificación, para condiciones reales de campo de los valores de soporte asumidos en el diseño del pavimento, así como el adecuado dimensionamiento de la altura de los terraplenes, el aporte y la eficiencia de los materiales empleados en su construcción, el efecto de la ubicación del nivel freático en la capacidad resistente de los suelos, entre otros aspectos.

Por esta razón nos interesa realizar un estudio y comparación de los métodos de Hogg y el método de Hogg simplificado abocado a la determinación del módulo resiliente mediante método mecanístico empírico en este caso aplicando el método HOGG SIMPLIFICADO por tener las características necesarias para una posible aplicación en nuestro medio, para lo

que se presentan nuevas alternativas de diseño de pavimentos con módulos de resiliencia de campo más reales que los actuales.

2.1. Determinación del problema

Al no contar con el equipo necesario para realizar los ensayos apropiados en la determinación del módulo resiliente de forma sencilla nos vemos obligados a adoptar métodos más prácticos y viables, en este caso se utilizará la viga Benkelman para la determinación del módulo resiliente basándose en el método de HOGG y HOGG SIMPLIFICADO y posteriormente hacer una verificación de los resultados obtenidos.

2.2. Objeto de estudio

Realizar un análisis empírico del método de HOGG SIMPLIFICADO el cual se basa en el método de HOGG, verificar su viabilidad y utilización en nuestro medio.

2.3. Campo de acción

El método de HOGG SIMPLIFICADO es utilizado en varios países para la determinación del módulo resiliente, a partir de estos estudios se demostró la viabilidad del método por lo tanto el campo de acción del método será de gran amplitud en nuestro medio.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Determinar el módulo resiliente en sub rasantes por el método HOGG SIMPLIFICADO y HOGG RIGUROSO aplicado al tramo I de la carretera LA PAZ-ORURO.

3.2. Objetivos específicos

- Analizar los conceptos teóricos en que se basan los métodos estudiados.
- Conocer el procedimiento de cálculo para la determinación del módulo resiliente.
- Analizar la determinación del módulo resiliente mediante métodos mecánicos empíricos (método HOGG SIMPLIFICADO y HOGG RIGUROSO).
- Realizar ensayos de deflexiones con Viga Benkelman sobre la sub rasante del tramo en estudio.
- Determinar los parámetros necesarios para el cálculo del módulo de elasticidad.
- Determinar el módulo de elasticidad aplicando el método de HOGG RIGUROSO y HOGG SIMPLIFICADO.
- Realizar un análisis detallado de resultados obtenidos.
- Realizar una validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO.
- Determinar el CBR mediante el módulo resiliente.

4. Alcance

Este trabajo pretende determinar el módulo resiliente aplicado al tramo I de la subrasante de la doble vía La Paz-Oruro empleando métodos mecánico empíricos como ser el método de Hogg y Hogg simplificado para lo cual se hará una comparación de resultados obtenidos mostrando que el último no presenta gran variación con respecto al primero por tanto se deduce que el método de hogg simplificado es más simple y directo.

Se realiza un estudio de mezclas asfálticas ya que de la calidad de estas dependen en gran parte las deflexiones en la subrasante a mayor deflexión se aprecia un menor módulo de elasticidad a menor deflexión se presentará un mayor módulo de resiliencia, las deflexiones se deben a varios factores como ser el clima , el peso del vehículo, la velocidad y otros; por estas razones es necesario conocer las mezclas asfálticas como ser sus propiedades, materiales utilizados, dosificaciones, controles, métodos de diseño, dimensionamiento de pavimentos y otros.

Se presentan las metodologías de diseño actuales relacionadas con el módulo de resiliencia por ser el que se utiliza para diseño de pavimentos utilizando los métodos mecanicistas como son el método de HOGG y HOGG SIMPLIFICADO. Se mencionan los factores que influyen en el comportamiento mecánico de los distintos materiales, considerando tanto la deformación permanente o plástica y la deformación recuperable o resiliente.

Se realizan ensayos de deflectometría mediante la viga Benkelman para determinar el módulo de elasticidad, luego se realiza un análisis de los resultados obtenidos y posteriormente se verá la aplicabilidad del método HOGG SIMPLIFICADO en nuestro medio para poder analizar e interpretar los resultados a través de gráficos.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones generales del presente estudio, al respecto se señala que el módulo de resiliencia es una propiedad básica de los materiales.

En el primer capítulo se hizo conocer el objetivo, justificación y otros los cuales nos ayudarán a comprender la importancia del estudio.

En el capítulo II se desea realizar un estudio generalizado de mezclas asfálticas las cuales deben cumplir los siguientes objetivos:

- Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla con que se procederá a la pavimentación.
- Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional bajo las cargas del tránsito, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad.

Por lo cual también se puede decir que las proporciones de agregados y asfalto en la mezcla, deben seleccionarse de manera que esta cumpla, tanto los requisitos de gradación dados por las especificaciones, como los de calidad. Lograda una producción de mezcla asfáltica de alta calidad, el factor más importante para lograr una buena calidad de pavimento o de carpeta extendida, es lograr una buena técnica de colocación, para ello ante todo debemos contar con adecuados equipos de extensión y compactación. Como estos factores importantes mencionados anteriormente se irán desarrollando más adelante y de manera más detallada.

En el capítulo III, se puede decir que los materiales sometidos a cargas repetidas principalmente fallan por leyes de fatiga, lo cual ocurre en los materiales usados en la construcción de carreteras.

Investigadores y diseñadores se han preocupado entonces por desarrollar métodos que nos ayuden a determinar el comportamiento y respuesta del suelo a dichas solicitaciones. Además de encontrar parámetros y soluciones que nos ayuden a entender el comportamiento de la estructura de los pavimentos para sus periodos de diseño.

Se pretende introducir conocimiento y uso para la determinación del módulo resiliente y así poder realizar el diseño de pavimentos mediante el método de Hogg Simplificado el cual está basado en el método de Hogg.

Estos métodos serán desarrollados con más claridad más adelante, el propósito de este capítulo es mostrar los conceptos en que se basan los métodos propuestos y así determinar el módulo resiliente en una manera más sencilla y rápida, basándose en sus parámetros necesarios, conociendo su procedimiento de cálculo para lograr resultados satisfactorios en la realización de dicho estudio.

Para la realización del capítulo IV se ve la necesidad de realizar el ensayo de deflectometría mediante la viga Benkelman para proceder a la aplicabilidad de dicho método en la determinación del módulo resiliente, en este capítulo realizarán análisis de resultados, determinación de la longitud elástica, determinación del módulo de elasticidad como así la comparación de resultados obtenidos con el método de Hogg y Hogg Simplificado entre otros.

Este método permitirá la completa aplicación del análisis de deformación para la construcción y supervisión de pavimentos, superando de esa manera las limitaciones conocidas que tienen los métodos empíricos para la caracterización de la performance de los pavimentos, así como las dificultades operacionales que presentan los métodos mecánicos.

Este método simplificado facilitará en la práctica la rápida verificación, para condiciones reales de campo, de los valores de soporte asumidos en el diseño del pavimento, entre otros aspectos.

1. Introducción

Una mezclaasfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las solicitudes de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

2. Componentes de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas están compuestas por agregados, asfalto y vacíos de aire. La calidad de la mezcla asfáltica está directamente ligada con las propiedades y dosificación de los agregados y del cementante, como también a la cantidad de los vacíos de aire.

Las mezclas asfálticas constituyen la parte superior de los pavimentos flexibles y proporcionan un medio de distribución de carga y de impermeabilización que protege la estructura del pavimento de los efectos adversos del agua y de la acción del tránsito. Se emplean para la construcción de pavimentos nuevos, para incrementar la resistencia o mantener una calidad satisfactoria en la superficie de un pavimento existente, o para mejorar la resistencia al deslizamiento.

2.1. Agregados

2.1.1. Definición

Es una mezcla, natural o no, de piedra o gravas trituradas, escorias, arenas finas, arenas gruesas y llenante mineral. Puede contener todos o algunos de estos materiales. Los agregados deben ser limpios, duros y durables.

Los agregados son los responsables de la capacidad de carga o resistencia de la mezcla y constituyen entre el 90% y 95% en peso de la mezcla y entre el 75% y 85% en volumen de la misma.

2.1.2. Clasificación

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se divide en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler).

Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomado de las riveras de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales.

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

a) Agregados naturales

Los agregados naturales son los más empleados en la fabricación de las mezclas asfálticas, y estos se encuentran en canteras, como así también en depósitos de origen fluvial, y también proceden de la desintegración de rocas, el método de obtención de estos agregados son de vital importancia puesto que de este trabajo dependerá básicamente los resultados que se quieren obtener.

b) Agregados artificiales

Estos agregados proceden bien de procesos industriales de los cuales son un subproducto o bien del tratamiento industrial de los agregados naturales también pueden proceder de la trituración o fragmentación de las rocas, son utilizados en la construcción de las mezclas asfálticas, cuando los proyectos tienen que cumplir especificaciones rígidas, consideraciones ambientales y eventual escases de los agregados naturales.

2.1.3. Requisitos de los agregados

a) Agregado grueso

Reciben el nombre de agregados gruesos los materiales retenidos en el tamiz #4. Estos materiales serán piedras o escorias machacadas, gravas machacadas o combinaciones de ellas, o en materiales que se presenten naturalmente en estado fracturado (como granito disgregado) o en áridos naturales muy angulosos con texturas superficial áspera o rugosa. Los agregados no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán trozos de arcilla ni otros agregados de material fino. El porcentaje de desgaste de los agregados empleados en capas de base, intermedias o de nivelación no será mayor de 50% para el método AASHO T96 (ASTM C131). El porcentaje de desgaste de los áridos empleados en las capas de desgaste no serán mayor del 40% cuando se ensayen por el método AASHO T96 (ASTM C131). Se ensayará la resistencia a los sulfatos de los áridos gruesos por el método AASHO T104 (ASTM C88).

b) Agregado fino

Son los que pasan por el tamiz # 4. Constarán de arena natural y/o material obtenido del machaqueo de piedra, escoria o grava. Las partículas serán, limpias resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales y no contendrán grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino. Se ensayará su resistencia a los sulfatos según el método AASHO T104 (ASTM C88) a menos que ya se sepa que su comportamiento es satisfactorio.

c) Filler mineral

El filler mineral se compondrá de partículas muy finas de caliza, cal apagada, cemento portland u otra sustancia mineral aprobada no plástica. Estará perfectamente seco y no contendrá grumos, ensayado por el método AASHO T37 (ASTM D546) su granulometría cumplirá las siguientes condiciones:

Número del tamiz	Porcentaje en peso seco que pasa
30	100
100	90
200	65

Tabla 2.1. Granulometría filler mineral.

La parte de filler mineral que pase por el tamiz número 200 se considera como polvo mineral. Más del 50% de la parte de filler mineral que pasa por vía húmeda a través del tamiz número 200 pasará por ese tamiz por tamizado en seco.

REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS MATERIALES MENORES A % DE PULGADAS				
TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA			
	GRANULOMETRÍA ABIERTA	GRANULOMETRÍA GRUESA	GRANULOMETRÍA DENSA	GRANULOMETRÍA FRÍA
1/2"	100	100	100	100
3/8"	70-100	75-100	80-100	85-100
N4	20-40	35-55	55-75	65-80
N8	5-20	20-35	35-50	50-65
N16	-	-	-	37-52
N30	-	10-22	18-29	25-40
N50	-	6-16	13-23	18-30
N100	-	4-12	8-16	10-20
N200	0-4	2-8	4-10	3-10

Tabla 2.2. Requisitos de graduación para diferentes tipos de mezclas materiales menores a % de pulgadas.

2.1.4. Pruebas de laboratorio

a) Tamizado

Hay dos métodos para determinar las propiedades relativas de los diversos tamaños de partículas en unos áridos: tamizado por vía seca y tamizado por vía húmeda.

- **Tamizado por vía seca.** Se agita una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de manera que el de mayor abertura se encuentra en la parte superior y los de aberturas más pequeñas sucesivamente debajo. Los tamices usados normalmente en las mezclas asfálticas son los de abertura cuadrada de 2 1/2, 2, 1 1/2, 1, 3/4, 1/2 y 3/8 de pulgada.

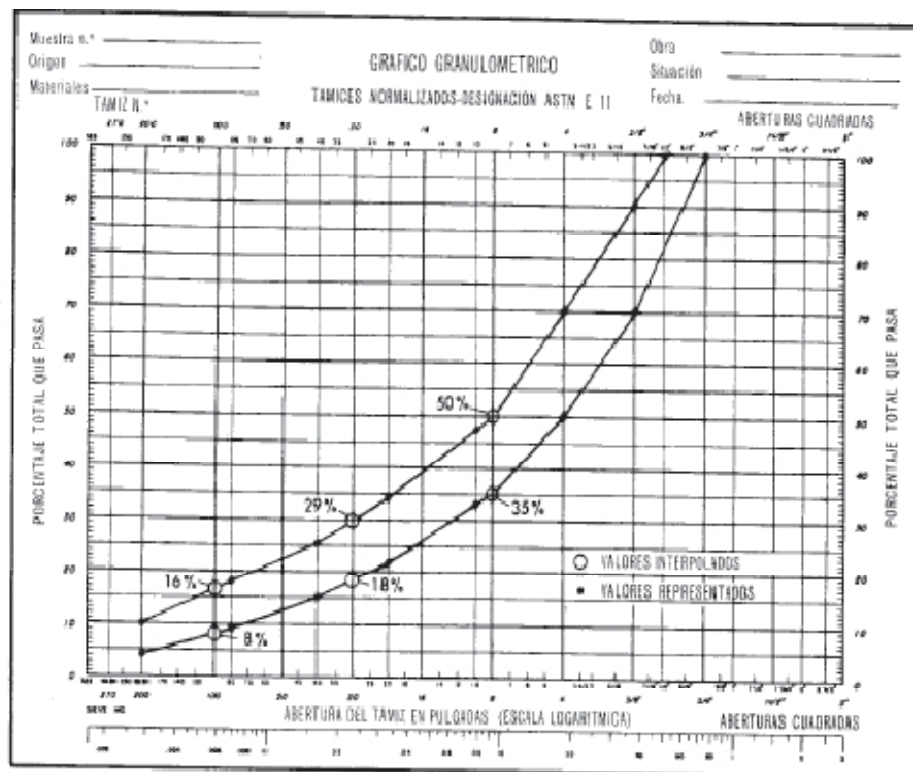


Figura 2.1. Curvas granulométricas de los áridos.

- **Tamizado por vía húmeda.** Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que pueden pegarse a las partículas más gruesas. En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son evidentemente erróneos.

Los métodos de ensayo AASHTO T27 y ASTM C136 indican el procedimiento para realizar el análisis granulométrico por vía seca de áridos gruesos y finos. Los procedimientos granulométricos del filler mineral se dan en los métodos AASHTO T37 y ASTM D546.

b) Equivalente de arena

Indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capa de base, el ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz # 4.

Se coloca la muestra en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndolo a presión en el fondo mediante un tubo delgado, luego de un periodo de sedimentación de 20 min se lee la altura máxima de la suspensión de arcilla. A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limosa y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen en el método AASHO T176.

c) Abrasión (Desgaste)

Este ensayo se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste. Se carga el tambor con una cantidad fija de áridos cuya granulometría es la que más se aproxima a la que se pretende usar de la granulometría normalizada, a continuación se hace dar 500 vueltas al tambor, se extrae el material y se determina el porcentaje del material que pasa el tamiz #12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indica por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos, la maquinaria y procedimiento se detallan en los métodos AASHO T96 y ASTM C131.

El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de los ángulos no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

d) Resistencia a los sulfatos

Nos da una indicación de la resistencia a los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos el ensayo se realiza con áridos que no han dado un buen resultado, durante su empleo. Mide la resistencia de los áridos a la disgregación por soluciones saturadas de sulfatos de sodio o magnesio.

El ensayo se hace sumergiendo recipientes con fracciones de tamaños clasificados de muestra de áridos en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Los recipientes están contruidos de tal forma que permiten la libre entrada y salida de la solución en la masa de la muestra sin pérdida de áridos. Después de la inmersión se seca la muestra en una estufa. Tras un número determinado de ciclos de inmersión y secado se determina por tamizado el porcentaje de pérdida de peso para cada fracción granulométrica. El total de estos valores es el porcentaje de pérdida resultado del ensayo. La maquinaria y desarrollo del ensayo se detalla en el método AASHO T104 y ASTM C88.

e) Peso específico

Usualmente se determina el peso específico por dos razones:

- Para permitir el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
- Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Hay tres tipos ampliamente usados de peso específico de los áridos:

- Peso específico aparente.
- Peso específico aparente con áridos saturados.
- Peso específico efectivo.

La designación AASHO M132 define el peso específico aparente como la relación de peso en aire de un volumen dado de la porción impermeable de un material permeable (esto es la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables) a una temperatura determinada.

Define el peso específico aparente con áridos saturados como la relación del peso en aire de un volumen dado de un material permeable (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material) a una temperatura dada.

La diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos al agua de los áridos. El volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los huecos impermeables mientras que el peso específico aparente los excluye.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetra en los huecos permeables al agua. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetrará en los huecos menos que el agua. Por ello ha empezado a usarse el término peso específico efectivo para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla. Como puede verse el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados.

En los métodos AASHO T85 y ASTM C127 se fijan los aparatos y procedimientos para determinar los pesos específicos aparente y aparente con áridos saturados de los áridos gruesos. Para los finos ver los métodos AASHO T84 y ASTM C128. En la publicación ASTM STP191, titulada “specific gravity of bituminous coatel aggregate”, se dan varios métodos para medir el peso específico efectivo de los áridos para mezclas asfálticas.

f) Peso unitario

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido. Los volúmenes empleados normalmente son 0,1-0,5-1 pies³ (2,83-14.16-28,311), según el tamaño de los áridos ensayados. Para medir el peso unitario con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos empleados en el ensayo. Los

aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T19 y C29.

Basándose en la experiencia se ha fijado un peso unitario compactado mínimo de 70 lb/pie³ (1137 kg/m³) para escoria de dimensiones inferiores a 2" para mezclas de pavimentación y de 65 lb/pie³ (1041 kg/m³) para tamaños superiores, la escoria ensayada debe tener la misma granulometría que se piensa emplear.

g) Humedad

La determinación de la humedad en los áridos se hace normalmente pesando una muestra de material, secándola hasta peso constante en estufa mantenida a 110 °C, aproximadamente y determinando después el peso de la muestra seca. La diferencia entre el peso inicial y final se define como pérdida de humedad durante el secado. La pérdida de peso expresada en porcentaje del peso final o en seco es el contenido de humedad de los áridos.

2.2. Asfaltos

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución, el petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto. Procesos similares han dado lugar a dos yacimientos naturales de asfalto, de los cuales el material se encuentra libre de materias extrañas, mientras que en otras está mezclado con diversos minerales, agua y otras sub sustancias. Las rocas porosas saturadas de asfalto que se encuentran en algunos yacimientos se conocen con el nombre de rocas asfálticas.

El asfalto es un material de particular interés para el Ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, impermeable y duradero, es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con los que se combina usualmente, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

2.2.1. Clasificación y especificaciones

a) Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnados a los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. Estos asfaltos pueden clasificarse como:

Asfaltos Nativos, sólidos o semisólidos

- Puros o casi puros.
- Asociados con materia mineral.
- Asfáltitas duras.

b) Asfalto derivado del petróleo

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.

En la norma INV E-706 se encuentran las especificaciones de este tipo de asfaltos, cuyas características se indican en la tabla 2.3.

Característica	Unidades	Norma de ensayo	60-70		80-100	
			Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración	0.1 mm	INV E-706	60	70	80	100
Viscosidad dinámica a 60 °C	P	INV E-716	1.500		1.000	
Índice de penetración		INV E-724	-1	+1	-1	+1
Perdida por calentamiento en película delgada (163 °C, 5 h)	%	INV E-721	-	1.0	-	1.0
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm.	INV E-702	100	-	100	-
Penetración del residuo luego de la pérdida delgada % de penetración original	%	INV E-721	52	-	48	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	INV E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	INV E-704	-	0.2	-	0.2

Tabla 2.3. Especificaciones de asfaltos puros.

c) Cementos asfálticos sólidos

El producto que se obtiene por destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, con dicho elemento se prepara el cemento asfáltico. Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos, dependen del rendimiento en asfalto que presenta el petróleo. En los petróleos que presentan bajo rendimiento, se utiliza la destilación en dos etapas: una a presión atmosférica, seguida de otra al vacío. Si el rendimiento del asfalto es alto, basta la etapa de destilación al vacío.

El proceso más usado es el de destilación en dos etapas; pues produce asfaltos normalmente sin necesidad de instalaciones especiales. Consiste en una separación física de varios constituyentes del petróleo, por la diferencia de sus puntos de ebullición y condensación. Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y se elaboran a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Se clasifican según su grado de dureza o consistencia, lo cual se mide a través de un ensayo de penetración en décimas de milímetros. Es así como podemos distinguir los tipos CA 40-50, CA 60-70, CA 85-100, CA 120-150, entre otros.

d) Asfalto líquido

Son materiales constituidos por mezclas de cementos asfálticos y solventes de hidrocarbonados de diferentes rangos de destilación, que le imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. Se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en frío. Los más utilizados son los de Curado Medio (MC) y los de Curado Rápido (RC) y emulsiones asfálticas convencionales y modificadas con polímeros. Son recomendados con demostrados y excelentes resultados en imprimaciones, lechadas asfálticas, riegos de liga, tratamientos superficiales, micro pavimentos y estabilización de suelos en superficies con necesidades de impermeabilización. Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (en centiestokes). Por ejemplo: RC-250, MC-70.

e) Emulsiones asfálticas

Se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

Son dispersiones de cemento asfáltico en una fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones dependen, entre otros factores, de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes. La cantidad de emulsificantes y aditivos químicos utilizados, varía generalmente de 0.2 % a 5 %, y la cantidad de asfalto es del orden del 60 a 70%.

2.2.2. Funciones del asfalto en la construcción de pavimento

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir grandes esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura y por ende, permite disminuir el espesor.

Por sus cualidades impermeables y su durabilidad el asfalto se emplea en construcción para impedir el paso del agua, amortiguar vibraciones y expansiones y servir como pavimento.

2.2.3. Composición química del asfalto

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación.

Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfaltenos que son moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. El segundo componente descrito es una mezcla de resinas y el tercero aceite mineral. Estos tres constituyen un sistema coloidal como el explicado anteriormente. Los asfaltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

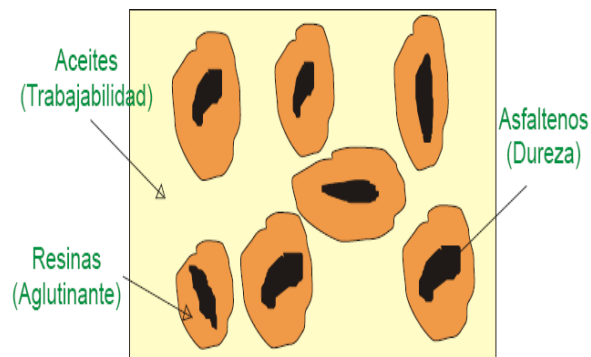


Figura 2.2. Composición química del asfalto.

2.2.4. Influencia de los componentes químicos del asfalto en sus propiedades

Los asfáltenos contienen las moléculas más pesadas del asfalto, ya que son los que le proporcionan la dureza. Las resinas son las encargadas de las características cementantes o aglutinantes, mientras que los aceites dan la consistencia necesaria para hacerlos trabajables. Los aceites son líquidos poco viscosos, de color claro, no adherentes, muy estables y semejantes a los aceites de lubricación, el asfalto debe gran parte de su deformabilidad a este componente, pues permite el desplazamiento entre micelas.

Los asfáltenos son muy adherentes intrínsecamente, pero al estar rodeados por una cortina de resinas no intervienen de modo directo en la adherencia con los materiales pétreos, su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas del asfalto, pues el poder de absorción de las resinas le proporcionan a su núcleo una alta rigidez.

Las propiedades físicas del asfalto dependen de las proporciones de asfáltenos, resinas y aceites que contienen. Un asfalto con un alto contenido de aceites se comportará como un fluido viscoso, ya que las micelas formadas por los asfáltenos rodeados de las resinas absorbidas flotarán en el líquido aceitoso sin tocarse. Cuando se somete a los efectos del calentamiento, se va presentando una reducción gradual de los aceites y por tanto, un acercamiento de los núcleos de los asfáltenos. Adicionalmente la fricción originada hace que el asfalto incremente su viscosidad. Es muy importante la proporción en que interviene cada uno de estos componentes en la consistencia del asfalto.

2.2.5. Características reológicas del asfalto

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad bien importante: la viscosidad.

La viscosidad del asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento. A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material sólido con propiedades elásticas. Con el

propósito de conocer las características de flujo de asfalto a distintas temperaturas, se utilizan actualmente monogramas y curvas que relacionan las principales propiedades del asfalto.

2.2.6. Asfaltos modificados

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica.

Los asfaltos modificados mejoran las propiedades físicas de los mismos:

- Ofrecen gran resistencia a la reflexión de fisuras.
- Mejora significativamente la resistencia a la deformación permanente.
- Mejoran la adhesión entre la carpeta de rodamiento y la sub base.
- Proveen superficies durables con alta cohesividad.
- Ofrecen un mejor costo beneficio que los asfaltos convencionales.
- Uso de capas más delgadas.
- Capacidad para absorber movimientos horizontales producidos por grietas de varios milímetros.
- Mantenimiento de las propiedades elásticas en un amplio rango de temperaturas.
- Mejor retención del agregado.
- Mayor rango de uso, incluidos caminos con tránsito pesado.
- Mejor resistencia a la tracción.

3. Propiedades generales de las mezclas asfálticas

Es muy importante conocer las propiedades ya que deben proporcionar una superficie segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

3.1. Estabilidad

Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamientos, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

La estabilidad o carga de rotura se suele evaluar mediante ensayos empíricos, el más conocido es el ensayo de Marshall, pero hay que tener presente, que las curvas que muestran la variación de la estabilidad con el porcentaje de ligante de la mezcla tiene un máximo. Es decir, inicialmente el aumento del contenido de ligante hace aumentar la estabilidad en base al incremento de la cohesión, pero existe un punto a partir del cual la estabilidad empieza a caer debido a que el exceso de ligante supone una disminución del rozamiento interno, el contenido de ligante es uno de los factores que intervienen en la estabilidad mientras otros por ejemplo son: la angularidad del agregado, su tamaño máximo y su granulometría.

3.2. Resistencia a las deformaciones plásticas

El paso de las cargas, especialmente en condiciones de altas temperaturas o bajas velocidades, va produciendo una acumulación de deformaciones de tipo plástico. Si la mezcla no tiene unas características geológicas adecuadas, puede producirse una verdadera fluencia del material, como son las deformaciones plásticas longitudinales que se producen en zonas de rodada de los vehículos, en otras ocasiones se ponen de manifiesto mediante arrollamientos o resaltos transversales, como si el pavimento se comportase como una alfombra arrugada.

En estos casos a los que se está haciendo referencia, la insuficiente resistencia a las deformaciones plásticas se debe no solo a una inadecuada dosificación de la mezcla, sino también al insuficiente agarre a la capa subyacente.

Finalmente podemos señalar que también son deformaciones plásticas las debidas al fallo de las capas inferiores, caracterizándose por amplitud y su gran radio de curvatura.

3.3. Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

Las altas temperaturas y velocidades bajas hacen que la mezcla tenga un comportamiento elástico, el paso de las cargas generalmente muy inferiores a la de rotura, van produciendo un agotamiento progresivo por fatiga del material. Esta fatiga se traduce en un aumento de deflexiones (deformaciones elásticas recuperables) y cuando se llega a un avanzado estado en la mezcla, se presenta como agrietamientos generalizados.

La determinación de la resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica se lleva a cabo en laboratorio, sometiendo probetas a ensayos de cargas repetidas, para diferentes deformaciones radiales, se obtiene el número de aplicaciones de carga que conduce a la rotura de la probeta ensayada.

3.4. Flexibilidad

Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante.

Es esta una propiedad que muchas veces no se tiene debidamente en cuenta al proyectar mezclas asfálticas, pero es una de las características que sin duda cabe esperar en las mismas, puesto que con los conocimientos sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas que se tiene, se puede asegurar que el proyecto de las mismas debe ir dirigido siempre a dotarlas de máxima flexibilidad.

3.5. Resistencia al deslizamiento

Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

Las mezclas bituminosas no solo deben satisfacer propiedades, de tipo estructural, sino también requerimientos funcionales, como proporcionar una adecuada resistencia al

deslizamiento, que ha de mantenerse durante toda la vida del pavimento. Además, es fundamental para conseguir una buena resistencia al deslizamiento un adecuado proceso de puesta en obra, lo que no siempre se puede considerar.

3.6. Impermeabilidad

Las mezclas asfálticas tienen como misión proteger la infraestructura frente a la acción del agua que cae sobre la calzada, por ello se debe dotar a las mezclas una elevada impermeabilidad, la misma que no tiene por qué estar confiada a la capa de rodadura, existiendo por ello las denominadas mezclas porosas.

Sin embargo no se debe olvidar que las mezclas nunca son absolutamente impermeables y que los pavimentos debido al envejecimiento y eventual agrietamiento por fatiga, van aumentando su permeabilidad con el paso del tiempo, si se quiere que la mezcla siga protegiendo al resto del pavimento y a la sub rasante de la acción del agua, será necesario realizar un tratamiento según sea el caso.

3.7. Resistencia a los agentes externos (durabilidad)

Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.

Se sabe que las capas de rodadura están sometidas a agresiones externas de diversa índole aparte de la acción de las cargas, como ser la radiación solar, heladas, derrames de aceites y combustible, son algunos de los factores que afectan la durabilidad de la mezcla. El envejecimiento de las mezclas es sumamente complejo, por diversas causas y variados procesos son irreversibles, mientras que a otros puede hacerse frente con los llamados agentes rejuvenecedores, que son sustancias que actúan sobre el ligante de la mezcla, tratando de hacerle recobrar sus características iniciales.

4. Dosificación de las mezclas asfálticas

Una vez que se tiene definido el tipo de mezcla que se va a utilizar para un proyecto, preparamos la mezcla, ya sea en plantas fijas o móviles por un procedimiento fijado por normas, para posteriormente trasladarlos a la obra.

Los procedimientos para preparar una muestra en el laboratorio son los siguientes:

- Secado de los agregados hasta peso constante.
- Tamizado en seco de los agregados en las fracciones de los tamaños deseados.
- Pesado de los materiales que constituirán la mezcla.
- Calentamiento de los agregados de la mezcla en el recipiente de mezclado.
- Adición de la cantidad prevista de asfalto caliente al recipiente de mezclado.
- Mezclado del agregado y asfalto juntos.

4.1. Método de dosificación

Dentro de los métodos que estrictamente sirven para dosificar se pueden a su vez establecer dos familias. Por un lado los métodos basados en la determinación directa o indirecta de la superficie específica y a veces también de la absorción de los áridos. Por otro lado los basados en la realización de ensayos mecánicos, generalmente de base empírica.

Los métodos de superficie específica son sencillos y rápidos, pero tienen el inconveniente de su imprecisión esta imprecisión no tiene importancia en el caso de mezclas abiertas, pero es la razón de que para mezclas sean poco aconsejables, pues estas mezclas son muy sensibles a las variaciones en el contenido del betún. Entre esos métodos, todos ellos similares, se pueden citar el Duriez Francés, el de Asphalt Institute, el del Centre de Recherches Routières de Bélgica y el CKE (equivalente centrifugo de queroseno).

En cuanto a los métodos de dosificación basados en ensayos mecánicos hay que enfatizar que no debe utilizarse más que dentro de una metodología operativa que abarque todos los aspectos involucrados en el problema y en relación con unas especificaciones sobre los valores de los parámetros de formulación obtenidos.

Independientemente del tipo de ensayo empleado, la forma de trabajar con cualquiera de ellos es en general parecida. Una vez que se ha seleccionado la granulometría y el tipo de betún de acuerdo con los criterios pre establecido, se fabrican series de probetas en las que se varía el porcentaje de ligante.

Después de realizado el ensayo siguiendo la normativa correspondiente, se determina las relaciones entre dicho porcentaje y la resistencia, deformación, contenido de huecos etc. Evaluándose el porcentaje óptimo según criterios previamente adoptados.

4.2. Dosificación

Existen diversos métodos para dosificarlos mediante ensayos mecánicos. Quizás los más difundidos sean el Heveem, el Duriez y por encima de todos el más conocido el Marshall.

La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir con tamaños máximos superiores a 5 mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente. Ya se han señalado que las mezclas abiertas son mecánicamente poco sensibles a las variaciones en el contenido del betún, por lo que son preferidos los métodos de superficie específica. En cuanto a los hormigones en frío, la utilización directa con ellos del método Marshall ha presentado muchos problemas que van desde el descuelgue de la emulsión en el proceso de compactación por impactos utilizando en este método hasta la dificultad de determinar las condiciones de maduración de las probetas antes de rotura.

Como se ha indicado para la dosificación de hormigones asfálticos en caliente se utiliza en varios países del mundo el método Marshall, basado en el ensayo mecánico del mismo nombre. Consiste en la rotura de probetas cilíndricas de 101.6 mm de diámetro y 63.5 mm de altura mediante la aplicación de una mordaza perimetral que impone una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min el proceso es el siguiente:

Una vez fijada la granulometría de los áridos y el tipo de ligante, se fabrica probetas con diferentes contenidos de ligante dentro de unos intervalos sancionados por la experiencia (al menos cuatro probetas por cada contenido). A continuación se procede a su compactación en el molde correspondiente mediante la denominada masa Marshall, de

características normalizadas, aplicando una serie de impactos en cada base de la probeta y cuyo número (generalmente 50 ó 75) es función de las características del tráfico.

Desmoldadas las probetas, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de áridos y del ligante, permite el cálculo de los porcentajes de huecos en áridos y huecos en mezcla.

Después de mantener las probetas en una estufa el tiempo necesario para que la mezcla alcance una temperatura de 60 °C, se ensayan hasta una rotura según las condiciones ya descritas, obteniéndose para cada porcentaje de ligante la relación entre la carga aplicada y la deformación de la mezcla.

Se define como estabilidad Marshall la carga de rotura y como deformación Marshall el acortamiento diametral hasta el momento de la rotura.

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son: densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de huecos rellenos de betún. La variación de los mismos con respecto al contenido de ligante de la mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de áridos).

Los resultados obtenidos en el ensayo Marshall con el contenido de ligante considerado como óptimo, en especial la densidad, se utiliza también como patrón de control en obra. De esta forma suelen exigirse densidades in situ del 95% de la densidad Marshall correspondiente a ese óptimo para tráfico ligero y del 97 % ó 98% para tráfico pesado. Se comprueba además que el resto de los parámetros Marshall se mantienen próximos a los obtenidos en el laboratorio. Hay que tener en cuenta que si en obra se alcanzan densidades menores a las indicadas, la acción del tráfico podría producir compactaciones diferenciales que se traducirán en irregularidades superficiales.

Por un lado se emplean ensayos que permitan evaluar el efecto de la acción del agua sobre la cohesión de la mezcla, se suele utilizar para este fin el ensayo inmersión-compresión. Por otros ensayos con los que pueda evaluar de forma más precisa y específica que con el Marshall la resistencia a las deformaciones plásticas. Estos ensayos son el de pista de laboratorio y el de máquina giratoria.

CARACTERÍSTICAS	CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO	
	T0, T1 Y T2	T3 Y T4
Número de golpes por cara	75	
Estabilidad (KN)	>10	7.5-12.5
Deformación (mm)	2-3.5	
Huecos en mezcla (%)		
Capa de rodadura	4.0-6.0	3.0-5.0
Capa intermedia	4.0-8.0	3.0-8.0
Capa de base	4.0-9.0	3.0-9.0
Huecos en áridos (%)		
Mezcla D6	≥16	
Mezcla D12 y S12	≥15	
Mezcla D20, S20 y G20	≥14	
Mezcla S25 y G25	≥13	

Tabla2.4. Dosificación mezclas en caliente empleando el método Marshall.

CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
	CALIDA Y MEDIA	TEMPLADO
RODADURA	1.3	1.2
INTERMEDIA	1.2	1.1
BASE	1	0.9

Tabla2.5. Relaciones ponderadas filler/betún recomendadas para mezclas D, S y G.

5. Pavimentos

5.1. Definición

Un pavimento puede definirse como una estructura o sistema estructural formado por un conjunto de capas de materiales y dimensiones apropiados, comprendidas entre el nivel superior del terreno de fundación o subrasante y la superficie de rodamiento o rodadura, cuyas funciones fundamentales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura adecuados, resistente a la acción del tránsito (como carga o

acción principal), de la intemperie y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito a las terracerías y suelo de fundación. Es decir, el pavimento es la superestructura de una vía de comunicación (carretera, calle o aeropista), que hace posible el tránsito de vehículos y aeronaves con la comodidad, seguridad y economía, previstos en la etapa de planificación y diseño del proyecto.

5.2. Tipos de pavimentos

Hay tres clases de pavimentos, dependiendo del material de construcción y de la forma como reciben y controlan las cargas de los vehículos: flexibles, articulados y rígidos.

El comportamiento de los mismos al aplicarse cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura.

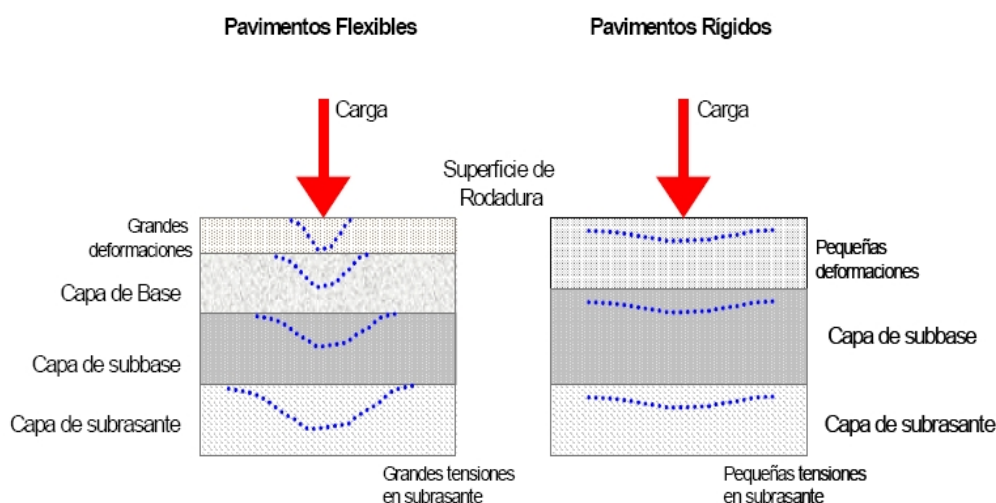


Figura 2.3. Comportamiento de pavimentos flexible y rígido.

5.2.1. Pavimento flexible

En general, se llama pavimento flexible al que está constituido por una carpeta o capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, habitualmente de materiales o suelos granulares, denominadas, base y sub base; la primera, situada sobre la segunda. Sin embargo, en función de las características particulares de cada caso, es posible prescindir de cualquiera de estas dos capas.

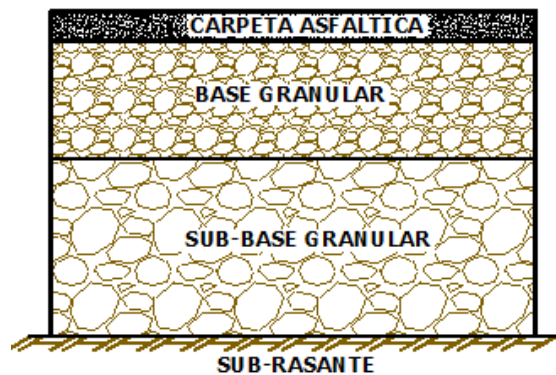


Figura 2.4. Sección típica de un pavimento flexible de hormigón asfáltico (carpeta).

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

5.2.2. Pavimento articulado

Construidos con adoquines (bloques de concreto o arcilla prefabricados), que se colocan sobre una capa de arena. Esta, se apoya sobre una capa granular o directamente sobre la sub rasante.

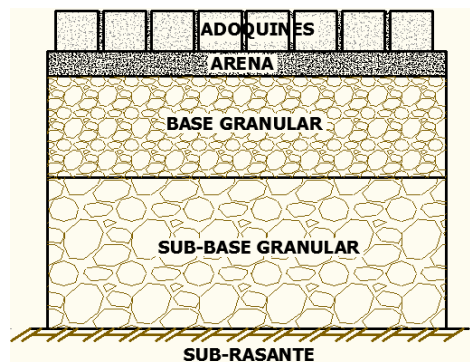


Figura 2.5. Estructuración típica de un pavimento articulado.

5.2.3. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos son aquellos que están constituidos, generalmente, por una losa de hormigón hidráulico, apoyada sobre el suelo de fundación (sub rasante) o sobre una capa de material seleccionado denominada sub base. Cuando la subrasante o suelo de fundación

tenga una calidad suficientemente buena, la losa de hormigón puede disponerse directamente sobre el mismo, prescindiéndose de la sub base. Se trata que la losa de hormigón tenga un apoyo suficientemente uniforme, estable y resistente.

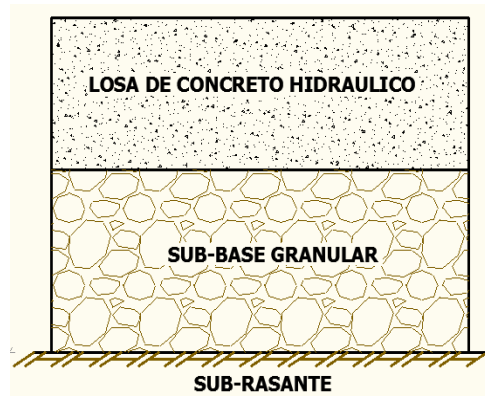


Figura 2.6. Sección típica de un pavimento rígido de hormigón hidráulico.

Tiene un costo inicial más elevado que los pavimentos flexibles y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

6. Dimensionamiento de pavimentos

Para el dimensionamiento de un pavimento se debe realizar la investigación de campo o la recopilación de información. Esta investigación comprende la búsqueda de la información disponible, los análisis de tráfico, la calidad de materiales, clima y otros aspectos necesarios para el diseño.

Antes de proceder a la toma de decisión sobre la metodología de investigación a utilizar en un proyecto en particular, debe realizarse un análisis de toda la información disponible.

- La calidad de los materiales disponibles en canteras y zonas locales.
- Evaluación de la sub rasante.
- Ensayos de laboratorio.
- La planimetría y los niveles finales del pavimento.

En lo posible debe recopilarse la mayor cantidad de información disponible sobre el tráfico y en caso de no contar con ella, realizar las estimaciones necesarias.

Luego de realizar la debida recopilación de datos, trabajos de campo y los ensayos de laboratorio, se procede al diseño correspondiente. El procedimiento de diseño consiste en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y características de materiales para que los esfuerzos y deformaciones causados por las sollicitaciones a que se somete la estructura, permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la estructura que están constituyendo.

6.1. Parámetros

6.1.1. Serviciabilidad

Se define la serviciabilidad de un pavimento como el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo. es importante considerar además que los valores elegidos de serviciabilidad por el proyectista significan un buen acabado de construcción, si el trabajo se va a realizar con herramientas manuales o equipos gastados es probable que el pavimento nuevo no alcance los niveles de serviciabilidad establecidos y por tanto dure menos.

6.1.2. Tránsito de diseño

Dado que los vehículos livianos no contribuyen significativamente al daño estructural de las capas del pavimento, se consideran solo los vehículos pesados para estimar la cantidad de sollicitaciones que afectaran al camino durante su vida de servicio. Para el diseño de los ejes equivalentes acumulados se debe contar con los siguientes parámetros:

- Periodo de diseño estructural.
- TMDA y tasa de crecimiento.
- Estratigrafía de carga de vehículos pesados.

a) Periodo de diseño estructural

El periodo de diseño estructural corresponde al periodo en el cual el pavimento construido debe proveer un adecuado nivel de servicio que asegure movilidad, accesibilidad y seguridad considerando solo la conservación rutinaria. Para lo anterior es indispensable que el pavimento posea estabilidad mínima de conservación.

b) TMDA y tasa de crecimiento

La estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural de pavimentos, primero porque no es muy usual contar con buenos registros de tránsito en este tipo de vías, segundo porque normalmente presentan importantes variaciones estacionales de tránsito y tercero debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del futuro flujo vehicular una vez realizados los mejoramientos de estándar del camino.

La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de bajo volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito. Si bien existen casos especiales en que este aspecto se transforma en un problema real, los estudios internacionales realizados en general no consideran este efecto significativo, debido a que la tasa de crecimiento tiende a estabilizarse en los años posteriores al cambio de estándar.

c) Estratigrafía de carga

La estratigrafía de carga permite definir cuál es la real influencia que tiene cada tipo de vehículo sobre las sollicitaciones totales de tránsito representadas por medio de los ejes equivalentes de tránsito. El peso de eje estándar para el cálculo de los ejes equivalentes de diseño (EEq) está definido en 80KN.

Para efectos de cálculo los ejes equivalentes se definen dos tipos de estratigrafía:

- Estratigrafía para caminos de tránsito liviano (Eliv): utilizada en caminos con tránsito liviano y con un porcentaje menor a 15% de buses y camiones de dos ejes, con presencia casi nula de camiones de más de dos ejes. esta estratigrafía está

asociada a caminos por los cuales transitan automóviles y vehículos pesados de servicios básicos.

- Estratigrafía para caminos de tránsito pesado (Epes): utilizada en caminos con una variedad de vehículos pesados, que poseen vehículos de dos ejes o más de dos ejes. Esta estratigrafía está asociada a caminos en que el flujo de tránsito es compartido por vehículos livianos de servicio y camiones asociados a operaciones industriales, agrícolas ganaderas, forestales y mineras.

d) Metodología para la estimación de los ejes equivalentes de diseño

Para la determinación de los ejes equivalentes de diseño, se debe seguir el procedimiento descrito a continuación:

- Definir el periodo de diseño.
- Estimar el número de vehículos pesados que transitan por el camino en un sentido (buses, camiones de dos ejes y camiones de más de dos ejes).
- Definir la tasa de crecimiento de los vehículos.
- Definir el tipo de estratigrafía de carga que poseen los vehículos pesados que transitan o transitarán por el camino en estudio.

6.1.3. Evaluación de la capacidad de soporte

La capacidad de soporte debe ser evaluada utilizando cualquiera de las técnicas normalizadas de uso habitual en la ingeniería de caminos, los procedimientos comúnmente utilizados son:

- Clasificación de suelos realizados por medio de los sistemas de clasificación AASHTO y USCS, utilizando correlaciones presentadas.
- Calicatas y medición de CBR en laboratorio.
- Cono de penetración dinámica (CPD).
- Viga benkelman.
- Deflectometría de impacto (FWD).

Se recomienda la utilización de los tres últimos procedimientos ya que permiten repetir las mediciones con mayor frecuencia a lo largo del eje del camino, con la ventaja de contar con la mayor información para la tramificación del proyecto. Entre estos tres últimos equipos, el cono de penetración dinámica presenta ventajas adicionales que lo hacen recomendable en comparación con los métodos de deflexión.

6.1.4. Clima

En la concepción de un pavimento, para una unidad homogénea de diseño, interesa conocer:

- Temperatura: que influye en los módulos dinámicos de las capas asfálticas, y en los pavimentos rígidos, participa en los métodos de construcción y en el dimensionamiento de las juntas.

Por otra parte las temperaturas bajas pueden producir hinchamiento en algunos tipos de suelos llamados heladizos. Este fenómeno se debe resolver modificando la estructura del suelo heladizo con algún aditivo químico o construyendo sobre algún terraplén, en donde el espesor mínimo de terraplén lo determina la penetración de la helada.

- Agua: Es un parámetro muy crítico, ya que es definitivo en el comportamiento de las estructuras de pavimento. se debe tener en cuenta para la valoración de obras de drenaje y de sub-drenaje y además tiene otras incidencias, como por ejemplo, la elección del tipo de mezcla asfáltica y tipo de pavimento (pavimento rígido para zonas muy lluviosas); tiene otras incidencias, como influir directamente en el bombeo de las capas granulares y en los cambios volumétricos de sub rasantes expansivas, como también, en la contaminación de la sub base a causa del ascenso de los niveles freáticos.

Junto con la temperatura y el agua, se debe tener en cuenta:

- ✓ Topografía de la zona.
- ✓ Condiciones regionales de humedad relativa, presión atmosférica, viento, entre otras.

6.2. Métodos de dimensionamiento

Los métodos de diseño de pavimentos, dependen de la práctica de construir pavimentos fuertes para resistir el efecto combinado de cargas y agua. Cualquiera de ellos no siempre toma en cuenta los efectos potenciales de destrucción que tiene el agua dentro de la estructura de pavimento; por lo cual se hace énfasis en la necesidad de excluir el agua del pavimento y proveer un rápido drenaje.

6.2.1. Métodos empíricos

En la mayoría de los países se utilizan programas de ordenadores para el estudio analítico de secciones estructurales de pavimentos de nueva construcción; no obstante, en muchos de ellos la normativa vigente para su dimensionamiento se apoya en catálogos de secciones tipificadas o ábacos, que se basan no solo en criterios experimentales obtenidos en ensayos sobre secciones reales de carreteras o en laboratorio, sino que también se apoyan en hipótesis analíticas y han sido comprobados con programas de cálculo analítico.

El motivo de que se sigan utilizando los métodos empíricos a pesar del creciente uso de los analíticos, es la conveniencia que el proyectista pueda concentrar sus esfuerzos en la selección adecuada de los materiales existentes en las proximidades de la obra a realizar, sin tenerse que dedicar al cálculo, tarea que a veces tiende a alejar de la realidad.

A los métodos empíricos de dimensionamiento se les puede criticar que no se adaptan con facilidad a las amplias casusas con la que se puede encontrar un proyectista. Sin embargo, conviene tener en cuenta que los métodos empíricos están basados en amplias experiencias. Dado que estas experiencias son fundamentalmente locales, no es recomendable aplicarlos indiscriminadamente en ámbitos distintos de aquel en que se concibieron, ya que las adaptaciones del tránsito, características y especificaciones de materiales, factores climáticos, etc. pueden ser muy difíciles de realizar.

6.2.2. Metodología general

El dimensionamiento de pavimentos es sensiblemente similar, pudiendo distinguirse las siguientes etapas:

a) Establecimiento del período de proyecto o de servicio del pavimento (10 a 40 años), al final del cual se llegaría a un grado de deterioro predeterminado.

b) Determinación de los datos de entrada

- Características del suelo de la explanada (CBR, E, v, etc.).
- Tránsito del proyecto.
- Condiciones locales y estacionales.

c) Determinación de la solución o soluciones, mediante una sistemática propia de cada método: ábacos, nomogramas, tablas o catálogos de secciones estructurales.

Cuando como solución se determinan espesores de capas del pavimento, estos pueden venir expresados de dos formas:

- Espesor total ficticio del pavimento, usando un solo material tipo (material granular o mezcla bituminosa) Estos espesores ficticios se transforman mediante unos coeficientes de equivalencia, en espesores de capas reales formadas por los materiales disponibles.
- Combinaciones ya estudiadas de diversos materiales con espesores diferentes.

d) En los métodos que parten de espesores ficticios usando un solo material, se suele necesitar un ajuste final de las secciones proyectadas, mediante la aplicación de una serie de limitaciones o recomendaciones propias de cada método.

Los procedimientos mecanísticos se referirán a la capacidad de traducir los cálculos analíticos como respuesta del pavimento a su funcionamiento. El funcionamiento para la mayoría de los procedimientos usados, se refiere a las señales físicas como el agrietarse o rajarse.

Los procedimientos mecanísticos, están basados, considerando que los pavimentos pueden ser modelados como múltiples capas elásticas o como estructuras visco-elásticas; asumiendo que los pavimentos se pueden modelar de esta manera, es posible sobre una fundación elástica o visco-elástica, calcular los esfuerzos, tensiones o deflexiones (debido a las cargas y/o tránsito) en cualquier punto adentro o debajo de la estructura de pavimento.

La metodología de diseño incorporada en 1972 en AASHTO para pavimentos flexibles, no incluía procedimientos mecanísticos; aunque el trabajo de soporte introduce estos conceptos para el posible uso futuro, se han utilizado indirectamente procedimientos mecanísticos para evaluar el daño estacional y para establecer coeficientes de drenaje y transferencia de carga.

6.2.3. Beneficio de los métodos analíticos

Los beneficios que se pueden derivar de la correcta aplicación de los procedimientos mecanísticos son:

- Confiabilidad mejorada para el diseño. Es la capacidad de diseñar un pavimento para un sitio específico, ya que métodos de diseño más confiables darán como resultado un uso óptimo de los recursos disponibles.
- Capacidad de predecir tipos específicos de fallas. Es la capacidad de predecir tipos específicos de fallas, como ejemplo: grietas, defectos, rajaduras, etc. Los sistemas de administración de pavimentos necesitan de la capacidad de predecir la ocurrencia de fallas con el objeto de minimizar los costos de mantenimiento y rehabilitación.
- Capacidad de extrapolar resultados de campo y laboratorio. es la capacidad de extrapolar de datos de campo o laboratorio, proyecciones del comportamiento de un diseño, antes de hacer a escala completa un proyecto de demostración, ya que un proceso estudiado ahorra dinero y tiempo eliminando gastos innecesarios.

Otros beneficios que resultan del desarrollo de procedimientos mecanísticos, se resumen así:

a) Estimación de las consecuencias derivadas de nuevas cargas deben ser evaluadas, por ejemplo el efecto perjudicial de incrementar cargas, alta presión de las llantas, ejes múltiples, etc. pueden ser modelados usando métodos mecanísticos.

b) Mejor utilización de los materiales disponibles pueden ser estimados, por ejemplo el uso de materiales estabilizados en pavimentos rígidos y flexibles, que pueden ser simulados para un futuro funcionamiento.

c) Mejorar los procedimientos para una evaluación prematura de fallas pueden ser desarrollados o a la inversa, para analizar por qué algunos pavimentos exceden sus expectativas de diseño; en efecto, mejores técnicas de diagnóstico deben ser desarrolladas.

d) Señales de envejecimiento deben ser incluidas en el funcionamiento, por ejemplo: asfaltos que endurecen con el tiempo y que en su turno aparecen efectos de grietas por fatiga y rajaduras.

e) Efectos estacionales como el deshielo, pueden ser incluidos para estimaciones de rendimiento.

f) Consecuencias por la erosión de la sub base bajo los pavimentos rígidos pueden ser evaluadas.

g) Mejores métodos pueden ser desarrollados para evaluar a largo plazo, los beneficios de mejorar el drenaje en la sección de la carretera.

6.2.4. El método AASHTO

Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna, además de incluir experiencias de otras dependencias y consultores independientes.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un "número estructural SN" para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido.

Sus parámetros de diseño consideran los siguientes elementos:

- W18. Ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la

metodología original de AASHTO. Solamente se aconseja que para fines de diseño en "etapas o fases" se dibuje una gráfica donde se muestre año por año, el crecimiento de los ejes acumulados (ESAL) vs tiempo, en años, hasta llegar al fin del período de diseño o primera vida útil del pavimento.

También se debe mencionar el factor de distribución direccional, por lo general se considera 0.5, depende del número de líneas en cada dirección, va desde un valor de 100% para una sola línea hasta un 50 a 75% para cuatro líneas o vías.

- Zr. Desviación estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural. Este valor depende del grado de confiabilidad asignado para el tipo de vía, el cual está en función de si es urbana o rural, y si es interestatal, arteria principal, vía colectora o vía local, por lo que el parámetro va desde un valor de 99,9 hasta 50.
- So. Desviación estándar total; va desde 0.30-0.45 para pavimentos rígidos, hasta 0.40-0.45 para pavimentos flexibles.
- Δ PSI. Diferencia entre la serviciabilidad inicial (Po) y la final (Pt).

Serviciabilidad inicial.

Po = 4.5 para pavimentos rígidos.

Po = 4.2 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final.

Pt = 2.5 ó más para caminos principales.

Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor.

- Mr. Módulo resiliente de la subrasante (psi). Debido a que en muchos casos no se cuenta con los equipos necesarios para calcular este módulo, se puede recurrir a las siguientes correlaciones desarrolladas por la misma AASHTO:

$$Mr = 1500 \times CBR \text{ para } CBR < 10\%.$$

$$Mr = 3000 \times CBR^{0.65} \text{ para } CBR \text{ de } 7.2\% \text{ a } 20\%.$$

$$Mr = 4326 \times \ln CBR + 241 \text{ para suelos granulares.}$$

- SN. Indica la capacidad estructural requerida, que es el indicador del diseño final por medio del cual se determina el espesor a utilizar en la subbase, base y carpeta. Utilizando todos los datos anteriores se recurre a cartillas específicas de la AASHTO que determinan el número SN en función de las desviaciones estándar, la serviciabilidad y el módulo resiliente.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3$$

En Donde:

- ✓ a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.
- ✓ m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje para base y subbase.
- ✓ D_1, D_2, D_3 son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y sub base.

Esta fórmula tiene muchas soluciones, en función de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante, existen normativas que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes, por efecto de las capas superiores de mayor resistencia.

En el método se incluyen diversos ábacos que permiten una estimación de los valores a partir del módulo de elasticidad del material o bien a partir de parámetros empíricos (CBR para materiales granulares, estabilidad Marshall para mezclas bituminosas, etc.).

En todo caso el método AASHTO puede resultar de utilidad cuando en un país se carece de una suficiente experiencia acumulada. Sin embargo el reducir el comportamiento estructural de un firme a un ártico número solo puede aceptarse como una primera aproximación, pues si no se respetan las limitaciones constructivas y estructurales, puede conducir a soluciones inadecuadas.

CAPÍTULO III

3.- DIAGNÓSTICO

3.1.- PARQUE AUTOMOTOR

Si bien en el tráfico que hay en San José de Pocitos no es considerable, se resalta que en los últimos años éste ha sufrido un mínimo incremento, debido a diversos factores, como el asfaltado de todas las calles del pueblo.

En si el trafico de la zona es variable no se puede aseverar a ciencia cierta el comportamiento que vaya a tener este en el transcurso del tiempo, el principal motivo de este fenómeno es el factor económico ya que al ser frontera el movimiento en el lugar depende de la situación económica que atraviesen los Países Bolivia y Argentina, pues el comercio de exportación e importación esta netamente relacionada a la situación económica binacional.

3.2.- TIPOS DE VEHÍCULOS

Actualmente en la localidad de Pocitos, existen tipos muy variados de vehículos.

En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de de vehículos de proyecto los vehículos ligeros o livianos y los vehículos pesados, clasificados estos en camiones flotas y autobuses. La denominación de los vehículos de proyecto esta en función de la distancia que existe entre los ejes.

Vehículos livianos

- Motocicletas
- Vagonetas y taxis
- Camionetas y jeeps





Vehículos medianos

- Camión
- Micros
- Onibuses



Vehículos Pesados

- Camiones con remolque
- Camiones sin remolque
- Flotas de transporte internacional

TABLA3.1 DE TIPO DE VEHICULOS

TIPO	CLASE	DESCRIPCION	DEFINICION
VEHICULO LIVIANO	Motocicletas		Es un medio de transporte que se usa en algunos casos de forma comercial, pero por lo general es de transporte particular.
	Vagonetas Taxis		Es de uso laboral utilizado para el transporte de personas y cargas específicas soportables por este motorizado, es más de uso público que particular.
	Camionetas		Este transporte es de uso laboral netamente utilizado de forma particular para el traslado de un lugar a otro.
	Furgoneta Particular		Usado como transporte particular familiar empleado generalmente para viajes interprovinciales o departamentales e internacionales.

VEHICULO MEDIANO	Micros		Transporte publico que realiza viajes a las diferentes comunidades del lugar.
	Camiones de transporte pesado		Transporte netamente comercial que hace servicios de transporte de material como también diversos artículos para satisfacer las comunidades.

TIPO	CLASE	DESCRIPCION	DEFINICION
VEHICULO PESADO	Flotas		<p>Medio de transporte netamente de personas las cuales realizan sus servicios diariamente del traslado en este caso solo transporte internacional.</p> <p>Generalmente son panorámicas semicamas y buscamasleyto</p>
	Camiones de Servicio c/s remolque		<p>Transporte comercial con contenido de carga en toneladas, transporte que realiza envío de productos comerciales, gasolina, remolques.</p> <p>Con estos se realiza el comercio de gran escala y en ciertas horas el transito de este es alto.</p> <p>Cisternas ,termos, de trasporte en toneladas</p>

3.3.-PESOS Y DIMENSIONES.- Las limitaciones legales relativas a pesos se refieren a pesos totales de vehículos cargados y cargas máximas por eje.

CUADRO N° 3.1 PESOS Y DIMENSIONES DE LOS VEHICULOS

CLASE	DIMENSIONES			RADIO DE GIRO MÍNIMO m	TARA	CARGA MAX Kg	POTENCIA CV	VELOCIDAD MAX Km/Hra
	LARGO m	ANCHO m	ALTURA m					
Coches								
Pequeños	3,00- 3,50	1,30- 1,40	1,34-1,35	4,50-5,00	600- 400		20-30	100-120
Medios			1,35-1,40	5,00-5,50			60-90	140-160
Grandes	3,60- 4,40	1,50- 1,60	1,35-1,50	5,50-6,00	900- 1000		90-150	160-200
	4,50- 4,80	1,70- 1,80			1200- 1500			
Furgonetas	4,00- 4,80	1,60- 2,00	1,80-2,00	5,00-6,00	800- 1400	800- 2000	40-60	80-100
Autobuses	10,0- 16,0	2,50	3,00	1000- 1200	6000- 9000		120-200	80-100
Camiones (rígido) 2 ejes								
Pequeños	5,00- 6,00	2,10- 2,30		5,50-6,50	1000- 2500	1500- 5500	50-80	80-100
Medios				6,80-7,50			90	80-90

Grandes	6,00- 6,20	2,40- 2,50		8,00- 10,00	3000- 3500	7000- 8000	125-200	80-90
3 ejes	7,50- 7,80	2,40- 2,50		10,00	4000- 6000	9000- 1400	200-250	80-90
4 ejes	8,00- 10,00	2,40- 2,50		11,00	7500- 6000	18000- 18500	260	80
	11,00	2,50			8000- 9000	26000		

FUENTE CARAC. TÉCNICAS DE LOS VEHICULOS

3.3.1.-PESOS Y DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS PESADOS EN EL PROYECTO.-

DE LAS DIMENSIONES

Camión Simple 14,00 m.

Acoplado 8,60 m.

Camión con acoplado 20,00 m.

Camión con semirremolque 18,15 m.

Camión con semirremolque y acoplado 20,50 m.

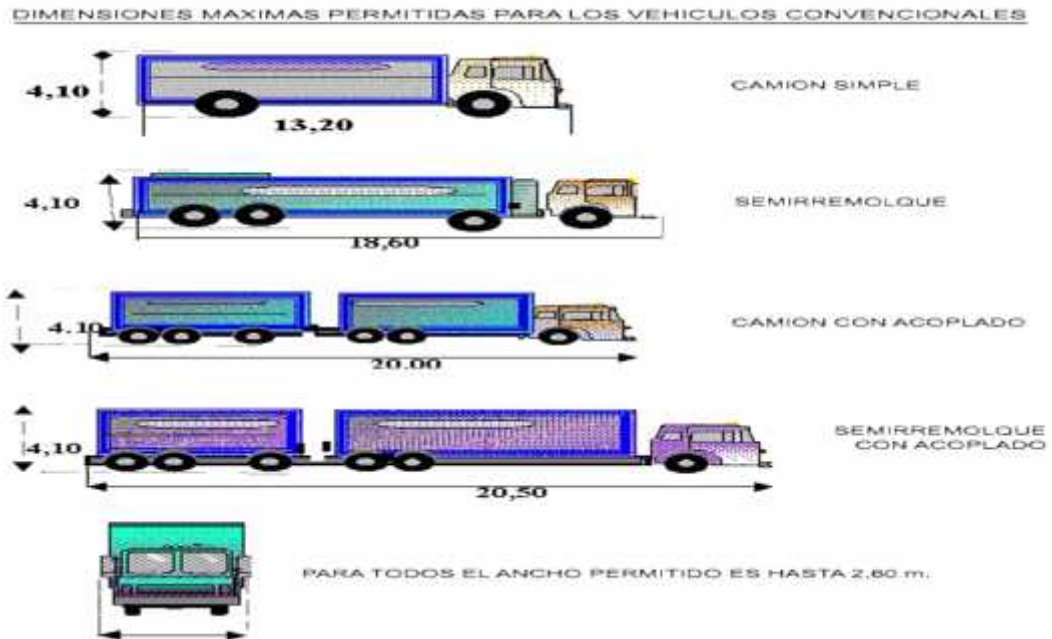
Ómnibus de larga distancia 14,00 m.

Ómnibus articulado 18,15 m.

Ómnibus urbano 13,20 m.

Ancho Máximo 2,60 m.

Alto Máximo 4,10 m.



Dimensiones: 15m (largo)
por 4.5m (altura)



3.4.- EVOLUCIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR.-

El parque de vehículos en la población de Pocitos creció a un ritmo lento donde los factores que condiciona la evolución del tráfico son la situación económica que estén atravesando Bolivia y Argentina.

Los factores socioeconómicos básicos en la evolución del tráfico son las siguientes:

- Nivel de motorización.
- Población, en cuanto a un valor absoluto, distribución y densidad.
- Nivel de renta.
- Uso del suelo

3.4.1.- TIPOS DE VEHÍCULOS EN LA POBLACIÓN DE POCITOS.-

Los vehículos más numerosos de la población de Pocitos, son las camionetas y vagonetas usadas y último modelo por los pobladores y por comerciantes de la zona, las vagonetas taxis, los camiones medianos que se usan para flete o traslado de mercadería, los micros que conectan Yacuiba y con Barrio Nuevo, las movilidades provenientes del exterior del País, y lo más resaltante son los vehículos pesados que ingresan desde Argentina y los que entran desde nuestro País.

Lo importante para el presente estudio es conocer la cantidad y porcentaje de los vehículos, sobre todo de los vehículos denominados pesados, puesto que estos afectan significativamente la capacidad de la infraestructura y la seguridad vial.

Reporte General del Empadronamiento Rubro Vehicular (2009) en el último dato que se dispone acerca de la cantidad y tipo de vehículo.

CUADRO 3.2 REGISTRO VEHICULAR GESTIÓN 2009

ESTADISTICAS DEL PADRON PMP, GOBIERNO MUNICIPAL DE POCITOS

TIPO	DETALLE	TOTAL
1	AUTOMOVIL	400
2	JEEP	280
3	VAGONETA	168
4	CAMIONETA	122
5	CAMION	80
6	OMNIBUS	10
7	MICRO	150
8	MOTOCICLETA	200
9	MICROBUS	90
TOTAL		1500

En total son 1500 los están legalmente Padrón Municipal, pero elevado de vehículos,

vehículos los cuales registrados dentro del hay un porcentaje que no pagan los

impuestos en Pocitos puesto que estas movilidades son generalmente de los comerciantes y personas extranjeras y los impuestos de los mismos lo pagan ya sea en Tarija o en Yacuiba. El tipo más usual de movilidades pesadas pertenecen a las petroleras y a las de servicios de transporte de comercio internacional los cuales usan la avenida de Pocitos afectando considerablemente en las mediciones aforadas ya que estos tienen como única alternativa de paso por el pueblo y éste varía de acuerdo a varios factores externos.



3.5.- TRAZO URBANO

3.5.1.- GENERALIDADES.-

La localidad de Pocitos no cuenta en la actualidad con calles bien definidas y demarcadas, pero están totalmente asfaltadas.

Pocitos tiene una estructura cuadrangular referida a la conformación de sus manzanas, cuenta con dos calles de importancia, que son las principales colectoras la calle Chuquisaca y la Av. Tarija las cuales se unen a una avenida principal (La avenida Bolivia) que sirve de comunicación con la ciudad de Yacuiba y la población de Barrio Nuevo, se considera esta avenida como interés nacional ya que une al país vecino con los centros de consumo nacional. Esta avenida permite un tráfico a larga distancia, fue recientemente reconstruida y ampliada y en la actualidad sirve como lugar de parqueo y de espera para los vehículos pesados que esperan cruzar hacia la Argentina.



3.3. AV. TARIJA RESCIENTEMENTE REMODELADA

3.5.2.- RED URBANA Y SU DESARROLLO.-

Al sureste de Bolivia, en el límite del país y en el estrecho margen territorial flanqueado por afluentes que hoy son las quebradas internacionales Sauzal y Aguas Blancas, su avenida principal Av. Tarija, su calle principal es la Calle Chuquisaca tiene una estructura de demarcación definida tanto de manzanos como de las calles según planos los cuales se tiene en el catastro. Se puede apreciar que en la comunidad predominan casas y edificios que son objeto de alquileres para negocios

Actualmente, se ve que la población tiende por el crecimiento puesto a medida que el tiempo se puede apreciar que hay un mayor asentamiento por parte de la gente del interior del país.

Lo que es motivo de desorden y de accidentes de tránsito son los comerciantes que han llegado a ocupar la acera e incluso la calzada, y no se pone freno a esto.



3.4. COMERCIO APOSTADO EN LAS ACERAS DE LA AV.TARIJA



3.5. COMERCIANTES APOSTADOS EN LA CALZADA

Hoy en día la Población de Pocitos esta totalmente urbanizada vale decir en un 99%, todo esto debido a que su extensión geográfica no es de gran tamaño. Más al contrario en los últimos años geográficamente Pocitos ha ido perdiendo territorio urbano por diferentes factores como ser:



3.6. QUEBRADA INTERNACIONAL



3.7. HITO VI-12

El desborde de la quebrada internacional, el avasallamiento de tierras con el movimiento de Hitos por parte del País Argentino el último hito removieron fuer el hito VI-12 unos 200 metros hacia el territorio boliviano.

Es una zona que si bien necesita soluciones al tránsito de tráfico pesado, estas soluciones son de elevadísimo costo económico, pero entre las más factibles está la construcción de otro puente internacional, exclusivo para el tráfico pesado y el comercio.



3.8. PUENTE DE INTERNACIONAL



En la actualidad, este proyecto es totalmente un planteamiento verbal de autoridades de la zona, pero implica un proyecto de gran magnitud en una zona fronteriza, no tanto por los motivos técnico económicos si no por los motivos políticos y diplomáticos.

Por parte de la Argentina hay un proyecto serio que es la construcción el nuevo puente internacional en la zona de El Chorrillo, financiado por los argentinos y que creará las condiciones para un buen control aduanero.

3.6.- PROBLEMÁTICA DEL TRANSPORTE.-

Los vehículos pesados de transporte y carga han cambiado, pero deben seguir circulando por las vías antiguas es por esta razón es que se debe equilibrar toda esta situación.

El vehículo actual requiere otras condiciones de vías para poder circular con toda la comodidad, al carecer de esta condición se genera el desequilibrio. En Pocitos, hace 15 años atrás no se tenía el problema de la circulación del tráfico vehicular, y el direccionamiento de las calles satisfacía las demandas debido a que los vehículos pesados no tenían las características y dimensiones actuales, si bien las movibilidades se han cambiado y modernizado, el trazo urbano sigue siendo el de años atrás.

3.6.1.- PLANES DE DESARROLLO.-

3.6.2.-SITUACIÓN ACTUAL

No existe una planificación general de la población de Pocitos, en lo referente a un plan de regulación de su tráfico vehicular, y se desconoce si existe un plan global que haya tenido aplicación dentro de su red vial urbana, y lo más probable es que no existió.

3.6.3.-ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL.-

El análisis actual se realiza con datos recientes, pero en esta ocasión resulta complicado hacer una proyección del comportamiento del tráfico en el tiempo, pues si bien en los últimos años éste ha crecido de manera mínima gracias al reciente asfaltado de casi todas las calles de la población, se ha podido verificar que el tráfico en Pocitos está sujeto a

distintas variables, como ser el mas importante la situación económica comercial de los Países de Bolivia y Argentina.

En la actualidad, el tráfico mantiene un comportamiento constante salvo algunas temporadas de movimiento económico como ser las fiestas de fin de año.



3.9. ACTUALIDAD DEL TRAFICO EN POCITOS

3.7.- TRAZADO DEL CAMINO O CALLE

2.7.1.-PLANTA

El camino o calle constituye una banda longitudinal, que será definida mediante la proyección en planta de su eje longitudinal, el alzado de este eje y una serie de secciones transversales.

Los elementos del alzado y de la planta del camino se proyectan de modo que los vehículos puedan recorrerlos con una velocidad adecuada con arreglo a las normas establecidas.

En general la población de Pocitos no cuenta con rampas ni con pendientes muy pronunciadas las cuales están alrededor de de 0-1%.

Las calzadas son de dimensiones bastante aceptables, pero el problema se genera con el tránsito de vehículos pesados sobre todo en la avenida Tarija, ya que si bien ésta es ancha no admite ser de doble vía a la hora de circulación de los vehículos pesados.

3.7.2.- SECCION TRANSVERSAL.-

La sección transversal de las calles esta integrada por:

- Calzada, que es la zona de la carretera destinada normalmente a la circulación de los vehículos.

- Mediana, es la zona longitudinal no destinada a la circulación cuyo ancho pueden variar entre los amplios límites.

La mayor parte de las calles están formadas por una sola calzada por la que circulan vehículos en uno y en dos sentidos opuestos los anchos de las calles varían de 6.90 a 8.30m.

3.7.3 DIMENSIONES DEL CAMINO O CALLE ADECUADAS PARA LA CIRCULACION DE VEHICULOS PESADOS

Como se muestra en las graficas 3.2 y 3.3, estas son las dimensiones que deben tener los vehículos pesados para su circulación, en el caso de Pocitos ninguna calle o intersección tienen las dimensiones adecuadas, por eso no se hallan alternativas de desvío del tráfico pesado y esto obliga a que los vehículos pesados circulen únicamente en forma recta.

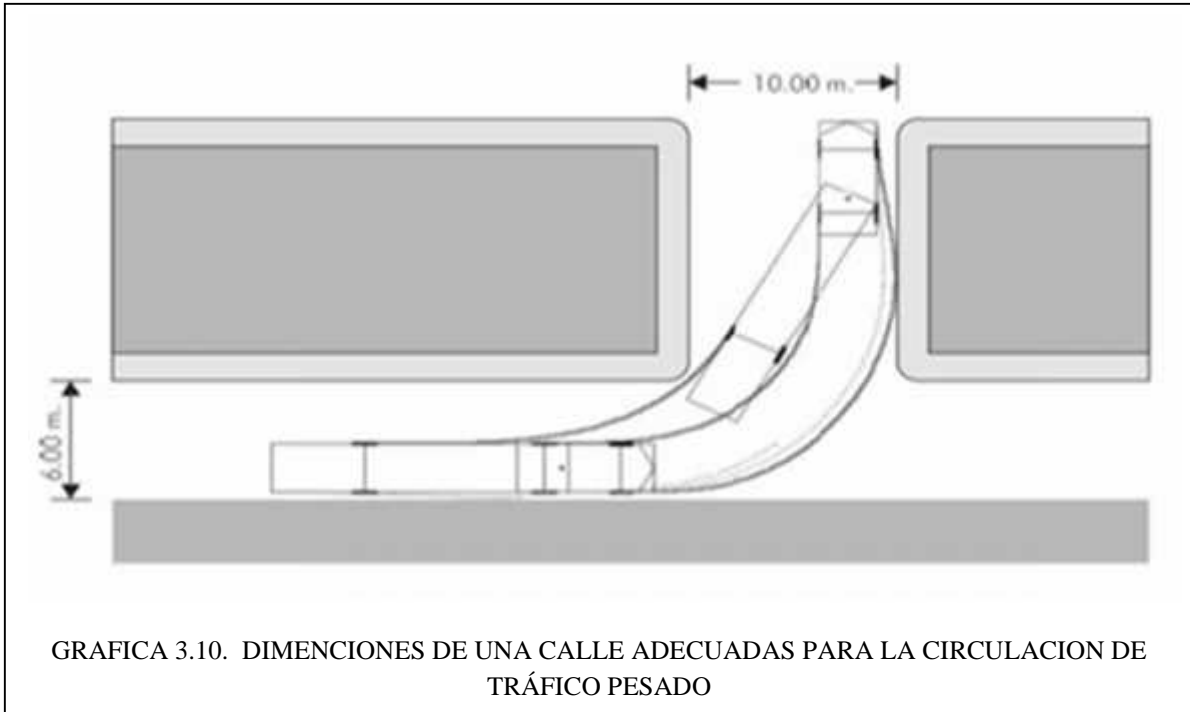
RADIOS DE GIRO

RADIOS MINIMOS DE GIRO DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)

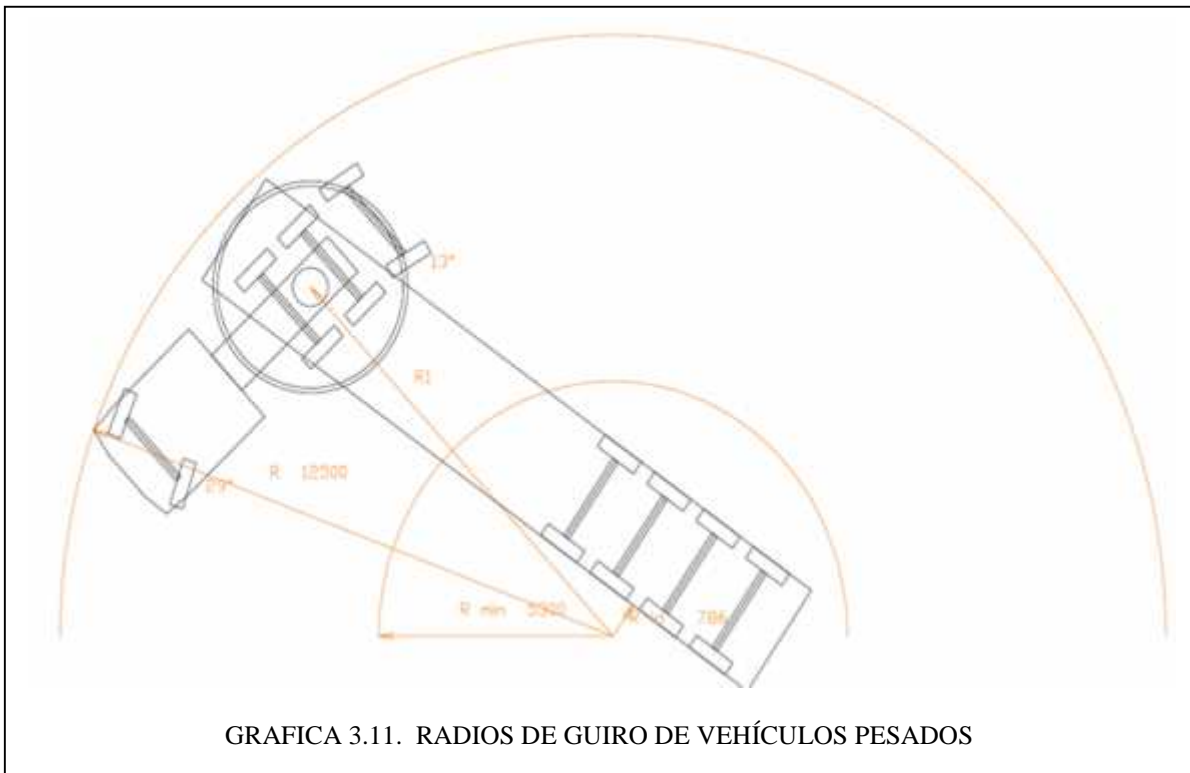
Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 22

TABLA 3.2 RADIOS DE GIRO MINIMOS



GRAFICA 3.10. DIMENSIONES DE UNA CALLE ADECUADAS PARA LA CIRCULACION DE TRÁFICO PESADO



GRAFICA 3.11. RADIOS DE GUIRO DE VEHÍCULOS PESADOS

3.8.- ORDENAMIENTO DE TRÁFICO Y REGULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN.-

Una de la principal actividad del presente Estudio de Tráfico y de la Ingeniería de Tráfico es la ordenación del mismo y la regulación de la circulación, siendo la actividad primordial de esta actividad, la obtención del mejor rendimiento posible de las infraestructuras viarias existentes.

Se denomina ordenamiento de tráfico al conjunto de medidas y actuaciones concretas y específicas para cada caso que, sin modificar sustancialmente una infraestructura vial, tienden a mejorar su explotación viaria.

Los objetivos básicos de un ordenamiento de tráfico:

- a. Aumento de la seguridad vial.
- b. Mejora del nivel de servicio.

La población de Pocitos no cuenta con un ordenamiento de tráfico actualizado, es mas ni siquiera cuenta con un mapa municipal actualizado, el único ordenamiento de tráfico que se hizo fue en el año 2000 y en la actualidad no hay un direccionamiento de calles en base a un estudio técnico y los principales inconvenientes se dan cuando circula el tráfico pesado.

3.8.1.- FORMAS Y MEDIDAS PARA ESTABLECER UN ORDENAMIENTO DE TRÁFICO.-

Las medidas de las cuales se adoptaron algunas dentro de la población de Pocitos, suelen ser muy diversas. Entre las medidas más utilizadas conviene citar:

- Facilidades de circulación en determinadas vías.
- Re direccionamiento de calles en tres distintas situaciones.
- Prohibiciones de giros
- Relocalización de la feria comercial del día sábado
- Prohibiciones de parada o estacionamientos y de carga y descarga.
- Establecimientos de itinerarios para transporte pesado o especial.

3.9.-REGULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN.

3.9.1.-SEGURIDAD VIAL.-

Dada la importancia del factor humano en los accidentes, su eliminación es prácticamente imposible y disminuir su frecuencia resulta cada vez más costoso.

Se considera accidentes de tráfico aquel en que, estando implicado un vehículo en movimiento, se produce en la vía pública, ocasionando daños materiales, heridos y muertos. La toma sistemática y el análisis detallado de todos los datos relacionados con los accidentes hace posible el adecuado estudio de las causas reales, lo que es fundamental para el estudio posterior de las deficiencias de la vía, de los vehículos y del comportamiento humano.

CUADRO 3.3. NUMERO DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA POBLACION DE POCITOS

POLICIA DE TRANSITO

Hechos de transito de semestre 2010

UNIDAD OPERATIVA DE TRANSITO

POCITOS

Según: Causa de accidente

CAUSA DE ACCIDENTES	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
Embriaguez	3	0	0	1	1	2	7
Falla Mecánica	1	0	0	0	0	0	1
Impruden. Conductor	2	3	1	0	0	0	6
Impruden Peatón	1	2	1	3	0	0	7
Estacionan peligroso	2	0	1	1	2	1	7
Exceso de velocidad	0	1	1	0	0	0	2
Mala Maniobra	1	2	1	1	2	1	8
Cruzar peligrosamente	0	1	0	1	0	0	2

No cumplir normas de transito	1	1	1	1	1	1	6
Encandilamiento	0	1	0	1	0	1	3
Otros	0	0	0	0	0	0	0
Total	8	6	2	3	4	4	49

Datos proporcionados por la Unidad Operativa de Transito

CUADRO3.4 CLASES DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA POBLACION DE POCITOS

POLICIA DE TRANSITO

Hechos de transito de semestre 2010

UNIDAD OPERATIVA DE TRANSITO

POCITOS

Según: Clases de accidente

CLASES DE ACCIDENTES	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
Colisiones	1	0	1	0	1	0	3
Atropellos	0	0	1	0	1	1	3
Choques a objetos fijos	1	0	1	0	0	0	2
Choque vehículo estacionado	0	1	0	1	0	1	3
Vuelcos	0	0	0	0	0	0	0
Embarrancamientos	0	0	0	0	0	0	0
Caída de pasajeros	1	0	0	0	1	0	2
Caída de motocicletas	0	0	0	0	1	2	3

Incendio de vehículos	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0	0
Remitidos al Min Publico	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	3	3	0	2	2	16

Datos proporcionados por la Unidad Operativa de Transito

CUADRO 3.5. CLASES DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO CON HERIDOS Y FALLECIDOS

Hechos de transito de semestre 2010

Según: Clases de accidente

HERIDOS Y MUERTES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TOTAL
Heridos	1	1	0	1	0	2	5
Fallecidos	1	0	0	0	0	1	2
Total	2	1	0	1	0	3	7

Datos proporcionados por la Unidad Operativa de Transito

3.9.2.- ANALISIS Y ESTUDIO

Revisados los datos de accidentes ocurridos en las distintas calles de la población de Pocitos, se debe relacionar con las características de la calle. El análisis de esta información permite detectar las zonas o puntos peligrosos (puntos negros, tramos negros, etc.) y establecer las causas generales o particulares de los accidentes, permitiendo realizar adecuadamente los estudios y mejorar o introducir en puntos específicos, imponiendo determinadas condiciones de seguridad a los vehículos etc.

1. Antecedentes

La carretera La Paz – Oruro, se inicia en la zona de Senkata (ciudad de El Alto) y concluye en el ingreso a la ciudad de Oruro (rotonda del Casco); tiene una longitud de 203,205 Km y se desarrolla sobre una topografía predominantemente llana, ondulada con algunos sectores localizados montañosos. La vía se encuentra entre las elevaciones de 3800 a 4000 msnm, en un clima relativamente seco típico de la zona altiplánica.

El tramo carretero La Paz - Oruro, atraviesa las provincias Murillo, Ingavi y Aroma del Departamento de La Paz, así como la provincia Cercado del Departamento de Oruro.

En su recorrido atraviesa poblaciones importantes como ser Achica Arriba, Villa Remedios, San Antonio, Cruce de Vilaque, Calamarca, Tholar, Ayo Ayo, Patacamaya, Sica Sica, Lahuachaca, Villa Esteban Arce, Cruce a Luribay, Belén, Kollpa, Konani, Panduro, Vila Vila y Caracollo.

El proyecto se inicia en la zona urbana de la ciudad de El Alto, al final de la Avenida 6 de Marzo en la zona de Senkata, y concluye al ingresar a la ciudad de Oruro, (Rotonda El Casco del Minero) en la progresiva 203+205.44.

El proyecto consiste en el mejoramiento y ampliación de la plataforma existente y en la construcción de una nueva vía, paralela a la anterior, de tal manera que ambas plataformas conformarán la Doble Vía La Paz – Oruro, con características aproximadas a una auto ruta, empleándose para su implantación una sección tipo rural en sectores no poblados y una sección modificada en los sectores en los que la vía atraviesa zonas pobladas (incluyendo los primeros 8 km que corresponden a la ciudad de El Alto).

El presente proyecto se ha dividido en tres tramos, de acuerdo al siguiente detalle:

TRAMO	PROGRESIVAS		LONGITUD (Km)	DESCRIPCIÓN	DEPARTAMENTO
	DE	A			
1	0+000	70+000	70.000	Senkata (Ciudad de El Alto) a Mantecani	La Paz
2	70+000	147+180	77.180	Mantecani – Lequepampa	La Paz
3	147+413.75	203+205.44	55.791	Lequepampa - Oruro (Rotonda del Casco)	Oruro

Tabla 4.1. División del proyecto por tramos.

Cabe hacer notar que este proyecto fue realizado en el tramo 1 el cual cuenta con dos Asociaciones contratistas y una de supervisión:

- PROINTEC – SGT (Supervisión)
- Asociación Accidental SANTA FE (Contratista), desde la progresiva 0+000 a la 49+000.
- Asociación Accidental COPESA(Contratista), desde la progresiva 49+00 a la 70+000.

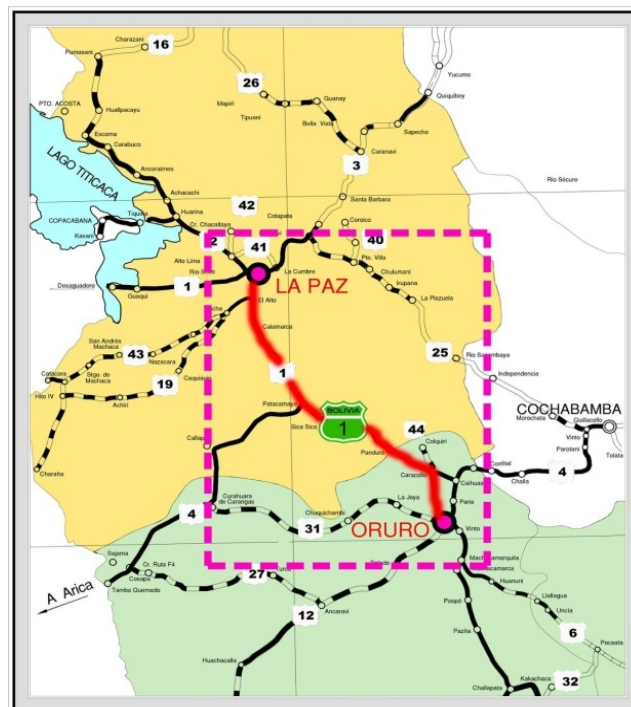


Figura 4.1. Plano de Ubicación Regional.

CROQUIS DEL TRAZADO DEL PROYECTO INCLUYENDO LA VIA EXISTENTE

Tramo 1: Progresiva. 0+000 (Senkata) Progresiva. 70+000 (Mantecani).

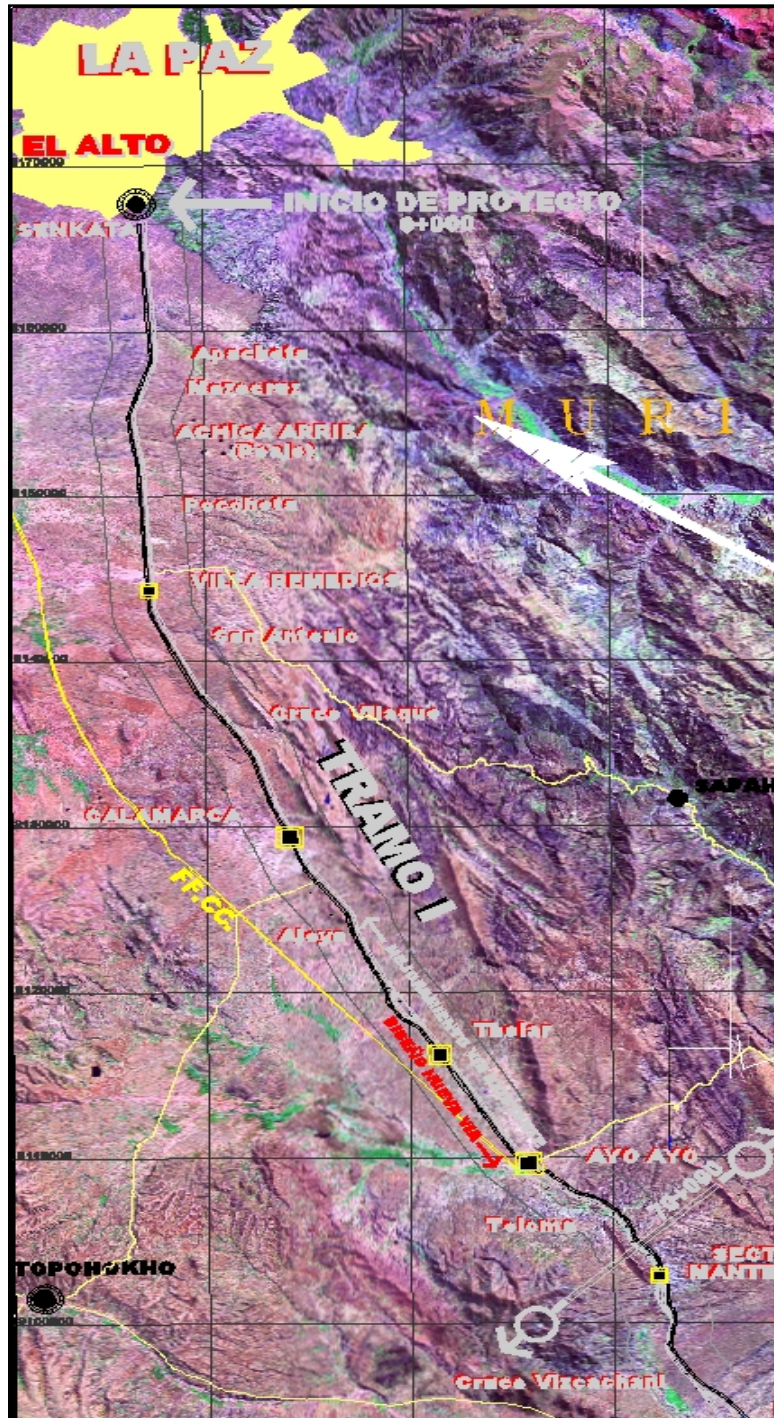


Figura 4.2. Tramo I.

Tramo 2: Km 70+000 (Mantecani) a Km 147+180(Lequepampa).

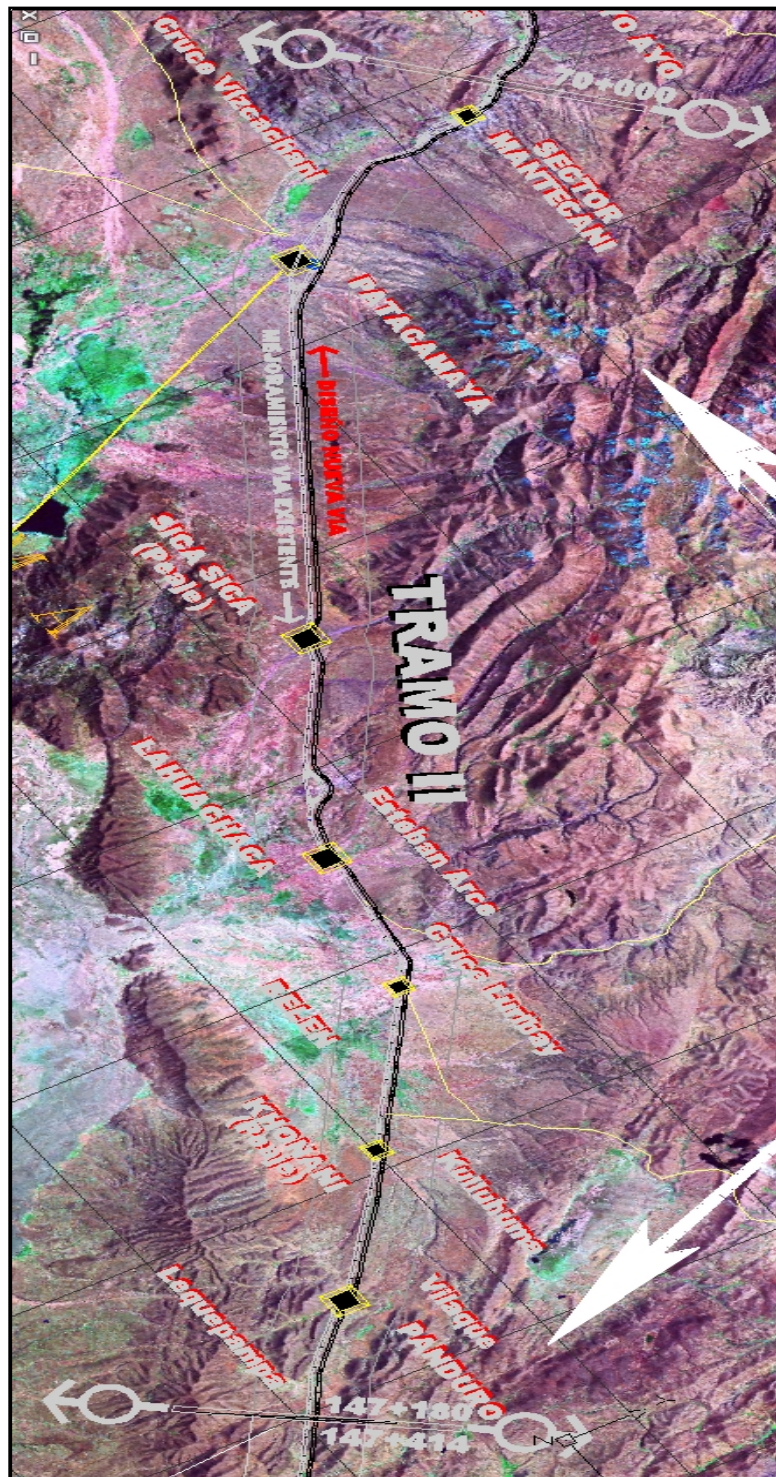


Figura 4.3. Tramo II.

Tramo 3: Prog. 147+413.75 (Lequepampa) a 203+205.44 (Oruro).



Figura 4.4. Tramo III.

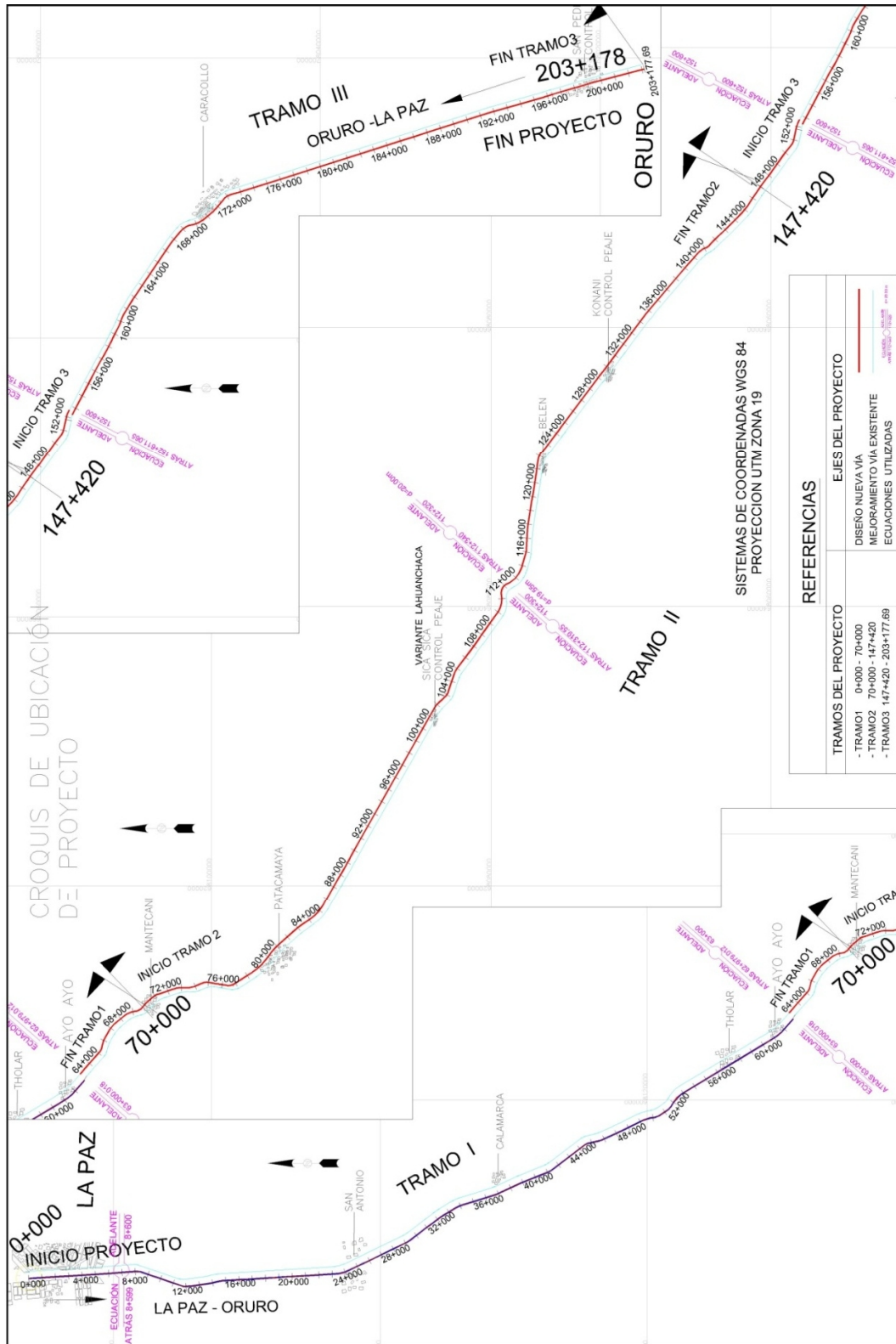


Figura 4.5. Croquis de ubicación del proyecto.

2. Descripción de la carretera

La carretera existente enlaza las ciudades de La Paz y Oruro. Es una carretera de dos vías pavimentadas y se encuentra en servicio. Cuenta con una plataforma bi-direccional con 9.00 metros de ancho, conformada por una superficie de rodadura pavimentada de 7.00 metros y con bermas de 1.00 metro de ancho a cada lado.

Su pavimentación data aproximadamente del año de 1971. Está emplazada sobre una topografía predominantemente llana (75%), en menor longitud ondulada (23%), y escasos sectores de montaña (2%). Se presentan diversas obras de drenaje transversal compuestas por alcantarillas metálicas, obras mixtas y puentes con longitudes mayores a 10 metros.

Al presente la vía requiere de un mejoramiento integral para aumentar su capacidad de servicio; y de esta forma satisfacer la demanda del tráfico vehicular que está en continuo crecimiento.

Esta carretera, al constituirse en el eje fundamental del corredor de integración Este – Oeste del país, permite acceder a importantes mercados a través de los puertos del Pacífico y el Atlántico con sus nexos con las repúblicas de Perú, Chile y Brasil. A la vez sirve de enlace directo entre la sede de gobierno y la ciudad de Oruro, centros productivos y turísticos muy importantes.

A continuación se describe la carretera existente por tramos definidos como de construcción:

Tramo I: Kilómetro 0.00 (Senkata) al kilómetro 70.00 (Mantecani).

Se caracteriza por una topografía que varía entre llana y ondulada, ocasionalmente se presentan sectores relativamente montañosas (Toloma –Mantecani).

Los primeros 8 km, corresponden a la prolongación del área urbana de la ciudad de El Alto; sector que cuenta con proyectos de urbanización en plena ejecución. El derecho propietario a ambos lados del largo del tramo es individual y el plan de desarrollo urbano de la ciudad de El Alto señala un ancho de 40 metros a cada lado del eje de la carretera

actual como derecho de vía. No obstante lo anterior, se ha verificado que en algunos sectores como Puente Vela y Cruce Ventilla no se cumplen con esta disposición.

Entre los kilómetros 1.5 a 5.2 aproximadamente se encuentra a la derecha de la plataforma, un canal abierto de 4 x 3 metros y aproximadamente 400 metros de longitud que está revestido con hormigón ciclópeo.

Por otra parte, la presencia de torres y postes de energía eléctrica así como de los conductos del sistema de telefonía instalados paralelamente a la vía, serán obstáculos que dificultarán al emplazamiento de la vía mejorada.

A partir de Apacheta (km. 8) hasta Mantecani (km 70), la plataforma existente se encuentra emplazada sobre una topografía ondulada y en varios sectores se ha verificado que no cumple la distancia mínima de visibilidad. Para el emplazamiento de una nueva vía paralela a la existente, no existen limitaciones mayores, salvo en algunas poblaciones con restricción de anchos útiles que varían desde 31.1 m. hasta 50.6 m.

La actual carretera atraviesa las siguientes poblaciones: Mazocruz, Achica (poblaciones dispersas), Achica Arriba (donde se encuentra instalada la primera estación de peaje), Pochota (oeste), Villa Remedios (este, conecta a la comunidad de Sapahaqui y al oeste con Ancara e Hichuraya), San Antonio (se prevé instalar una estación de pesaje bi-direccional), Cruce Vilaque (al oeste conecta con las comunidades de Copata, Colquencha, Merquirivi y Collana), Calamarca (al este se dirige a Sapahaqui y Caracato y al oeste otro camino hacia varias comunidades de la provincia de Pacajes . Más adelante un camino que vinculará hasta Hito XV frontera con la República de Chile), Ajoya (este), Tholar (conecta Urmiri al este y Collana al oeste, cuenta con servicios de hospedaje y alimentación), Ayo Ayo, (oeste conecta con la comunidad de Sullcavi, y al este con Caracato y la Provincia Loayza), Toloma y Mantecani son poblaciones dispersas con intensa producción agrícola ganadera, al contar con terrenos de cultivo con riego permanente.

Por otra parte, los ductos de YPFB, la presencia de torres y postes de la línea de energía eléctrica, así como los de telefonía instalados en ambos lados de la vía y los terrenos de cultivo con riego, ubicados muy próximo a la plataforma en el sector de Toloma y Mantecani, son obstáculos que condicionan el emplazamiento de la nueva vía.



Figura 4.6. Tramo actual (imagen1).



Figura 4.7. Tramo actual (imagen 2).



Figura 4.8. Capa Sub rasante de la carretera.

Tramo II: Kilómetro 70.00 (Mantecani) al kilómetro 152.62 (Vila Vila).

En este tramo predomina la topografía llana (98%) y ocasionalmente se presentan pequeños sectores ondulados y relativamente montañosos (Panduro), que en conjunto no superan el 2.00 %.

La actual vía atraviesa poblaciones importantes como ser: Patacamaya, que es la mayor población con actividades de carácter comercial y con vinculación internacional hacia Chile, a través de Tambo Quemado; Sica Sica con estación de peaje; Lahuachaca, cuya actividad principal es la feria agrícola – ganadera, que es efectuada semanalmente, en plena plataforma; Konani con una carretera que conecta a Quime y otras poblaciones; Panduro y Vila Vila ubicada cerca al límite departamental.

En estas y otras poblaciones pequeñas, existen limitaciones en el ancho útil para emplazar la doble vía; por ejemplo en Patacamaya la restricción en un sector alcanza a sólo 33 metros de ancho. Por otra parte la costumbre de realizar ferias semanales en plena carretera

con motivos diversos da lugar a ocasionales accidentes de Tránsito. En el caso de la población de Lahuachaca, su feria semanal aglutina una gran cantidad de personas de la región altiplánica, provocando un caos en la tráfico vehicular de la carretera e induciendo a accidentes vehiculares.

Otros obstáculos importantes tales como: a) el paso de animales sobre la carretera existente, b) cruce de los ductos de YPFB, c) tanques de agua elevados muy próximos a la vía, deben ser tomados en cuenta para la definición del alineamiento de la nueva vía.

De la misma forma que en el primer tramo, existen sectores con alineamiento vertical muy restringido en cuanto a la visibilidad al estar esta plataforma emplazada sobre topografía ondulada y de montaña. Esta situación se presenta en los sectores de Panduro y Lequepampa. En consecuencia, en el proyecto de la nueva vía y en el mejoramiento de la carretera existente se tomaran en cuenta estas deficiencias y se debe prever las mejoras necesarias.

Tramo III: Kilómetro 152.62 (Vila Vila) al Kilómetro 204.00 (Oruro).

La vía existente se encuentra emplazada en su totalidad sobre topografía llana, aunque existen pequeños sectores ligeramente ondulados. Atraviesa varias poblaciones en proceso de crecimiento como ser Huayrapata, Quemilla y Caracollo con importante crecimiento poblacional continuo. Ofrece diversos servicios como ser: a) estación de combustible, b) alimentación, c) hospedaje y d) talleres de mantenimiento, y se constituye en el punto de intersección con la carretera Cochabamba – Santa Cruz.

Desde Caracollo hasta el ingreso a Oruro, la vía existente se desarrolla en topografía completamente llana. La presencia de zonas bajas condicionará que la nueva plataforma sea necesariamente emplazada sobre terraplenes con alturas mayores a 1.5 metros, similar a la existente.

En cuanto al emplazamiento planimétrico de la nueva vía, no existen restricciones importantes que puedan obstaculizar este trazado, excepto en Caracollo, por las ferias semanales que se realizan en plena plataforma.

3 Control deflectométrico

3.1. Ejecución de controles

- 1) Los controles deflectométricos durante la construcción del pavimento se efectuarán sobre la superficie de la Subrasante, para la finalidad de este proyecto en el tramo 1 Kilómetro 0.00 (Senkata) al kilómetro 70.00 (Mantecani).
- 2) Los ensayos deberán efectuarse a lo largo de un eje longitudinal paralelo al eje de la vía y ubicado aproximadamente en la parte central de la carretera, tanto en el lado izquierdo como en el derecho.
- 3) Los ensayos de deflexiones se efectuarán empleando una viga Benkelman de brazo simple rebatible, que guarde una relación punta-pivote y pivote-vástago dial igual a 2:1 (analógica ver figura 4.9) o ya sea una de relación punta-pivote y pivote-vástago dial igual a 1:1 (digital ver figura 4.10); deberá estar equipada con un sistema de vibración interna accionada con baterías, y con un dial indicador diseñado especialmente para este tipo de ensayos, es decir, que sean capaces de dar las lecturas corregidas en forma interna, para la relación de brazos del equipo.



Figura 4.9. Viga analógica.

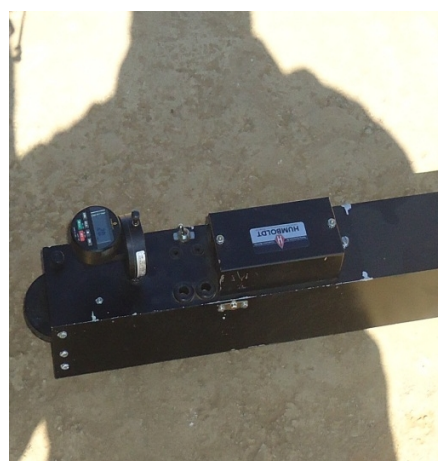


Figura 4.10. Viga digital.

- 4) Los ensayos para la medición de deflexiones con Viga Benkelman se efectuarán en forma igualmente espaciados a una distancia de 20 m, en cada carril. Cada ensayo consistirá en la ejecución de 6 lecturas para determinación de la deformada que adopta la superficie de la capa del pavimento, también llamada “curva de deflexión”, las que se efectuarán a 0, 20, 30, 40, 50 y 500 cm desfasadas del punto inicial de aplicación de carga (ver Figura 4.11). Los ensayos deberán efectuarse sobre progresivas que sean números enteros para la ejecución de proyecto se lo realizo a 20 m en algunos casos cada 40 m para avanzar más rápido, y siempre en las mismas progresivas ya sea en el lado derecho como el izquierdo.



Figura 4.11. Espaciamiento para lecturas.

- 5) Para la ejecución de los ensayos se empleará la carga estandarizada del eje trasero simple con llantas dobles, de un camión tipo volqueta, con un peso de 8,150 kg y 80 psi de presión de inflado. El tamaño de las llantas del vehículo será 11.00-20 o 12.00-20 de 16 lonas. El peso del eje trasero se alcanzará colocando una carga fija de peso no variable en el tiempo, sobre la tolva de la volqueta; el control del peso se efectuará empleando una balanza de plataforma para camiones, sobre la cual se estacionará solamente el eje trasero del vehículo, debiendo encontrarse el eje delantero fuera de la plataforma.

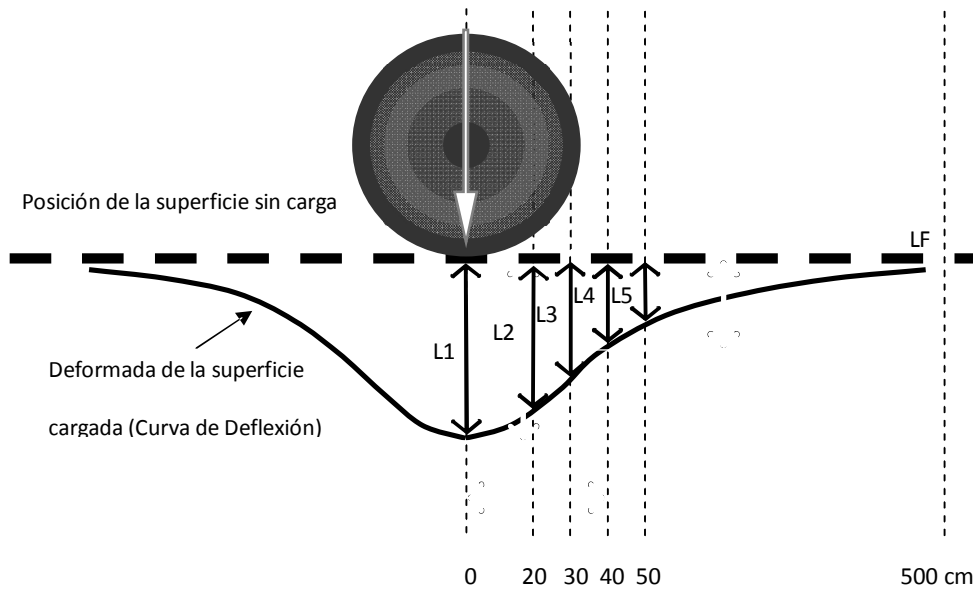


Figura 4.12. Esquema para la medición de deflexiones, mostrando las distancias off-set a ser consideradas en los ensayos.



Figura 4.13. Camión para la realización del ensayo.

3.2. CRITERIOS DE ANÁLISIS

- 1) El Coeficiente de Variación de los valores de Deflexión Máxima no deberá ser mayor de 30%; excepcionalmente se podrá aceptar 35% siempre que se justifique por factores no imputables al proceso constructivo: Por ejemplo, alternancia de sectores en corte y en relleno y/o secciones en media ladera. En caso que el coeficiente de variación exceda el límite recomendado, el tramo de análisis deberá dividirse en secciones de características similares, a fin de eliminar la fuente de dispersión.
- 2) Se deberá verificar que el Módulo Resiliente promedio del suelo de fundación, al nivel de sub rasante deberá ser igual o mayor que el valor empleado para el diseño del pavimento. En el caso que no se cumpla se dará por aprobada la capa siempre y cuando sea evidente que el valor será alcanzado en la evaluación sobre la capa de sub-base, asumiendo por ejemplo una tolerancia de 10%.
- 3) El Módulo Resiliente promedio o evaluado sobre cada una de las capas del pavimento, deberá ser siempre mayor que el valor determinado inicialmente para el suelo de fundación, al nivel de sub rasante, en la misma progresiva y en el mismo carril, para lo cual se deberá emplear una base de datos estadística acumulada, en forma de tablas.
- 4) Se deberá cumplir con alcanzar un valor de módulo resiliente para la subrasante de cómo mínimo 900 Kg/cm².

4. Cálculo de deflexiones

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple, para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para en caso de la deflexión a 20 cm se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 20 cm y la lectura final, de igual manera encontrar la diferencia para 30 cm con la lectura final.

Para el entendimiento de este proceso se realizara un ejemplo tomando datos de la progresiva 34+180 del lado derecho las lecturas tomadas son:

Primeramente se ajusta el dial en 0 siendo esta la lectura inicial luego se tomaron 5 lecturas más 6 (a 20 cm.), 12 (a 30 cm.), 17 (a 40 cm.), 20 (a 50 cm.) y 27 (a 500 cm) siendo esta ultima la lectura final, pues se supone que la deformaciones producidas a partir de esta distancia (5 m) es cero. Realizando la resta de los datos obtenidos según lo especificado anteriormente se obtiene (27-0) 27, (27-6) 21 y así sucesivamente 15, 10, 7 y 0; estas deformaciones deben ser multiplicadas por dos debido a que la relación punta-pivote y pivote-vástago dial igual a 2: 1(analógica); esta viga la posee la Asociación SANTA FE cabe mencionar que la Asociación Accidental COPESA cuenta con una viga digital la cual tiene una relación punta-pivote y pivote-vástago dial igual a 1:1; lo que quiere decir que no es necesario realizar la multiplicación por 2 llegándose así a obtener lecturas reales.

Continuando con el ejemplo se procede a multiplicar las deformaciones por 2 obteniéndose 54, 42, 30, 20, 14 y 0 siendo estas las deformaciones reales. En las siguientes tablas de la 4.2 a 4.25, se muestran los datos obtenidos de campo con la viga analógica y digital, como también los resultados de las deformaciones producidas a la derecha e izquierda de la vía.

También se muestran las gráficas de las deflexiones de cada progresiva desde la gráfica 4.1 hasta la gráfica 4.36.

TABLA N°4.2

OBRA: LA PAZ - URUO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 34+180 34+700 **Fecha:** 11/10/11
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
34+180	Der	0	6	12	17	20	27	54,0	42,0	30,0	20,0	14,0	0,0
34+220	Der	0	4	9	13	16	25	50,0	42,0	32,0	24,0	18,0	0,0
34+260	Der	0	1	7	11	14	22	44,0	42,0	30,0	22,0	16,0	0,0
34+300	Der	0	5	8	11	13	18	36,0	26,0	20,0	14,0	10,0	0,0
34+340	Der	0	2	8	11	13	20	40,0	36,0	24,0	18,0	14,0	0,0
34+380	Der	0	1	7	12	14	22	44,0	42,0	30,0	20,0	16,0	0,0
34+420	Der	0	6	10	13	15	21	42,0	30,0	22,0	16,0	12,0	0,0
34+460	Der	0	3	10	12	14	21	42,0	36,0	22,0	18,0	14,0	0,0
34+500	Der	0	5	11	14	17	23	46,0	36,0	24,0	18,0	12,0	0,0
34+540	Der	0	1	7	10	12	18	36,0	34,0	22,0	16,0	12,0	0,0
34+580	Der	0	5	9	12	14	19	38,0	28,0	20,0	14,0	10,0	0,0
34+620	Der	0	1	5	7	12	17	34,0	32,0	24,0	20,0	10,0	0,0
34+660	Der	0	1	7	11	14	18	36,0	34,0	22,0	14,0	8,0	0,0
34+700	Der	0	6	11	15	17	26	52,0	40,0	30,0	22,0	18,0	0,0

TABLA N°4.3

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 34+180 34+700 **Fecha:** 11/10/11

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
34+180	Izq	0	2	10	14	16	25	50,0	46,0	30,0	22,0	18,0	0,0
34+220	Izq	0	2	5	8	11	18	36,0	32,0	26,0	20,0	14,0	0,0
34+260	Izq	0	2	7	10	13	20	40,0	36,0	26,0	20,0	14,0	0,0
34+300	Izq	0	4	7	11	14	18	36,0	28,0	22,0	14,0	8,0	0,0
34+340	Izq	0	4	8	11	13	18	36,0	28,0	20,0	14,0	10,0	0,0
34+380	Izq	0	5	10	13	15	20	40,0	30,0	20,0	14,0	10,0	0,0
34+420	Izq	0	6	10	13	16	20	40,0	28,0	20,0	14,0	8,0	0,0
34+460	Izq	0	4	8	11	13	18	36,0	28,0	20,0	14,0	10,0	0,0
34+500	Izq	0	4	11	13	16	22	44,0	36,0	22,0	18,0	12,0	0,0
34+540	Izq	0	4	10	15	17	22	44,0	36,0	24,0	14,0	10,0	0,0
34+580	Izq	0	1	11	17	18	26	52,0	50,0	30,0	18,0	16,0	0,0
34+620	Izq	0	4	9	13	14	18	36,0	28,0	18,0	10,0	8,0	0,0
34+660	Izq	0	6	16	20	23	28	56,0	44,0	24,0	16,0	10,0	0,0
34+700	Izq	0	5	12	16	18	22	44,0	34,0	20,0	12,0	8,0	0,0

TABLA N° 4.4

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 39+880 40+180 **Fecha:** 10/10/11

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
39+880	Der	60	56	55	54	53	50	20,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
39+900	Der	60	58	56	55	54	53	14,0	10,0	6,0	4,0	2,0	0,0
39+920	Der	30	24	23	21	20	18	24,0	12,0	10,0	6,0	4,0	0,0
39+940	Der	30	27	24	22	21	18	24,0	18,0	12,0	8,0	6,0	0,0
39+960	Der	60	57	55	53	52	49	22,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
39+980	Der	60	54	53	51	50	48	24,0	12,0	10,0	6,0	4,0	0,0
40+000	Der	60	55	53	51	50	47	26,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
40+020	Der	60	56	53	52	51	49	22,0	14,0	8,0	6,0	4,0	0,0
40+040	Der	60	55	53	52	51	49	22,0	12,0	8,0	6,0	4,0	0,0
40+060	Der	60	57	55	53	52	50	20,0	14,0	10,0	6,0	4,0	0,0
40+080	Der	60	55	53	52	49	48	24,0	14,0	10,0	8,0	2,0	0,0
40+100	Der	60	55	53	52	51	48	24,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0
40+120	Der	60	55	54	53	52	50	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0	0,0
40+140	Der	60	55	53	52	51	49	22,0	12,0	8,0	6,0	4,0	0,0
40+160	Der	60	53	52	51	47	46	28,0	14,0	12,0	10,0	2,0	0,0
40+180	Der	60	53	52	51	50	48	24,0	10,0	8,0	6,0	4,0	0,0

TABLA N°4.5

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 39+880 40+180 **Fecha:** 10/10/11
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
39+880	Izq	60	57	55	54	53	50	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0
39+900	Izq	60	53	52	51	50	47	26,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
39+920	Izq	60	55	54	53	52	49	22,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
39+940	Izq	60	55	54	53	51	48	24,0	14,0	12,0	10,0	6,0	0,0
39+960	Izq	60	54	53	52	51	48	24,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
39+980	Izq	60	53	52	51	50	47	26,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
40+000	Izq	60	57	56	55	54	51	18,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
40+020	Izq	60	56	55	54	53	50	20,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
40+040	Izq	60	58	56	55	54	52	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	0,0
40+060	Izq	60	57	56	55	54	53	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,0
40+080	Izq	60	56	54	53	52	48	24,0	16,0	12,0	10,0	8,0	0,0
40+100	Izq	60	55	54	53	52	49	22,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
40+120	Izq	60	56	55	54	53	49	22,0	14,0	12,0	10,0	8,0	0,0
40+140	Izq	60	55	54	53	52	48	24,0	14,0	12,0	10,0	8,0	0,0
40+160	Izq	60	55	54	53	52	48	24,0	14,0	12,0	10,0	8,0	0,0
40+180	Izq	60	54	53	52	51	47	26,0	14,0	12,0	10,0	8,0	0,0

TABLA N° 4.6

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 44+640 44+940 **Fecha:** 12/10/11
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 25cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
44+640	Der	60	56	54	53	52	49	22,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+660	Der	60	56	54	52	51	48	24,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
44+680	Der	60	57	56	53	51	49	22,0	16,0	14,0	8,0	4,0	0,0
44+700	Der	60	56	54	53	52	48	24,0	16,0	12,0	10,0	8,0	0,0
44+720	Der	60	56	55	54	52	48	24,0	16,0	14,0	12,0	8,0	0,0
44+740	Der	60	57	55	54	53	51	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0	0,0
44+760	Der	60	58	57	55	53	50	20,0	16,0	14,0	10,0	6,0	0,0
44+780	Der	60	58	56	55	54	50	20,0	16,0	12,0	10,0	8,0	0,0
44+800	Der	60	58	56	54	53	50	20,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
44+820	Der	60	57	55	54	52	47	26,0	20,0	16,0	14,0	10,0	0,0
44+840	Der	60	58	57	56	54	51	18,0	14,0	12,0	10,0	6,0	0,0
44+860	Der	60	58	56	54	53	48	24,0	20,0	16,0	12,0	10,0	0,0
44+880	Der	60	57	55	53	51	47	26,0	20,0	16,0	12,0	8,0	0,0
44+900	Der	60	58	56	55	53	50	20,0	16,0	12,0	10,0	6,0	0,0
44+920	Der	60	57	55	54	53	50	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+940	Der	60	57	55	54	53	50	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0

TABLA N°4.7

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 44+640 44+940 **Fecha:** 12/10/11
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 25cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
44+640	Izq	60	58	56	55	53	51	18,0	14,0	10,0	8,0	4,0	0,0
44+660	Izq	60	57	56	55	54	51	18,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+680	Izq	60	57	55	54	53	52	16,0	10,0	6,0	4,0	2,0	0,0
44+700	Izq	60	56	54	52	51	48	24,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
44+720	Izq	60	57	55	54	53	51	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0	0,0
44+740	Izq	60	56	54	53	52	49	22,0	14,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+760	Izq	60	56	53	52	51	48	24,0	16,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+780	Izq	60	56	54	52	51	48	24,0	16,0	12,0	8,0	6,0	0,0
44+800	Izq	60	58	55	54	53	49	22,0	18,0	12,0	10,0	8,0	0,0
44+820	Izq	60	55	54	53	52	49	22,0	12,0	10,0	8,0	6,0	0,0
44+840	Izq	60	57	55	54	53	49	22,0	16,0	12,0	10,0	8,0	0,0
44+860	Izq	60	55	53	52	50	47	26,0	16,0	12,0	10,0	6,0	0,0
44+880	Izq	60	57	55	53	51	48	24,0	18,0	14,0	10,0	6,0	0,0
44+900	Izq	60	56	54	52	51	49	22,0	14,0	10,0	6,0	4,0	0,0
44+920	Izq	60	57	54	52	51	48	24,0	18,0	12,0	8,0	6,0	0,0
44+940	Izq	60	57	56	55	54	49	22,0	16,0	14,0	12,0	10,0	0,0

TABLA N°4.8

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 54+980 55+580 **Fecha:** 13/10/11

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0	D20	D30	D40	D50	D500
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)
54+980	Der	0	2	10	14	18	30	30,0	28,0	20,0	16,0	12,0	0,0
55+020	Der	0	4	18	26	30	42	42,0	38,0	24,0	16,0	12,0	0,0
55+060	Der	0	2	8	14	20	30	30,0	28,0	22,0	16,0	10,0	0,0
55+100	Der	0	2	14	20	26	38	38,0	36,0	24,0	18,0	12,0	0,0
55+140	Der	0	2	14	22	28	40	40,0	38,0	26,0	18,0	12,0	0,0
55+180	Der	0	2	14	24	28	40	40,0	38,0	26,0	16,0	12,0	0,0
55+220	Der	0	6	16	22	26	38	38,0	32,0	22,0	16,0	12,0	0,0
55+260	Der	0	2	10	16	20	32	32,0	30,0	22,0	16,0	12,0	0,0
55+300	Der	0	2	8	16	22	34	34,0	32,0	26,0	18,0	12,0	0,0
55+340	Der	0	2	8	12	18	26	26,0	24,0	18,0	14,0	8,0	0,0
55+380	Der	0	2	6	10	14	22	22,0	20,0	16,0	12,0	8,0	0,0
55+420	Der	0	2	8	20	24	32	32,0	30,0	24,0	12,0	8,0	0,0
55+460	Der	0	2	6	12	20	32	32,0	30,0	26,0	20,0	12,0	0,0
55+500	Der	0	2	8	16	22	26	26,0	24,0	18,0	10,0	4,0	0,0
55+540	Der	0	2	6	12	18	30	30,0	28,0	24,0	18,0	12,0	0,0
55+580	Der	0	2	8	12	16	32	32,0	30,0	24,0	20,0	16,0	0,0

TABLA N° 4.9

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 54+980 55+580 **Fecha:** 13/10/11
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
54+980	Izq	0	2	8	14	18	32	32,0	30,0	24,0	18,0	14,0	0,0
55+020	Izq	0	6	12	20	26	34	34,0	28,0	22,0	14,0	8,0	0,0
55+060	Izq	0	2	6	16	20	30	30,0	28,0	24,0	14,0	10,0	0,0
55+100	Izq	0	6	18	22	26	38	38,0	32,0	20,0	16,0	12,0	0,0
55+140	Izq	0	2	10	18	24	36	36,0	34,0	26,0	18,0	12,0	0,0
55+180	Izq	0	2	10	16	20	32	32,0	30,0	22,0	16,0	12,0	0,0
55+220	Izq	0	2	12	22	26	40	40,0	38,0	28,0	18,0	14,0	0,0
55+260	Izq	0	2	6	10	14	30	30,0	28,0	24,0	20,0	16,0	0,0
55+300	Izq	0	2	6	14	20	28	28,0	26,0	22,0	14,0	8,0	0,0
55+340	Izq	0	2	4	10	14	26	26,0	24,0	22,0	16,0	12,0	0,0
55+380	Izq	0	2	6	10	12	26	26,0	24,0	20,0	16,0	14,0	0,0
55+420	Izq	0	2	8	12	20	32	32,0	30,0	24,0	20,0	12,0	0,0
55+460	Izq	0	2	6	10	18	30	30,0	28,0	24,0	20,0	12,0	0,0
55+500	Izq	0	2	6	10	12	28	28,0	26,0	22,0	18,0	16,0	0,0
55+540	Izq	0	2	6	10	14	30	30,0	28,0	24,0	20,0	16,0	0,0
55+580	Izq	0	2	4	12	16	28	28,0	26,0	24,0	16,0	12,0	0,0

TABLA N°4.10

OBRA: LA PAZ - ORURO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 56+800 57+100 **Fecha:** 15/10/11

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0	D20	D30	D40	D50	D500
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)
56+800	Der	0	2	6	12	18	28	28,0	26,0	22,0	16,0	10,0	0,0
56+820	Der	0	4	8	16	22	34	34,0	30,0	26,0	18,0	12,0	0,0
56+840	Der	0	4	14	24	30	40	40,0	36,0	26,0	16,0	10,0	0,0
56+860	Der	0	4	14	22	28	38	38,0	34,0	24,0	16,0	10,0	0,0
56+880	Der	0	4	10	14	18	26	26,0	22,0	16,0	12,0	8,0	0,0
56+900	Der	0	6	24	40	42	50	50,0	44,0	26,0	10,0	8,0	0,0
56+920	Der	0	2	18	26	30	40	40,0	38,0	22,0	14,0	10,0	0,0
56+940	Der	0	2	6	14	16	24	24,0	22,0	18,0	10,0	8,0	0,0
56+960	Der	0	4	8	12	18	30	30,0	26,0	22,0	18,0	12,0	0,0
56+980	Der	0	4	14	18	22	32	32,0	28,0	18,0	14,0	10,0	0,0
57+000	Der	0	2	8	12	16	28	28,0	26,0	20,0	16,0	12,0	0,0
57+020	Der	0	4	10	16	20	34	34,0	30,0	24,0	18,0	14,0	0,0
57+040	Der	0	2	8	14	18	34	34,0	32,0	26,0	20,0	16,0	0,0
57+060	Der	0	4	12	16	18	28	28,0	24,0	16,0	12,0	10,0	0,0
57+080	Der	0	2	10	16	18	32	32,0	30,0	22,0	16,0	14,0	0,0
57+100	Der	0	2	10	18	22	38	38,0	36,0	28,0	20,0	16,0	0,0

TABLA N°4.11

OBRA: LA PAZ - URUO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO:	56+800	57+100	Fecha:	15/10/11
CAPA:	SUB RASANTE			

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	D30 (0.01mm)	D40 (0.01mm)	D50 (0.01mm)	D500 (0.01mm)
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm						
56+800	Izq	0	2	8	14	22	34	34,0	32,0	26,0	20,0	12,0	0,0
56+820	Izq	0	2	8	18	24	40	40,0	38,0	32,0	22,0	16,0	0,0
56+840	Izq	0	2	10	18	26	38	38,0	36,0	28,0	20,0	12,0	0,0
56+860	Izq	0	2	10	18	24	36	36,0	34,0	26,0	18,0	12,0	0,0
56+880	Izq	0	2	8	14	20	30	30,0	28,0	22,0	16,0	10,0	0,0
56+900	Izq	0	4	20	32	40	48	48,0	44,0	28,0	16,0	8,0	0,0
56+920	Izq	0	2	12	24	28	38	38,0	36,0	26,0	14,0	10,0	0,0
56+940	Izq	0	2	6	12	16	28	28,0	26,0	22,0	16,0	12,0	0,0
56+960	Izq	0	6	18	26	28	40	40,0	34,0	22,0	14,0	12,0	0,0
56+980	Izq	0	2	8	12	16	26	26,0	24,0	18,0	14,0	10,0	0,0
57+000	Izq	0	2	8	12	14	26	26,0	24,0	18,0	14,0	12,0	0,0
57+020	Izq	0	4	12	16	20	32	32,0	28,0	20,0	16,0	12,0	0,0
57+040	Izq	0	2	6	10	14	26	26,0	24,0	20,0	16,0	12,0	0,0
57+060	Izq	0	6	20	28	32	44	44,0	38,0	24,0	16,0	12,0	0,0
57+080	Izq	0	2	8	16	20	32	32,0	30,0	24,0	16,0	12,0	0,0
57+100	Izq	0	2	8	14	22	30	30,0	28,0	22,0	16,0	8,0	0,0

TABLA N°4.12

OBRA: LA PAZ - URUO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO: 58+820 59+320 **Fecha:** 16/10/11

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0	D20	D30	D40	D50	D500
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)
58+820	Der	0	8	20	28	32	42	42,0	34,0	22,0	14,0	10,0	0,0
58+860	Der	0	8	32	40	46	58	58,0	50,0	26,0	18,0	12,0	0,0
58+900	Der	0	2	12	22	28	36	36,0	34,0	24,0	14,0	8,0	0,0
58+940	Der	0	4	18	32	34	42	42,0	38,0	24,0	10,0	8,0	0,0
58+980	Der	0	4	20	32	36	50	50,0	46,0	30,0	18,0	14,0	0,0
59+020	Der	0	12	24	30	34	44	44,0	32,0	20,0	14,0	10,0	0,0
59+060	Der	0	2	12	20	24	32	32,0	30,0	20,0	12,0	8,0	0,0
59+100	Der	0	4	18	26	32	42	42,0	38,0	24,0	16,0	10,0	0,0
59+140	Der	0	4	20	30	34	42	42,0	38,0	22,0	12,0	8,0	0,0
59+180	Der	0	12	22	28	34	42	42,0	30,0	20,0	14,0	8,0	0,0
59+220	Der	0	8	22	32	36	44	44,0	36,0	22,0	12,0	8,0	0,0
59+260	Der	0	12	22	36	40	50	50,0	38,0	28,0	14,0	10,0	0,0
59+300	Der	0	16	28	36	38	50	50,0	34,0	22,0	14,0	12,0	0,0
59+320	Der	0	8	20	28	36	44	44,0	36,0	24,0	16,0	8,0	0,0

TABLA N°4.13

OBRA: LA PAZ - URUO

RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)

TRAMO:	58+820	59+320	Fecha:	16/10/11
CAPA:	SUB RASANTE			

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (0.01 mm)						D0	D20	D30	D40	D50	D500
		Inicial	a 20cm	a 30cm	a 40cm	a 50cm	> 500cm	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)
58+820	Izq	0	6	16	24	30	42	42,0	36,0	26,0	18,0	12,0	0,0
58+860	Izq	0	6	18	20	26	40	40,0	34,0	22,0	20,0	14,0	0,0
58+900	Izq	0	2	12	18	22	30	30,0	28,0	18,0	12,0	8,0	0,0
58+940	Izq	0	4	19	22	28	38	38,0	34,0	19,0	16,0	10,0	0,0
58+980	Izq	0	4	16	22	28	44	44,0	40,0	28,0	22,0	16,0	0,0
59+020	Izq	0	4	16	22	28	40	40,0	36,0	24,0	18,0	12,0	0,0
59+060	Izq	0	8	28	32	36	50	50,0	42,0	22,0	18,0	14,0	0,0
59+100	Izq	0	6	20	32	38	48	48,0	42,0	28,0	16,0	10,0	0,0
59+140	Izq	0	14	24	34	38	44	44,0	30,0	20,0	10,0	6,0	0,0
59+180	Izq	0	18	28	36	42	50	50,0	32,0	22,0	14,0	8,0	0,0
59+220	Izq	0	4	20	28	32	42	42,0	38,0	22,0	14,0	10,0	0,0
59+260	Izq	0	8	16	22	26	38	38,0	30,0	22,0	16,0	12,0	0,0
59+300	Izq	0	8	22	30	34	46	46,0	38,0	24,0	16,0	12,0	0,0
59+320	Izq	0	8	18	26	30	40	40,0	32,0	22,0	14,0	10,0	0,0

TABLA N° 4.14								
OBRA: LA PAZ-ORURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		34+180		34+440		FRENTE: Derecho		
CAPA:		SUB RASANTE						
Progresiva (km)	Lados	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 25cm	> 500cm				
34+180	Der	0	6	27	54,0	42,0	260	
34+200	Der	0	4	25	50,0	42,0	391	
34+220	Der	0	1	22	44,0	42,0	1563	
34+240	Der	0	5	18	36,0	26,0	313	
34+260	Der	0	2	20	40,0	36,0	781	
34+280	Der	0	1	22	44,0	42,0	1563	
34+300	Der	0	6	21	42,0	30,0	260	
34+320	Der	0	3	21	42,0	36,0	521	
34+340	Der	0	5	23	46,0	36,0	313	
34+360	Der	0	1	18	36,0	34,0	1563	
34+380	Der	0	5	19	38,0	28,0	313	
34+400	Der	0	1	17	34,0	32,0	1563	
34+420	Der	0	1	18	36,0	34,0	1563	
34+440	Der	0	6	26	52,0	40,0	260	
CÁLCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	42,4	Des. estandar (D0):	6,33	C. Var:	14,93	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	52,8	Deflex. Proy. (Dp):	52,8	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

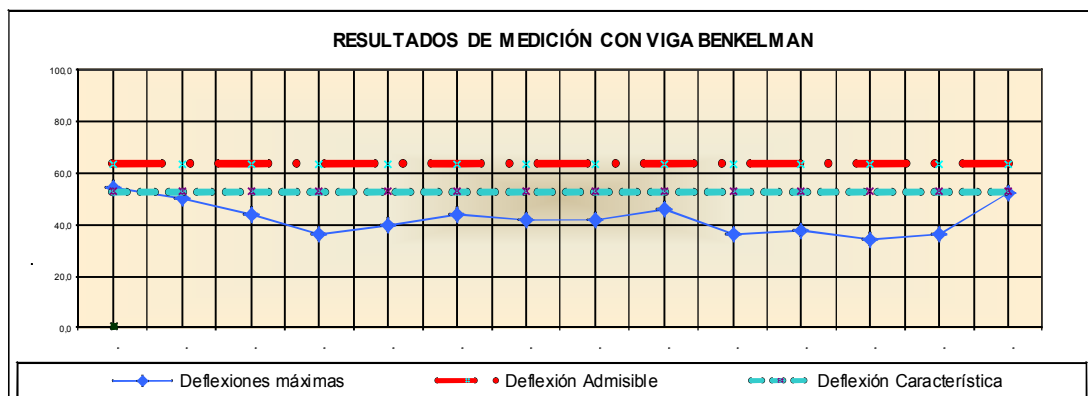
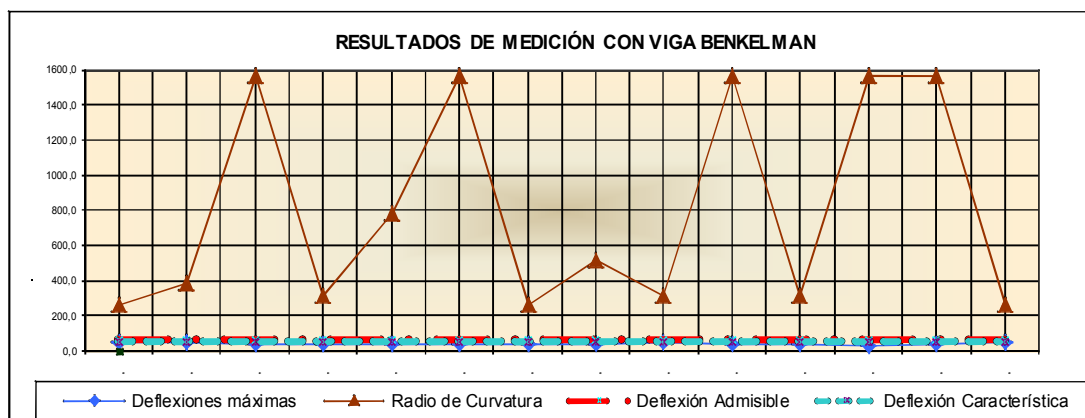


TABLA N° 4.15								
OBRA: LA PAZ-ORURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		34+180	34+700					
CAPA:		SUB RASANTE			FRENTE: Izquierdo			
Progresiva (km)	Lados	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
34+180	Izq	0	2	25	50.0	46.0	781	
34+220	Izq	0	2	18	36.0	32.0	781	
34+260	Izq	0	2	20	40.0	36.0	781	
34+300	Izq	0	4	18	36.0	28.0	391	
34+340	Izq	0	4	18	36.0	28.0	391	
34+380	Izq	0	5	20	40.0	30.0	313	
34+420	Izq	0	6	20	40.0	28.0	260	
34+460	Izq	0	4	18	36.0	28.0	391	
34+500	Izq	0	4	22	44.0	36.0	391	
34+540	Izq	0	4	22	44.0	36.0	391	
34+580	Izq	0	1	26	52.0	50.0	1563	
34+620	Izq	0	4	18	36.0	28.0	391	
34+660	Izq	0	6	28	56.0	44.0	260	
34+700	Izq	0	5	22	44.0	34.0	313	
CÁLCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	42,1	Des. estandar (D0):	6,59	C. Var:	15,63	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	52,9	Deflex. Proy. (Dp):	52,9	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

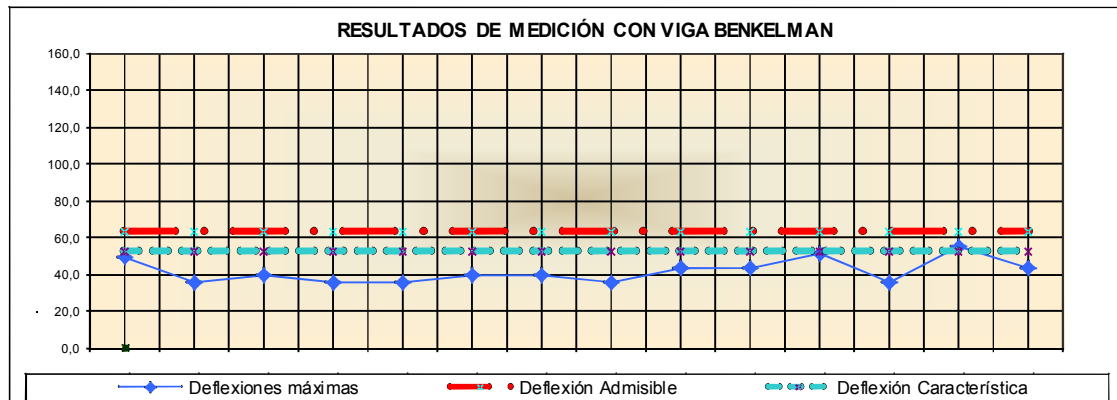
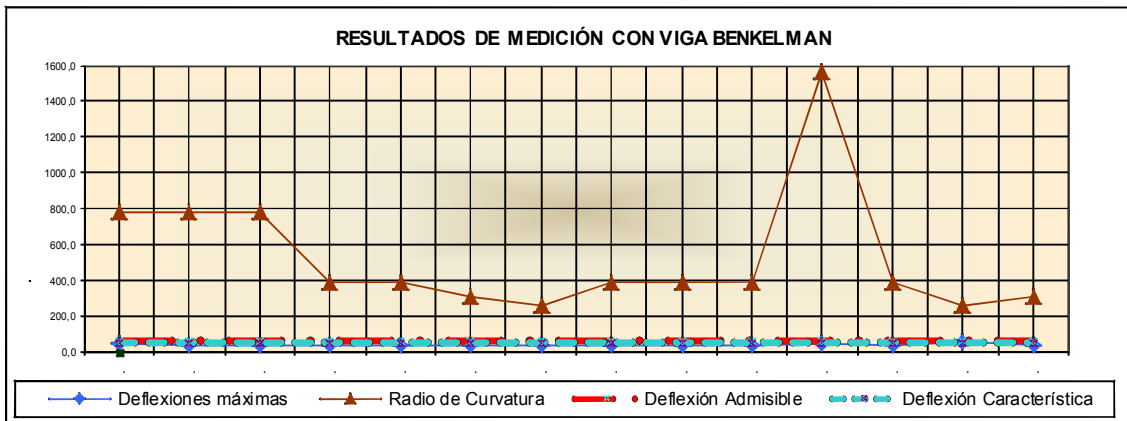


TABLA N° 4.16								
OBRA: LA PAZ-ORURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		39+880		40+180		FRENTE: Derecho		
CAPA:		SUB RASANTE						
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
39+880	Der	60	56	50	20,0	12,0	391	
39+900	Der	60	58	53	14,0	10,0	781	
39+920	Der	30	24	18	24,0	12,0	260	
39+940	Der	30	27	18	24,0	18,0	521	
39+960	Der	60	57	49	22,0	16,0	521	
39+980	Der	60	54	48	24,0	12,0	260	
40+000	Der	60	55	47	26,0	16,0	313	
40+020	Der	60	56	49	22,0	14,0	391	
40+040	Der	60	55	49	22,0	12,0	313	
40+060	Der	60	57	50	20,0	14,0	521	
40+080	Der	60	55	48	24,0	14,0	313	
40+100	Der	60	55	48	24,0	14,0	313	
40+120	Der	60	55	50	20,0	10,0	313	
40+140	Der	60	55	49	22,0	12,0	313	
40+160	Der	60	53	46	28,0	14,0	223	
40+180	Der	60	53	48	24,0	10,0	223	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	22,5	Des. estandar (D0):	3,14	C. Var:	13,96	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	27,6	Deflex. Proy. (Dp):	27,6	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

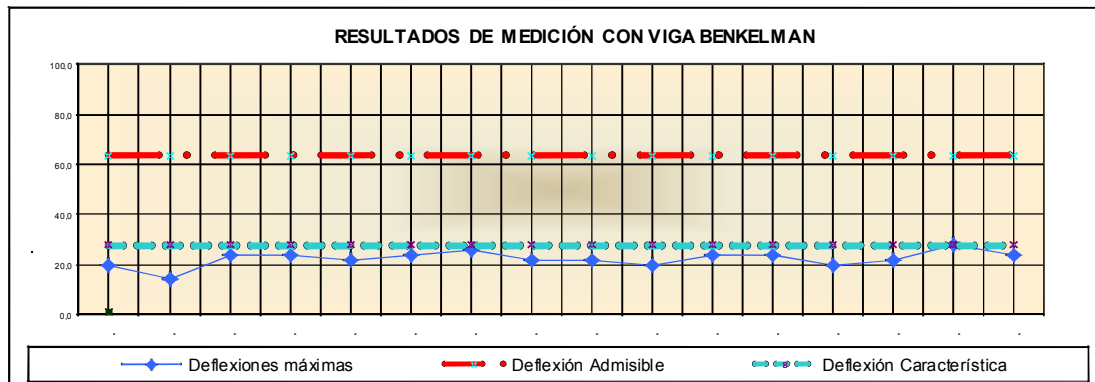
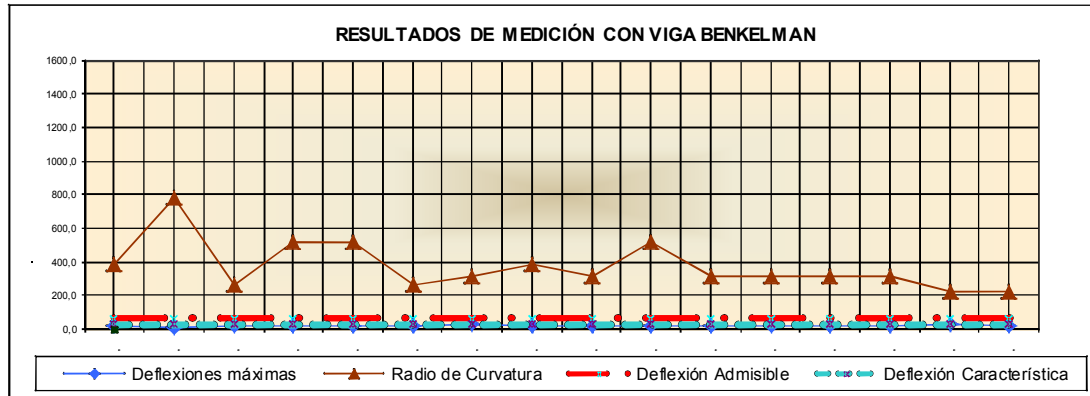


TABLA N° 4.17								
OBRA: LA PAZ-ORURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		39+880		40+180				
CAPA:		SUB RASANTE				FRENTE: Izquierdo		
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
39+880	Izq	60	57	50	20,0	14,0	521	
39+900	Izq	60	53	47	26,0	12,0	223	
39+920	Izq	60	55	49	22,0	12,0	313	
39+940	Izq	60	55	48	24,0	14,0	313	
39+960	Izq	60	54	48	24,0	12,0	260	
39+980	Izq	60	53	47	26,0	12,0	223	
40+000	Izq	60	57	51	18,0	12,0	521	
40+020	Izq	60	56	50	20,0	12,0	391	
40+040	Izq	60	58	52	16,0	12,0	781	
40+060	Izq	60	57	53	14,0	8,0	521	
40+080	Izq	60	56	48	24,0	16,0	391	
40+100	Izq	60	55	49	22,0	12,0	313	
40+120	Izq	60	56	49	22,0	14,0	391	
40+140	Izq	60	55	48	24,0	14,0	313	
40+160	Izq	60	55	48	24,0	14,0	313	
40+180	Izq	60	54	47	26,0	14,0	260	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	22,0	Des. estandar (D0):	3,58	C. Var:	16,26	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	27,8	Deflex. Proy. (Dp):	27,8	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

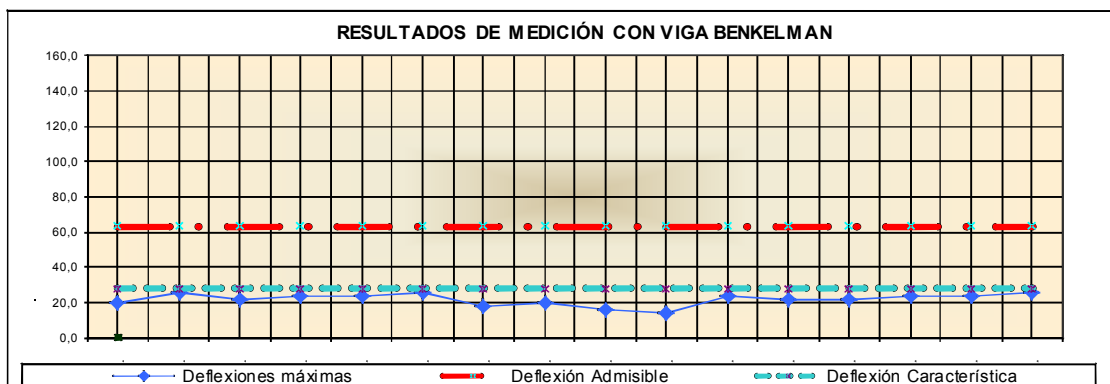
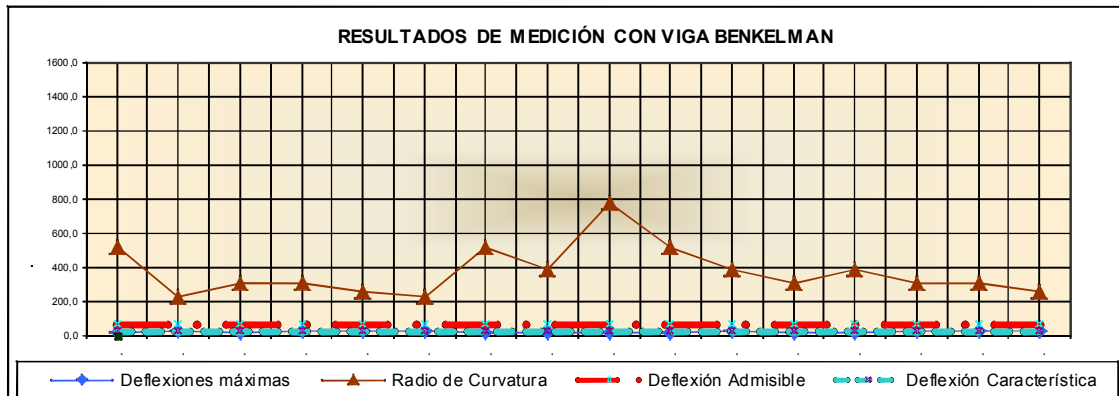


TABLA N° 4.18								
OBRA: - LA PAZ - URURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		44+640		44+940				
CAPA:		SUB RASANTE				FRENTE: Derecho		
Progresiva (km)	LADO	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 25cm	> 500cm				
44+640	Der	60	56	49	22.0	14.0	391	
44+660	Der	60	56	48	24.0	16.0	391	
44+680	Der	60	57	49	22.0	16.0	521	
44+700	Der	60	56	48	24.0	16.0	391	
44+720	Der	60	56	48	24.0	16.0	391	
44+740	Der	60	57	51	18.0	12.0	521	
44+760	Der	60	58	50	20.0	16.0	781	
44+780	Der	60	58	50	20.0	16.0	781	
44+800	Der	60	58	50	20.0	16.0	781	
44+820	Der	60	57	47	26.0	20.0	521	
44+840	Der	60	58	51	18.0	14.0	781	
44+860	Der	60	58	48	24.0	20.0	781	
44+880	Der	60	57	47	26.0	20.0	521	
44+900	Der	60	58	50	20.0	16.0	781	
44+920	Der	60	57	50	20.0	14.0	521	
44+940	Der	60	57	50	20.0	14.0	521	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	21,8	Des. estandar (D0):	2,62	C. Var:	12,05	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	26,0	Deflex. Proy. (Dp):	26,0	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

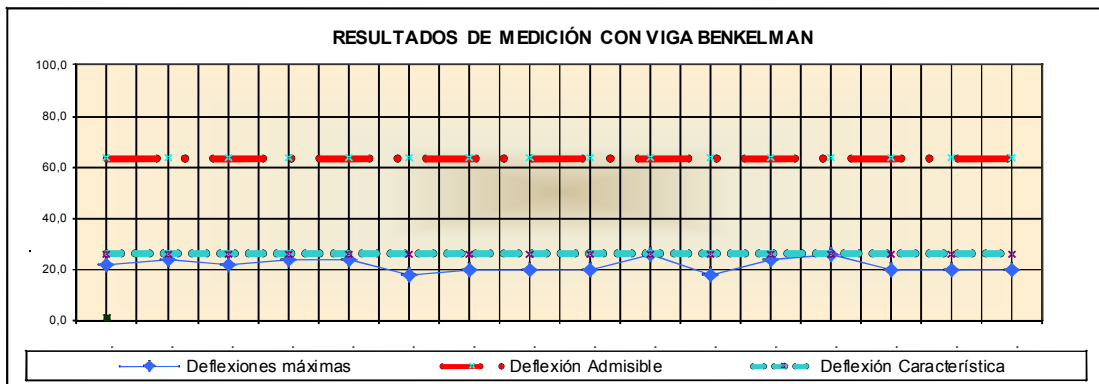
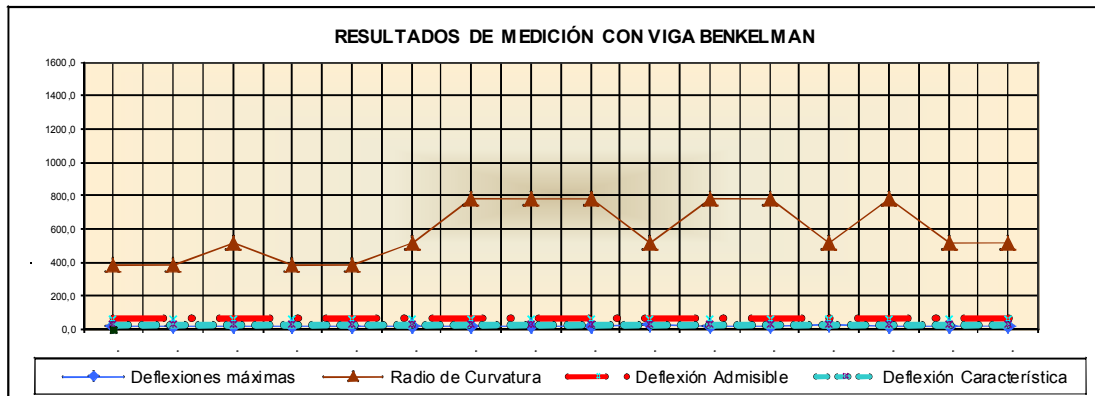


TABLA N° 4.19								
OBRA: - LA PAZ - URURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		44+640		44+940				
CAPA:		SUB RASANTE				FRENTE: Izquierdo		
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D25 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 25cm	> 500cm				
44+640	Izq	60	58	51	18,0	14,0	781	
44+660	Izq	60	57	51	18,0	12,0	521	
44+680	Izq	60	57	52	16,0	10,0	521	
44+700	Izq	60	56	48	24,0	16,0	391	
44+720	Izq	60	57	51	18,0	12,0	521	
44+740	Izq	60	56	49	22,0	14,0	391	
44+760	Izq	60	56	48	24,0	16,0	391	
44+780	Izq	60	56	48	24,0	16,0	391	
44+800	Izq	60	58	49	22,0	18,0	781	
44+820	Izq	60	55	49	22,0	12,0	313	
44+840	Izq	60	57	49	22,0	16,0	521	
44+860	Izq	60	55	47	26,0	16,0	313	
44+880	Izq	60	57	48	24,0	18,0	521	
44+900	Izq	60	56	49	22,0	14,0	391	
44+920	Izq	60	57	48	24,0	18,0	521	
44+940	Izq	60	57	49	22,0	16,0	521	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	21,8	Des. estandar (D0):	2,82	C. Var:	12,95	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	26,4	Deflex. Proy. (Dp):	26,4	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

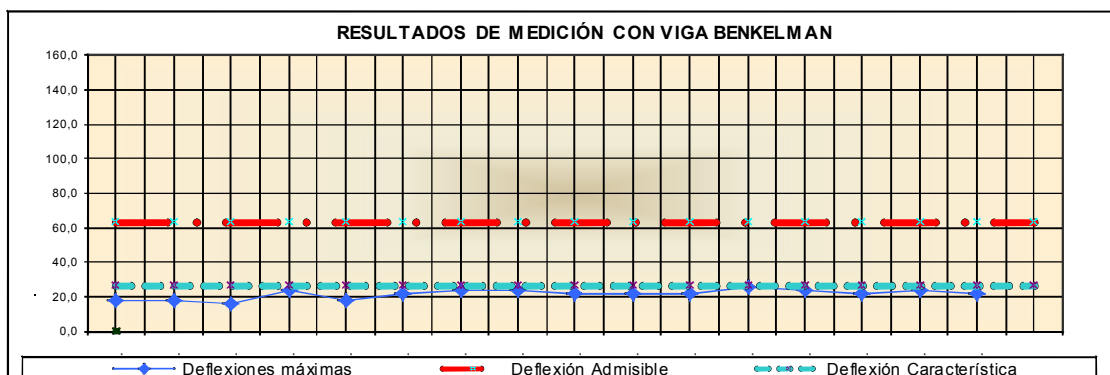
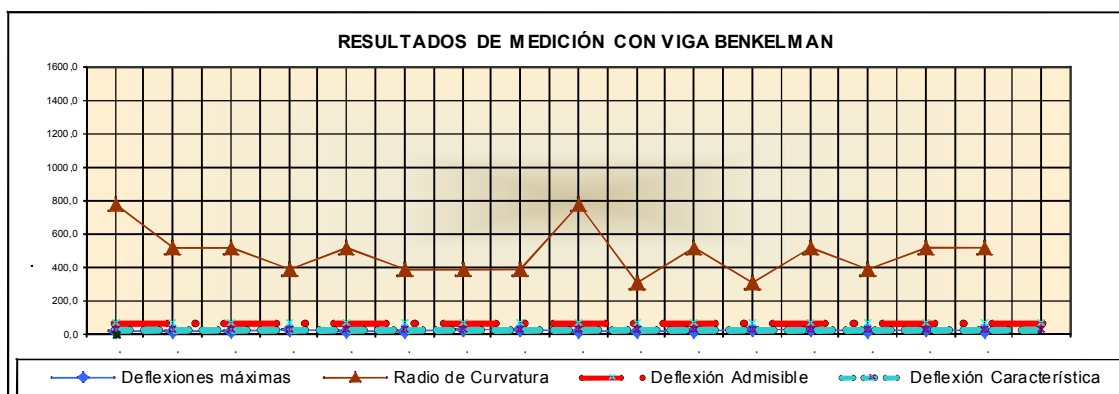


TABLA N° 4.20								
OBRA: LA PAZ - URUO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		54+980		55+580				
CAPA:		SUB RASANTE				FRENTE: Derecho		
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
54+980	Der	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+020	Der	0	4	42	42,0	38,0	781	
55+060	Der	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+100	Der	0	2	38	38,0	36,0	1563	
55+140	Der	0	2	40	40,0	38,0	1563	
55+180	Der	0	2	40	40,0	38,0	1563	
55+220	Der	0	6	38	38,0	32,0	521	
55+260	Der	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+300	Der	0	2	34	34,0	32,0	1563	
55+340	Der	0	2	26	26,0	24,0	1563	
55+380	Der	0	2	22	22,0	20,0	1563	
55+420	Der	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+460	Der	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+500	Der	0	2	26	26,0	24,0	1563	
55+540	Der	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+580	Der	0	2	32	32,0	30,0	1563	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	32,8	Des. estandar (D0):	5,65	C. Var:	17,25	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	42,0	Deflex. Proy. (Dp):	42,0	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

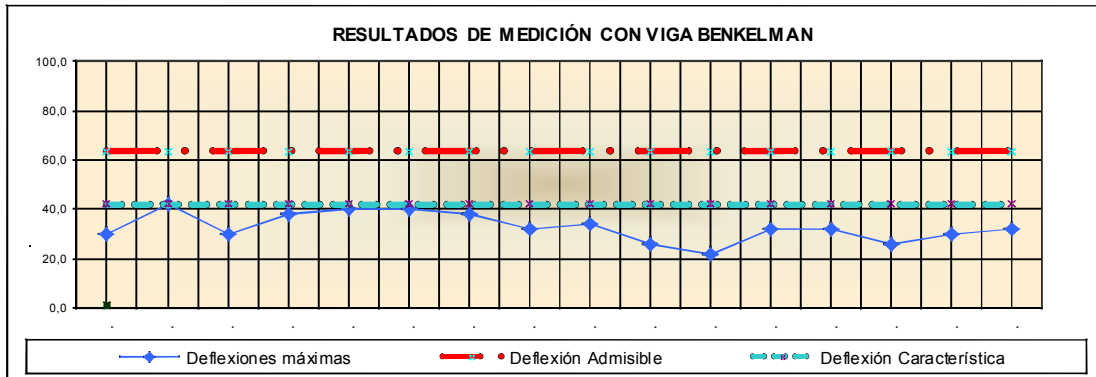
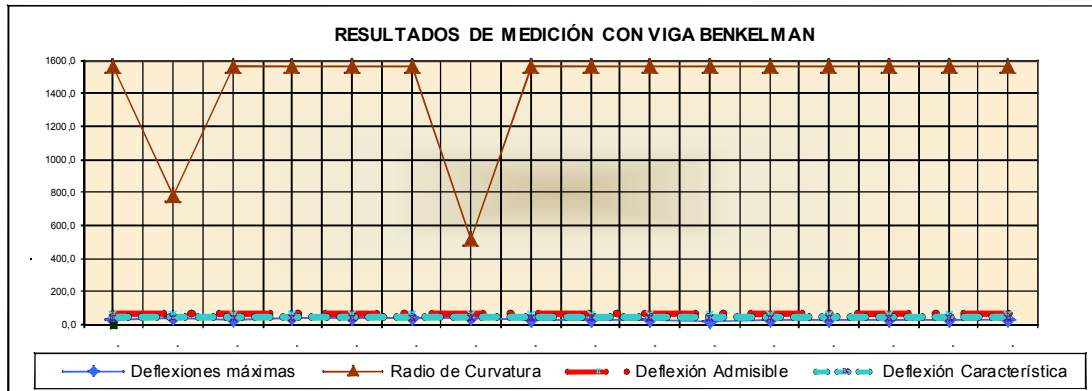


TABLA N° 4.21								
OBRA: LA PAZ - URUO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO: 54+980				55+580				
CAPA: SUB RASANTE				FRENTE: Izquierdo				
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
54+980	Izq	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+020	Izq	0	6	34	34,0	28,0	521	
55+060	Izq	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+100	Izq	0	6	38	38,0	32,0	521	
55+140	Izq	0	2	36	36,0	34,0	1563	
55+180	Izq	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+220	Izq	0	2	40	40,0	38,0	1563	
55+260	Izq	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+300	Izq	0	2	28	28,0	26,0	1563	
55+340	Izq	0	2	26	26,0	24,0	1563	
55+380	Izq	0	2	26	26,0	24,0	1563	
55+420	Izq	0	2	32	32,0	30,0	1563	
55+460	Izq	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+500	Izq	0	2	28	28,0	26,0	1563	
55+540	Izq	0	2	30	30,0	28,0	1563	
55+580	Izq	0	2	28	28,0	26,0	1563	
CÁLCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	31,3	Des. estandar (D0):	4,06	C. Var:	12,99	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	37,9	Deflex. Proy. (Dp):	37,9	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

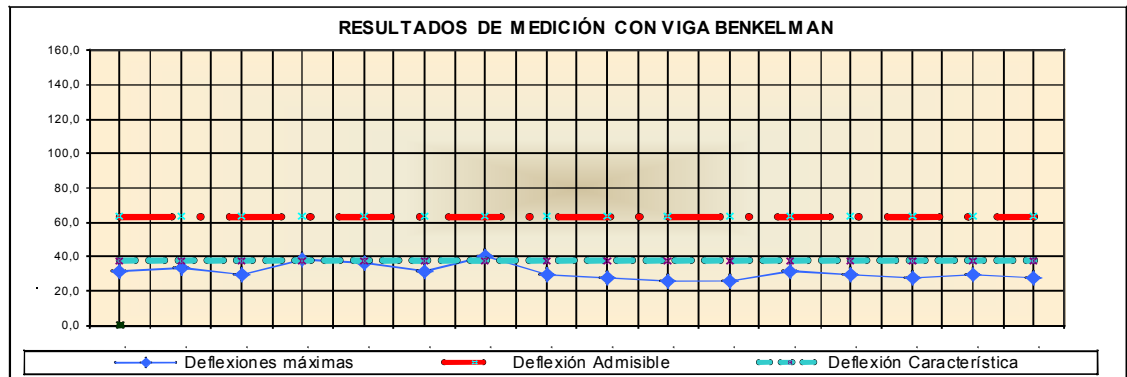
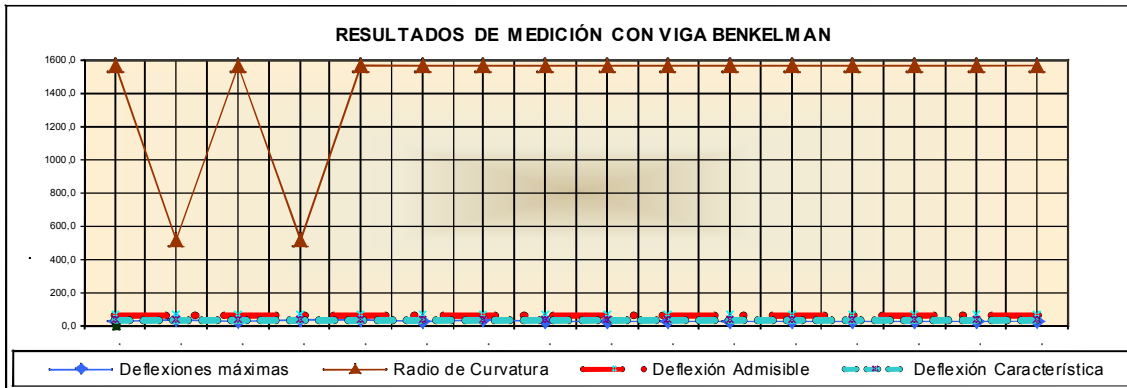


TABLA N° 4.22								
OBRA: LA PAZ - URUO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		56+800		57+100		FRENTE: Derecho		
CAPA:		SUB RASANTE						
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo(0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
56+800	Der	0	2	28	28,0	26,0	1563	
56+820	Der	0	4	34	34,0	30,0	781	
56+840	Der	0	4	40	40,0	36,0	781	
56+860	Der	0	4	38	38,0	34,0	781	
56+880	Der	0	4	26	26,0	22,0	781	
56+900	Der	0	6	50	50,0	44,0	521	
56+920	Der	0	2	40	40,0	38,0	1563	
56+940	Der	0	2	24	24,0	22,0	1563	
56+960	Der	0	4	30	30,0	26,0	781	
56+980	Der	0	4	32	32,0	28,0	781	
57+000	Der	0	2	28	28,0	26,0	1563	
57+020	Der	0	4	34	34,0	30,0	781	
57+040	Der	0	2	34	34,0	32,0	1563	
57+060	Der	0	4	28	28,0	24,0	781	
57+080	Der	0	2	32	32,0	30,0	1563	
57+100	Der	0	2	38	38,0	36,0	1563	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	33,5	Des. estandar (D0):	6,59	C. Var:	19,68	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	44,3	Deflex. Proy. (Dp):	44,3	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

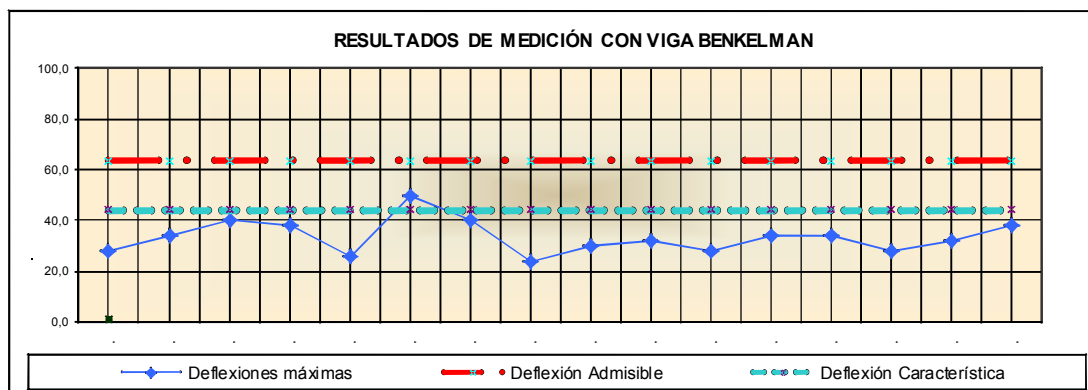
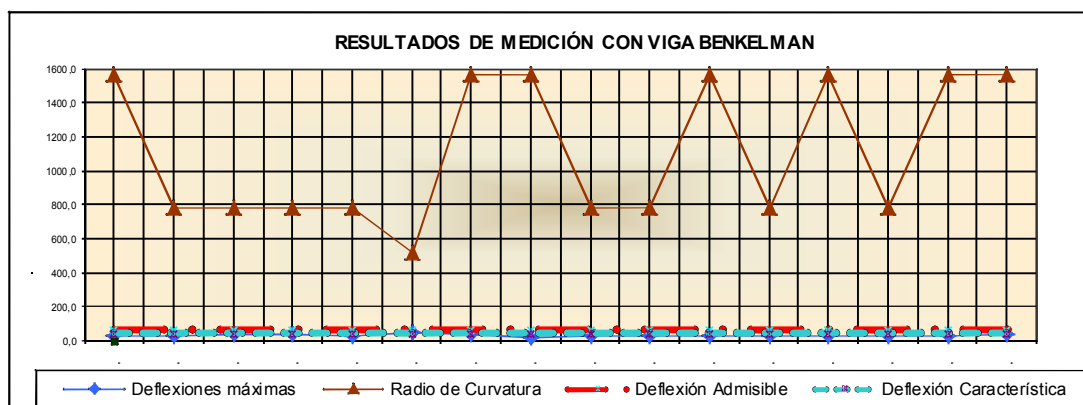


TABLA N° 4.23								
OBRA: LA PAZ - URURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO: 56+800				57+100				
CAPA: SUB RASANTE				FRENTE: Izquierdo				
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo(0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
56+800	Izq	0	2	34	34.0	32.0	1563	
56+820	Izq	0	2	40	40.0	38.0	1563	
56+840	Izq	0	2	38	38.0	36.0	1563	
56+860	Izq	0	2	36	36.0	34.0	1563	
56+880	Izq	0	2	30	30.0	28.0	1563	
56+900	Izq	0	4	48	48.0	44.0	781	
56+920	Izq	0	2	38	38.0	36.0	1563	
56+940	Izq	0	2	28	28.0	26.0	1563	
56+960	Izq	0	6	40	40.0	34.0	521	
56+980	Izq	0	2	26	26.0	24.0	1563	
57+000	Izq	0	2	26	26.0	24.0	1563	
57+020	Izq	0	4	32	32.0	28.0	781	
57+040	Izq	0	2	26	26.0	24.0	1563	
57+060	Izq	0	6	44	44.0	38.0	521	
57+080	Izq	0	2	32	32.0	30.0	1563	
57+100	Izq	0	2	30	30.0	28.0	1563	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	34,3	Des. estandar (D0):	6,69	C. Var:	19,53	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	45,2	Deflex. Proy. (Dp):	45,2	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

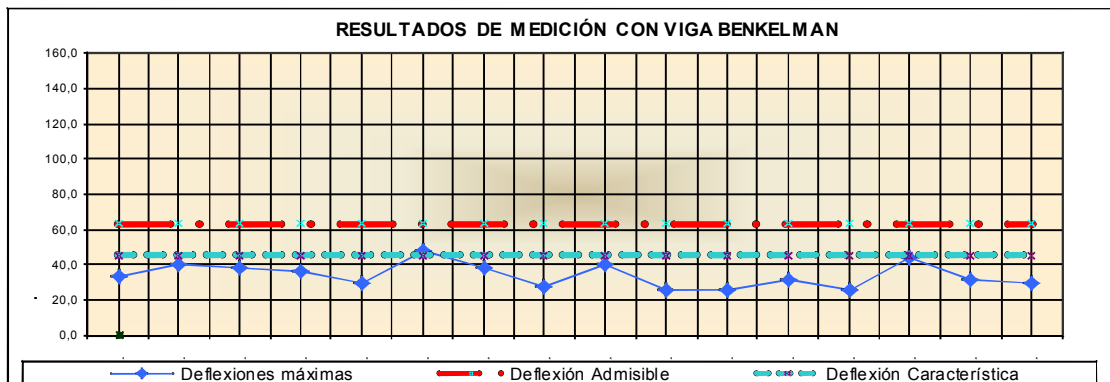
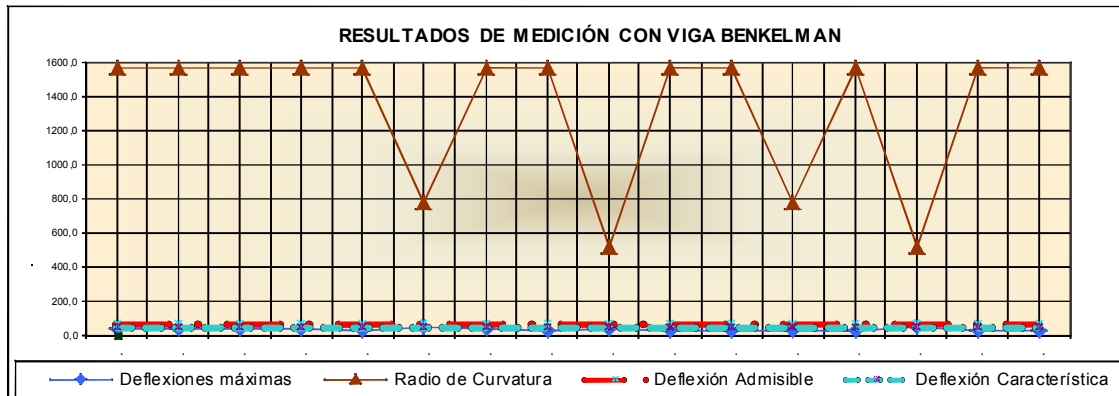


TABLA N° 4.24								
OBRA: LA PAZ - ORURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		58+820		59+320		FRENTE: Derecho		
CAPA:		SUB RASANTE						
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
58+820	Der	0	8	42	42.0	34.0	391	
58+860	Der	0	8	58	58.0	50.0	391	
58+900	Der	0	2	36	36.0	34.0	1563	
58+940	Der	0	4	42	42.0	38.0	781	
58+980	Der	0	4	50	50.0	46.0	781	
59+020	Der	0	12	44	44.0	32.0	260	
59+060	Der	0	2	32	32.0	30.0	1563	
59+100	Der	0	4	42	42.0	38.0	781	
59+140	Der	0	4	42	42.0	38.0	781	
59+180	Der	0	12	42	42.0	30.0	260	
59+220	Der	0	8	44	44.0	36.0	391	
59+260	Der	0	12	50	50.0	38.0	260	
59+300	Der	0	16	50	50.0	34.0	195	
59+320	Der	0	8	44	44.0	36.0	391	
CÁLCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	44,1	Des. estandar (D0):	6,40	C. Var:	14,49	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	54,6	Deflex. Proy. (Dp):	54,6	Def. Admis.(Dadm):	63,46			

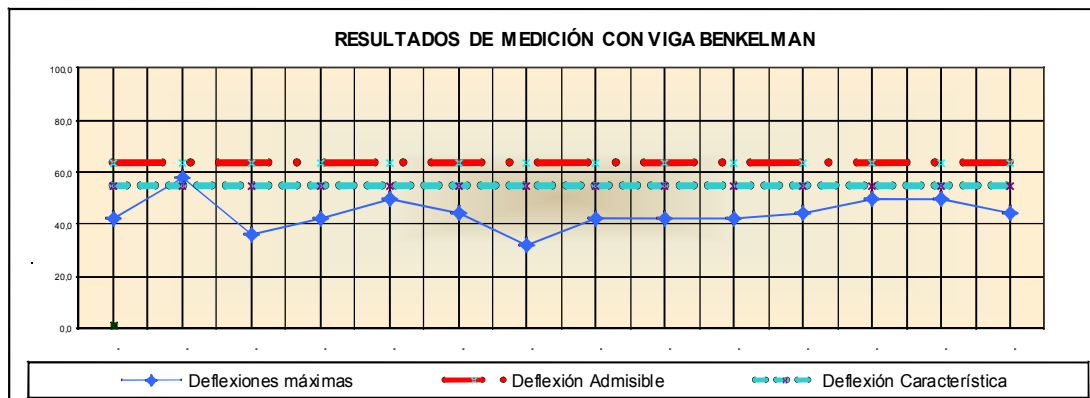
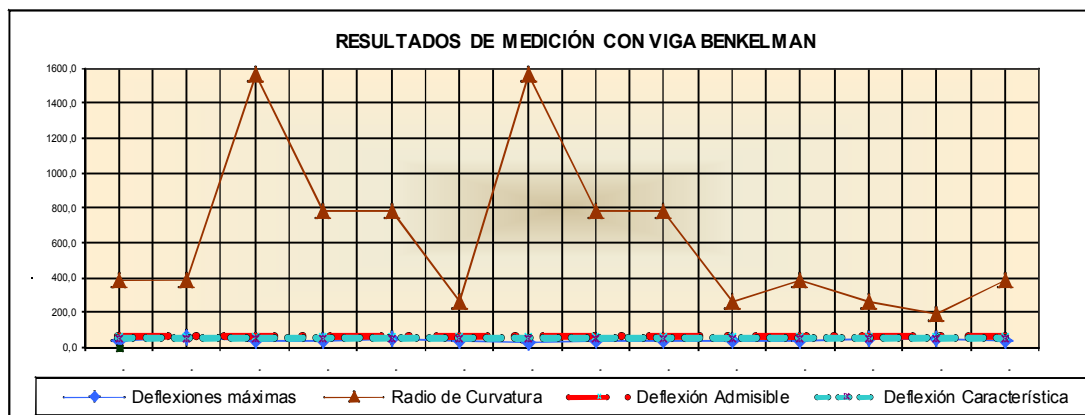
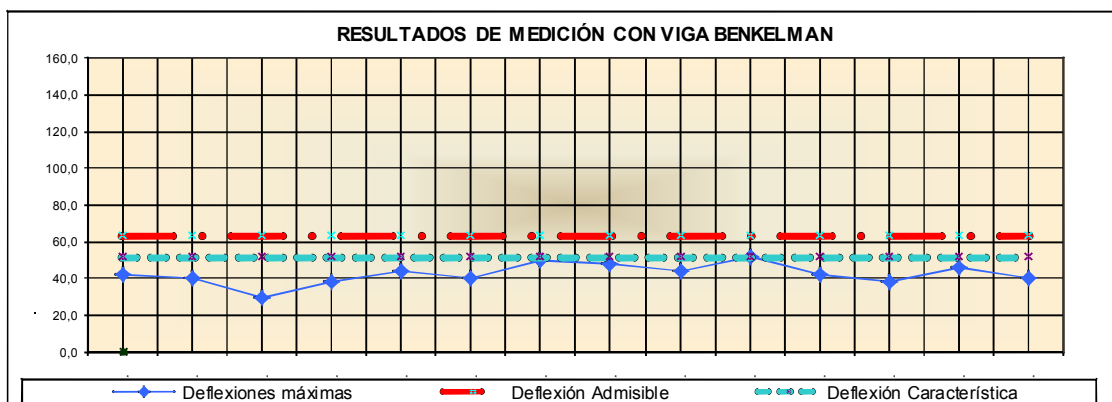
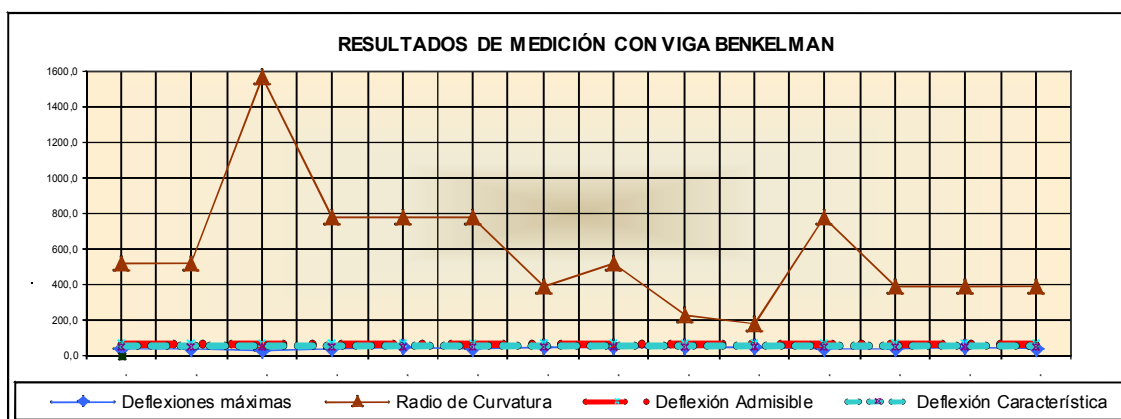
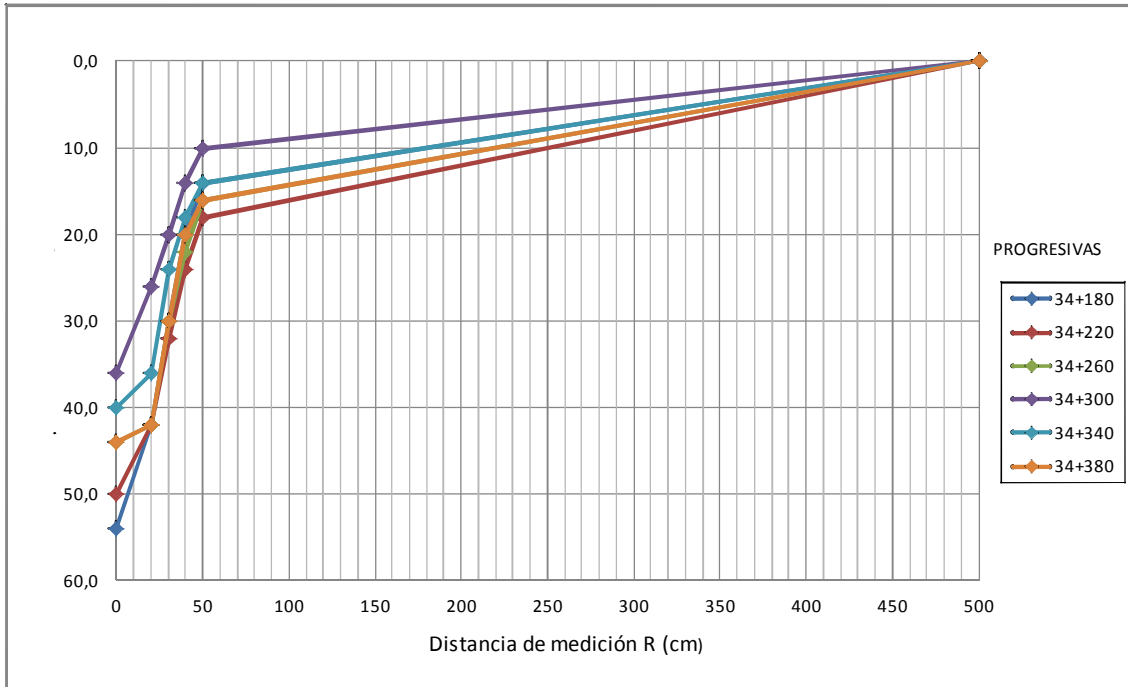


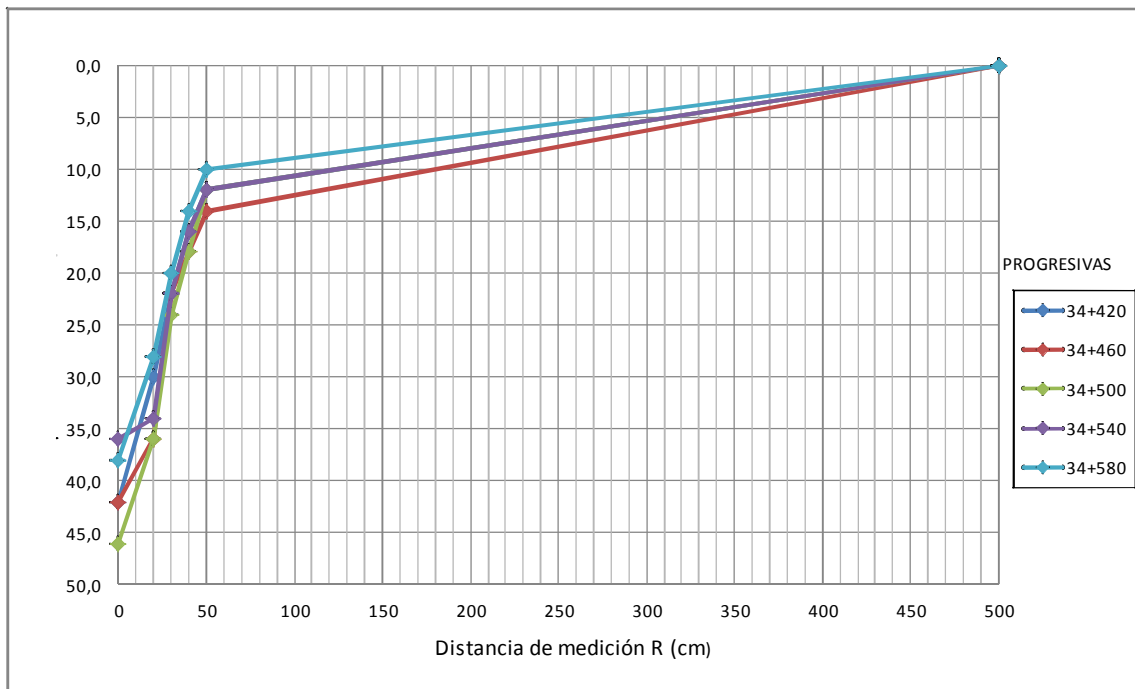
TABLA N° 4.25								
OBRA: LA PAZ - URURO								
RESULTADOS DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN)								
PROGRESIVA TRAMO:		58+820	59+320		FRENTE: Izquierdo			
CAPA:		SUB RASANTE						
Progresiva (km)	Lado	Lecturas de campo (0.01 mm)			D0 (0.01mm)	D20 (0.01mm)	RC (m)	OBSERVACIONES
		Inicial	a 20cm	> 500cm				
58+820	Izq	0	6	42	42.0	36.0	521	
58+860	Izq	0	6	40	40.0	34.0	521	
58+900	Izq	0	2	30	30.0	28.0	1563	
58+940	Izq	0	4	38	38.0	34.0	781	
58+980	Izq	0	4	44	44.0	40.0	781	
59+020	Izq	0	4	40	40.0	36.0	781	
59+060	Izq	0	8	50	50.0	42.0	391	
59+100	Izq	0	6	48	48.0	42.0	521	
59+140	Izq	0	14	44	44.0	30.0	223	
59+180	Izq	0	18	52	52.0	34.0	174	
59+220	Izq	0	4	42	42.0	38.0	781	
59+260	Izq	0	8	38	38.0	30.0	391	
59+300	Izq	0	8	46	46.0	38.0	391	
59+320	Izq	0	8	40	40.0	32.0	391	
CALCULO DE DEFLEXIONES (0,01 mm)							N18	7,09
PROMEDIO (D0):	42,4	Des. estandar (D0):	5,61	C. Var:	13,23	Fc Sanzonal:	1	
Deflex. Caract. (Dc):	51,6	Deflex. Proy. (Dp):	51,6	Def. Admis.(Dadm):	63,46			



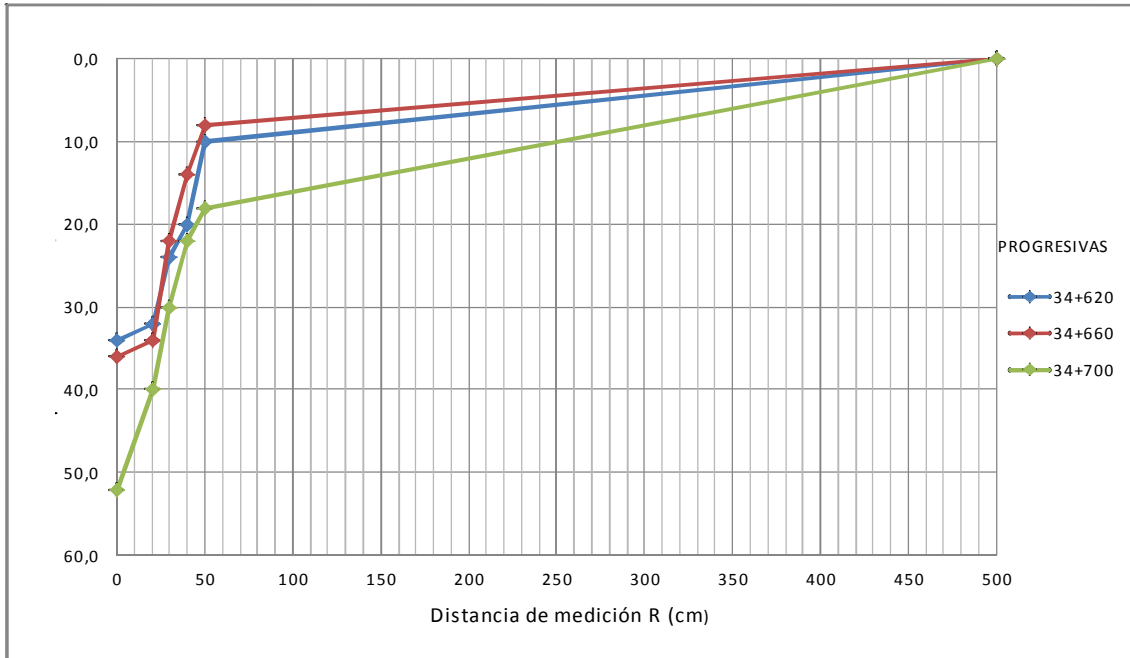
GRAFICA N° 4.1
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



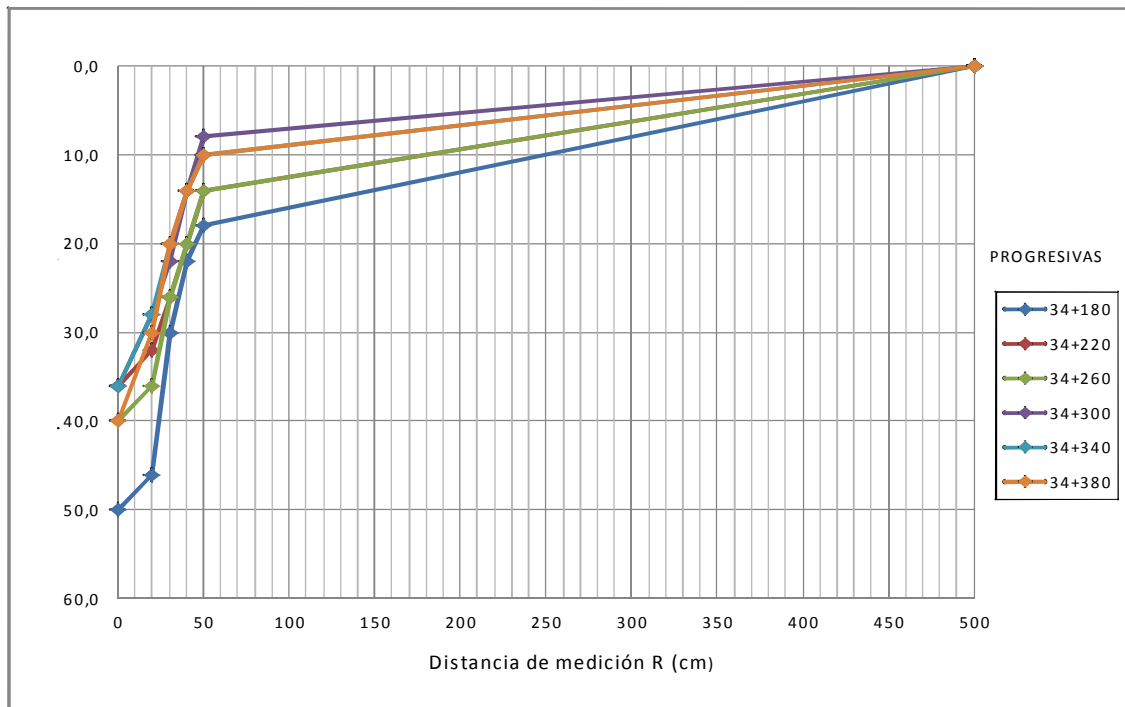
GRAFICA N° 4.2
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



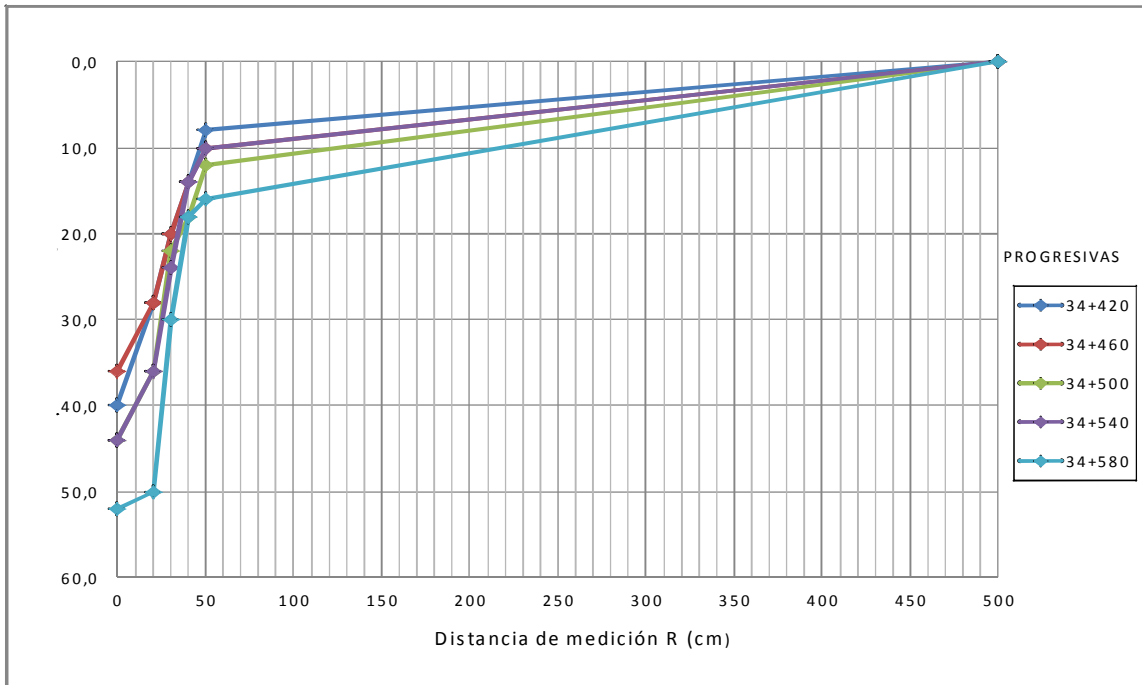
GRAFICA N° 4.3
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



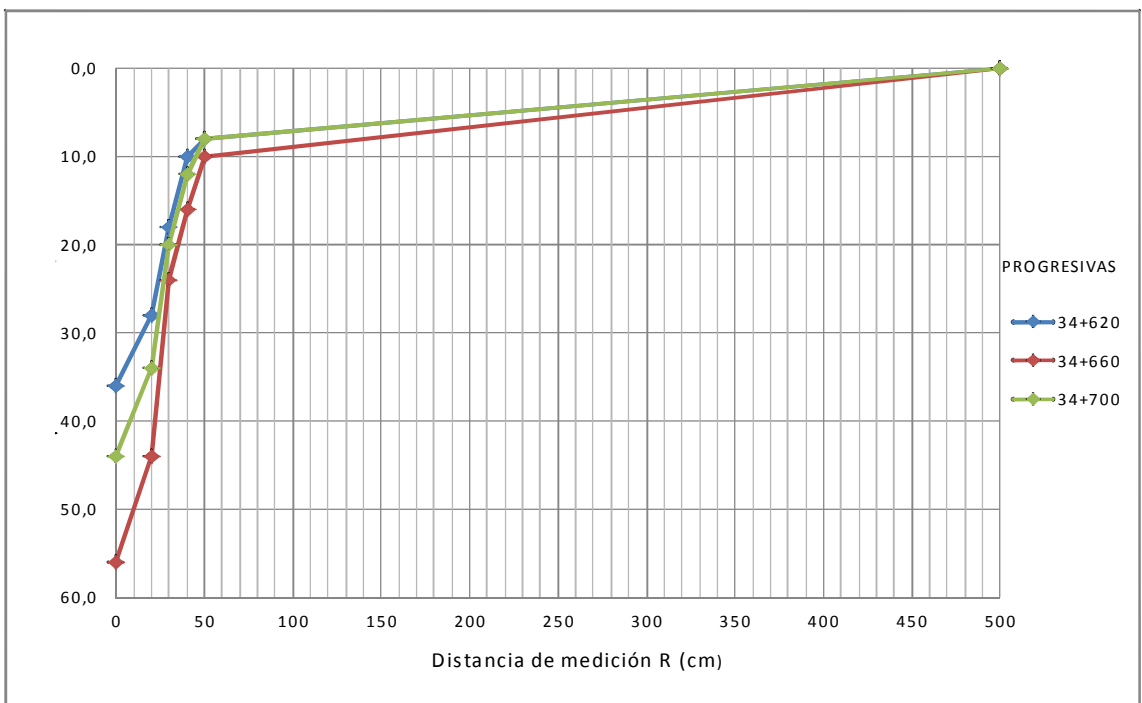
GRAFICA N° 4.4
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



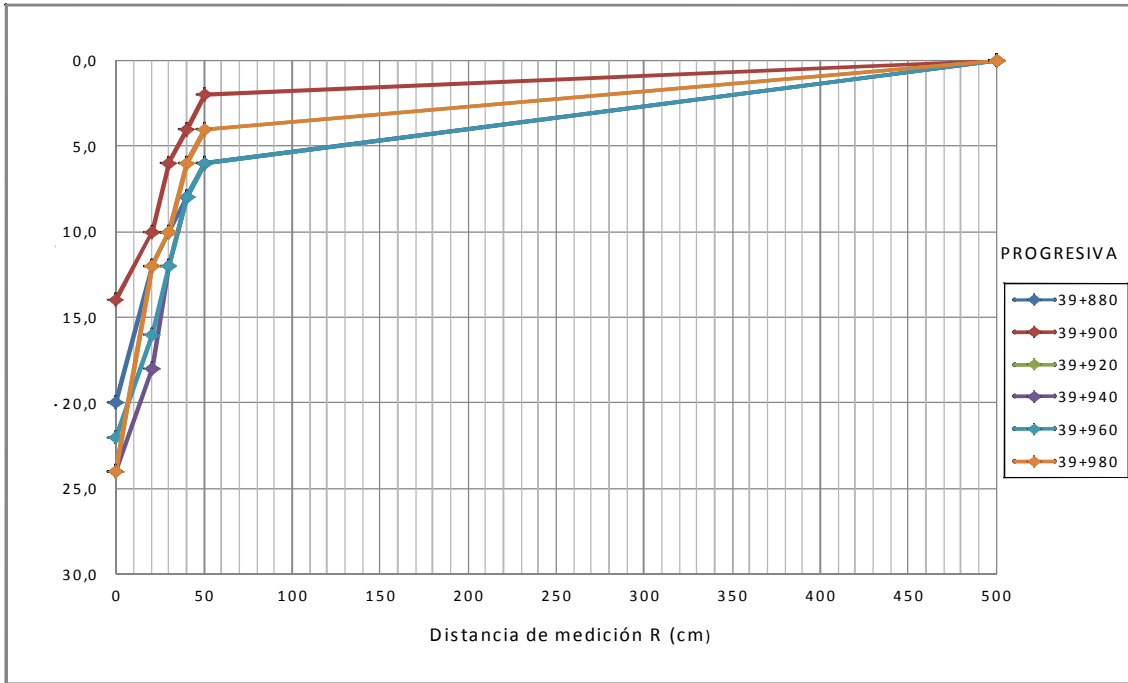
GRAFICA N° 4.5
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



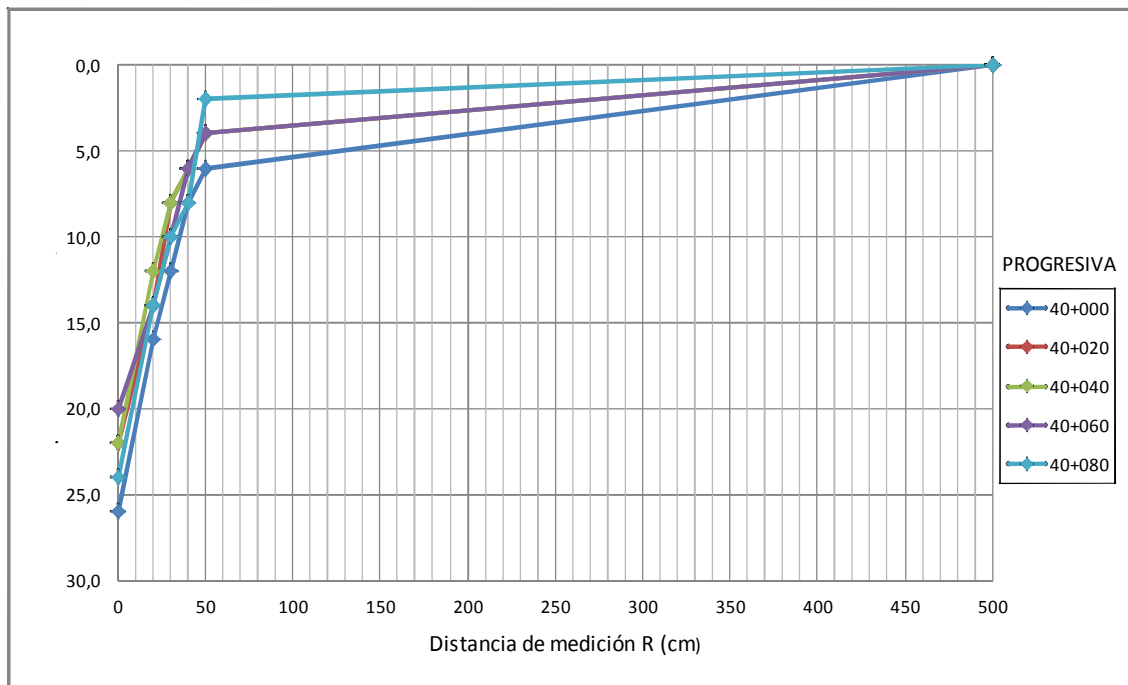
GRAFICA N° 4.6
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



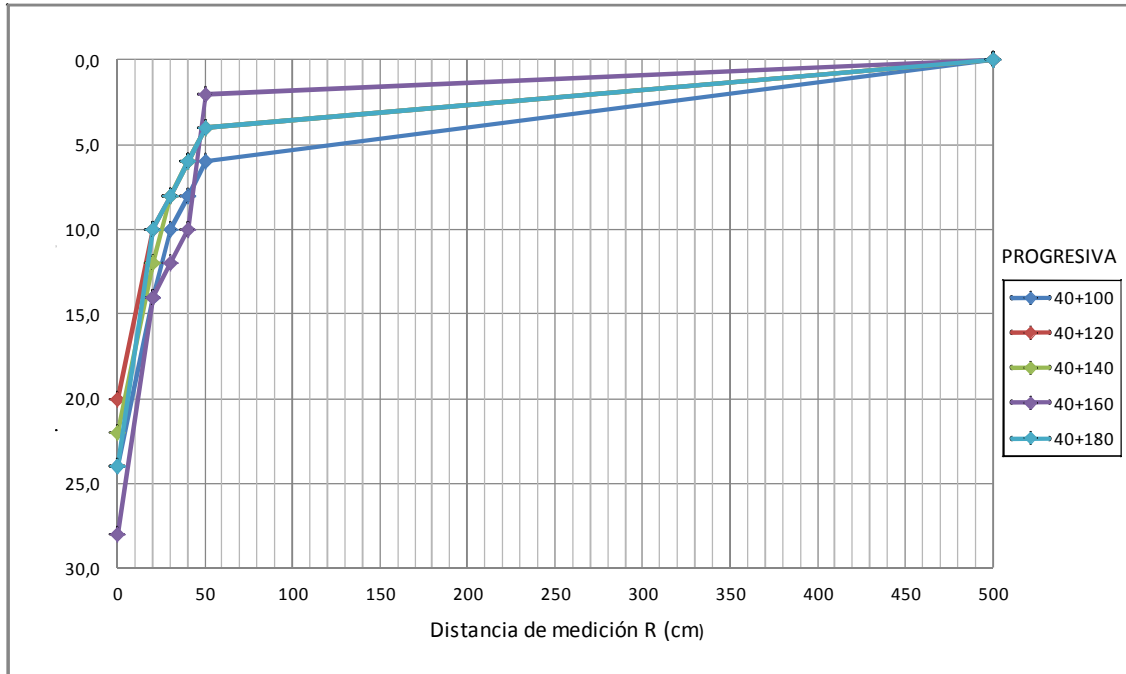
GRAFICA N° 4.7
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: - LA PAZ - ORURO



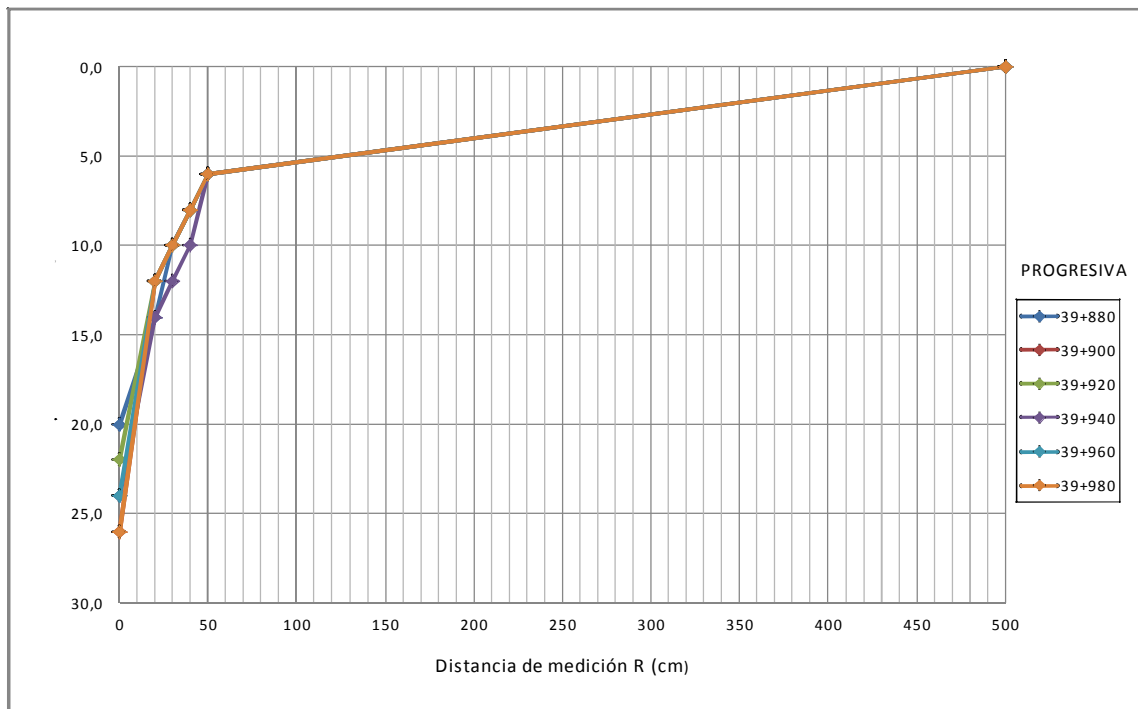
GRAFICA N° 4.8
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: - LA PAZ - ORURO



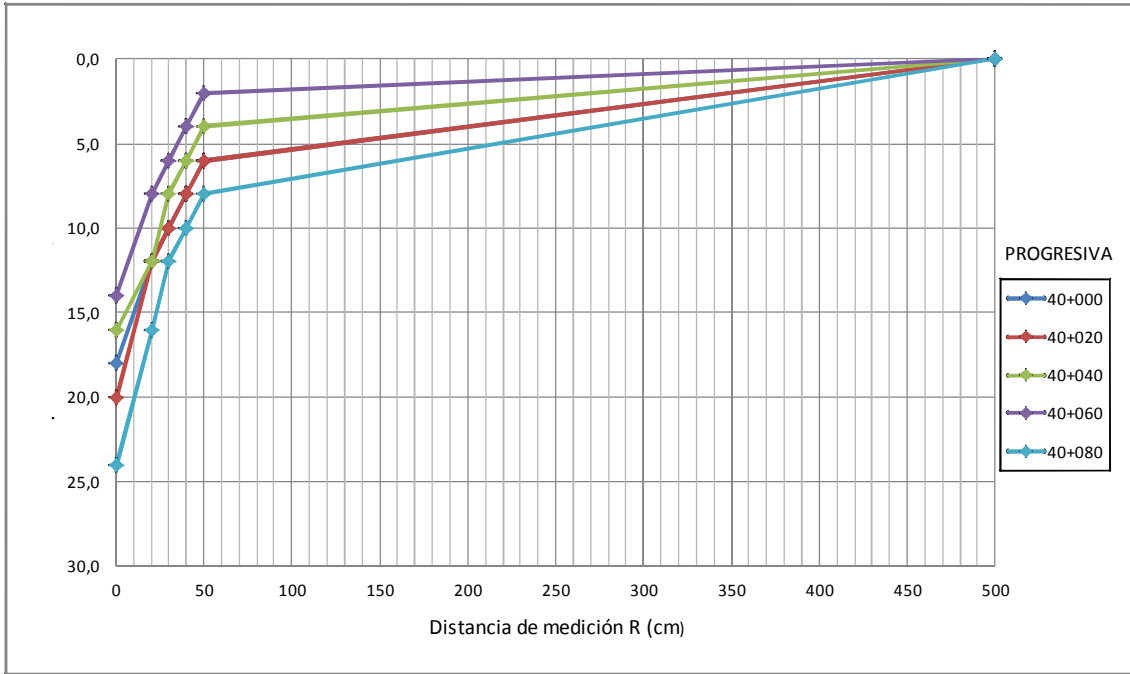
GRAFICA N° 4.9
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: - LA PAZ - ORURO



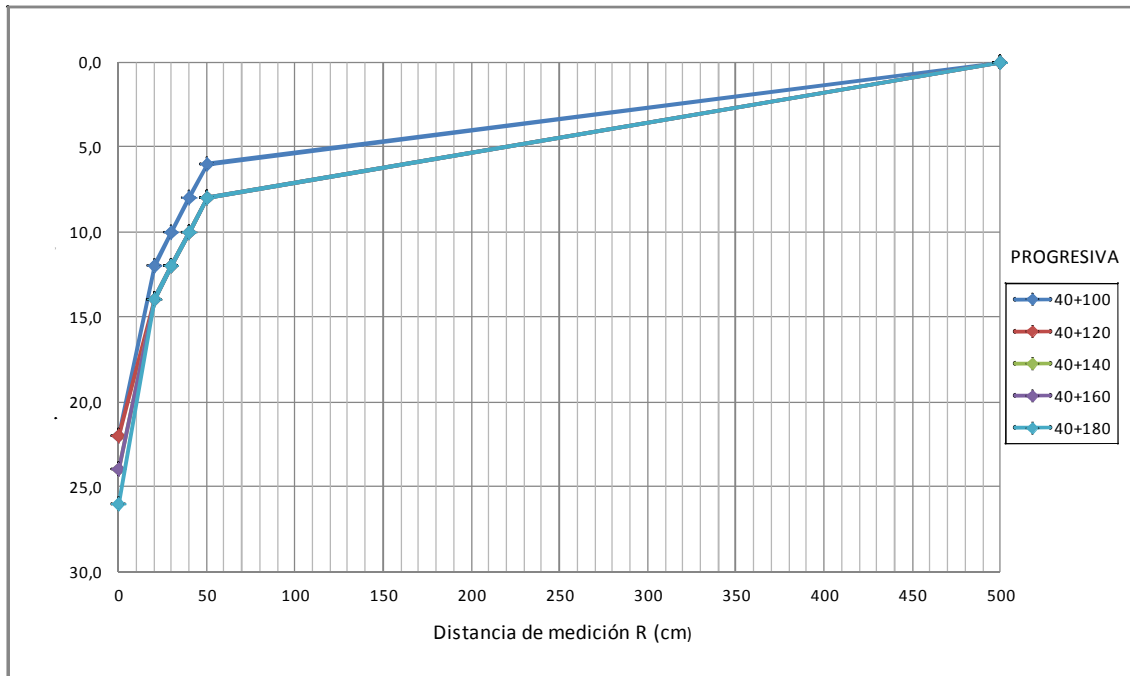
GRAFICA N° 4.10
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



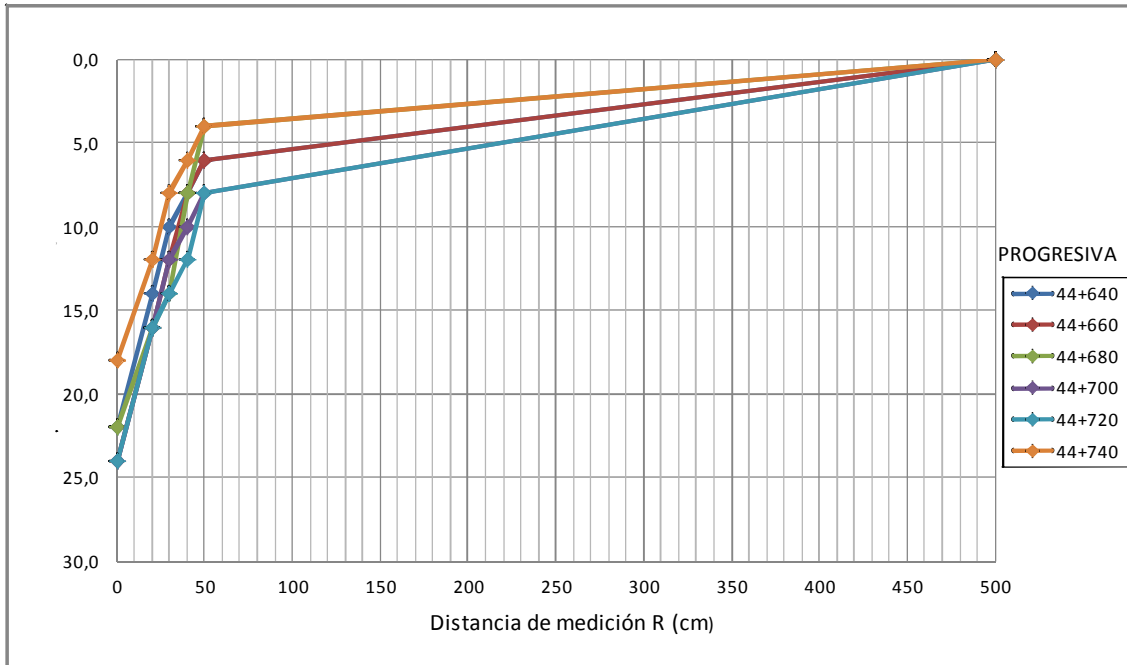
GRAFICA N° 4.11
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



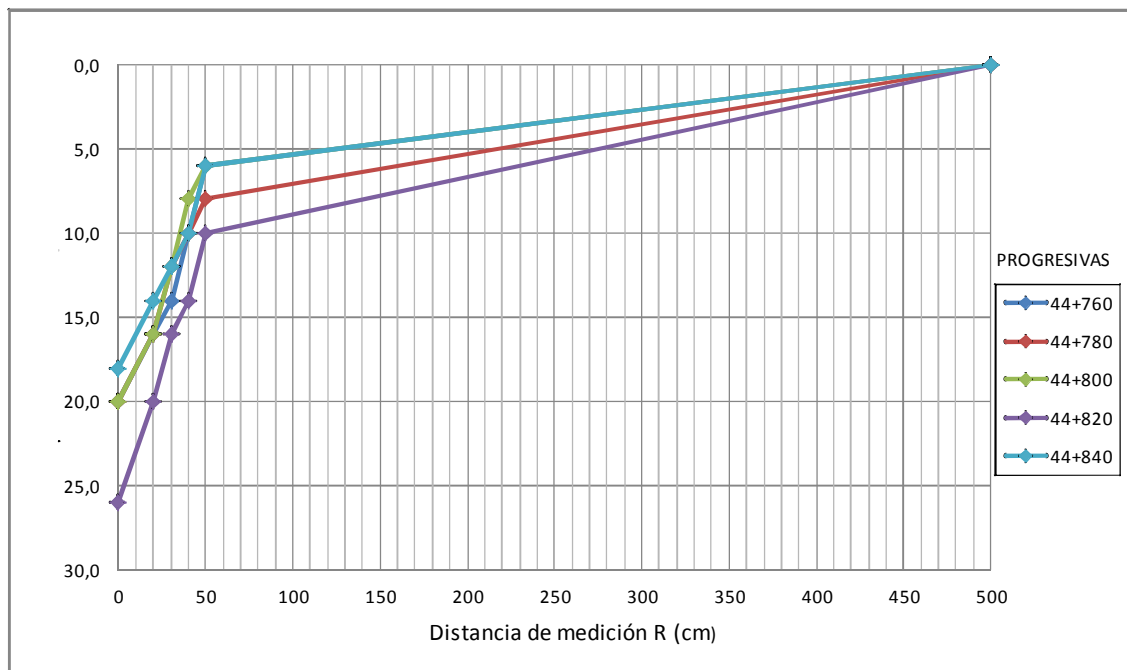
GRAFICA N° 4.12
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



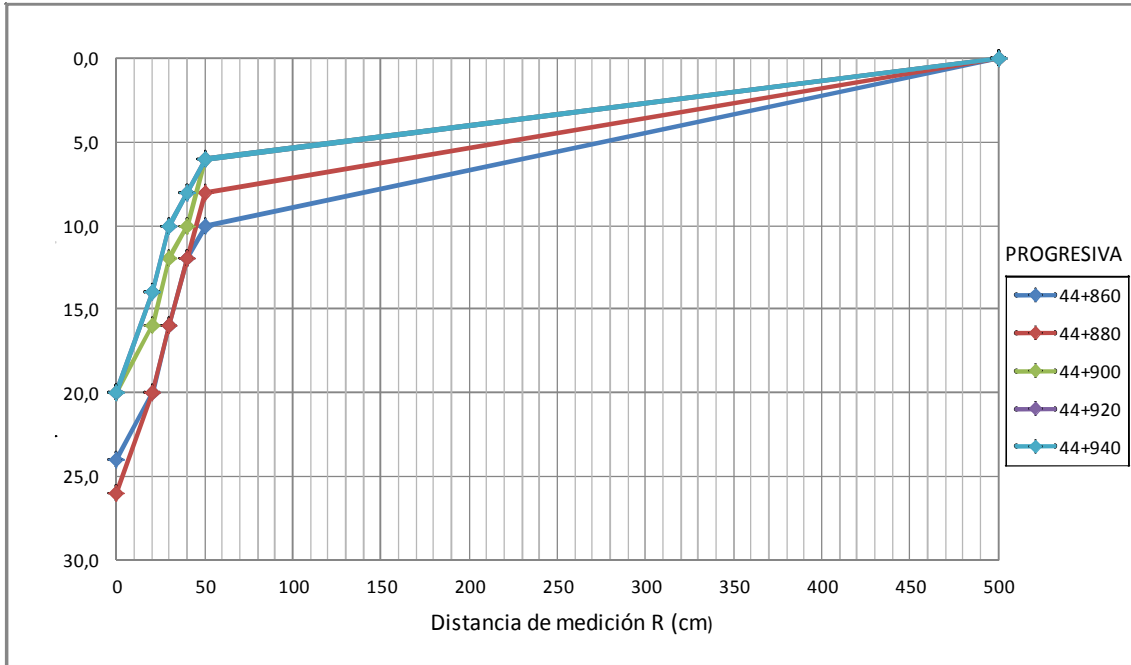
GRAFICA N° 4.13
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



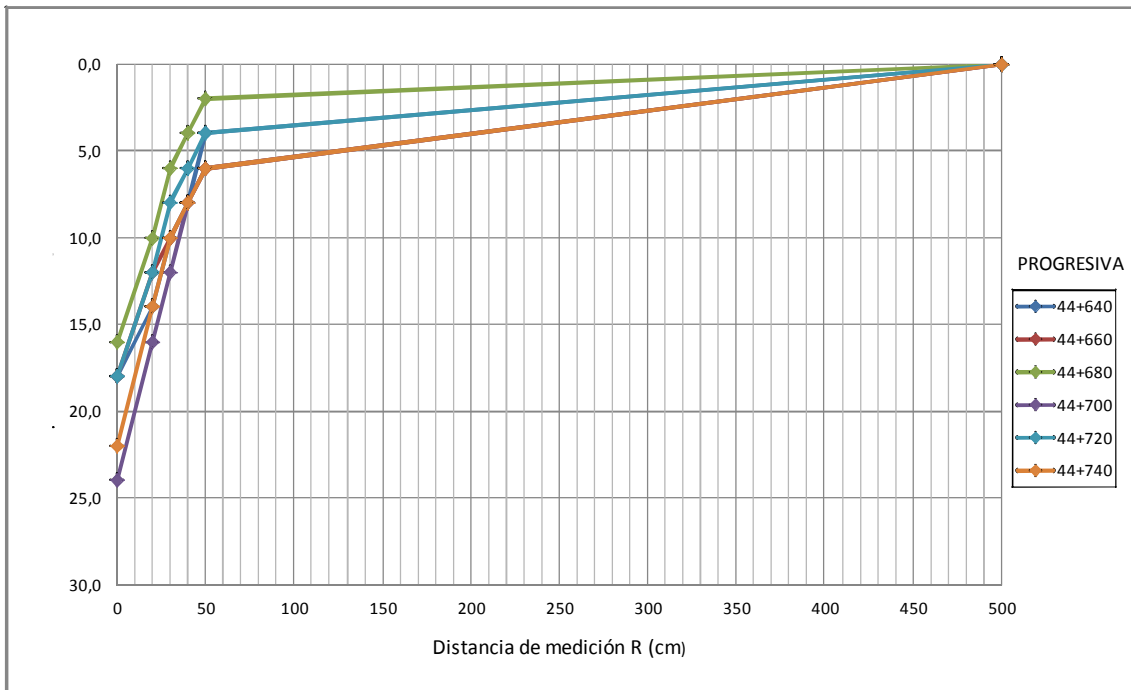
GRAFICA N° 4.14
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



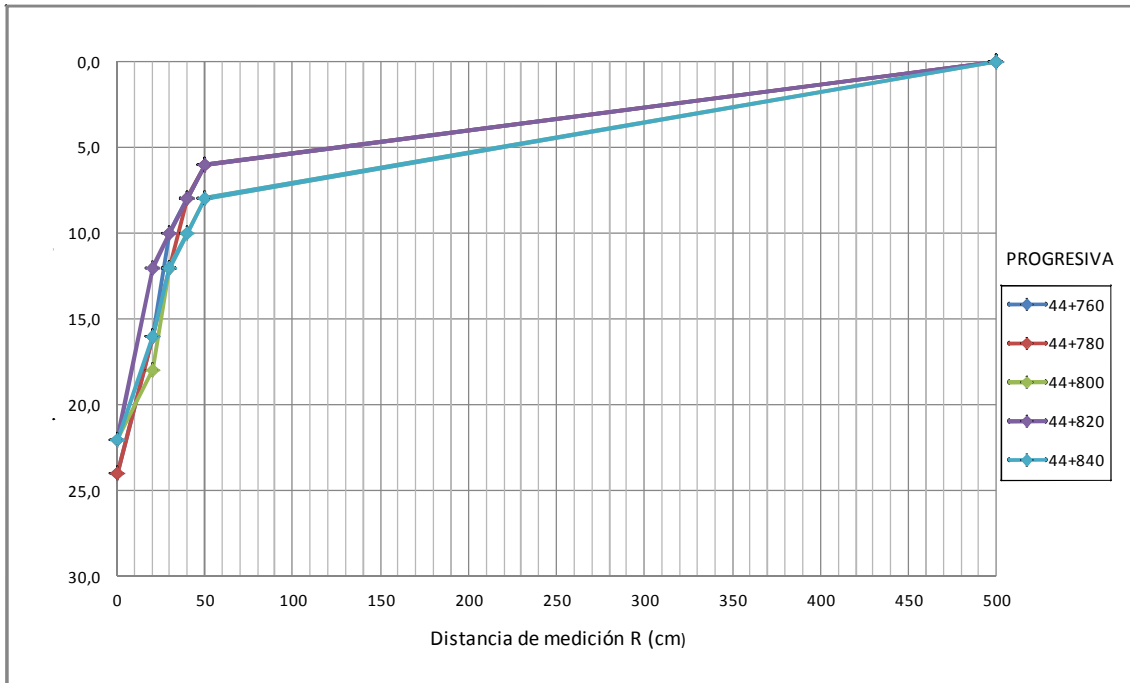
GRAFICA N° 4.15
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



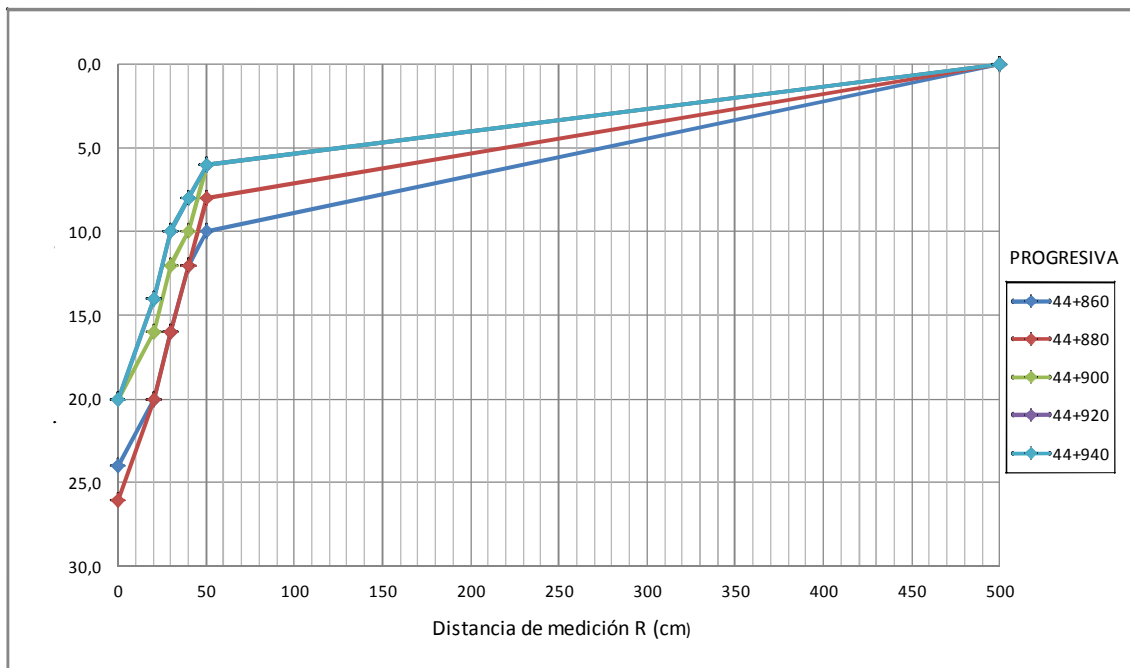
GRAFICA N° 4.16
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



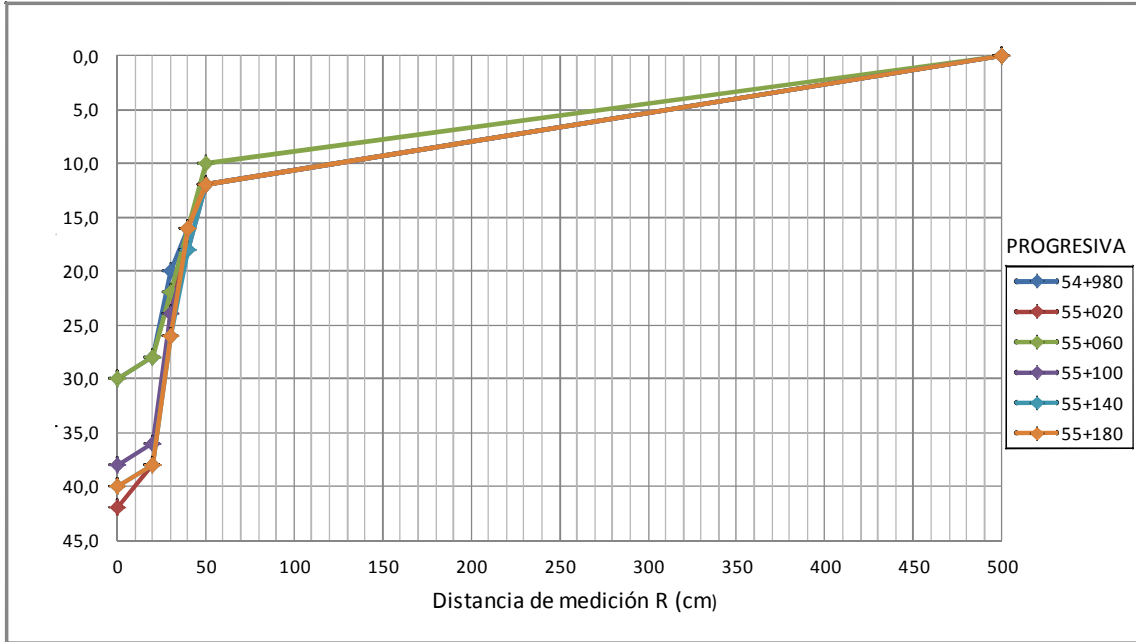
GRAFICA N° 4.17
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



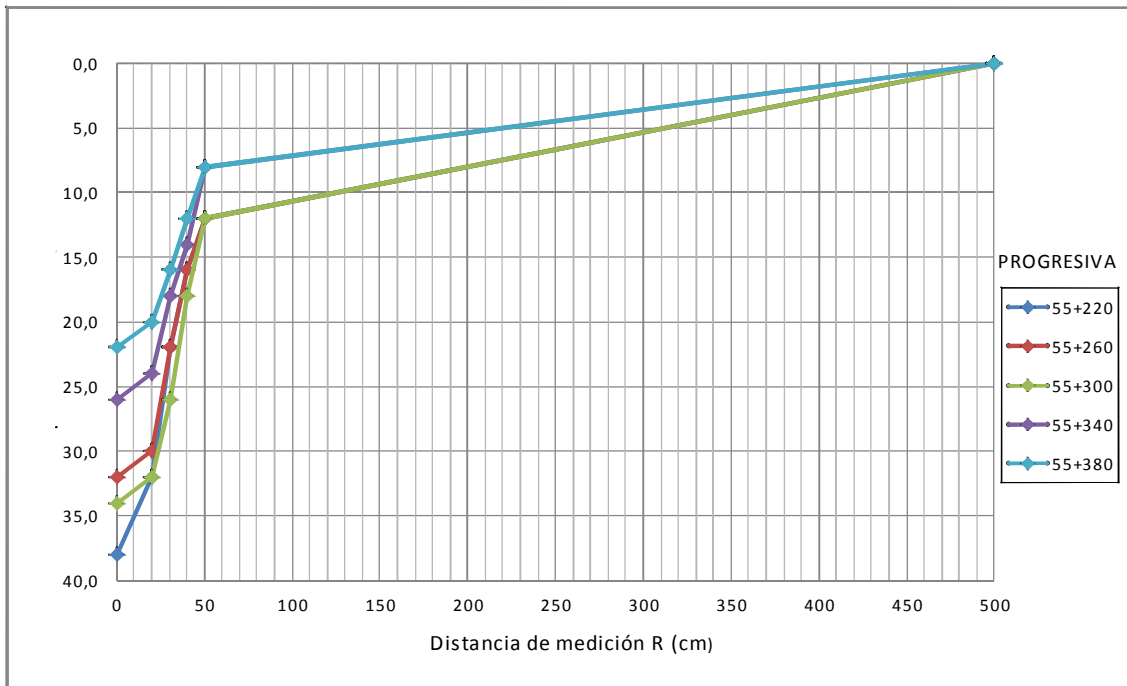
GRAFICA N° 4.18
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



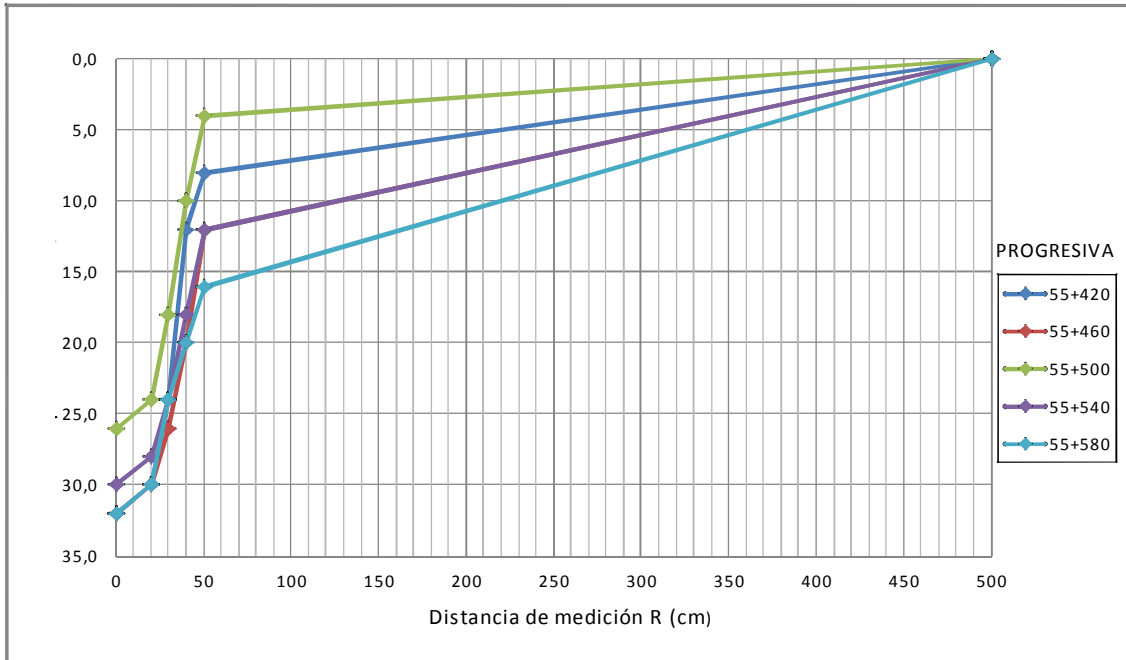
GRAFICA N° 4.19
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



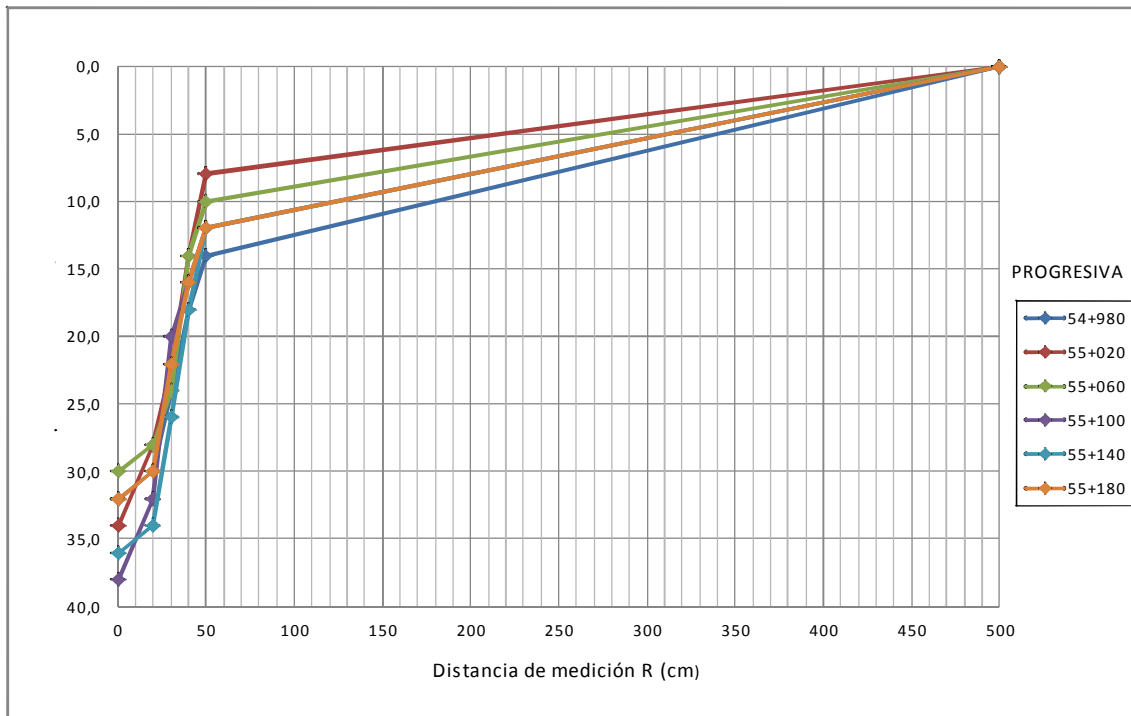
GRAFICA N° 4.20
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



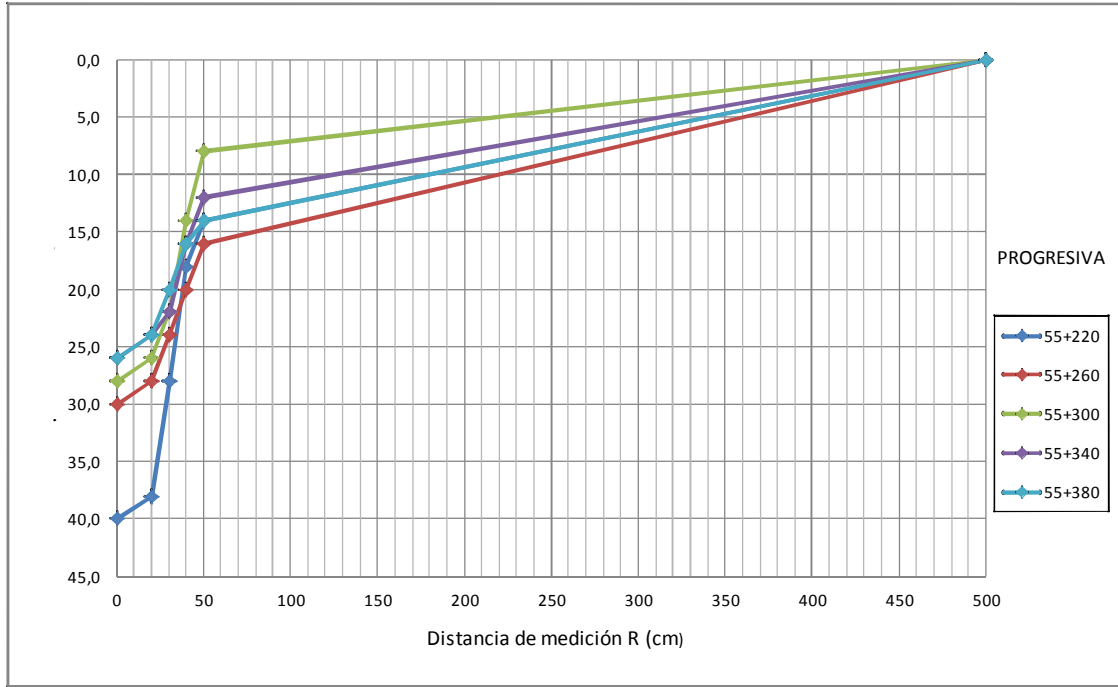
GRAFICA N° 4.21
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
Tramo: LA PAZ - ORURO



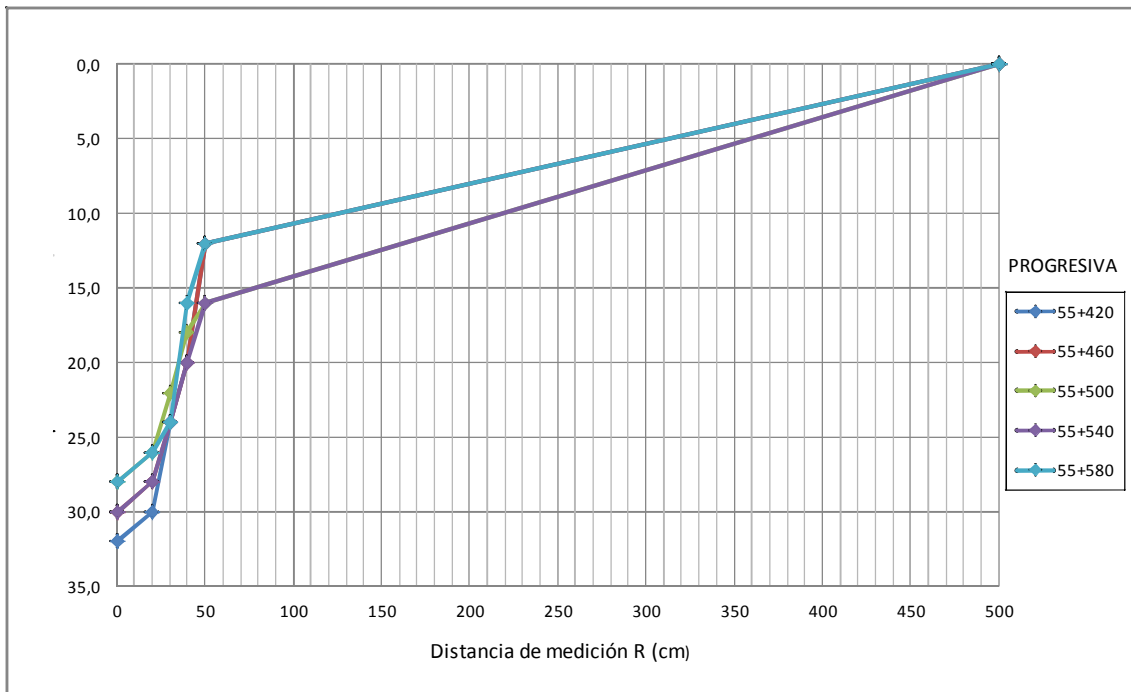
GRAFICA N° 4.22
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



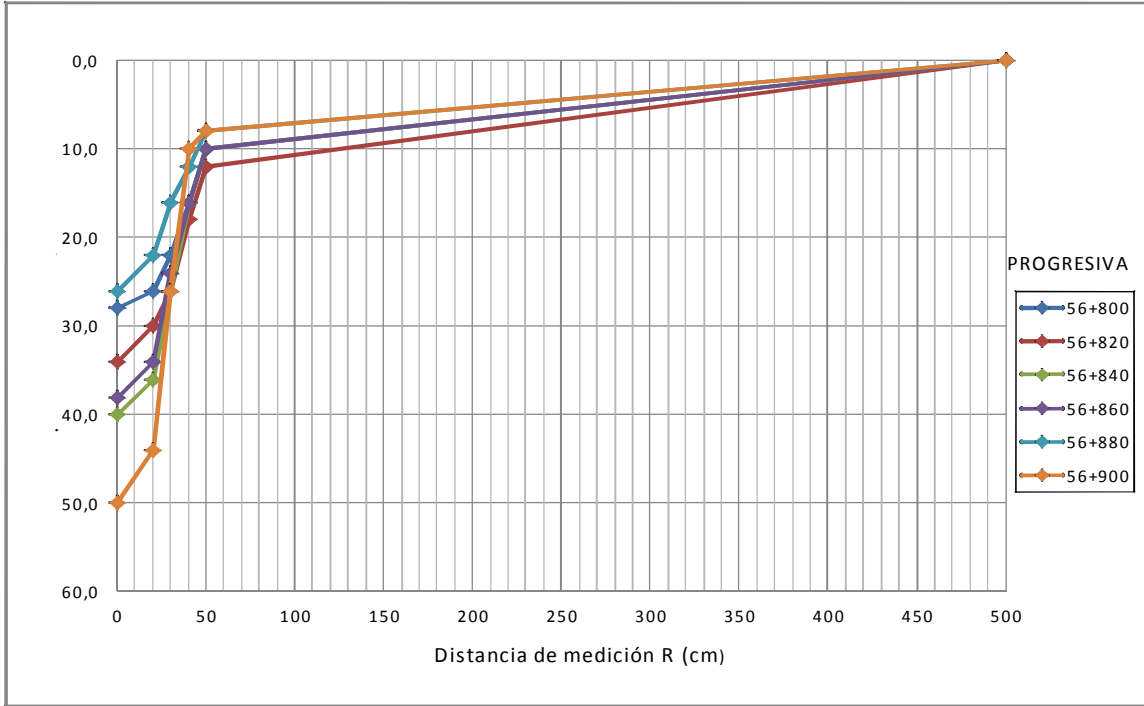
GRAFICA N° 4.23
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



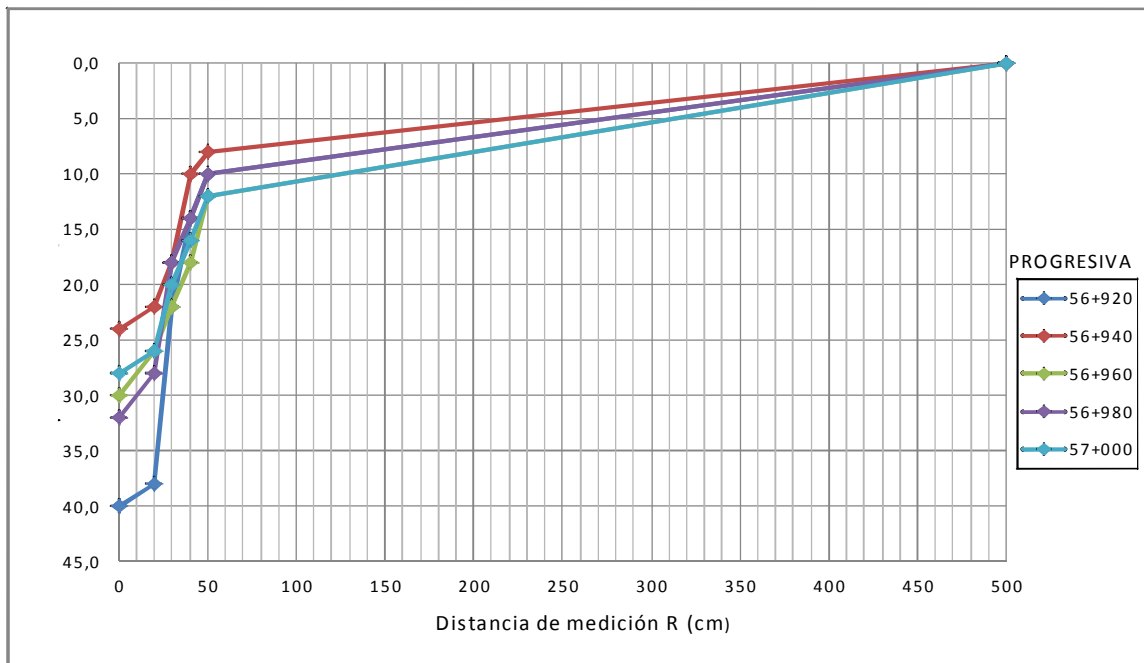
GRAFICA N° 4.24
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
Tramo: LA PAZ - ORURO



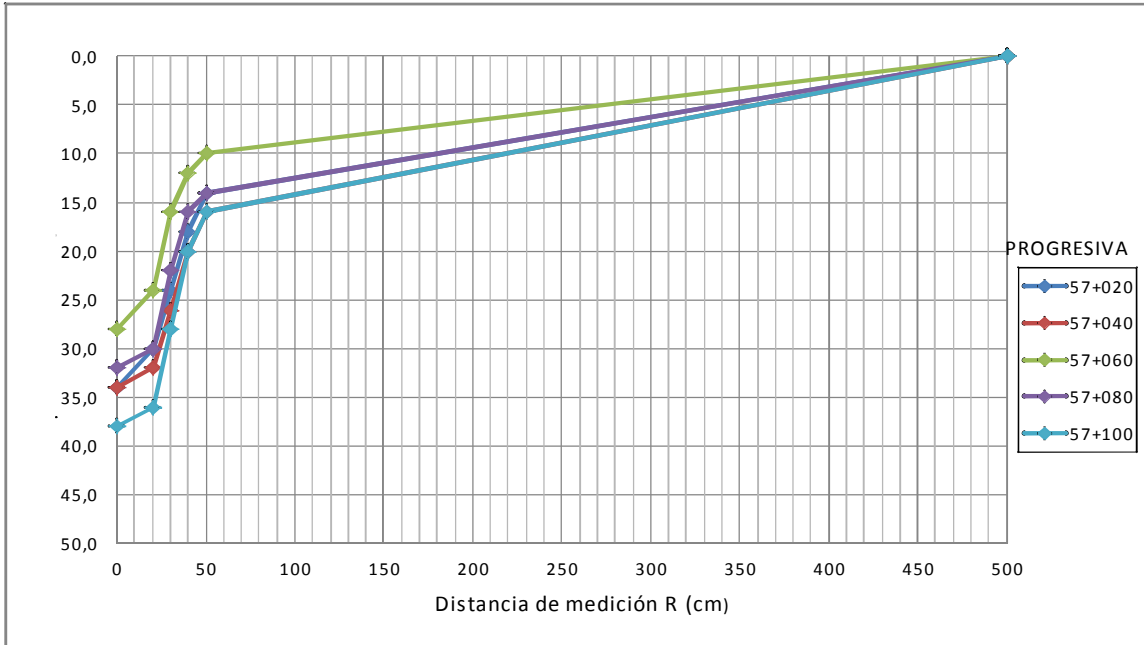
GRAFICA N° 4.25
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



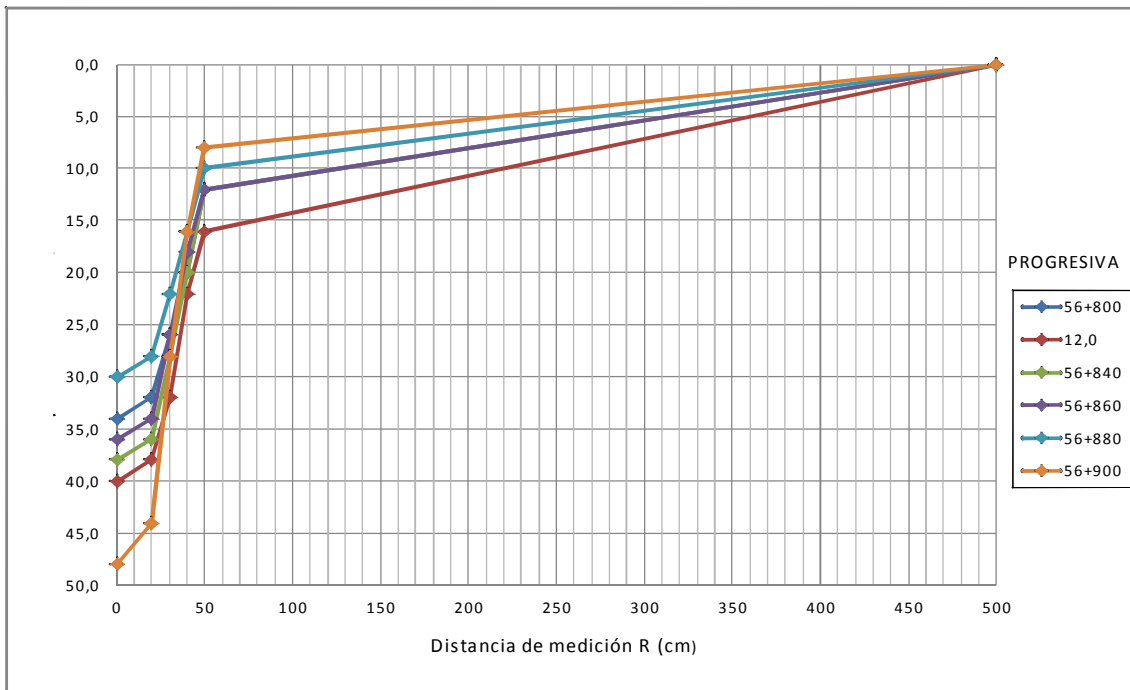
GRAFICA N° 4.26
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



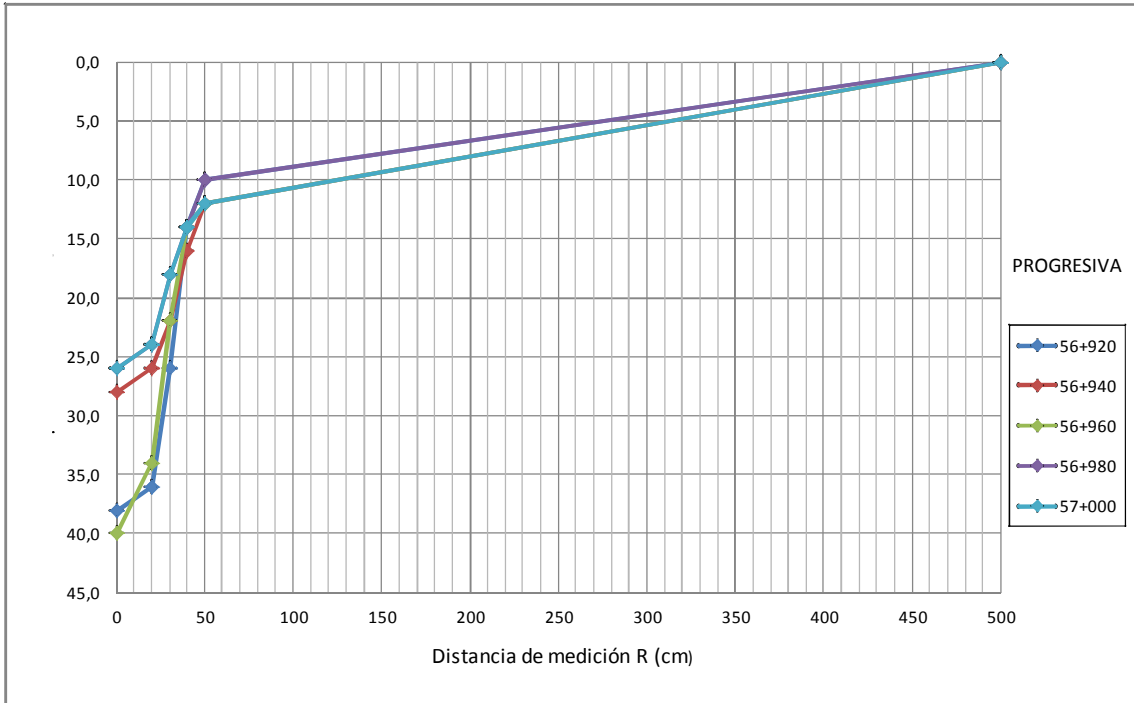
GRAFICA N° 4.27
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



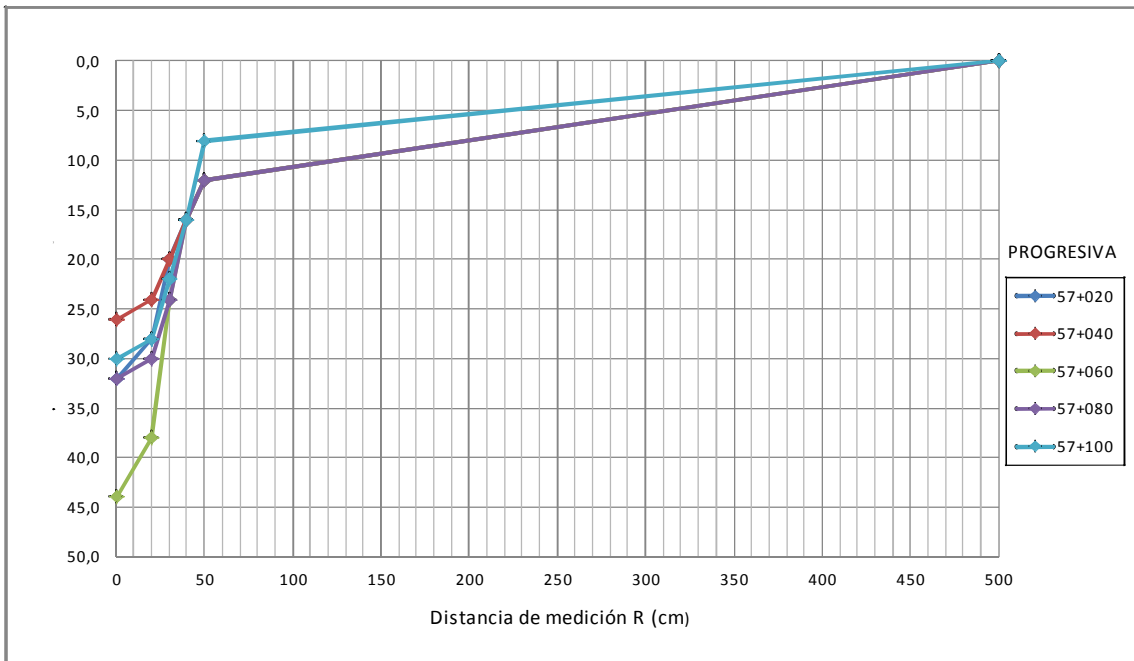
GRAFICA N° 4.28
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



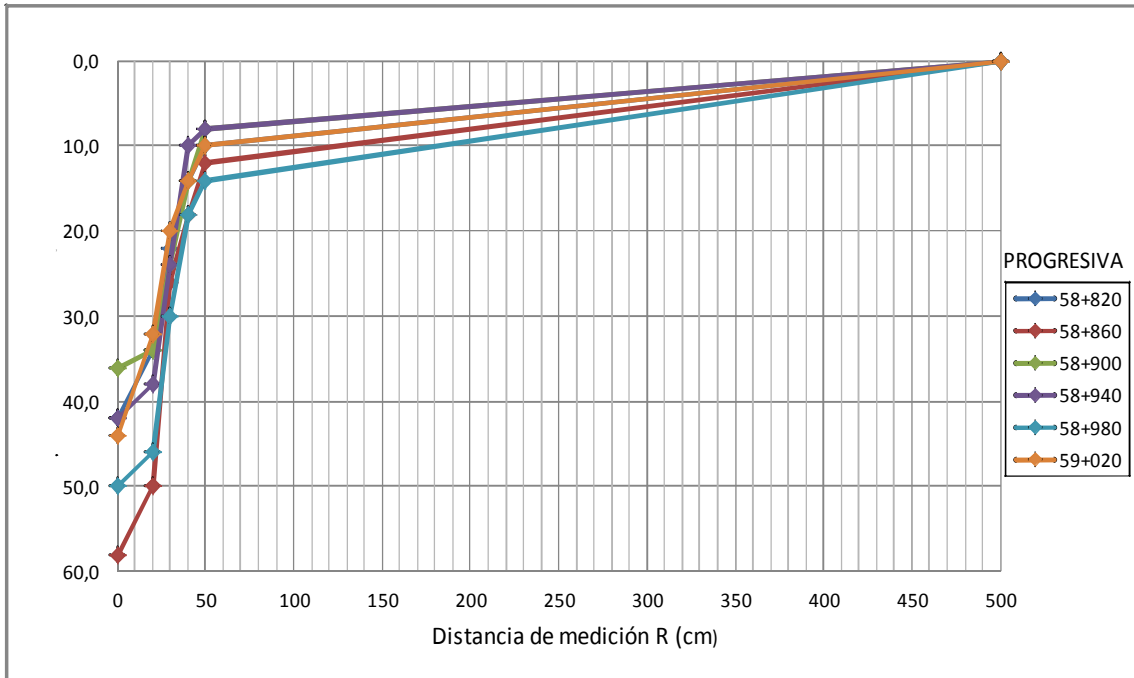
GRAFICA N° 4.29
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



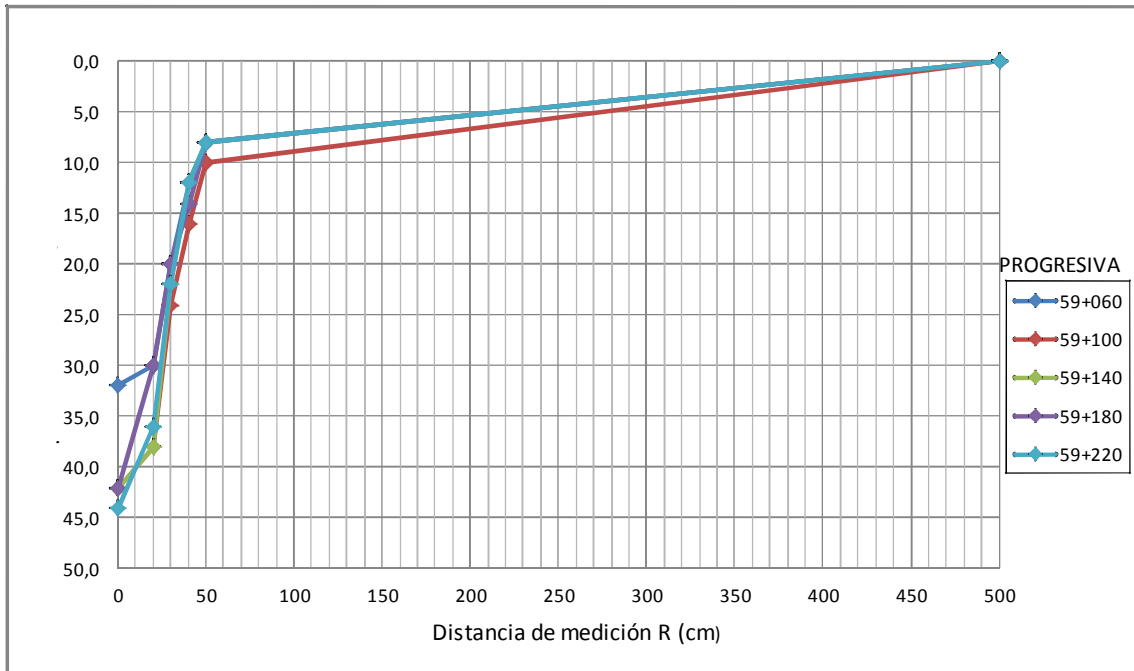
GRAFICA N° 4.30
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



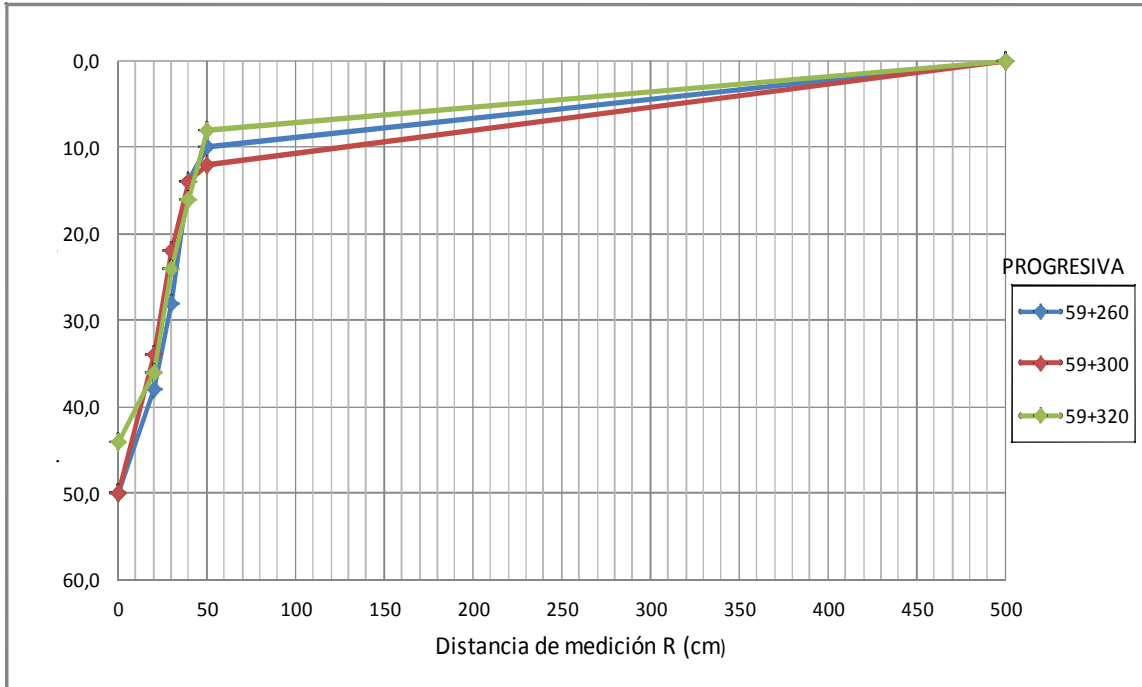
GRAFICA N° 4.31
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



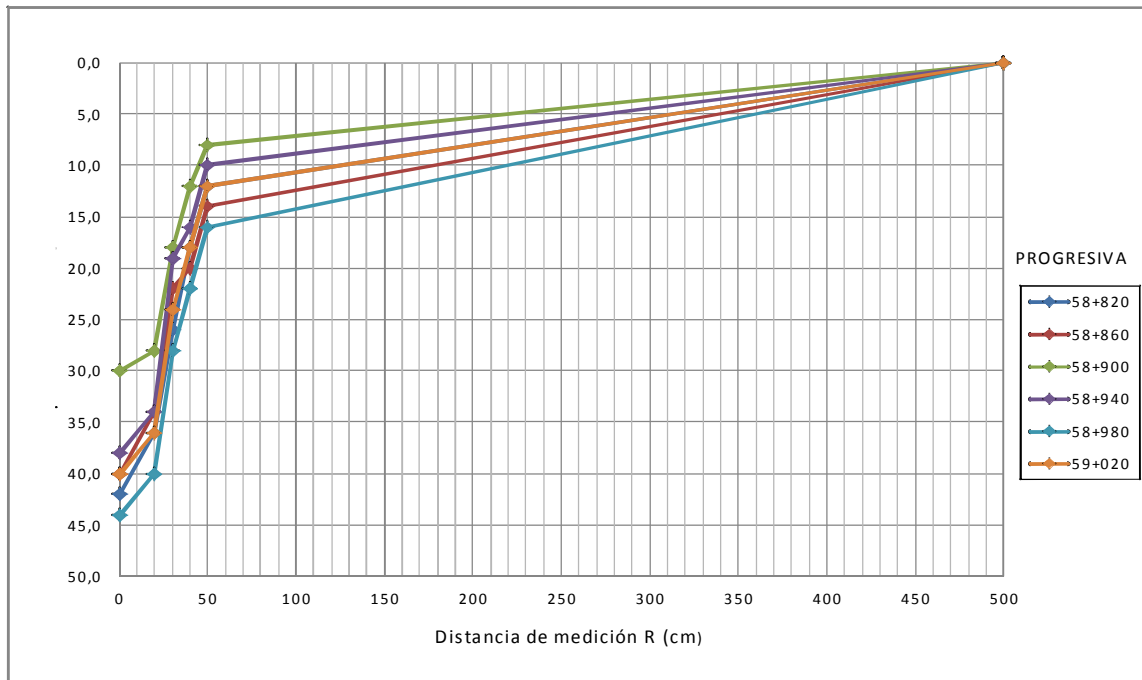
GRAFICA N° 4.32
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



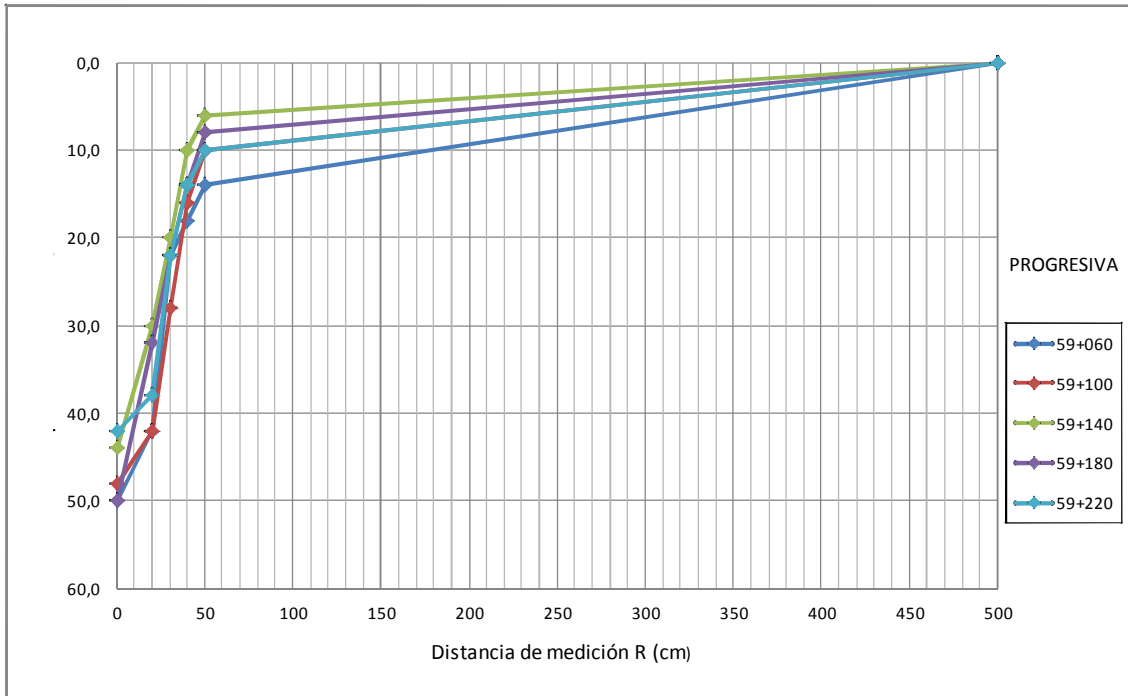
GRAFICA N° 4.33
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado derecho)
OBRA: LA PAZ - ORURO



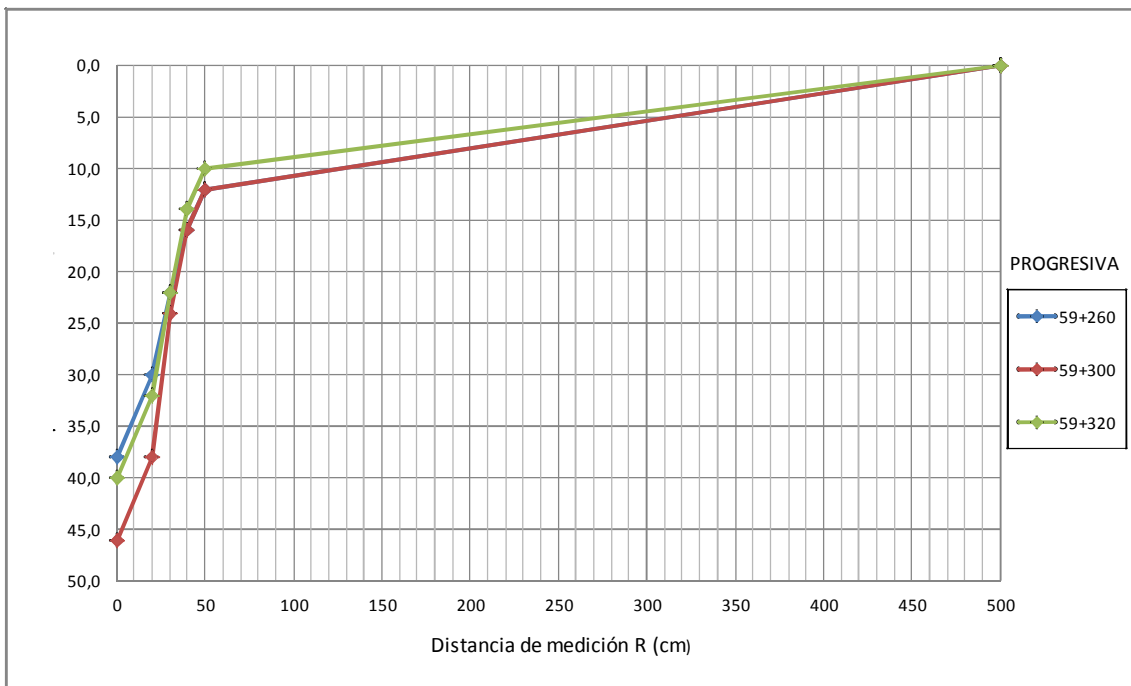
GRAFICA N° 4.34
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



GRAFICA N° 4.35
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



GRAFICA N° 4.36
Curvas de deflexiones típicas de ensayo con viga Benkelman (lado izquierdo)
OBRA: LA PAZ - ORURO



5. Determinación del módulo resiliente mediante el Método Hogg

5.1. Método de análisis

Para facilitar el análisis de los datos que se recopilaron con la viga Benkelman serán procesados de la mejor manera posible siguiendo los pasos sugeridos en el anterior capítulo a continuación se presentan los diferentes pasos de interpretación mediante ejemplos para su mejor entendimiento.

5.2. Modelo de carga

La realización del ensayo de la viga Benkelman proviene del eje trasero simple con llanta dobles de un camión, la carga del eje es del orden de los 8150 Kg. (17968 lb), es decir 4492 lb por llanta y la presión de inflado esta en 80 psi con estos datos podemos conocer el área de contacto mediante la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

Dónde:

a = Radio de la huella circular de contacto.

P= Carga sobre una llanta.

p= Presión de inflado.

$$a = \sqrt{\frac{4492}{\pi (80)}} = 4.23" = 10.7 \text{ cm} .$$

5.3. Determinación de R50

R50 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación DR/D0 = 0.5 en la curva de deflexiones. Para el modelo de HOGG se ha establecido que R50 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$r_{50} = r \frac{(\beta)^\alpha - B}{\left[\beta \left(\frac{\Delta_0}{\Delta_r} - 1 \right) \right]^\alpha - B}$$

Dónde:

R = Distancia a la que se mide la deflexión DR.

D0= Deflexión Máxima.

DR= Deflexión a la distancia R.

α , β y B= Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en las tabla 3.4.

Para la determinación del R50 como ejemplo se tomó la progresiva 34+180 del lado derecho donde se tuvo una deflexión máxima D0=54 y a una distancia R=40 cm una deflexión DR= 20, H/L0 =10 y con $\mu= 0.4$, una vez conocidos estos valores se calcula la relación DR/D0=0.37, ahora se debe ver que valores de coeficientes se van a utilizar según la tabla 3.4 para el caso II se tiene la siguiente condición:

- Si DR/D0 > 0.426 entonces $\alpha = 0.548$, $\beta = 2.629$ y B = 0
- Si DR/D0 < 0.426 entonces $\alpha = 0.2004$, $\beta = 2283.4$ y B = 3

Una vez escogidos los coeficientes según la condición DR/D0 se usa la ecuación anterior:

$$r_{50} = 40 \frac{(2283.4)^{0.2004} - 3}{\left[2283.4 \left(\frac{54}{20} - 1 \right) \right]^{0.2004} - 3}$$

$$\mathbf{R50 = 30.56}$$

En las siguientes tablas de la 4.26 a 4.37 se muestran los resultados obtenidos de R50.

TABLA N°4.26

**PLANILLA DE CALCULO DE LA RELACION DE FLEXIONES PARA EL CALCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 34+180 34+700
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
34+180	Der	0,78	0,56	0,37	0,26	1,29	1,80	2,70	3,86	39,74	33,90	30,56	30,40
34+220	Der	0,84	0,64	0,48	0,36	1,19	1,56	2,08	2,78	49,62	41,12	38,28	37,41
34+260	Der	0,95	0,68	0,50	0,36	1,05	1,47	2,00	2,75	106,07	45,55	40,00	37,68
34+300	Der	0,72	0,56	0,39	0,28	1,38	1,80	2,57	3,60	33,76	33,90	31,72	31,62
34+340	Der	0,90	0,60	0,45	0,35	1,11	1,67	2,22	2,86	66,67	37,46	35,83	36,66
34+380	Der	0,95	0,68	0,45	0,36	1,05	1,47	2,20	2,75	106,07	45,55	36,20	37,68
34+420	Der	0,71	0,52	0,38	0,29	1,40	1,91	2,63	3,50	33,04	31,61	31,22	32,15
34+460	Der	0,86	0,52	0,43	0,33	1,17	1,91	2,33	3,00	53,39	31,61	34,17	35,45
34+500	Der	0,78	0,52	0,39	0,26	1,28	1,92	2,56	3,83	40,35	31,47	31,87	30,50
34+540	Der	0,94	0,61	0,44	0,33	1,06	1,64	2,25	3,00	94,47	38,43	35,40	35,45
34+580	Der	0,74	0,53	0,37	0,26	1,36	1,90	2,71	3,80	35,16	31,78	30,44	30,65
34+620	Der	0,94	0,71	0,59	0,29	1,06	1,42	1,70	3,40	91,39	48,47	48,63	32,72
34+660	Der	0,94	0,61	0,39	0,22	1,06	1,64	2,57	4,50	94,47	38,43	31,72	28,00
34+700	Der	0,77	0,58	0,42	0,35	1,30	1,73	2,36	2,89	38,69	35,56	34,00	36,38

TABLA N°4.27

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)			
TRAMO:	34+180	34+700	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
34+180	Izq	0,92	0,60	0,44	0,36	1,09	1,67	2,27	2,78	76,26	37,46	35,05	37,41
34+220	Izq	0,89	0,72	0,56	0,39	1,13	1,38	1,80	2,57	62,51	50,64	45,20	39,65
34+260	Izq	0,90	0,65	0,50	0,35	1,11	1,54	2,00	2,86	66,67	42,12	40,00	36,66
34+300	Izq	0,78	0,61	0,39	0,22	1,29	1,64	2,57	4,50	39,74	38,43	31,72	28,00
34+340	Izq	0,78	0,56	0,39	0,28	1,29	1,80	2,57	3,60	39,74	33,90	31,72	31,62
34+380	Izq	0,75	0,50	0,35	0,25	1,33	2,00	2,86	4,00	36,52	30,00	29,33	29,79
34+420	Izq	0,70	0,50	0,35	0,20	1,43	2,00	2,86	5,00	31,82	30,00	29,33	26,57
34+460	Izq	0,78	0,56	0,39	0,28	1,29	1,80	2,57	3,60	39,74	33,90	31,72	31,62
34+500	Izq	0,82	0,50	0,41	0,27	1,22	2,00	2,44	3,67	45,60	30,00	33,04	31,29
34+540	Izq	0,82	0,55	0,32	0,23	1,22	1,83	3,14	4,40	45,60	33,15	27,50	28,32
34+580	Izq	0,96	0,58	0,35	0,31	1,04	1,73	2,89	3,25	116,71	35,56	29,10	33,65
34+620	Izq	0,78	0,50	0,28	0,22	1,29	2,00	3,60	4,50	39,74	30,00	25,30	28,00
34+660	Izq	0,79	0,43	0,29	0,18	1,27	2,33	3,50	5,60	40,76	25,62	25,72	25,19
34+700	Izq	0,77	0,45	0,27	0,18	1,29	2,20	3,67	5,50	39,11	27,15	25,03	25,40

TABLA N°4.28

**PLANILLA DE CALCULO DE LA RELACION DE FLEXIONES PARA EL CALCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 39+880 40+180
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
		R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm	R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm				
39+880	Der	0,60	0,50	0,40	0,30	1,67	2,00	2,50	3,33	24,98	30,00	32,44	33,12
39+900	Der	0,71	0,43	0,29	0,14	1,40	2,33	3,50	7,00	33,04	25,62	25,72	22,83
39+920	Der	0,50	0,42	0,25	0,17	2,00	2,40	4,00	6,00	20,00	25,17	23,83	24,41
39+940	Der	0,75	0,50	0,33	0,25	1,33	2,00	3,00	4,00	36,52	30,00	28,36	29,79
39+960	Der	0,73	0,55	0,36	0,27	1,38	1,83	2,75	3,67	34,23	33,15	30,15	31,29
39+980	Der	0,50	0,42	0,25	0,17	2,00	2,40	4,00	6,00	20,00	25,17	23,83	24,41
40+000	Der	0,62	0,46	0,31	0,23	1,63	2,17	3,25	4,33	25,88	27,57	26,92	28,55
40+020	Der	0,64	0,36	0,27	0,18	1,57	2,75	3,67	5,50	27,18	22,61	25,03	25,40
40+040	Der	0,55	0,36	0,27	0,18	1,83	2,75	3,67	5,50	22,10	22,61	25,03	25,40
40+060	Der	0,70	0,50	0,30	0,20	1,43	2,00	3,33	5,00	31,82	30,00	26,50	26,57
40+080	Der	0,58	0,42	0,33	0,08	1,71	2,40	3,00	12,00	24,05	25,17	28,36	18,53
40+100	Der	0,58	0,42	0,33	0,25	1,71	2,40	3,00	4,00	24,05	25,17	28,36	29,79
40+120	Der	0,50	0,40	0,30	0,20	2,00	2,50	3,33	5,00	20,00	24,33	26,50	26,57
40+140	Der	0,55	0,36	0,27	0,18	1,83	2,75	3,67	5,50	22,10	22,61	25,03	25,40
40+160	Der	0,50	0,43	0,36	0,07	2,00	2,33	2,80	14,00	20,00	25,62	29,76	17,54
40+180	Der	0,42	0,33	0,25	0,17	2,40	3,00	4,00	6,00	16,78	21,27	23,83	24,41

TABLA 4.29

**PLANILLA DE CALCULO DE LA RELACION DE FLEXIONES PARA EL CALCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - URURO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 39+880 40+180
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
39+880	Izq	0,70	0,50	0,40	0,30	1,43	2,00	2,50	3,33	31,82	30,00	32,44	33,12
39+900	Izq	0,46	0,38	0,31	0,23	2,17	2,60	3,25	4,33	18,38	23,58	26,92	28,55
39+920	Izq	0,55	0,45	0,36	0,27	1,83	2,20	2,75	3,67	22,10	27,15	30,15	31,29
39+940	Izq	0,58	0,50	0,42	0,25	1,71	2,00	2,40	4,00	24,05	30,00	33,55	29,79
39+960	Izq	0,50	0,42	0,33	0,25	2,00	2,40	3,00	4,00	20,00	25,17	28,36	29,79
39+980	Izq	0,46	0,38	0,31	0,23	2,17	2,60	3,25	4,33	18,38	23,58	26,92	28,55
40+000	Izq	0,67	0,56	0,44	0,33	1,50	1,80	2,25	3,00	29,24	33,90	35,40	35,45
40+020	Izq	0,60	0,50	0,40	0,30	1,67	2,00	2,50	3,33	24,98	30,00	32,44	33,12
40+040	Izq	0,75	0,50	0,38	0,25	1,33	2,00	2,67	4,00	36,52	30,00	30,84	29,79
40+060	Izq	0,57	0,43	0,29	0,14	1,75	2,33	3,50	7,00	23,42	25,62	25,72	22,83
40+080	Izq	0,67	0,50	0,42	0,33	1,50	2,00	2,40	3,00	29,24	30,00	33,55	35,45
40+100	Izq	0,55	0,45	0,36	0,27	1,83	2,20	2,75	3,67	22,10	27,15	30,15	31,29
40+120	Izq	0,64	0,55	0,45	0,36	1,57	1,83	2,20	2,75	27,18	33,15	36,20	37,68
40+140	Izq	0,58	0,50	0,42	0,33	1,71	2,00	2,40	3,00	24,05	30,00	33,55	35,45
40+160	Izq	0,58	0,50	0,42	0,33	1,71	2,00	2,40	3,00	24,05	30,00	33,55	35,45
40+180	Izq	0,54	0,46	0,38	0,31	1,86	2,17	2,60	3,25	21,76	27,57	31,45	33,65

TABLA N°4.30

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 44+640 44+940
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
44+640	Der	0,64	0,45	0,36	0,27	1,57	2,20	2,75	3,67	27,18	27,15	30,15	31,29
44+660	Der	0,67	0,50	0,33	0,25	1,50	2,00	3,00	4,00	29,24	30,00	28,36	29,79
44+680	Der	0,73	0,64	0,36	0,18	1,38	1,57	2,75	5,50	34,23	40,77	30,15	25,40
44+700	Der	0,67	0,50	0,42	0,33	1,50	2,00	2,40	3,00	29,24	30,00	33,55	35,45
44+720	Der	0,67	0,58	0,50	0,33	1,50	1,71	2,00	3,00	29,24	36,07	40,00	35,45
44+740	Der	0,67	0,44	0,33	0,22	1,50	2,25	3,00	4,50	29,24	26,55	28,36	28,00
44+760	Der	0,80	0,70	0,50	0,30	1,25	1,43	2,00	3,33	42,75	47,73	40,00	33,12
44+780	Der	0,80	0,60	0,50	0,40	1,25	1,67	2,00	2,50	42,75	37,46	40,00	40,55
44+800	Der	0,80	0,60	0,40	0,30	1,25	1,67	2,50	3,33	42,75	37,46	32,44	33,12
44+820	Der	0,77	0,62	0,54	0,38	1,30	1,63	1,86	2,60	38,69	38,81	43,53	39,31
44+840	Der	0,78	0,67	0,56	0,33	1,29	1,50	1,80	3,00	39,74	43,86	45,20	35,45
44+860	Der	0,83	0,67	0,50	0,42	1,20	1,50	2,00	2,40	48,31	43,86	40,00	41,94
44+880	Der	0,77	0,62	0,46	0,31	1,30	1,63	2,17	3,25	38,69	38,81	36,76	33,65
44+900	Der	0,80	0,60	0,50	0,30	1,25	1,67	2,00	3,33	42,75	37,46	40,00	33,12
44+920	Der	0,70	0,50	0,40	0,30	1,43	2,00	2,50	3,33	31,82	30,00	32,44	33,12
44+940	Der	0,70	0,50	0,40	0,30	1,43	2,00	2,50	3,33	31,82	30,00	32,44	33,12

TABLA N°4.31

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 44+640 44+940
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
44+640	Izq	0,78	0,56	0,44	0,22	1,29	1,80	2,25	4,50	39,74	33,90	35,40	28,00
44+660	Izq	0,67	0,56	0,44	0,33	1,50	1,80	2,25	3,00	29,24	33,90	35,40	35,45
44+680	Izq	0,63	0,38	0,25	0,13	1,60	2,67	4,00	8,00	26,46	23,13	23,83	21,61
44+700	Izq	0,67	0,50	0,33	0,25	1,50	2,00	3,00	4,00	29,24	30,00	28,36	29,79
44+720	Izq	0,67	0,44	0,33	0,22	1,50	2,25	3,00	4,50	29,24	26,55	28,36	28,00
44+740	Izq	0,64	0,45	0,36	0,27	1,57	2,20	2,75	3,67	27,18	27,15	30,15	31,29
44+760	Izq	0,67	0,42	0,33	0,25	1,50	2,40	3,00	4,00	29,24	25,17	28,36	29,79
44+780	Izq	0,67	0,50	0,33	0,25	1,50	2,00	3,00	4,00	29,24	30,00	28,36	29,79
44+800	Izq	0,82	0,55	0,45	0,36	1,22	1,83	2,20	2,75	45,60	33,15	36,20	37,68
44+820	Izq	0,55	0,45	0,36	0,27	1,83	2,20	2,75	3,67	22,10	27,15	30,15	31,29
44+840	Izq	0,73	0,55	0,45	0,36	1,38	1,83	2,20	2,75	34,23	33,15	36,20	37,68
44+860	Izq	0,62	0,46	0,38	0,23	1,63	2,17	2,60	4,33	25,88	27,57	31,45	28,55
44+880	Izq	0,75	0,58	0,42	0,25	1,33	1,71	2,40	4,00	36,52	36,07	33,55	29,79
44+900	Izq	0,64	0,45	0,27	0,18	1,57	2,20	3,67	5,50	27,18	27,15	25,03	25,40
44+920	Izq	0,75	0,50	0,33	0,25	1,33	2,00	3,00	4,00	36,52	30,00	28,36	29,79
44+940	Izq	0,73	0,64	0,55	0,45	1,38	1,57	1,83	2,20	34,23	40,77	44,20	45,25

TABLA N°4.32

**PLANILLA DE CALCULO DE LA RELACION DE FLEXIONES PARA EL CALCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 54+980 55+580
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do	Dr/Do	Dr/Do	Dr/Do	Do/Dr	Do/Dr	Do/Dr	Do/Dr	Distancia radial R50			
		para R=20	para R=30	para R=40	para R=50	para R=20	para R=30	para R=40	para R=50	R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
54+980	Der	0,93	0,67	0,53	0,40	1,07	1,50	1,88	2,50	84,94	43,86	43,04	40,55
55+020	Der	0,90	0,57	0,38	0,29	1,11	1,75	2,63	3,50	68,68	35,12	31,22	32,15
55+060	Der	0,93	0,73	0,53	0,33	1,07	1,36	1,88	3,00	84,94	52,22	43,04	35,45
55+100	Der	0,95	0,63	0,47	0,32	1,06	1,58	2,11	3,17	97,48	40,31	37,76	34,21
55+140	Der	0,95	0,65	0,45	0,30	1,05	1,54	2,22	3,33	100,41	42,12	35,83	33,12
55+180	Der	0,95	0,65	0,40	0,30	1,05	1,54	2,50	3,33	100,41	42,12	32,44	33,12
55+220	Der	0,84	0,58	0,42	0,32	1,19	1,73	2,38	3,17	50,05	35,72	33,86	34,21
55+260	Der	0,94	0,69	0,50	0,38	1,07	1,45	2,00	2,67	88,21	46,21	40,00	38,55
55+300	Der	0,94	0,76	0,53	0,35	1,06	1,31	1,89	2,83	91,39	57,23	42,67	36,88
55+340	Der	0,92	0,69	0,54	0,31	1,08	1,44	1,86	3,25	78,06	46,79	43,53	33,65
55+380	Der	0,91	0,73	0,55	0,36	1,10	1,38	1,83	2,75	70,64	51,35	44,20	37,68
55+420	Der	0,94	0,75	0,38	0,25	1,07	1,33	2,67	4,00	88,21	54,78	30,84	29,79
55+460	Der	0,94	0,81	0,63	0,38	1,07	1,23	1,60	2,67	88,21	67,00	52,92	38,55
55+500	Der	0,92	0,69	0,38	0,15	1,08	1,44	2,60	6,50	78,06	46,79	31,45	23,57
55+540	Der	0,93	0,80	0,60	0,40	1,07	1,25	1,67	2,50	84,94	64,13	49,95	40,55
55+580	Der	0,94	0,75	0,63	0,50	1,07	1,33	1,60	2,00	88,21	54,78	52,92	50,00

TABLA N°4.33

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 54+980 55+580
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
54+980	Izq	0,94	0,75	0,56	0,44	1,07	1,33	1,78	2,29	88,21	54,78	45,91	43,57
55+020	Izq	0,82	0,65	0,41	0,24	1,21	1,55	2,43	4,25	46,52	41,82	33,22	28,84
55+060	Izq	0,93	0,80	0,47	0,33	1,07	1,25	2,14	3,00	84,94	64,13	37,18	35,45
55+100	Izq	0,84	0,53	0,42	0,32	1,19	1,90	2,38	3,17	50,05	31,78	33,86	34,21
55+140	Izq	0,94	0,72	0,50	0,33	1,06	1,38	2,00	3,00	94,47	50,64	40,00	35,45
55+180	Izq	0,94	0,69	0,50	0,38	1,07	1,45	2,00	2,67	88,21	46,21	40,00	38,55
55+220	Izq	0,95	0,70	0,45	0,35	1,05	1,43	2,22	2,86	100,41	47,73	35,83	36,66
55+260	Izq	0,93	0,80	0,67	0,53	1,07	1,25	1,50	1,88	84,94	64,13	58,48	53,80
55+300	Izq	0,93	0,79	0,50	0,29	1,08	1,27	2,00	3,50	81,56	61,14	40,00	32,15
55+340	Izq	0,92	0,85	0,62	0,46	1,08	1,18	1,63	2,17	78,06	76,36	51,75	45,95
55+380	Izq	0,92	0,77	0,62	0,54	1,08	1,30	1,63	1,86	78,06	58,03	51,75	54,41
55+420	Izq	0,94	0,75	0,63	0,38	1,07	1,33	1,60	2,67	88,21	54,78	52,92	38,55
55+460	Izq	0,93	0,80	0,67	0,40	1,07	1,25	1,50	2,50	84,94	64,13	58,48	40,55
55+500	Izq	0,93	0,79	0,64	0,57	1,08	1,27	1,56	1,75	81,56	61,14	55,20	58,54
55+540	Izq	0,93	0,80	0,67	0,53	1,07	1,25	1,50	1,88	84,94	64,13	58,48	53,80
55+580	Izq	0,93	0,86	0,57	0,43	1,08	1,17	1,75	2,33	81,56	80,08	46,83	42,71

TABLA N°4.34

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 56+800 57+100
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
56+800	Der	0,93	0,79	0,57	0,36	1,08	1,27	1,75	2,80	81,56	61,14	46,83	37,19
56+820	Der	0,88	0,76	0,53	0,35	1,13	1,31	1,89	2,83	60,33	57,23	42,67	36,88
56+840	Der	0,90	0,65	0,40	0,25	1,11	1,54	2,50	4,00	66,67	42,12	32,44	29,79
56+860	Der	0,89	0,63	0,42	0,26	1,12	1,58	2,38	3,80	64,62	40,31	33,86	30,65
56+880	Der	0,85	0,62	0,46	0,31	1,18	1,63	2,17	3,25	50,90	38,81	36,76	33,65
56+900	Der	0,88	0,52	0,20	0,16	1,14	1,92	5,00	6,25	59,60	31,35	21,25	23,97
56+920	Der	0,95	0,55	0,35	0,25	1,05	1,82	2,86	4,00	100,41	33,49	29,33	29,79
56+940	Der	0,92	0,75	0,42	0,33	1,09	1,33	2,40	3,00	74,42	54,78	33,55	35,45
56+960	Der	0,87	0,73	0,60	0,40	1,15	1,36	1,67	2,50	55,78	52,22	49,95	40,55
56+980	Der	0,88	0,56	0,44	0,31	1,14	1,78	2,29	3,20	58,10	34,43	34,85	33,98
57+000	Der	0,93	0,71	0,57	0,43	1,08	1,40	1,75	2,33	81,56	49,57	46,83	42,71
57+020	Der	0,88	0,71	0,53	0,41	1,13	1,42	1,89	2,43	60,33	48,47	42,67	41,53
57+040	Der	0,94	0,76	0,59	0,47	1,06	1,31	1,70	2,13	91,39	57,23	48,63	46,87
57+060	Der	0,86	0,57	0,43	0,36	1,17	1,75	2,33	2,80	53,39	35,12	34,17	37,19
57+080	Der	0,94	0,69	0,50	0,44	1,07	1,45	2,00	2,29	88,21	46,21	40,00	43,57
57+100	Der	0,95	0,74	0,53	0,42	1,06	1,36	1,90	2,38	97,48	52,74	42,38	42,32

TABLA N°4.35

**PLANILLA DE CALCULO DE LA RELACION DE FLEXIONES PARA EL CALCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 56+800 57+100
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
56+800	Izq	0,94	0,76	0,59	0,35	1,06	1,31	1,70	2,83	91,39	57,23	48,63	36,88
56+820	Izq	0,95	0,80	0,55	0,40	1,05	1,25	1,82	2,50	100,41	64,13	44,65	40,55
56+840	Izq	0,95	0,74	0,53	0,32	1,06	1,36	1,90	3,17	97,48	52,74	42,38	34,21
56+860	Izq	0,94	0,72	0,50	0,33	1,06	1,38	2,00	3,00	94,47	50,64	40,00	35,45
56+880	Izq	0,93	0,73	0,53	0,33	1,07	1,36	1,88	3,00	84,94	52,22	43,04	35,45
56+900	Izq	0,92	0,58	0,33	0,17	1,09	1,71	3,00	6,00	74,42	36,07	28,36	24,41
56+920	Izq	0,95	0,68	0,37	0,26	1,06	1,46	2,71	3,80	97,48	45,83	30,44	30,65
56+940	Izq	0,93	0,79	0,57	0,43	1,08	1,27	1,75	2,33	81,56	61,14	46,83	42,71
56+960	Izq	0,85	0,55	0,35	0,30	1,18	1,82	2,86	3,33	51,74	33,49	29,33	33,12
56+980	Izq	0,92	0,69	0,54	0,38	1,08	1,44	1,86	2,60	78,06	46,79	43,53	39,31
57+000	Izq	0,92	0,69	0,54	0,46	1,08	1,44	1,86	2,17	78,06	46,79	43,53	45,95
57+020	Izq	0,88	0,63	0,50	0,38	1,14	1,60	2,00	2,67	58,10	39,69	40,00	38,55
57+040	Izq	0,92	0,77	0,62	0,46	1,08	1,30	1,63	2,17	78,06	58,03	51,75	45,95
57+060	Izq	0,86	0,55	0,36	0,27	1,16	1,83	2,75	3,67	55,00	33,15	30,15	31,29
57+080	Izq	0,94	0,75	0,50	0,38	1,07	1,33	2,00	2,67	88,21	54,78	40,00	38,55
57+100	Izq	0,93	0,73	0,53	0,27	1,07	1,36	1,88	3,75	84,94	52,22	43,04	30,88

TABLA N°4.36

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)**

TRAMO: 58+820 59+320
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do para R=20	Dr/Do para R=30	Dr/Do para R=40	Dr/Do para R=50	Do/Dr para R=20	Do/Dr para R=30	Do/Dr para R=40	Do/Dr para R=50	Distancia radial R50			
										R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
58+820	Der	0,81	0,52	0,33	0,24	1,24	1,91	3,00	4,20	44,20	31,61	28,36	29,02
58+860	Der	0,86	0,45	0,31	0,21	1,16	2,23	3,22	4,83	54,60	26,77	27,07	27,01
58+900	Der	0,94	0,67	0,39	0,22	1,06	1,50	2,57	4,50	94,47	43,86	31,72	28,00
58+940	Der	0,90	0,57	0,24	0,19	1,11	1,75	4,20	5,25	68,68	35,12	23,22	25,96
58+980	Der	0,92	0,60	0,36	0,28	1,09	1,67	2,78	3,57	76,26	37,46	29,93	31,77
59+020	Der	0,73	0,45	0,32	0,23	1,38	2,20	3,14	4,40	34,23	27,15	27,50	28,32
59+060	Der	0,94	0,63	0,38	0,25	1,07	1,60	2,67	4,00	88,21	39,69	30,84	29,79
59+100	Der	0,90	0,57	0,38	0,24	1,11	1,75	2,63	4,20	68,68	35,12	31,22	29,02
59+140	Der	0,90	0,52	0,29	0,19	1,11	1,91	3,50	5,25	68,68	31,61	25,72	25,96
59+180	Der	0,71	0,48	0,33	0,19	1,40	2,10	3,00	5,25	33,04	28,47	28,36	25,96
59+220	Der	0,82	0,50	0,27	0,18	1,22	2,00	3,67	5,50	45,60	30,00	25,03	25,40
59+260	Der	0,76	0,56	0,28	0,20	1,32	1,79	3,57	5,00	37,61	34,24	25,42	26,57
59+300	Der	0,68	0,44	0,28	0,24	1,47	2,27	3,57	4,17	30,23	26,29	25,42	29,14
59+320	Der	0,82	0,55	0,36	0,18	1,22	1,83	2,75	5,50	45,60	33,15	30,15	25,40

TABLA N°4.37

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE FLEXIONES PARA EL CÁLCULO DE R50
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 58+820 59+320
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	Dr/Do	Dr/Do	Dr/Do	Dr/Do	Do/Dr	Do/Dr	Do/Dr	Do/Dr	Distancia radial R50			
		para R=20	para R=30	para R=40	para R=50	para R=20	para R=30	para R=40	para R=50	R=20cm	R=30cm	R=40cm	R=50cm
58+820	Izq	0,86	0,62	0,43	0,29	1,17	1,62	2,33	3,50	53,39	39,14	34,17	32,15
58+860	Izq	0,85	0,55	0,50	0,35	1,18	1,82	2,00	2,86	51,74	33,49	40,00	36,66
58+900	Izq	0,93	0,60	0,40	0,27	1,07	1,67	2,50	3,75	84,94	37,46	32,44	30,88
58+940	Izq	0,89	0,50	0,42	0,26	1,12	2,00	2,38	3,80	64,62	30,00	33,86	30,65
58+980	Izq	0,91	0,64	0,50	0,36	1,10	1,57	2,00	2,75	70,64	40,77	40,00	37,68
59+020	Izq	0,90	0,60	0,45	0,30	1,11	1,67	2,22	3,33	66,67	37,46	35,83	33,12
59+060	Izq	0,84	0,44	0,36	0,28	1,19	2,27	2,78	3,57	49,62	26,29	29,93	31,77
59+100	Izq	0,88	0,58	0,33	0,21	1,14	1,71	3,00	4,80	58,10	36,07	28,36	27,10
59+140	Izq	0,68	0,45	0,23	0,14	1,47	2,20	4,40	7,33	30,37	27,15	22,66	22,39
59+180	Izq	0,64	0,44	0,28	0,16	1,56	2,27	3,57	6,25	27,41	26,29	25,42	23,97
59+220	Izq	0,90	0,52	0,33	0,24	1,11	1,91	3,00	4,20	68,68	31,61	28,36	29,02
59+260	Izq	0,79	0,58	0,42	0,32	1,27	1,73	2,38	3,17	41,27	35,72	33,86	34,21
59+300	Izq	0,83	0,52	0,35	0,26	1,21	1,92	2,88	3,83	46,97	31,47	29,20	30,50
59+320	Izq	0,80	0,55	0,35	0,25	1,25	1,82	2,86	4,00	42,75	33,49	29,33	29,79

5.4. Determinación de la longitud elástica (L0)

La longitud elástica (L0) del pavimento puede calcularse usando la siguiente ecuación.

Dónde:

$$l = \frac{y_o r_{50} + \left((y_o r_{50})^2 - 4mar_{50} \right)^{1/2}}{2}$$

Si $a/l < 0.2$, entonces $l = (y_0 - 0.2m) r_{50}$

$R_{50} = 30.56$ Calculado en la ecuación anterior

$a = 10.7$ Radio de la huella circular de carga

$y_o, m =$ Coeficiente de correlación cuyo valor se indica en la tabla 3.4; donde $y_o = 0.602$,
 $m = 0.192$

Sustituyendo los anteriores datos en la ecuación se obtiene:

$$l = \frac{0.602 * 30.56 + \left((0.602 * 30.56)^2 - 4 * 0.192 * 10.7 * 30.56 \right)^{1/2}}{2}$$

$$l = 13.87$$

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas de la 4.38 a 4.49

TABLA N°4.38

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

yo=	0,602	a=	10,7
m=	0,192		

Progresiva (km)	Lado	lo para R=20	lo para R=30	lo para R=40	lo para R=50
34+180	Der	19,80	16,08	13,87	13,76
34+220	Der	25,94	20,67	18,88	18,33
34+260	Der	60,24	23,43	19,96	18,50
34+300	Der	15,99	16,08	14,65	14,58
34+340	Der	36,37	18,36	17,32	17,85
34+380	Der	60,24	23,43	17,55	18,50
34+420	Der	15,52	14,57	14,31	14,93
34+460	Der	28,26	14,57	16,25	17,08
34+500	Der	20,19	14,48	14,75	13,83
34+540	Der	53,23	18,97	17,04	17,08
34+580	Der	16,89	14,69	13,79	13,93
34+620	Der	51,36	25,23	25,33	15,31
34+660	Der	53,23	18,97	14,65	12,10
34+700	Der	19,14	17,15	16,14	17,67

TABLA N°4.39

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA		
TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

yo=	0,602	a=	10,7
m=	0,192		

Progresiva (km)	Lado	lo para R=20	lo para R=30	lo para R=40	lo para R=50
34+180	Izq	42,20	18,36	16,82	18,33
34+220	Izq	33,83	26,57	23,21	19,74
34+260	Izq	36,37	21,29	19,96	17,85
34+300	Izq	19,80	18,97	14,65	12,10
34+340	Izq	19,80	16,08	14,65	14,58
34+380	Izq	17,76	13,49	13,03	13,35
34+420	Izq	14,71	13,49	13,03	11,06
34+460	Izq	19,80	16,08	14,65	14,58
34+500	Izq	23,46	13,49	15,52	14,36
34+540	Izq	23,46	15,59	11,75	12,33
34+580	Izq	66,66	17,15	12,88	15,91
34+620	Izq	19,80	13,49	10,07	12,10
34+660	Izq	20,44	10,33	10,41	9,97
34+700	Izq	19,40	11,49	9,84	10,15

TABLA N°4.40

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA		
TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	39+880	40+180
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

yo=	0,602	a=	10,7
m=	0,192		

Progresiva (km)	Lado	lo para R=20	lo para R=30	lo para R=40	lo para R=50
39+880	Der	9,80	13,49	15,12	15,57
39+900	Der	15,52	10,33	10,41	7,45
39+920	Der	11,27	9,96	8,76	9,31
39+940	Der	17,76	13,49	12,36	13,35
39+960	Der	16,29	15,59	13,59	14,36
39+980	Der	11,27	9,96	8,76	9,31
40+000	Der	10,53	11,80	11,32	12,49
40+020	Der	11,51	12,74	9,84	10,15
40+040	Der	12,46	12,74	9,84	10,15
40+060	Der	14,71	13,49	11,00	11,06
40+080	Der	8,97	9,96	12,36	10,44
40+100	Der	8,97	9,96	12,36	13,35
40+120	Der	11,27	9,23	11,00	11,06
40+140	Der	12,46	12,74	9,84	10,15
40+160	Der	11,27	10,33	13,33	9,89
40+180	Der	9,46	11,99	8,76	9,31

TABLA N°4.41

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	39+880	40+180
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

yo=	0,602	a=	10,7
m=	0,192		

Progresiva (km)	Lado	lo para R=20	lo para R=30	lo para R=40	lo para R=50
39+880	Izq	14,71	13,49	15,12	15,57
39+900	Izq	10,36	8,49	11,32	12,49
39+920	Izq	12,46	11,49	13,59	14,36
39+940	Izq	8,97	13,49	15,85	13,35
39+960	Izq	11,27	9,96	12,36	13,35
39+980	Izq	10,36	8,49	11,32	12,49
40+000	Izq	12,97	16,08	17,04	17,08
40+020	Izq	9,80	13,49	15,12	15,57
40+040	Izq	17,76	13,49	14,06	13,35
40+060	Izq	8,30	10,33	10,41	7,45
40+080	Izq	12,97	13,49	15,85	17,08
40+100	Izq	12,46	11,49	13,59	14,36
40+120	Izq	11,51	15,59	17,55	18,50
40+140	Izq	8,97	13,49	15,85	17,08
40+160	Izq	8,97	13,49	15,85	17,08
40+180	Izq	12,27	11,80	14,46	15,91

5.5. Determinación del módulo de elasticidad de la sub-rasante (E0)

La determinación del módulo de elasticidad de la sub rasante constituye un punto central de la metodología de evaluación. Para desarrollar soluciones numéricas programables en computadora, esta determinación se efectúa en dos pasos:

(i) Primer Paso: El primer paso consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado del valor $A/L0$. La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión ($S= P/D0$).

La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$\frac{S_o}{S} = 1 - \bar{m} \left(\frac{a}{l} - 0.2 \right)$$

Si $a/l < 0.2$, entonces $(S0/S)=1.0$

$S0$ = Rigidez para carga puntual.

S = Rigidez para carga de área.

$\bar{m} = 0.48$ Coeficiente numérico que se adopta de la tabla 3.4.

Conociendo $a=10.7$ y $l=13.87$ se obtiene:

$$\frac{S_o}{S} = 1 - 0.48 \left(\frac{10.7}{13.87} - 0.2 \right)$$

$$S_o/S=0.73$$

Estos valores son mostrados a continuación en las tablas 4.50 a 4.61

TABLA N°4.50

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
34+180	Der	0,84	0,78	0,73	0,72
34+220	Der	0,90	0,85	0,82	0,82
34+260	Der	1,01	0,88	0,84	0,82
34+300	Der	0,77	0,78	0,75	0,74
34+340	Der	0,95	0,82	0,80	0,81
34+380	Der	1,01	0,88	0,80	0,82
34+420	Der	0,77	0,74	0,74	0,75
34+460	Der	0,91	0,74	0,78	0,80
34+500	Der	0,84	0,74	0,75	0,72
34+540	Der	1,00	0,83	0,79	0,80
34+580	Der	0,79	0,75	0,72	0,73
34+620	Der	1,00	0,89	0,89	0,76
34+660	Der	1,00	0,83	0,75	0,67
34+700	Der	0,83	0,80	0,78	0,81

TABLA N°4.51

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
34+180	Izq	0,97	0,82	0,79	0,82
34+220	Izq	0,94	0,90	0,87	0,84
34+260	Izq	0,95	0,85	0,84	0,81
34+300	Izq	0,84	0,83	0,75	0,67
34+340	Izq	0,84	0,78	0,75	0,74
34+380	Izq	0,81	0,72	0,70	0,71
34+420	Izq	0,75	0,72	0,70	0,63
34+460	Izq	0,84	0,78	0,75	0,74
34+500	Izq	0,88	0,72	0,76	0,74
34+540	Izq	0,88	0,77	0,66	0,68
34+580	Izq	1,02	0,80	0,70	0,77
34+620	Izq	0,84	0,72	0,59	0,67
34+660	Izq	0,84	0,60	0,60	0,58
34+700	Izq	0,83	0,65	0,57	0,59

TABLA N°4.52

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	39+880	40+180
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=25	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
39+880	Der	0,57	0,72	0,76	0,77
39+900	Der	0,77	0,60	0,60	0,41
39+920	Der	0,64	0,58	0,51	0,54
39+940	Der	0,81	0,72	0,68	0,71
39+960	Der	0,78	0,77	0,72	0,74
39+980	Der	0,64	0,58	0,51	0,54
40+000	Der	0,61	0,66	0,64	0,68
40+020	Der	0,65	0,69	0,57	0,59
40+040	Der	0,68	0,69	0,57	0,59
40+060	Der	0,75	0,72	0,63	0,63
40+080	Der	0,52	0,58	0,68	0,60
40+100	Der	0,52	0,58	0,68	0,71
40+120	Der	0,64	0,54	0,63	0,63
40+140	Der	0,68	0,69	0,57	0,59
40+160	Der	0,64	0,60	0,71	0,58
40+180	Der	0,55	0,67	0,51	0,54

TABLA N°4.53

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR
GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA
TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 39+880 40+180
CAPA: SUB RASANTE

Parámetros utilizados

m`= 0,48
a= 10,7

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=25	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
39+880	Izq	0,75	0,72	0,76	0,77
39+900	Izq	0,60	0,49	0,64	0,68
39+920	Izq	0,68	0,65	0,72	0,74
39+940	Izq	0,52	0,72	0,77	0,71
39+960	Izq	0,64	0,58	0,68	0,71
39+980	Izq	0,60	0,49	0,64	0,68
40+000	Izq	0,70	0,78	0,79	0,80
40+020	Izq	0,57	0,72	0,76	0,77
40+040	Izq	0,81	0,72	0,73	0,71
40+060	Izq	0,48	0,60	0,60	0,41
40+080	Izq	0,70	0,72	0,77	0,80
40+100	Izq	0,68	0,65	0,72	0,74
40+120	Izq	0,65	0,77	0,80	0,82
40+140	Izq	0,52	0,72	0,77	0,80
40+160	Izq	0,52	0,72	0,77	0,80
40+180	Izq	0,68	0,66	0,74	0,77

TABLA N°4.54

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	44+640	44+940
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=25	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
44+640	Der	0,65	0,65	0,72	0,74
44+660	Der	0,70	0,72	0,68	0,71
44+680	Der	0,78	0,84	0,72	0,59
44+700	Der	0,70	0,72	0,77	0,80
44+720	Der	0,70	0,80	0,84	0,80
44+740	Der	0,70	0,63	0,68	0,67
44+760	Der	0,86	0,89	0,84	0,77
44+780	Der	0,86	0,82	0,84	0,84
44+800	Der	0,86	0,82	0,76	0,77
44+820	Der	0,83	0,83	0,86	0,83
44+840	Der	0,84	0,87	0,87	0,80
44+860	Der	0,89	0,87	0,84	0,85
44+880	Der	0,83	0,83	0,81	0,77
44+900	Der	0,86	0,82	0,84	0,77
44+920	Der	0,75	0,72	0,76	0,77
44+940	Der	0,75	0,72	0,76	0,77

TABLA N°4.55

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	44+640	44+940
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=25	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
44+640	Izq	0,84	0,78	0,79	0,67
44+660	Izq	0,70	0,78	0,79	0,80
44+680	Izq	0,63	0,45	0,51	0,67
44+700	Izq	0,70	0,72	0,68	0,71
44+720	Izq	0,70	0,63	0,68	0,67
44+740	Izq	0,65	0,65	0,72	0,74
44+760	Izq	0,70	0,58	0,68	0,71
44+780	Izq	0,70	0,72	0,68	0,71
44+800	Izq	0,88	0,77	0,80	0,82
44+820	Izq	0,68	0,65	0,72	0,74
44+840	Izq	0,78	0,77	0,80	0,82
44+860	Izq	0,61	0,66	0,74	0,68
44+880	Izq	0,81	0,80	0,77	0,71
44+900	Izq	0,65	0,65	0,57	0,59
44+920	Izq	0,81	0,72	0,68	0,71
44+940	Izq	0,78	0,84	0,87	0,87

TABLA N°4.56

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	54+980	55+580
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$m' = 0,48$
 $a = 10,7$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
54+980	Der	0,99	0,87	0,86	0,84
55+020	Der	0,96	0,79	0,74	0,75
55+060	Der	0,99	0,91	0,86	0,80
55+100	Der	1,00	0,84	0,82	0,78
55+140	Der	1,01	0,85	0,80	0,77
55+180	Der	1,01	0,85	0,76	0,77
55+220	Der	0,90	0,80	0,78	0,78
55+260	Der	0,99	0,88	0,84	0,83
55+300	Der	1,00	0,93	0,86	0,81
55+340	Der	0,98	0,88	0,86	0,77
55+380	Der	0,96	0,91	0,87	0,82
55+420	Der	0,99	0,92	0,73	0,71
55+460	Der	0,99	0,96	0,91	0,83
55+500	Der	0,98	0,88	0,74	0,49
55+540	Der	0,99	0,95	0,90	0,84
55+580	Der	0,99	0,92	0,91	0,90

TABLA N°4.57

**PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR
GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)**

TRAMO: 54+980 55+580
CAPA: SUB RASANTE

Parámetros utilizados

m`= 0,48
a= 10,7

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
54+980	Izq	0,99	0,92	0,88	0,86
55+020	Izq	0,88	0,85	0,77	0,69
55+060	Izq	0,99	0,95	0,81	0,80
55+100	Izq	0,90	0,75	0,78	0,78
55+140	Izq	1,00	0,90	0,84	0,80
55+180	Izq	0,99	0,88	0,84	0,83
55+220	Izq	1,01	0,89	0,80	0,81
55+260	Izq	0,99	0,95	0,93	0,92
55+300	Izq	0,98	0,94	0,84	0,75
55+340	Izq	0,98	0,97	0,91	0,88
55+380	Izq	0,98	0,93	0,91	0,92
55+420	Izq	0,99	0,92	0,91	0,83
55+460	Izq	0,99	0,95	0,93	0,84
55+500	Izq	0,98	0,94	0,92	0,93
55+540	Izq	0,99	0,95	0,93	0,92
55+580	Izq	0,98	0,98	0,88	0,86

TABLA N°4.59

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	56+800	57+100
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$m' = 0,48$

$a = 10,7$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
56+800	Izq	1,00	0,93	0,89	0,81
56+820	Izq	1,01	0,95	0,87	0,84
56+840	Izq	1,00	0,91	0,86	0,78
56+860	Izq	1,00	0,90	0,84	0,80
56+880	Izq	0,99	0,91	0,86	0,80
56+900	Izq	0,97	0,80	0,68	0,54
56+920	Izq	1,00	0,88	0,72	0,73
56+940	Izq	0,98	0,94	0,88	0,86
56+960	Izq	0,91	0,77	0,70	0,77
56+980	Izq	0,98	0,88	0,86	0,83
57+000	Izq	0,98	0,88	0,86	0,88
57+020	Izq	0,93	0,84	0,84	0,83
57+040	Izq	0,98	0,93	0,91	0,88
57+060	Izq	0,92	0,77	0,72	0,74
57+080	Izq	0,99	0,92	0,84	0,83
57+100	Izq	0,99	0,91	0,86	0,73

TABLA N°4.60

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	58+820	59+320
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
58+820	Der	0,87	0,74	0,68	0,70
58+860	Der	0,92	0,64	0,65	0,65
58+900	Der	1,00	0,87	0,75	0,67
58+940	Der	0,96	0,79	0,46	0,61
58+980	Der	0,97	0,82	0,71	0,75
59+020	Der	0,78	0,65	0,66	0,68
59+060	Der	0,99	0,84	0,73	0,71
59+100	Der	0,96	0,79	0,74	0,70
59+140	Der	0,96	0,74	0,60	0,61
59+180	Der	0,77	0,68	0,68	0,61
59+220	Der	0,88	0,72	0,57	0,59
59+260	Der	0,82	0,78	0,59	0,63
59+300	Der	0,72	0,62	0,59	0,70
59+320	Der	0,88	0,77	0,72	0,59

TABLA N°4.61

PLANILLA DE CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ POR GARGA PUNTUAL Y CARGA DISTRIBUIDA TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	58+820	59+320
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

$$m' = 0,48$$

$$a = 10,7$$

Progresiva (km)	Lado	So/S para R=20	So/S para R=30	So/S para R=40	So/S para R=50
58+820	Izq	0,91	0,83	0,78	0,75
58+860	Izq	0,91	0,77	0,84	0,81
58+900	Izq	0,99	0,82	0,76	0,73
58+940	Izq	0,95	0,72	0,78	0,73
58+980	Izq	0,96	0,84	0,84	0,82
59+020	Izq	0,95	0,82	0,80	0,77
59+060	Izq	0,90	0,62	0,71	0,75
59+100	Izq	0,93	0,80	0,68	0,65
59+140	Izq	0,72	0,65	0,69	0,69
59+180	Izq	0,66	0,62	0,59	0,52
59+220	Izq	0,96	0,74	0,68	0,70
59+260	Izq	0,85	0,80	0,78	0,78
59+300	Izq	0,88	0,74	0,70	0,72
59+320	Izq	0,86	0,77	0,70	0,71

(ii) Segundo Paso: Una vez determinado el valor de S_0/S , se calcula el módulo de elasticidad de la sub rasante por medio de la siguiente ecuación:

$$E_o = I \frac{(1 + \mu_o)(3 - 4\mu_o)}{2(1 - \mu_o)} \left[\frac{S_o}{S} \right] \left[\frac{p}{\Delta_o l} \right]$$

Dónde:

$\mu_o = 0.4$ Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la sub rasante

$I = 0.1689$ Coeficiente numérico

$P = 4075$ Kg. Carga total en la llanta doble

$L_0 = 13.87$ Longitud elástica

$D_0 = 54$ Deflexión máxima

$S_0/S = 0.73$ Relación teórica entre la rigidez por carga puntual y carga distribuida.

Remplazando los resultados en la ecuación anterior se obtiene:

$$E_o = 0.1689 \frac{(1 + 0.4)(3 - 4 * 0.4)}{2(1 - 0.4)} [0.73] \left[\frac{4075}{54 * 13.87} \right] * 1000$$

$$E_o = 1089.25 \text{ Kg/cm}^2$$

Los resultados obtenidos de la realización de la práctica se muestran a continuación en las siguientes tablas

TABLA N°4.62

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
34+180	Der	54,00	879,70	1005,53	1089,25	1093,40	1016,97	100,07	1062,73
34+220	Der	50,00	778,27	921,98	981,19	1000,77	920,55	100,60	967,98
34+260	Der	44,00	428,69	956,17	1073,40	1130,17	897,11	320,57	1053,25
34+300	Der	36,00	1513,32	1508,30	1589,17	1592,87	1550,92	46,38	1550,92
34+340	Der	40,00	737,76	1249,39	1297,13	1272,48	1139,19	268,33	1273,00
34+380	Der	44,00	428,69	956,17	1169,34	1130,17	921,09	341,09	1085,23
34+420	Der	42,00	1319,54	1365,74	1378,66	1348,05	1353,00	25,59	1356,89
34+460	Der	42,00	865,94	1365,74	1284,76	1246,45	1190,72	222,16	1298,98
34+500	Der	46,00	1018,85	1251,27	1239,09	1280,34	1197,39	120,27	1256,90
34+540	Der	36,00	586,38	1358,23	1456,08	1454,19	1213,72	420,72	1422,84
34+580	Der	38,00	1387,03	1503,20	1552,29	1544,35	1496,72	76,23	1533,28
34+620	Der	34,00	641,19	1169,43	1165,81	1642,75	1154,80	409,15	1167,62
34+660	Der	36,00	586,38	1358,23	1589,17	1733,01	1316,70	510,76	1560,14
34+700	Der	52,00	934,96	1004,25	1041,88	985,23	991,58	44,48	994,74

Media Eo= 1256,04

Desv. Est.= 208,13

Coef. de variación= 16,57 < 30 % OK!

TABLA N°4.63

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	34+180	34+700
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
34+180	Izq	50,00	519,14	999,51	1056,96	1000,77	894,10	251,40	1019,08
34+220	Izq	36,00	871,46	1060,85	1176,80	1322,08	1107,80	190,38	1118,83
34+260	Izq	40,00	737,76	1128,35	1180,74	1272,48	1079,83	235,70	1193,85
34+300	Izq	36,00	1319,55	1358,23	1589,17	1733,01	1499,99	195,71	1422,32
34+340	Izq	36,00	1319,55	1508,30	1589,17	1592,87	1502,47	128,04	1563,45
34+380	Izq	40,00	1276,80	1490,06	1513,55	1497,33	1444,43	112,19	1500,31
34+420	Izq	40,00	1426,82	1490,06	1513,55	1605,06	1508,87	73,85	1501,81
34+460	Izq	36,00	1319,55	1508,30	1589,17	1592,87	1502,47	128,04	1563,45
34+500	Izq	44,00	955,21	1354,60	1259,66	1313,78	1220,81	181,29	1309,35
34+540	Izq	44,00	955,21	1256,32	1432,87	1407,86	1263,06	219,56	1365,68
34+580	Izq	52,00	330,45	1004,25	1170,37	1050,54	888,90	378,82	1075,05
34+620	Izq	36,00	1319,55	1655,62	1817,19	1733,01	1631,34	218,08	1735,27
34+660	Izq	56,00	829,57	1163,68	1162,16	1169,48	1081,22	167,80	1165,11
34+700	Izq	44,00	1094,64	1443,21	1490,45	1485,18	1378,37	190,33	1472,95

Media Eo= 1357,61 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 215,50

Coef. de variación= 15,87 < 30 % OK!

TABLA N°4.64

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	39+880	40+180
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=25	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
39+880	Der	20,00	3280,28	2980,12	2811,56	2766,04	2959,50	232,83	2852,57
39+900	Der	14,00	3958,61	4654,72	4648,65	4381,09	4410,77	327,33	4561,49
39+920	Der	24,00	2660,99	2729,31	2725,23	2738,65	2713,54	35,49	2731,06
39+940	Der	24,00	2127,99	2483,43	2578,83	2495,55	2421,45	200,18	2519,27
39+960	Der	22,00	2448,76	2512,65	2699,81	2627,57	2572,20	112,74	2570,11
39+980	Der	24,00	2660,99	2729,31	2725,23	2738,65	2713,54	35,49	2731,06
40+000	Der	26,00	2497,66	2421,43	2453,29	2370,59	2435,74	53,51	2437,36
40+020	Der	22,00	2884,68	2778,70	2980,91	2970,35	2903,66	93,79	2945,31
40+040	Der	22,00	2804,60	2778,70	2980,91	2970,35	2883,64	106,83	2883,64
40+060	Der	20,00	2853,64	2980,12	3214,28	3210,12	3064,54	178,16	2853,64
40+080	Der	24,00	2733,25	2729,31	2578,83	2710,09	2687,87	73,39	2724,22
40+100	Der	24,00	2733,25	2729,31	2578,83	2495,55	2634,24	117,12	2680,47
40+120	Der	20,00	3193,18	3285,78	3214,28	3210,12	3225,84	40,99	3205,86
40+140	Der	22,00	2804,60	2778,70	2980,91	2970,35	2883,64	106,83	2883,64
40+160	Der	28,00	2280,84	2327,36	2140,91	2341,20	2272,58	91,50	2316,47
40+180	Der	24,00	2738,57	2608,37	2725,23	2738,65	2702,70	63,20	2734,15

Media Eo= 2851,90 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 503,06

Coef. De variación= 17,64 < 30 % OK!

TABLA N°4.65

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	39+880	40+180
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=25	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
39+880	Izq	20,00	2853,64	2980,12	2811,56	2766,04	2852,84	92,08	2810,42
39+900	Izq	26,00	2505,17	2501,02	2453,29	2370,59	2457,52	62,55	2486,50
39+920	Izq	22,00	2804,60	2886,42	2699,81	2627,57	2754,60	114,04	2752,20
39+940	Izq	24,00	2733,25	2483,43	2281,27	2495,55	2498,37	184,87	2489,49
39+960	Izq	24,00	2660,99	2729,31	2578,83	2495,55	2616,17	101,25	2619,91
39+980	Izq	26,00	2505,17	2501,02	2453,29	2370,59	2457,52	62,55	2486,50
40+000	Izq	18,00	3370,47	3016,60	2912,16	2908,39	3051,90	218,21	2945,72
40+020	Izq	20,00	3280,28	2980,12	2811,56	2766,04	2959,50	232,83	2852,57
40+040	Izq	16,00	3191,99	3725,14	3651,27	3743,32	3577,93	260,35	3706,58
40+060	Izq	14,00	4616,82	4654,72	4648,65	4381,09	4575,32	130,55	4640,06
40+080	Izq	24,00	2527,85	2483,43	2281,27	2181,29	2368,46	164,58	2430,85
40+100	Izq	22,00	2804,60	2886,42	2699,81	2627,57	2754,60	114,04	2752,20
40+120	Izq	22,00	2884,68	2512,65	2338,68	2260,34	2499,09	277,85	2370,56
40+140	Izq	24,00	2733,25	2483,43	2281,27	2181,29	2419,81	243,84	2315,33
40+160	Izq	24,00	2733,25	2483,43	2281,27	2181,29	2419,81	243,84	2315,33
40+180	Izq	26,00	2387,43	2421,43	2214,78	2101,08	2281,18	150,34	2341,21

Media Eo= 2769,71 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 608,17

Coef. De variación= 21,96 < 30 % OK!

TABLA N°4.66

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	44+640	44+940
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=25	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
44+640	Der	22,00	2884,68	2886,42	2699,81	2627,57	2774,62	131,44	2823,63
44+660	Der	24,00	2527,85	2483,43	2578,83	2495,55	2521,41	42,62	2502,27
44+680	Der	22,00	2448,76	2111,39	2699,81	2970,35	2557,58	365,85	2574,28
44+700	Der	24,00	2527,85	2483,43	2281,27	2181,29	2368,46	164,58	2430,85
44+720	Der	24,00	2527,85	2149,87	1967,90	2181,29	2206,73	233,84	2165,58
44+740	Der	18,00	3370,47	3568,19	3438,44	3466,02	3460,78	82,10	3452,23
44+760	Der	20,00	2226,82	2016,27	2361,48	2766,04	2342,65	315,99	2294,15
44+780	Der	20,00	2226,82	2498,78	2361,48	2333,54	2355,16	111,96	2347,51
44+800	Der	20,00	2226,82	2498,78	2811,56	2766,04	2575,80	270,49	2692,13
44+820	Der	26,00	1869,93	1864,69	1685,74	1844,33	1816,17	87,65	1859,65
44+840	Der	18,00	2639,09	2418,25	2353,60	2908,39	2579,83	250,83	2470,31
44+860	Der	24,00	1661,62	1813,68	1967,90	1887,47	1832,67	130,27	1850,58
44+880	Der	26,00	1869,93	1864,69	1953,35	2101,08	1947,26	110,30	1895,99
44+900	Der	20,00	2226,82	2498,78	2361,48	2766,04	2463,28	230,36	2430,13
44+920	Der	20,00	2853,64	2980,12	2811,56	2766,04	2852,84	92,08	2810,42
44+940	Der	20,00	2853,64	2980,12	2811,56	2766,04	2852,84	92,08	2810,42

Media= 2463,13 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 417,10

Coef. De variación= 16,93 < 30 % OK!

TABLA N°4.67

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG

TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO IZQUIERDO)

TRAMO: 44+640 44+940
CAPA: SUB RASANTE

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=25	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
44+640	Izq	18,00	2639,09	3016,60	2912,16	3466,02	3008,47	344,06	2964,38
44+660	Izq	18,00	3370,47	3016,60	2912,16	2908,39	3051,90	218,21	2945,72
44+680	Izq	16,00	4020,35	3975,01	4087,84	3889,73	3993,23	83,13	3997,68
44+700	Izq	24,00	2527,85	2483,43	2578,83	2495,55	2521,41	42,62	2502,27
44+720	Izq	18,00	3370,47	3568,19	3438,44	3466,02	3460,78	82,10	3452,23
44+740	Izq	22,00	2884,68	2886,42	2699,81	2627,57	2774,62	131,44	2823,63
44+760	Izq	24,00	2527,85	2729,31	2578,83	2495,55	2582,88	103,46	2534,08
44+780	Izq	24,00	2527,85	2483,43	2578,83	2495,55	2521,41	42,62	2521,41
44+800	Izq	22,00	1910,42	2512,65	2338,68	2260,34	2255,52	253,08	2299,51
44+820	Izq	22,00	2804,60	2886,42	2699,81	2627,57	2754,60	114,04	2752,20
44+840	Izq	22,00	2448,76	2512,65	2338,68	2260,34	2390,11	112,46	2393,72
44+860	Izq	26,00	2497,66	2421,43	2214,78	2370,59	2376,11	119,56	2396,01
44+880	Izq	24,00	2127,99	2149,87	2281,27	2495,55	2263,67	168,75	2186,38
44+900	Izq	22,00	2884,68	2886,42	2980,91	2970,35	2930,59	52,19	2930,59
44+920	Izq	24,00	2127,99	2483,43	2578,83	2495,55	2421,45	200,18	2519,27
44+940	Izq	22,00	2448,76	2111,39	1964,85	1924,03	2112,26	238,32	2000,09

Media= 2701,20 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Estan= 495,49

Coef. De variación= 18,34 < 30 % OK!

TABLA N°4.68

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	54+980	55+580
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
54+980	Der	30,00	779,96	1450,95	1475,80	1555,69	1315,60	359,88	1494,14
55+020	Der	42,00	683,10	1256,08	1378,66	1348,05	1166,47	326,43	1327,60
55+060	Der	30,00	779,96	1237,38	1475,80	1745,03	1309,54	409,45	1356,59
55+100	Der	38,00	538,89	1234,56	1306,48	1418,51	1124,61	397,75	1319,85
55+140	Der	40,00	497,41	1128,35	1297,13	1383,02	1076,48	400,28	1269,50
55+180	Der	40,00	497,41	1128,35	1405,78	1383,02	1103,64	423,27	1305,72
55+220	Der	38,00	1015,95	1369,05	1430,50	1418,51	1308,50	196,84	1406,02
55+260	Der	32,00	704,99	1297,68	1475,92	1523,81	1250,60	376,53	1432,47
55+300	Der	34,00	641,19	1002,56	1312,23	1489,56	1111,38	372,51	1157,39
55+340	Der	26,00	976,24	1579,39	1685,74	2101,08	1585,61	464,44	1632,56
55+380	Der	22,00	1269,60	1713,86	1964,85	2260,34	1802,16	419,45	1839,36
55+420	Der	32,00	704,99	1109,78	1825,63	1871,66	1378,02	568,32	1602,36
55+460	Der	32,00	704,99	917,89	1145,88	1523,81	1073,14	350,26	1031,88
55+500	Der	26,00	976,24	1579,39	2214,78	2499,74	1817,53	680,12	1897,08
55+540	Der	30,00	779,96	1020,70	1289,23	1555,69	1161,40	335,21	1154,97
55+580	Der	32,00	704,99	1109,78	1145,88	1207,60	1042,06	228,32	1154,42

Media Eo= 1398,87

Desv. Est.= 244,85

Coef. De variación= 17,50 < 30 % OK!

TABLA N°4.69

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	54+980	55+580
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
54+980	Izq	32,00	704,99	1109,78	1305,55	1368,50	1122,20	299,17	1261,28
55+020	Izq	34,00	1214,03	1335,81	1623,16	1800,88	1493,47	267,25	1479,48
55+060	Izq	30,00	779,96	1020,70	1676,78	1745,03	1305,62	479,01	1480,84
55+100	Izq	38,00	1015,95	1503,20	1430,50	1418,51	1342,04	220,59	1450,73
55+140	Izq	36,00	586,38	1060,85	1311,93	1454,19	1103,34	381,08	1275,66
55+180	Izq	32,00	704,99	1297,68	1475,92	1523,81	1250,60	376,53	1432,47
55+220	Izq	40,00	497,41	1008,14	1297,13	1272,48	1018,79	371,38	1192,58
55+260	Izq	30,00	779,96	1020,70	1113,42	1203,81	1029,47	182,37	1112,64
55+300	Izq	28,00	869,05	1144,04	1686,77	2022,07	1430,48	520,55	1415,40
55+340	Izq	26,00	976,24	997,14	1439,84	1605,45	1254,67	316,85	1137,74
55+380	Izq	26,00	976,24	1294,09	1439,84	1374,49	1271,16	205,45	1369,47
55+420	Izq	32,00	704,99	1109,78	1145,88	1523,81	1121,12	334,70	1127,83
55+460	Izq	30,00	779,96	1020,70	1113,42	1555,69	1117,44	324,21	1067,06
55+500	Izq	28,00	869,05	1144,04	1259,19	1191,89	1116,04	171,30	1167,96
55+540	Izq	30,00	779,96	1020,70	1113,42	1203,81	1029,47	182,37	1112,64
55+580	Izq	28,00	869,05	884,45	1465,32	1592,07	1202,72	380,00	1072,94

Media Eo= 1259,80

Desv. Est.= 155,03

Coef. De variación= 12,31 < 30 % OK!

TABLA N°4.70

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	56+800	57+100
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
56+800	Der	28,00	869,05	1144,04	1465,32	1795,84	1318,56	400,77	1304,68
56+820	Der	34,00	954,04	1002,56	1312,23	1489,56	1189,60	255,27	1089,61
56+840	Der	40,00	737,76	1128,35	1405,78	1497,33	1192,31	341,23	1343,82
56+860	Der	38,00	800,03	1234,56	1430,50	1544,35	1252,36	327,57	1403,13
56+880	Der	26,00	1461,96	1864,69	1953,35	2101,08	1845,27	273,51	1973,04
56+900	Der	50,00	656,31	1154,48	1252,35	1310,85	1093,50	298,51	1239,23
56+920	Der	40,00	497,41	1370,95	1513,55	1497,33	1219,81	485,80	1460,61
56+940	Der	24,00	1107,10	1479,71	2281,27	2181,29	1762,34	563,93	1980,76
56+960	Der	30,00	1163,79	1237,38	1289,23	1555,69	1311,52	170,72	1230,13
56+980	Der	32,00	1050,35	1675,75	1659,07	1693,66	1519,71	313,22	1676,16
57+000	Der	28,00	869,05	1391,19	1465,32	1592,07	1329,41	317,92	1482,86
57+020	Der	34,00	954,04	1169,43	1312,23	1344,14	1194,96	177,67	1275,27
57+040	Der	34,00	641,19	1002,56	1165,81	1205,69	1003,81	257,23	1124,69
57+060	Der	28,00	1298,92	1884,13	1927,14	1795,84	1726,51	290,25	1869,04
57+080	Der	32,00	704,99	1297,68	1475,92	1368,50	1211,77	345,71	1380,70
57+100	Der	38,00	538,89	967,98	1181,23	1182,66	967,69	303,14	1110,62

Media Eo= 1434,02 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 293,56

Coef. De variación= 20,47 < 30 % OK!

TABLA N°4.71

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	56+800	57+100
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
56+800	Izq	34,00	641,19	1002,56	1165,81	1489,56	1074,78	352,87	1084,18
56+820	Izq	40,00	497,41	765,53	1070,94	1166,77	875,16	304,46	1001,08
56+840	Izq	38,00	538,89	967,98	1181,23	1418,51	1026,65	373,63	1074,61
56+860	Izq	36,00	586,38	1060,85	1311,93	1454,19	1103,34	381,08	1275,66
56+880	Izq	30,00	779,96	1237,38	1475,80	1745,03	1309,54	409,45	1356,59
56+900	Izq	48,00	553,55	1074,94	1289,42	1369,32	1071,81	367,18	1244,56
56+920	Izq	38,00	538,89	1101,10	1552,29	1544,35	1184,16	479,07	1399,25
56+940	Izq	28,00	869,05	1144,04	1465,32	1592,07	1267,62	325,83	1400,48
56+960	Izq	40,00	936,02	1370,95	1513,55	1383,02	1300,89	251,67	1422,51
56+980	Izq	26,00	976,24	1579,39	1685,74	1844,33	1521,42	379,41	1703,15
57+000	Izq	26,00	976,24	1579,39	1685,74	1605,45	1461,70	326,79	1623,53
57+020	Izq	32,00	1050,35	1485,93	1475,92	1523,81	1384,01	223,39	1495,22
57+040	Izq	26,00	976,24	1294,09	1439,84	1605,45	1328,90	267,32	1366,96
57+060	Izq	44,00	804,10	1256,32	1349,90	1313,78	1181,03	254,22	1306,67
57+080	Izq	32,00	704,99	1109,78	1475,92	1523,81	1203,63	380,40	1369,84
57+100	Izq	30,00	779,96	1237,38	1475,80	1945,43	1359,64	485,67	1356,59

Media Eo= 1342,55 > 900 Kg/cm2 OK!
 Desv. Est.= 185,74
 Coef. De variación= 13,83 < 30 % OK!

TABLA N°4.72

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (Eo) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)		
TRAMO:	58+820	59+320
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
58+820	Der	42,00	1029,35	1365,74	1473,62	1451,84	1330,14	205,86	1430,40
58+860	Der	58,00	614,15	1102,78	1096,63	1097,77	977,83	242,47	1099,06
58+900	Der	36,00	586,38	1209,12	1589,17	1733,01	1279,42	512,16	1510,43
58+940	Der	42,00	683,10	1256,08	1523,17	1544,32	1251,67	401,10	1441,19
58+980	Der	50,00	519,14	999,51	1194,09	1142,80	963,89	307,72	1112,13
59+020	Der	44,00	1224,38	1443,21	1432,87	1407,86	1377,08	102,87	1427,98
59+060	Der	32,00	704,99	1485,93	1825,63	1871,66	1472,05	539,53	1727,74
59+100	Der	42,00	683,10	1256,08	1378,66	1451,84	1192,42	349,02	1362,19
59+140	Der	42,00	683,10	1365,74	1549,55	1544,32	1285,68	410,71	1486,54
59+180	Der	42,00	1319,54	1469,94	1473,62	1544,32	1451,85	94,62	1495,96
59+220	Der	44,00	955,21	1354,60	1490,45	1485,18	1321,36	252,06	1443,41
59+260	Der	50,00	996,10	1077,34	1306,67	1284,05	1166,04	153,24	1222,69
59+300	Der	50,00	1185,62	1290,38	1306,67	1216,09	1249,69	58,13	1271,05
59+320	Der	44,00	955,21	1256,32	1349,90	1485,18	1261,65	224,86	1363,80

Media Eo= 1385,33

Desv. Est.= 167,06

Coef. De variación= 12,06 < 30 % OK!

TABLA N°4.73

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE (E_o) POR EL MÉTODO HOGG		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	58+820	59+320
CAPA:	SUB RASANTE	

Parámetros utilizados

P= 4075 Kg. (Carga total en la llanta doble)

I= 0,1689 (factor de fluencias)

μ= 0,4 (coeficiente de Poisson)

Progresiva (km)	Lado	D0 (0.01 mm)	Eo para R=20	Eo para R=30	Eo para R=40	Eo para R=50	MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
58+820	Izq	42,00	865,94	1145,87	1284,76	1348,05	1161,16	214,16	1259,56
58+860	Izq	40,00	936,02	1370,95	1180,74	1272,48	1190,05	186,31	1274,72
58+900	Izq	30,00	779,96	1665,86	1874,37	1945,43	1566,41	537,55	1828,55
58+940	Izq	38,00	800,03	1568,48	1430,50	1544,35	1335,84	362,24	1514,44
58+980	Izq	44,00	634,80	1055,69	1073,40	1130,17	973,52	228,03	1086,42
59+020	Izq	40,00	737,76	1249,39	1297,13	1383,02	1166,83	291,34	1309,85
59+060	Izq	50,00	778,27	1290,38	1194,09	1142,80	1101,39	223,93	1209,09
59+100	Izq	48,00	700,23	1074,94	1289,42	1324,08	1097,17	286,65	1229,48
59+140	Izq	44,00	1342,86	1443,21	1388,13	1394,86	1392,27	41,07	1391,50
59+180	Izq	50,00	1263,23	1290,38	1306,67	1310,85	1292,78	21,59	1302,63
59+220	Izq	42,00	683,10	1365,74	1473,62	1451,84	1243,57	376,54	1430,40
59+260	Izq	38,00	1209,34	1369,05	1430,50	1418,51	1356,85	101,87	1406,02
59+300	Izq	46,00	889,45	1251,27	1320,04	1280,34	1185,28	199,22	1283,88
59+320	Izq	40,00	1113,41	1370,95	1513,55	1497,33	1373,81	184,93	1460,61

Media= 1356,23

Desv. Estan= 176,50

Coef. De variación= 13,01 < 30 % OK!

6. Determinación de módulo resiliente aplicando el método HOGG SIMPLIFICADO

6.1. Procedimiento de cálculo

Para la determinación del módulo de elasticidad o módulo resiliente del suelo de subrasante se deberán seguir los siguientes pasos:

- (1) De la curva de deflexión medida se selecciona el valor de la deflexión máxima D_0 y una deflexión adicional D_r correspondiente a la distancia radial R .
- (2) Se calcula la relación D_0/D_r .
- (3) Se calcula el valor del Factor de Longitud de Curva R_{50} , empleando la Ecuación 3.5, la relación D_0/D_r y los coeficientes de la **Tabla 3.4**.
- (4) Se calcula el producto $D_0 \times R_{50}$.
- (5) Se calcula el módulo resiliente mediante la **Ecuación 3.9**.

6.2. Determinación del R_{50} para el método de Hogg simplificado

Para la determinación del R_{50} se procede de igual manera que para el método de Hogg por lo cual se acudirá a la misma ecuación:

$$r_{50} = r \frac{(\beta)^\alpha - B}{\left[\beta \left(\frac{\Delta \theta}{\Delta r} - 1 \right) \right]^\alpha - B}$$

R = Distancia a la que se mide la deflexión D_r .

D_0 = Deflexión Máxima

D_r = Deflexión a la distancia R

α , β y B = Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en las tabla 3.4

Para la determinación del R50 se tomó la misma progresiva que el ejemplo realizado para el método de Hogg34+180 en el lado derecho se tuvo una deflexión máxima D0=54 y a una distancia R=40 cm una deflexión DR= 20, H/L0 =10 y con $\mu= 0.4$ de acuerdo a la relación DR/D0=0.37 se procede a escoger los coeficientes de la tabla 3.4 donde $\alpha= 0.2004, \beta= 2283.4$ y B= 3 usando la ecuación anterior se tiene:

$$r_{50} = 40 \frac{(2283.4)^{0.2004} - 3}{\left[2283.4 \left(\frac{54}{20} - 1 \right) \right]^{0.2004} - 3}$$

$$\mathbf{R50 = 30.56}$$

Por lo explicado anteriormente se puede apreciar que el procedimiento a seguir es el mismo que para el método de HOGG RIGUROSO por lo tanto los resultados obtenidos de R50 son los mismos y se presentan en las tablas 4.26 a 4.37 desde la página 150 a 161.

Ahora nos toca calcular el producto de D0*R50 de donde se obtiene:

$$\mathbf{D0 * R50 = 54 * 30.56 = 1650.13}$$

Una vez obtenido este producto se procede al cálculo del módulo resiliente mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{E0 = 1091314.96 (D0xR50)^{-0.939}}$$

$$\mathbf{E0 = 1091314.96 (1650.13)^{-0.939}}$$

$$\mathbf{E0 = 1039.20 Kg/cm2}$$

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos mediante el método de HOGG SIMPLIFICADO.

TABLA N°4.74

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO

TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)

TRAMO: 34+180 34+700

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo			
		cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2			
34+180	Der	2145,72	812,09	1830,72	942,65	1650,13	1039,20	1641,49	1044,34	959,57	108,88	1008,73
34+220	Der	2481,12	708,56	2056,00	845,32	1914,17	904,00	1870,46	923,83	845,43	97,14	891,05
34+260	Der	4667,23	391,47	2004,28	865,79	1760,00	978,17	1658,09	1034,52	817,49	292,54	959,49
34+300	Der	1215,45	1384,78	1220,48	1379,42	1141,87	1468,42	1138,37	1472,65	1426,32	51,13	1426,32
34+340	Der	2666,95	662,10	1498,58	1137,59	1433,38	1186,11	1466,56	1160,90	1036,68	250,50	1161,54
34+380	Der	4667,23	391,47	2004,28	865,79	1592,65	1074,38	1658,09	1034,52	841,54	313,37	991,56
34+420	Der	1387,88	1222,60	1327,56	1274,68	1311,05	1289,75	1350,40	1254,43	1260,37	29,04	1264,56
34+460	Der	2242,36	779,18	1327,56	1274,68	1434,97	1184,88	1488,95	1144,50	1095,81	217,99	1201,35
34+500	Der	1856,27	930,46	1447,40	1175,33	1466,18	1161,18	1403,17	1210,08	1119,26	127,54	1182,20
34+540	Der	3401,09	526,94	1383,54	1226,19	1274,25	1324,69	1276,25	1322,75	1100,14	384,89	1291,21
34+580	Der	1336,15	1266,98	1207,76	1393,06	1156,66	1450,77	1164,85	1441,19	1388,00	84,54	1428,34
34+620	Der	3107,18	573,61	1648,00	1040,47	1653,58	1037,17	1112,46	1504,83	1039,02	380,17	1038,82
34+660	Der	3401,09	526,94	1383,54	1226,19	1141,87	1468,42	1007,88	1651,00	1218,14	492,56	1448,54
34+700	Der	2011,74	862,77	1849,01	933,89	1767,80	974,12	1891,81	914,03	921,20	46,28	923,96

Media Eo= 1158,40 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 194,28

Coef. De variación= 16,77 < 30 % OK!

TABLA N°4.75

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LAPAZ - ORURO -(LADO IZQUIERDO)			
TRAMO:	34+180	34+700	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo			
		cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2			
34+180	Izq	3812,96	473,31	1873,22	922,55	1752,41	982,15	1870,46	923,83	825,46	236,41	942,84
34+220	Izq	2250,22	776,62	1823,18	946,31	1627,31	1052,88	1427,33	1190,83	991,66	174,85	1063,34
34+260	Izq	2666,95	662,10	1684,65	1019,20	1600,00	1069,75	1466,56	1160,90	977,99	218,60	1083,28
34+300	Izq	1430,48	1188,37	1383,54	1226,19	1141,87	1468,42	1007,88	1651,00	1383,50	217,25	1448,54
34+340	Izq	1430,48	1188,37	1220,48	1379,42	1141,87	1468,42	1138,37	1472,65	1377,22	133,03	1440,17
34+380	Izq	1460,67	1165,29	1200,00	1401,52	1173,25	1431,51	1191,73	1410,65	1352,24	125,26	1414,56
34+420	Izq	1272,74	1326,17	1200,00	1401,52	1173,25	1431,51	1062,74	1570,85	1432,51	102,32	1416,51
34+460	Izq	1430,48	1188,37	1220,48	1379,42	1141,87	1468,42	1138,37	1472,65	1377,22	133,03	1440,17
34+500	Izq	2006,52	864,88	1320,00	1281,54	1453,81	1170,45	1376,57	1232,02	1137,22	187,16	1228,00
34+540	Izq	2006,52	864,88	1458,70	1166,77	1210,09	1390,55	1246,16	1352,71	1193,73	240,06	1303,34
34+580	Izq	6068,82	305,93	1849,01	933,89	1513,45	1127,10	1749,71	983,57	837,62	363,81	1014,85
34+620	Izq	1430,48	1188,37	1080,00	1547,27	910,69	1815,93	1007,88	1651,00	1550,64	265,64	1671,40
34+660	Izq	2282,65	766,26	1434,97	1184,88	1440,42	1180,67	1410,44	1204,22	1084,01	212,08	1189,92
34+700	Izq	1720,81	999,07	1194,49	1407,59	1101,26	1519,21	1117,45	1498,52	1356,10	242,91	1475,11

Media Eo= 1295,15 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est= 212,22

Coef. De variación= 16,39 < 30 % OK!

TABLA N°4.76

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)			
TRAMO:	39+880	40+180	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo			
		cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2			
39+880	Der	499,53	3191,57	600,00	2686,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2706,02	339,66	2544,16
39+900	Der	462,63	3430,05	358,74	4355,21	360,11	4339,73	319,68	4853,14	4244,53	593,04	4347,47
39+920	Der	480,00	3313,33	603,98	2670,38	572,03	2810,19	585,88	2747,76	2885,41	290,95	2742,77
39+940	Der	876,40	1882,57	720,00	2264,20	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2203,15	220,60	2310,00
39+960	Der	753,15	2170,48	729,35	2236,94	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2303,79	123,52	2256,48
39+980	Der	480,00	3313,33	603,98	2670,38	572,03	2810,19	585,88	2747,76	2885,41	290,95	2742,77
40+000	Der	672,76	2413,17	716,82	2273,64	699,88	2325,26	742,23	2200,46	2303,14	89,46	2299,45
40+020	Der	597,91	2695,80	497,43	3204,22	550,63	2912,62	558,73	2872,97	2921,40	210,80	2892,80
40+040	Der	486,23	3273,43	497,43	3204,22	550,63	2912,62	558,73	2872,97	3065,81	202,42	2996,60
40+060	Der	636,37	2542,52	600,00	2686,99	529,92	3019,37	531,37	3011,63	2815,13	238,79	2906,00
40+080	Der	577,19	2786,58	603,98	2670,38	680,66	2386,85	444,60	3560,44	2851,06	501,83	2614,60
40+100	Der	577,19	2786,58	603,98	2670,38	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2530,69	237,38	2528,61
40+120	Der	400,00	3932,02	486,57	3271,29	529,92	3019,37	531,37	3011,63	3308,58	432,78	3100,76
40+140	Der	486,23	3273,43	497,43	3204,22	550,63	2912,62	558,73	2872,97	3065,81	202,42	2996,60
40+160	Der	560,00	2866,83	717,49	2271,65	833,16	1974,17	491,12	3242,84	2588,87	572,55	2569,24
40+180	Der	402,65	3907,71	510,50	3127,11	572,03	2810,19	585,88	2747,76	3148,19	532,89	2895,02

Media Eo= 2796,46 > 900 Kg/cm2 OK!
 Desv. Est.= 490,61
 Coef. De variación= 17,54 < 30 % OK!

TABLA N°4.77

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)			
TRAMO:	39+880	40+180	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo	DoxR50	Eo			
		cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2	cmxcm	Kg/cm2			
39+880	Izq	636,37	2542,52	600,00	2686,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2543,75	102,90	2496,01
39+900	Izq	477,88	3327,15	613,21	2632,61	699,88	2325,26	742,23	2200,46	2621,37	504,34	2386,11
39+920	Izq	486,23	3273,43	597,25	2698,63	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2694,95	411,34	2502,12
39+940	Izq	577,19	2786,58	720,00	2264,20	805,30	2038,24	715,04	2278,96	2341,99	316,20	2193,80
39+960	Izq	480,00	3313,33	603,98	2670,38	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2662,38	464,30	2445,40
39+980	Izq	477,88	3327,15	613,21	2632,61	699,88	2325,26	742,23	2200,46	2621,37	504,34	2386,11
40+000	Izq	526,34	3038,65	610,24	2644,63	637,13	2539,70	638,12	2535,97	2689,74	238,00	2573,43
40+020	Izq	499,53	3191,57	600,00	2686,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2706,02	339,66	2544,16
40+040	Izq	584,27	2754,87	480,00	3313,33	493,50	3228,14	476,69	3334,93	3157,82	272,56	3292,13
40+060	Izq	327,81	4740,00	358,74	4355,21	360,11	4339,73	319,68	4853,14	4572,02	263,45	4478,31
40+080	Izq	701,79	2319,33	720,00	2264,20	805,30	2038,24	850,83	1935,65	2139,36	182,30	2207,26
40+100	Izq	486,23	3273,43	597,25	2698,63	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2694,95	411,34	2502,12
40+120	Izq	597,91	2695,80	729,35	2236,94	796,33	2059,80	829,04	1983,38	2243,98	319,39	2093,37
40+140	Izq	577,19	2786,58	720,00	2264,20	805,30	2038,24	850,83	1935,65	2256,17	379,31	2079,36
40+160	Izq	577,19	2786,58	720,00	2264,20	805,30	2038,24	850,83	1935,65	2256,17	379,31	2079,36
40+180	Izq	565,84	2839,06	716,82	2273,64	817,61	2009,41	874,85	1885,70	2251,95	423,53	2056,25

Media Eo= 2519,71 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 603,70

Coef. De variación= 23,96 < 30 % OK!

TABLA N°4.78

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - URUO (LADO DERECHO)			
TRAMO:	44+640	44+940	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
44+640	Der	597,91	2695,80	597,25	2698,63	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2550,54	172,78	2613,38
44+660	Der	701,79	2319,33	720,00	2264,20	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2312,34	54,87	2287,50
44+680	Der	753,15	2170,48	896,87	1842,20	663,23	2445,71	558,73	2872,97	2332,84	436,49	2308,10
44+700	Der	701,79	2319,33	720,00	2264,20	805,30	2038,24	850,83	1935,65	2139,36	182,30	2207,26
44+720	Der	701,79	2319,33	865,79	1904,24	960,00	1728,21	850,83	1935,65	1971,86	248,99	1856,03
44+740	Der	526,34	3038,65	477,85	3327,36	510,50	3127,11	503,94	3165,30	3164,60	120,78	3146,21
44+760	Der	855,04	1926,69	954,56	1737,46	800,00	2050,92	662,40	2448,60	2040,92	300,80	1988,81
44+780	Der	855,04	1926,69	749,29	2180,99	800,00	2050,92	810,95	2024,90	2045,88	104,76	2037,91
44+800	Der	855,04	1926,69	749,29	2180,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2263,30	263,93	2375,50
44+820	Der	1005,87	1654,11	1009,14	1649,07	1131,67	1480,84	1022,01	1629,56	1603,39	82,39	1644,25
44+840	Der	715,24	2278,35	789,51	2076,49	813,65	2018,59	638,12	2535,97	2227,35	233,94	2124,48
44+860	Der	1159,52	1447,42	1052,68	1584,94	960,00	1728,21	1006,63	1652,94	1603,38	119,31	1618,94
44+880	Der	1005,87	1654,11	1009,14	1649,07	955,75	1735,42	874,85	1885,70	1731,08	110,42	1679,53
44+900	Der	855,04	1926,69	749,29	2180,99	800,00	2050,92	662,40	2448,60	2151,80	223,45	2115,96
44+920	Der	636,37	2542,52	600,00	2686,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2543,75	102,90	2496,01
44+940	Der	636,37	2542,52	600,00	2686,99	648,76	2496,90	662,40	2448,60	2543,75	102,90	2496,01

Media Eo= 2187,24 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 400,70

Coef. De variación= 18,32 < 30 % OK!

TABLA N°4.79

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO

TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)

TRAMO: 44+640 44+940

CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	para R=20		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
44+640	Izq	715,24	2278,35	610,24	2644,63	637,13	2539,70	503,94	3165,30	2656,99	372,23	2592,16
44+660	Izq	526,34	3038,65	610,24	2644,63	637,13	2539,70	638,12	2535,97	2689,74	238,00	2573,43
44+680	Izq	423,37	3727,84	370,13	4229,31	381,35	4112,30	345,81	4508,00	4144,36	323,51	4170,81
44+700	Izq	701,79	2319,33	720,00	2264,20	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2312,34	54,87	2287,50
44+720	Izq	526,34	3038,65	477,85	3327,36	510,50	3127,11	503,94	3165,30	3164,60	120,78	3146,21
44+740	Izq	597,91	2695,80	597,25	2698,63	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2550,54	172,78	2613,38
44+760	Izq	701,79	2319,33	603,98	2670,38	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2413,88	176,70	2328,38
44+780	Izq	701,79	2319,33	720,00	2264,20	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2312,34	54,87	2287,50
44+800	Izq	1003,26	1658,15	729,35	2236,94	796,33	2059,80	829,04	1983,38	1984,57	242,14	2021,59
44+820	Izq	486,23	3273,43	597,25	2698,63	663,23	2445,71	688,28	2362,03	2694,95	411,34	2502,12
44+840	Izq	753,15	2170,48	729,35	2236,94	796,33	2059,80	829,04	1983,38	2112,65	112,98	2115,14
44+860	Izq	672,76	2413,17	716,82	2273,64	817,61	2009,41	742,23	2200,46	2224,17	168,18	2237,05
44+880	Izq	876,40	1882,57	865,79	1904,24	805,30	2038,24	715,04	2278,96	2026,00	182,15	1941,68
44+900	Izq	597,91	2695,80	597,25	2698,63	550,63	2912,62	558,73	2872,97	2795,00	114,08	2755,80
44+920	Izq	876,40	1882,57	720,00	2264,20	680,66	2386,85	715,04	2278,96	2203,15	220,60	2310,00
44+940	Izq	753,15	2170,48	896,87	1842,20	972,47	1707,40	995,41	1670,42	1847,63	227,54	1740,01

Media Eo= 2476,42 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 564,73

Coef. De variación= 22,80 < 30 % OK!

TABLA N°4.80

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)			
TRAMO:	54+980	55+580	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
54+980	Der	2548,18	691,04	1315,85	1285,33	1291,10	1308,45	1216,43	1383,74	1167,14	320,17	1325,84
55+020	Der	2884,51	615,10	1475,15	1154,55	1311,05	1289,75	1350,40	1254,43	1078,46	314,17	1232,91
55+060	Der	2548,18	691,04	1566,74	1091,06	1291,10	1308,45	1063,54	1569,74	1165,07	371,71	1199,76
55+100	Der	3704,27	486,34	1531,73	1114,46	1434,72	1185,07	1299,99	1300,05	1021,48	364,87	1199,86
55+140	Der	4016,49	450,75	1684,65	1019,20	1433,38	1186,11	1324,80	1277,18	983,31	370,76	1160,83
55+180	Der	4016,49	450,75	1684,65	1019,20	1297,53	1302,37	1324,80	1277,18	1012,37	395,68	1199,58
55+220	Der	1901,99	909,44	1357,36	1248,39	1286,52	1312,83	1299,99	1300,05	1192,68	190,87	1287,09
55+260	Der	2822,79	627,72	1478,83	1151,85	1280,00	1319,11	1233,75	1365,48	1116,04	338,23	1278,81
55+300	Der	3107,18	573,61	1945,86	890,17	1450,68	1172,83	1253,98	1344,80	995,35	337,90	1031,50
55+340	Der	2029,53	855,67	1216,44	1383,73	1131,67	1480,84	874,85	1885,70	1401,48	423,87	1432,28
55+380	Der	1554,01	1099,45	1129,73	1483,22	972,47	1707,40	829,04	1983,38	1568,37	373,59	1595,31
55+420	Der	2822,79	627,72	1752,81	981,94	987,00	1683,78	953,38	1739,48	1258,23	543,62	1468,40
55+460	Der	2822,79	627,72	2144,12	812,66	1693,49	1014,20	1233,75	1365,48	955,01	315,90	913,43
55+500	Der	2029,53	855,67	1216,44	1383,73	817,61	2009,41	612,77	2634,39	1720,80	770,28	1696,57
55+540	Der	2548,18	691,04	1923,85	899,73	1498,58	1137,59	1216,43	1383,74	1028,02	299,20	1018,66
55+580	Der	2822,79	627,72	1752,81	981,94	1693,49	1014,20	1600,00	1069,75	923,40	200,43	1021,96

Media Eo= 1253,92 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 214,42

Coef. De variación= 17,10 < 30 % OK!

TABLA N°4.81

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO		
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)		
TRAMO:	54+980	55+580
CAPA:	SUB RASANTE	

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
54+980	Izq	2822,79	627,72	1752,81	981,94	1469,00	1159,09	1394,15	1217,43	996,54	265,49	1119,49
55+020	Izq	1581,70	1081,36	1421,86	1195,14	1129,52	1483,48	980,54	1694,20	1363,55	277,91	1339,31
55+060	Izq	2548,18	691,04	1923,85	899,73	1115,33	1501,20	1063,54	1569,74	1165,43	436,60	1323,56
55+100	Izq	1901,99	909,44	1207,76	1393,06	1286,52	1312,83	1299,99	1300,05	1228,85	216,88	1335,32
55+140	Izq	3401,09	526,94	1823,18	946,31	1440,00	1180,99	1276,25	1322,75	994,25	348,07	1150,02
55+180	Izq	2822,79	627,72	1478,83	1151,85	1280,00	1319,11	1233,75	1365,48	1116,04	338,23	1278,81
55+220	Izq	4016,49	450,75	1909,12	906,25	1433,38	1186,11	1466,56	1160,90	926,00	341,12	1084,42
55+260	Izq	2548,18	691,04	1923,85	899,73	1754,47	981,06	1613,88	1061,11	908,23	159,08	980,63
55+300	Izq	2283,65	765,94	1711,99	1003,91	1120,00	1495,32	900,26	1835,68	1275,21	481,50	1249,61
55+340	Izq	2029,53	855,67	1985,24	873,58	1345,52	1258,70	1194,69	1407,36	1098,83	277,26	995,98
55+380	Izq	2029,53	855,67	1508,80	1130,35	1345,52	1258,70	1414,59	1200,90	1111,41	178,39	1196,65
55+420	Izq	2822,79	627,72	1752,81	981,94	1693,49	1014,20	1233,75	1365,48	997,33	301,48	998,07
55+460	Izq	2548,18	691,04	1923,85	899,73	1754,47	981,06	1216,43	1383,74	988,89	290,19	940,40
55+500	Izq	2283,65	765,94	1711,99	1003,91	1545,64	1105,04	1639,06	1045,79	980,17	148,72	1051,58
55+540	Izq	2548,18	691,04	1923,85	899,73	1754,47	981,06	1613,88	1061,11	908,23	159,08	980,63
55+580	Izq	2283,65	765,94	2242,36	779,18	1311,25	1289,57	1195,81	1406,13	1060,21	335,58	944,90

Media= 1123,09 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 146,63

Coef. De variación= 13,06 < 30 % OK!

TABLA N°4.82

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)			
TRAMO:	56+800	57+100	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
56+800	Der	2283,65	765,94	1711,99	1003,91	1311,25	1289,57	1041,45	1600,98	1165,10	360,92	1146,74
56+820	Der	2051,36	847,11	1945,86	890,17	1450,68	1172,83	1253,98	1344,80	1063,73	236,60	970,04
56+840	Der	2666,95	662,10	1684,65	1019,20	1297,53	1302,37	1191,73	1410,65	1098,58	334,53	1244,07
56+860	Der	2455,47	715,51	1531,73	1114,46	1286,52	1312,83	1164,85	1441,19	1146,00	316,91	1289,49
56+880	Der	1323,49	1278,36	1009,14	1649,07	955,75	1735,42	874,85	1885,70	1637,14	258,40	1756,73
56+900	Der	2979,79	596,61	1567,26	1090,72	1062,74	1570,85	1198,72	1402,93	1165,28	428,14	1354,83
56+920	Der	4016,49	450,75	1339,49	1264,02	1173,25	1431,51	1191,73	1410,65	1139,23	465,00	1368,73
56+940	Der	1786,18	964,70	1314,60	1286,48	805,30	2038,24	850,83	1935,65	1556,27	516,06	1753,46
56+960	Der	1673,51	1025,57	1566,74	1091,06	1498,58	1137,59	1216,43	1383,74	1159,49	156,40	1084,74
56+980	Der	1859,06	929,14	1101,75	1518,57	1115,32	1501,21	1087,40	1537,38	1371,58	295,33	1519,06
57+000	Der	2283,65	765,94	1387,88	1222,60	1311,25	1289,57	1195,81	1406,13	1171,06	280,52	1306,10
57+020	Der	2051,36	847,11	1648,00	1040,47	1450,68	1172,83	1411,90	1203,05	1065,87	162,03	1138,78
57+040	Der	3107,18	573,61	1945,86	890,17	1653,58	1037,17	1593,74	1073,69	893,66	227,63	1000,34
57+060	Der	1494,91	1140,21	983,44	1689,51	956,65	1733,90	1041,45	1600,98	1541,15	272,94	1674,80
57+080	Der	2822,79	627,72	1478,83	1151,85	1280,00	1319,11	1394,15	1217,43	1079,03	308,64	1229,46
57+100	Der	3704,27	486,34	2004,23	865,81	1610,34	1063,29	1608,15	1064,66	870,02	272,32	997,92

Media Eo= 1302,21 > 900 Kg/cm2 OK!
 Desv. Est.= 258,76
 Coef. De variación= 19,87 < 30 % OK!

TABLA N°4.83

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO

TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)

TRAMO: 56+800 57+100
CAPA: SUB RASANTE

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
56+800	Izq	3107,18	573,61	1945,86	890,17	1653,58	1037,17	1253,98	1344,80	961,44	320,51	963,67
56+820	Izq	4016,49	450,75	2565,13	686,75	1785,99	964,80	1621,91	1056,17	789,62	275,17	902,57
56+840	Izq	3704,27	486,34	2004,23	865,81	1610,34	1063,29	1299,99	1300,05	928,87	344,32	964,55
56+860	Izq	3401,09	526,94	1823,18	946,31	1440,00	1180,99	1276,25	1322,75	994,25	348,07	1150,02
56+880	Izq	2548,18	691,04	1566,74	1091,06	1291,10	1308,45	1063,54	1569,74	1165,07	371,71	1199,76
56+900	Izq	3572,35	503,18	1731,57	993,24	1361,33	1244,97	1171,76	1433,21	1043,65	402,88	1223,81
56+920	Izq	3704,27	486,34	1741,48	987,93	1156,66	1450,77	1164,85	1441,19	1091,56	457,64	1293,30
56+940	Izq	2283,65	765,94	1711,99	1003,91	1311,25	1289,57	1195,81	1406,13	1116,39	288,33	1146,74
56+960	Izq	2069,73	840,05	1339,49	1264,02	1173,25	1431,51	1324,80	1277,18	1203,19	253,75	1324,24
56+980	Izq	2029,53	855,67	1216,44	1383,73	1131,67	1480,84	1022,01	1629,56	1337,45	336,72	1498,04
57+000	Izq	2029,53	855,67	1216,44	1383,73	1131,67	1480,84	1194,69	1407,36	1281,90	287,14	1423,97
57+020	Izq	1859,06	929,14	1270,12	1328,74	1280,00	1319,11	1233,75	1365,48	1235,62	205,29	1337,78
57+040	Izq	2029,53	855,67	1508,80	1130,35	1345,52	1258,70	1194,69	1407,36	1163,02	234,09	1194,53
57+060	Izq	2419,79	725,41	1458,70	1166,77	1326,47	1275,67	1376,57	1232,02	1099,97	253,68	1224,82
57+080	Izq	2822,79	627,72	1752,81	981,94	1280,00	1319,11	1233,75	1365,48	1073,56	342,87	1222,18
57+100	Izq	2548,18	691,04	1566,74	1091,06	1291,10	1308,45	926,55	1786,74	1219,32	456,60	1199,76

Media Eo= 1204,36 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 160,96

Coef. De variación= 13,36 < 30 % OK!

TABLA N°4.84

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO DERECHO)			
TRAMO:	58+820	59+320	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
58+820	Der	1856,25	930,47	1327,56	1274,68	1191,16	1411,28	1218,86	1381,14	1249,39	220,54	1355,70
58+860	Der	3166,65	563,49	1552,86	1100,21	1569,79	1089,07	1566,68	1091,10	960,97	265,03	1093,46
58+900	Der	3401,09	526,94	1579,02	1083,09	1141,87	1468,42	1007,88	1651,00	1182,36	496,95	1400,84
58+940	Der	2884,51	615,10	1475,15	1154,55	975,09	1703,09	1090,13	1533,76	1251,62	482,36	1463,80
58+980	Der	3812,96	473,31	1873,22	922,55	1496,37	1139,17	1588,48	1077,03	903,02	300,60	1046,25
59+020	Der	1506,31	1132,11	1194,49	1407,59	1210,09	1390,55	1246,16	1352,71	1320,74	127,83	1383,61
59+060	Der	2822,79	627,72	1270,12	1328,74	987,00	1683,78	953,38	1739,48	1344,93	511,58	1584,00
59+100	Der	2884,51	615,10	1475,15	1154,55	1311,05	1289,75	1218,86	1381,14	1110,13	342,90	1275,15
59+140	Der	2884,51	615,10	1327,56	1274,68	1080,32	1546,84	1090,13	1533,76	1242,59	436,70	1451,76
59+180	Der	1387,88	1222,60	1195,88	1406,05	1191,16	1411,28	1090,13	1533,76	1393,42	128,26	1408,67
59+220	Der	2006,52	864,88	1320,00	1281,54	1101,26	1519,21	1117,45	1498,52	1291,04	303,76	1433,09
59+260	Der	1880,75	919,08	1711,93	1003,94	1270,78	1328,09	1328,43	1273,90	1131,25	200,27	1201,98
59+300	Der	1511,45	1128,50	1314,31	1286,75	1270,78	1328,09	1457,19	1167,91	1227,81	94,84	1227,33
59+320	Der	2006,52	864,88	1458,70	1166,77	1326,47	1275,67	1117,45	1498,52	1201,46	263,47	1221,22

Media Eo= 1324,77 > 900 Kg/cm2 OK!
 Desv. Est.= 152,029
 Coef. De variación= 11,48 < 30 % OK!

TABLA N°4.85

CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO HOGG SIMPLIFICADO			
TRAMO: LA PAZ - ORURO (LADO IZQUIERDO)			
TRAMO:	58+820	59+320	
CAPA:	SUB RASANTE		

Progresiva (km)	Lado	para R=25		para R=30		para R=40		para R=50		MEDIA para el tramo	D. estandar para el tramo	Eo Kg/cm2 total
		DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2	DoxR50 cmxcm	Eo Kg/cm2			
58+820	Izq	2242,36	779,18	1644,06	1042,80	1434,97	1184,88	1350,40	1254,43	1065,32	210,11	1160,71
58+860	Izq	2069,73	840,05	1339,49	1264,02	1600,00	1069,75	1466,56	1160,90	1083,68	180,77	1115,32
58+900	Izq	2548,18	691,04	1123,93	1490,41	973,14	1706,28	926,55	1786,74	1418,62	500,93	1661,14
58+940	Izq	2455,47	715,51	1140,00	1470,67	1286,52	1312,83	1164,85	1441,19	1235,05	353,08	1408,23
58+980	Izq	3108,01	573,47	1793,74	960,88	1760,00	978,17	1658,09	1034,52	886,76	211,21	991,19
59+020	Izq	2666,95	662,10	1498,58	1137,59	1433,38	1186,11	1324,80	1277,18	1065,75	275,25	1200,30
59+060	Izq	2481,12	708,56	1314,31	1286,75	1496,37	1139,17	1588,48	1077,03	1052,88	245,82	1167,65
59+100	Izq	2788,59	634,94	1731,57	993,24	1361,33	1244,97	1300,99	1299,11	1043,06	302,97	1179,11
59+140	Izq	1447,21	1175,47	1315,74	1285,43	1122,53	1492,15	1144,66	1465,05	1354,52	150,55	1414,21
59+180	Izq	1370,67	1237,00	1314,31	1286,75	1270,78	1328,09	1198,72	1402,93	1313,69	70,18	1339,26
59+220	Izq	2884,51	615,10	1327,56	1274,68	1191,16	1411,28	1218,86	1381,14	1170,55	374,91	1355,70
59+260	Izq	1568,13	1090,15	1357,36	1248,39	1286,52	1312,83	1299,99	1300,05	1237,85	102,34	1287,09
59+300	Izq	2160,81	806,76	1447,40	1175,33	1343,34	1260,62	1403,17	1210,08	1113,20	207,27	1215,34
59+320	Izq	1710,09	1004,95	1339,49	1264,02	1173,25	1431,51	1191,73	1410,65	1277,78	196,56	1368,73

Media= 1276,00 > 900 Kg/cm2 OK!

Desv. Est.= 165,195

Coef. De variación= 12,95 < 30 % OK!

6.3. Resumen de resultados

TABLA 4.86
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG RIGUROSO
TRAMO: LA PAZ - ORURO

Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total
	Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo	
34+180	1062,73	1019,08	1040,91	39+880	2852,57	2810,42	2831,50	44+640	2823,63	2964,38	2894,01
34+220	967,98	1118,83	1043,40	39+900	4561,49	2486,50	3523,99	44+660	2502,27	2945,72	2724,00
34+260	1053,25	1193,85	1123,55	39+920	2731,06	2752,20	2741,63	44+680	2574,28	3997,68	3285,98
34+300	1550,92	1422,32	1486,62	39+940	2519,27	2489,49	2504,38	44+700	2430,85	2502,27	2466,56
34+340	1273,00	1563,45	1418,22	39+960	2570,11	2619,91	2595,01	44+720	2165,58	3452,23	2808,91
34+380	1085,23	1500,31	1292,77	39+980	2731,06	2486,50	2608,78	44+740	3452,23	2823,63	3137,93
34+420	1356,89	1501,81	1429,35	40+000	2437,36	2945,72	2691,54	44+760	2294,15	2534,08	2414,11
34+460	1298,98	1563,45	1431,22	40+020	2945,31	2852,57	2898,94	44+780	2347,51	2521,41	2434,46
34+500	1256,90	1309,35	1283,12	40+040	2883,64	3706,58	3295,11	44+800	2692,13	2299,51	2495,82
34+540	1422,84	1365,68	1394,26	40+060	2853,64	4640,06	3746,85	44+820	1859,65	2752,20	2305,93
34+580	1533,28	1075,05	1304,17	40+080	2724,22	2430,85	2577,53	44+840	2470,31	2393,72	2432,02
34+620	1167,62	1735,27	1451,45	40+100	2680,47	2752,20	2716,34	44+860	1850,58	2396,01	2123,29
34+660	1560,14	1165,11	1362,62	40+120	3205,86	2370,56	2788,21	44+880	1895,99	2186,38	2041,18
34+700	994,74	1472,95	1233,84	40+140	2883,64	2315,33	2599,48	44+900	2430,13	2930,59	2680,36
				40+160	2316,467	2315,3302	2315,90	44+920	2810,4167	2519,2691	2664,84
				40+180	2734,1474	2341,214	2537,68	44+940	2810,4167	2000,0887	2405,25

TABLA 4.87
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG RIGUROSO
TRAMO: LA PAZ - URUO

Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total
	Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo	
54+980	1494,14	1261,28	1377,71	56+800	1304,68	1084,18	1194,43	58+820	1430,40	1259,56	1344,98
55+020	1327,60	1479,48	1403,54	56+820	1089,61	1001,08	1045,34	58+860	1099,06	1274,72	1186,89
55+060	1356,59	1480,84	1418,71	56+840	1343,82	1074,61	1209,21	58+900	1510,43	1828,55	1669,49
55+100	1319,85	1450,73	1385,29	56+860	1403,13	1275,66	1339,40	58+940	1441,19	1514,44	1477,82
55+140	1269,50	1275,66	1272,58	56+880	1973,04	1356,59	1664,81	58+980	1112,13	1086,42	1099,28
55+180	1305,72	1432,47	1369,10	56+900	1239,23	1244,56	1241,89	59+020	1427,98	1309,85	1368,91
55+220	1406,02	1192,58	1299,30	56+920	1460,61	1399,25	1429,93	59+060	1727,74	1209,09	1468,42
55+260	1432,47	1112,64	1272,56	56+940	1980,76	1400,48	1690,62	59+100	1362,19	1229,48	1295,84
55+300	1157,39	1415,40	1286,40	56+960	1230,13	1422,51	1326,32	59+140	1486,54	1391,50	1439,02
55+340	1632,56	1137,74	1385,15	56+980	1676,16	1703,15	1689,66	59+180	1495,96	1302,63	1399,30
55+380	1839,36	1369,47	1604,41	57+000	1482,86	1623,53	1553,19	59+220	1443,41	1430,40	1436,90
55+420	1602,36	1127,83	1365,09	57+020	1275,27	1495,22	1385,25	59+260	1222,69	1406,02	1314,35
55+460	1031,88	1067,06	1049,47	57+040	1124,69	1366,96	1245,83	59+300	1271,05	1283,88	1277,47
55+500	1897,08	1167,96	1532,52	57+060	1869,04	1306,67	1587,85	59+320	1363,80	1460,61	1412,21
55+540	1154,97	1112,64	1133,80	57+080	1380,7017	1369,8401	1375,27				
55+580	1154,42	1072,94	1113,68	57+100	1110,6235	1356,5881	1233,61				

TABLA 4.88
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - URUO

Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total
	Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo	
34+180	1008,73	942,84	975,78	39+880	2544,16	2496,01	2520,09	44+640	2613,38	2592,16	2602,77
34+220	891,05	1063,34	977,20	39+900	4347,47	2386,11	3366,79	44+660	2287,50	2573,43	2430,47
34+260	959,49	1083,28	1021,39	39+920	2742,77	2502,12	2622,45	44+680	2308,10	4170,81	3239,45
34+300	1426,32	1448,54	1437,43	39+940	2310,00	2193,80	2251,90	44+700	2207,26	2287,50	2247,38
34+340	1161,54	1440,17	1300,85	39+960	2256,48	2445,40	2350,94	44+720	1856,03	3146,21	2501,12
34+380	991,56	1414,56	1203,06	39+980	2742,77	2386,11	2564,44	44+740	3146,21	2613,38	2879,79
34+420	1264,56	1416,51	1340,54	40+000	2299,45	2573,43	2436,44	44+760	1988,81	2328,38	2158,59
34+460	1201,35	1440,17	1320,76	40+020	2892,80	2544,16	2718,48	44+780	2037,91	2287,50	2162,70
34+500	1182,20	1228,00	1205,10	40+040	2996,60	3292,13	3144,37	44+800	2375,50	2021,59	2198,55
34+540	1291,21	1303,34	1297,28	40+060	2906,00	4478,31	3692,16	44+820	1644,25	2502,12	2073,18
34+580	1428,34	1014,85	1221,60	40+080	2614,60	2207,26	2410,93	44+840	2124,48	2115,14	2119,81
34+620	1038,82	1671,40	1355,11	40+100	2528,61	2502,12	2515,37	44+860	1618,94	2237,05	1928,00
34+660	1448,54	1189,92	1319,23	40+120	3100,76	2093,37	2597,07	44+880	1679,53	1941,68	1810,61
34+700	923,96	1475,11	1199,53	40+140	2996,60	2079,36	2537,98	44+900	2115,96	2755,80	2435,88
				40+160	2569,2398	2079,3636	2324,30	44+920	2496,01	2310,00	2403,01
				40+180	2895,0183	2056,2526	2475,64	44+940	2496,01	1740,01	2118,01

TABLA 4.89
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - URUO

Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Lado		Eo Kg/cm2 total
	Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo			Derecho	Izquierdo	
54+980	1325,84	1119,49	1222,66	56+800	1146,74	963,67	1055,20	58+820	1355,70	1160,71	1258,20
55+020	1232,91	1339,31	1286,11	56+820	970,04	902,57	936,31	58+860	1093,46	1115,32	1104,39
55+060	1199,76	1323,56	1261,66	56+840	1244,07	964,55	1104,31	58+900	1400,84	1661,14	1530,99
55+100	1199,86	1335,32	1267,59	56+860	1289,49	1150,02	1219,76	58+940	1463,80	1408,23	1436,01
55+140	1160,83	1150,02	1155,42	56+880	1756,73	1199,76	1478,24	58+980	1046,25	991,19	1018,72
55+180	1199,58	1278,81	1239,20	56+900	1354,83	1223,81	1289,32	59+020	1383,61	1200,30	1291,95
55+220	1287,09	1084,42	1185,76	56+920	1368,73	1293,30	1331,01	59+060	1584,00	1167,65	1375,83
55+260	1278,81	980,63	1129,72	56+940	1753,46	1146,74	1450,10	59+100	1275,15	1179,11	1227,13
55+300	1031,50	1249,61	1140,56	56+960	1084,74	1324,24	1204,49	59+140	1451,76	1414,21	1432,98
55+340	1432,28	995,98	1214,13	56+980	1519,06	1498,04	1508,55	59+180	1408,67	1339,26	1373,96
55+380	1595,31	1196,65	1395,98	57+000	1306,10	1423,97	1365,04	59+220	1433,09	1355,70	1394,40
55+420	1468,40	998,07	1233,23	57+020	1138,78	1337,78	1238,28	59+260	1201,98	1287,09	1244,53
55+460	913,43	940,40	926,91	57+040	1000,34	1194,53	1097,43	59+300	1227,33	1215,34	1221,34
55+500	1696,57	1051,58	1374,07	57+060	1674,80	1224,82	1449,81	59+320	1221,22	1368,73	1294,97
55+540	1018,66	980,63	999,65	57+080	1229,4627	1222,1765	1225,82				
55+580	1021,96	944,90	983,43	57+100	997,91934	1199,7555	1098,84				

7. Comparación de resultados entre métodos y validación de resultados

TABLA N°4.90
Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO
Tramo: LA PAZ - URUO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
34+180	1062,73	1008,73
34+220	967,98	891,05
34+260	1053,25	959,49
34+300	1550,92	1426,32
34+340	1273,00	1161,54
34+380	1085,23	991,56
34+420	1356,89	1264,56
34+460	1298,98	1201,35
34+500	1256,90	1182,20
34+540	1422,84	1291,21
34+580	1533,28	1428,34
34+620	1167,62	1038,82
34+660	1560,14	1448,54
34+700	994,74	923,96

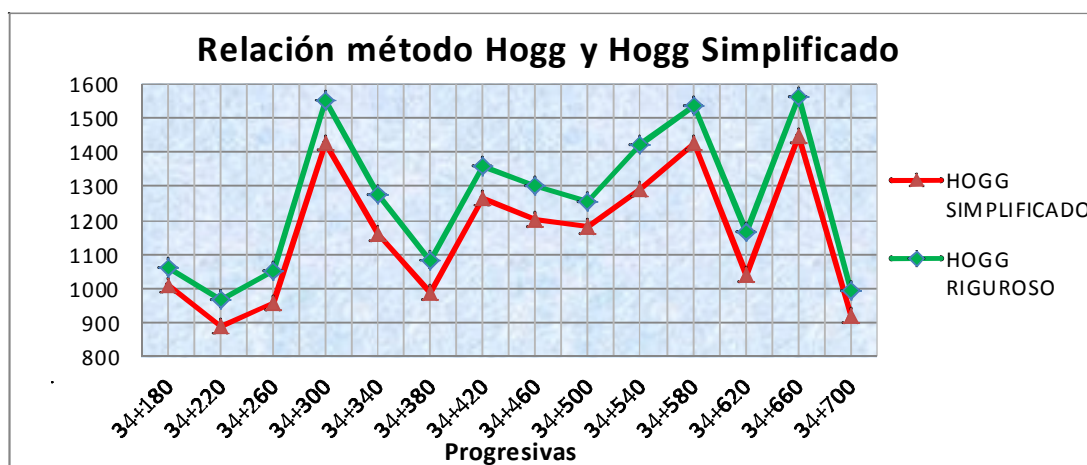
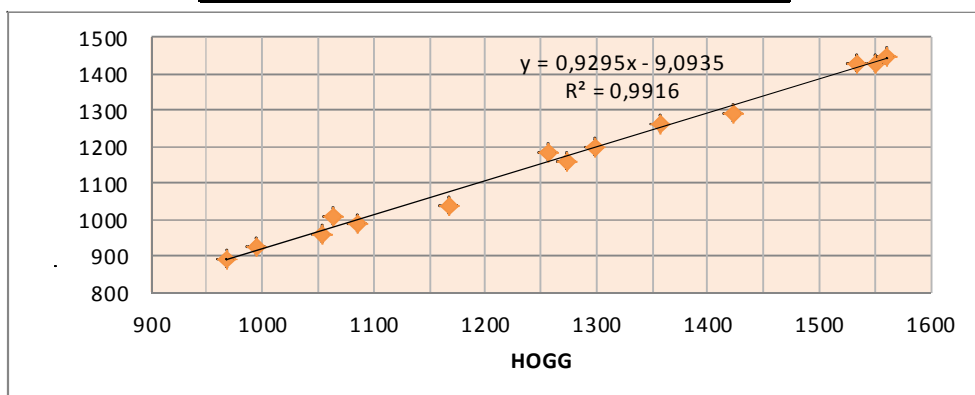


TABLA N°4.91

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - URURO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
34+180	1019,08	942,84
34+220	1118,83	1063,34
34+260	1193,85	1083,28
34+300	1422,32	1448,54
34+340	1563,45	1440,17
34+380	1500,31	1414,56
34+420	1501,81	1416,51
34+460	1563,45	1440,17
34+500	1309,35	1228,00
34+540	1365,68	1303,34
34+580	1075,05	1014,85
34+620	1735,27	1671,40
34+660	1165,11	1189,92
34+700	1472,95	1475,11

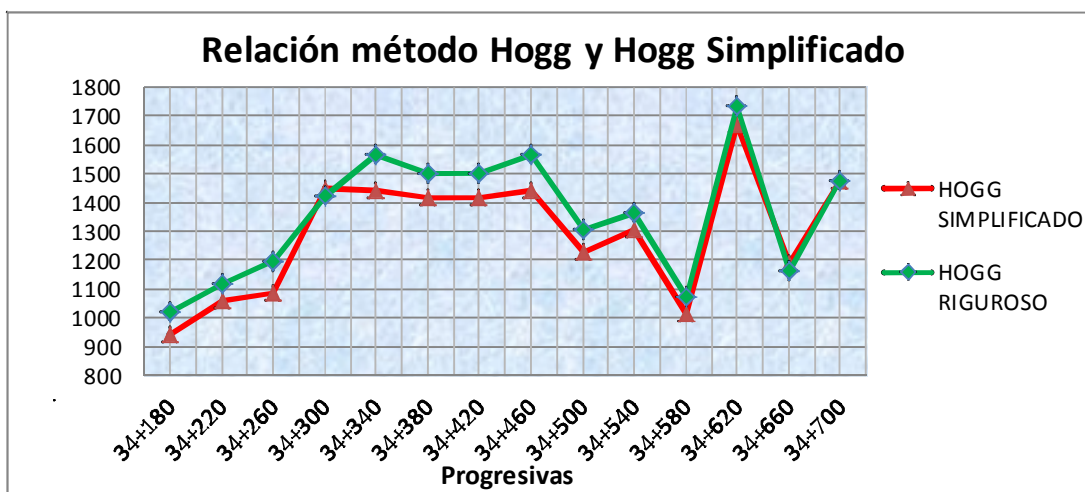
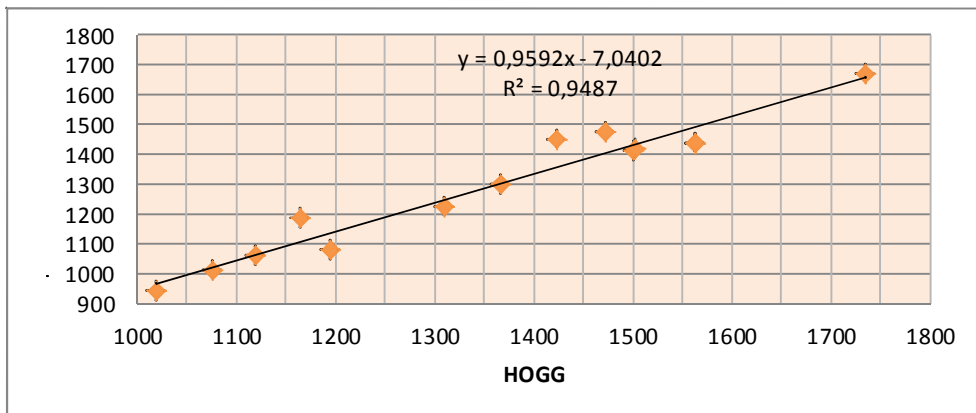


TABLA N° 4.92
Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO
Tramo: LA PAZ - ORURO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
39+880	2852,57	2544,16
39+900	4561,49	4347,47
39+920	2731,06	2742,77
39+940	2519,27	2310,00
39+960	2570,11	2256,48
39+980	2731,06	2742,77
40+000	2437,36	2299,45
40+020	2945,31	2892,80
40+040	2883,64	2996,60
40+060	2853,64	2906,00
40+080	2724,22	2614,60
40+100	2680,47	2528,61
40+120	3205,86	3100,76
40+140	2883,64	2996,60
40+160	2316,47	2569,24
40+180	2734,15	2895,02

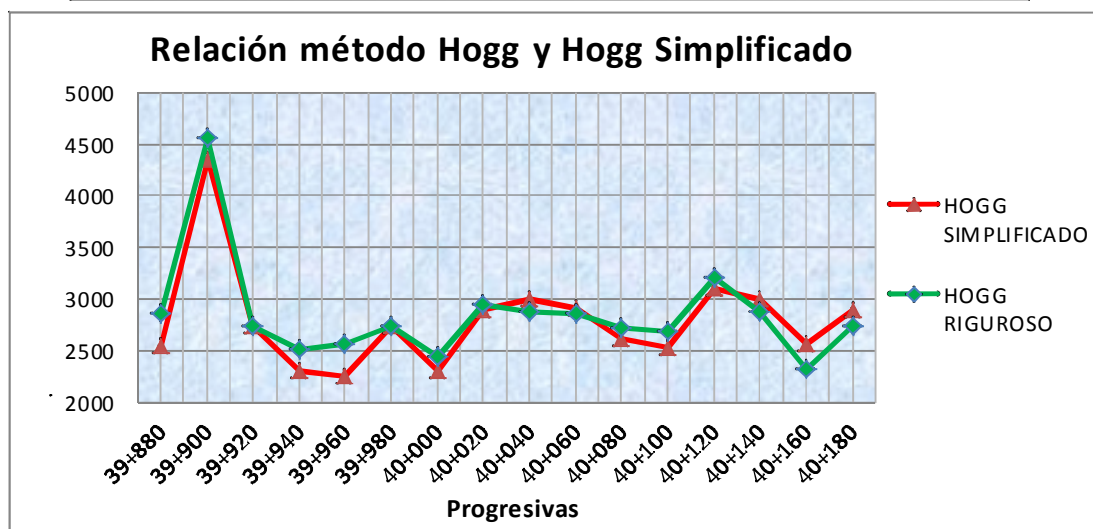
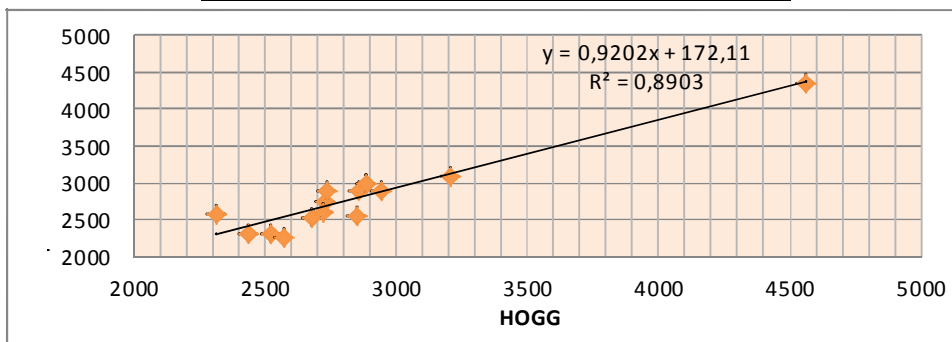


TABLA N°4.93

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - URUO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
39+880	2810,42	2496,01
39+900	2486,50	2386,11
39+920	2752,20	2502,12
39+940	2489,49	2193,80
39+960	2619,91	2445,40
39+980	2486,50	2386,11
40+000	2945,72	2573,43
40+020	2852,57	2544,16
40+040	3706,58	3292,13
40+060	4640,06	4478,31
40+080	2430,85	2207,26
40+100	2752,20	2502,12
40+120	2370,56	2093,37
40+140	2315,33	2079,36
40+160	2315,33	2079,36
40+180	2341,21	2056,25

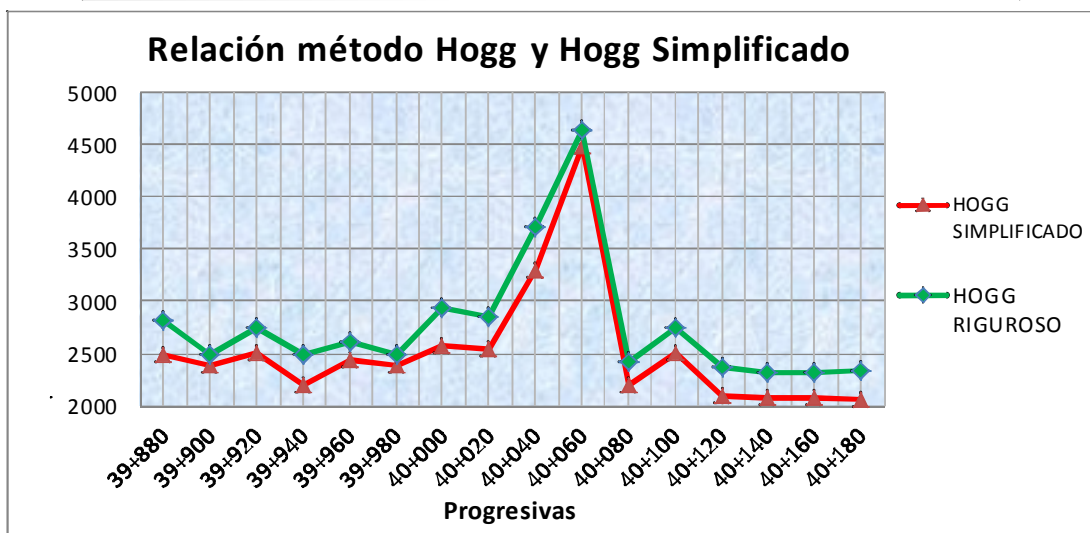
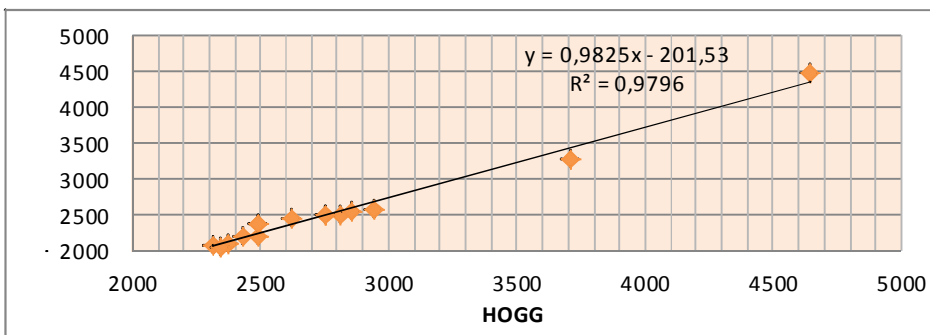


TABLA N°4.94

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - URURO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
44+640	2823,63	2613,38
44+660	2502,27	2287,50
44+680	2574,28	2308,10
44+700	2430,85	2207,26
44+720	2165,58	1856,03
44+740	3452,23	3146,21
44+760	2294,15	1988,81
44+780	2347,51	2037,91
44+800	2692,13	2375,50
44+820	1859,65	1644,25
44+840	2470,31	2124,48
44+860	1850,58	1618,94
44+880	1895,99	1679,53
44+900	2430,13	2115,96
44+920	2810,42	2496,01
44+940	2810,42	2496,01

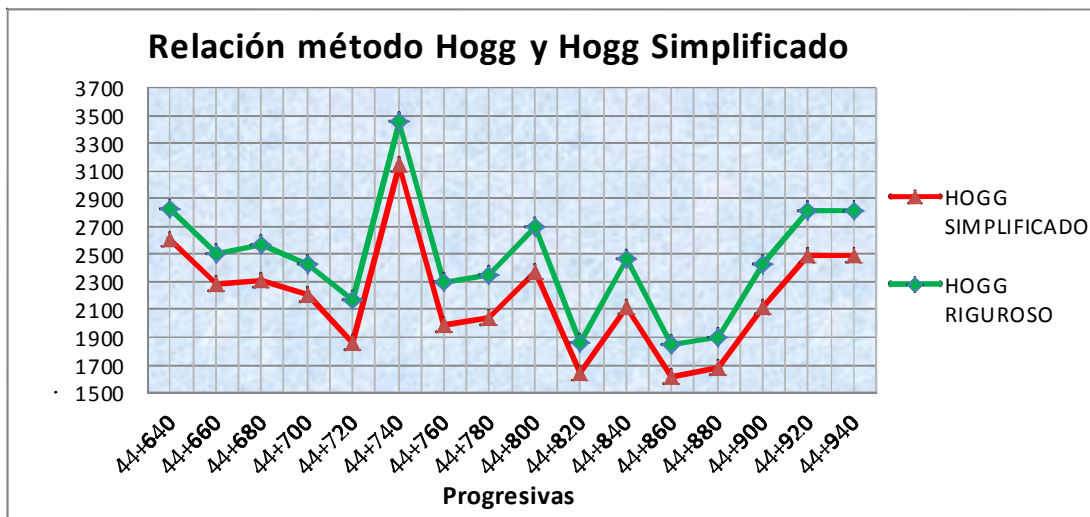
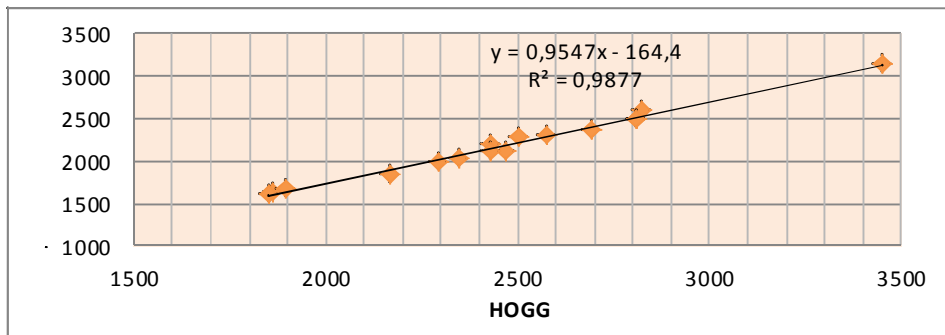


TABLA 4.95
Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO
Tramo: LA PAZ - ORURO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
44+640	2964,38	2592,16
44+660	2945,72	2573,43
44+680	3997,68	4170,81
44+700	2502,27	2287,50
44+720	3452,23	3146,21
44+740	2823,63	2613,38
44+760	2534,08	2328,38
44+780	2521,41	2287,50
44+800	2299,51	2021,59
44+820	2752,20	2502,12
44+840	2393,72	2115,14
44+860	2396,01	2237,05
44+880	2186,38	1941,68
44+900	2930,59	2755,80
44+920	2519,27	2310,00
44+940	2000,09	1740,01

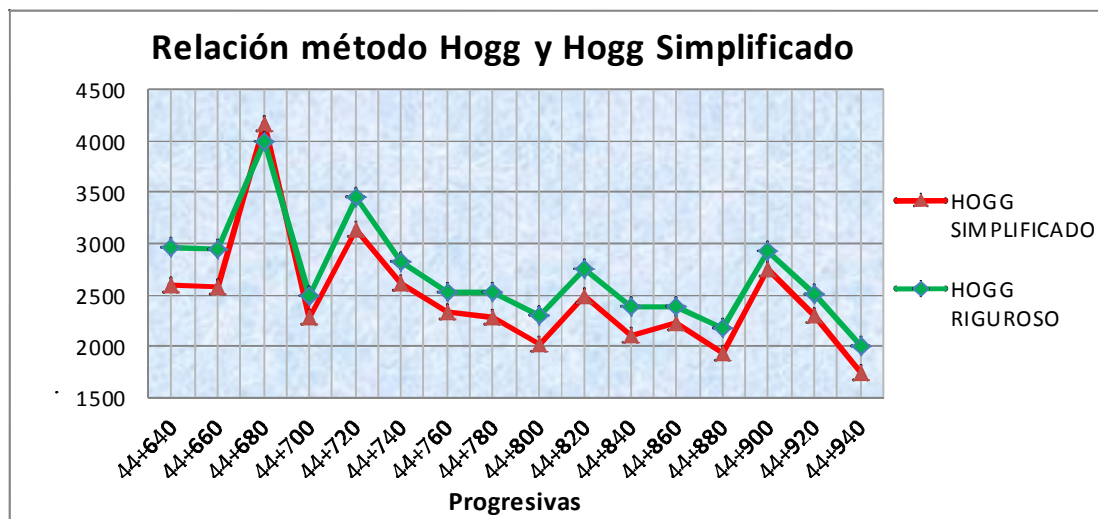
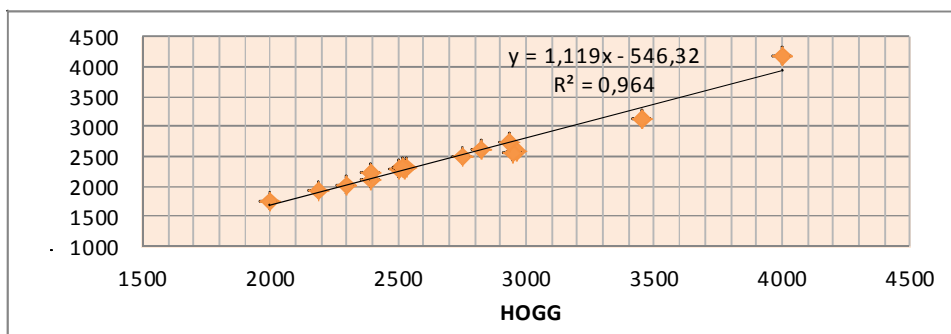


TABLA N°4.96

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - ORURO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
54+980	1494,14	1325,84
55+020	1327,60	1232,91
55+060	1356,59	1199,76
55+100	1319,85	1199,86
55+140	1269,50	1160,83
55+180	1305,72	1199,58
55+220	1406,02	1287,09
55+260	1432,47	1278,81
55+300	1157,39	1031,50
55+340	1632,56	1432,28
55+380	1839,36	1595,31
55+420	1602,36	1468,40
55+460	1031,88	913,43
55+500	1897,08	1696,57
55+540	1154,97	1018,66
55+580	1154,42	1021,96

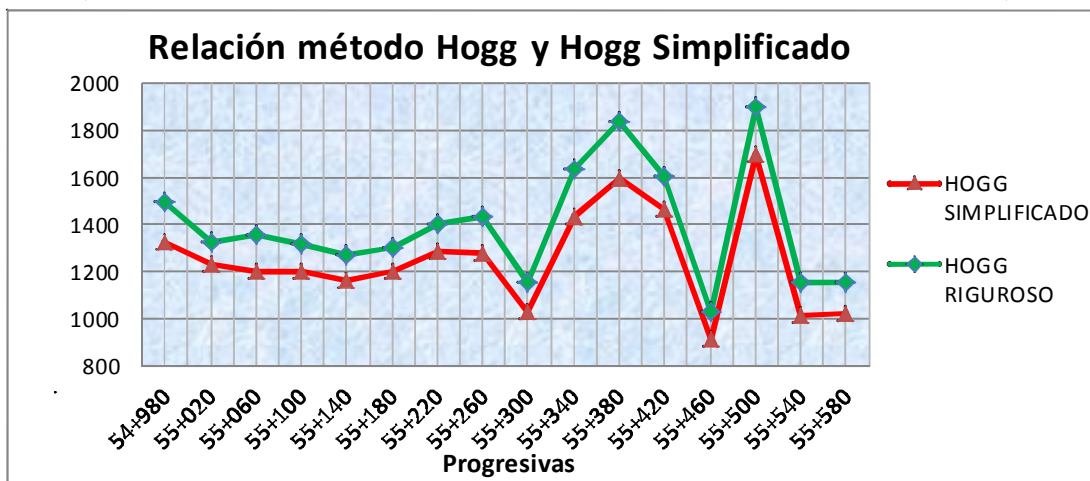
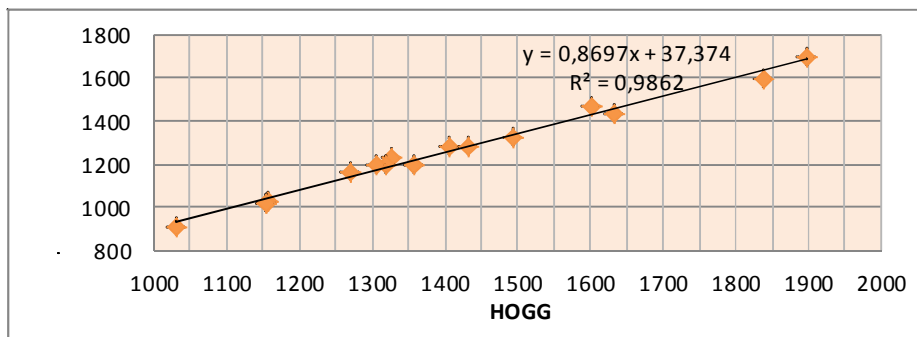
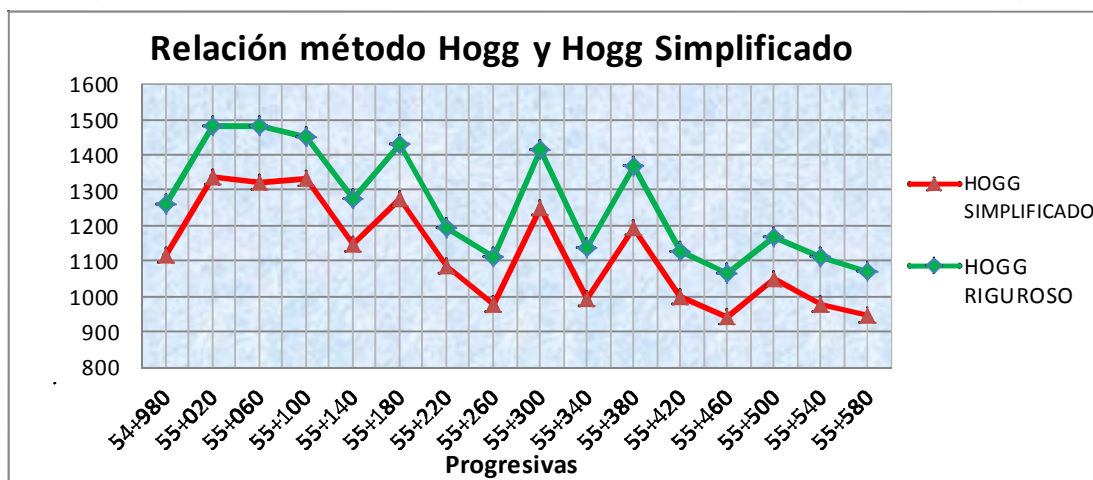
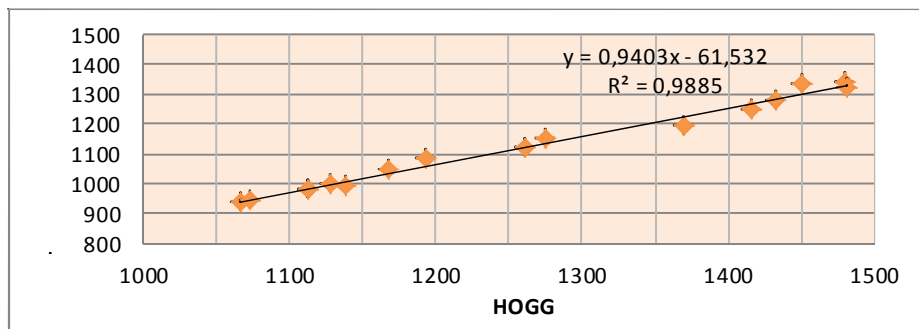


TABLA N° 4.97

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - URURO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
54+980	1261,28	1119,49
55+020	1479,48	1339,31
55+060	1480,84	1323,56
55+100	1450,73	1335,32
55+140	1275,66	1150,02
55+180	1432,47	1278,81
55+220	1192,58	1084,42
55+260	1112,64	980,63
55+300	1415,40	1249,61
55+340	1137,74	995,98
55+380	1369,47	1196,65
55+420	1127,83	998,07
55+460	1067,06	940,40
55+500	1167,96	1051,58
55+540	1112,64	980,63
55+580	1072,94	944,90

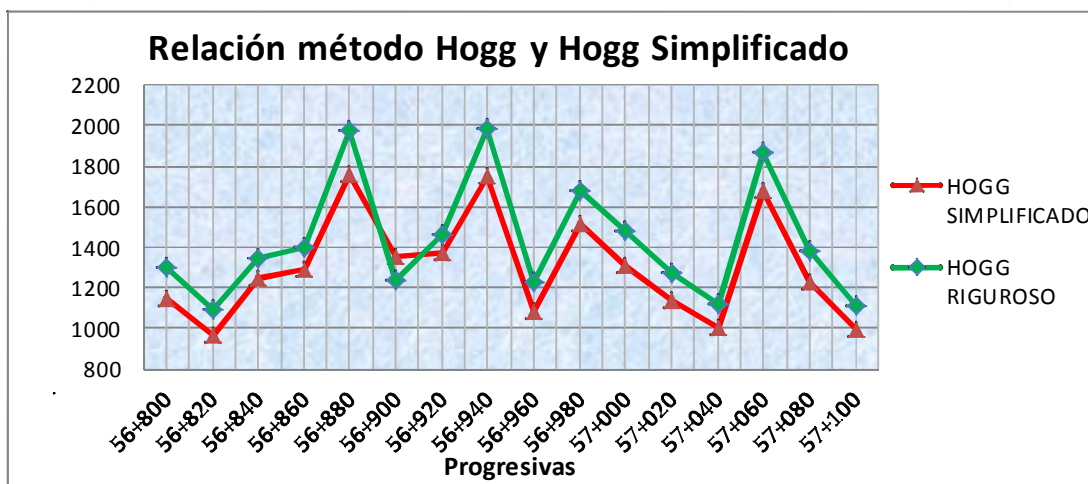
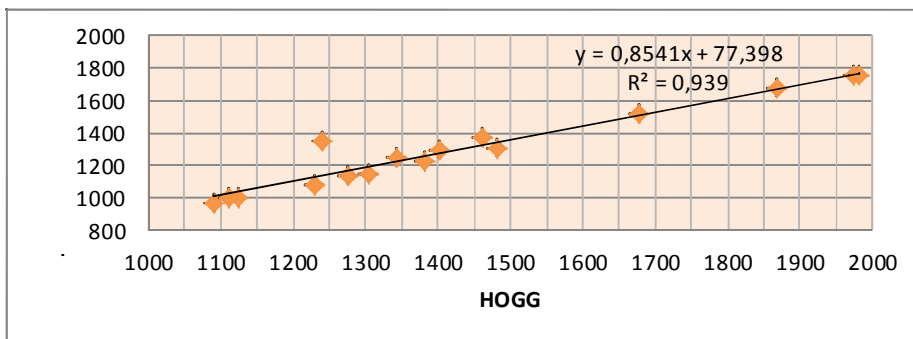


TABLAN° 4.98

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - ORURO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
56+800	1304,68	1146,74
56+820	1089,61	970,04
56+840	1343,82	1244,07
56+860	1403,13	1289,49
56+880	1973,04	1756,73
56+900	1239,23	1354,83
56+920	1460,61	1368,73
56+940	1980,76	1753,46
56+960	1230,13	1084,74
56+980	1676,16	1519,06
57+000	1482,86	1306,10
57+020	1275,27	1138,78
57+040	1124,69	1000,34
57+060	1869,04	1674,80
57+080	1380,70	1229,46
57+100	1110,62	997,92



TABLAN° 4.99

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - ORURO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
56+800	1084,18	963,67
56+820	1001,08	902,57
56+840	1074,61	964,55
56+860	1275,66	1150,02
56+880	1356,59	1199,76
56+900	1244,56	1223,81
56+920	1399,25	1293,30
56+940	1400,48	1146,74
56+960	1422,51	1324,24
56+980	1703,15	1498,04
57+000	1623,53	1423,97
57+020	1495,22	1337,78
57+040	1366,96	1194,53
57+060	1306,67	1224,82
57+080	1369,84	1222,18
57+100	1356,59	1199,76

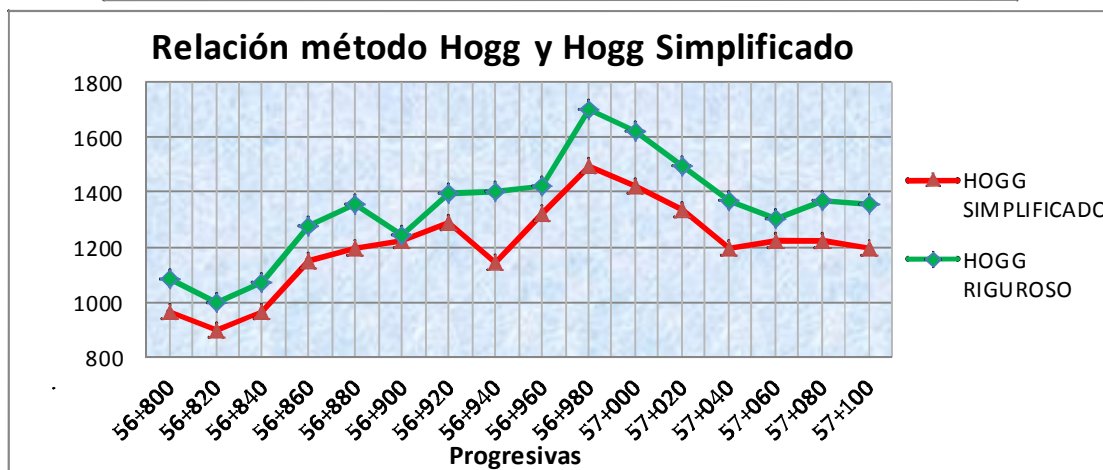
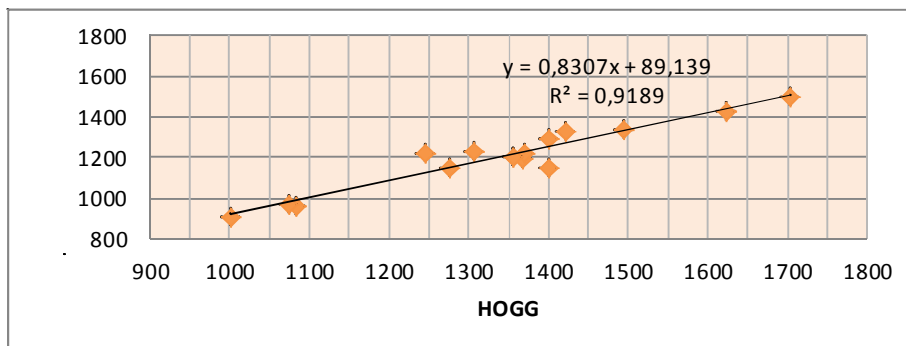


TABLA N° 4.100

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - ORURO (Derecho)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
58+820	1430,40	1355,70
58+860	1099,06	1093,46
58+900	1510,43	1400,84
58+940	1441,19	1463,80
58+980	1112,13	1046,25
59+020	1427,98	1383,61
59+060	1727,74	1584,00
59+100	1362,19	1275,15
59+140	1486,54	1451,76
59+180	1495,96	1408,67
59+220	1443,41	1433,09
59+260	1222,69	1201,98
59+300	1271,05	1227,33
59+320	1363,80	1221,22

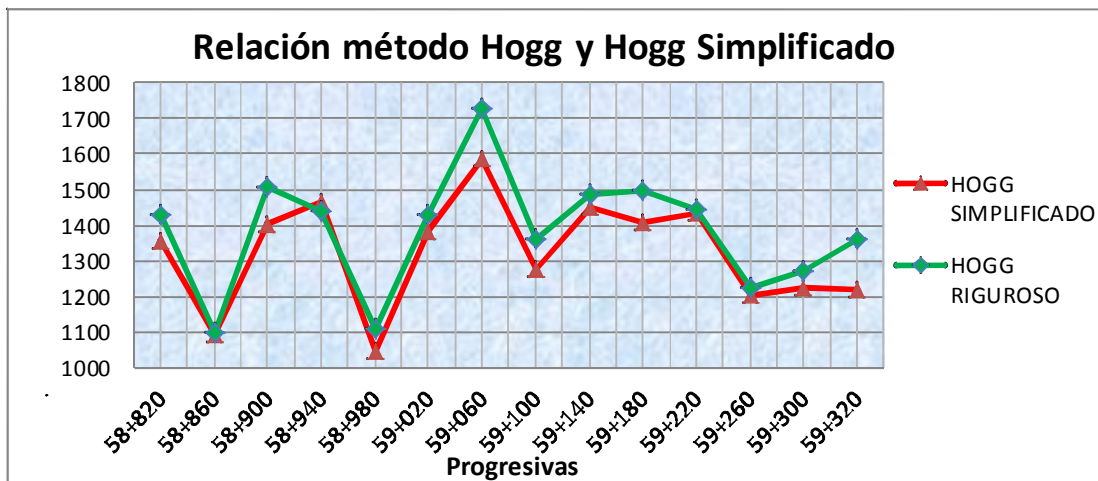
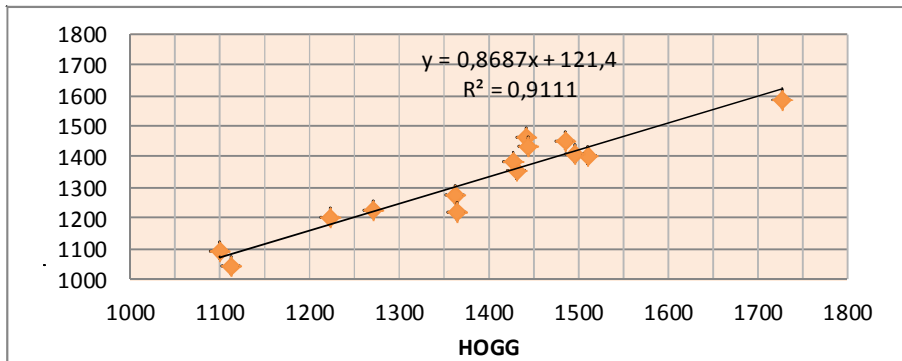
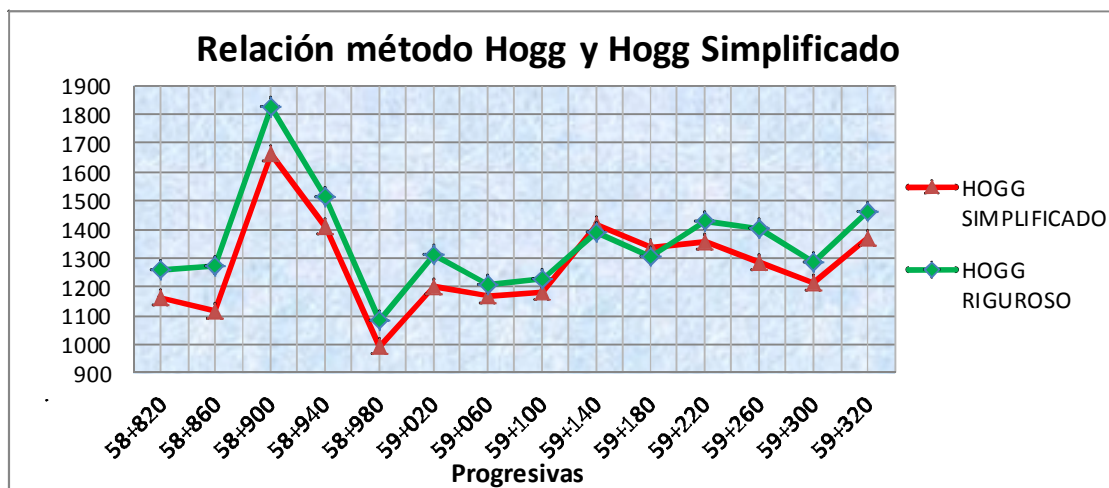
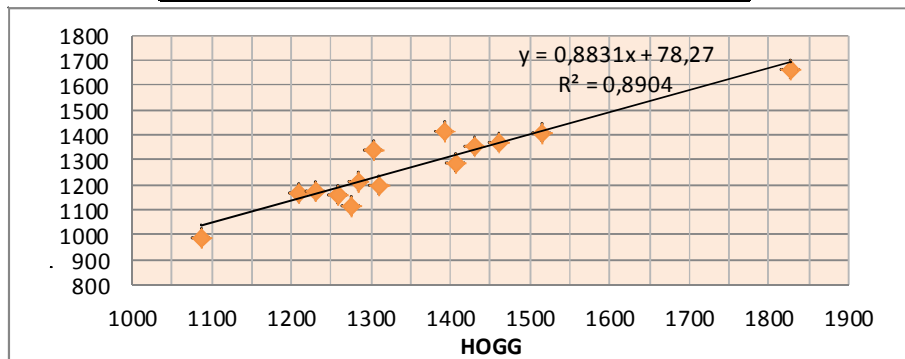


TABLA N° 4.101

Validación de resultados para el método de HOGG SIMPLIFICADO

Tramo: LA PAZ - ORURO (Izquierdo)

Progresiva (km)	Eo Método de Hogg	Eo Método de Hogg Simplificado
58+820	1259,56	1160,71
58+860	1274,72	1115,32
58+900	1828,55	1661,14
58+940	1514,44	1408,23
58+980	1086,42	991,19
59+020	1309,85	1200,30
59+060	1209,09	1167,65
59+100	1229,48	1179,11
59+140	1391,50	1414,21
59+180	1302,63	1339,26
59+220	1430,40	1355,70
59+260	1406,02	1287,09
59+300	1283,88	1215,34
59+320	1460,61	1368,73



1. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales presentadas a continuación fueron realizadas tras haber finalizado satisfactoriamente este trabajo, el cual está basado en la determinación del módulo resiliente mediante MÉTODOS MECÁNICO EMPÍRICOS “HOGG SIMPLIFICADO” y como así también por el método “HOGG RIGUROSO”.

- Se concluye que la práctica de deflectometría es sencilla y rápida, de esta práctica se observó que las deflexiones máximas están entre 0,14 a 0,58 mm. Para la realización de la práctica se deben considerar algunos factores como ser la humedad y el viento por lo tanto el resultado final de la obtención de los módulos de elasticidad será la consecuencia de una buena medición de deflexiones y la adecuada calibración del equipo.
- El procedimiento propuesto constituye en sí en una simplificación del método basado en el modelo de Hogg, en donde los parámetros para el cálculo del módulo de elasticidad (ecuaciones 3.4, 3.6 y 3.7), se han reemplazado por una ecuación empírica sencilla que puede resolverse con una calculadora de bolsillo, esta ecuación esta establecida del producto de la deflexión máxima (D0) y el factor de longitud de curva (R50).

$$E_o = 1091314.96 (D0 * R50)^{-0.992}$$

- Al estudiar y comparar el módulo de elasticidad entre ambos métodos Hogg Simplificado y Hogg Riguroso se observa que los resultados son casi similares por lo cual se deduce que los valores se encuentran ubicados cercanamente a la línea de igualdad por lo tanto se concluye que el método de HOGG SIMPLIFICADO es viable para el cálculo del módulo resiliente.

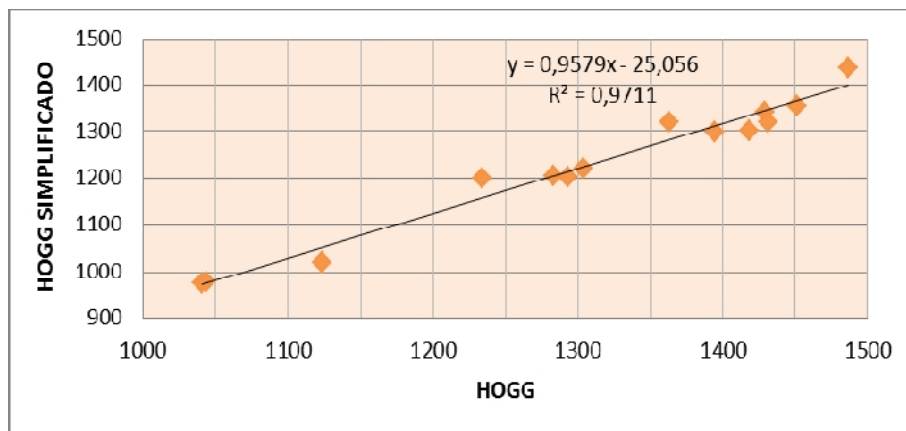


Figura 5.1. Validación de resultados

- Queda demostrado que el método HOGG SIMPLIFICADO es un método eficiente, preciso y de simple determinación del módulo de elasticidad o módulo resiliente del suelo de sub rasante de una estructura vial. Este método simplificado facilitará en la práctica la rápida verificación, para condiciones reales de campo. Cabe mencionar que para el cálculo del módulo resiliente en la doble vía La Paz-Oruro se está utilizando el método de HOGG SIMPLIFICADO.
- Se cumplieron las especificaciones técnicas de deflectometría, el Coeficiente de Variación de los valores de Deflexión Máxima no deberá ser mayor de **30%** (varía entre 10,52 a 15.37 %), el módulo de elasticidad promedio deberá ser mayor o igual a **900 Kg/cm²** (esta entre 1188,51 a 2658,08 Kg/cm²). Se ha observado que el módulo resiliente no es una propiedad constante sino que depende de muchos factores: compactación, presión de inflado, carga por eje, velocidad, nivel de tránsito diario como también de los materiales que constituyen las capas del pavimento, ya que de ellas depende la obtención del módulo de resiliencia.

TABLA 5.1
MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - URURO

Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total
34+180	975,78	39+880	2520,09	44+640	2602,77
34+220	977,20	39+900	3366,79	44+660	2430,47
34+260	1021,39	39+920	2622,45	44+680	3239,45
34+300	1437,43	39+940	2251,90	44+700	2247,38
34+340	1300,85	39+960	2350,94	44+720	2501,12
34+380	1203,06	39+980	2564,44	44+740	2879,79
34+420	1340,54	40+000	2436,44	44+760	2158,59
34+460	1320,76	40+020	2718,48	44+780	2162,70
34+500	1205,10	40+040	3144,37	44+800	2198,55
34+540	1297,28	40+060	3692,16	44+820	2073,18
34+580	1221,60	40+080	2410,93	44+840	2119,81
34+620	1355,11	40+100	2515,37	44+860	1928,00
34+660	1319,23	40+120	2597,07	44+880	1810,61
34+700	1199,53	40+140	2537,98	44+900	2435,88
		40+160	2324,30	44+920	2403,01
		40+180	2475,64	44+940	2118,01

Media Eo=	1226,78	Media Eo=	2658,08	Media Eo=	2331,83
Desv. Est.=	144,35	Desv. Est.=	399,46	Desv. Est.=	358,47
Coef. De Var.=	11,77	Coef. De Var.=	15,03	Coef. De Var.=	15,37

TABLA 5.2
MÓDULO RESILIENTE POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - URURO

Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total	Progresiva (km)	Eo Kg/cm2 total
54+980	1222,66	56+800	1055,20	58+820	1258,20
55+020	1286,11	56+820	936,31	58+860	1104,39
55+060	1261,66	56+840	1104,31	58+900	1530,99
55+100	1267,59	56+860	1219,76	58+940	1436,01
55+140	1155,42	56+880	1478,24	58+980	1018,72
55+180	1239,20	56+900	1289,32	59+020	1291,95
55+220	1185,76	56+920	1331,01	59+060	1375,83
55+260	1129,72	56+940	1450,10	59+100	1227,13
55+300	1140,56	56+960	1204,49	59+140	1432,98
55+340	1214,13	56+980	1508,55	59+180	1373,96
55+380	1395,98	57+000	1365,04	59+220	1394,40
55+420	1233,23	57+020	1238,28	59+260	1244,53
55+460	926,91	57+040	1097,43	59+300	1221,34
55+500	1374,07	57+060	1449,81	59+320	1294,97
55+540	999,65	57+080	1225,82		
55+580	983,43	57+100	1098,84		

Media Eo=	1188,51	Media Eo=	1253,28	Media Eo=	1300,39
Desv. Est.=	131,15	Desv. Est.=	168,82	Desv. Est.=	136,85
Coef. De Var.=	11,04	Coef. De Var.=	13,47	Coef. De Var.=	10,52

- Para la aplicación del método en la práctica, bastará con medir con la viga Benkelman y empleando la carga de un eje estándar, la deflexión máxima (D0) y una deflexión adicional (DR), a una distancia radial (R), con los que se podrá calcular en forma rápida el módulo de elasticidad o el CBR del suelo de sub rasante los CBR se encuentra entre 9,27 a 36.92 %, y se calcularon con la siguiente ecuación

$$E_0 = k \text{ CBR}$$

Dónde:

E_0 = Módulo elástico o resiliente (kg/cm²)

k = Coeficiente de correlación (k=100 para suelos granulares gruesos;

k=110 para suelos granulares finos; k=130 para suelos finos plásticos).

CBR = Valor de Soporte de California (%).

Las planillas de cálculo se adjuntan en anexos (página 249).

TABLA 5.3
CBR POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - ORURO

Progresiva (km)	CBR total	Progresiva (km)	CBR total	Progresiva (km)	CBR total
34+180	9,76	39+880	25,20	44+640	26,03
34+220	9,77	39+900	33,67	44+660	24,30
34+260	10,21	39+920	26,22	44+680	32,39
34+300	14,37	39+940	22,52	44+700	22,47
34+340	13,01	39+960	23,51	44+720	25,01
34+380	12,03	39+980	25,64	44+740	28,80
34+420	13,41	40+000	24,36	44+760	21,59
34+460	13,21	40+020	27,18	44+780	21,63
34+500	12,05	40+040	31,44	44+800	21,99
34+540	12,97	40+060	36,92	44+820	20,73
34+580	12,22	40+080	24,11	44+840	21,20
34+620	13,55	40+100	25,15	44+860	19,28
34+660	13,19	40+120	25,97	44+880	18,11
34+700	12,00	40+140	25,38	44+900	24,36
		40+160	23,24	44+920	24,03
		40+180	24,76	44+940	21,18

TABLA 5.4
CBR POR EL MÉTODO DE HOGG SIMPLIFICADO
TRAMO: LA PAZ - URURO

Progresiva (km)	CBR total	Progresiva (km)	CBR total	Progresiva (km)	CBR total
54+980	12,23	56+800	10,55	58+820	12,58
55+020	12,86	56+820	9,36	58+860	11,04
55+060	12,62	56+840	11,04	58+900	15,31
55+100	12,68	56+860	12,20	58+940	14,36
55+140	11,55	56+880	14,78	58+980	10,19
55+180	12,39	56+900	12,89	59+020	12,92
55+220	11,86	56+920	13,31	59+060	13,76
55+260	11,30	56+940	14,50	59+100	12,27
55+300	11,41	56+960	12,04	59+140	14,33
55+340	12,14	56+980	15,09	59+180	13,74
55+380	13,96	57+000	13,65	59+220	13,94
55+420	12,33	57+020	12,38	59+260	12,45
55+460	9,27	57+040	10,97	59+300	12,21
55+500	13,74	57+060	14,50	59+320	12,95
55+540	10,00	57+080	12,26		
55+580	9,83	57+100	10,99		

2. RECOMENDACIONES

De los métodos analizados anteriormente tanto Hogg Simplificado como Hogg Riguroso se observó que existe pequeña variación en los resultados. También se apreció variación de lecturas en las deformaciones a la derecha e izquierda en un mismo punto, esta variación puede deberse a diferentes factores, para los cuales deben tomarse precauciones en el manejo y uso de la viga Benkelman. En cuanto a las recomendaciones son generalmente de campo en la realización del ensayo de la viga ya que este aparato es muy sensible al movimiento

- El operador de la viga debe tener mucha experiencia en el uso y manejo de esta, como así también tiene que estar atento a las lecturas de deflectometría ya que a veces el camión avanza rápido y no da tiempo a leer la deflexión en el dial de la viga a distancias cortas principalmente cuando hay 10 cm de separación de lectura a lectura por lo cual el conductor del camión debe ser una persona experimentada.
- La viga Benkelman debe ser usada en terrenos planos y lisos donde exista un buen apoyo para así lograr lecturas satisfactorias, no se logran lecturas satisfactorias cuando la viga está situada en cambios de dirección como ser curvas verticales, ni cuando existen morros o baches en la superficie de la carretera. Otra consideración que se debe tomar en cuenta es de tener la viga Benkelman perpendicular al eje trasero de camión y paralela a las ruedas en forma recta y no así inclinado hacia la derecha o izquierda.
- Se deberá repetir el ensayo de deflectometría dado el caso que otro vehículo que no sea el empleado en el ensayo transite por el lugar en el que se está realizando la práctica por lo cual se debe esperar que el vehículo se aleje lo suficiente para así obtener lecturas más reales.
- Otra recomendación importante que se debe tomar en cuenta para obtener resultados más exactos y coherentes es que el ensayo de deflectometría debe realizarse un día

después de hacer los trabajos de compactación de la sub rasante, se sabe que luego de compactar la sub rasante se hacen ensayos de laboratorio para verificar el CBR, este CBR se lo puede comparar con el obtenido por el método de Hogg Simplificado, para luego hacer una comparación y obtener resultados más precisos y satisfactorios.

- Por último se puede mencionar que las prácticas se deben suspender en caso de que se produzca lluvias intensas tan poco es aconsejable realizar los ensayos de deflectometría después de esta porque la humedad presente en el suelo produce grandes deformaciones. También se pueden suspender las prácticas en caso de vientos por esta razón las prácticas de deflectometría se las realizaban en las mañanas. Cabe mencionar que en otros países se miden módulos resilientes en las estaciones del año o durante los 12 meses en el mismo punto para luego sacar un promedio y obtener un módulo de elasticidad más representativo