



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**“Factor Estacional del Módulo Resiliente para el Diseño de  
Pavimentos Flexibles según AASHTO1993 en el Perú – 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**AUTORA:**

Malca Barrantes, Aurora Giannyluz (ORCID: 0000-0003-4157-4097)

**ASESOR:**

Ms. Ing. Aybar Arriola, Gustavo ( ORCID: 0000-0001-8625-3989)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Diseño de Infraestructura Vial

**CALLAO — PERÚ  
2021**

***Dedicatoria:***

*A mis hijos Caleb y Othniel, que son el regalo más bonito que Dios me pudo haber dado.*

**Agradecimiento:**

*En primer lugar, a Dios por sus cuidados y su amor infinito.*

*A mi asesor el Ms. Ing. Gustavo Aybar Arriola, por sus enseñanzas para la elaboración de mi trabajo de investigación.*

*Al Ing. M.Sc. Jorge Olarte Pinares, por haberme guiado en todo el proceso de la investigación y haber compartido sus conocimientos tan valiosos.*

*A mi familia y amistades que de alguna u otra forma me apoyaron todo el tiempo.*

*¡Gracias!*

## Índice de contenidos:

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN .....   | viii |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                      | 1    |
| II. MARCO TEORICO .....                                   | 3    |
| III. METODOLOGÍA.....                                     | 12   |
| 1. Tipo y diseño de investigación:.....                   | 12   |
| 2. Variables y operacionalización: .....                  | 12   |
| 3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:..... | 13   |
| 5. Procedimientos: .....                                  | 15   |
| 6. Métodos para el análisis de datos:.....                | 17   |
| 7. Aspectos éticos:.....                                  | 17   |
| IV. RESULTADOS .....                                      | 18   |
| V. DISCUSIÓN.....   | 27   |
| VI. CONCLUSIONES.....                                     | 29   |
| VII. RECOMENDACIONES .....                                | 30   |
| REFERENCIAS.....  | 31   |
| ANEXOS .....  | 36   |

## Índice de tablas:

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Módulo Resiliente estacional y daño relativo.....                               | 18 |
| Tabla 2: Espesores de estructura de pavimento. ....                                      | 19 |
| Tabla 3: Comparación de tres diseños.....  | 20 |
| Tabla 4: Ensayos realizados en el mes de Noviembre del 2018.....                         | 22 |
| Tabla 5: Ensayos realizados en el mes de Abril del 2019. ....                            | 23 |
| Tabla 6: Módulo Resiliente de subrasante promedio en periodos de avenidas y estiaje..... | 26 |

## Índice de gráficos:

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1: Porcentaje de humedad de sub rasante en temporadas de estiaje y avenidas..... | 24 |
| Gráfico 2: Módulo Resiliente en periodo de Avenidas y en estiaje.....                    | 26 |

## Índice de figuras:

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Estructura de Pavimento flexible.....                                      | 5  |
| Figura 2: Formas de obtener el Módulo Resiliente.....                                | 6  |
| Figura 3: Esquema de la celda triaxial para el ensayo de módulo resiliente.....      | 7  |
| Figura 4: Equipos para medir deflexiones.....  | 8  |
| Figura 5: Viga Benkelman.....  | 8  |
| Figura 6: Esquema representativo del Modelo de Hogg.....                             | 9  |
| Figura 7: Ecuaciones que se emplean para el cálculo mediante el Modelo de Hogg:..... | 9  |
| Figura 8: Ábaco para determinar el Daño Relativo.....                                | 10 |
| Figura 9: Departamento de Arequipa.....  | 13 |
| Figura 10: Plano de Ubicación del Área de Intervención.....                          | 14 |
| Figura 11: Relación de ensayos.....  | 15 |
| Figura 12: Esquema de Estaciones de Avenidas y Estiaje.....                          | 15 |
| Figura 13: Procedimiento para medir deflexiones con VB.....                          | 16 |
| Figura 14: Datos para el diseño.....   | 19 |
| Figura 15: Excavación de calicatas.....  | 21 |
| Figura 16: Obtención de muestras de las calicatas.....                               | 21 |
| Figura 17: Registro de las medidas de deflexiones con VB.....                        | 25 |

## RESUMEN

La presente investigación abordó la determinación del factor estacional del Módulo Resiliente (MR) para el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 1993, en el Perú, con énfasis en proyectos que presentan estaciones de estiaje y avenidas cíclicas anuales; por lo que, cumpliendo con el propósito del estudio se realizaron excavaciones a cielo abierto a una profundidad mínima de 1.50m ubicadas a cada 500m con la finalidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, asimismo se realizaron mediciones de deflexiones empleando Viga Benkelman para hallar la capacidad portante del suelo, ambos procedimientos fueron realizados en dos temporadas diferentes del año; luego se consideró el factor estacional del MR promedio de cada temporada, para finalmente encontrar el MODULO RESILIENTE EFECTIVO. Los resultados mostraron que la rigidez del suelo es afectada principalmente por los cambios de humedad a los que está expuesta durante el año, en la época crítica de estiaje obtuvimos un MR mayor al MR obtenido en época crítica de avenidas; por ende, se llegó a la conclusión que al considerar el factor estacional del MR evitaremos el sub dimensionamiento del pavimento.

**Palabras clave:** Módulo resiliente, factor estacional, deflexiones.



## **ABSTRACT**

This research addressed the determination of the seasonal factor of the Resilient Module (MR) for the design of pavements under the AASHTO 1993 methodology, in Peru, with emphasis on projects that present dry seasons and annual cyclical floods; Therefore, fulfilling the purpose of the study, open-pit excavations were carried out at a minimum depth of 1.50m located at every 500m in order to know the physical and mechanical properties of the soil, and deflection measurements were also carried out using Benkelman Beam to find the bearing capacity of the soil, both procedures were carried out in two different seasons of the year; then the seasonal factor of the average MR of each season was considered, to finally find the EFFECTIVE RESILIENT MODULE. The results showed that the rigidity of the soil is affected mainly by the changes in humidity to which it is exposed during the year. In the critical dry season we obtained a MR greater than the MR obtained in the critical flood season; Therefore, it was concluded that when considering the seasonal factor of the MR we will avoid the under-dimensioning of the pavement.

**Keywords:** Resilient modulus, seasonal factor, deflections.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante la concepción, estudio y diseño de pavimentos en el Perú, no se considera el factor estacional del módulo resiliente, razón por la cual, dependiendo de la estación en que se realizan los trabajos de campo, existe la posibilidad de sobrevalorar la capacidad portante de la subrasante y subdimensionar el dimensionamiento de capas del pavimento.

Por lo general, los diseños de pavimentos son realizados tomando en cuenta los CBR de suelos de subrasante, ensayo hecho en laboratorio, al no tener en cuenta las reales condiciones del suelo en la carretera (densidad-Humedad) hay una tendencia a sobrevalorar la resistencia del suelo.

En muchos países del mundo, optan por diferentes metodologías desarrolladas por varios organismos o entidades gubernamentales a fin de proveer a los especialistas, las herramientas útiles para diseñar pavimentos flexibles.

En América latina las metodologías más empleadas son la Metodología AASHTO, Método de la UNAM, Método IMT-PAVE y Método del Instituto del Asfalto de Estados Unidos.

En el Perú, mayormente se emplea la Metodología AASHTO. Actualmente se sigue diseñando pavimentos considerando el módulo resiliente (MR) hallado por correlaciones con el CBR (California Bearing Ratio), aun cuando la Guía AASHTO 1993 recomienda evitar su uso, además se omite un paso importante que es la variación estacional del lugar, sobre todo en pavimentos construidos en zonas donde están sujetas durante el año a dos estaciones marcadas, una llamada estiaje entre los meses de mayo - octubre, y otra de avenidas entre diciembre - marzo. El Módulo Resiliente del suelo es variable y vulnerable a muchos factores sobre todo a los cambios de contenido de humedad a lo largo del año, razón por la cual el MR es un parámetro muy importante que debería ser calculado cuidadosamente, para un adecuado diseño de pavimentos flexibles.

Motivo por el cual se planteó el siguiente problema general: ¿De qué manera se determinará el factor estacional del módulo resiliente del diseño de pavimentos en el Perú, para evitar el sub dimensionamiento del pavimento? Asimismo, el problema específico 1: ¿Cómo se determinará las propiedades físicas de suelos debido a

cambios de humedad en suelos, en diferentes estaciones del año? y problema específico 2: ¿De qué manera se obtendrá mediante ensayos In situ la capacidad de soporte de suelos, a través del Módulo Resiliente, en diferentes estaciones del año?.

Respecto a la justificación de este estudio se puede decir que es muy importante porque busca que la vía tenga una vida útil de diseño y que además se inviertan adecuadamente los recursos. En la Guía AASHTO 1993, encontramos el procedimiento para obtener el factor estacional del módulo resiliente el cual influye en forma directa en el diseño de pavimentos flexibles para evitar el sub dimensionamiento.

Por ello, se planteó como objetivo general: Determinar el factor estacional del Módulo Resiliente de subrasante para el diseño de pavimentos flexibles bajo la metodología AASHTO 1993, con énfasis en proyectos que presentan estaciones de estiaje y avenidas cíclicas anuales, evitando el sub dimensionamiento del pavimento. Objetivo específico 1: Determinar las propiedades físicas de los suelos en diferentes temporadas o estaciones del año; Objetivo específico 2: Obtener mediante ensayos in situ la capacidad de soporte de los suelos, realizando mediciones defletoométricas.

Se formuló la siguiente hipótesis general: A partir de la evaluación y seguimiento del comportamiento del suelo en diferentes estaciones del año, se podrá inferir el factor estacional para fines de estimar el Módulo Resiliente de subrasante para el diseño de pavimentos flexibles. Asimismo, la Hipótesis específica 1: A partir de perforaciones a cielo abierto, muestreos y ensayos de laboratorio, en diferentes estaciones del año se podrá estimar el cambio de humedad de los suelos en Perú; e Hipótesis específica 2: A partir de la medición y análisis de deflexiones, se podrá estimar la real capacidad de soporte de los suelos, evitando el uso de ecuaciones de correlación MR- CBR.

## II. MARCO TEORICO

### 1. Antecedentes nacionales del problema:

En el trabajo de investigación nacional “Determinación del Módulo Resiliente de Diseño de Pavimentos Mediante Criterios ASSHTO 1993 Y 2002”, Herrera (2014). El objetivo general del estudio fue determinar el MR estacional, para ello calculó los módulos para periodos diferentes (secos y húmedos), con la finalidad de obtener un óptimo diseño de pavimento.

En el estudio “Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi”, realizado por Valentin (2019), tuvo como principal objetivo, llevar a cabo el uso del ensayo triaxial de carga cíclica (Ensayo MR), para obtener las cualidades dinámicas del suelo y de esa manera obtener el módulo resiliente de subrasante.

En el trabajo de investigación, “Evaluación del Módulo Resiliente Fundamentado en la Deflectometría y la Geotecnia para Optimizar Diseños Y Costos en Pavimentos Reciclados de la Carretera Yanango – Puente Herrería”, Rodríguez (2020), cuyo objetivo fue realizar una exploración geotécnica y un trabajo deflectométrico, para analizar la capacidad de resiliencia del terreno, logrando obtener una estructura más eficiente.

En el estudio “Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana Sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna”, Valverde (2019), quien trabajó con una muestra de 30km y realizó ensayos de CBR, para diseñar el pavimento del tramo indicado

### 2. Antecedentes internacionales del problema

En las investigaciones internacionales tenemos el tema titulado “EFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL MODULO RESILIENTE DE LAS SUBRASANTES” de Ávila (2017), desarrollado en la ciudad de Costa Rica, el objetivo principal fue proponer un modelo para predecir la variación en el Módulo Resiliente (MR)

producto del estado de esfuerzos y del contenido de humedad presente en el suelo. Para esto fue necesaria la implementación del ensayo de MR en laboratorio, dado que no existe un protocolo de ensayo actualmente. Se logra optimizar la forma en la que se calcula actualmente el Mr para diseño de pavimentos, ya que obtuvo una disminución en el paquete estructural por consiguiente una ganancia económica.

En el estudio, “RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO RESILIENTE HALLADO POR RETROCALCULO Y EL ENCONTRADO EN ENSAYOS DE LABORATORIO”, realizado por Leal (2017) en la ciudad Bogotá, Colombia. Tuvo como propósito, encontrar un factor que permita ajustar los valores entre el módulo de resiliencia obtenido por análisis de retrocálculo y el de laboratorio, teniendo para ello la consideración del cambio de temperatura y humedad.

Por su parte en el trabajo de investigación “METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES RECIÉN CONSTRUIDOS Y SU CAPACIDAD ESTRUCTURAL, Vargas (2017), en Bogotá, Colombia, tuvo como finalidad, conocer el número estructural efectivo y la metodología para evaluar pavimentos.

En el trabajo “DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO EL MÉTODO AASHTO 93 PARA LA VÍA AEROPUERTO EL EDÉN - CLUB CAMPESTRE – ARMENIA EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO EN EL K 2+000 AL K 6+102”, de Sáenz (2019) , en Bogotá – Colombia, tuvo como objetivo diseñar un paquete estructural empleando la metodología AASHTO 93. Considerando ecuaciones de correlación para obtener el Módulo Resiliente.

### 3. BASES TEÓRICAS:

En este apartado se revisó los conceptos elementales sobre: Pavimentos Flexibles, subrasante, Módulo Resiliente (MT), Factor estacional del Módulo Resiliente y diseño de pavimentos flexibles.

El pavimento flexible es una estructura multicapa construida sobre un terreno de

fundación (subrasante), cuya función es resistir y distribuir los esfuerzos que se originan por el paso de vehículos, asimismo para brindarle seguridad y mayor comodidad para los que transitan por él, de acuerdo con el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos (2014). Está constituido por dos capas de soporte que son granulares llamadas: Sub-base y Base, y por la Capa de Rodadura, las cuales actúan de manera dependiente una de la otra cuando están sometidas a cargas generadas por el tránsito que producen esfuerzos, que son transmitidos a través del área de contacto que existe entre ellas, las cuales disminuyen conforme se van profundizando. De la resistencia de los materiales que conforman las capas se medirán las deformaciones que son generadas por los esfuerzos. El conjunto de capas que son parte de la estructura se apoya sobre un cimiento llamado también “Subrasante”; llegando a conformar el sistema conocido como Pavimento-subrasante, según Olarte (2015).

Figura 1: Estructura de Pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia.

Para conocer las cualidades del suelo, se realizan limitadamente excavaciones a cielo abierto y muestreos, en laboratorio se lleva a cabo una serie de ensayos, principalmente en de clasificación, volumétricos y de rigidez (MR), de acuerdo con Minaya y Ordoñez (2006).

El Módulo de Resiliencia (MR) es una medida de la capacidad que tienen los suelos para soportar cargas y está definida como la relación de aplicación de esfuerzos cíclicos sobre la deformación recuperable después que ha sido sometida a varios

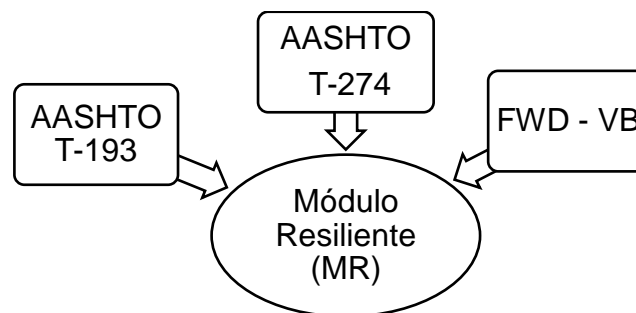
ciclos repetidos de carga, por lo que se puede decir que es una medida de la rigidez de materiales obtenida de forma directa, como plantea Olarte (2015).

Ecuación 1: Módulo Resiliente

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_r}$$

En el método AASHTO (1993), es fundamental determinar el Módulo Resiliente (MR), para caracterizar los materiales de subrasante y de las capas que conforman la estructura, afirma Corredor (2010).

Figura 2: Formas de obtener el Módulo Resiliente.

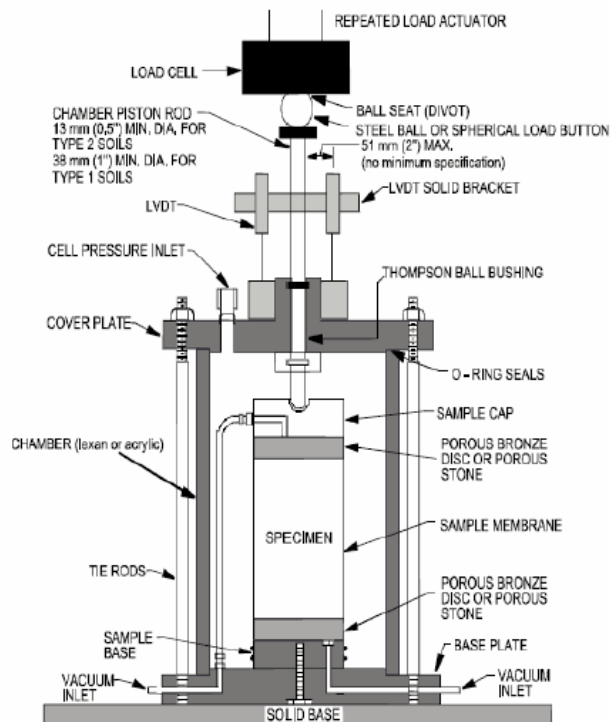


Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el valor de MR, se puede realizar de tres formas:

- a) La primera es desarrollando ensayos en laboratorio de módulo resiliente (AASHTO T-274) en muestras representativas, sometidas a diferentes condiciones de humedad y esfuerzos, plantea Corredor (2010).

Figura 3: Esquema de la celda triaxial para el ensayo de módulo resiliente.

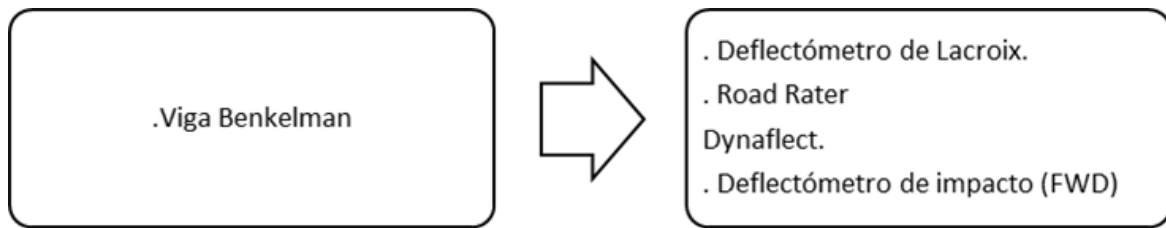


b) La segunda es considerando los valores de MR de los materiales, empleando ecuaciones de correlación con el CBR (Ensayo Razón Soporte California), refiere Corredor (2010).

c) El tercero es obtener valores de MR a partir de procedimientos deflectométricos en diferentes estaciones del año, según AASHTO-93. Es un ensayo del tipo no destructivo, el cual representa interacción que se da entre las capas de materiales y la subrasante, este ensayo puede realizarse en cualquier momento de la vida útil de la estructura de pavimento sin necesidad de destruirla, refiere Del Águila (2007). La deflexión en un pavimento es la deformación vertical que adquiere al momento del paso de una carga que es impuesta por el tráfico y además permite ser medida, según Corros y Urbáez (2009).



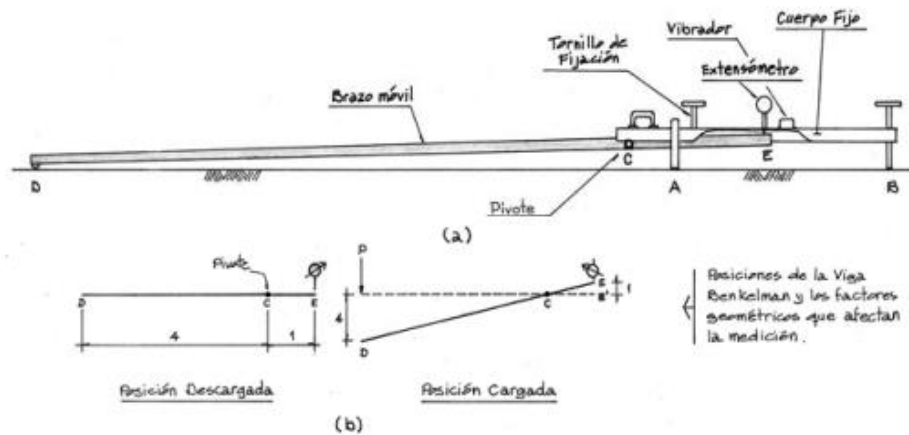
Figura 4: Equipos para medir deflexiones



Fuente: Olarte (2015).

En la Figura 5, se observa el instrumento llamado Viga Benkelman, usado para medir deflexiones verticales bajo la acción de una carga que es controlada, Bohorquez et al. (2014).

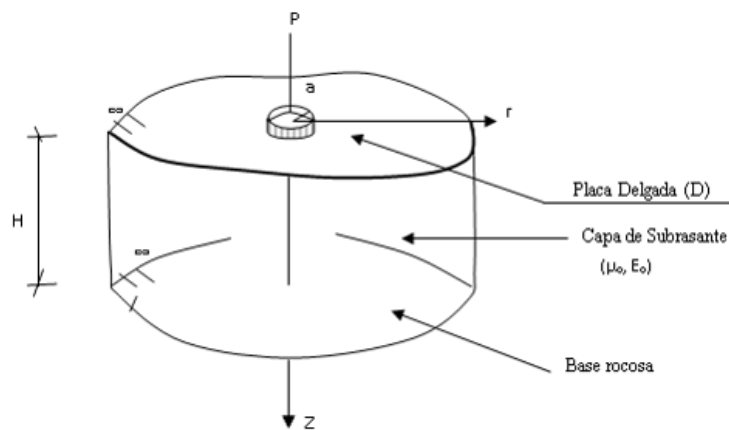
Figura 5: Viga Benkelman.



Fuente: Bohorquez et al. (2014).

Para analizar las deflexiones se emplea el Modelo matemático de Hogg, el cual permite el cálculo del módulo de elasticidad de la subrasante. Está basado en un sistema supuesto bicapa, como señala Hoffman y Del Águila (1985).

Figura 6: Esquema representativo del Modelo de Hogg.



Fuente: Hoffman y Del Águila (1985).

Figura 7: Ecuaciones que se emplean para el cálculo mediante el Modelo de Hogg:

| Parámetros de Evaluación   | Ecuación  |   |
|--|---|---|
| Módulo de elasticidad de la subrasante según Hogg                | $E_0 = I \frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)}{2(1 - \mu_0)} \left(\frac{S_0}{S}\right) \left(\frac{P}{\Delta_0 l}\right)$                                 | A |
| Distancia donde la deflexión es la mitad de la deflexión máxima. | $r_{50} = r \frac{(1/\alpha)^{1/\beta} - B}{\left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\Delta_0}{\Delta_r} - 1\right)\right]^{1/\beta} - B}$                | B |
| Longitud característica de la curva de deflexión.                | $l = y_0 \frac{r_{50}}{2} + \left[ (y_0 r_0)^2 - 4mar_{50} \right]^{1/2}$<br>if $\frac{a}{l} < 0.2$ , then $\rightarrow l = (y_0 - 0.2m)r_{50}$     | D |
| Relación entre la rigidez por carga puntual y carga distribuida. | $\left(\frac{S_0}{S}\right) = 1 - m \left(\frac{a}{l} - 0.2\right)$<br>if $\frac{a}{l} < 0.2$ , then $\rightarrow \left(\frac{S_0}{S}\right) = 1.0$ | E |

Fuente: Hoffman y Del Águila (1985)

El módulo elástico del suelo de fundación ( $E_{sg}$ ), se puede obtener empleando el modelo matemático de Hogg y con el valor hallado se puede calcular la capacidad de soporte (CBR) (Ver Ecuación F), plantea Balarezo (2017).

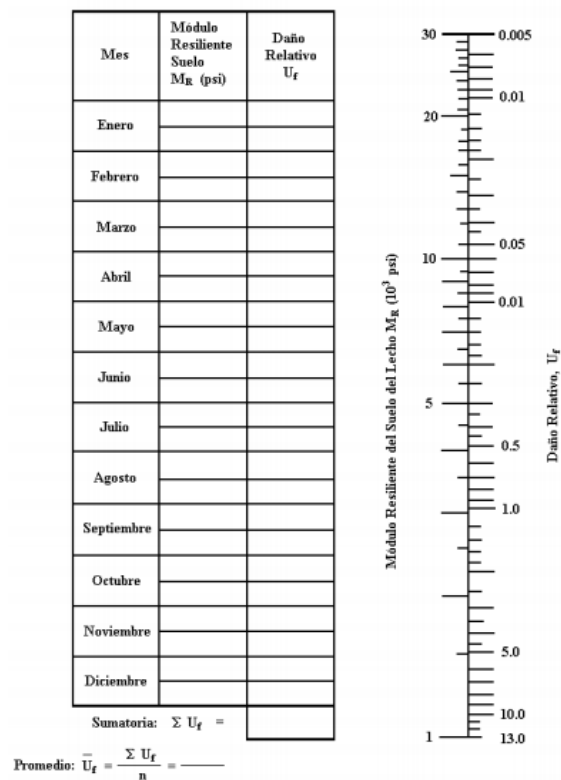
Ecuación F  $E_{sg} = K \cdot CBR$

Donde  $E_{sg} = \text{Kg/cm}^2$  y  $CBR = \%$ ,  $K$  varía dependiendo del tipo de suelo entre 100 a 160.

En el diseño de pavimentos se debe considerar el factor estacional del valor del MR de subrasante, teniendo un MR por lo general, mensual o bimensual a largo de todo el año, asimismo se calcula el daño relativo ( $U_f$ ) para cada MR y finalmente se determina el MR efectivo del suelo, recomienda la Guía AASHTO (1993). El  $U_f$  se puede calcular con la siguiente relación:

$$U_f = 1,18 \cdot 10^8 \cdot M_R^{-2,32}$$

Figura 8: Ábaco para determinar el Daño Relativo



Fuente: AASHTO 1993

El Diseño de Pavimentos, es el procedimiento mediante el cual se definen los espesores de capas que forman parte de la estructura de un pavimento y se define las características que deben tener los materiales que lo constituyen con la finalidad de que el pavimento conserve durante su vida para el que fue diseñado un índice de servicio adecuado, acuerdo con Méndez (2020).

El propósito de la metodología AASHTO 1993, para diseñar pavimentos, es calcular el Numero Estructural (SN), mediante la siguiente ecuación general:

,

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.0;$$

Ecuación G: Ecuación general AASHTO

### III. METODOLOGÍA

#### 1. Tipo y diseño de investigación:

Es una investigación aplicada cuando cumple con el propósito fundamental de resolver problemas prácticos, según Arias Y Covinos (2021).

Por ello esta investigación es aplicada, porque se obtuvieron datos para la determinación del factor estacional del módulo resiliente mediante ensayos no destructivos y ensayos destructivos, para conocer las características de los suelos.

El diseño es experimental del tipo cuasi experimental utiliza un grupo control al cual se puede aplicar instrumentos de medición en diferentes tiempos y manipular la variable independiente, según Arias y Covinos (2021)

El Diseño de esta Investigación es cuasi experimental, porque se implementó el uso del Factor Estacional del Módulo Resiliente para un adecuado diseño de pavimento, el cual ha sido evaluado en diferentes temporadas del año.

#### 2. Variables y operacionalización:

Las variables son:

Variable independiente y cuantitativa: Factor estacional del módulo resiliente.

Variable dependiente y cuantitativa: Diseño de pavimento flexible.

- Definición conceptual de la Variable independiente: El Factor Estacional del Módulo Resiliente, es un valor obtenido a partir del efecto combinado de los módulos estacionales producidos a lo largo de todo el año y es muy importante para diseñar pavimentos, según la Guía AASHTO1993.
- Definición conceptual de la Variable dependiente: El Diseño de pavimentos Flexible es el procedimiento mediante el cual se determinan los espesores de la superficie de rodadura, base y sub base de una carretera, así lo define el autor Menéndez (2016).

- Definición operacional de la Variable independiente: Para obtener esta variable, se determina el MR in situ a partir de las deflexiones obtenidas de la subrasante utilizando un deflectómetro tipo Viga Benkelman en las etapas más críticas tanto en los periodos de estiaje como en avenidas del año. Se determina el daño relativo (uf) con cada uno de los valores de MR obtenidos, usando la expresión:

$$U_f = 1,18 \cdot 10^8 \cdot M_R^{-2,32}$$

- Definición operacional de la Variable dependiente: Esta variable se va a obtener mediante la Metodología de AASHTO 1993, considerando el Factor estacional del MR, desarrollando la ecuación general de la AASHTO (Ecuación G).

### 3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:

Se entiende como población al grupo finito o infinito de elementos del cual se va a extraer muestras representativas, según Arias (2021)

La población tomada en cuenta es la longitud total correspondiente al tramo II del proyecto, que abarca desde el km 74+530 a km 98+500 correspondientes al tramo 02 de la carretera Vizcachani- Sibayo- Caylloma, de la Provincia de Caylloma del departamento de Arequipa.

Figura 9: Departamento de Arequipa.

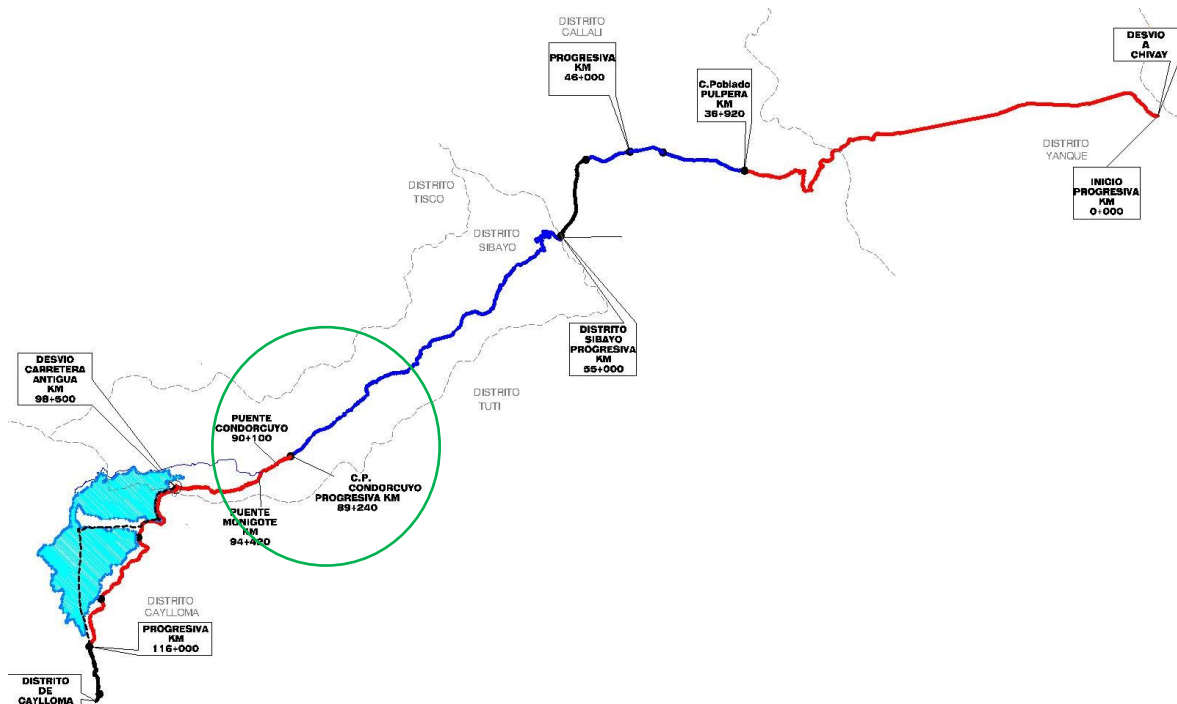


Fuente: Expediente Técnico del proyecto.

Se entiende por muestra al subgrupo de elementos que pertenecen a una población, según Hernández y Mendoza (2018).

La muestra objeto de estudio está comprendida entre el km 86+000 al km 91+000 del Tramo 02 de la carretera antes mencionada.

Figura 10: Plano de Ubicación del Área de Intervención.



Fuente: Expediente Técnico del proyecto.

El muestreo no probabilístico es utilizado cuando los componentes de la muestra han sido elegidos por causas que se relacionan con características del tema que se está investigando o ya sea por criterio por parte del investigador, como dice Arias (2020).

Este fue el método usado en esta investigación, ya que se seleccionó el tramo de estudio, dado a que es una sección homogénea la cual ayudará a desarrollar con los objetivos de la presente investigación.

#### 4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Las técnicas son el medio que permiten el desarrollo científico y metodológico de la investigación y los instrumentos vienen a ser herramientas que ayudan a cumplir

con el propósito de un estudio, tal como indica Arias (2020).

Las técnicas empleadas en el trabajo de investigación son los ensayos que han sido estandarizadas por la AASHTO, la que ha servido de referente para el Manual de Suelos, Geología, geotecnia y pavimentos de MTC.

Los instrumentos empleados son las fichas empleadas para los ensayos de granulometría, de clasificación, contenido de humedad y ensayo de viga Benkelman (VB), los cuales están normados como se puede apreciar en el cuadro de la figura 11; y el instrumento empleado en el diseño de pavimento es una hoja de cálculo para resolver la Ecuación General de la AASHTO (Ver Anexo 3).

Figura 11: Relación de ensayos

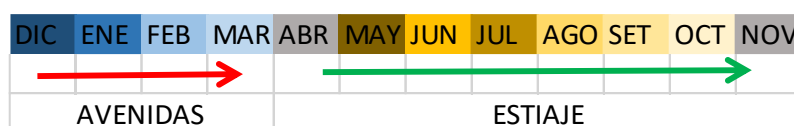
| Ensayo                                | Norma MTC       | Norma ASTM/AASHTO |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Análisis Granulométrico por tamizado. | MTC E 107       | ASTM D 422        |
| Contenido de humedad.                 | MTC E 108       | ASTM D 2216       |
| Clasificación SUCS                    |                 | ASTM D 2487       |
| Clasificación AASHTO                  |                 | AASHTO M 145      |
| Viga Benkelman                        | MTC E 1002-2000 | ASTM D 4695.      |

Fuente: MTC / AASHTO

## 5. Procedimientos:

- 1º. Se realizaron trabajos de visitas de campo para observar el terreno, excavaciones de calicatas y recolección de muestras, para conocer las propiedades de los suelos. Este procedimiento se realizó en periodos críticos tanto de estiaje como de avenidas, siendo el periodo crítico de avenidas en abril y el de estiaje en noviembre.

Figura 12: Esquema de Estaciones de Avenidas y Estiaje.

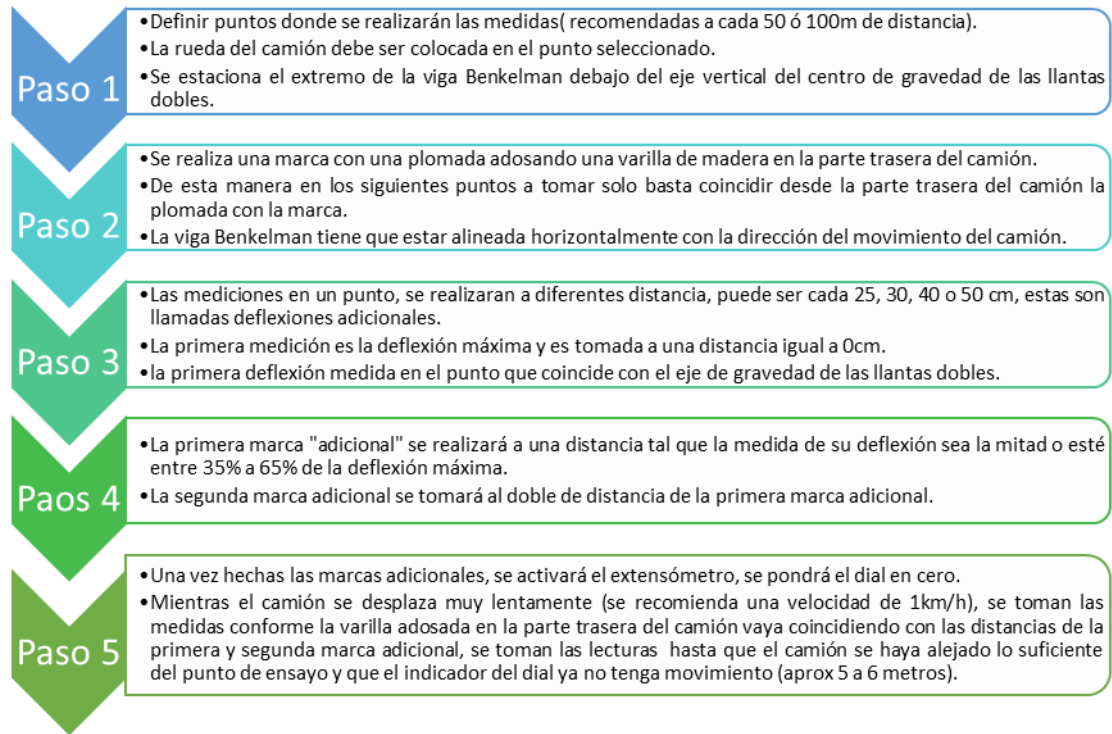


Fuente: SENAMHI.



2º. Se realizaron ensayos in situ para tomar las medidas de deflexiones en la subrasante empleando la VB, siguiendo el procedimiento según el esquema de la figura 13.

Figura 13: Procedimiento para medir deflexiones con VB.



Fuente: Balarezo (2017).

3º. Se calculó el MR de subrasante, mediante el análisis de deflexiones con el modelo de Hogg, este procedimiento se realizó en periodos críticos tanto de estiaje como de avenidas.

4º. Con cada valor Módulo Resiliente estacional, se determinó el valor del daño relativo  $u_f$ , de acuerdo al procedimiento de la Guía AASHTO 1993 usando la siguiente expresión:

$$U_f = 1,18 \cdot 10^8 \cdot M_R^{-2,32}$$

Para realizar el cálculo ordenado ingresamos los valores de MR en el Ábaco ( Ver Figura 8) , para obtener los valores  $u_f$  de cada MR promedio de cada temporada , luego se sumaron los valores  $u_f$  y se dividió entre el número de periodos de tiempo en los que realizaron los trabajos.

5°. Se diseñó la estructura de pavimento considerando el factor estacional, siguiendo la metodología AASHTO 1993, para ello se empleó una hoja de cálculo creada en Excel (Ver Anexo 3), en la cual se ingresan los datos correspondientes a caracterización de materiales, de tráfico, propiedades de subrasante y datos de estructuración de refuerzo.

#### 6. Métodos para el análisis de datos:

Para el análisis de la información se empleó el software **Excel 2019**, este programa se utilizó para representar las tablas de los ensayos granulométricos y ensayos in situ; para elaborar gráficos que muestren la relación de humedad en diferentes periodos del año. También se utilizaron hojas de cálculo para obtener los espesores de cada capa que conforma la estructura del pavimento.

#### 7. Aspectos éticos:

La investigación fue realizada de manera auténtica, resaltando la privacidad, anonimato y confidencialidad de la presente información.

Los valores utilizados en el presente estudio son, Responsabilidad, Respeto, Honestidad, Compromiso y Discreción.

#### IV. RESULTADOS

##### 1. Análisis de resultados:

En respuesta al objetivo general, Relacionados con el Cálculo del Factor Estacional del Módulo Resiliente para el Diseño de Pavimentos Flexibles.

El cálculo se realizó a partir de los módulos resilientes de subrasante obtenidos por retrocálculo el cual se llevó a cabo en dos temporadas del año, una de ellas fue en el periodo crítico de estiaje que vendría a ser el mes de noviembre y la otra en el periodo crítico de avenidas que vendría a ser el mes de abril. Luego aplicamos el criterio del Daño relativo ( $\mu_f$ ). de la Guía AASHTO 1993.

El factor Estacional viene siendo el  $u_f$  promedio el cual influye en el Módulo Resiliente del suelo de fundación, dando como resultado el MR efectivo 10,172 psi.

Tabla 1: Módulo Resiliente estacional y daño relativo.

| Mes                    | Resiliente del suelo de fundación | Daño Relativo $\mu_f$ |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Enero                  |                                   |                       |
| Febrero                |                                   |                       |
| Marzo                  |                                   |                       |
| Abril                  | 8,710.17                          | 0.09                  |
| Mayo                   |                                   |                       |
| Junio                  |                                   |                       |
| Julio                  |                                   |                       |
| Agosto                 |                                   |                       |
| Setiembre              |                                   |                       |
| Octubre                |                                   |                       |
| Noviembre              | 12,993.45                         | 0.03                  |
| Diciembre              |                                   |                       |
| Summation $\sum \mu_f$ |                                   | 0.12                  |

|                |               |
|----------------|---------------|
| $n$            | 2             |
| $\mu_f$        | <b>0.06</b>   |
| <b>Mr(psi)</b> | <b>10,172</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Para resolver la Ecuación General de la AASHTO, se obtuvieron datos de tráfico del expediente técnico del proyecto.


Figura 14: Datos para el diseño.

| <b>Tramo II</b>                |         |
|--------------------------------|---------|
| Confiability $Z_r=$            | -0.871  |
| Desviación Estándar $S_o=$     | 0.45    |
| Serviciabilidad inicial $p_i=$ | 4.2     |
| Serviciabilidad final $p_t=$   | 2.0     |
| Periodo de Diseño= $$          | 10 años |
| $E_{sal}=$                     | 1350000 |

Fuente: Expediente Técnico del proyecto.

En la Tabla 2, se muestra los espesores de las capas que intervienen en el pavimento según la Guía AASHTO 1993 (Ver anexo 6), considerando el MR efectivo de subrasante (Ver Tabla 1), donde se recomienda conformar una CARPETA DE RODADURA de 11 cm, BASE de 15 cm y SUB BASE de 15 cm, considerando un MR de 10,172 psi y un SNreq de 2.92.


Tabla 2: Espesores de estructura de pavimento.

|   |                            |
|---|----------------------------|
|  | <b>DISEÑO DE PAVIMENTO</b> |
|   | SN requerido 2.92          |
|   | MR efectivo 10,172 psi     |
| CARPETA ASFALTICA   | 11 cm                      |
| BASE  | 15 cm                      |
| SUB BASE  | 15 cm                      |

Fuente: Elaboración propia.

Se comparó tres diseños, el primero es el propuesto en el expediente técnico del proyecto (Anexo 7); el segundo es la verificación del diseño siguiendo la Metodología AASHTO (Anexo 8) y el tercero con el MR efectivo obtenido de la presente investigación (Tabla 2).

Tabla 3: Comparación de tres diseños.

|  | 1er Diseño       | 2do Diseño       | 3er Diseño                |
|---|------------------|------------------|---------------------------|
|   | SNreq 2.22       | SNreq 2.22       | SNreq 2.92                |
|   | MR<br>21,625 psi | MR<br>21,625 psi | MR efectivo<br>10,172 psi |
| CARPETA ASFALTICA   | 7.5 cm           | 11 cm            | 11 cm                     |
| BASE  | 15 cm            | 13 cm            | 15 cm                     |
| SUB BASE  | 20 cm            | -0.00            | 15 cm                     |

Fuente: Propia.

En la Tabla 3, se observa que cuando empleamos las ecuaciones de correlación MR-CBR, nos conlleva a sobrevalorar la capacidad portante del suelo lo que induce al sub dimensionamiento de las capas del pavimento, teniendo como consecuencia fallas prematuras en el mismo.

## 2. Resultados del 1er objetivo específico:

Los resultados de este objetivo están relacionados con las Propiedades físicas de los suelos en diferentes estaciones del año.

La excavación de las calicatas se realizó con maquinaria aproximadamente a cada 0.50 km a 1.50m de profundidad como mínimo, se acondicionaron calicatas en donde se consideró necesario, luego se tomó la muestra de suelo.

Figura 15: Excavación de calicatas.



Figura 16: Obtención de muestras de las calicatas.



Las muestras se llevaron al laboratorio para realizarse los respectivos ensayos, de los cuales se tiene que el suelo de fundación es predominantemente clasificado como Gravas Limosas (GM) y Arenas Limosas (SM), según SUCS, como se observa en la Tabla 4 y Tabla 5. Asimismo, se hizo un monitoreo de la Humedad ya que este factor afecta al Módulo Resiliente haciéndolo variable a lo largo del año, siendo más vulnerables al cambio de humedad los suelos finos, que suelen ser muy comunes en proyectos de altura en el Perú.

Tabla 4: Ensayos realizados en el mes de Noviembre del 2018.

| NUMERO DE CALICATAS | UBICACIÓN | N CALICATA | CLASIFICACION |        | HUMEDAD NATURAL |
|---------------------|-----------|------------|---------------|--------|-----------------|
|                     |           |            | SUCS          | ASSHTO |                 |
| 1                   | 86+242    | C172       | GM            | A-1-a  | 9.07            |
| 2                   | 86+719    | C173       | SM            | A-2-4  | 9.41            |
| 3                   | 87+240    | C174       | SM            | A-1-b  | 10.64           |
| 4                   | 87+718    | C175       | GC            | A-2-4  | 5.41            |
| 5                   | 88+218    | C176       | GM            | A-2-4  | 7.40            |
| 6                   | 88+725    | C177       | GP-GM         | A-1-a  | 4.68            |
| 7                   | 89+223    | C178       | GP-GM         | A-1-a  | 7.62            |
| 8                   | 89+725    | C179       | SM            | A-2-4  | 3.93            |
| 9                   | 90+227    | C180       | SM            | A-4    | 11.06           |
| 10                  | 90+715    | C181       | GM            | A-1-b  | 10.51           |

Fuente: Expediente Técnico.

Tabla 5: Ensayos realizados en el mes de Abril del 2019.

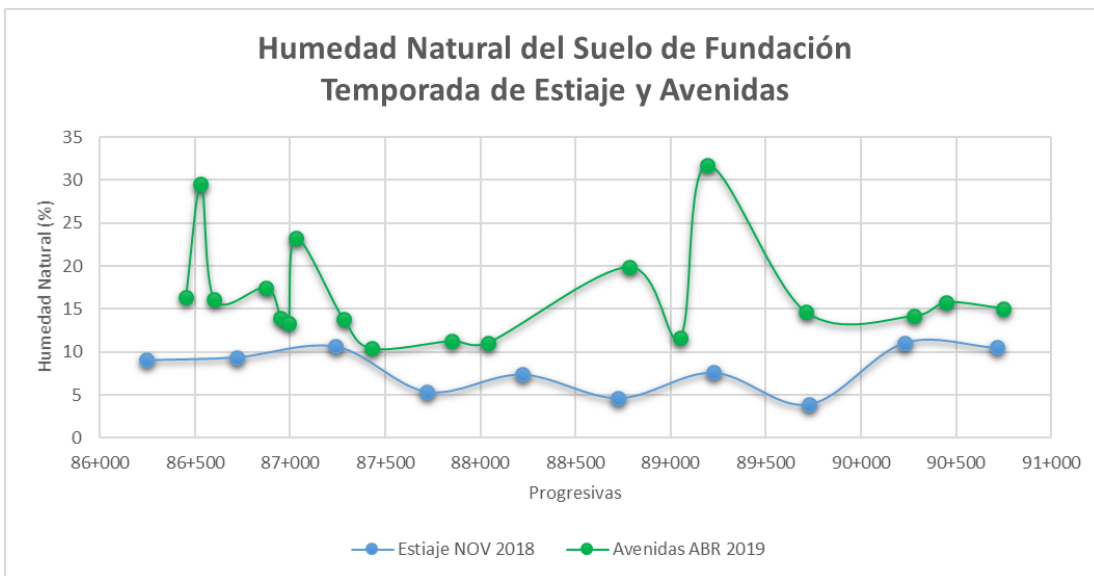
| NUMERO DE CALICATAS | UBICACIÓN | N CALICATA | CLASIFICACION |             | HUMEDAD NATURAL |
|---------------------|-----------|------------|---------------|-------------|-----------------|
|                     |           |            | SUCS          | ASSHTO      |                 |
| 1                   | KM 86+450 | C-48       | GC            | A-2-4 ( 0 ) | 10.40           |
| 2                   | KM 86+530 | C - 48A    | ML            | A-4 ( 7 )   | 39.61           |
| 3                   | KM 86+600 | C-49       | GC            | A-2-6 ( 0 ) | 16.13           |
| 4                   | KM 86+870 | C-50       | GP-GC         | A-2-4 ( 0 ) | 7.47            |
| 5                   | KM 86+950 | C-51       | SM-SC         | A-4 ( 0 )   | 14.03           |
| 6                   | KM 86+990 | C-52       | GM-GC         | A-1-b ( 0 ) | 13.39           |
| 7                   | KM 87+030 | C-53       | GC            | A-2-4 ( 0 ) | 12.74           |
| 8                   | KM 87+280 | C - 53A    | SM            | A-4 ( 0 )   | 13.83           |
| 9                   | KM 87+430 | C-54       | GM-GC         | A-1-b ( 0 ) | 10.41           |
| 10                  | KM 87+850 | C-54-A     | SM            | A-2-4 ( 0 ) | 11.30           |
| 11                  | KM 88+040 | C - 54B    | SM-SC         | A-4 ( 0 )   | 11.14           |
| 12                  | KM 88+450 | C-55       | GM            | A-2-4 ( 0 ) | 8.28            |
| 13                  | KM 88+500 | C - 55A    | GM            | A-2-4 ( 0 ) | 5.51            |
| 14                  | KM 88+780 | C-56       | SM            | A-1-b ( 0 ) | 19.87           |
| 15                  | KM 89+050 | C-57       | SM-SC         | A-4 ( 0 )   | 11.72           |
| 16                  | KM 89+190 | C-58       | CL            | A-4 ( 5 )   | 31.70           |
| 17                  | KM 89+710 | C - 58A    | SM            | A-1-b ( 0 ) | 7.92            |
| 18                  | KM 90+160 | C-59       | GM            | A-1-b ( 0 ) | 6.02            |
| 19                  | KM 90+280 | C-60       | SM            | A-4 ( 0 )   | 8.22            |
| 20                  | KM 90+450 | C-61       | SM            | A-2-4 ( 0 ) | 4.04            |
|                     | KM 90+450 | C-61       | SM            | A-2-4 ( 0 ) | 21.60           |
|                     | KM 90+450 | C-61       | SM            | A-4 ( 0 )   | 15.84           |
| 21                  | KM 90+750 | C - 61A    | GC            | A-2-7 ( 0 ) | 10.06           |

Fuente: Consorcio Vial Viscachani.



En el Gráfico 1, se observa el cambio de humedad del suelo, donde es evidente la diferencia que existe dependiendo de la temporada en que se realicen los estudios. El contenido de humedad es mayor en la temporada crítica de avenidas.

Gráfico 1: Porcentaje de humedad de sub rasante en temporadas de estiaje y avenidas.



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados del 2do objetivo específico

Resultados relacionados con los Ensayos in situ para obtener la capacidad portante del suelo.

Para obtener la capacidad portante de los suelos se realizaron ensayos in situ, para ello utilizamos un deflectómetro Benkelman. Se midieron las deflexiones en el suelo de fundación cada 50m, a lo largo del tramo elegido, en periodos críticos tanto de avenidas como de estiaje. Se tomaron 5 lecturas en cada punto, de ellas obtuvimos las deflexiones que observamos en el Anexo 5.

Figura 17: Registro de las medidas de deflexiones con VB.



A partir de las mediciones de deflexiones obtenidas se realizó el cálculo para obtener el Módulo Resiliente (MR) mediante el modelo matemático de Hogg (ver Anexo 5), de ello tenemos que el Promedio del MR es mayor en el periodo crítico de estiaje (ver Tabla 6).

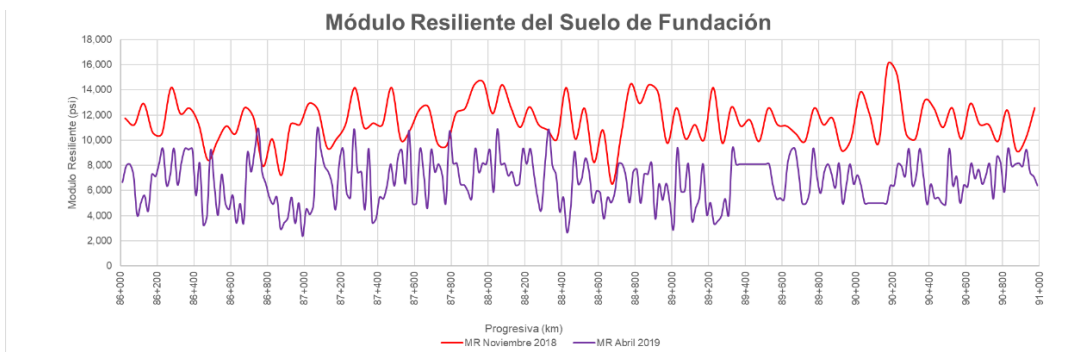
Tabla 6: Módulo Resiliente de subrasante promedio en periodos de avenidas y estiaje.

| Noviembre del 2018 |          | Abril del 2019 |          |
|--------------------|----------|----------------|----------|
| PROMEDIO           | 12,993.5 | PROMEDIO       | 8,710.2  |
| MAXIMO             | 16,731.1 | MAXIMO         | 12,897.3 |
| MINIMO             | 8,026.5  | MINIMO         | 5,269.2  |

Fuente: Propia.

En el Gráfico 2 es evidente la variación del Módulo Resiliente tanto en periodos de avenidas como de estiaje, los cuales están directamente relacionados con los cambios de humedad de los suelos. Teniendo un MR mayor en temporada crítica de estiaje y un MR menor en temporada crítica de avenidas.

Gráfico 2: Módulo Resiliente en periodo de Avenidas y en estiaje.



Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

1. La intención de conocer el factor estacional del MR para el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 1993, demostró que al considerar el factor estacional del módulo resiliente evitaremos el sub dimensionamiento del pavimento, lo cual se pudo comprobar al comparar los tres diseños mostrados en los resultados del primer objetivo específico, donde se aprecia que cuando se emplean correlaciones MR- CBR, se subdimensionan algunas capas de la estructura del pavimento. Lo que cual se pudo apreciar claramente al hacer dicha comparación en donde se muestra el 1er Diseño (Expediente técnico del proyecto) cuya carpeta asfáltica es de 7cm, base de 15cm y sub base de 20cm

Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por Herrera (2014), quien, en su estudio, concluye que, al cuantificar el daño relativo durante cada estación del año, obtendrá los MR, para un diseño de pavimento óptimo.

Habiéndose validado las hipótesis específicas 1 y 2, que guardan estrecha relación con la hipótesis general según el planteamiento metodológico para esta investigación, valido la hipótesis general que dice: A partir de la evaluación y seguimiento del comportamiento del suelo en diferentes estaciones del año, se podrá inferir el factor estacional para fines de estimar el Módulo Resiliente de subrasante para el diseño de pavimentos flexibles.

2. La intención de encontrar las características físicas de los suelos en diferentes temporadas del año, en los resultados se observó que el suelo de fundación es predominantemente clasificado como Gravas Limosas (GM) y Arenas Limosas (SM) y que el contenido de humedad es mayor en el periodo crítico de avenidas.

Por lo tanto, se valida la hipótesis específica 1 que dice: A partir de perforaciones a cielo abierto, muestreos y ensayos de laboratorio, en diferentes estaciones del año se podrá estimar el cambio de humedad de los suelos en Perú.

3. La intención de encontrar la capacidad portante de los suelos mediante ensayos insitu en las diferentes estaciones del año, el cual demostró que a partir de las mediciones de deflexiones obtenidas se puede calcular el MR de la subrasante empleando el modelo de Hogg, evitando el uso de correlaciones MR-CBR, además se observa que el MR varía dependiendo de la estación o temporada en que se realizan los trabajos, es menor en temporada crítica de avenidas y es mayor en el periodo crítico de estiaje.

Estos hallazgos guardan relación con lo hallado por Ávila (2017), quien concluyó que la rigidez del suelo se ve afectada por las variaciones del contenido de humedad; del mismo modo que Mehrotra (2014), quien al estudiar “Evaluación de la influencia de la variación de la humedad en el módulo resiliente para subrasantes de pavimentos insaturados”, concluye que la rigidez generalmente disminuye al aumentar el contenido de humedad.

Barrera y Garnica (2002), plantearon que Existe una amplia evidencia de campo que demuestra cómo se incrementan los módulos cuando desciende la humedad.

Del Águila (2007), sostuvo que se puede obtener el Módulo Resiliente de subrasante empleando la viga Benkelman y realizando el análisis de deflexiones con el modelo de Hogg.

Por lo tanto, valido mi hipótesis específica 2 que dice: A partir de la medición y análisis de deflexiones, se podrá estimar la real capacidad de soporte de los suelos, evitando el uso de ecuaciones de correlación MR- CBR.

## VI. CONCLUSIONES

1. Los resultados de esta investigación corroboran que al considerar el factor estacional del módulo resiliente evitaremos el sub dimensionamiento del pavimento, dado que introduciremos en la ecuación general de la AASHTO un MR efectivo que se verá reflejado en los espesores de capas de la estructura del pavimento.
2. Los resultados de la investigación confirman que, conociendo las propiedades físicas de los materiales en diferentes estaciones del año, notaremos que el contenido de humedad puede aumentar durante la temporada de avenidas y disminuir durante la temporada de estiaje, además que los suelos finos encontrados en pavimentos de altura son más susceptibles a estos cambios.
3. Los resultados obtenidos en esta investigación verifican que el MR obtenido mediante medición y análisis de deflexiones, nos da las condiciones reales de la capacidad portante del suelo, ya que las correlaciones MR-CBR tienden a sobrevalorar la resistencia de los suelos. Se confirma también que el MR es muy variable y es afectado por el contenido de humedad en las diferentes estaciones del año.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Al ser el módulo resiliente un parámetro muy importante que interviene directamente en el diseño de pavimentos, se recomienda evitar el uso de ecuaciones de correlación MR- CBR, ya que el CBR no representa la real capacidad de soporte de los suelos.
2. Se recomienda continuar con las investigaciones para obtener MR por deflectometría de todos los meses del año, en lugares que tengan periodos de estiaje y avenidas, en nuestro país, para conseguir un adecuado diseño de pavimento.
3. Comparar resultados de MR obtenidos de forma directa mediante ensayo triaxial dinámico con resultados de MR obtenidos por retrocálculo empleando Viga Benkelman, para encontrar la variación existente entre ambos ensayos.

## REFERENCIAS

*American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, (Vol. 1).*

*Arias Gonzáles, J. L. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica.*

*Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación.*

*Arias-Barrantes, E., Sequeira-Rojas, W., Aguiar-Moya, J. P., Arriola-Guzmán, R., Elizondo-Arrieta, F., & Loría-Salazar, L. G. (2014). Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos. Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.*

*Ávila Esquivel, T. (2017). Efecto del contenido de agua en el módulo resiliente de las subrasantes. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Facultad de Ingeniería Civil.*

*Balarezo Zapata, J. I. (2017). Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.*

*Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002). Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. Publicación técnica, (198). Sanfandila, Qro, 2002. Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte.*

*Bejarano, L. (2013). Análisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipo de carga dinámica y estática. Dirección de Investigación Sede Bogotá, DC.*



*Bohórquez Godoy, H., Leal Hernández, Í. P., & Torres Bobadilla, S. A. (2014). Instructivo técnico para la operación, evaluación, diagnóstico y diseño de rehabilitación de pavimentos flexibles a través del análisis de medidas de deflexión con dispositivo de carga estática no continua viga benkelman. Trabajo de grado. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Meta.*

*Coria, C., Hernández, R., & Garnica, P. (2018). Teoría para calcular esfuerzo, deformaciones y deflexiones: un enfoque mecanicista. México: Instituto Mexicano de Transporte.*

*Corredor, G. (2010). Apuntes de pavimentos. Método AASHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles. Volumen III.*

*Corros, M., Urbáez, E., & Corredor, G. (2009). Manual de evaluación de pavimentos. Empresa MAYER, 97.*

*Cortés, O. C. (2015). Propiedades que definen los materiales resilientes. Revista de tecnología-Volumen 14., 117-126.*

*Del Águila, P., Asociación Boliviana de Ingeniería Geotécnica (15 de Setiembre del 2020). Coloquio: Del CBR al Módulo Resiliente. [Vídeo]. <https://youtu.be/Rd-aUOP7Ukl>.*

*Del Águila, P. M. (2007). Determinación del módulo resiliente del suelo de fundación mediante método mecanístico-empírico (Método Hogg Simplificado), Ponencia presentada al XIV Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, La Habana, Cuba.*

*Dirección general de caminos y ferrocarriles. (2014). Manual de carreteras: "Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos" Sección: suelos y pavimentos. Lima: Empresa Editora Macro EIRL.*

*Dirección general de caminos y ferrocarriles. (2014). Manual de carreteras: "Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos" Sección: suelos y pavimentos. Lima: Empresa*

Editora Macro EIRL.

Guzman, E., & Higuera, C. (2016). *Comparison between the subgrade resilient module determined in the laboratory and retrocalculated adjustment factor C. Grinfravial*, 22.

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Herrera Montealegre, M. C. (2014). *Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios ASSHTO 1993 y 2002. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.*

Higuera-Sandoval, C. H. (2010). *Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 19(28), 73-92.

Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design*.

Leal Noriega, M. H. (2011). *Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de laboratorio. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola Posgrado en Ingeniería – Geotecnia Bogotá.*

Mehrotra (2014), *Evaluating the influence of moisture variation on resilient modulus for unsaturated pavement subgrades. Louisiana State University. Thesis. Master of Science in Civil Engineering.*

Méndez R. , *Geotecnia Aplicada (8 de mayo del 2020). Método AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles [Vídeo]. <https://youtu.be/7tlclq3bro>*

Menéndez, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos, Diseño de Pavimentos*, 2da Edición. Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.

Menéndez, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos, Materiales*, 5ta Edición. Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.

Menéndez, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos, Variables de Diseño*, 1era Edición. Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.

Minaya S. y Ordoñez A. (2006). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Ensayo de Materiales*. Lima: MTC.

Monereo Pérez, J. (2015). *Determinación del módulo de deformación de suelos. Ensayos de compresión triaxial*. 1era edición. Universidad Politécnica Salesiana.

Olarte Pinares, J. R. (2015). *Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera Puente Raither - Puente Paucartambo*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad Ingeniería Civil.

Olarte Pinares, J. R. (2019). *Análisis de la variación estacional del módulo resiliente de subrasantes en el diseño de pavimentos en altura*. *Revista Peruvias*, 37 (2) . 10 -15.

Pérez N., Garnica P., González J.L., Curiel P. y Ruiz M. J.. (2016). *Modelo para estimar el módulo de resiliencia de suelos finos compactados en la condición óptima de compactación*. *Publicación Técnica No. 475. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*.

Rodríguez Noriega, J. E. (2020). *Evaluación del módulo resiliente fundamentado en*

*la deflectometría y la geotecnia para optimizar diseños y costos en pavimentos reciclados de la carretera Yanango – Puente Herrería. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad San Ignacio de Loyola. Facultad de Ingeniería Civil.*

*Sáenz, K. (2019). Diseño de la estructura de pavimento flexible aplicando el método AASHTO 93 para la vía aeropuerto El Edén - club campestre - Armenia en el departamento del Quindío en el k2+000 al k 6+100. Especialización en Ingeniería de Pavimentos. Universidad Militar Nueva Granada Bogotá D.C.*

*Soto, L., & Soruco, K. (2017). Comparación de resultados entre deflectometría y ensayos de CBR, relativo a la estimación del módulo resiliente. Falda de la Queñua - San Lorencito, Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.*

*Tavira, J. D. (2016). Cálculo mecánico de pavimentos a partir de ensayos no destructivos. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería -Universidad de Sevilla .*

*Valentin Melgarejo, Y. L. (2019). Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019. Tesis Para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad César Vallejo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.*

*Valverde Villares, E. R., & Calisaya Musaja, W. (2019). Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana Sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna. Tesis de grado. Universidad Privada de Tacna.*

*Vargas Guerrero, M. A. (2017). Metodología para la estimación del número estructural efectivo de los pavimentos flexibles recién construidos y su capacidad estructural. Tesis de Grado. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería.*

## **ANEXOS**

**ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

| <b>TITULO: "Factor Estacional del Módulo Resiliente para el Diseño de Pavimentos Flexibles según AASHTO1993 en el Perú – 2021"</b>   |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
| <b>PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>   | <b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</b>  | <b>HIPOTESIS</b>  | <b>VARIABLES</b>                                      | <b>METODOLOGIA</b>   |
| <b>PROBLEMA GENERAL</b>  | <b>OBJETIVO GENERAL</b>   | <b>HIPOTESIS</b>  | <b>V. INDEPENDIENTE</b>                               | <p><b>Investigación:</b><br/>Tipo Aplicada</p> <p><b>Diseño Experimental:</b><br/>Tipo cuasi experimental.</p> <p><b>Método selección muestra:</b> No probabilístico</p> |
| <p>PG : ¿De qué manera se determinará el factor estacional del módulo resiliente del diseño de pavimentos en el Perú, para evitar el sub dimensionamiento del pavimento?</p> | <p>OG : Determinar el factor estacional del Módulo Resiliente de subrasante para el diseño de pavimentos flexibles bajo la metodología AASHTO 1993, con énfasis en proyectos que presentan estaciones de estiaje y avenidas cíclicas anuales, evitando el sub dimensionamiento del pavimento.</p> | <p>HG : A partir de la evaluación y seguimiento del comportamiento del suelo en diferentes estaciones del año, se podrá inferir el factor estacional para fines de estimar el Módulo Resiliente de subrasante para el diseño de pavimentos flexibles.</p> | <p><b>FACTOR ESTACIONAL DEL MODULO RESILIENTE</b></p> |  |
| <b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>   | <b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>  | <b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b>   | <b>V. DEPENDIENTE</b>                                 |  |
| <p>PE 1: ¿Cómo se determinará las propiedades físicas de suelos debido a cambios de humedad en suelos, en diferentes estaciones del año?</p>                                 | <p>OE 1: Determinar las propiedades físicas de los suelos en diferentes temporadas o estaciones del año.</p>  | <p>HE 1: A partir de perforaciones a cielo abierto , muestreos y ensayos de laboratorio, en diferentes estaciones del año se podrá estimar el cambio de humedad de los suelos en Perú.</p>  | <p><b>DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE</b></p>            |  |
| <p>PE 2:¿De qué manera se obtendrá mediante ensayos In situ la capacidad de soporte de suelos , a través del Módulo Resiliente , en diferentes estaciones del año?</p>       | <p>OE 2: Obtener mediante ensayos in situ la capacidad de soporte de los suelos, realizando mediciones deflectométricas, en las diferentes estaciones del año.</p>  | <p>HE 2: A partir de la medición y análisis de deflexiones, se podrá estimar la real capacidad de soporte de los suelos, evitando el uso de ecuaciones de correlación MR- CBR.</p>  |   |  |

## ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION

| MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES  |  |  |  |   |   |
|--|--|--|--|---|---|
| TITULO: "Factor Estacional del Módulo Resiliente para el Diseño de Pavimentos Flexibles según AASHTO 1993 en el Perú – 2021" |  |  |  |   |   |
| VARIABLES  | DEFINICION CONCEPTUAL  | DEFINICION OPERACIONAL   | DIMENSIONES  | INDICADORES   | ESCALA                                    |
| FACTOR ESTACIONAL DEL MODULO RESILIENTE  | El Factor Estacional del Módulo Resiliente, es un valor que considera el efecto combinado de todos los módulos estacionales que se producen a lo largo del año por diferentes condiciones de humedad y éste es importante para el Diseño de Pavimentos, según la Guía AASHTO ( 1993).  | Para obtener esta variable, se determina el Módulo Resiliente (MR) in situ en función de las deflexiones medidas en la subrasante utilizando un deflectómetro tipo Viga Benkelman en las etapas mas críticas tanto en los periodos de estiaje como en avenidas del año. Con cada valor de MR se determina el valor del daño relativo $u_f$ , usando la expresión:<br>$u_f = 1,18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$ Luego se determina un daño relativo promedio anual sumando todos los valores de $u_f$ y dividiendo por el número de periodos. | .Ensayo de laboratorios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.<br><br>.Ensayos insitu, mediciones de deflexiones empleando Viga Benkelman para la obtención del Módulo Resiliente de subrasante. | .Tipo de suelo<br>.Contenido de humedad del suelo, en las diferentes estaciones<br><br>.Medición de Deflexiones con Viga Benkelman, en las diferentes estaciones del año. | Nominal<br>Razón<br><br>Razón             |
| DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES   | El Diseño de pavimentos Flexible es el procedimiento por el cual los componentes estructurales (superficie de rodadura, base, sub base) de un segmento de carretera son determinados tomando en consideración la naturaleza de la subrasante, las consideraciones ambientales, densidad y composición del tráfico, y las condiciones de mantenimiento, así lo define el autor Menéndez (2016). | Esta variable se va a obtener mediante la Metodología de AASHTO 1993, considerando el Factor estacional del Módulo Resiliente en el Diseño, desarrollando la ecuación general de AASHTO:<br><br>$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$   | .Ecuación general de AASHTO.   | .Confiability (R%)<br>.Serviciabilidad $\Delta PSI$<br>.Tránsito (ejes equivalentes)<br>.Subrasante ( $M_r$ de diseño)<br>.Número Estructural                             | Razón<br>Razón<br>Razón<br>Razón<br>Razón |

# ANEXO 3: HOJA DE CALCULO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993.

| DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE<br>METODO AASHTO 1993        |         |              |          |                     |
|---|---------|--------------|----------|---------------------|
| PROYECTO  | :       | TRAMO        | :        |                     |
| SECCION   | :       | FECHA        | :        |                     |
| <b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>                    |         |              |          |                     |
| <b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>                   |         | <b>DATOS</b> |          |                     |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi)    |         |              |          |                     |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)        |         |              |          |                     |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)             |         |              |          |                     |
| <b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b> |         |              |          |                     |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)                |         |              |          |                     |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                            |         |              |          |                     |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                              |         |              |          |                     |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So)                           |         |              |          |                     |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)       |         |              |          |                     |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                           |         |              |          |                     |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                             |         |              |          |                     |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                               |         |              |          |                     |
| <b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>          |         |              |          |                     |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                     |         |              |          |                     |
| Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )         |         |              |          |                     |
| Base granular (a <sub>2</sub> )                           |         |              |          |                     |
| Subbase (a <sub>3</sub> )                                 |         |              |          |                     |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                        |         |              |          |                     |
| Base granular (m <sub>2</sub> )                           |         |              |          |                     |
| Subbase (m <sub>3</sub> )                                 |         |              |          |                     |
| <b>DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :</b>                    |         |              |          |                     |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )   |         |              |          |                     |
| NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )  |         |              |          |                     |
| NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )      |         |              |          |                     |
| NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )           |         |              |          |                     |
| <b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA</b>                 |         |              |          |                     |
|   | TEORICO | PROPUESTO    | ADOPTADO | SN <sub>FINAL</sub> |
| ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)                            |         |              |          |                     |
| ESPESOR BASE GRANULAR (cm)                                |         |              |          |                     |
| ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)                            |         |              |          |                     |
| ESPESOR TOTAL (cm)  |         |              |          |                     |
| <b>RESPONSABLE :</b>                                      |         |              |          |                     |
| HOJA DISEÑADA POR: AURORA GIANNYLIZ MALCA BARRANTES.      |         |              |          |                     |





# ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN EL MES DE ABRIL



## CONTROL DE TERRENO EXISTENTE PUNTO DE PLATAFORMA

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VISCACHANI - CALLALLI - SIBAYO - CAYLLOMA, PROVINCIA CAYLLOMA, REGION AREQUIPA

**UBICACIÓN:** 2 (KM 74+530 - 98+500)

**CANTERA**

**MATERIAL** PROCEDENTE DE CALICATAS DE PLATAFORMA

| NUMERO DE CALICATAS | UBICACIÓN | N CALICATA | MUESTRA | PROF.     | LADO      | % MATERIAL QUE PASA - TAMIZ |        |       |        |       |       |       |       |      |       |       |        |        | LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA LA MALLA Nº40 |      |      | HUMEDAD NATURAL | CLASIFICACION |             |
|---------------------|-----------|------------|---------|-----------|-----------|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--|------|------|-----------------|---------------|-------------|
|                     |           |            |         |           |           | 4"                          | 2 1/2" | 2"    | 1 1/2" | 1"    | 3/4"  | 1/2"  | 3/8"  | N° 4 | N° 10 | N° 40 | N° 100 | N° 200 | LL   | LP   | IP   |                 | SUCS          | ASSHTO      |
| 93                  | KM 86+450 | C-48       | M-01    | 0.00-1.60 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 89.5   | 64.2  | 50.8  | 43.2  | 37.9  | 31.0 | 28.2  | 24.70 | 22.10  | 19.2   | 26.0   | 16.0 | 10.0 | <b>10.4</b>     | GC            | A-2-4 ( 0 ) |
| 94                  | KM 86+530 | C-48-A     | M-01    | 0.00-0.80 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 98.7  | 90.8  | 86.8  | 81.8  | 73.6 | 66.4  | 58.00 | 44.80  | 30.7   | 18.0   | NP   | NP   | <b>13.7</b>     | SM            | A-2-4 ( 0 ) |
|                     | KM 86+530 | C - 48A    | M-02    | 0.80-1.10 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 97.3 | 95.3  | 91.49 | 86.40  | 77.7   | 34.0   | 24.0 | 10.0 | <b>39.6</b>     | ML            | A-4 ( 7 )   |
| 95                  | KM 86+600 | C-49       | M-01    | 0.00-1.60 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 90.7   | 69.1  | 54.6  | 48.4  | 42.9  | 37.2 | 35.0  | 33.87 | 28.43  | 21.5   | 27.0   | 16.0 | 11.0 | <b>16.1</b>     | GC            | A-2-6 ( 0 ) |
| 96                  | KM 86+870 | C-50       | M-01    | 0.00-0.70 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 88.3   | 60.9  | 44.7  | 35.5  | 28.3  | 20.3 | 15.5  | 12.77 | 11.13  | 8.9    | 25.0   | 17.0 | 8.0  | <b>7.5</b>      | GP-GC         | A-2-4 ( 0 ) |
| 97                  | KM 86+950 | C-51       | M-01    | 0.00-0.90 | DERECHA   | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 98.8  | 89.1  | 77.7  | 72.5  | 65.8 | 57.9  | 49.58 | 38.68  | 24.1   | 19.0   | NP   | NP   | <b>12.9</b>     | SM            | A-1-b ( 0 ) |
|                     | KM 86+950 | C-51       | M-02    | 0.90-1.60 | DERECHA   | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 100.0 | 97.5  | 95.4  | 90.3  | 83.9 | 77.7  | 70.71 | 60.61  | 46.3   | 19.0   | 13.0 | 6.0  | <b>14.0</b>     | SM-SC         | A-4 ( 0 )   |
| 98                  | KM 86+990 | C-52       | M-01    | 0.00-0.40 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 86.5  | 77.9  | 68.7  | 65.0  | 59.1 | 53.0  | 49.07 | 40.67  | 27.1   | 19.0   | NP   | NP   | <b>5.0</b>      | GM            | A-2-4 ( 0 ) |
|                     | KM 86+990 | C-52       | M-02    | 0.40-1.50 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 100.0 | 92.5  | 81.8  | 70.6  | 57.9 | 46.7  | 36.96 | 31.56  | 24.7   | 23.0   | 17.0 | 6.0  | <b>13.4</b>     | GM-GC         | A-1-b ( 0 ) |
| 99                  | KM 87+030 | C-53       | M-01    | 0.00-1.10 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 88.1  | 79.8  | 70.9  | 67.2  | 59.0 | 54.0  | 49.21 | 39.30  | 25.8   | 19.0   | NP   | NP   | <b>43.3</b>     | GM            | A-2-4 ( 0 ) |
|                     | KM 87+030 | C-53       | M-02    | 1.10-1.70 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 93.3  | 87.2  | 81.0  | 68.0  | 52.2 | 40.1  | 31.11 | 26.39  | 20.3   | 26.0   | 17.0 | 9.0  | <b>12.7</b>     | GC            | A-2-4 ( 0 ) |
| 100                 | KM 87+280 | C - 53A    | M-01    | 0.00-0.50 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 89.2  | 81.6  | 74.1 | 63.1  | 55.56 | 45.66  | 34.8   | 18.0   | NP   | NP   | <b>10.2</b>     | SM            | A-2-4 ( 0 ) |
|                     | KM 87+280 | C - 53A    | M-02    | 0.50-1.40 | IZQUIERDA | 100.0                       | 100.0  | 100.0 | 100.0  | 100.0 | 97.5  | 95.5  | 90.8  | 84.4 | 74.8  | 66.10 | 54.60  | 41.3   | 17.0   | NP   | NP   | <b>13.8</b>     | SM            | A-4 ( 0 )   |

|     |           |         |      |           |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |      |      |      |      |             |       |             |
|-----|-----------|---------|------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------------|-------|-------------|
| 101 | KM 87+430 | C-54    | M-01 | 0.00-1.50 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.2  | 85.6  | 74.1  | 63.2  | 49.8 | 40.9 | 34.08 | 29.68 | 23.2 | 23.0 | 17.0 | 6.0  | <b>10.4</b> | GM-GC | A-1-b ( 0 ) |
| 102 | KM 87+850 | C-54-A  | M-01 | 0.00-1.80 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 95.1  | 87.0  | 83.2  | 77.2  | 69.5 | 62.6 | 55.04 | 42.44 | 29.4 | 18.0 | NP   | NP   | <b>11.3</b> | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
| 103 | KM 88+040 | C-54-B  | M-01 | 0.00-0.50 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 90.1  | 82.9  | 78.9  | 74.0  | 67.9 | 60.7 | 52.31 | 40.51 | 27.6 | 19.0 | NP   | NP   | <b>13.2</b> | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
|     | KM 88+040 | C - 54B | M-02 | 0.50-1.60 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 93.0  | 88.9  | 85.1  | 76.8 | 70.6 | 65.80 | 55.71 | 42.8 | 20.0 | 14.0 | 6.0  | <b>11.1</b> | SM-SC | A-4 ( 0 )   |
| 104 | KM 88+450 | C-55    | M-01 | 0.00-1.80 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 89.6  | 82.1  | 75.9  | 71.4  | 63.2 | 56.5 | 50.00 | 39.80 | 27.5 | 18.0 | NP   | NP   | <b>8.3</b>  | GM    | A-2-4 ( 0 ) |
| 105 | KM 88+500 | C - 55A | M-01 | 0.00-1.50 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 90.3  | 80.7  | 71.9  | 67.8  | 60.6 | 55.1 | 49.59 | 40.29 | 25.8 | 18.0 | NP   | NP   | <b>5.5</b>  | GM    | A-2-4 ( 0 ) |
| 106 | KM 88+780 | C-56    | M-01 | 0.00-0.60 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 86.9  | 76.6  | 70.1  | 59.2 | 51.9 | 41.87 | 28.78 | 17.3 | 17.0 | NP   | NP   | <b>19.9</b> | SM    | A-1-b ( 0 ) |
| 107 | KM 89+050 | C-57    | M-01 | 0.00-0.60 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.0  | 85.9  | 78.3  | 73.2  | 64.9 | 58.7 | 50.45 | 39.45 | 28.8 | 19.0 | NP   | NP   | <b>4.3</b>  | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
|     | KM 89+050 | C-57    | M-02 | 0.60-1.80 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 94.8  | 90.3  | 86.0  | 78.5 | 72.7 | 67.41 | 57.68 | 44.1 | 19.0 | 13.0 | 6.0  | <b>11.7</b> | SM-SC | A-4 ( 0 )   |
| 108 | KM 89+190 | C-58    | M-01 | 0.00-0.40 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 95.0  | 86.9  | 81.3  | 76.3 | 69.1 | 60.21 | 50.23 | 34.0 | 18.0 | NP   | NP   | <b>5.8</b>  | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
|     | KM 89+190 | C-58    | M-02 | 0.40-0.90 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 97.9  | 91.0  | 87.9  | 83.7 | 75.5 | 65.29 | 53.69 | 36.6 | 18.0 | NP   | NP   | <b>10.8</b> | SM    | A-4 ( 0 )   |
|     | KM 89+190 | C-58    | M-03 | 0.90-1.70 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 97.9 | 96.3 | 93.84 | 88.64 | 82.9 | 26.0 | 18.0 | 8.0  | <b>31.7</b> | CL    | A-4 ( 5 )   |
| 109 | KM 89+710 | C - 58A | M-01 | 0.00-1.50 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.0  | 87.7  | 80.7  | 73.1  | 60.9 | 48.3 | 36.40 | 28.00 | 18.4 | 19.0 | NP   | NP   | <b>7.9</b>  | SM    | A-1-b ( 0 ) |
| 110 | KM 90+160 | C-59    | M-01 | 0.00-1.00 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 93.0  | 85.9  | 79.0  | 70.9  | 57.8 | 45.1 | 31.41 | 22.75 | 15.6 | 19.0 | NP   | NP   | <b>6.0</b>  | GM    | A-1-b ( 0 ) |
| 111 | KM 90+280 | C-60    | M-01 | 0.00-1.80 | IZQUIERDA | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 97.6  | 94.4  | 89.0  | 82.8 | 74.7 | 66.00 | 53.60 | 37.6 | 18.0 | NP   | NP   | <b>8.2</b>  | SM    | A-4 ( 0 )   |
| 112 | KM 90+450 | C-61    | M-01 | 0.00-0.20 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.1  | 88.1  | 79.6  | 67.4 | 59.0 | 50.62 | 37.88 | 23.4 | 22.0 | NP   | NP   | <b>4.0</b>  | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
|     | KM 90+450 | C-61    | M-02 | 0.20-0.60 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 92.9  | 86.8  | 81.0  | 70.9 | 62.9 | 55.77 | 42.57 | 24.2 | 30.0 | 23.0 | 7.0  | <b>21.6</b> | SM    | A-2-4 ( 0 ) |
|     | KM 90+450 | C-61    | M-03 | 0.60-1.70 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.0  | 95.8  | 87.7 | 80.8 | 69.41 | 56.71 | 43.2 | 25.0 | NP   | NP   | <b>15.8</b> | SM    | A-4 ( 0 )   |
| 113 | KM 90+750 | C - 61A | M-01 | 0.00-1.50 | DERECHA   | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 86.2  | 76.7  | 64.9  | 49.1 | 39.0 | 29.87 | 22.04 | 16.3 | 56.0 | 16.0 | 40.0 | <b>10.1</b> | GC    | A-2-7 ( 0 ) |

## ANEXO 5: ENSAYOS INSITU MEDICION DE DEFLEXIONES Y ANALISIS DE DEFLEXIONES

### ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE NOVIEMBRE

| PK (km) | CURVA DE DEFLEXION |           |           |           |          | PARAMETROS ESTRUCTURALES |       |          |      |       |           |
|---------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------------------|-------|----------|------|-------|-----------|
|         | D0                 | D20       | D30       | D40       | D50      | L0                       | R5    | E0       | CBR  | MR    | MR        |
|         | (0.01 mm)          | (0.01 mm) | (0.01 mm) | (0.01 mm) | (0.01mm) | (cm)                     | (cm)  | (kg/cm2) | (%)  | (ksi) | (psi)     |
| 86+025  | 72                 | 44        | 32        | 24        | 12       | 10.98                    | 26.55 | 825.52   | 8.26 | 11.74 | 11,741.72 |
| 86+075  | 64                 | 48        | 36        | 20        | 8        | 16.38                    | 34.43 | 790.02   | 7.90 | 11.24 | 11,236.85 |
| 86+125  | 56                 | 44        | 36        | 24        | 12       | 16.21                    | 34.17 | 908.26   | 9.08 | 12.92 | 12,918.57 |
| 86+175  | 72                 | 56        | 48        | 28        | 20       | 14.60                    | 31.72 | 746.39   | 7.46 | 10.62 | 10,616.25 |
| 86+225  | 80                 | 52        | 36        | 28        | 12       | 11.23                    | 26.88 | 739.65   | 7.40 | 10.52 | 10,520.36 |
| 86+275  | 56                 | 40        | 28        | 16        | 8        | 13.45                    | 30.00 | 996.45   | 9.96 | 14.17 | 14,173.02 |
| 86+325  | 68                 | 44        | 32        | 24        | 12       | 12.14                    | 28.12 | 852.21   | 8.52 | 12.12 | 12,121.48 |
| 86+375  | 52                 | 40        | 32        | 20        | 8        | 19.18                    | 38.81 | 882.60   | 8.83 | 12.55 | 12,553.65 |
| 86+425  | 60                 | 48        | 36        | 28        | 16       | 18.14                    | 37.18 | 792.65   | 7.93 | 11.27 | 11,274.25 |
| 86+475  | 84                 | 68        | 48        | 32        | 20       | 16.83                    | 35.12 | 592.62   | 5.93 | 8.43  | 8,429.20  |
| 86+525  | 68                 | 52        | 40        | 32        | 20       | 18.35                    | 37.50 | 694.47   | 6.94 | 9.88  | 9,877.76  |
| 86+575  | 64                 | 48        | 40        | 28        | 16       | 16.65                    | 34.85 | 782.53   | 7.83 | 11.13 | 11,130.27 |
| 86+625  | 80                 | 48        | 36        | 28        | 20       | 11.23                    | 26.88 | 739.65   | 7.40 | 10.52 | 10,520.36 |
| 86+675  | 60                 | 48        | 32        | 20        | 12       | 14.97                    | 32.28 | 884.53   | 8.85 | 12.58 | 12,581.13 |
| 86+725  | 72                 | 44        | 32        | 24        | 12       | 10.98                    | 26.55 | 825.52   | 8.26 | 11.74 | 11,741.72 |
| 86+775  | 80                 | 56        | 48        | 40        | 24       | 19.93                    | 40.00 | 559.32   | 5.59 | 7.96  | 7,955.54  |
| 86+825  | 68                 | 48        | 40        | 24        | 12       | 17.70                    | 36.48 | 710.31   | 7.10 | 10.10 | 10,103.10 |
| 86+875  | 88                 | 76        | 52        | 44        | 28       | 19.93                    | 40.00 | 508.48   | 5.08 | 7.23  | 7,232.31  |
| 86+925  | 76                 | 52        | 32        | 24        | 16       | 10.07                    | 25.39 | 789.89   | 7.90 | 11.24 | 11,235.03 |
| 86+975  | 64                 | 44        | 36        | 28        | 12       | 16.38                    | 34.43 | 790.02   | 7.90 | 11.24 | 11,236.85 |
| 87+025  | 56                 | 44        | 36        | 24        | 8        | 16.21                    | 34.17 | 908.26   | 9.08 | 12.92 | 12,918.57 |
| 87+075  | 64                 | 48        | 32        | 24        | 8        | 13.45                    | 30.00 | 871.89   | 8.72 | 12.40 | 12,401.40 |
| 87+125  | 80                 | 60        | 56        | 32        | 16       | 15.08                    | 32.44 | 661.01   | 6.61 | 9.40  | 9,401.88  |
| 87+175  | 72                 | 56        | 40        | 32        | 20       | 16.04                    | 33.90 | 710.63   | 7.11 | 10.11 | 10,107.65 |
| 87+225  | 60                 | 48        | 36        | 28        | 16       | 18.14                    | 37.18 | 792.65   | 7.93 | 11.27 | 11,274.25 |
| 87+275  | 56                 | 44        | 28        | 20        | 8        | 13.45                    | 30.00 | 996.45   | 9.96 | 14.17 | 14,173.02 |
| 87+325  | 72                 | 52        | 36        | 28        | 12       | 13.45                    | 30.00 | 775.02   | 7.75 | 11.02 | 11,023.46 |
| 87+375  | 56                 | 48        | 36        | 28        | 12       | 19.93                    | 40.00 | 799.03   | 7.99 | 11.37 | 11,365.06 |
| 87+425  | 64                 | 48        | 36        | 24        | 16       | 16.38                    | 34.43 | 790.02   | 7.90 | 11.24 | 11,236.85 |
| 87+475  | 56                 | 40        | 28        | 16        | 8        | 13.45                    | 30.00 | 996.45   | 9.96 | 14.17 | 14,173.02 |
| 87+525  | 76                 | 52        | 40        | 32        | 12       | 14.65                    | 31.78 | 706.09   | 7.06 | 10.04 | 10,043.01 |
| 87+575  | 76                 | 64        | 36        | 28        | 8        | 12.28                    | 28.32 | 759.77   | 7.60 | 10.81 | 10,806.55 |
| 87+625  | 64                 | 44        | 32        | 24        | 16       | 13.45                    | 30.00 | 871.89   | 8.72 | 12.40 | 12,401.40 |
| 87+675  | 56                 | 40        | 32        | 20        | 12       | 16.83                    | 35.12 | 888.94   | 8.89 | 12.64 | 12,643.79 |
| 87+725  | 84                 | 56        | 40        | 28        | 20       | 12.39                    | 28.47 | 685.36   | 6.85 | 9.75  | 9,748.17  |

|        |    |    |    |    |    |       |       |         |       |       |           |
|--------|----|----|----|----|----|-------|-------|---------|-------|-------|-----------|
| 87+775 | 76 | 60 | 48 | 32 | 16 | 16.01 | 33.86 | 673.93  | 6.74  | 9.59  | 9,585.69  |
| 87+825 | 68 | 48 | 32 | 20 | 8  | 12.14 | 28.12 | 852.21  | 8.52  | 12.12 | 12,121.48 |
| 87+875 | 60 | 52 | 40 | 24 | 8  | 15.08 | 32.44 | 881.35  | 8.81  | 12.54 | 12,535.84 |
| 87+925 | 52 | 40 | 28 | 16 | 8  | 15.21 | 32.64 | 1012.24 | 10.12 | 14.40 | 14,397.54 |
| 87+975 | 56 | 32 | 20 | 12 | 4  | 8.17  | 23.42 | 1025.94 | 10.26 | 14.59 | 14,592.43 |
| 88+025 | 68 | 44 | 32 | 20 | 12 | 12.14 | 28.12 | 852.21  | 8.52  | 12.12 | 12,121.48 |
| 88+075 | 52 | 36 | 28 | 20 | 8  | 15.21 | 32.64 | 1012.24 | 10.12 | 14.40 | 14,397.54 |
| 88+125 | 60 | 40 | 32 | 20 | 12 | 14.97 | 32.28 | 884.53  | 8.85  | 12.58 | 12,581.13 |
| 88+175 | 56 | 44 | 36 | 20 | 12 | 20.81 | 41.40 | 775.90  | 7.76  | 11.04 | 11,036.01 |
| 88+225 | 56 | 40 | 32 | 20 | 12 | 16.83 | 35.12 | 888.94  | 8.89  | 12.64 | 12,643.79 |
| 88+275 | 64 | 52 | 36 | 24 | 8  | 16.38 | 34.43 | 790.02  | 7.90  | 11.24 | 11,236.85 |
| 88+325 | 76 | 48 | 36 | 24 | 16 | 12.28 | 28.32 | 759.77  | 7.60  | 10.81 | 10,806.55 |
| 88+375 | 72 | 60 | 40 | 32 | 24 | 16.04 | 33.90 | 710.63  | 7.11  | 10.11 | 10,107.65 |
| 88+425 | 56 | 36 | 28 | 20 | 8  | 13.45 | 30.00 | 996.45  | 9.96  | 14.17 | 14,173.02 |
| 88+475 | 68 | 52 | 40 | 28 | 20 | 17.70 | 36.48 | 710.31  | 7.10  | 10.10 | 10,103.10 |
| 88+525 | 60 | 52 | 40 | 24 | 16 | 15.08 | 32.44 | 881.35  | 8.81  | 12.54 | 12,535.84 |
| 88+575 | 96 | 72 | 48 | 36 | 24 | 13.45 | 30.00 | 581.26  | 5.81  | 8.27  | 8,267.60  |
| 88+625 | 76 | 56 | 36 | 28 | 16 | 12.28 | 28.32 | 759.77  | 7.60  | 10.81 | 10,806.55 |
| 88+675 | 84 | 76 | 64 | 52 | 40 | 24.57 | 47.46 | 458.86  | 4.59  | 6.53  | 6,526.56  |
| 88+725 | 80 | 52 | 36 | 24 | 12 | 11.23 | 26.88 | 739.65  | 7.40  | 10.52 | 10,520.36 |
| 88+775 | 48 | 36 | 28 | 20 | 12 | 17.44 | 36.07 | 1015.28 | 10.15 | 14.44 | 14,440.90 |
| 88+825 | 56 | 44 | 36 | 24 | 8  | 16.21 | 34.17 | 908.26  | 9.08  | 12.92 | 12,918.57 |
| 88+875 | 52 | 40 | 28 | 20 | 8  | 15.21 | 32.64 | 1012.24 | 10.12 | 14.40 | 14,397.54 |
| 88+925 | 60 | 44 | 28 | 20 | 12 | 11.97 | 27.88 | 970.11  | 9.70  | 13.80 | 13,798.35 |
| 88+975 | 72 | 60 | 52 | 32 | 20 | 17.00 | 35.40 | 687.18  | 6.87  | 9.77  | 9,774.08  |
| 89+025 | 60 | 48 | 32 | 24 | 12 | 14.97 | 32.28 | 884.53  | 8.85  | 12.58 | 12,581.13 |
| 89+075 | 72 | 56 | 40 | 32 | 20 | 16.04 | 33.90 | 710.63  | 7.11  | 10.11 | 10,107.65 |
| 89+125 | 64 | 48 | 36 | 24 | 12 | 16.38 | 34.43 | 790.02  | 7.90  | 11.24 | 11,236.85 |
| 89+175 | 76 | 64 | 40 | 24 | 16 | 14.65 | 31.78 | 706.09  | 7.06  | 10.04 | 10,043.01 |
| 89+225 | 56 | 36 | 28 | 20 | 12 | 13.45 | 30.00 | 996.45  | 9.96  | 14.17 | 14,173.02 |
| 89+275 | 72 | 56 | 44 | 32 | 24 | 17.00 | 35.40 | 687.18  | 6.87  | 9.77  | 9,774.08  |
| 89+325 | 56 | 40 | 32 | 16 | 8  | 16.83 | 35.12 | 888.94  | 8.89  | 12.64 | 12,643.79 |
| 89+375 | 64 | 48 | 40 | 28 | 8  | 16.65 | 34.85 | 782.53  | 7.83  | 11.13 | 11,130.27 |
| 89+425 | 72 | 52 | 28 | 16 | 8  | 8.60  | 23.79 | 816.07  | 8.16  | 11.61 | 11,607.37 |

|        |    |    |    |    |    |       |       |         |       |       |           |
|--------|----|----|----|----|----|-------|-------|---------|-------|-------|-----------|
| 89+475 | 80 | 64 | 40 | 28 | 20 | 13.45 | 30.00 | 697.52  | 6.98  | 9.92  | 9,921.12  |
| 89+525 | 68 | 44 | 28 | 16 | 8  | 9.67  | 24.92 | 882.83  | 8.83  | 12.56 | 12,556.96 |
| 89+575 | 64 | 48 | 36 | 24 | 8  | 16.38 | 34.43 | 790.02  | 7.90  | 11.24 | 11,236.85 |
| 89+625 | 64 | 48 | 40 | 28 | 8  | 16.65 | 34.85 | 782.53  | 7.83  | 11.13 | 11,130.27 |
| 89+675 | 80 | 60 | 36 | 24 | 16 | 11.23 | 26.88 | 739.65  | 7.40  | 10.52 | 10,520.36 |
| 89+725 | 80 | 64 | 40 | 28 | 20 | 13.45 | 30.00 | 697.52  | 6.98  | 9.92  | 9,921.12  |
| 89+775 | 68 | 44 | 28 | 16 | 8  | 9.67  | 24.92 | 882.83  | 8.83  | 12.56 | 12,556.96 |
| 89+825 | 64 | 48 | 36 | 24 | 8  | 16.38 | 34.43 | 790.02  | 7.90  | 11.24 | 11,236.85 |
| 89+875 | 72 | 44 | 32 | 24 | 12 | 10.98 | 26.55 | 825.52  | 8.26  | 11.74 | 11,741.72 |
| 89+925 | 80 | 60 | 44 | 36 | 16 | 15.77 | 33.49 | 645.58  | 6.46  | 9.18  | 9,182.37  |
| 89+975 | 68 | 52 | 40 | 24 | 12 | 17.70 | 36.48 | 710.31  | 7.10  | 10.10 | 10,103.10 |
| 90+025 | 60 | 40 | 28 | 20 | 8  | 11.97 | 27.88 | 970.11  | 9.70  | 13.80 | 13,798.35 |
| 90+075 | 68 | 44 | 32 | 20 | 8  | 12.14 | 28.12 | 852.21  | 8.52  | 12.12 | 12,121.48 |
| 90+125 | 72 | 60 | 52 | 32 | 16 | 17.00 | 35.40 | 687.18  | 6.87  | 9.77  | 9,774.08  |
| 90+175 | 52 | 36 | 24 | 16 | 8  | 11.74 | 27.57 | 1125.51 | 11.26 | 16.01 | 16,008.67 |
| 90+225 | 56 | 40 | 24 | 16 | 8  | 10.26 | 25.62 | 1070.85 | 10.71 | 15.23 | 15,231.29 |
| 90+275 | 80 | 48 | 36 | 24 | 12 | 11.23 | 26.88 | 739.65  | 7.40  | 10.52 | 10,520.36 |
| 90+325 | 68 | 56 | 40 | 24 | 8  | 17.70 | 36.48 | 710.31  | 7.10  | 10.10 | 10,103.10 |
| 90+375 | 52 | 40 | 32 | 24 | 8  | 17.88 | 36.76 | 923.05  | 9.23  | 13.13 | 13,129.07 |
| 90+425 | 60 | 40 | 32 | 20 | 8  | 14.97 | 32.28 | 884.53  | 8.85  | 12.58 | 12,581.13 |
| 90+475 | 72 | 56 | 36 | 24 | 8  | 13.45 | 30.00 | 775.02  | 7.75  | 11.02 | 11,023.46 |
| 90+525 | 60 | 40 | 32 | 24 | 8  | 14.97 | 32.28 | 884.53  | 8.85  | 12.58 | 12,581.13 |
| 90+575 | 72 | 52 | 40 | 28 | 12 | 16.04 | 33.90 | 710.63  | 7.11  | 10.11 | 10,107.65 |
| 90+625 | 56 | 44 | 36 | 24 | 8  | 16.21 | 34.17 | 908.26  | 9.08  | 12.92 | 12,918.57 |
| 90+675 | 60 | 48 | 40 | 28 | 16 | 18.14 | 37.18 | 792.65  | 7.93  | 11.27 | 11,274.25 |
| 90+725 | 64 | 48 | 36 | 20 | 8  | 16.38 | 34.43 | 790.02  | 7.90  | 11.24 | 11,236.85 |
| 90+775 | 80 | 52 | 40 | 24 | 16 | 13.45 | 30.00 | 697.52  | 6.98  | 9.92  | 9,921.12  |
| 90+825 | 64 | 52 | 32 | 20 | 8  | 13.45 | 30.00 | 871.89  | 8.72  | 12.40 | 12,401.40 |
| 90+875 | 76 | 56 | 44 | 28 | 8  | 17.21 | 35.72 | 646.32  | 6.46  | 9.19  | 9,192.87  |
| 90+925 | 68 | 56 | 40 | -8 | 8  | 17.70 | 36.48 | 710.31  | 7.10  | 10.10 | 10,103.10 |
| 90+975 | 60 | 44 | 32 | 24 | 12 | 14.97 | 32.28 | 884.53  | 8.85  | 12.58 | 12,581.13 |

## ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE ABRIL

| PK (km) | CURVA DE DEFLEXION |           |           |           |          | PARAMETROS ESTRUCTURALES |       |          |      |       |          |
|---------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------------------|-------|----------|------|-------|----------|
|         | D0                 | D20       | D30       | D40       | D50      | L0                       | R5    | E0       | CBR  | MR    | MR       |
|         | (0.01 mm)          | (0.01 mm) | (0.01 mm) | (0.01 mm) | (0.01mm) | (cm)                     | (cm)  | (kg/cm2) | (%)  | (ksi) | (psi)    |
| 86+010  | 52                 | 44        | 36        | 16        | 8        | 43.21                    | 77.98 | 467.22   | 4.67 | 6.65  | 6,645.45 |
| 86+030  | 52                 | 44        | 32        | 20        | 12       | 35.13                    | 64.69 | 557.58   | 5.58 | 7.93  | 7,930.69 |
| 86+050  | 56                 | 44        | 32        | 16        | 8        | 31.38                    | 58.54 | 568.35   | 5.68 | 8.08  | 8,083.80 |
| 86+070  | 64                 | 52        | 36        | 28        | 16       | 30.68                    | 57.38 | 506.57   | 5.07 | 7.21  | 7,205.11 |
| 86+090  | 104                | 88        | 64        | 44        | 20       | 34.56                    | 63.74 | 282.67   | 2.83 | 4.02  | 4,020.49 |
| 86+110  | 76                 | 60        | 48        | 36        | 16       | 38.85                    | 70.79 | 350.42   | 3.50 | 4.98  | 4,984.20 |
| 86+130  | 72                 | 64        | 48        | 32        | 20       | 36.16                    | 66.37 | 393.12   | 3.93 | 5.59  | 5,591.49 |
| 86+150  | 116                | 92        | 60        | 40        | 16       | 27.33                    | 51.93 | 306.34   | 3.06 | 4.36  | 4,357.14 |
| 86+170  | 72                 | 56        | 36        | 28        | 12       | 26.15                    | 50.00 | 510.77   | 5.11 | 7.26  | 7,264.86 |
| 86+190  | 60                 | 48        | 36        | 24        | 12       | 33.76                    | 62.44 | 499.51   | 5.00 | 7.10  | 7,104.75 |
| 86+210  | 64                 | 48        | 32        | 20        | 8        | 26.15                    | 50.00 | 574.62   | 5.75 | 8.17  | 8,172.97 |
| 86+230  | 52                 | 40        | 28        | 20        | 8        | 28.85                    | 54.41 | 654.82   | 6.55 | 9.31  | 9,313.78 |
| 86+250  | 56                 | 48        | 36        | 28        | 16       | 41.40                    | 75.00 | 450.23   | 4.50 | 6.40  | 6,403.76 |
| 86+270  | 68                 | 52        | 36        | 28        | 12       | 28.19                    | 53.33 | 509.98   | 5.10 | 7.25  | 7,253.56 |
| 86+290  | 56                 | 40        | 28        | 20        | 12       | 26.15                    | 50.00 | 656.70   | 6.57 | 9.34  | 9,340.54 |
| 86+310  | 68                 | 56        | 40        | 28        | 12       | 32.76                    | 60.79 | 451.88   | 4.52 | 6.43  | 6,427.30 |
| 86+330  | 60                 | 44        | 32        | 20        | 8        | 28.48                    | 53.80 | 573.42   | 5.73 | 8.16  | 8,156.01 |
| 86+350  | 52                 | 40        | 28        | 16        | 8        | 28.85                    | 54.41 | 654.82   | 6.55 | 9.31  | 9,313.78 |
| 86+370  | 64                 | 44        | 28        | 16        | 8        | 22.16                    | 43.57 | 649.56   | 6.50 | 9.24  | 9,238.85 |
| 86+390  | 60                 | 48        | 28        | 20        | 12       | 23.97                    | 46.47 | 654.51   | 6.55 | 9.31  | 9,309.38 |
| 86+410  | 72                 | 60        | 48        | 32        | 20       | 36.16                    | 66.37 | 393.12   | 3.93 | 5.59  | 5,591.49 |
| 86+430  | 64                 | 48        | 32        | 20        | 8        | 26.15                    | 50.00 | 574.62   | 5.75 | 8.17  | 8,172.97 |
| 86+450  | 160                | 124       | 80        | 48        | 20       | 26.15                    | 50.00 | 229.85   | 2.30 | 3.27  | 3,269.19 |
| 86+470  | 108                | 88        | 68        | 44        | 20       | 33.34                    | 61.74 | 280.44   | 2.80 | 3.99  | 3,988.86 |
| 86+490  | 48                 | 40        | 28        | 20        | 12       | 32.35                    | 60.12 | 646.80   | 6.47 | 9.20  | 9,199.71 |
| 86+510  | 60                 | 52        | 44        | 28        | 12       | 38.19                    | 69.71 | 450.40   | 4.50 | 6.41  | 6,406.17 |
| 86+530  | 80                 | 68        | 56        | 44        | 28       | 46.69                    | 83.72 | 283.76   | 2.84 | 4.04  | 4,035.98 |
| 86+550  | 72                 | 56        | 36        | 28        | 20       | 26.15                    | 50.00 | 510.77   | 5.11 | 7.26  | 7,264.86 |
| 86+570  | 72                 | 64        | 48        | 36        | 28       | 41.40                    | 75.00 | 350.18   | 3.50 | 4.98  | 4,980.70 |
| 86+590  | 84                 | 68        | 52        | 40        | 24       | 39.09                    | 71.18 | 315.40   | 3.15 | 4.49  | 4,486.07 |

|        |     |     |     |    |    |       |       |        |      |       |           |
|--------|-----|-----|-----|----|----|-------|-------|--------|------|-------|-----------|
| 86+610 | 68  | 56  | 40  | 32 | 20 | 38.56 | 70.31 | 394.18 | 3.94 | 5.61  | 5,606.57  |
| 86+630 | 92  | 84  | 68  | 52 | 36 | 48.43 | 86.60 | 238.87 | 2.39 | 3.40  | 3,397.60  |
| 86+650 | 88  | 72  | 52  | 36 | 20 | 32.99 | 61.16 | 347.22 | 3.47 | 4.94  | 4,938.60  |
| 86+670 | 108 | 96  | 72  | 52 | 24 | 39.59 | 72.02 | 242.63 | 2.43 | 3.45  | 3,450.97  |
| 86+690 | 44  | 40  | 32  | 20 | 8  | 37.07 | 67.87 | 629.88 | 6.30 | 8.96  | 8,958.96  |
| 86+710 | 52  | 44  | 32  | 24 | 16 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 86+730 | 48  | 36  | 28  | 20 | 12 | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20  | 9,199.71  |
| 86+750 | 48  | 36  | 24  | 16 | 8  | 26.15 | 50.00 | 766.16 | 7.66 | 10.90 | 10,897.30 |
| 86+770 | 48  | 40  | 32  | 24 | 12 | 41.40 | 75.00 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 86+790 | 80  | 64  | 40  | 24 | 12 | 26.15 | 50.00 | 459.69 | 4.60 | 6.54  | 6,538.38  |
| 86+810 | 88  | 64  | 48  | 32 | 16 | 29.37 | 55.25 | 381.49 | 3.81 | 5.43  | 5,426.07  |
| 86+830 | 124 | 92  | 52  | 28 | 12 | 21.29 | 42.17 | 344.87 | 3.45 | 4.91  | 4,905.17  |
| 86+850 | 96  | 72  | 48  | 32 | 16 | 26.15 | 50.00 | 383.08 | 3.83 | 5.45  | 5,448.65  |
| 86+870 | 160 | 132 | 88  | 64 | 40 | 29.71 | 55.81 | 207.89 | 2.08 | 2.96  | 2,956.84  |
| 86+890 | 136 | 108 | 76  | 52 | 28 | 30.39 | 56.92 | 240.19 | 2.40 | 3.42  | 3,416.37  |
| 86+910 | 120 | 104 | 68  | 40 | 16 | 31.00 | 57.92 | 267.86 | 2.68 | 3.81  | 3,809.83  |
| 86+930 | 100 | 80  | 48  | 32 | 16 | 24.82 | 47.85 | 382.56 | 3.83 | 5.44  | 5,441.35  |
| 86+950 | 128 | 104 | 76  | 48 | 28 | 33.23 | 61.56 | 237.28 | 2.37 | 3.37  | 3,374.92  |
| 86+970 | 76  | 64  | 60  | 36 | 24 | 38.85 | 70.79 | 350.42 | 3.50 | 4.98  | 4,984.20  |
| 86+990 | 148 | 132 | 108 | 76 | 44 | 42.77 | 77.26 | 165.62 | 1.66 | 2.36  | 2,355.67  |
| 87+010 | 80  | 68  | 52  | 40 | 28 | 41.40 | 75.00 | 315.16 | 3.15 | 4.48  | 4,482.63  |
| 87+030 | 96  | 84  | 64  | 44 | 24 | 37.42 | 68.44 | 286.42 | 2.86 | 4.07  | 4,073.92  |
| 87+050 | 64  | 52  | 44  | 36 | 24 | 48.12 | 86.07 | 345.38 | 3.45 | 4.91  | 4,912.51  |
| 87+070 | 44  | 36  | 24  | 16 | 8  | 29.37 | 55.25 | 762.98 | 7.63 | 10.85 | 10,852.15 |
| 87+090 | 48  | 36  | 28  | 20 | 8  | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20  | 9,199.71  |
| 87+110 | 52  | 40  | 32  | 20 | 12 | 35.13 | 64.69 | 557.58 | 5.58 | 7.93  | 7,930.69  |
| 87+130 | 52  | 44  | 32  | 24 | 16 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 87+150 | 76  | 60  | 40  | 32 | 24 | 27.97 | 52.97 | 459.14 | 4.59 | 6.53  | 6,530.55  |
| 87+170 | 84  | 72  | 52  | 40 | 28 | 39.09 | 71.18 | 315.40 | 3.15 | 4.49  | 4,486.07  |
| 87+190 | 64  | 48  | 32  | 24 | 16 | 26.15 | 50.00 | 574.62 | 5.75 | 8.17  | 8,172.97  |
| 87+210 | 52  | 40  | 28  | 16 | 8  | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31  | 9,313.78  |
| 87+230 | 104 | 80  | 44  | 24 | 8  | 21.49 | 42.50 | 408.49 | 4.08 | 5.81  | 5,810.09  |
| 87+250 | 88  | 72  | 48  | 32 | 20 | 29.37 | 55.25 | 381.49 | 3.81 | 5.43  | 5,426.07  |
| 87+270 | 52  | 36  | 24  | 16 | 8  | 23.64 | 45.95 | 762.83 | 7.63 | 10.85 | 10,849.96 |
| 87+290 | 56  | 48  | 36  | 24 | 16 | 34.75 | 64.06 | 522.51 | 5.23 | 7.43  | 7,431.84  |



|        |     |    |    |    |    |       |       |        |      |       |           |
|--------|-----|----|----|----|----|-------|-------|--------|------|-------|-----------|
| 87+310 | 52  | 44 | 36 | 24 | 16 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 87+330 | 80  | 68 | 52 | 40 | 20 | 41.40 | 75.00 | 315.16 | 3.15 | 4.48  | 4,482.63  |
| 87+350 | 52  | 40 | 28 | 16 | 8  | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31  | 9,313.78  |
| 87+370 | 100 | 84 | 64 | 52 | 40 | 43.44 | 78.36 | 241.81 | 2.42 | 3.44  | 3,439.40  |
| 87+390 | 104 | 88 | 64 | 48 | 28 | 37.71 | 68.92 | 262.63 | 2.63 | 3.74  | 3,735.52  |
| 87+410 | 80  | 72 | 52 | 32 | 16 | 32.78 | 60.82 | 383.94 | 3.84 | 5.46  | 5,460.85  |
| 87+430 | 80  | 64 | 48 | 32 | 20 | 33.76 | 62.44 | 374.63 | 3.75 | 5.33  | 5,328.56  |
| 87+450 | 64  | 56 | 40 | 28 | 20 | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38  | 6,382.38  |
| 87+470 | 56  | 44 | 32 | 20 | 12 | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08  | 8,083.80  |
| 87+490 | 52  | 44 | 36 | 28 | 12 | 45.41 | 81.61 | 447.33 | 4.47 | 6.36  | 6,362.58  |
| 87+510 | 52  | 44 | 36 | 20 | 12 | 31.64 | 58.96 | 607.98 | 6.08 | 8.65  | 8,647.46  |
| 87+530 | 48  | 40 | 28 | 20 | 12 | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20  | 9,199.71  |
| 87+550 | 80  | 56 | 40 | 28 | 16 | 26.15 | 50.00 | 459.69 | 4.60 | 6.54  | 6,538.38  |
| 87+570 | 56  | 40 | 24 | 16 | 8  | 21.63 | 42.71 | 755.35 | 7.55 | 10.74 | 10,743.63 |
| 87+590 | 84  | 68 | 52 | 36 | 20 | 34.75 | 64.06 | 348.34 | 3.48 | 4.95  | 4,954.56  |
| 87+610 | 76  | 64 | 48 | 36 | 24 | 38.85 | 70.79 | 350.42 | 3.50 | 4.98  | 4,984.20  |
| 87+630 | 60  | 40 | 28 | 20 | 12 | 23.97 | 46.47 | 654.51 | 6.55 | 9.31  | 9,309.38  |
| 87+650 | 104 | 64 | 40 | 24 | 8  | 15.02 | 32.34 | 509.54 | 5.10 | 7.25  | 7,247.40  |
| 87+670 | 96  | 76 | 56 | 32 | 16 | 32.35 | 60.12 | 323.40 | 3.23 | 4.60  | 4,599.85  |
| 87+690 | 48  | 36 | 28 | 20 | 12 | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20  | 9,199.71  |
| 87+710 | 52  | 44 | 32 | 24 | 12 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 87+730 | 56  | 44 | 32 | 20 | 12 | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08  | 8,083.80  |
| 87+750 | 68  | 56 | 36 | 24 | 12 | 28.19 | 53.33 | 509.98 | 5.10 | 7.25  | 7,253.56  |
| 87+770 | 92  | 64 | 52 | 28 | 12 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98  | 4,984.24  |
| 87+790 | 40  | 32 | 24 | 16 | 8  | 33.76 | 62.44 | 749.27 | 7.49 | 10.66 | 10,657.12 |
| 87+810 | 60  | 48 | 32 | 24 | 16 | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16  | 8,156.01  |
| 87+830 | 68  | 52 | 32 | 24 | 12 | 24.22 | 46.87 | 573.09 | 5.73 | 8.15  | 8,151.27  |
| 87+850 | 72  | 56 | 40 | 24 | 16 | 30.14 | 56.50 | 456.75 | 4.57 | 6.50  | 6,496.55  |
| 87+870 | 68  | 56 | 40 | 28 | 16 | 32.76 | 60.79 | 451.88 | 4.52 | 6.43  | 6,427.30  |
| 87+890 | 84  | 68 | 44 | 24 | 16 | 27.79 | 52.68 | 417.51 | 4.18 | 5.94  | 5,938.39  |

|        |     |     |     |    |    |       |       |        |      |       |           |
|--------|-----|-----|-----|----|----|-------|-------|--------|------|-------|-----------|
| 87+910 | 80  | 64  | 48  | 32 | 12 | 33.76 | 62.44 | 374.63 | 3.75 | 5.33  | 5,328.56  |
| 87+930 | 52  | 44  | 28  | 20 | 12 | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31  | 9,313.78  |
| 87+950 | 56  | 44  | 36  | 24 | 16 | 34.75 | 64.06 | 522.51 | 5.23 | 7.43  | 7,431.84  |
| 87+970 | 60  | 52  | 32  | 20 | 12 | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16  | 8,156.01  |
| 87+990 | 56  | 48  | 32  | 16 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08  | 8,083.80  |
| 88+010 | 48  | 40  | 28  | 20 | 12 | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20  | 9,199.71  |
| 88+030 | 76  | 60  | 44  | 28 | 16 | 31.99 | 59.53 | 412.28 | 4.12 | 5.86  | 5,863.95  |
| 88+050 | 52  | 40  | 24  | 16 | 8  | 23.64 | 45.95 | 762.83 | 7.63 | 10.85 | 10,849.96 |
| 88+070 | 56  | 48  | 32  | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08  | 8,083.80  |
| 88+090 | 68  | 52  | 32  | 20 | 12 | 24.22 | 46.87 | 573.09 | 5.73 | 8.15  | 8,151.27  |
| 88+110 | 84  | 68  | 36  | 24 | 16 | 21.63 | 42.71 | 503.57 | 5.04 | 7.16  | 7,162.42  |
| 88+130 | 52  | 44  | 32  | 24 | 16 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47  | 7,471.05  |
| 88+150 | 56  | 48  | 36  | 28 | 16 | 41.40 | 75.00 | 450.23 | 4.50 | 6.40  | 6,403.76  |
| 88+170 | 80  | 64  | 40  | 20 | 12 | 26.15 | 50.00 | 459.69 | 4.60 | 6.54  | 6,538.38  |
| 88+190 | 52  | 44  | 28  | 20 | 12 | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31  | 9,313.78  |
| 88+210 | 72  | 52  | 32  | 16 | 8  | 22.58 | 44.24 | 569.63 | 5.70 | 8.10  | 8,102.00  |
| 88+230 | 60  | 44  | 28  | 20 | 12 | 23.97 | 46.47 | 654.51 | 6.55 | 9.31  | 9,309.38  |
| 88+250 | 72  | 56  | 36  | 24 | 12 | 26.15 | 50.00 | 510.77 | 5.11 | 7.26  | 7,264.86  |
| 88+270 | 84  | 72  | 48  | 24 | 16 | 31.38 | 58.54 | 378.90 | 3.79 | 5.39  | 5,389.20  |
| 88+290 | 76  | 68  | 56  | 40 | 20 | 44.11 | 79.46 | 313.99 | 3.14 | 4.47  | 4,466.00  |
| 88+310 | 56  | 48  | 32  | 24 | 16 | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08  | 8,083.80  |
| 88+330 | 52  | 40  | 24  | 16 | 8  | 23.64 | 45.95 | 762.83 | 7.63 | 10.85 | 10,849.96 |
| 88+350 | 76  | 56  | 32  | 16 | 8  | 21.38 | 42.32 | 560.99 | 5.61 | 7.98  | 7,979.21  |
| 88+370 | 80  | 64  | 36  | 24 | 16 | 22.92 | 44.79 | 507.14 | 5.07 | 7.21  | 7,213.24  |
| 88+390 | 140 | 112 | 60  | 36 | 12 | 21.63 | 42.71 | 302.14 | 3.02 | 4.30  | 4,297.45  |
| 88+410 | 96  | 80  | 48  | 24 | 12 | 26.15 | 50.00 | 383.08 | 3.83 | 5.45  | 5,448.65  |
| 88+430 | 148 | 124 | 100 | 68 | 28 | 37.52 | 68.61 | 185.35 | 1.85 | 2.64  | 2,636.35  |
| 88+450 | 112 | 88  | 56  | 32 | 20 | 26.15 | 50.00 | 328.35 | 3.28 | 4.67  | 4,670.27  |
| 88+470 | 68  | 52  | 28  | 20 | 8  | 20.89 | 41.53 | 637.32 | 6.37 | 9.06  | 9,064.77  |
| 88+490 | 84  | 68  | 40  | 20 | 8  | 24.57 | 47.46 | 458.86 | 4.59 | 6.53  | 6,526.49  |

|        |     |     |    |    |    |       |       |        |      |      |          |
|--------|-----|-----|----|----|----|-------|-------|--------|------|------|----------|
| 88+510 | 92  | 68  | 36 | 16 | 8  | 19.83 | 39.84 | 488.00 | 4.88 | 6.94 | 6,941.05 |
| 88+530 | 80  | 56  | 28 | 16 | 8  | 17.82 | 36.66 | 601.26 | 6.01 | 8.55 | 8,551.90 |
| 88+550 | 92  | 64  | 32 | 20 | 12 | 17.71 | 36.50 | 524.69 | 5.25 | 7.46 | 7,462.85 |
| 88+570 | 108 | 80  | 52 | 24 | 12 | 24.92 | 48.01 | 353.20 | 3.53 | 5.02 | 5,023.62 |
| 88+590 | 92  | 72  | 44 | 24 | 12 | 24.71 | 47.67 | 417.26 | 4.17 | 5.93 | 5,934.77 |
| 88+610 | 104 | 84  | 44 | 36 | 16 | 21.49 | 42.50 | 408.49 | 4.08 | 5.81 | 5,810.09 |
| 88+630 | 104 | 88  | 68 | 48 | 28 | 37.71 | 68.92 | 262.63 | 2.63 | 3.74 | 3,735.52 |
| 88+650 | 88  | 72  | 48 | 28 | 20 | 29.37 | 55.25 | 381.49 | 3.81 | 5.43 | 5,426.07 |
| 88+670 | 100 | 80  | 52 | 36 | 20 | 27.52 | 52.24 | 353.40 | 3.53 | 5.03 | 5,026.47 |
| 88+690 | 76  | 60  | 44 | 28 | 16 | 31.99 | 59.53 | 412.28 | 4.12 | 5.86 | 5,863.95 |
| 88+710 | 72  | 52  | 32 | 20 | 12 | 22.58 | 44.24 | 569.63 | 5.70 | 8.10 | 8,102.00 |
| 88+730 | 56  | 44  | 32 | 16 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 88+750 | 60  | 48  | 36 | 24 | 12 | 33.76 | 62.44 | 499.51 | 5.00 | 7.10 | 7,104.75 |
| 88+770 | 100 | 76  | 52 | 32 | 20 | 27.52 | 52.24 | 353.40 | 3.53 | 5.03 | 5,026.47 |
| 88+790 | 52  | 40  | 32 | 24 | 16 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47 | 7,471.05 |
| 88+810 | 48  | 40  | 32 | 16 | 8  | 40.25 | 73.10 | 538.21 | 5.38 | 7.66 | 7,655.09 |
| 88+830 | 92  | 76  | 52 | 32 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 88+850 | 60  | 48  | 40 | 24 | 16 | 32.78 | 60.82 | 511.91 | 5.12 | 7.28 | 7,281.13 |
| 88+870 | 60  | 48  | 40 | 24 | 16 | 32.78 | 60.82 | 511.91 | 5.12 | 7.28 | 7,281.13 |
| 88+890 | 60  | 44  | 32 | 24 | 16 | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16 | 8,156.01 |
| 88+910 | 96  | 72  | 60 | 48 | 24 | 41.40 | 75.00 | 262.63 | 2.63 | 3.74 | 3,735.53 |
| 88+930 | 72  | 56  | 40 | 28 | 12 | 30.14 | 56.50 | 456.75 | 4.57 | 6.50 | 6,496.55 |
| 88+950 | 76  | 64  | 48 | 28 | 16 | 36.65 | 67.18 | 368.18 | 3.68 | 5.24 | 5,236.78 |
| 88+970 | 80  | 60  | 40 | 24 | 12 | 26.15 | 50.00 | 459.69 | 4.60 | 6.54 | 6,538.38 |
| 88+990 | 88  | 72  | 52 | 32 | 20 | 32.99 | 61.16 | 347.22 | 3.47 | 4.94 | 4,938.60 |
| 89+010 | 120 | 100 | 80 | 60 | 40 | 41.40 | 75.00 | 210.11 | 2.10 | 2.99 | 2,988.42 |
| 89+030 | 56  | 44  | 28 | 16 | 8  | 26.15 | 50.00 | 656.70 | 6.57 | 9.34 | 9,340.54 |
| 89+050 | 88  | 72  | 44 | 28 | 16 | 26.15 | 50.00 | 417.90 | 4.18 | 5.94 | 5,943.98 |
| 89+070 | 84  | 68  | 44 | 28 | 20 | 27.79 | 52.68 | 417.51 | 4.18 | 5.94 | 5,938.39 |
| 89+090 | 72  | 56  | 32 | 24 | 16 | 22.58 | 44.24 | 569.63 | 5.70 | 8.10 | 8,102.00 |

|        |     |     |    |    |    |       |       |        |      |      |          |
|--------|-----|-----|----|----|----|-------|-------|--------|------|------|----------|
| 89+110 | 128 | 100 | 72 | 48 | 24 | 30.68 | 57.38 | 253.28 | 2.53 | 3.60 | 3,602.55 |
| 89+130 | 96  | 76  | 56 | 28 | 16 | 32.35 | 60.12 | 323.40 | 3.23 | 4.60 | 4,599.85 |
| 89+150 | 88  | 72  | 48 | 36 | 24 | 29.37 | 55.25 | 381.49 | 3.81 | 5.43 | 5,426.07 |
| 89+170 | 72  | 56  | 32 | 16 | 8  | 22.58 | 44.24 | 569.63 | 5.70 | 8.10 | 8,102.00 |
| 89+190 | 160 | 120 | 60 | 40 | 20 | 19.02 | 38.55 | 288.45 | 2.88 | 4.10 | 4,102.71 |
| 89+210 | 108 | 88  | 52 | 36 | 16 | 24.92 | 48.01 | 353.20 | 3.53 | 5.02 | 5,023.62 |
| 89+230 | 124 | 104 | 76 | 44 | 28 | 34.91 | 64.32 | 235.09 | 2.35 | 3.34 | 3,343.72 |
| 89+250 | 120 | 104 | 72 | 40 | 28 | 33.76 | 62.44 | 249.76 | 2.50 | 3.55 | 3,552.37 |
| 89+270 | 104 | 88  | 64 | 40 | 24 | 35.13 | 64.69 | 278.79 | 2.79 | 3.97 | 3,965.35 |
| 89+290 | 80  | 64  | 48 | 32 | 20 | 33.76 | 62.44 | 374.63 | 3.75 | 5.33 | 5,328.56 |
| 89+310 | 96  | 80  | 60 | 44 | 20 | 37.42 | 68.44 | 286.42 | 2.86 | 4.07 | 4,073.92 |
| 89+330 | 60  | 48  | 28 | 20 | 12 | 23.97 | 46.47 | 654.51 | 6.55 | 9.31 | 9,309.38 |
| 89+350 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+370 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+390 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+410 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+430 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+450 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+470 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+490 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+510 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+530 | 56  | 44  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+550 | 68  | 56  | 40 | 28 | 12 | 32.76 | 60.79 | 451.88 | 4.52 | 6.43 | 6,427.30 |
| 89+570 | 80  | 64  | 48 | 32 | 12 | 33.76 | 62.44 | 374.63 | 3.75 | 5.33 | 5,328.56 |
| 89+590 | 84  | 64  | 48 | 28 | 8  | 31.38 | 58.54 | 378.90 | 3.79 | 5.39 | 5,389.20 |
| 89+610 | 76  | 60  | 48 | 28 | 16 | 36.65 | 67.18 | 368.18 | 3.68 | 5.24 | 5,236.78 |
| 89+630 | 56  | 48  | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+650 | 48  | 44  | 28 | 20 | 8  | 32.35 | 60.12 | 646.80 | 6.47 | 9.20 | 9,199.71 |
| 89+670 | 52  | 44  | 28 | 16 | 4  | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31 | 9,313.78 |
| 89+690 | 56  | 48  | 36 | 24 | 16 | 34.75 | 64.06 | 522.51 | 5.23 | 7.43 | 7,431.84 |
| 89+710 | 72  | 60  | 48 | 36 | 12 | 41.40 | 75.00 | 350.18 | 3.50 | 4.98 | 4,980.70 |

|        |    |    |    |    |    |       |       |        |      |      |          |
|--------|----|----|----|----|----|-------|-------|--------|------|------|----------|
| 89+730 | 84 | 68 | 52 | 36 | 16 | 34.75 | 64.06 | 348.34 | 3.48 | 4.95 | 4,954.56 |
| 89+750 | 80 | 60 | 44 | 24 | 8  | 29.71 | 55.81 | 415.77 | 4.16 | 5.91 | 5,913.68 |
| 89+770 | 56 | 48 | 28 | 16 | 8  | 26.15 | 50.00 | 656.70 | 6.57 | 9.34 | 9,340.54 |
| 89+790 | 60 | 48 | 36 | 24 | 12 | 33.76 | 62.44 | 499.51 | 5.00 | 7.10 | 7,104.75 |
| 89+810 | 72 | 56 | 44 | 24 | 12 | 34.75 | 64.05 | 406.45 | 4.06 | 5.78 | 5,781.01 |
| 89+830 | 52 | 48 | 32 | 24 | 12 | 37.71 | 68.92 | 525.27 | 5.25 | 7.47 | 7,471.05 |
| 89+850 | 56 | 48 | 32 | 16 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+870 | 60 | 52 | 40 | 24 | 12 | 32.78 | 60.82 | 511.91 | 5.12 | 7.28 | 7,281.13 |
| 89+890 | 72 | 60 | 48 | 28 | 12 | 31.95 | 59.47 | 435.60 | 4.36 | 6.20 | 6,195.63 |
| 89+910 | 60 | 52 | 32 | 20 | 8  | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16 | 8,156.01 |
| 89+930 | 84 | 68 | 52 | 36 | 8  | 34.75 | 64.06 | 348.34 | 3.48 | 4.95 | 4,954.56 |
| 89+950 | 60 | 52 | 40 | 28 | 8  | 38.19 | 69.71 | 450.40 | 4.50 | 6.41 | 6,406.17 |
| 89+970 | 56 | 48 | 32 | 20 | 8  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 89+990 | 72 | 60 | 40 | 20 | 8  | 30.14 | 56.50 | 456.75 | 4.57 | 6.50 | 6,496.55 |
| 90+010 | 80 | 56 | 36 | 16 | 8  | 22.92 | 44.79 | 507.14 | 5.07 | 7.21 | 7,213.24 |
| 90+030 | 64 | 52 | 44 | 28 | 8  | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |
| 90+050 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+070 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+090 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+110 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+130 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+150 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+170 | 92 | 68 | 52 | 24 | 16 | 30.89 | 57.73 | 350.43 | 3.50 | 4.98 | 4,984.24 |
| 90+190 | 64 | 56 | 40 | 28 | 8  | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |
| 90+210 | 64 | 52 | 44 | 28 | 8  | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |
| 90+230 | 56 | 48 | 32 | 16 | 4  | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 90+250 | 52 | 44 | 32 | 16 | 8  | 35.13 | 64.69 | 557.58 | 5.58 | 7.93 | 7,930.69 |
| 90+270 | 60 | 48 | 36 | 20 | 4  | 33.76 | 62.44 | 499.51 | 5.00 | 7.10 | 7,104.75 |
| 90+290 | 52 | 44 | 28 | 16 | 8  | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31 | 9,313.78 |
| 90+310 | 64 | 52 | 44 | 28 | 8  | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |

|        |    |    |    |    |    |       |       |        |      |      |          |
|--------|----|----|----|----|----|-------|-------|--------|------|------|----------|
| 90+410 | 72 | 64 | 40 | 20 | 8  | 30.14 | 56.50 | 456.75 | 4.57 | 6.50 | 6,496.55 |
| 90+430 | 84 | 68 | 48 | 20 | 12 | 31.38 | 58.54 | 378.90 | 3.79 | 5.39 | 5,389.20 |
| 90+450 | 88 | 64 | 48 | 20 | 12 | 29.37 | 55.25 | 381.49 | 3.81 | 5.43 | 5,426.07 |
| 90+470 | 76 | 68 | 52 | 36 | 8  | 38.85 | 70.79 | 350.42 | 3.50 | 4.98 | 4,984.20 |
| 90+490 | 84 | 72 | 52 | 20 | 12 | 35.47 | 65.24 | 342.43 | 3.42 | 4.87 | 4,870.47 |
| 90+510 | 52 | 44 | 28 | 16 | 8  | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31 | 9,313.78 |
| 90+530 | 64 | 56 | 44 | 28 | 8  | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |
| 90+550 | 60 | 48 | 36 | 20 | 4  | 33.76 | 62.44 | 499.51 | 5.00 | 7.10 | 7,104.75 |
| 90+570 | 72 | 56 | 44 | 36 | 8  | 41.40 | 75.00 | 350.18 | 3.50 | 4.98 | 4,980.70 |
| 90+590 | 68 | 56 | 40 | 24 | 12 | 32.76 | 60.79 | 451.88 | 4.52 | 6.43 | 6,427.30 |
| 90+610 | 68 | 60 | 44 | 28 | 8  | 33.67 | 62.29 | 441.75 | 4.42 | 6.28 | 6,283.10 |
| 90+630 | 60 | 48 | 32 | 20 | 8  | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16 | 8,156.01 |
| 90+650 | 56 | 44 | 36 | 20 | 8  | 37.76 | 69.00 | 487.23 | 4.87 | 6.93 | 6,930.09 |
| 90+670 | 48 | 40 | 32 | 16 | 8  | 40.25 | 73.10 | 538.21 | 5.38 | 7.66 | 7,655.09 |
| 90+690 | 72 | 56 | 40 | 24 | 12 | 30.14 | 56.50 | 456.75 | 4.57 | 6.50 | 6,496.55 |
| 90+710 | 64 | 52 | 36 | 24 | 8  | 30.68 | 57.38 | 506.57 | 5.07 | 7.21 | 7,205.11 |
| 90+730 | 56 | 48 | 32 | 20 | 12 | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 90+750 | 80 | 64 | 48 | 32 | 12 | 33.76 | 62.44 | 374.63 | 3.75 | 5.33 | 5,328.56 |
| 90+770 | 52 | 44 | 36 | 20 | 12 | 31.64 | 58.96 | 607.98 | 6.08 | 8.65 | 8,647.46 |
| 90+790 | 60 | 48 | 32 | 24 | 12 | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16 | 8,156.01 |
| 90+810 | 76 | 60 | 44 | 24 | 16 | 31.99 | 59.53 | 412.28 | 4.12 | 5.86 | 5,863.95 |
| 90+830 | 52 | 44 | 28 | 20 | 12 | 28.85 | 54.41 | 654.82 | 6.55 | 9.31 | 9,313.78 |
| 90+850 | 52 | 44 | 32 | 16 | 12 | 35.13 | 64.69 | 557.58 | 5.58 | 7.93 | 7,930.69 |
| 90+870 | 56 | 48 | 32 | 24 | 12 | 31.38 | 58.54 | 568.35 | 5.68 | 8.08 | 8,083.80 |
| 90+890 | 60 | 48 | 32 | 20 | 8  | 28.48 | 53.80 | 573.42 | 5.73 | 8.16 | 8,156.01 |
| 90+910 | 52 | 44 | 32 | 20 | 8  | 35.13 | 64.69 | 557.58 | 5.58 | 7.93 | 7,930.69 |
| 90+930 | 64 | 52 | 28 | 16 | 8  | 22.16 | 43.57 | 649.56 | 6.50 | 9.24 | 9,238.85 |
| 90+950 | 56 | 48 | 36 | 24 | 16 | 34.75 | 64.06 | 522.51 | 5.23 | 7.43 | 7,431.84 |
| 90+970 | 60 | 48 | 36 | 20 | 12 | 33.76 | 62.44 | 499.51 | 5.00 | 7.10 | 7,104.75 |
| 90+990 | 64 | 56 | 40 | 28 | 12 | 35.54 | 65.35 | 448.73 | 4.49 | 6.38 | 6,382.38 |

## ANEXO 6: DISEÑO DE PAVIMENTOS CONSIDERANDO EL FACTOR ESTACIONAL.

### DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO 1993

**PROYECTO** : Tramo 02 de la carretera Vizcachani-Sibayo-Caylloma, de la Provincia de Caylloma , Arequipa.

#### DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :

##### 1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES

|  | DATOS  |
|--|--------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi) | 430.00 |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)     | 30.00  |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)          | 15.00  |

##### 2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE

|   |                 |
|---|-----------------|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)          | <b>1.35E+06</b> |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                      | <b>80%</b>      |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                        | <b>-0.841</b>   |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So)                     | <b>0.45</b>     |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) | <b>10.17</b>    |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                     | <b>4.2</b>      |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                       | <b>2.0</b>      |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                         | <b>10</b>       |

##### 3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO

|   |      |
|---|------|
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA             |      |
| Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> ) | 0.44 |
| Base granular (a <sub>2</sub> )                   | 0.14 |
| Subbase (a <sub>3</sub> )                         | 0.11 |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                |      |
| Base granular (m <sub>2</sub> )                   | 0.80 |
| Subbase (m <sub>3</sub> )                         | 0.80 |


#### DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :

|  |             |
|--|-------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )  | <b>2.92</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> ) | <b>1.96</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )     | <b>0.58</b> |
| NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )          | <b>0.38</b> |

#### ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

|                                | TEORICO | PROPUESTO | ADOPTADO | SN <sub>FINAL</sub> |
|--------------------------------|---------|-----------|----------|---------------------|
| ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm) | 11.3    | 11.0      | 20.0     | 3.46                |
| ESPESOR BASE GRANULAR (cm)     | 8.4     | 15.0      | 20.0     | 1.38                |
| ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm) | 7.0     | 15.0      | 20.0     | 1.08                |
| ESPESOR TOTAL (cm)             |         | 41.0      |          | <b>5.93</b>         |

**ANEXO 7: DISEÑO DE PAVIMENTOS EXPEDIENTE TECNICO DEL PROYECTO  
“MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VISCACHANI-CALLALLI-SIBAYO-CAYLLOMA,  
PROVINCIA CAYLLOMA, REGION AREQUIPA “**

|  |  |  |
|--|--|--|
| <br>GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA | <b>ESTUDIO DEFINITIVO<br/>MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VISCACHANI-CALLALLI-<br/>SIBAYO-CAYLLOMA, PROVINCIA CAYLLOMA, REGION<br/>AREQUIPA</b> |  |
| <b>MEMORIA DESCRIPTIVA</b>   |  |  |

### **C. TRABAJOS EN GABINETE**

En base a los resultados de los ensayos de laboratorio y de las prospecciones realizadas en campo se realizo la descripción de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento existente, siendo:

#### **C.3 Subrasante**

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos en laboratorio:

Se obtuvieron los siguientes valores:

#### **Carretera: Viscachani – Sibayo**

|   | <b>SUBSECTOR<br/>(km – km)</b> | <b>CBR (%) al<br/>95% de MDS</b> | <b>M<sub>R</sub> (psi)</b> |
|---|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1 | 00+000 – 56+000                | 34.15                            | 24,477                     |

Fuente: Consorcio Vial Caylloma

#### **Carretera: Sibayo - Caylloma**

|   | <b>SUBSECTOR<br/>(km – km)</b> | <b>CBR (%) al<br/>95% de MDS</b> | <b>M<sub>R</sub> (psi)</b> |
|---|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1 | 56+000 – 120+000               | 28.14                            | 21,625                     |

Fuente: Consorcio Vial Caylloma





**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 80 %  $Z_r = -0.841$     $S_o = 0.45$

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial    PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 $M_r = 24447$  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)    Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)    Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN    $W_{18} = 1350000$   
 Calcular  $W_{18}$

Número Estructural  
 $SN = 2.12$

Donde utilizando la ecuación del AASHTO 1993 se obtiene:

**N=2.12 (Numero Estructural)**

**10.3 CALCULO DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

Según recomendaciones del Manual de Suelos, Geología, geotecnia y pavimentos de MTC 2013, cuadros 12.13 y 12.18. indica limitante el uso de Tratamiento Superficial Bicapa en pendientes mayores a 8%, en contra curvas y en curvas de volteo.

Por lo tanto realizaremos diseños para 02 tramos.

- Tramo I = 36+920 A 49+000
- Tramo II = 89+240 A 116+000

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO I**

|                |       |
|----------------|-------|
| SN diseño =    | 2.010 |
| SN requerido = | 2.715 |

Alternativas

|      |       |      |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|
| a1 = | 0.17  | D1 = | 7.50 | m2 = | 0.80 |
| a2 = | 0.06  | D2 = | 15.0 | m3 = | 0.80 |
| a3 = | 0.045 | D3 = | 20.0 |      |      |

carpeta  
base  
sub base



GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

## DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO II

|                |       |
|----------------|-------|
| SN diseño =    | 2.120 |
| SN requerido = | 2.715 |

Alternativas

|      |       |      |      |           |
|------|-------|------|------|-----------|
| a1 = | 0.17  | D1 = | 7.50 |           |
| a2 = | 0.06  | D2 = | 15.0 | m2 = 0.80 |
| a3 = | 0.045 | D3 = | 20.0 | m3 = 0.80 |

carpeta  
base  
sub base

Por otro lado tomando en cuenta, las recomendaciones del Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito del Ministerio de Transportes y Comunicación según cuadro siguiente:

**Cuadro 5.6.6**  
**Tipos de superficie de rodadura y espesores mínimos deseables**

| Número de repeticiones de EE de 8.2 t | Superficie de rodadura deseable   |
|---------------------------------------|---|
| 50,000 < Rep. EE ≤ 150,000            | Tratamiento Superficial Bicapa (TSB)  |
| 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000           | Carpeta Asfáltica en frío, con asfalto emulsionado.<br>Espesor min. 5 cm. (o 2 capas de 2.5 cm) |
| 300,000 < Rep. EE ≤ 600,000           | Carpeta asfáltica en caliente<br>Espesor min. 6 cm.   |
| 600,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000         | Carpeta asfáltica en caliente<br>Espesor min. 7.5 cm.   |

Tomando en cuenta el Método de Cálculo del diseño de Pavimento, recomendaciones del MTC, aunado a eso se tiene que el tráfico en la vía ha incrementado como producto de la construcción de la Presa Angostura, por lo que se recomienda los siguientes espesores del pavimento:

Espesor de la Capa Subbase = **8.00 pulg.**  
Espesor de la Capa Base = **6.00 pulg.**  
Espesor de la carpeta de rodadura en caliente (MAC) = **3.00 pulg.**

**ANEXO 8: DISEÑO DE PAVIMENTOS –VERIFICACION DISEÑO DEL EXPEDIENTE TECNICO DEL PROYECTO.**

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
METODO AASHTO 1993**

**PROYECTO** : Tramo 02 de la carretera Vizcachani-Sibayo-Caylloma, de la Provincia de Caylloma , Arequipa.

**DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :**

**1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES**

|  | <b>DATOS</b> |
|--|--------------|
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi) | 430.00       |
| B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)     | 30.00        |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)          | 15.00        |

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

|   |                 |
|---|-----------------|
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)          | <b>1.35E+06</b> |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)                      | <b>80%</b>      |
| STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)                        | <b>-0.841</b>   |
| OVERALL STANDARD DEVIATION (So)                     | <b>0.45</b>     |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) | <b>21.63</b>    |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                     | <b>4.2</b>      |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                       | <b>2.0</b>      |
| F. PERIODO DE DISEÑO (Años)                         | <b>10</b>       |

**3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO**

|   |      |
|---|------|
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA             |      |
| Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> ) | 0.44 |
| Base granular (a <sub>2</sub> )                   | 0.14 |
| Subbase (a <sub>3</sub> )                         | 0.11 |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                |      |
| Base granular (m <sub>2</sub> )                   | 0.80 |
| Subbase (m <sub>3</sub> )                         | 0.80 |

**DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :**

|  |              |
|--|--------------|
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )  | <b>2.22</b>  |
| NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> ) | <b>1.96</b>  |
| NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )     | <b>0.58</b>  |
| NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )          | <b>-0.32</b> |

**ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA**

|                                | TEORICO | PROPUESTO | ADOPTADO | SN <sub>FINAL</sub> |
|--------------------------------|---------|-----------|----------|---------------------|
| ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm) | 11.3    | 11.0      | 20.0     | 3.46                |
| ESPESOR BASE GRANULAR (cm)     | 8.4     | 15.0      | 20.0     | 1.38                |
| ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm) | -5.9    | 0.0       | 20.0     | 1.08                |
| ESPESOR TOTAL (cm)             |         | 26.0      |          | <b>5.93</b>         |

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE EL FACTOR ESTACIONAL DEL MODULO RESILIENTE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.**

| Nº | VARIABLES DIMENSION E INDICADORES  | Pertinencia <sup>1</sup> |    | Relevancia <sup>2</sup> |    | Claridad <sup>3</sup> |    | Sugerencias |
|----|--|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| 1  | VARIABLE INDEPENDIENTE: Factor Estacional del Módulo Resiliente.   | <del>Si</del>            | No | <del>Si</del>           | No | <del>Si</del>         | No |             |
| 2  | DIMENSIÓN 1 .Ensayo de laboratorios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.                                   | <del>Si</del>            | No | <del>Si</del>           | No | <del>Si</del>         | No |             |
| 3  | DIMENSIÓN 2. .Ensayos insitu, mediciones de deflexiones utilizando Viga Benkelman para la obtención del Módulo Resiliente de subrasante. | <del>Si</del>            | No | <del>Si</del>           | No | <del>Si</del>         | No |             |
| 4  | VARIABLE DEPENDIENTE; Diseño de Pavimento Flexible.  | <del>Si</del>            | No | <del>Si</del>           | No | <del>Si</del>         | No |             |
| 5  | DIMENSIÓN 1: . Hoja de cálculo de la Ecuación general de AASHTO.   | <del>Si</del>            | No | <del>Si</del>           | No | <del>Si</del>         | No |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |
|    |  |                          |    |                         |    |                       |    |             |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): \_\_\_\_\_

Opinión de aplicabilidad:    **Aplicable** [  ]        **Aplicable después de corregir** [  ]        **No aplicable** [  ]

Apellidos y nombres del juez validador. Dr/ Mg: Ing. M.Sc. Jorge Richard Olarte Pinares.

DNI:40752422

Especialidad del validador: **Especialista en Ingeniería de Suelos y Pavimentos.**

<sup>1</sup>**Pertinencia:**El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



-----  
 Jorge R. Olarte Pinares  
 ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS  
 CIP: 84313  
 -----

**Firma del Experto Informante.**

**16 de Julio del 2021**