

Universidad Nacional de Cajamarca

Facultad de Ingeniería

Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil



**“ANÁLISIS DE LA DISMINUCIÓN DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RÍGIDO
ESTABILIZANDO LA SUB BASE CON CEMENTO”**

TESIS

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el bachiller:

Edwin Gerald Chalán Machuca

Asesorado por el Ingeniero:

Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú - 2018

ASPECTOS PRELIMINARES

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Alejandro Cubas Becerra por asesorarme y orientarme en el presente trabajo de investigación brindándome no solo conocimientos sino también tiempo y paciencia.

A todos mis docentes en general de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, por brindarme sus conocimientos y valores; así como también a la Universidad Nacional de Cajamarca, lugar donde sin ella no se hubiera podido lograr nada y también donde pase momentos inolvidables, conociendo a muy buenas personas que me apoyaron en todo momento.

A mis padres y hermanas que me apoyaron en toda esta etapa, estando siempre a mi lado sin importar que fuera un buen o mal momento.

A mi esposa e hijo, que supieron estar a mi lado cuando más los necesité, sin importar la hora y lugar.

A mi padrino Wilson, quien me brindó apoyo siempre, tratándome como un hijo.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo:

A mis padres, Edwin y Angélica, a mis hermanas Laura y Claudia, quienes siempre me brindaron su amor, compañía y fortaleza para salir adelante.

A Sonya, quien es un pilar muy importante en mi vida y día a día me ayuda a afrontar los problemas, brindándome su apoyo y sobre todo su amor en todo momento.

A mi hijo Bruce Evans, que, a pesar de su corta vida, es mi motor para salir adelante.

Y a todos mis familiares que estuvieron siempre pendientes de mi formación académica.

Edwin Gerald Chalán Machuca

CONTENIDO

ASPECTOS PRELIMINARES	II
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO:	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Tratamiento de suelos	10
2.2.2. Pavimento rígido	12
2.2.3. El estabilizante.....	14
2.2.4. Métodos de diseño de un pavimento rígido	16
2.3. Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ubicación geográfica	30
3.2. Tiempo de Duración de la Investigación.....	31
3.3. Procedimiento.....	31
3.4. Tratamiento	50
3.4.1. Tipo, diseño y método de investigación.....	50
3.5. Análisis de datos y presentación de resultados de la subrasante	50
3.5.1. Contenido de humedad.....	50

3.5.2. Límite líquido.	52
3.5.3. Límite plástico.....	54
3.5.4. Índice de plasticidad.	54
3.5.5. Granulometría.....	55
3.5.6. Clasificación de suelos.	57
3.5.7. Compactación Próctor modificado.	58
3.5.8. California Bearing Ratio (CBR)	60
3.6. Análisis de datos y presentación de resultados de la sub base.....	63
3.6.1. Contenido de humedad.....	63
3.6.2. Límite líquido.	63
3.6.3. Límite Plástico.	64
3.6.4. Índice de plasticidad.	64
3.6.5. Granulometría.....	64
3.6.6. Clasificación de suelos.	65
3.6.7. Resistencia al desgaste de los agregados	65
3.6.8. Compactación Próctor modificado.	66
3.6.9. California Bearing Ratio (CBR)	73
A. Espécimen sin adición de cemento	73
B. Espécimen con adición del 1% de cemento	80
C. Espécimen con adición del 2% de cemento	87
D. Espécimen con adición del 3% de cemento	94
E. Obtención del porcentaje óptimo para alcanzar un CBR de 100%.	100
3.7. Diseño del pavimento rígido por el metodo de la Portland Cement Association (PCA).	102
3.8. Análisis costo – beneficio para determinar si el uso de la sub base estabilizada es económicamente rentable.....	126
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	130

4.1. Análisis y discusión de resultados del valor de CBR.	130
4.2. Análisis y discusión de resultados del espesor de la losa.	130
4.3. Análisis y discusión de resultados del análisis costo-beneficio.	130
4.4. Contrastación de la hipótesis.....	130
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXOS.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Valores “k” de diseño para subrasante.	18
Tabla 2. 2: Valores de “k” de diseño para subrasante-sub base.	18
Tabla 2. 3: Valores de “k” de diseño para subrasante-sub base tratadas con cemento.	19
Tabla 2. 4: Tasas Anuales de Crecimiento de Tráfico y factores de Proyección Correspondientes.	21
Tabla 2. 5: Tabla para el cálculo del espesor de un pavimento rígido.	23
Tabla 2. 6 Tasas Anuales de Crecimiento de Tráfico y factores de Proyección Correspondientes.	23
Tabla 2 7: Esfuerzos equivalentes – sin berma de concreto, con respecto al espesor de la losa (Eje simple / Eje Tándem).	24
Tabla 2 8: Factor de erosión – Junta con trabazón de agregado, sin berma de concreto, con respecto al espesor de la losa (Eje Simple/Eje Tándem).	25
Tabla 3 1: Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal para ensayo de granulometría.	34
Tabla 3. 2: Tabla para clasificación del material de la sub base.	35
Tabla 3.3: Clasificación de suelos según la AASHTO.	40
Tabla 3.4: Primera letra de clasificación SUCS.	41
Tabla 3.5: Segunda letra de clasificación SUCS.	41
Tabla 3. 6: Cantidades de muestra a ensayar de acuerdo a la gradación.	43
Tabla 3. 7: Número de esferas de acuerdo a la gradación de la muestra.	44
Tabla 3. 8: Resultados contenido de humedad de la primera calicata.	51
Tabla 3. 9: Resultados contenido de humedad de la segunda calicata.	51
Tabla 3. 10: Resultados ensayo límite líquido calicata N°1.	52
Tabla 3. 11: Resultados ensayo límite líquido calicata N°2.	53
Tabla 3. 12: Resultados ensayo límite plástico de la calicata N°1.	54
Tabla 3. 13: Resultados ensayo límite plástico de la calicata N°2.	54
Tabla 3. 14: Índice de plasticidad calicata N°1.	54
Tabla 3. 15: Índice de plasticidad calicata N°2.	55
Tabla 3.16: Resultado del análisis granulométrico de la calicata N°1.	55
Tabla 3. 17: Resultado del análisis granulométrico de la calicata N°2.	56

Tabla 3. 18: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, de la subrasante.	58
Tabla 3.19: Contenido de humedad y densidad seca óptima de la subrasante.	59
Tabla 3. 20: Ensayo CBR – Compactación de la subrasante.	60
Tabla 3. 21: Ensayo CBR – EXPANSIÓN de la subrasante.	61
Tabla 3. 22: Ensayo CBR – Penetración de la subrasante.	61
Tabla 3. 23: Cálculo del % CRB de la subrasante con respecto al esfuerzo patrón.	62
Tabla 3.24: Valor del CBR de la subrasante.	63
Tabla 3. 25: Resultados ensayo contenido de humedad.	63
Tabla 3. 26: Resultados ensayo límite líquido.	63
Tabla 3. 27: Resultado del análisis granulométrico de la muestra.	64
Tabla 3. 28: Resultados del ensayo Resistencia al desgaste de los agregados.	66
Tabla 3. 29: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado sin adición de cemento.	66
Tabla 3. 30: Tabla 1: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado sin estabilizar.	67
Tabla 3. 31: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 1% de cemento.	68
Tabla 3. 32: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 1%.	69
Tabla 3. 33: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 2% de cemento.	69
Tabla 3. 34: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 2%.	70
Tabla 3. 35: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 3% de cemento.	71
Tabla 3. 36: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 3%.	72
Tabla 3. 37: Primer ensayo CBR – Compactación, sin adición de cemento.	73
Tabla 3. 38: Segundo ensayo CBR – Compactación, sin adición de cemento.	74
Tabla 3. 39: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, sin adición de cemento.	75
Tabla 3. 40: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, sin adición de cemento.	75
Tabla 3. 41: Primer ensayo CBR – Penetración, sin adición de cemento.	75

Tabla 3. 42: Cálculo del % CRB del primer ensayo sin adición de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	76
Tabla 3. 43: Segundo ensayo CBR – Penetración, sin adición de cemento.	77
Tabla 3. 44: Cálculo del % CRB del segundo ensayo sin adición de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	78
Tabla 3. 45: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos sin adición de cemento realizados.	79
Tabla 3. 46: Tabla de comparación de resultados con los parámetros del MTC.	79
Tabla 3. 47: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 1% de cemento.	80
Tabla 3. 48: Segundo ensayo CBR – Compactación, con adición del 1% de cemento.	81
Tabla 3. 49: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 1% de cemento.	82
Tabla 3. 50: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 1% de cemento.	82
Tabla 3. 51: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 1% de cemento.	82
Tabla 3. 52: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 1% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	83
Tabla 3. 53: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 1% de cemento.	84
Tabla 3. 54: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 1% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	85
Tabla 3. 55: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 1% de cemento realizado.	86
Tabla 3. 56: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 2% de cemento.	87
Tabla 3. 57: Segundo ensayo CBR – Compactación, con adición del 2% de cemento.	88
Tabla 3. 58: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 2% de cemento.	89
Tabla 3. 59: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 2% de cemento.	89
Tabla 3. 60: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 2% de cemento.	89
Tabla 3. 61: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 2% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	90
Tabla 3. 62: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 2% de cemento.	91
Tabla 3. 63: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 2% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	92

Tabla 3. 64: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 2% de cemento realizado.	93
Tabla 3. 65: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 3% de cemento.	94
Tabla 3. 66: Segundo ensayo CBR – Compactación, con adición del 3% de cemento.	95
Tabla 3. 67: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 3% de cemento.	96
Tabla 3. 68: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 3% de cemento.	96
Tabla 3. 69: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 3% de cemento.	96
Tabla 3. 70: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 3% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	97
Tabla 3. 71: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 3% de cemento.	98
Tabla 3. 72: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 3% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.	99
Tabla 3. 73: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 3% de cemento realizado.	100
Tabla 3. 74: Valor de CBR de acuerdo a su cantidad de cemento adicionada.	100
Tabla 3. 75: Conteo de vehículos de acuerdo al tipo.	105
Tabla 3. 76: Numero de vehículos por tipo.	109
Tabla 3. 77: Número de repeticiones por peso del eje en Tn	109
Tabla 3. 78: Número de repeticiones por peso del eje en Kips	110
Tabla 3. 79: Peso por eje de los vehículos usados en la presente investigación.	110
Tabla 3. 80: Cálculo del espesor de losa utilizando una sub base sin estabilizar.	115
Tabla 3. 81: Cálculo del espesor de losa utilizando una sub base estabilizada con cemento.	120
Tabla 3. 82: Cuadro de resumen de los espesores de la losa.	121
Tabla 3. 83 Cálculo de ejes equivalentes	122
Tabla 3. 84: Tipo de tráfico en función a sus EE.	122
Tabla 3. 85: Nivel de serviciabilidad de acuerdo al tráfico.	122
Tabla 3. 86: Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal de acuerdo al tráfico.	122
Tabla 3. 87: Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño.	124
Tabla 3. 88: Coeficiente de transferencia de carga.	125

Tabla 3. 89: Ancho de calzada de una vía, según su clasificación por su IMDA.	126
Tabla 3. 90: Tablas de dosificación de cemento en volumen para concretos de diferente resistencia a la compresión de acuerdo a su Tamaño Máximo Nominal.	127
Tabla 3. 91: Metrados del pavimento, con sub base sin estabilizar y con sub base estabilizada.	127
Tabla 3. 92: Materiales necesarios para la sub base por metro cuadrado.	128
Tabla 3. 93: Materiales necesarios para la losa de concreto por metro cuadrado.	128
Tabla 3. 94: Análisis de costos entre los 2 pavimentos diseñados.	128
Tabla 3. 95: Costos comparado en %, tomando el precio de la sub base sin estabilizar el 100%.	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Porcentaje de carreteras pavimentadas en el año 2010 y proyección a futuro.	2
Figura 1.2: Fallas que presentan los pavimentos rígidos en nuestra ciudad.	4
Figura 2. 1: Sección típica de un pavimento rígido.	14
Figura 2. 2: Análisis por fatiga, numero permisible de repeticiones de carga basados en el factor de relación de esfuerzos (con o sin berma de concreto).....	26
Figura 2. 3: Análisis por fatiga, numero permisible de repeticiones de carga basados en el factor de relación de esfuerzos (con o sin berma de concreto).....	27
Figura 2. 4: Gráfica tipo para el cálculo del índice de CBR.	49
Figura 3. 1: Mapa departamental, provincial y distrital de Cajamarca.	30
Figura 3. 2: Av Industrial, tramo entre las Av. San Martin y Av. Vía de Evitamiento.	31
Figura 3 3: Aparato de Casagrande.	36
Figura 3. 4: Cuadro de clasificación SUCS.	42
Figura 3. 5: N° de golpes vs contenido de humedad primera calicata.	52
Figura 3.6: N° de golpes vs contenido de humedad segunda calicata.	53
Figura 3. 7: Curva granulométrica de la calicata N°1.	56
Figura 3. 8: Curva granulométrica de la Calicata N°2.	57
Figura 3. 9: Curva contenido de humedad vs densidad seca de la subrasante.	58
Figura 3. 10: Curva esfuerzo vs deformación de la subrasante.	62

Figura 3. 11: Curva del ensayo CBR vs Densidad Seca para obtener el valor del CBR de la subrasante.	62
Figura 3. 12: Curva granulométrica y usos granulométricos que nos da el MTC.	65
Figura 3. 13: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado sin estabilizar.	67
Figura 3. 14: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 1% de cemento.	68
Figura 3. 15: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 2% de cemento.	70
Figura 3. 16: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 3% de cemento.	71
Figura 3. 17: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo sin adición de cemento.	76
Figura 3. 18: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado sin adición de cemento.	77
Figura 3. 19: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo sin adición de cemento.	78
Figura 3. 20: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado sin adición de cemento.	79
Figura 3. 21: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 1% de cemento.	83
Figura 3. 22: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 1% de cemento.	84
Figura 3. 23: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 1% de cemento.	85
Figura 3. 24: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 1% de cemento.	86
Figura 3. 25: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 2% de cemento.	90
Figura 3. 26: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 2% de cemento.	91
Figura 3. 27: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 2% de cemento.	92

Figura 3. 28: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 2% de cemento.	93
Figura 3. 29: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 3% de cemento.	97
Figura 3. 30: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 3% de cemento.	98
Figura 3. 31: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 3% de cemento.	99
Figura 3. 32: Curva del segundo ensayo CBR vs Densidad Seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 3% de cemento.	100
Figura 3. 33: Curva para obtener el porcentaje óptimo de cemento para alcanzar un valor de CBR del 100%.	101
Figura 3. 34. Relación aproximada entre los valores k y otras propiedades del suelo.	123

RESUMEN

Uno de los principales problemas que se presentan muy a menudo en los pavimentos rígidos, es la falla de la losa de concreto hidráulico, esto se debe principalmente al sub dimensionamiento de dicha capa o al no contar con el material adecuado para conformar las capas que lo soportan (sub base o subrasante), este problema deriva a que algunas empresas ejecutoras sobredimensionen las losas para asegurar que cumplan con su periodo de diseño, generando así grandes pérdidas económicas en la construcción del pavimento; en la presente investigación se planteó una solución para dicho problema la cual fue estabilizar los materiales que conforman la capa sub base con cemento, para mejorar la capacidad de soporte de dicha capa y disminuir el espesor de la losa de concreto. Nuestro objetivo principal fue analizar la disminución del espesor de un pavimento rígido, después de estabilizar su sub base con cemento, para lo cual utilizamos el tramo de la Av. Industrial entre las Av. San Martín y Av. Vía de Evitamiento, de donde se obtuvo el estudio del tráfico y además las muestras respectivas de suelos para el estudio de sus propiedades, también se utilizó la cantera del río Chonta como la abastecedora del material que conformó la capa sub base. Dicho lo anterior, esta investigación se basó en realizar pruebas de experimentación directa para encontrar los diferentes valores de CBR de la sub base con diferentes cantidades de adición de cemento, determinando así que para llegar a un CBR de 100% se necesitó una adición de cemento del 1.12 % con respecto al peso del agregado que se utilizó, seguidamente se realizó el diseño del pavimento rígido con el método de la PCA obteniendo los espesores de la losa de concreto, los cuales fueron 24 cm cuando se utiliza una sub base sin estabilización y 21 cm cuando se estabiliza la sub base con cemento, lo cual representa una disminución del 12.5% con respecto a la primera. Finalmente, se realizó el análisis costo-beneficio para ver si realmente es económico realizar la estabilización, del análisis se obtuvo una reducción del costo de 3.47%.

PALABRAS CLAVE: Pavimento rígido, estabilización, sub base, cemento, análisis, disminución, CBR

ABSTRACT

One of the main problems that occur very often in rigid pavements, is the failure of the hydraulic concrete slab, this is mainly due to the undersizing of this layer or not having the right material to form the layers that support (sub base or subgrade), this problem results in some executing companies oversizing the slabs to ensure that they comply with their design period, thus generating large economic losses in the construction of the pavement; In the present investigation a solution was proposed for this problem which was to stabilize the materials that make up the sub base layer with cement, to improve the support capacity of said layer and decrease the thickness of the concrete slab. Our main objective was to analyze the decrease of the thickness of a rigid pavement, after stabilizing its sub base with cement, for which we used the section of Industrial Av. Between Av. San Martín and Av. Vía de Evitamiento, from where it was obtained the study of the traffic and in addition the respective soil samples for the study of its properties, the quarry of the Chonta River was also used as the supplier of the material that formed the sub-base layer. That said, this research was based on conducting direct experimentation tests to find the different values of CBR of the sub base with different amounts of cement addition, determining that to reach a CBR of 100% an addition of cement was required. 1.12% with respect to the weight of the aggregate that was used, then the design of the rigid pavement was carried out with the PCA method obtaining the thicknesses of the concrete slab, which were 24 cm when using a sub base without stabilization and 21 cm when the sub base is stabilized with cement, which represents a decrease of 12.5% with respect to the first. Finally, the cost-benefit analysis was carried out to see if it is really economical to perform the stabilization, from the analysis a cost reduction of 3.47% was obtained.

KEY WORDS: Rigid pavement, stabilization, sub base, cement, analysis. decrease, CBR.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

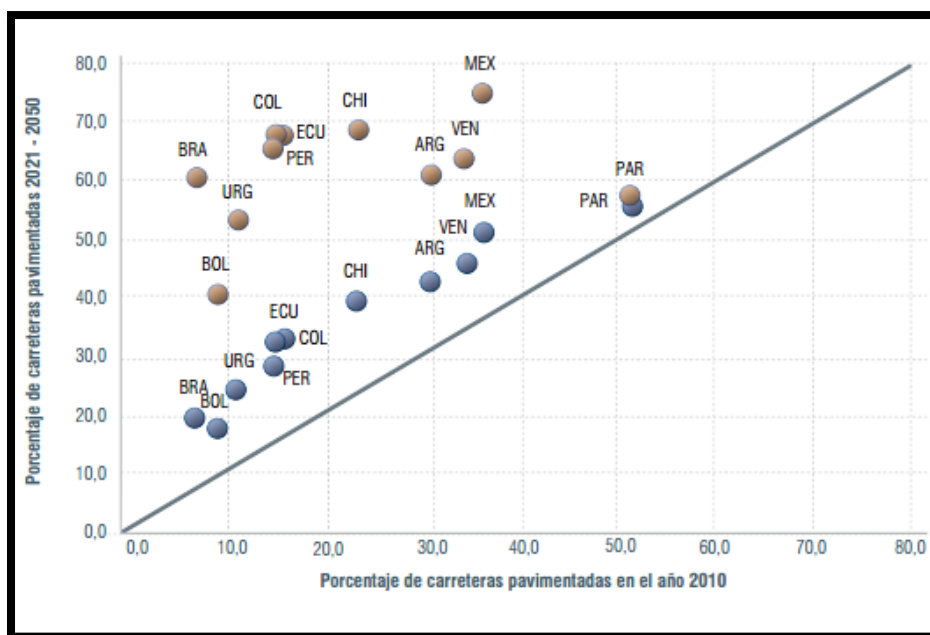
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Hoy en día el Perú se encuentra en proceso de crecimiento urbano, además según el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional Actualizado Perú hacia el 2021, el porcentaje de carreteras pavimentadas aumentará de una manera considerable tal como se indica en la Figura N°1.1, lo cual generará grandes inversiones en proyectos viales.

Figura 1.1: Porcentaje de carreteras pavimentadas en el año 2010 y proyección a futuro.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC),2016.

En Cajamarca la proporción de kilómetros lineales pavimentados de la red vial nacional pasan de 37.5% en julio del 2011 a 88.9% en julio del 2016. Este gran salto de la infraestructura vial ha sido posible gracias a inversiones tan importantes como las que se vienen realizando en la región, alrededor de S/. 2008 millones. (Cajamarca: Camino al desarrollo-MTC, 2011).

Dicho esto, nos damos cuenta que los gobiernos, invierten mucho dinero en la pavimentación de vías, por lo que es de interés para los pobladores como autoridades, el uso adecuado de este dinero, el cual sería creando vías con espesores óptimos para que soporten las cargas esperadas y así de lograr el mayor número de vías pavimentadas.

1.1.2. Descripción del problema

El comportamiento de la estructura de un pavimento depende directamente de la calidad de los materiales que lo conforman; es decir, las propiedades de los materiales, son uno de los factores más importantes en el diseño estructural de un pavimento; es por esto que, se determina dichas propiedades, para verificar que cumplan con las especificaciones técnicas mínimas¹

En nuestro país el organismo encargado de poner los valores aceptables de cada propiedad es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) a través de sus Especificaciones técnicas generales para la construcción; los cuales sirven para garantizar que el pavimento soportará las cargas del tráfico y factores ambientales a los que será sometido durante un determinado periodo de tiempo para el cual fue diseñado.²

Céspedes (2002), indica que los problemas más frecuentes que presentan los pavimentos, son debidos al inadecuado comportamiento estructural del conjunto de capas que lo conforman, producto de la utilización de materiales inapropiados. Los daños estructurales de un pavimento rígido pueden ser: deformaciones, fisuras, desprendimientos, ascensos o exudaciones.

En nuestra ciudad es muy frecuente encontrarnos con calles donde el pavimento presenta fallas, las cuales se vuelven una molestia no solo para los conductores sino también para los peatones.

Dichas fallas se presentan por varios factores, pero el más importante es que quizás en nuestra ciudad no se cuente con canteras que brinden materiales que estén dentro de los estándares que las especificaciones recomiendan, obligando a crear losas de concreto con grandes dimensiones, para poder soportar las cargas ejercidas por los vehículos.

Una posible solución para evitar las fallas, sería utilizar materiales de mejor calidad que cumplan con las especificaciones técnicas de una manera adecuada y que no estén bajo los límites o cerca de ellos. La mejora de los materiales se puede lograr estabilizándolos con una adición de cemento, lo cual no solo garantizaría que el

¹ (Herrera Rojas, 2014)

² (Menéndez, 2013)

pavimento cumpla con su periodo de diseño, sino también que dicho pavimento reduzca su espesor y como consecuencia de ello, reduzca su costo al momento de su creación.

Figura 1.2: Fallas que presentan los pavimentos rígidos en nuestra ciudad.



Fuente: Elaboración propia

Partiendo de esta realidad, se ha elegido un tramo de la Av. Industrial para nuestro estudio, la cual es una avenida importante, ya que conecta a la ciudad con la zona de expansión urbana y principalmente con el nuevo Hospital Regional de Cajamarca, en donde la presencia de vehículos de transporte urbano es muy frecuente por esta razón al encontrar el óptimo espesor del pavimento, se generaría un ahorro económico al momento de la creación de la vía y directamente se estaría apoyando al desarrollo del país.

1.2. Formulación del problema

El problema antes descrito se resumiría en la siguiente pregunta:

¿Cuál será la disminución del espesor de un pavimento rígido al estabilizar la sub base con cemento?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

Estabilizar la sub base con una adición de cemento mejorará sus propiedades, lo cual implica la disminución del espesor de la losa de concreto y del pavimento en general; reduciendo también a su vez el costo al momento de su ejecución.

1.3.2. Variables de estudio

Variables dependientes

- Espesor del pavimento

Variables independientes

- Porcentaje de cemento: 1%, 2% y 3%.

1.4. Justificación de la Investigación

La estabilización de suelos con cemento, es una alternativa de solución para mejorar las propiedades mecánicas y/o químicas de algunos materiales.

La sub base al ser estabilizada con cemento, aumentará el porcentaje de CBR; logrando así construir capas de rodadura más delgadas y con altas resistencias a los esfuerzos producidos por los vehículos.

La disminución del espesor del pavimento generará ahorros en la construcción de vías urbanas, lo cual ayudará a que el número de vías pavimentadas aumente acorde con el crecimiento poblacional.

1.5. Delimitación de la investigación

Siendo necesario verificar la veracidad de nuestra investigación, se realizó los ensayos necesarios para obtener los diferentes valores de espesor del pavimento, utilizando como fuente de agregados la cantera del Rio Chonta y una adición de cemento del 1%, 2% y 3% para obtener el porcentaje óptimo de cemento necesario; además también se tomaron datos de la Av. Industrial entre las calles Av. San Martin y Av. Vía de Evitamiento, en la cual se realizó el estudio de tráfico, así como también el análisis de la subrasante de dicha avenida.

La presente tesis servirá a municipalidades, gobiernos regionales y empresas consultoras como base para la utilización de esta tecnología en futuros diseños de pavimentos y así optimizar precios en dichos proyectos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Realizar el análisis de la disminución del espesor de un pavimento rígido estabilizando la sub base con cemento.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje óptimo de cemento para obtener una capa sub base con CBR de 100%.
- Realizar el diseño del pavimento rígido utilizando las propiedades de la sub base estabilizada y sin estabilizar.
- Realizar un análisis costo-beneficio de la sub base estabilizada y sin estabilizar.

1.7. Descripción de los contenidos de los capítulos

Capítulo I: Se describió el contexto del problema, la justificación y se dieron los alcances de la investigación, a su vez se presentó los objetivos que se ha propuesto, las variables y la hipótesis de la investigación.

Capítulo II: Se presentó los antecedentes teóricos y las bases teóricas, que fueron necesarias para establecer los parámetros a utilizarse en la presente investigación, terminando con un glosario de términos que fueron utilizados en el documento.

Capítulo III: Se describió el procedimiento, los métodos y técnicas que se utilizó en el trabajo, además también se procesaron y analizaron los datos, de manera cronológica.

Capítulo IV: Se presentó, explicó y discutió los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Capítulo V: Se desplegó las conclusiones que se obtuvo como respuesta a los objetivos planteados, además se recomendó algunos aspectos necesarios a tener en cuenta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO:

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Murillo (2010), ha realizado la estabilización de bases granulares con adición de cemento a materiales procedentes de canteras del sector denominado “La Josefina”, Cuenca – Ecuador. Diseñó probetas con adición del 7% de cemento y analizó el comportamiento de estas. Obteniendo como resultado que con dicha adición de cemento para un suelo con clasificación A-1 y A-2, su CBR aumenta desde 159% hasta el 400%.

Arce (2011). Utilizó cemento como estabilizante de bases y sub bases de pavimentos. Realizó ensayos de CBR y compresión simple, determinando la ventajas e inconvenientes de utilizar dicha mezcla, para finalmente llegar a la conclusión de que el cemento se puede incorporar al material de base para mejorar propiedades cuando dicho material tenga un IP menor que el 30, que el porcentaje que pasa la malla N° 200 sea menor al 35% y que el material tengan una clasificación AASHTO A-1, A-2 o A-3.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Paredes (2008) realizó un estudio de las características físicas y mecánicas de la mezcla del agregado proveniente de la cantera Azufral con cemento, en el departamento de Arequipa. Además, diseñó probetas con porcentajes de 5% y 6% de cemento y luego analizó su comportamiento. Obteniendo como resultado que la relación; resistencia del material granular-cemento y porcentaje de cemento es directamente proporcional; es decir, a mayor porcentaje de cemento mayor resistencia.

Flores (2015). Realizó una investigación la cual se enfocó en la determinación de algunas de las propiedades del suelo cemento como lo son la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad dinámico y el coeficiente de capa, con fines de que esta mezcla sea utilizada como base de pavimentos en la ciudad de Juliaca. Se realizaron los ensayos correspondientes para proporcionamientos de cemento en peso entre 3%, 5% y 7%, concluyendo que los agregados mezclados con cemento presentan un mejor comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas, tanto para el diseño de Base y Sub-base, cumpliendo las exigencias de las EG-2000.

2.1.3. Antecedentes Locales

Roncal y Urteaga (2008), en su tesis para obtener el título de Ingeniero Civil realizaron especímenes con una estabilización a base de cemento con porcentajes de 0.5%, 0.8%, 1%, 3% y 5%, en material de las canteras Don Lucho y Huayrapongo. Obteniendo como resultados que la capacidad de soporte del material granular aumentó en un 25.3% y disminuyó el espesor de la capa de base en 10 cm y en la losa de concreto 2 cm. Concluyendo que al estabilizar la capa base el espesor de la losa disminuye.

Herrera (2014). Realizó la estabilización para ver los efectos del cemento Portland Tipo 1 en material granular de la cantera el Guitarrero, con fines de que dicha mezcla sea utilizada como base de pavimentos. Se utilizó adiciones de cemento de 1%, 2% y 4% en peso del material granular y se determinó las propiedades en estado natural y con la adición de cemento. Obteniendo como resultados que el índice de plasticidad no presenta variación, por ser un suelo no plástico; la densidad seca máxima aumenta desde 2.20 gr/cm³ hasta 2.25 gr/cm³, al 4% de cemento adicionado; el contenido de humedad disminuye desde 5.90% hasta 5.50%, al 4% de cemento adicionado y el valor relativo de soporte (CBR) aumenta desde 47.15% hasta 663.80%, al 4% de cemento adicionado. Concluyendo que la adición de cemento Portland Tipo I, mejora las propiedades físico-mecánicas del material granular de la cantera El Guitarrero, en función del porcentaje de cemento adicionado.

Ayala y Gallardo (2015). Realizaron la estabilización de la base de un pavimento rígido, la cual estaba formada por la combinación de agregados de las canteras el Gavilán, Don Lucho y el río Chonta, con cemento Portland Tipo 1 para determinar la capacidad de soporte de la base. La cantidad de cemento que adicionaron fue del 2%, 4%, 6% y 8% , obteniendo como resultado que para una mezcla de agregados de la cantera del río Chonta (73%) y el Gavilán (27%) con cemento tienen un CBR de 81%, 88%, 105%,142%, 248% respectivamente; y para una mezcla de agregados de la cantera del río Chonta (76%) y El Gavilán (24%) tienen un CBR de 76%, 81%, 102%,150.50%, 230% respectivamente. Concluyendo que a mayor adición de cemento Portland tipo I mayor es la capacidad de soporte de la base del pavimento rígido.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tratamiento de suelos

Por razones medioambientales y económicas, en las obras de infraestructura del transporte (carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos) es recomendable hacer uso de la mayor cantidad posible de suelos presentes en la propia obra tanto en los rellenos de terraplenes como en su coronación y fondos de desmote, donde las exigencias de calidad son superiores por estar más cerca de las cargas de tráfico. Con frecuencia, sin embargo, los suelos no tienen las características adecuadas.

Para estos casos se dispone actualmente de diferentes productos para el tratamiento de los suelos con objeto de facilitar e incluso permitir su puesta en obra, reducir su sensibilidad al agua y aumentar en mayor o menor grado su resistencia a la deformación bajo cargas. Los más empleados son los siguientes conglomerantes: cementos, en general con adiciones, y cales aéreas. Ambos pueden usarse tanto en polvo como en forma de lechada. Se mezclan con el suelo, generalmente in situ, se compactan enérgicamente y se curan. También pueden emplearse algunos ligantes bituminosos y ciertos productos químicos, pero su uso actual es mucho más reducido, entre otras razones por su coste.

El tipo de suelo y su estado hídrico, las condiciones climáticas prevalentes y las prestaciones deseadas son los factores principales para seleccionar el conglomerante más apropiado. En los casos dudosos, el estudio de laboratorio marcará las diferencias.³

Tipos de tratamiento:

Según los objetivos del tratamiento, se suele distinguir entre suelos mejorados y suelos estabilizados:

A. Suelos mejorados:

Los suelos mejorados se refieren generalmente a suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades naturales excesivas, que presentan dificultades de compactación, expansividad, sensibilidad al agua o a la helada, baja capacidad de soporte, etc. y que son tratados con cal.

³ (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (EICA), 2008)

Con este tipo de tratamiento se persigue fundamentalmente modificar sus características a corto plazo, pasando a ser suelos utilizables.

El objetivo de la modificación puede ser uno o varios de los siguientes:

- Secar zonas húmedas para facilitar su compactación
- Proporcionar una plataforma de trabajo estable
- Preparar el suelo para un tratamiento posterior (por ejemplo con cemento)⁴

B. Suelos estabilizados:

Con los suelos estabilizados se persigue fundamentalmente un aumento de su capacidad de soporte y una disminución de su sensibilidad frente al agua y otras condiciones medioambientales desfavorables, así como en muchos casos un incremento de su resistencia mecánica. Si la fracción granular del suelo es importante, un porcentaje moderado de conglomerante es suficiente para obtener un material insensible al agua, estable y capaz de resistir a largo plazo las deformaciones producidas por el tráfico.

Se recomienda que, para estabilizar un suelo, el conglomerante empleado debe ser cemento si el suelo es poco plástico, mientras que si es fino y cohesivo debe utilizarse cal aérea, aunque en ocasiones puede convenir un tratamiento mixto, primero con cal para restar plasticidad y después con cemento, para aumentar la capacidad de soporte o alcanzar resistencias.

En este caso, la contribución estructural de una capa estabilizada como apoyo del firme es notable, y a ello se debe su mayor empleo en explanadas de infraestructuras bajo tráfico pesado.

Entre las ventajas técnicas que nos brindan los suelos estabilizados están:

- Permiten el empleo de los suelos presentes en la zona, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporcionan una elevada capacidad de soporte a la explanada, con lo que aumenta la vida de servicio del pavimento.

⁴ (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (EICA), 2008)

- Aseguran la estabilidad de la explanada, tanto por su insensibilidad al agua y a la helada, evitando así cambios de volumen por expansión o retracción, como por su resistencia a la erosión.
- Disminuyen las tracciones en las capas del pavimento, aumentando con ello su vida útil.
- Pueden permitir el paso inmediato del tráfico de obra.⁵

Y entre las ventajas económicas y ambientales tenemos las siguientes:

- Un mayor empleo de suelos y otros materiales de la zona, a veces de características iniciales inadecuadas. En ocasiones incluso no existen suelos aprovechables a una distancia aceptable.
- Un ahorro en el transporte de materiales.
- Un acortamiento de los plazos de ejecución, dado que el proceso de incorporación del conglomerante y de mezcla del suelo con el mismo se realiza con equipos específicos de alto rendimiento.
- La obtención de cimientos del pavimento de mayor capacidad de soporte permite un ahorro en las capas de pavimento, tanto en su constitución como en su ejecución.

Aunque las ventajas ambientales están ligadas a las económicas, las primeras van cobrando preponderancia y tienen que ser atendidas con prioridad.⁶

2.2.2. Pavimento rígido

Son aquellos pavimentos en los cuales se presenta una losa como capa de rodadura, dicha losa es de concreto de cemento Portland el cual es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, sub base y la losa de concreto. A continuación, se hará una descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

⁵ (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (EICA), 2008)

⁶ (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (EICA), 2008)

a) Subrasante: La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

b) Sub base: La capa de sub base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.⁷

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- ✓ Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme. • Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- ✓ Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- ✓ Proveer drenaje cuando sea necesario.
- ✓ Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

c) Losa: La losa es de concreto de cemento Portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Las principales ventajas de este tipo de pavimento son:

- Menor costo total (Costo de operativo de la vía y Costo de mantenimiento).
- Mayor durabilidad
- Mayor resistencia
- Económicamente rentable en capa de sub base

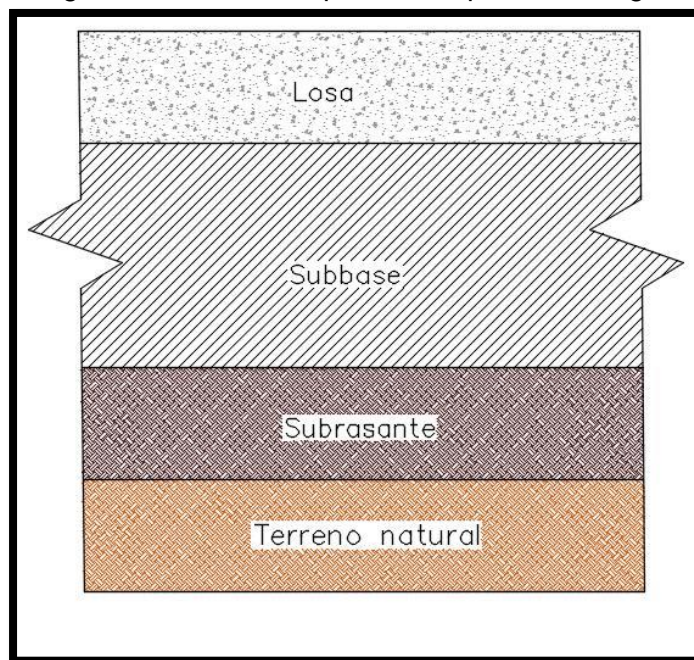
⁷ (ACPA, 2016)

Pero también presenta algunas desventajas las cuales son:

- Costo inicial elevado.
- Se debe tener mucho cuidado en el diseño.

Los pavimentos rígidos en la mayoría de los casos presentan la siguiente estructura:

Figura 2. 1: Sección típica de un pavimento rígido.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. El estabilizante

Los estabilizantes, son materiales que adicionados a otros ayudan a mejorar algunas propiedades físicas, mecánicas y/o químicas.

Los estabilizantes que se usan con mayor frecuencia en la estabilización de sub bases son el cemento, la cal y mezclas bituminosas.

Cemento

El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clínter —principal ingrediente del cemento— que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento.

El cemento es el material de construcción más utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión (el material de

construcción con la mayor resistencia por costo unitario), durabilidad y estética para una diversidad de aplicaciones de construcción.⁸

Cemento Extraforte:

El cemento Extraforte ICo es un cemento de uso general recomendado para columnas, vigas, losas, cimentaciones y otras obras que no se encuentren en ambientes salitrosos. Este cemento contiene adiciones especialmente seleccionadas y formuladas que le brindan buena resistencia a la compresión, mejor maleabilidad y moderado calor de hidratación.⁹

Propiedades

- Moderado calor de hidratación
- Mejor trabajabilidad

Aplicaciones

- Obras de concreto y de concreto armado en general
- Morteros en general
- Pavimentos y cimentaciones

Porcentaje de cemento a utilizar (En peso)

La determinación de la cantidad adecuada de cemento se fundamenta en el análisis del comportamiento de las probetas de ensayo con diferentes cantidades de cemento. En general, son ensayadas tres cantidades, diferenciando la cantidad mediante uno o dos puntos porcentuales.

La mejor manera de fijar las cantidades de cemento para los ensayos es la comparación del suelo en estudio con otros ya ensayados, llevándose a consideración la granulometría, los índices de consistencia, el origen geológico, la coloración, la región de donde proviene y profundidad de la muestra.

Como porcentaje de cemento de partida, en el caso de exigirse únicamente un determinado CBR, según el Instituto Español de Cemento y sus Aplicaciones, se adoptará el valor inicial del 2 – 3 %.

⁸ (Cemex, 2017)

⁹ (Cementos Pacasmayo, 2017)

2.2.4. Métodos de diseño de un pavimento rígido

El propósito de diseño de un pavimento es el mismo que para otras estructuras de ingeniería: obtener el espesor mínimo que resultará en el costo anual más bajo, para los costos de inversión inicial y de mantenimiento. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Si el espesor no es el adecuado, los costos prematuros y elevados de mantenimiento e interrupciones en el tráfico sobrepasarán los bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores, balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento.

Existen diversos métodos para diseñar pavimentos rígidos entre los cuales los más resaltantes son: el método de la Portland Cement Association (PCA), el método AASHTO 1993 y el ACPA StreetPave.

En nuestro trabajo utilizaremos el método de la PCA que nombraremos y describiremos a continuación, el cual fue traducido por el Instituto Boliviano del Cemento y el Concreto con ayuda de la Universidad Ricardo Palma (Perú) del libro “Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements”.

A. Método de la Portland Cement Association

El espesor de diseño es determinado en base a los cuatro factores siguientes:

- Resistencia del concreto a la flexión (módulo de rotura MR).
- Resistencia de la subrasante, ó subrasante y sub base combinadas (k).
- Los pesos, frecuencias, y tipos de cargas axiales de camión que el pavimento soportará.
- El periodo de diseño, que en éste y otros procedimientos usualmente es considerado como de 20 años, pudiendo ser más o menos.

Estos factores de diseño son discutidos con más detalle en las secciones siguientes.

Resistencia del concreto a la flexión (Módulo de Rotura MR)

La resistencia del concreto a la flexión es considerada en el procedimiento de diseño mediante el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo las cargas repetitivas de camiones.

El pandeo de un pavimento de concreto bajo cargas axiales produce esfuerzos de compresión y flexión. Sin embargo, las relaciones de los esfuerzos y resistencias de compresión son demasiado pequeños para influenciar en el diseño del espesor de la losa. Las relaciones de los esfuerzos y resistencias de flexión son mucho más altos, excediendo a menudo valores de 0.5. Como resultado, los esfuerzos flexores y la resistencia a la flexión del concreto son usados en el diseño de espesores. La resistencia a la flexión es determinada mediante pruebas de módulo de rotura, realizadas usualmente sobre vigas de 6x6x30-pulg.

Las pruebas de módulo de rotura son comúnmente realizadas a los 7, 14, 28, y 90 días. Los resultados de prueba a los 7 y 14 días son comparados con los requerimientos de las especificaciones para control de trabajo y para determinar cuándo los pavimentos pueden ser abiertos al tráfico.

Los resultados del ensayo a los 28 días han sido comúnmente usados para el diseño de espesores de pavimentos de carreteras y calles, y son los recomendados para usar con este procedimiento; los resultados a los 90 días son usados para el diseño de pistas de aterrizaje.

En este procedimiento de diseño, los efectos de las variaciones de la resistencia del concreto de un punto a otro del pavimento y las ganancias de resistencia del concreto con la edad son incorporados en las cartas y tablas de diseño. El diseñador no aplicará directamente estos efectos sino simplemente ingresará el valor de resistencia promedio a los 28 días.¹⁰

Soporte de la subrasante y sub base (k)

El soporte que proporciona la subrasante y la sub base, donde es usada; es el segundo factor en el diseño de espesores. El soporte de la subrasante y sub base es definido en términos del módulo de reacción de la subrasante (k) de Westergaard. Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga (una placa de 30-pulg. de diámetro), dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cúbica (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la

¹⁰ (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

Razón de Soporte de California (California Bering Ratio-CBR) o las pruebas de valores-R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

Para encontrar el valor k de la subrasante se utilizara la Tabla 2.1:

Tabla 2. 1: Valores “k” de diseño para subrasante.

CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)
2	72.25	7	191.47	14	260.12	33	361.27
2.1	75.87	7.6	202.31	15	263.73	35	379.34
2.8	101.16	8	205.93	16	270.95	39	404.63
3	108.38	9	216.76	18	281.79	43	433.53
4	140.9	10	223.99	20	289.02	47	469.65
4.7	151.73	11	234.83	22	303.47	52	505.78
5	158.96	12	242.05	25	317.92	57	541.91
6	177.02	13	249.28	30	346.82	64	606.94

Fuente: Cubas Becerra A., Pavimentos rígidos, 2017, P. 4.

No es económico usar sub bases no tratadas con el sólo propósito de incrementar los valores de k. Donde sea usada una sub base, se producirá un incremento del valor k que puede ser usado en el diseño del espesor. Si la sub base es un material granular no tratado, el incremento aproximado del valor k puede ser tomado de la Tabla 2.2:

Tabla 2. 2: Valores de “k” de diseño para subrasante-sub base.¹¹

Valor k de la subrasante (pci)	Valor k de la sub base (pci)			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	12 pulg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.5.

¹¹ (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

Las sub bases tratadas con cemento son ampliamente usadas en pavimentos de concreto sujetos a tráfico pesado. Ellas son construidas de materiales granulares A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3 de la Clasificación de Suelos AASHTO.

Los valores k de diseño para sub bases tratadas con cemento y que reúnen los criterios antes señalados están dados en la Tabla 2.3:¹²

Tabla 2. 3: Valores de “k” de diseño para subrasante-sub base tratadas con cemento.

Valor k de la subrasante (pci)	Valor k de la sub base (pci)			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	10 pulg
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.6.

Periodo de diseño

El término periodo de diseño es usado en este texto en vez de vida del pavimento, porque éste último no está sujeto a una definición precisa. Algunos ingenieros y agencias de carreteras consideran que la vida de un pavimento de concreto finaliza cuando se coloca la primera sobre capa. La vida de los pavimentos de concreto pueden variar desde menos de 20 años en algunos proyectos con tráfico mayor de lo originalmente estimado o que han tenido defectos de diseño, materiales o construcción defectuosa; a más de 40 años en otros proyectos donde no existan defectos.

Debido a que el tráfico puede no ser predicho con mucha precisión para un periodo largo, comúnmente se utiliza un período de diseño de 20 años en procedimientos de diseño de pavimentos.

El periodo de diseño seleccionado afecta al espesor de diseño, ya que determina cuántos años, y por lo tanto a cuántos camiones, debe servir el pavimento. La selección de un periodo de diseño para un proyecto específico está basado en criterios

¹² (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

ingenieriles y en el análisis económico de los costos del pavimento y los servicios obtenidos en todo el periodo.¹³

Tráfico

La cantidad y los pesos de las cargas axiales pesadas esperadas durante la vida de diseño son los factores principales en el diseño de espesores de pavimentos de concreto. Estos se derivan de las estimaciones de:

- Tráfico promedio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (IMDA)
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic)
- Cargas axiales de camiones

Información sobre el IMDA es obtenida de conteos especiales del tráfico o de mapas del volumen de tráfico del estado, del condado, o de ciudades. Este IMDA es denominado como el IMDA presente o corriente y, el IMDA de diseño es estimado por los métodos comúnmente usados discutidos aquí. Sin embargo, cualquier otro método que dé una estimación razonable del tráfico esperado durante la vida de diseño puede ser utilizado.¹⁴

Proyección

Un método para obtener el dato del volumen de tráfico (IMDA de diseño), requiere el uso de las tasas anuales del crecimiento de tráfico y factores de proyección del tráfico. La Tabla 2.4 muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyección para períodos de diseño de 20 y 40 años.

En un problema de diseño, el factor de proyección es multiplicado por el IMDA presente para obtener el IMDA de diseño que representa el valor promedio para el período de diseño. Los siguientes factores influyen en las tasas anuales de crecimiento y en las proyecciones del tráfico:

- Tráfico atraído o desviado - es el incremento sobre el tráfico existente, debido al mejoramiento de un camino existente.

¹³ (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

¹⁴ (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

- Crecimiento normal del tráfico - es el incremento debido al aumento del número y uso de vehículos motorizados.
- Tráfico generado - es el incremento debido a la llegada de los vehículos motorizados, que no se hubiera realizado si no se hubieran construido los nuevos servicios.
- Desarrollo del tráfico - es el incremento debido al cambio de uso del suelo por la construcción de los nuevos servicios.

La combinación de efectos origina tasas anuales de crecimiento entre el 2% y 6%.¹⁵

Tabla 2. 4: Tasas Anuales de Crecimiento de Tráfico y factores de Proyección Correspondientes.

PERIODO DE DISEÑO EN AÑOS (n)	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO, PORCENTAJE (r)							
	0	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02
40	40.0	60.40	95.02	120.8	154.76	199.64	259.06	442.59
50	50.0	84.58	152.70	209.3	290.34	406.53	573.77	-

Fuente: Cubas Becerra A., Pavimentos rígidos, 2017, P. 5.

Nota: Los factores representan a valores en los periodos medios de diseño que son muy usados en la práctica.

Otros métodos de calcular esos factores, están basados en el valor promedio anual.

¹⁵ (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, 2015)

Las diferencias (en el interés compuesto) entre esos dos métodos afectan poco el diseño.

Factores de seguridad de carga

En el procedimiento de diseño, las cargas por eje determinadas en la sección previa, son multiplicadas por un factor de seguridad de carga (Load Safety Factor-LSF). Recomendándose los siguientes factores:

- Para proyectos Interestatales y otros de múltiples carriles donde el flujo de tráfico será ininterrumpido y donde habrá altos volúmenes de tráfico de camiones, LSF = 1.2.
- Para carreteras y calles arteriales donde el volumen de tráfico de camiones será moderado, LSF = 1.1.
- Para carreteras, calles residenciales, y otras que soportarán pequeños volúmenes de tráfico de camiones, LSF 1.0.

Procedimiento:

1). Para iniciar el diseño, es necesario conocer el módulo de reacción “k” a nivel de la subrasante, subrasante-sub base o subrasante-sub base estabilizada. Como normalmente el soporte de la subrasante se mide con el CBR y el diseño de losas de concreto es en función de su módulo de reacción “k”, se utilizará la Tabla 2.1.

Debido al uso de sub bases se obtiene un beneficio adicional consistente en el aumento del CBR. Según sea el caso de uso de sub base o sub base estabilizada, se utilizarán las Tablas 2.2 o 2.3.

2). Se determina el módulo de rotura del concreto.

3). Se determina el periodo de diseño. El recomendable para el caso de pavimentos rígidos de concreto de cemento Portland, está comprendido entre 20 y 50 años.

4). Al igual que para cualquier pavimento, es de fundamental importancia conocer el número y magnitud de las cargas por eje esperadas durante el periodo de diseño. Para el análisis de tránsito, debe seguirse los lineamientos generales indicados anteriormente. Para el caso de pavimento rígido no existe el concepto de factor de equivalencia de carga y debe determinarse el volumen total esperado para cada grupo

de cargas separadamente y tabular la información. El factor de crecimiento se obtiene de la Tabla 2.4.

Para tomar en cuenta el impacto de los vehículos se hace uso del factor de seguridad por carga (FSC).

5). Finalmente, con los datos obtenidos se calcula el espesor necesario que deberá tener la losa, con la ayuda de la siguiente tabla.

Tabla 2. 5: Tabla para el cálculo del espesor de un pavimento rígido.

Cargas por eje	Cargas por eje X FSC	Relación de esfuerzos	Factor erosión	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
					Repeticiones admisibles	% de fatiga	Repeticiones admisibles	% de erosión

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la tabla:

- En la columna N°1 de la hoja de cálculo, se anotan los pesos de los ejes que harán uso de la obra correspondiente, separando los ejes sencillos de los tándem.
- En la columna N°2, se anota el resultado de multiplicar los pesos de los ejes de la columna N°1 por el FSC, con lo cual se toman en cuenta el impacto de los vehículos.
- Para iniciar el cálculo, se sugiere un espesor de losa de acuerdo con el tipo de obra, como se indica en la Tabla 2.6, en la que se recomiendan diversos espesores.

Tabla 2. 6 Tasas Anuales de Crecimiento de Tráfico y factores de Proyección Correspondientes.¹⁶

Tipo de Obra	Espesor
Carretera de primer orden, autopistas, otras con flujo interrumpido de tráfico y gran volumen de vehículos pesados	12-16 pulg
Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de vehículos pesados	10-14 pulg
Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de vehículos pesados	8-12 pulg

Fuente: Cubas Becerra A., Pavimentos rígidos, 2017, P. 6.

¹⁶ (ALEJANDRO CUBAS BECERRA, 2015)

- El espesor que se supone, se revisa por esfuerzo de fatiga y erosión de acuerdo a los siguientes cálculos:

- Haciendo uso de la tabla 2.7 encontramos el esfuerzo equivalente el cual dividiremos entre el módulo de rotura, para encontrar el valor de la relación de esfuerzos el cual ira en la columna N°3.

- Los datos de la columna N° 4 se obtienen de la tabla 2.8.

Tabla 2 7: Esfuerzos equivalentes – sin berma de concreto, con respecto al espesor de la losa (Eje simple / Eje Tándem).

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - sub base, psi						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.25.

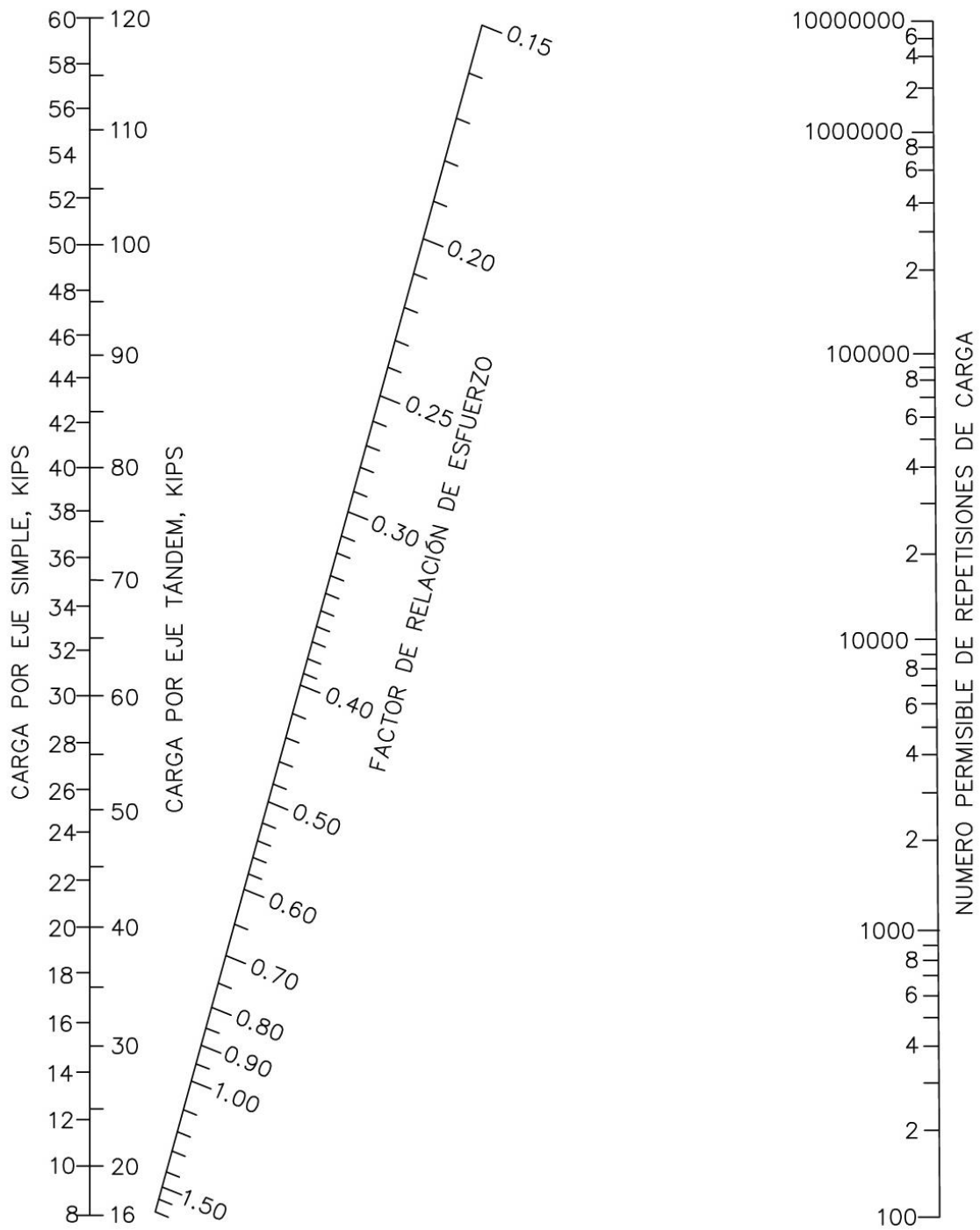
Tabla 2 8: Factor de erosión – Junta con trabazón de agregado, sin berma de concreto, con respecto al espesor de la losa (Eje Simple/Eje Tándem).

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - sub base, psi					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.64	2.75/2.86	2.73/2.81
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.67
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/2.68	2.49/2.63
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	2.41/2.60	2.39/2.55
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.44

Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.27.

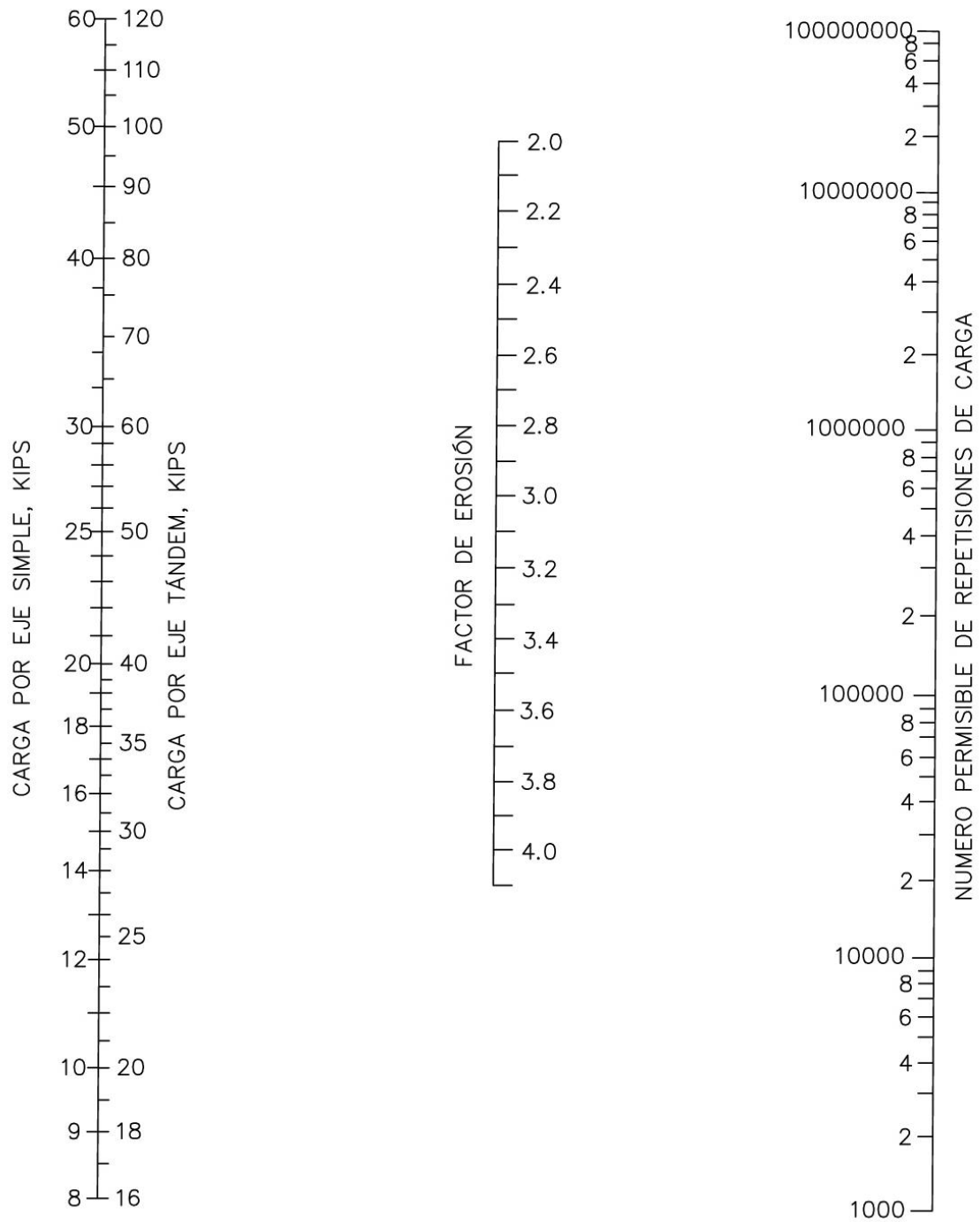
- El número de repeticiones esperadas se anota en la columna N° 5.
- De esta manera, en la columna N° 6 y N° 8 se tiene el número de pasadas admisibles para cada tipo de análisis.
- En la columna N°7 y N°9 se obtiene el porcentaje de dividir la columna N°6 y N°8 con la columna N°5 respectivamente.
- Si la suma de las columnas N°7 y N°9 es cercana a 100%, quiere decir que el espesor de losa considerado es correcto; pero si el valor es menor, se tendrá un pavimento sobre diseñado y entonces se tendrá que realizar otro u otros cálculos, disminuyendo ya sea el valor del módulo de ruptura, el espesor de la losa o la calidad de la sub base hasta que la columna N° 7 y N°9 se encuentre entre el 80% y 120%. En caso de que el pavimento esté sub diseñado, o sea que el porcentaje total sea mayor a 100%. se aumentará el valor de las características señaladas para hacer los nuevos cálculos. Se recomienda que el aumento o disminución del espesor de la losa sea del orden de 1.27cm (1/2 pulg).

Figura 2. 2: Análisis por fatiga, número permisible de repeticiones de carga basados en el factor de relación de esfuerzos (con o sin berma de concreto).



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.26.

Figura 2. 3: Análisis por fatiga, numero permisible de repeticiones de carga basados en el factor de relación de esfuerzos (con o sin berma de concreto).



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2015. P.28.

2.3. Definición de términos básicos¹⁷

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials, es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos.¹⁸

ASTM: American Society for Testing Materials, es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

CBR: Es el índice California Bearing Ratio, que se emplea para determinar la capacidad de soporte de un material, en determinadas condiciones de compactación.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA): Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos de la carretera, durante 24 horas, de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual.

NORMA MTC E: Norma que nos brinda el Ministerio de Transporte y Comunicaciones para realizar los ensayos necesarios en cada material.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub base, base y capa de rodadura.

PCA: Portland Cement Association, es una organización sin fines de lucro que promueve el uso de concreto.

SUB BASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de rodadura.

¹⁷ (MTC, 2018)

¹⁸ (AASHTO, 2018)

CAPÍTULO III

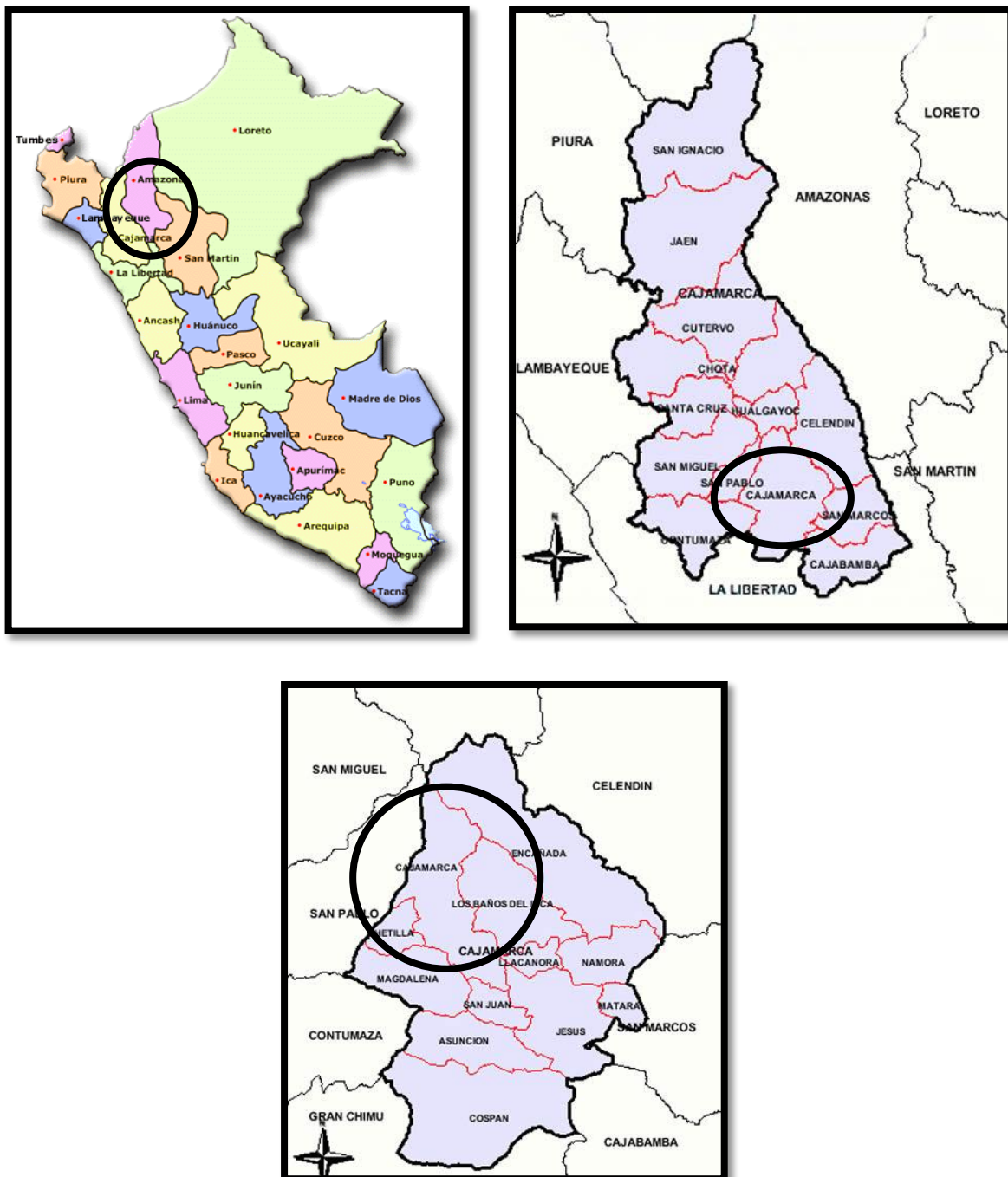
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

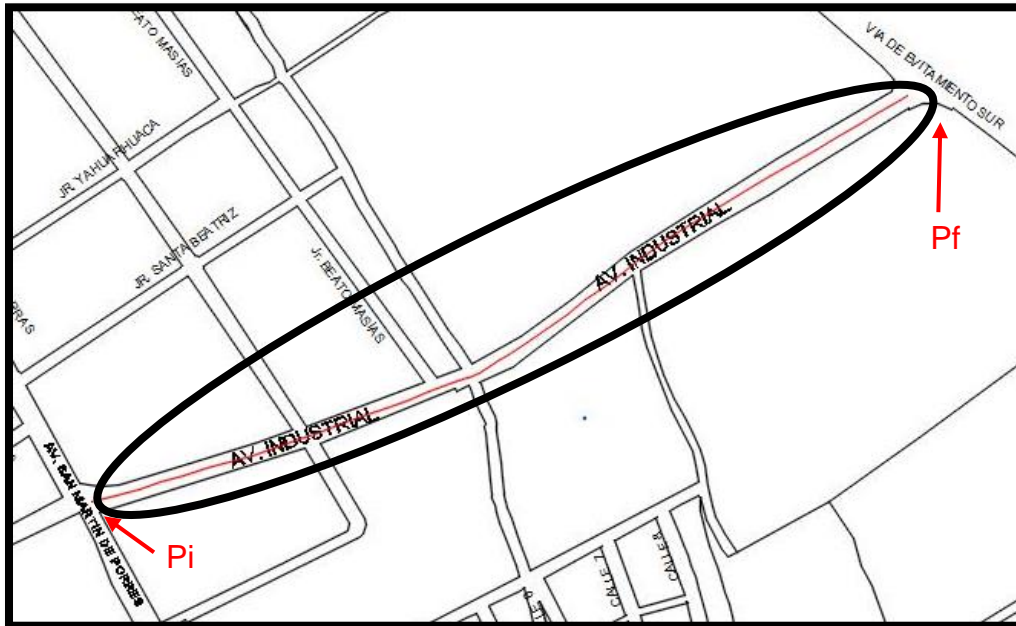
La investigación se realizó en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca, tomando datos del tráfico y levantamiento topográfico de un tramo de la Av. Industrial entre las Av. San Martín y Av. Vía de Evitamiento; los agregados fueron obtenidos de la cantera del río Chonta

Figura 3. 1: Mapa departamental, provincial y distrital de Cajamarca.



Tramo en estudio:

Figura 3. 2: Av Industrial, tramo entre las Av. San Martín y Av. Vía de Evitamiento.



Fuente: MPC,2018.

Datum:	WGS84	Zona: 17 M
	Coordenadas Pi	Coordenadas Pf
Este:	776998 m	777691 m
Norte:	9205329 m	9205680 m
Altitud:	2697 msnm	2675 msnm

3.2. Tiempo de duración de la investigación

La investigación se llevó a cabo durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2018

3.3. Procedimiento

El trabajo empezó con el análisis de tránsito de la Av. Industrial, para poder obtener IMDA, con el cual clasificamos nuestra vía, y se realizó las calicatas que indica el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; las cuales fueron 2 calicatas.

Una vez obtenidas las 2 muestras de suelos, se procedió a hacer los ensayos correspondientes para determinar las características del suelo que se utilizó como

subrasante, los cuales fueron: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelo, Próctor modificado y CBR.

Luego se adquirió el agregado de la cantera del río Chonta y se realizó los ensayos para poder determinar las características de dicho agregado; los ensayos realizados con el agregado fueron: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelo, desgaste a la abrasión, Próctor modificado y CBR.

Ensayos

A.1. Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.¹⁹

Objetivo:

- Determinar el contenido de humedad de un suelo.

Según el reglamento MTC E 108 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas. - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: De 0,01 g para muestras de menos de 200 g y de 0,1 g para muestras de más de 200 g.
- Recipientes. - Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo.

Procedimiento:

- Pesar los recipientes (W_i).
- Pesar la muestra húmeda en la tara (W_{th}).
- Secar la muestra en la estufa, durante 24 horas a 105 °C.
- Pesar la muestra seca en la tara (W_{ts}).
- Determinar el peso del agua $W_w = (W_{th}) - (W_{ts})$.

¹⁹ (MTC, 2016)

- Determinar el peso de la muestra seca $W_s = (W_{ts}) - (W_t)$.

Cálculos:

- Determinar el contenido de humedad:

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

A.2. Granulometría

Objetivo:

- La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Según el reglamento MTC E 204 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Dos balanzas: una con sensibilidad de 0.01 g para pesar el material que pasa por el tamiz de 4.760 mm (N° 4). Y otra con sensibilidad 0.1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz 4.760 mm (N°4).
- Tamices de malla cuadrada: 50.8 mm (2"), 38.1 mm (1 ½"), 25.4 mm (1"), 19 mm (¾"), 9.5 mm (3/8"), 4.76mm (N°4), 2 mm (N°10), 0.84 mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.25 mm (N°60), 0.106 mm (N°140) y 0.075 mm (N°200).
- Estufa, taras o envases, cepillo y brocha.

Procedimiento:

- Reducir para ensayo por cuarteo manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de finos. La muestra para ensayo debe tener la cantidad deseada cuando esté seca y ser resultado final de reducción. No está permitido reducir a un peso exacto determinado. La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo y la cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 3.1:

Tabla 3 1: Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal para ensayo de granulometría.

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9.5	3/8	1
12.5	1/2	2
19.0	3/4	5
25.0	1	10
37.5	1 1/2	15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales.2016

- Mezclas de agregados grueso y fino.
- Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.
- Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Encajar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido en el apéndice “Equipo”. El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

Cálculos:

- Calcular el porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje sobre cada tamiz con aproximación de 0,1% sobre la base del peso total de la muestra inicial seca.
- Cuando sea requerido, calcular el módulo de fineza, sumando los porcentajes retenidos, acumulados de cada una de los siguientes tamices y dividiendo la suma entre 100:150 μm (Nº 100); 300 μm (Nº 50); 600 μm (Nº 30); 1,18 mm (Nº 16); 2,36 mm (Nº 8); 4,75 mm (Nº 4); 9,5 mm (3/8”); 19,0 mm (3/4”); 37,5 mm (1 1/2”); y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

El MTC brinda una tabla para clasificar al tipo de agregado con el que se trabajara para ver la gradación que este presenta, a continuación se muestra la tabla del MTC.

Tabla 3. 2: Tabla para clasificación del material de la sub base.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50mm. (2")	100	100	-	-
25mm. (1")	-	75-95	100	100
9.5mm. (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75mm. (N°4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0mm. (N°10)	15-40	20-45	25-50	40-70
245um. (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75um. (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Especificaciones técnicas generales para construcción.2013

A.3. Límites de Atterberg o Consistencia

A.3.1. Límite líquido

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.²⁰

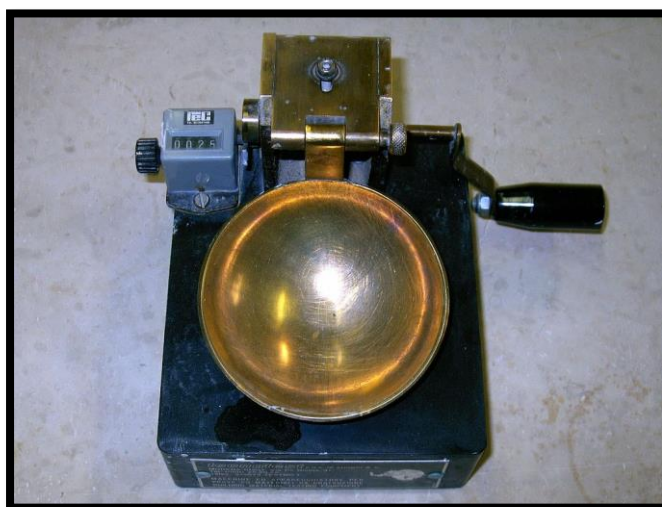
Según el reglamento MTC E 110 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
- Mortero
- Malla N°40
- Acanalador
- Recipientes
- Balanza
- Estufa
- Espátula

²⁰ (MTC, 2016)

Figura 3 3: Aparato de Casagrande.



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento:

- Preparar la muestra seca, disgregándola con el mortero y pasarlo por la malla No. 40 para obtener una muestra representativa de unos 200 gr. aproximadamente.
- Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca.
- Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea. La consistencia de la pasta debe ser pegajosa.
- Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa y se nivela la superficie.
- Luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.
- La ranura debe apreciarse claramente y que separe completamente la masa del suelo en dos partes.
- La mayor profundidad del suelo en la copa debe ser igual a la altura de la cabeza del acanalador.
- Si se utiliza la herramienta Casagrande se debe mantener firmemente perpendicular a la superficie de la copa, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea.
- Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ”).
- Cuando se cierre la ranura en $\frac{1}{2}$ ”, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad.

- Este proceso se repite nuevamente con tres muestras más para lograr cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad. Los siguientes rangos de golpes son los recomendados: 40 a 30 golpes 25 a 30 golpes 20 a 25 golpes 20 a 15 golpes

Cálculos:

- Representar la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondientes, de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

A.3.2. Límite plástico

Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.²¹

Según el reglamento MTC E 111 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Espátula.
- Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar.
- Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.
- Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

²¹ (MTC, 2016)

Procedimiento:

- Se trabaja con el material preparado para el límite líquido se toma aproximadamente 20gr.
- Luego se amasa el suelo y se deja que pierda humedad hasta una consistencia a la cuál pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo y mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio.
- El rollito debe ser adelgazado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3.2 mm (1/8 pulg.).
- La prueba continúa hasta que el rollito empieza a rajarse y tiende a desmoronarse.
- Una vez que se ha producido el límite plástico se debe colocar el rollito en un recipiente de peso conocido y se pesa para determinar el contenido de humedad.
- Seguidamente se vuelve a repetir la operación tomando otra porción de suelo.
- El límite plástico es el promedio de ambas determinaciones.

Cálculos:

$$LP = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

Donde:

Ww = Peso del agua

Ws = Peso de la muestra secada al horno

A.3.3. Índice de Plasticidad

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite líquido

P.L. = Límite plástico

L.L. y L.P., son números enteros

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

A.4. Clasificación del suelo

A.4.1. Clasificación AASHTO:

En esta clasificación los suelos se dividen en siete grupos (A-1, A-2, A-7), de acuerdo a su granulometría y plasticidad. Principalmente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

La clasificación se complementa con el índice de grupo, que permita caracterizar mejor cada suelo dentro de los grupos, ya que estos admiten suelos con porcentajes de finos y plasticidad muy diferentes. El índice de grupo se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

Siendo:

F: Porcentaje en peso que pasa por el tamiz nº 200 del material inferior a 75 mm, expresado en número entero.

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad.

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como IG = 0) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo, A-2-4 (0).

Tabla 3.3: Clasificación de suelos según la AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo:	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5
Porcentaje que pasa:											A-7-6
N° 10 (2mm)	50	-	-								
N° 40 (0,425mm)	máx										
N° 200 (0,075mm)	30	50	51 mín								
	máx	máx									
	15	25	10 máx		35 máx				36 min		
	máx	máx									
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	-	40	41	40	41	40	41	40	41 mín
				máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	(2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10	10	11	11	10	10	11	11 mín
				máx	máx	mín	mín	máx	máx	mín	
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como sub grado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Fuente: Braja.M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica 1998

A.4.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS, es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros.

Tabla 3.4: Primera letra de clasificación SUCS.

Símbolo	Definición
G	grava
S	arena
M	limo
C	arcilla
O	orgánico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5: Segunda letra de clasificación SUCS.

Símbolo	Definición
P	pobrementemente graduado
W	bien graduado
H	alta plasticidad
L	baja plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

Si el suelo tiene entre un 5-12% de finos, pasantes del tamiz #200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material. Estaríamos hablando por ejemplo de gravas bien graduadas, pero con limos. En esos casos se recomienda usar doble notación, por ejemplo: GW-GM correspondiente a "grava bien graduada" y "grava con limo"

Si el suelo tiene más del 15% del peso retenido por el tamiz #4 ($R_{\#4} > 15\%$), hay una cantidad significativa de grava, y al sufijo "con grava" se le puede añadir el nombre del grupo, pero el símbolo del grupo no cambia. Por ejemplo, SP-SM con grava se refiere a "Arena pobrementemente graduada con limo y grava"

Figura 3. 4: Cuadro de clasificación SUCS.

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA N° 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas.	* d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		
		ARENAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas.	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	Cu=D ₆₀ /D ₁₀ mayor de 6 ; Cc=(D ₃₀) ² / (D ₁₀)(D ₆₀) entre 1 y 3.	
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos		
	ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas.	* d u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
		SC	Arena arcillosas, mezclas de arena y arcilla			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido menor de 50.	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G- Gravas, S-Arena, O-Suelo Orgánico, P-Turba, M-Limo C- Arcilla, W-Bien Graduada, P-Mal Graduada, L-Baja Compresibilidad, H-Alta Compresibilidad
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido mayor de 50.	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.		
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad , arcillas francas.			
OH			Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de mediana plasticidad.			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos			

DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla N°200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Finos 5% y 12%: Casos frontera que requieren el uso de símbolos dobles**

Fuente: Juárez Badillo E. Mecánica de suelos. 2005

A.5. Resistencia al desgaste de los agregados

Es la capacidad que tienen los agregados para resistir a un desgaste superficial.

Según el reglamento MTC E 207 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Máquina de Los Ángeles: La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 711 mm \pm 5 mm (28 pulg \pm 0,2 pulg) y una longitud interior de 508 mm \pm 5 mm (20 pulg \pm 0,2 pulg).
- Tamices
- Balanza

Procedimiento:

- Seleccionar la cantidad de muestra indicada en la siguiente tabla, de acuerdo a su gradación.

Tabla 3. 6: Cantidades de muestra a ensayar de acuerdo a la gradación.

Medida del tamiz		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
37.5mm (1 1/2")	25.0mm (1")	1250 \pm 25			
25.0mm (1")	19.0mm (3/4")	1250 \pm 25			
19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	1250 \pm 10	2500 \pm 10		
12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	1250 \pm 10	2500 \pm 10		
9.5mm (3/8")	6.3mm (1/4")			2500 \pm 10	
6.3mm (1/4")	4.75mm (N°4)			2500 \pm 10	
4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)				5000
Total		5000 \pm 10	5000 \pm 10	5000 \pm 10	5000 \pm 10

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales.2016

- Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones.

Tabla 3. 7: Número de esferas de acuerdo a la gradación de la muestra.

Gradación	Nº Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales.2016

- Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante, determinar la masa con una aproximación a 1 g.

Cálculos:

- Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

$$\%Desgaste = \frac{W_i - W_f}{W_i} \cdot 100$$

Wi= Peso inicial de la muestra

Wf= Peso final de la muestra

A.6. Compactación de suelos en laboratorio. (Próctor modificado).

Este ensayo sirve para determinar el contenido óptimo de humedad y el máximo peso unitario seco de una muestra.

Según el reglamento MTC E 115 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Molde de 4 pulgadas o Molde de 6 pulgadas de acuerdo al método.
- Pisón o Martillo.
- Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata.
- Balanza.
- Horno de Secado.

- Regla
- Tamices o Mallas

Métodos:

METODO "A"

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

METODO "B"

- Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

METODO "C"

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- Número de Capas: 5
- Golpes por Capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Procedimiento:

- Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) o 19.0mm ($\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C.
- Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión.
- Preparar 5 muestras con diferentes cantidades de agua, de tal manera que su contenido de humedad varié entre cada uno de ellas en 1.5 %.
- Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y el collar de extensión y el papel filtro.
- Compactar cada muestra 5 capas y cada capa de 25 ó 56 golpes (depende del método A, B o C), al terminar de compactar la última capa se retira el collar de extensión, se enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda (Dh).
- Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Cálculos:

- Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada (W%), utilizando muestras respectivas de la parte superior e inferior.
- Determinar la densidad seca de cada muestra compactada (ρ_d). Primero calcularemos la densidad húmeda, luego la densidad seca:

$$\rho_m = 1000 \cdot \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado (g/cm³)

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (g).

M_{md} =Masa del molde compactador (g).

V = Volumen del molde de compactación (cm³).

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (g/cm³)

w = Contenido de agua (%)

- Dibujar la curva de compactación en escala natural, el dato de contenido de humedad se registra en el eje de las abscisas y los datos de la densidad seca en el eje de ordenadas.
- Determinar el máximo peso unitario seco y el óptimo contenido de humedad.

A.7. CBR

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, sub base y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje.²²

Según el reglamento MTC E 132 (2000), el equipo y el procedimiento es el siguiente:

Equipo:

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4mm (6") de diámetro interior y de 177,8 (7") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0") de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8") de espesor.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de 61,37 mm (2,416") de espesor.
- Pistón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).
- Aparato medidor de expansión compuesto por:
 - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001").
- Pesas.
- Pistón de penetración.

²² (MTC, 2016)

- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001").
- Tanque.
- Estufa.
- Balanzas.
- Tamices.

Procedimiento:

- Preparar una muestra de suelo de grano fino (en cantidad suficiente para hacer 6 probetas) menor que el tamiz # 4, al contenido de humedad óptima del suelo determinado con el ensayo de Próctor modificado.
- Antes de compactar el suelo en los moldes, tomar una muestra representativa para determinar su contenido de humedad (por lo menos 100 g si el suelo es de grano fino).
- Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.
- Fabricar 6 probetas de 5 capas cada una: 2 de 12 golpes por capa, 2 de 26 golpes por capa y 2 de 56 golpes por capa; dejar saturando una muestra de 12, de 26 y de 56 golpes por capa.
- Para cada molde retirar la base, el collar y el disco espaciador, pesar el molde con el suelo compactado y determinara el peso unitario total del suelo.
- Colocar un disco de papel filtro sobre la base, invertir la muestra y asegurar el molde a la base de forma que el suelo quede en contacto con el papel filtro.

Para muestras no saturadas, llevar a cabo los últimos 3 pasos nombrados:

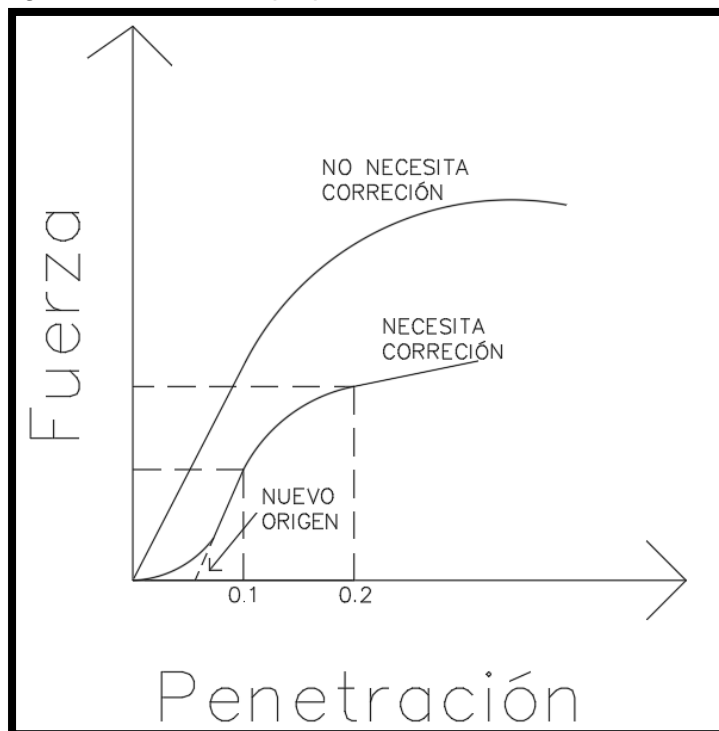
- Colocar suficientes pesas ranuradas (no menos de 4.5 kg) sobre la muestra de suelo para simular la presión de sobrecarga requerida.
- Colocar la muestra en la máquina de compresión y sentar el pistón sobre la superficie de suelo utilizando una carga inicial no mayor de 4.5 kg. Fijar el cero en los deformímetros de medida de carga y de penetración (o deformación).
- Hacer lecturas de deformación o penetración y tomar las respectivas lecturas del deformímetro de carga a 0.025", 0.050", 0.075", 0.100", 0.125", 0.150", 0.200", 0.300", 0.400" y 0.500". Estas lecturas se hacen para definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

- Retirar la muestra del molde y tomar dos muestras de la parte central de tal modo que sean representativas adicionales para contenido de humedad.

Cálculos:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- De la curva corregida tómnense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000 lb/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

Figura 2. 4: Gráfica tipo para el cálculo del índice de CBR.



Fuente: Elaboración propia.

$$CBR = \left(\frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} \right) \cdot 100 \%$$

Seguidamente se estabilizó los agregados con cemento con diferentes porcentajes de cemento, los cuales fueron 1%, 2% y 3% del peso del agregado a utilizar. Para obtener la cantidad óptima de cemento con la cual lleguemos a un CBR de 100%.

Todos estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca y en el Laboratorio Hurteco.

Con los valores de CBR de la subrasante y de la sub base (estabilizada y sin estabilizar) se procedió a diseñar el pavimento rígido por el método de la PCA.

Una vez obtenido el espesor del pavimento con sub base sin estabilizar, se comparó si el espesor del pavimento disminuyó en comparación con la sub base estabilizada; para finalmente realizar un análisis comparativo de costo- beneficio para ver si la estabilización de la sub base resulta económicamente sostenible.

3.4. Tratamiento

3.4.1. Tipo, diseño y método de investigación

A. Tipo de Investigación:

El tipo de investigación es Aplicativa.

B. Método de Investigación:

El método será experimental, ya que realizaremos los ensayos correspondientes.

3.5. Análisis de datos y presentación de resultados de la subrasante

3.5.1. Contenido de humedad.

En la siguiente tabla se presentarán el resultado de las tres pruebas realizadas para el ensayo de Contenido de Humedad, así como también el valor promedio, se tuvo como referencia la norma MTC E 108, ASTM D 2216, NTP 339-117.

Calicata N°1

Tabla 3. 8: Resultados contenido de humedad de la primera calicata.

Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
Wt=	26.4 g	Wt=	25.8 g	Wt=	26.5 g
Wtmh=	191 g	Wtmh=	181 g	Wtmh=	188 g
Wtms=	168.2 g	Wtms=	162 g	Wtms=	175.5 g
Ww=	22.8 g	Ww=	19 g	Ww=	12.5 g
Ws=	141.8 g	Ws=	136.2 g	Ws=	149 g
W%=	16.08	W%=	13.95	W%=	8.39

PROMEDIO

W% 12.81

Fuente: Elaboración propia.

Calicata N°2

Tabla 3. 9: Resultados contenido de humedad de la segunda calicata.

Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
Wt=	26.8 g	Wt=	23.5 g	Wt=	22.9 g
Wtmh=	182.3 g	Wtmh=	177.8 g	Wtmh=	185.1 g
Wtms=	166.2 g	Wtms=	162.5 g	Wtms=	167.7 g
Ww=	16.1 g	Ww=	15.3 g	Ww=	17.4 g
Ws=	139.4 g	Ws=	139 g	Ws=	144.8 g
W%=	11.55	W%=	11.01	W%=	12.02

PROMEDIO

W% 11.52

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Límite líquido.

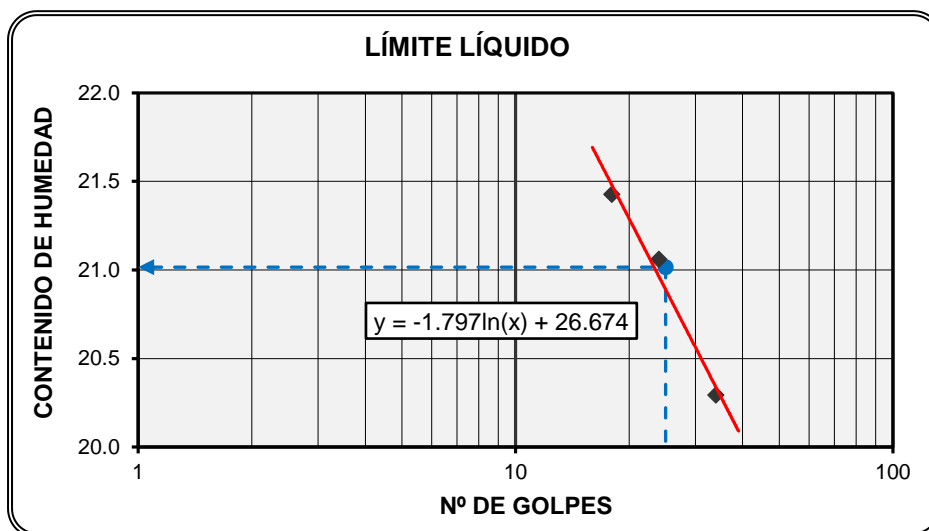
Límite líquido calicata N° 1.

Tabla 3. 10: Resultados ensayo límite líquido calicata N°1.

LÍMITE LÍQUIDO CALICATA 1			
Tara	D1	D2	D3
Wt	18.72	19.21	19.23
Wmh + t (gr)	70.12	70.60	71.75
Wms + t (gr)	61.05	61.66	62.89
Ww (gr)	9.07	8.94	8.86
Wms (gr)	42.33	42.45	43.66
W(%)	21.43	21.06	20.29
N° Golpes	18	24	34

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 5: N° de golpes vs contenido de humedad primera calicata.



LÍMITE LÍQUIDO	
LL%	21

Fuente: Elaboración propia.

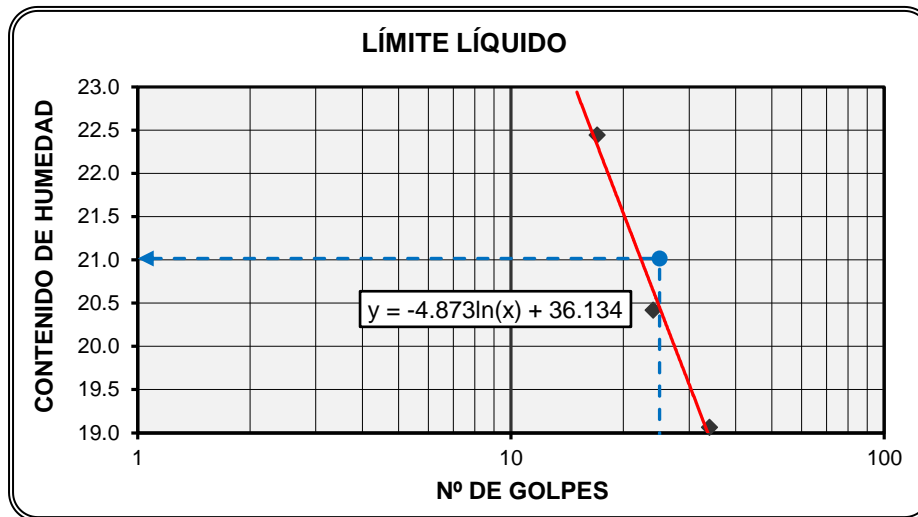
Límite líquido calicata N° 2

Tabla 3. 11: Resultados ensayo límite líquido calicata N°2.

LÍMITE LÍQUIDO			
Tara	D6	D7	D8
Wt	21.78	20.54	19.84
Wmh + t (gr)	59.15	65.89	82.54
Wms + t (gr)	52.30	58.20	72.50
Ww (gr)	6.85	7.69	10.04
Wms (gr)	30.52	37.66	52.66
W(%)	22.44	20.42	19.07
N° Golpes	17	24	34

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6: N° de golpes vs contenido de humedad segunda calicata.



LÍMITE LÍQUIDO	
LL%	21

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Límite plástico.

Límite plástico calicata N°1

Tabla 3. 12: Resultados ensayo límite plástico de la calicata N°1.

LÍMITE PLÁSTICO		
Tara	D4	D5
Wt	18.76	25.01
Wmh + t (gr)	53.85	57.07
Wms + t (gr)	50.81	54.26
Ww (gr)	3.04	2.81
Wms (gr)	32.05	29.25
W(%)	9.49	9.61
Nº Golpes	PROMEDIO	10

Fuente: Elaboración propia.

Límite plástico calicata N°2

Tabla 3. 13: Resultados ensayo límite plástico de la calicata N°2.

LÍMITE PLÁSTICO		
Tara	D9	D10
Wt	21.56	19.34
Wmh + t (gr)	63.85	58.95
Wms + t (gr)	60.20	55.92
Ww (gr)	3.65	3.03
Wms (gr)	38.64	36.58
W(%)	9.45	8.28
Nº Golpes	PROMEDIO	9

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Índice de plasticidad.

IP calicata N°1

Tabla 3. 14: Índice de plasticidad calicata N°1.

LÍMITE LÍQUIDO (LL %):	21
LÍMITE PLÁSTICO (LP %):	10
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP %):	11

Fuente: Elaboración propia.

IP calicata N°2

Tabla 3. 15: Índice de plasticidad calicata N°2.

LÍMITE LÍQUIDO (LL %):	21
LÍMITE PLÁSTICO (LP %):	9
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP %):	12

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Granulometría

En el siguiente cuadro se presenta el resultado del ensayo de Granulometría, para ambas calicatas; se tuvo como referencia la norma MTC E 204, ASTM C 136, NTP 400.012, AASHTO T 27.

Calicata N°1

Peso antes de lavar: 1297 gr

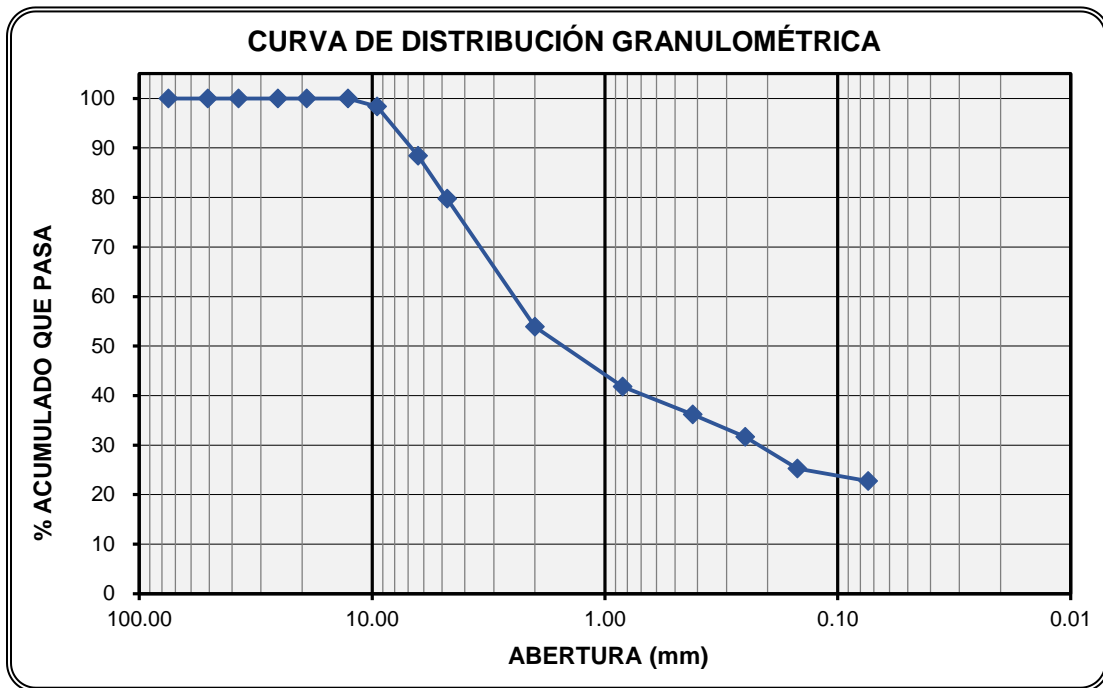
Peso después de lavar: 1045 gr

Tabla 3.16: Resultado del análisis granulométrico de la calicata N°1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA 1						
N° Tamiz	Tamiz(mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acu	% Que pasa	
1	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.53	21.00	1.62	1.62	98.38	
1/4	6.35	129.00	9.95	11.57	88.43	
N°4	4.75	113.00	8.71	20.28	79.72	
N°10	2.00	335.00	25.83	46.11	53.89	
N°20	0.84	157.00	12.10	58.21	41.79	
N°30	0.63	49.00	3.78	61.99	38.01	
N°40	0.42	24.00	1.85	63.84	36.16	
N°60	0.25	58.00	4.47	68.31	31.69	
N°100	0.15	83.00	6.40	74.71	25.29	
N°200	0.07	33.00	2.54	77.26	22.74	
Pasa N°200		295.00	22.74	100.00	0.00	
TOTAL		1297	100			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 7: Curva granulométrica de la calicata N°1.



Fuente: Elaboración propia.

Calicata N°2

Peso antes de lavar: 1245 gr

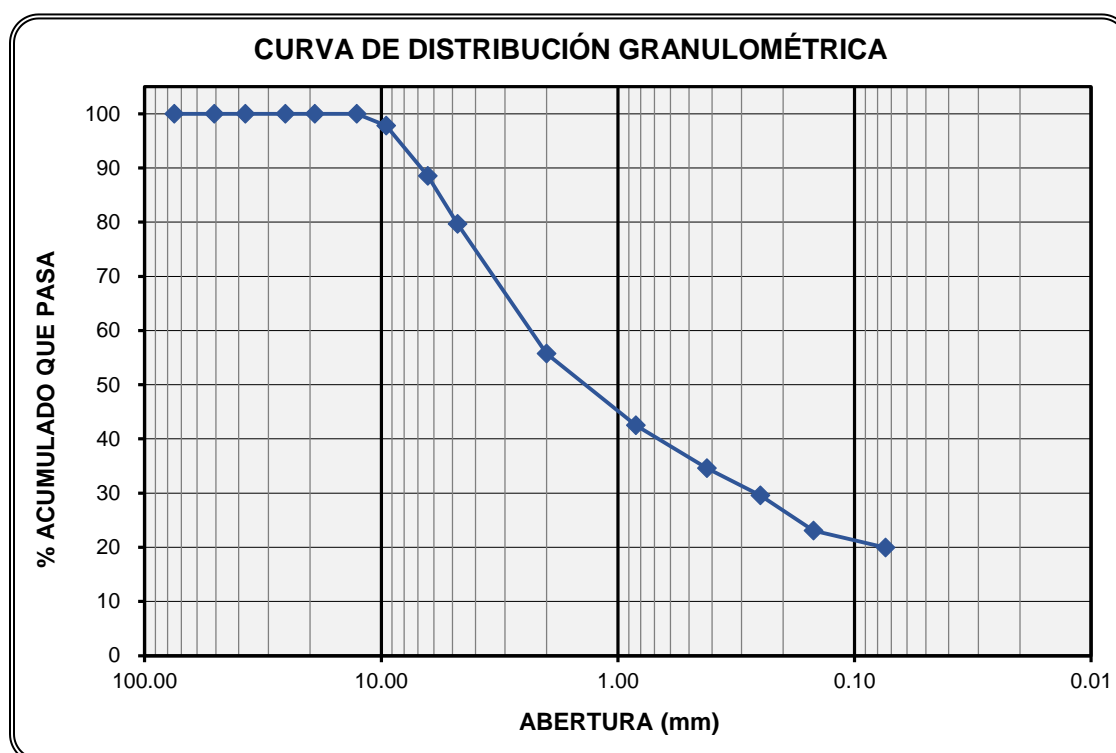
Peso después de lavar: 1072 gr

Tabla 3. 17: Resultado del análisis granulométrico de la calicata N°2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA 2						
N° Tamiz	Tamiz(mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acu	% Que pasa	
1	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/4	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/8	9.53	27.00	2.17	2.17	97.83	97.83
1/4	6.35	116.00	9.32	11.49	88.51	88.51
N°4	4.75	110.00	8.84	20.32	79.68	79.68
N°10	2.00	298.00	23.94	44.26	55.74	55.74
N°20	0.84	165.00	13.25	57.51	42.49	42.49
N°30	0.63	62.00	4.98	62.49	37.51	37.51
N°40	0.42	36.00	2.89	65.38	34.62	34.62
N°60	0.25	63.00	5.06	70.44	29.56	29.56
N°100	0.15	81.00	6.51	76.95	23.05	23.05
N°200	0.07	39.00	3.13	80.08	19.92	19.92
Pasa N°200		248.00	19.92	100.00	0.00	0.00
TOTAL		1245	100			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 8: Curva granulométrica de la Calicata N°2.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Clasificación de suelos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y los datos de los límites de Atterberg, se realizó la clasificación de suelos por ambos sistemas: AASHTO y sistema S.U.C.S.; obteniendo las siguientes clasificaciones:

- **Calicata N°1:**

AASHTO:

A-2-6 (0) GRAVA Y ARENA LIMOARCILLOSAS

SUCS:

ARENA ARCILLOSA CON GRAVA. (SC)

- **Calicata N°2**

AASHTO:

A-2-6 (0) GRAVA Y ARENA LIMOARCILLOSAS

SUCS:

ARENA ARCILLOSA CON GRAVA. (SC)

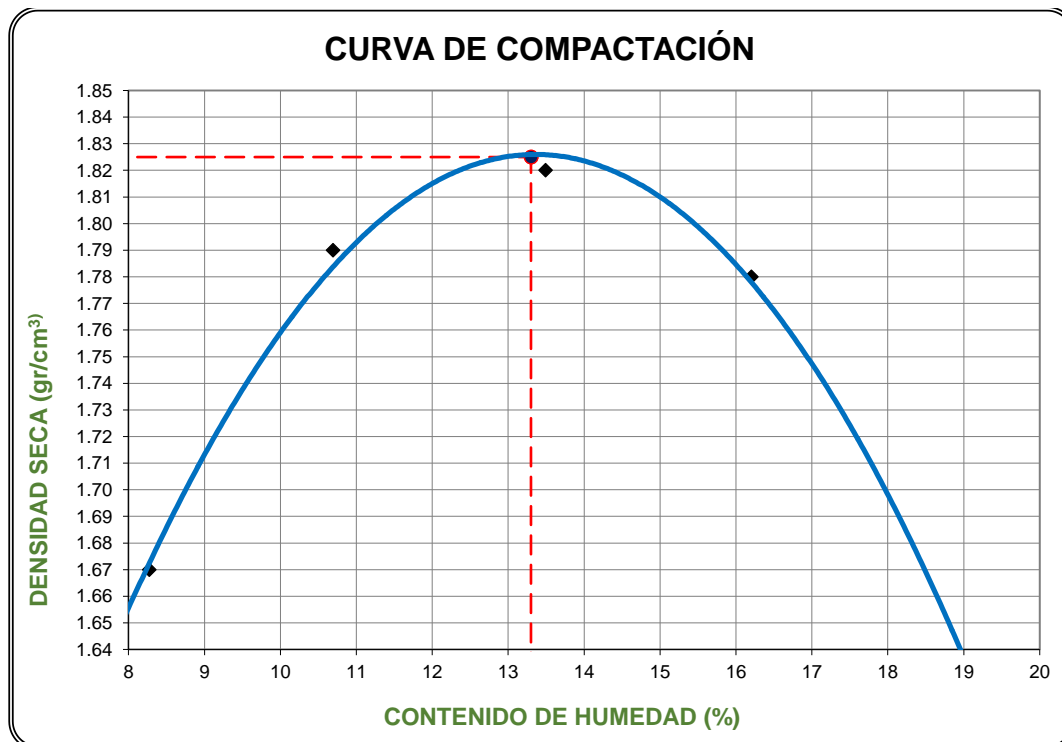
3.5.7. Compactación Próctor modificado.

Tabla 3. 18: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, de la subrasante.

MOLDE Nº	1	2	3	4				
Nº DE CAPAS	5	5	5	5				
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25	25				
PESO DEL MOLDE (gr)	3,432	3,432	3,432	3,432				
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	942.07	942.07	942.07	942.07				
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	5,138	5,300	5,382	5,385				
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	1,706	1,868	1,950	1,953				
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.81	1.98	2.07	2.07				
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº DE TARA	28	29	30	31	32	33	34	35
PESO DE TARA (gr)	24.99	18.72	24.23	25.20	24.78	19.09	24.71	24.45
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	110.35	121.17	114.61	135.00	120.63	112.07	121.40	121.10
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	104.11	113.01	105.81	124.48	109.10	101.15	107.38	108.17
PESO DEL AGUA (gr)	6.24	8.16	8.80	10.52	11.53	10.92	14.02	12.93
PESO DE SUELO SECO (gr)	79.12	94.29	81.58	99.28	84.32	82.06	82.67	83.72
HUMEDAD (%)	7.89	8.65	10.79	10.60	13.67	13.31	16.96	15.44
HUMEDAD PROMEDIO (%)	8.27		10.69		13.49		16.20	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.67		1.79		1.82		1.78	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 9: Curva contenido de humedad vs densidad seca de la subrasante.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19: Contenido de humedad y densidad seca óptima de la subrasante.

RESULTADO PRÓCTOR MODIFICADO	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.825 (gr/cm ³)
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13.3 %

Fuente: Elaboración propia.

3.5.8. California Bearing Ratio (CBR)

ENSAYO CBR – COMPACTACIÓN

Tabla 3. 20: Ensayo CBR – Compactación de la subrasante.

MOLDE N°	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
N° DE CAPAS	5			5			5		
N° DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,689			7,758			7,704		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS		ANTES	DESPUÉS		ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,132	12,196		12,151	12,223		12,334	12,369	
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,443	4,507		4,393	4,465		4,630	4,665	
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.92	1.95		1.90	1.93		2.00	2.01	
CONTENIDO DE HUMEDAD									
N° DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PESO DE TARA (gr)	24.99	18.73	18.36	24.23	25.20	24.90	24.69	24.45	24.63
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	126.03	121.56	117.39	120.92	111.61	133.68	141.93	138.93	129.95
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	107.24	103.16	97.65	102.89	94.99	112.09	122.08	119.74	112.68
PESO DEL AGUA (gr)	18.79	18.40	19.74	18.03	16.62	21.59	19.85	19.19	17.27
PESO DE SUELO SECO (gr)	82.25	84.43	79.29	78.66	69.79	87.19	97.39	95.29	88.05
HUMEDAD (%)	22.8	21.8	24.9	22.9	23.8	24.8	20.4	20.1	19.6
HUMEDAD PROMEDIO (%)	22.3		24.9	23.4		24.8	20.3		19.6
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.57		1.56	1.54		1.54	1.66		1.68

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO CBR – EXPANSIÓN

Tabla 3. 21: Ensayo CBR – EXPANSIÓN de la subrasante.

TIEMPO		EXPANSIÓN		
DÍAS	HORAS	MOLDE 1 LECTURA	MOLDE 2 LECTURA	MOLDE 3 LECTURA
0	14:00	0.000	0.000	0.000
4	14:00	0.130	0.130	0.080
EXPANSIÓN (%)		2.60	2.60	1.60
EXPANSIÓN PROM (%)			2.27	

Fuente: Elaboración propia.

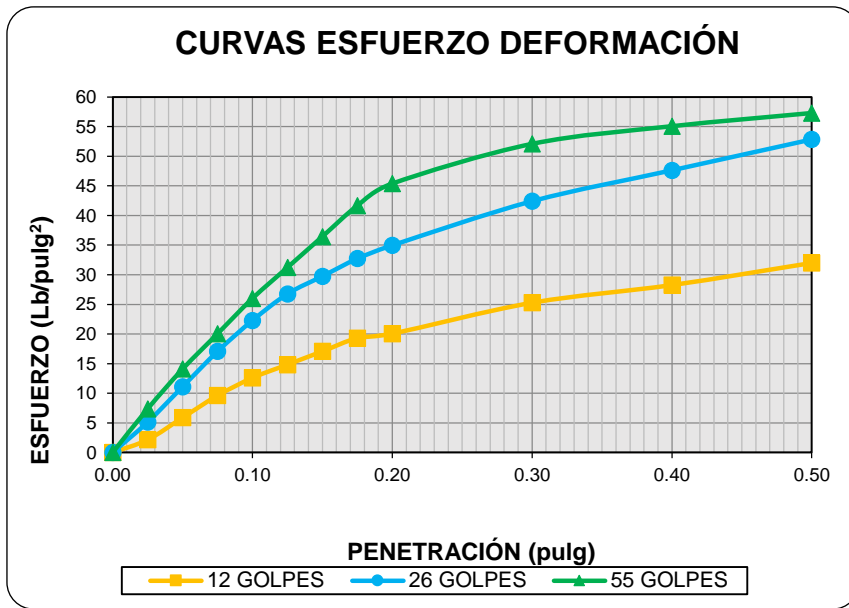
ENSAYO CBR – PENETRACIÓN

Tabla 3. 22: Ensayo CBR – Penetración de la subrasante.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	4	2.15	8	5.13	11	7.37
0.050	9	5.88	16	11.10	20	14.09
0.075	14	9.61	24	17.07	28	20.05
0.100	18	12.59	31	22.29	36	26.02
0.125	21	14.83	37	26.77	43	31.24
0.150	24	17.07	41	29.75	50	36.46
0.175	27	19.31	45	32.73	57	41.67
0.200	28	20.05	48	34.97	62	45.40
0.300	35	25.27	58	42.42	71	52.10
0.400	39	28.26	65	47.63	75	55.08
0.500	44	31.98	72	52.84	78	57.31

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 10: Curva esfuerzo vs deformación de la subrasante.



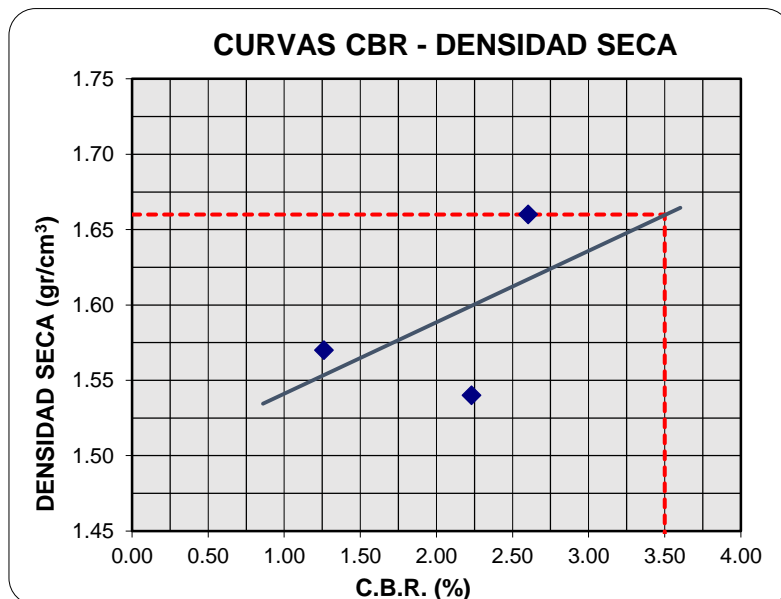
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 23: Cálculo del % CRB de la subrasante con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	13	22	26
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	1	2	3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 11: Curva del ensayo CBR vs Densidad Seca para obtener el valor del CBR de la subrasante.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.24: Valor del CBR de la subrasante.

DESCRIPCIÓN	CBR%
SUBRASANTE	3.5

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis de datos y presentación de resultados de la sub base.

3.6.1. Contenido de humedad.

Tabla 3. 25: Resultados ensayo contenido de humedad.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Wt=	27.4g	27.6g	28.4g
Wtmh=	180g	174.5g	189.2g
Wtms=	169.2g	164g	177.3g
Ww=	10.8g	10.5g	11.9g
Ws=	141.8g	136.4g	148.9g
W%=	7.62	7.7	7.99

PROMEDIO

W% 7.77

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Límite líquido.

Tabla 3. 26: Resultados ensayo límite líquido.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Wt=	27.4g	27.6g	27.8g
Wtmh=	40.1g	37.3g	44.9g
Wtms=	37.9g	35.6g	41.9g
Ww=	2.2g	1.7g	3g
Ws=	10.5g	8g	14.1g
W%=	20.95	21.25	21.28
N=	9	11	12

PROMEDIO

LL= NP

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Límite Plástico.

LP = No Presenta

3.6.4. Índice de plasticidad.

Al no contar con un límite plástico, se llega a la conclusión de que no se cuenta tampoco con un índice de plasticidad.

IP= No presenta

IP= NP

3.6.5. Granulometría

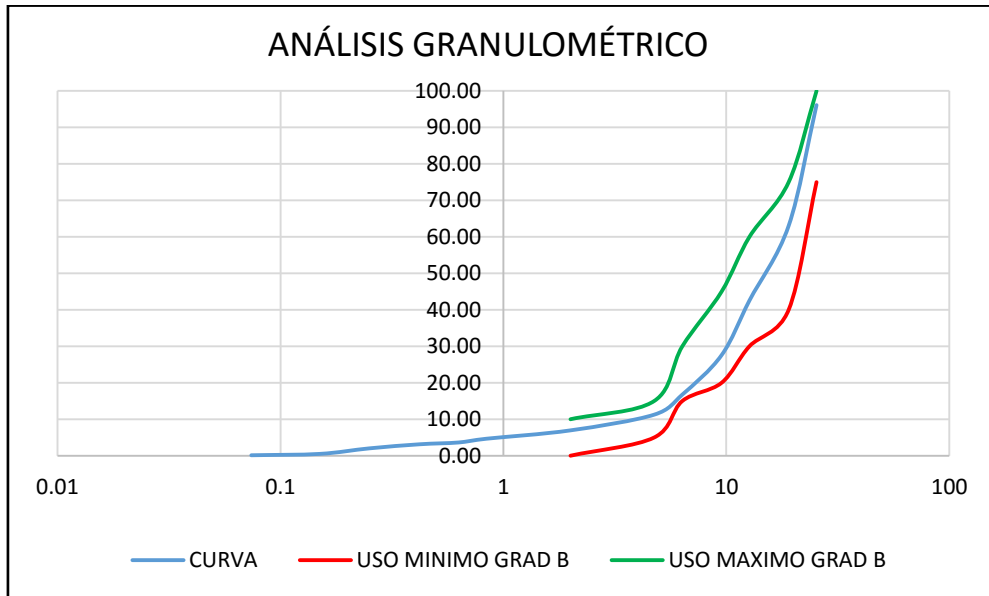
En el siguiente cuadro se presentarán el resultado del ensayo de Granulometría, así como también su respectiva gráfica en donde se presenta además el tipo de gradación tomada, el cual fue la **GRADACIÓN B**, ya que nuestros valores estuvieron dentro de su rango; se tuvo como referencia la norma MTC E 204, ASTM C 136, NTP 400.012, AASHTO T 27.

Tabla 3. 27: Resultado del análisis granulométrico de la muestra.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GENERAL (AGREGADO FINO Y GRUESO)						
N° Tamiz	Tamiz(mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acu	% Que pasa	
1	25.4	194.00	3.88	3.88	96.12	
3/4	19.05	1654.00	33.08	36.96	63.04	
1/2	12.70	1025.00	20.50	57.46	42.54	
3/8	9.53	748.00	14.96	72.42	27.58	
1/4	6.35	541.00	10.82	83.24	16.76	
N°4	4.75	275.10	5.50	88.74	11.26	
N°10	2.00	215.40	4.31	93.05	6.95	
N°20	0.84	114.60	2.29	95.34	4.66	
N°30	0.63	51.24	1.02	96.37	3.63	
N°40	0.42	25.10	0.50	96.87	3.13	
N°60	0.25	56.00	1.12	97.99	2.01	
N°100	0.15	75.60	1.51	99.50	0.50	
N°200	0.07	18.70	0.37	99.87	0.13	
Pasa N°200		6.30	0.13	100.00	0.00	
TOTAL		5000	100			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 12: Curva granulométrica y usos granulométricos que nos da el MTC.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.6. Clasificación de suelos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y los datos de los límites de Atterberg, se realizó la clasificación de suelos por ambos sistemas: AASHTO y sistema S.U.C.S.; obteniendo la siguiente clasificación:

AASHTO:

A-1-a - Fragmentos de roca, grava y arena.

SUCS:

Gravas bien graduadas, mezcla grava-arena, pocos o sin finos. (GW)

3.6.7. Resistencia al desgaste de los agregados

En el siguiente cuadro se presentarán el resultado de las tres pruebas realizadas para el ensayo de Resistencia al Desgaste de los Agregados, así como también el valor promedio, se tuvo como referencia la norma MTC E 207 - 2000, ASTM C 131, NTP 400.019, AASHTO T 96.

Tabla 3. 28: Resultados del ensayo Resistencia al desgaste de los agregados.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Wi=	5000 g	5000 g	5000 g
Wf=	3655 g	3630 g	3540 g
%Desgaste=	26.9 g	27.4 g	29.2 g

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8. Compactación Próctor modificado.

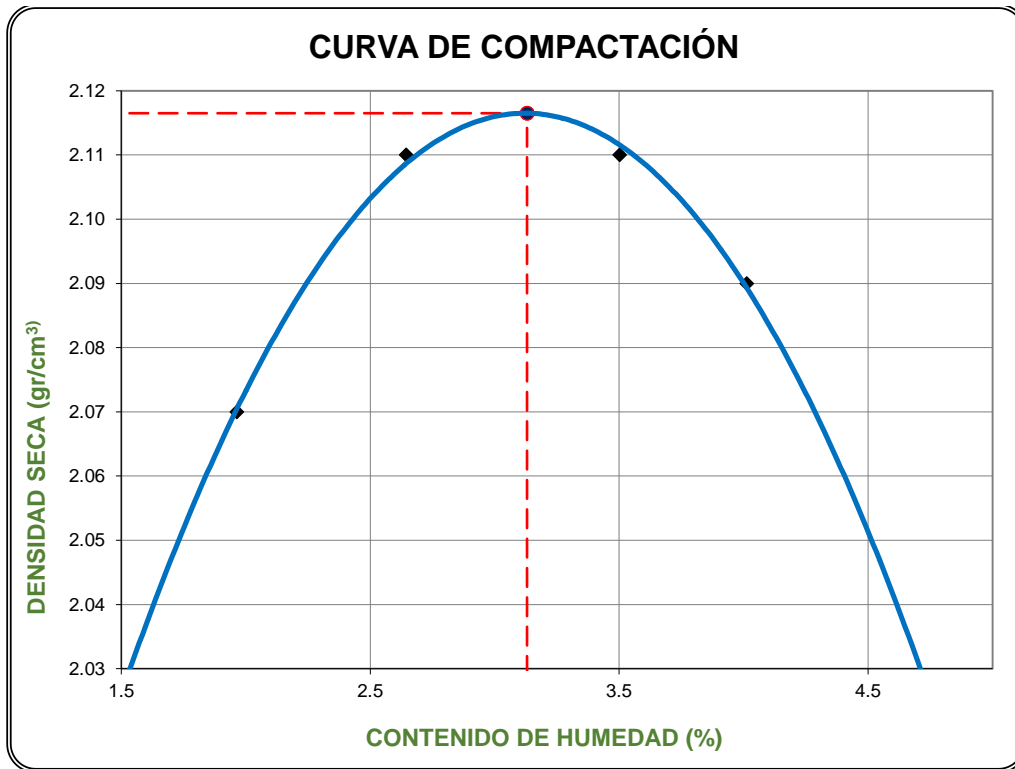
A. Agregado sin estabilización.

Tabla 3. 29: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado sin adición de cemento.

MOLDE N°	1	2	3	4				
N° DE CAPAS	5	5	5	5				
N° DE GOLPES POR CAPA	56	56	56	56				
PESO DEL MOLDE (gr)	6,000	6,000	6,000	6,000				
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,123.31	2,123.31	2,123.31	2,123.31				
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	10,488	10,594	10,631	10,618				
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,488	4,594	4,631	4,618				
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	2.11	2.16	2.18	2.17				
CONTENIDO DE HUMEDAD								
N° DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO DE TARA (gr)	19.03	18.65	24.23	25.20	18.36	24.89	24.64	19.18
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	318.84	347.77	301.15	294.48	304.16	314.35	284.54	341.57
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	313.08	341.41	294.15	287.41	294.25	304.80	273.99	329.78
PESO DEL AGUA (gr)	5.76	6.36	7.00	7.07	9.91	9.55	10.55	11.79
PESO DE SUELO SECO (gr)	294.05	322.76	269.92	262.21	275.89	279.91	249.35	310.60
HUMEDAD (%)	1.96	1.97	2.59	2.70	3.59	3.41	4.23	3.80
HUMEDAD PROMEDIO (%)	1.96	2.64	3.50	4.01				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.07	2.11	2.11	2.09				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 13: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado sin estabilizar.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 30: Tabla 1: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado sin estabilizar.

RESULTADO PRÓCTOR MODIFICADO	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.117 (gr/cm ³)
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	3.1 %

Fuente: Elaboración propia.

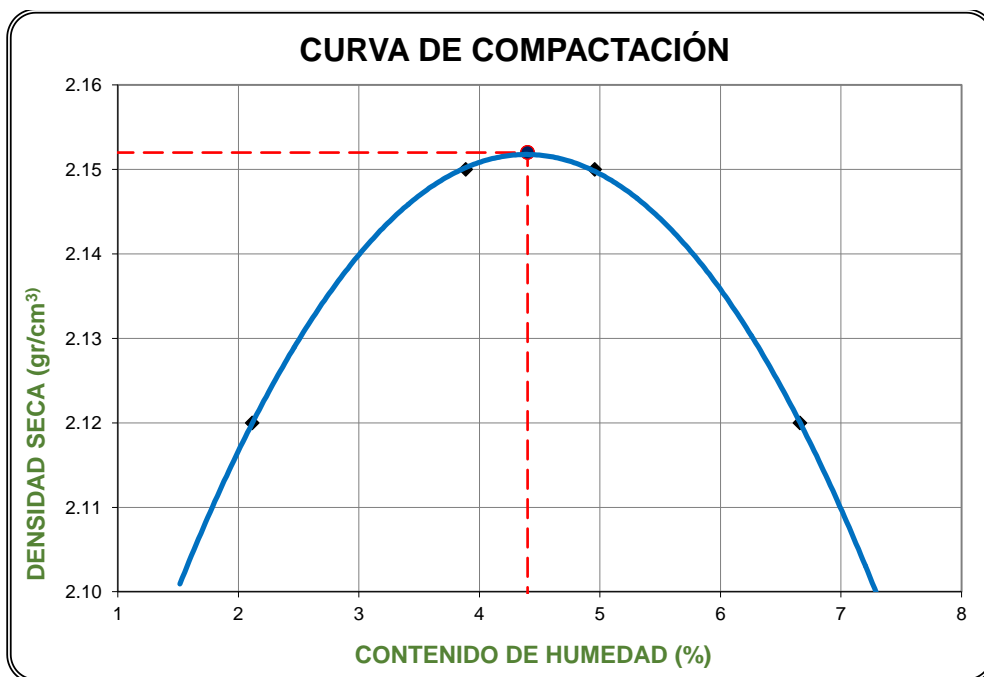
B. Agregado estabilizado con el 1% de cemento.

Tabla 3. 31: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 1% de cemento.

MOLDE Nº	1	2	3	4				
Nº DE CAPAS	5	5	5	5				
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	56	56	56				
PESO DEL MOLDE (gr)	6,000	6,000	6,000	6,000				
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,123.31	2,123.31	2,123.31	2,123.31				
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	10,586	10,735	10,801	10,802				
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,586	4,735	4,801	4,802				
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	2.16	2.23	2.26	2.26				
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº DE TARA	9	10	11	12	13	14	15	16
PESO DE TARA (gr)	18.37	24.93	24.62	19.13	19.01	18.64	24.71	18.77
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	226.41	272.65	260.98	276.34	221.36	264.68	245.65	228.07
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	221.49	268.25	251.66	267.24	211.44	253.50	231.29	215.54
PESO DEL AGUA (gr)	4.92	4.40	9.32	9.10	9.92	11.18	14.36	12.53
PESO DE SUELO SECO (gr)	203.12	243.32	227.04	248.11	192.43	234.86	206.58	196.77
HUMEDAD (%)	2.42	1.81	4.11	3.67	5.16	4.76	6.95	6.37
HUMEDAD PROMEDIO (%)	2.12		3.89		4.96		6.66	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.12		2.15		2.15		2.12	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 14: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 1% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 32: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 1%.

RESULTADO PRÓCTOR MODIFICADO	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.152 (gr/cm ³)
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	4.4 %

Fuente: Elaboración propia.

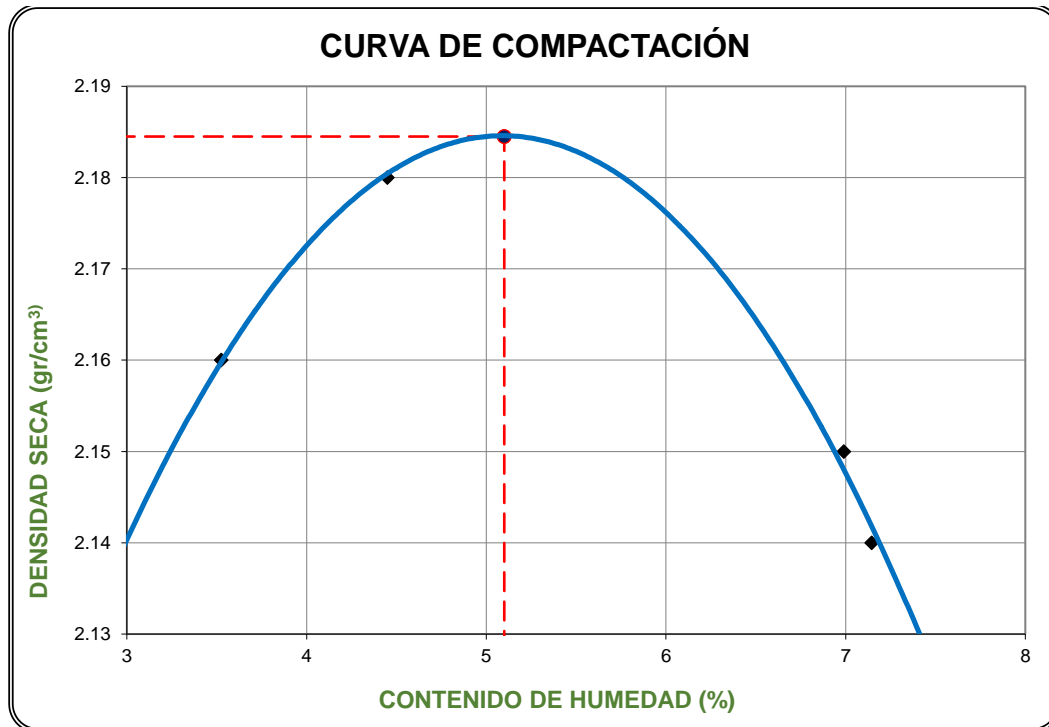
C. Agregado estabilizado con el 2% de cemento.

Tabla 3. 33: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 2% de cemento.

MOLDE Nº	1	2	3	4				
Nº DE CAPAS	5	5	5	5				
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	56	56	56				
PESO DEL MOLDE (gr)	6,000	6,000	6,000	6,000				
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	2,123.31	2,123.31	2,123.31	2,123.31				
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	10,742	10,843	10,890	10,860				
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,742	4,843	4,890	4,860				
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	2.23	2.28	2.30	2.29				
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Nº DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO DE TARA (gr)	25.50	19.03	24.05	24.27	24.89	18.54	18.25	17.76
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	252.05	267.23	256.46	297.74	263.37	290.34	289.14	294.92
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	243.91	259.25	245.71	287.10	245.44	275.32	267.31	280.41
PESO DEL AGUA (gr)	8.14	7.98	10.75	10.64	17.93	15.02	21.83	14.51
PESO DE SUELO SECO (gr)	218.41	240.22	221.66	262.83	220.55	256.78	249.06	262.65
HUMEDAD (%)	3.73	3.32	4.85	4.05	8.13	5.85	8.76	5.52
HUMEDAD PROMEDIO (%)	3.52		4.45		6.99		7.14	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.16		2.18		2.15		2.14	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 15: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 2% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 34: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 2%.

RESULTADO PRÓCTOR MODIFICADO	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.185 (gr/cm ³)
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	5.1 %

Fuente: Elaboración propia.

D. Agregado estabilizado con el 3% de cemento.

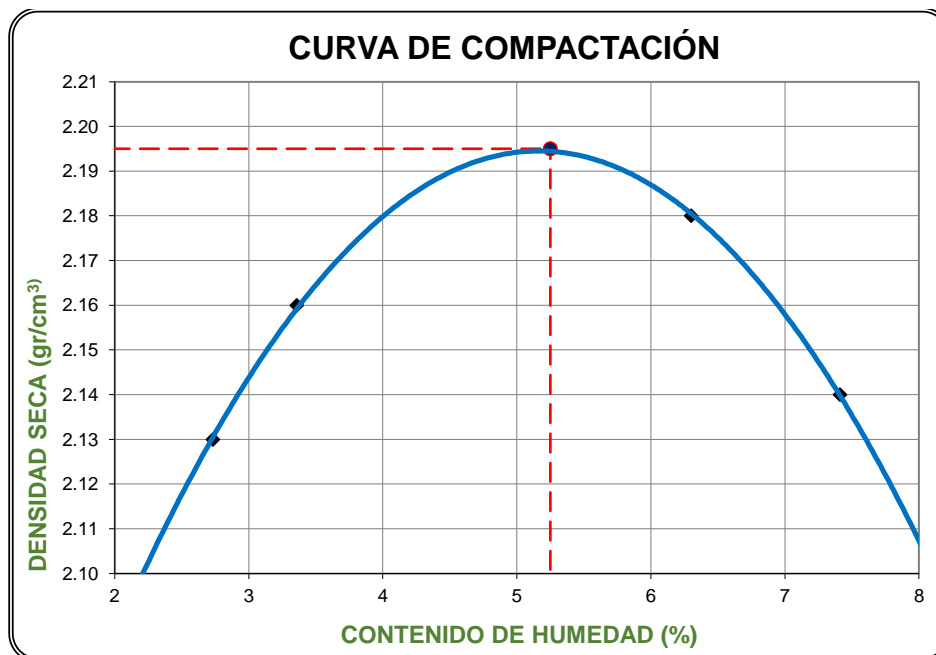
Tabla 3. 35: Cálculos para obtener el W% y la densidad seca óptima, del agregado con adición del 3% de cemento.

MOLDE N°	1	2	3	4
N° DE CAPAS	5	5	5	5
N° DE GOLPES POR CAPA	56	56	56	56
PESO DEL MOLDE (gr)	6,000	6,000	6,000	6,000
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	2,123.31	2,123.31	2,123.31	2,123.31
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	10,653	10,732	10,912	10,880
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,653	4,732	4,912	4,880
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	2.19	2.23	2.31	2.30

CONTENIDO DE HUMEDAD								
N° DE TARA	9	10	11	12	13	14	15	16
PESO DE TARA (gr)	25.16	18.96	25.43	19.04	18.73	19.22	19.24	18.77
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	292.27	338.94	287.11	302.28	315.25	332.51	287.14	297.99
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	284.52	331.20	277.89	293.85	297.88	312.84	267.15	280.31
PESO DEL AGUA (gr)	7.75	7.74	9.22	8.43	17.37	19.67	19.99	17.68
PESO DE SUELO SECO (gr)	259.36	312.24	252.46	274.81	279.15	293.62	247.91	261.54
HUMEDAD (%)	2.99	2.48	3.65	3.07	6.22	6.70	8.06	6.76
HUMEDAD PROMEDIO (%)	2.73		3.36		6.46		7.41	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.13		2.16		2.17		2.14	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 16: Curva contenido de humedad vs densidad seca del agregado estabilizado con el 3% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 36: Contenido de humedad y densidad seca óptima para el agregado con estabilización de cemento al 3%.

RESULTADO PRÓCTOR MODIFICADO	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.195 (gr/cm ³)
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	5.3 %

Fuente: Elaboración propia.

3.6.9. California Bearing Ratio (CBR)

A. Espécimen sin adición de cemento

ENSAYO CBR – COMPACTACIÓN

Tabla 3. 37: Primer ensayo CBR – Compactación, sin adición de cemento.

MOLDE Nº	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3				
Nº DE CAPAS	5		5		5				
Nº DE GOLPES POR CAPA	12		26		55				
PESO DEL MOLDE (gr)	7,689		7,758		7,704				
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317		2,317		2,317				
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS			
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,031	12,492	12,322	12,749	12,356	12,707			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,342	4,803	4,564	4,991	4,652	5,003			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.87	2.07	1.97	2.15	2.01	2.16			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nº DE TARA	1	2	1	3	4	2	5	6	3
PESO DE TARA (gr)	18.38	24.89	18.72	24.63	19.18	19.21	19.06	18.68	19.23
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	269.11	266.90	270.22	272.78	259.99	287.00	229.47	241.96	245.69
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	261.56	259.72	240.31	265.35	252.92	259.33	223.36	235.48	225.60
PESO DEL AGUA (gr)	7.55	7.18	29.91	7.43	7.07	27.67	6.11	6.48	20.09
PESO DE SUELO SECO (gr)	243.18	234.83	221.59	240.72	233.74	240.12	204.30	216.80	206.37
HUMEDAD (%)	3.1	3.1	13.5	3.1	3.0	11.5	3.0	3.0	9.7
HUMEDAD PROMEDIO (%)	3.1	13.5	3.1	11.5	3.0	9.7			
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.82	1.83	1.91	1.93	1.95	1.97			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 38: Segundo ensayo CBR – Compactación, sin adición de cemento.

MOLDE N°	MOLDE 4			MOLDE 5			MOLDE 6		
N° DE CAPAS	5			5			5		
N° DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,921			7,738			7,910		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS		ANTES	DESPUÉS		ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,265	12,728		12,314	12,723		12,568	12,907	
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,344	4,807		4,576	4,985		4,658	4,997	
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.88	2.07		1.98	2.15		2.01	2.16	
CONTENIDO DE HUMEDAD									
N° DE TARA	1	2	1	3	4	2	5	6	3
PESO DE TARA (gr)	18.24	24.78	18.81	24.51	19.15	19.19	19.11	18.75	19.28
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	268.95	265.89	268.11	272.78	259.99	286.30	229.47	241.96	244.59
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	260.25	259.70	238.22	265.35	252.92	258.70	223.36	235.48	224.50
PESO DEL AGUA (gr)	8.70	6.19	29.89	7.43	7.07	27.60	6.11	6.48	20.09
PESO DE SUELO SECO (gr)	242.01	234.92	219.41	240.84	233.77	239.51	204.25	216.73	205.22
HUMEDAD (%)	3.6	2.6	13.6	3.1	3.0	11.5	3.0	3.0	9.8
HUMEDAD PROMEDIO (%)	3.1		13.6	3.1		11.5	3.0		9.8
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.82		1.83	1.92		1.93	1.95		1.96

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO CBR – EXPANSIÓN

Tabla 3. 39: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, sin adición de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	14:00	0.000	0.000	0.000
4	14:00	0.150	0.120	0.11
EXPANSIÓN (%)		3.00	2.40	2.20
EXPANSIÓN PROM (%)		2.53		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 40: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, sin adición de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	12:00	0.000	0.000	0.000
4	12:00	0.100	0.090	0.08
EXPANSIÓN (%)		2.00	1.80	1.60
EXPANSIÓN PROM (%)		1.80		

Fuente: Elaboración propia.

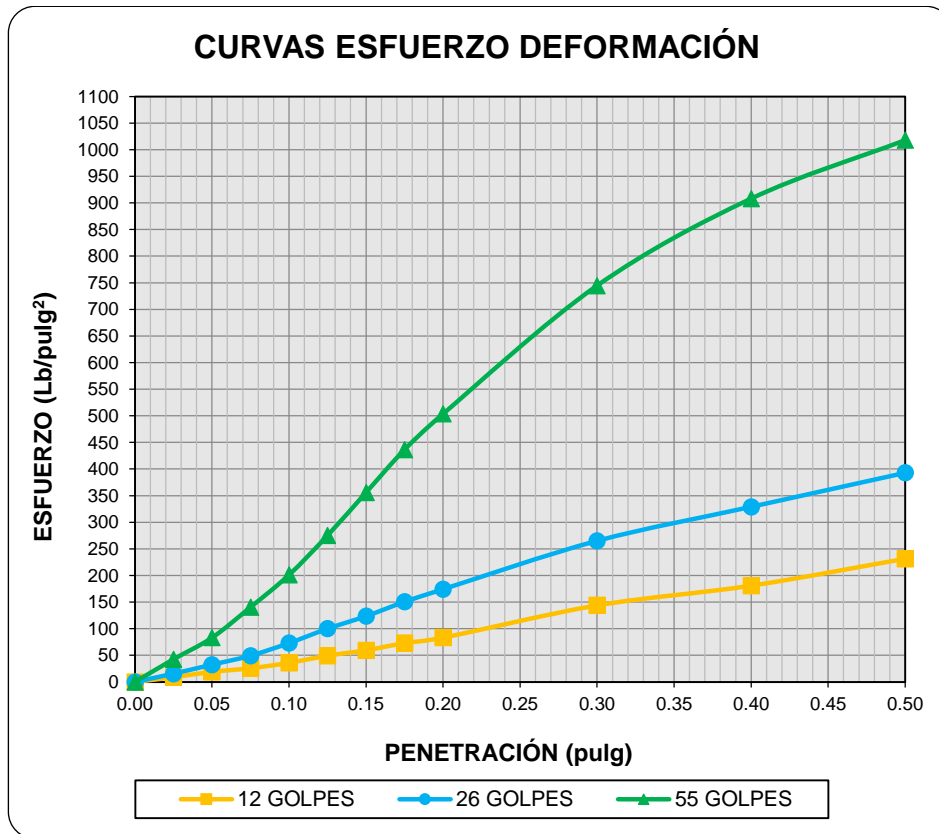
ENSAYO CBR – PENETRACIÓN

Tabla 3. 41: Primer ensayo CBR – Penetración, sin adición de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	8.82	5	15.57	13	42.58
0.050	6	18.95	10	32.46	25	83.09
0.075	8	25.70	15	49.34	42	140.42
0.100	11	35.83	22	72.96	60	201.09
0.125	15	49.34	30	99.95	82	275.16
0.150	18	59.46	37	123.56	106	355.88
0.175	22	72.96	45	150.54	130	436.50
0.200	25	83.09	52	174.13	150	503.61
0.300	43	143.80	79	265.06	222	744.62
0.400	54	180.87	98	328.98	271	908.08
0.500	69	231.40	117	392.84	304	1,017.91

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 17: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo sin adición de cemento.



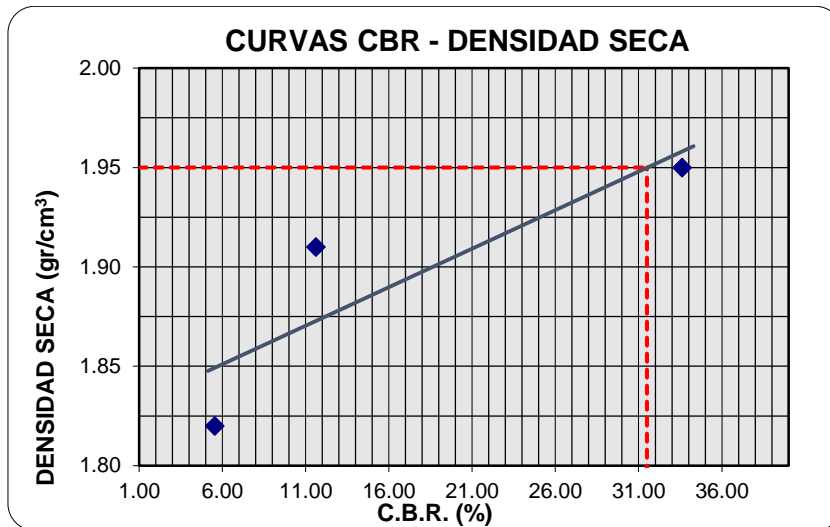
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 42: Cálculo del % CRB del primer ensayo sin adición de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	36	73	201
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	4	7	20
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	83	174	504
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	6	12	34

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 18: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado sin adición de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

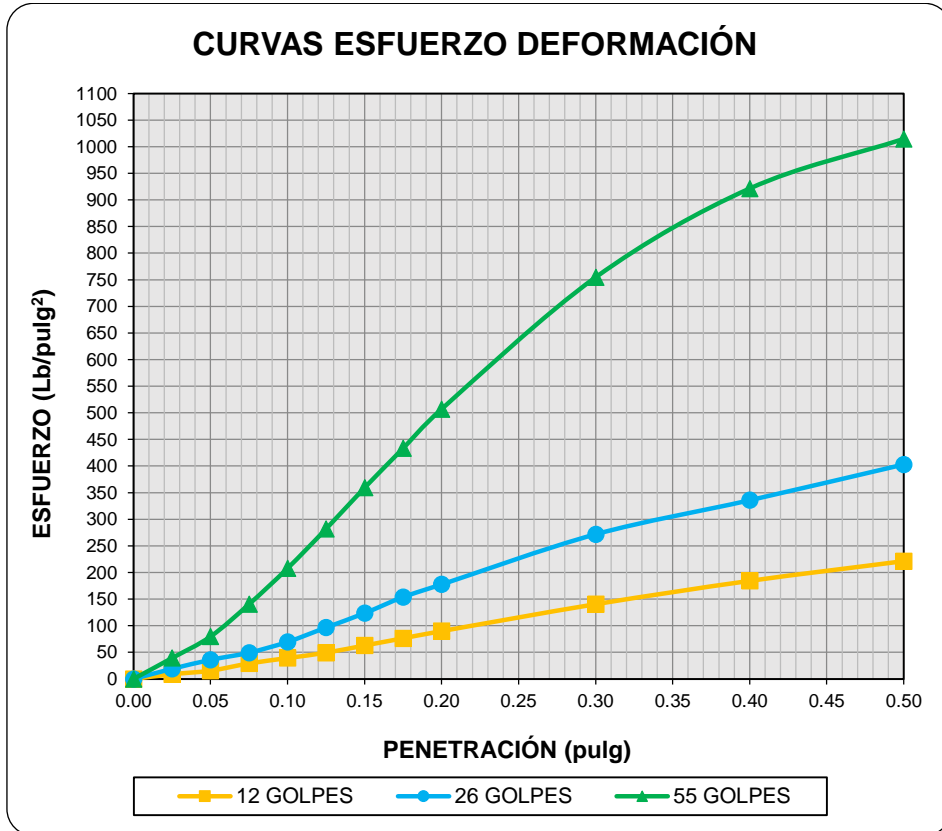
CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	32
---	-----------

Tabla 3. 43: Segundo ensayo CBR – Penetración, sin adición de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 4		MOLDE 5		MOLDE 6	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	8.82	6	18.95	12	39.21
0.050	5	15.57	11	35.83	24	79.71
0.075	9	29.08	15	49.34	42	140.42
0.100	12	39.21	21	69.59	62	207.82
0.125	15	49.34	29	96.58	84	281.89
0.150	19	62.84	37	123.56	107	359.24
0.175	23	76.34	46	153.91	129	433.14
0.200	27	89.83	53	177.50	151	506.96
0.300	42	140.42	81	271.80	225	754.64
0.400	55	184.24	100	335.71	275	921.41
0.500	66	221.30	120	402.92	303	1,014.58

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 19: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo sin adición de cemento.



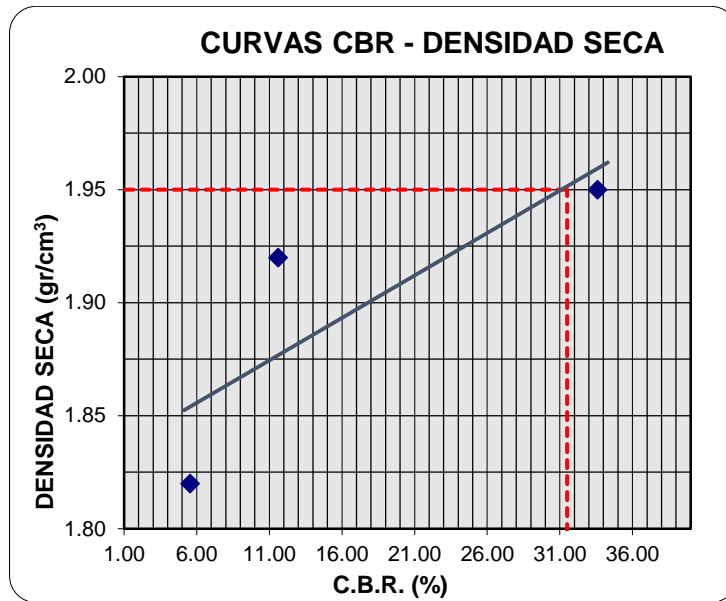
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 44: Cálculo del % CRB del segundo ensayo sin adición de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	39	70	208
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	4	7	21
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	90	178	507
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	6	12	34

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 20: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado sin adición de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	32
---	-----------

Tabla 3. 45: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos sin adición de cemento realizados.

DESCRIPCIÓN	CBR%
AGREGADO SIN CEMENTO	32

Fuente: Elaboración propia.

Comparación del análisis de los resultados obtenidos con los parámetros que nos brinda el MTC.

Tabla 3. 46: Tabla de comparación de resultados con los parámetros del MTC.

ENSAYO	NORMA MTC	REQUERIMIENTO	OBTENIDO
Abrasión	MTC E 207	50 % máx	27.83
CBR	MTC E 132	40 % mín	32%
Límite Líquido	MTC E 110	25% máx	NP
Índice de Plasticidad	MTC E 111	4% máx	NP

Fuente: Elaboración propia.

B. Espécimen con adición del 1% de cemento

ENSAYO CBR – COMPACTACIÓN

Tabla 3. 47: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 1% de cemento.

MOLDE N°	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3				
N° DE CAPAS	5		5		5				
N° DE GOLPES POR CAPA	12		26		55				
PESO DEL MOLDE (gr)	7,689		7,758		7,704				
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317		2,317		2,317				
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS			
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,144	12,547	12,487	12,763	12,490	12,755			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,455	4,858	4,729	5,005	4,786	5,051			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.92	2.10	2.04	2.16	2.07	2.18			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
N° DE TARA	3	4	1	5	6	2	7	8	3
PESO DE TARA (gr)	18.73	19.31	18.37	19.23	18.74	24.89	25.01	25.14	24.63
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	229.05	223.73	266.20	190.85	225.48	245.20	203.65	191.28	273.02
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	219.15	214.05	235.70	182.23	216.41	225.17	195.28	183.49	251.65
PESO DEL AGUA (gr)	9.90	9.68	30.50	8.62	9.07	20.03	8.37	7.79	21.37
PESO DE SUELO SECO (gr)	200.42	194.74	217.33	163.00	197.67	200.28	170.27	158.35	227.02
HUMEDAD (%)	4.9	5.0	14.0	5.3	4.6	10.0	4.9	4.9	9.4
HUMEDAD PROMEDIO (%)	5.0		14.0	4.9		10.0	4.9		9.4
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.83		1.84	1.95		1.96	1.97		1.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 48: Segunda ensayo CBR – Compactación, con adición del 1% de cemento.

MOLDE Nº	MOLDE 4			MOLDE 5			MOLDE 6			
Nº DE CAPAS	5			5			5			
Nº DE GOLPES POR CAPA	12			26			55			
PESO DEL MOLDE (gr)	7,921			7,738			7,910			
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317			
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,358		12,771	12,468		12,729	12,702		12,951	
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,437		4,850	4,730		4,991	4,792		5,041	
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.92		2.09	2.04		2.15	2.07		2.18	
CONTENIDO DE HUMEDAD	20		21	19	22	23	24	25	26	27
PESO DE TARA (gr)	18.48	19.45	18.24	19.07	18.48	24.78	25.04	25.11	24.59	
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	228.55	222.23	264.70	189.23	225.03	244.89	202.55	191.18	272.82	
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	217.65	212.55	234.20	181.03	215.31	224.99	194.18	183.40	251.48	
PESO DEL AGUA (gr)	10.90	9.68	30.50	8.20	9.72	19.90	8.37	7.78	21.34	
PESO DE SUELO SECO (gr)	199.17	193.10	215.96	161.96	196.83	200.21	169.14	158.29	226.89	
HUMEDAD (%)	5.5	5.0	14.1	5.1	4.9	9.9	4.9	4.9	9.4	
HUMEDAD PROMEDIO (%)	5.2		14.1	5.0		9.9	4.9		9.4	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.82		1.83	1.94		1.96	1.97		1.99	

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO CBR – EXPANSIÓN

Tabla 3. 49: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 1% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	11:00	0.000	0.000	0.000
4	11:00	0.100	0.095	0.07
EXPANSIÓN (%)		2.00	1.90	1.40
EXPANSIÓN PROM (%)		1.77		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 50: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 1% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	17:00	0.000	0.000	0.000
4	17:00	0.095	0.090	0.075
EXPANSIÓN (%)		1.90	1.80	1.50
EXPANSIÓN PROM (%)		1.73		

Fuente: Elaboración propia.

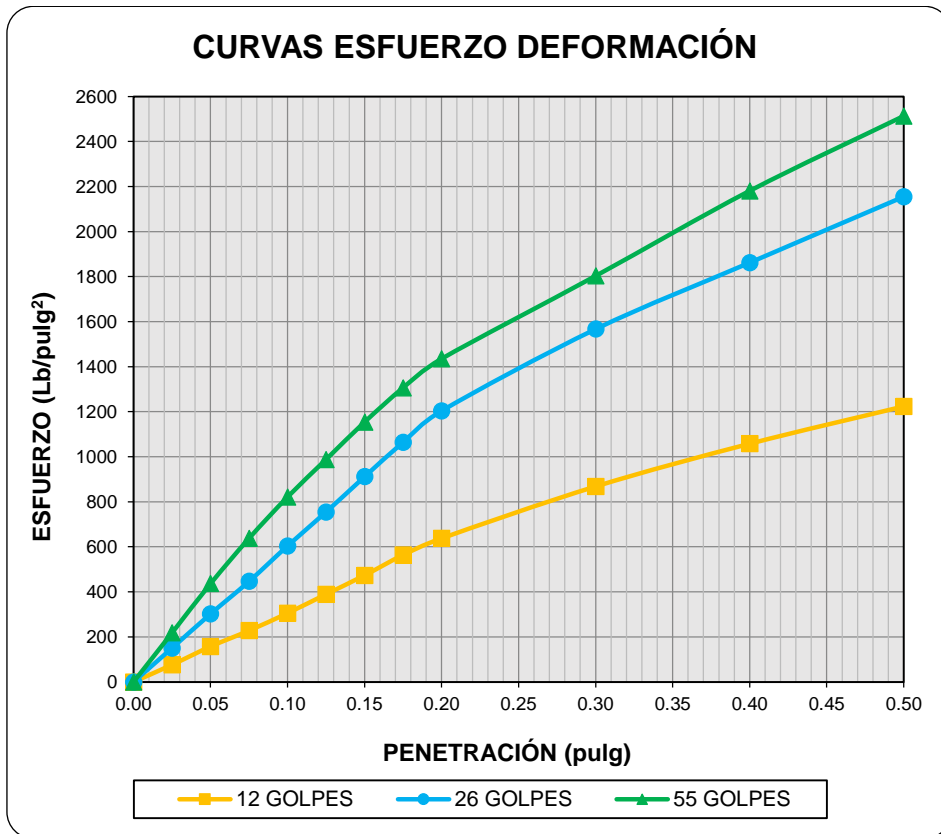
ENSAYO CBR – PENETRACIÓN

Tabla 3. 51: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 1% de cemento.

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	23	76.34	45	150.54	55	184.24
1.27	0.050	47	157.28	90	302.08	130	436.50
1.91	0.075	68	228.03	133	446.57	190	637.62
2.54	0.100	91	305.44	180	604.14	245	821.41
3.18	0.125	116	389.48	225	754.64	295	987.98
3.81	0.150	141	473.42	272	911.42	345	1154.05
4.45	0.175	168	563.95	318	1064.44	391	1306.37
5.08	0.200	190	637.62	360	1203.77	430	1435.15
7.62	0.300	259	868.10	470	1566.88	542	1803.03
10.16	0.400	316	1057.79	560	1861.88	658	2180.79
12.70	0.500	366	1223.64	650	2154.85	761	2513.21

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 21: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 1% de cemento.



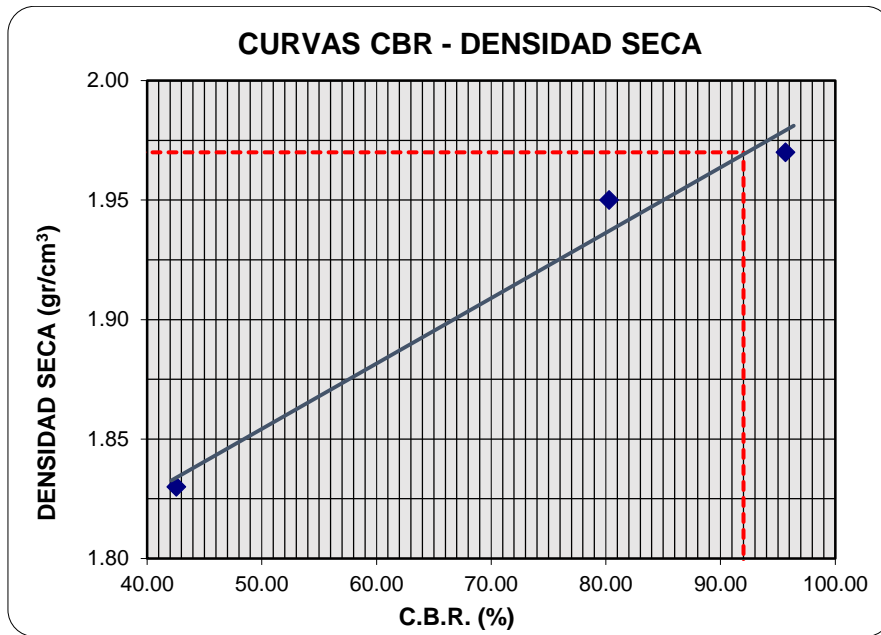
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 52: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 1% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg2)	305	604	821
Esfuerzo Patrón (lb/pulg2)	1000	1000	1000
CBR (%)	31	60	82
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg2)	638	1204	1435
Esfuerzo Patrón (lb/pulg2)	1500	1500	1500
CBR (%)	43	80	96

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 22: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 1% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

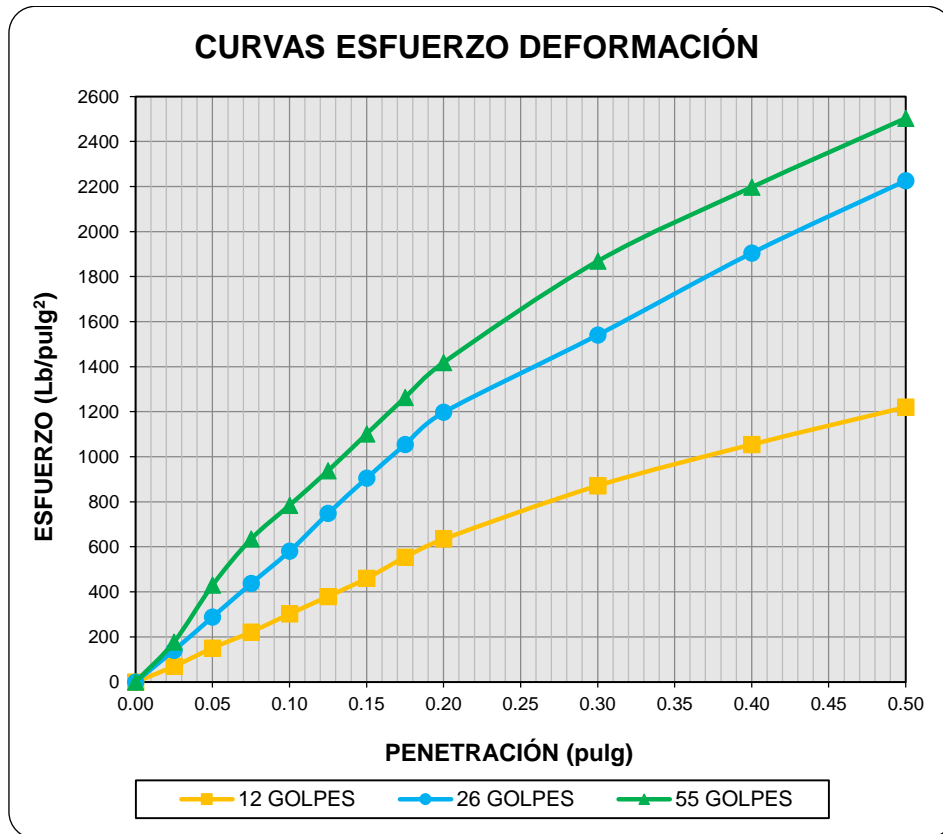
CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	92
---	-----------

Tabla 3. 53: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 1% de cemento.

PENETRACIÓN		MOLDE N° 04		MOLDE N° 05		MOLDE N° 06	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)	CARGA	ESFUERZO (lbd/pulg2)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	21	69.59	42	140.42	53	177.50
1.27	0.050	45	150.54	86	288.62	128	429.79
1.91	0.075	66	221.30	130	436.50	189	634.27
2.54	0.100	90	302.08	173	580.70	234	784.69
3.18	0.125	113	379.40	223	747.96	280	938.06
3.81	0.150	137	460.00	270	904.75	329	1100.96
4.45	0.175	165	553.90	315	1054.47	378	1263.37
5.08	0.200	189	634.27	358	1197.14	425	1418.66
7.62	0.300	260	871.43	462	1540.56	562	1868.41
10.16	0.400	315	1054.47	573	1904.32	663	2197.00
12.70	0.500	365	1220.33	672	2226.15	758	2503.57

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 23: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 1% de cemento.



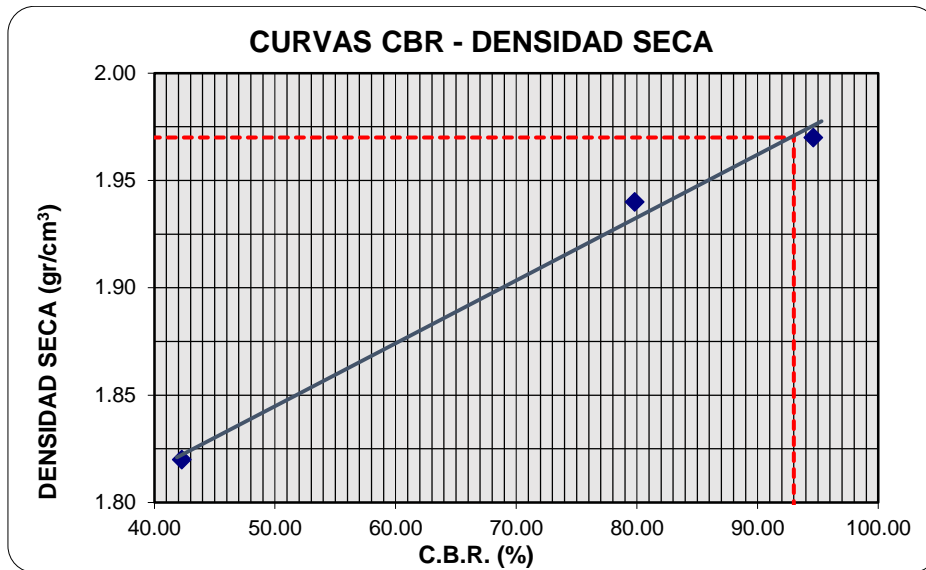
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 54: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 1% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	302	581	785
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	30	58	78
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	634	1197	1419
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	42	80	95

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 24: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 1% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	93
---	-----------

Tabla 3. 55: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 1% de cemento realizado.

DESCRIPCIÓN	CBR%
AGREGADO CON 1% DE CEMENTO	93

Fuente: Elaboración propia.

C. Espécimen con adición del 2% de cemento

ENSAYO CBR – COMPACTACIÓN

Tabla 3. 56: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 2% de cemento.

MOLDE N°	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
Nº DE CAPAS	5			5			5		
Nº DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,689			7,758			7,704		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,225	12,552	12,566	12,840	12,592	12,816			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,536	4,863	4,808	5,082	4,888	5,112			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.96	2.10	2.08	2.19	2.11	2.21			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nº DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PESO DE TARA (gr)	22.58	21.30	19.48	25.26	19.51	19.58	18.36	24.91	17.62
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	161.32	179.56	253.65	208.41	212.34	263.58	201.65	208.96	257.41
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	153.21	171.34	226.71	198.97	202.35	239.25	191.45	201.33	235.94
PESO DEL AGUA (gr)	8.11	8.22	26.94	9.44	9.99	24.33	10.20	7.63	21.47
PESO DE SUELO SECO (gr)	130.63	150.04	207.23	173.71	182.84	219.67	173.09	176.42	218.32
HUMEDAD (%)	6.2	5.5	13.0	5.4	5.5	11.1	5.9	4.3	9.8
HUMEDAD PROMEDIO (%)	5.8		13.0	5.4		11.1	5.1		9.8
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.85		1.86	1.97		1.97	2.01		2.01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 57: Segundo ensayo CBR – Compactación, con adición del 2% de cemento.

MOLDE Nº	MOLDE 4			MOLDE 5			MOLDE 6		
Nº DE CAPAS	5			5			5		
Nº DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,921			7,738			7,910		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,456	12,782	12,542	12,818	12,801	13,024			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,535	4,861	4,804	5,080	4,891	5,114			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.96	2.10	2.07	2.19	2.11	2.21			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nº DE TARA	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PESO DE TARA (gr)	24.08	24.30	19.13	24.87	18.54	19.00	18.43	24.20	18.63
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	163.32	180.91	253.51	208.56	213.51	264.98	202.01	207.46	258.41
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	155.21	171.80	226.81	198.35	203.40	240.73	192.75	198.53	236.91
PESO DEL AGUA (gr)	8.11	9.11	26.70	10.21	10.11	24.25	9.26	8.93	21.50
PESO DE SUELO SECO (gr)	131.13	147.50	207.68	173.48	184.86	221.73	174.32	174.33	218.28
HUMEDAD (%)	6.2	6.2	12.9	5.9	5.5	10.9	5.3	5.1	9.8
HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.2	12.9	5.7	10.9	5.2	9.8			
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.84	1.86	1.96	1.98	2.01	2.01			

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO CBR – EXPANSIÓN

Tabla 3. 58: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 2% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	12:00	0.000	0.000	0.000
4	12:00	0.090	0.070	0.065
EXPANSIÓN (%)		1.80	1.40	1.30
EXPANSIÓN PROM (%)		1.50		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 59: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 2% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	18:00	0.000	0.000	0.000
4	18:00	0.090	0.080	0.06
EXPANSIÓN (%)		1.80	1.60	1.20
EXPANSIÓN PROM (%)		1.53		

Fuente: Elaboración propia.

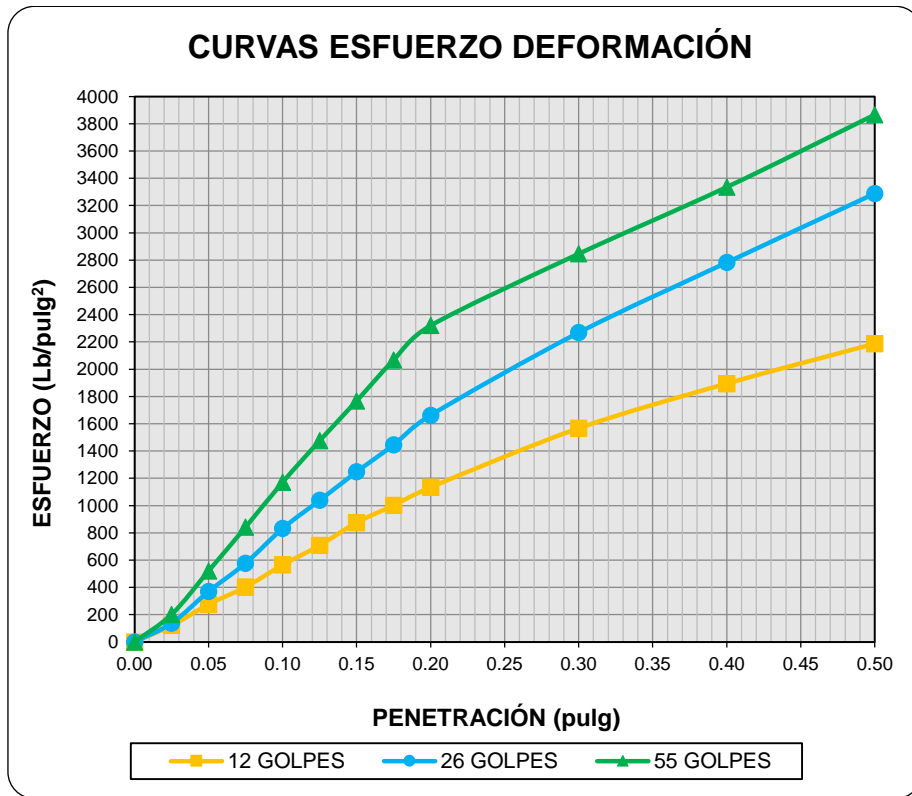
ENSAYO CBR – PENETRACIÓN

Tabla 3. 60: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 2% de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	36	120.19	41	137.05	60	201.09
0.050	82	275.16	110	369.32	155	520.38
0.075	120	402.92	172	577.35	251	841.42
0.100	168	563.95	248	831.41	350	1,170.63
0.125	211	707.86	310	1,037.85	442	1,474.71
0.150	261	874.76	373	1,246.82	531	1,767.04
0.175	299	1,001.28	433	1,445.04	623	2,067.18
0.200	339	1,134.15	499	1,662.14	701	2,319.92
0.300	470	1,566.88	685	2,268.21	865	2,845.76
0.400	570	1,894.53	845	2,782.06	1020	3,335.20
0.500	660	2,187.27	1005	3,288.18	1191	3,865.83

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 25: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 2% de cemento.



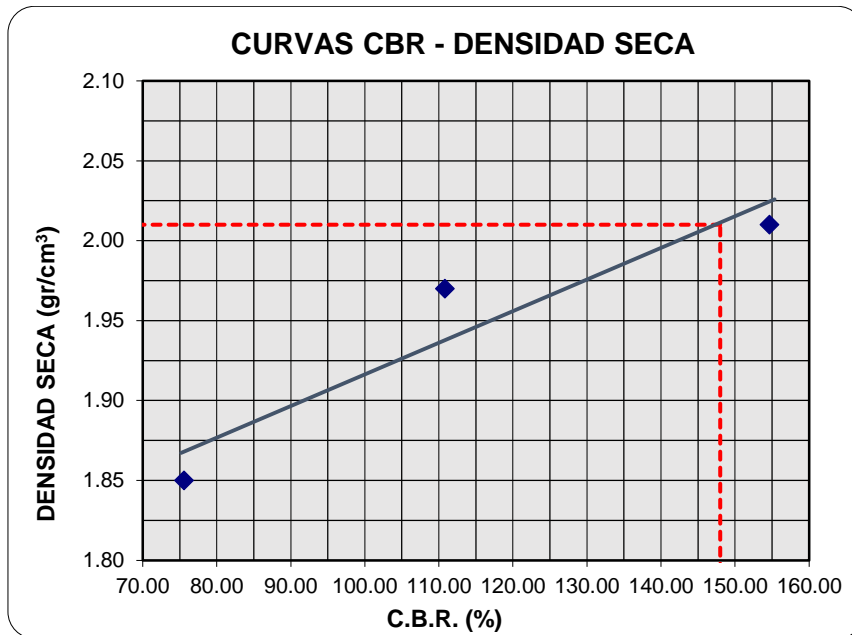
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 61: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 2% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	564	831	1171
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	56	83	117
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	1134	1662	2320
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	76	111	155

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 26: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 2% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

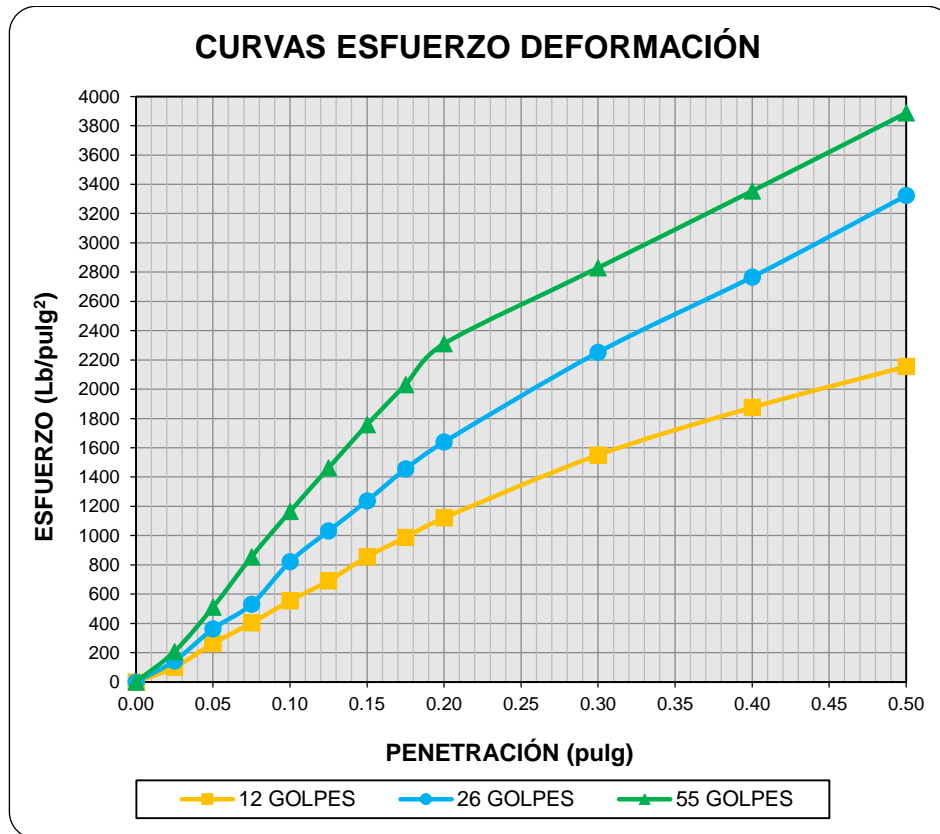
CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	148
---	------------

Tabla 3. 62: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 2% de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 4		MOLDE 5		MOLDE 6	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	30	99.95	43	143.80	62	207.82
0.050	78	261.70	108	362.60	152	510.32
0.075	120	402.92	158	530.44	255	854.76
0.100	165	553.90	245	821.41	348	1,164.00
0.125	206	691.14	308	1,031.21	438	1,461.53
0.150	255	854.76	370	1,236.89	528	1,757.21
0.175	295	987.98	436	1,454.93	612	2,031.41
0.200	335	1,120.88	492	1,639.17	698	2,310.23
0.300	465	1,550.43	680	2,252.04	860	2,829.85
0.400	564	1,874.94	840	2,766.11	1026	3,353.99
0.500	650	2,154.85	1016	3,322.67	1198	3,887.33

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 27: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 2% de cemento.



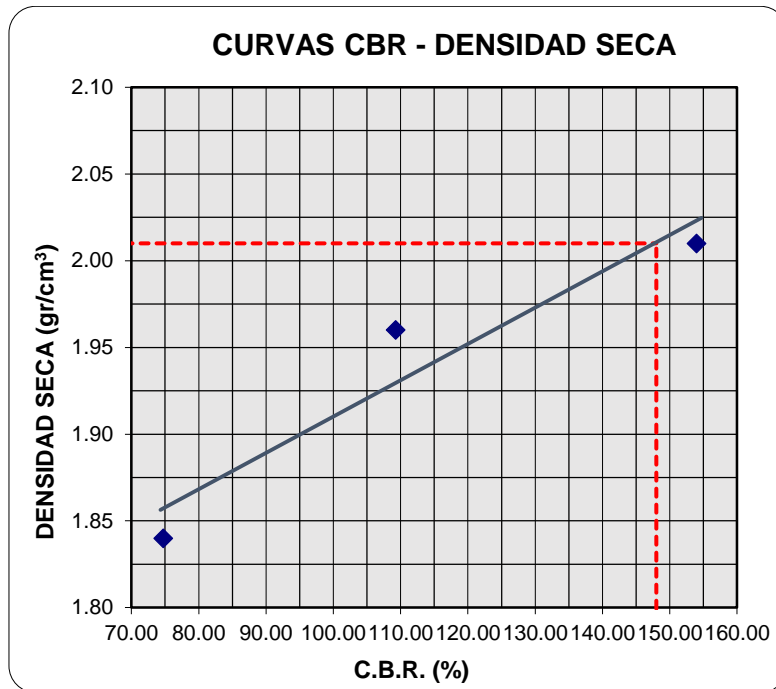
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 63: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 2% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	554	821	1164
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	55	82	116
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	1121	1639	2310
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	75	109	154

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 28: Curva del segundo ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 2% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	148
---	------------

Tabla 3. 64: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 2% de cemento realizado.

DESCRIPCIÓN	CBR%
AGREGADO CON 2% DE CEMENTO	148

Fuente: Elaboración propia.

D. Espécimen con adición del 3% de cemento

ENSAYO CBR – COMPACTACIÓN

Tabla 3. 65: Primer ensayo CBR – Compactación, con adición del 3% de cemento.

MOLDE N°	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
Nº DE CAPAS	5			5			5		
Nº DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,689			7,758			7,704		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,258	12,585	12,608	12,796	12,750	12,886			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,569	4,896	4,850	5,038	5,046	5,182			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.97	2.11	2.09	2.17	2.18	2.24			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Nº DE TARA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PESO DE TARA (gr)	17.85	24.59	17.85	23.68	19.84	19.98	19.54	18.62	19.21
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	216.58	202.56	227.94	186.98	217.53	251.46	200.40	218.75	229.84
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	204.59	191.64	206.26	177.58	207.49	231.88	191.39	208.69	214.87
PESO DEL AGUA (gr)	11.99	10.92	21.68	9.40	10.04	19.58	9.01	10.06	14.97
PESO DE SUELO SECO (gr)	186.74	167.05	188.41	153.90	187.65	211.90	171.85	190.07	195.66
HUMEDAD (%)	6.4	6.5	11.5	6.1	5.4	9.2	5.2	5.3	7.7
HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.5		11.5	5.7		9.2	5.3		7.7
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.85		1.90	1.98		1.99	2.07		2.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 66: Segundo ensayo CBR – Compactación, con adición del 3% de cemento.

MOLDE N°	MOLDE 4			MOLDE 5			MOLDE 6		
N° DE CAPAS	5			5			5		
N° DE GOLPES POR CAPA	12			26			55		
PESO DEL MOLDE (gr)	7,921			7,738			7,910		
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,317			2,317			2,317		
ESTADO RESPECTO A LA SATURACIÓN	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA HÚMEDA (gr)	12,493	12,818	12,582	12,770	12,958	13,095			
PESO DE MUESTRA HÚMEDA (gr)	4,572	4,897	4,844	5,032	5,048	5,185			
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm3)	1.97	2.11	2.09	2.17	2.18	2.24			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
N° DE TARA	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PESO DE TARA (gr)	24.73	18.77	18.74	25.18	18.90	25.02	25.42	19.04	25.15
PESO DE TARA + MUESTRA HÚMEDA (gr)	217.56	203.48	229.78	187.67	219.66	250.46	199.60	217.17	230.35
PESO DE TARA + MUESTRA SECA (gr)	205.70	192.03	207.34	178.60	208.86	230.88	190.29	207.26	215.32
PESO DEL AGUA (gr)	11.86	11.45	22.44	9.07	10.80	19.58	9.31	9.91	15.03
PESO DE SUELO SECO (gr)	180.97	173.26	188.60	153.42	189.96	205.86	164.87	188.22	190.17
HUMEDAD (%)	6.6	6.6	11.9	5.9	5.7	9.5	5.6	5.3	7.9
HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.6		11.9	5.8		9.5	5.5		7.9
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.85		1.89	1.98		1.98	2.07		2.07

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO CBR – EXPANSIÓN

Tabla 3. 67: Primer ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 3% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	12:00	0.000	0.000	0.000
4	12:00	0.080	0.070	0.055
EXPANSIÓN (%)		1.60	1.40	1.10
EXPANSIÓN PROM (%)		1.37		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 68: Segundo ensayo CBR – EXPANSIÓN, con adición del 3% de cemento.

TIEMPO DÍAS	EXPANSIÓN			
	HORAS	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
		LECTURA	LECTURA	LECTURA
0	17:00	0.000	0.000	0.000
4	17:00	0.080	0.065	0.06
EXPANSIÓN (%)		1.60	1.30	1.20
EXPANSIÓN PROM (%)		1.37		

Fuente: Elaboración propia.

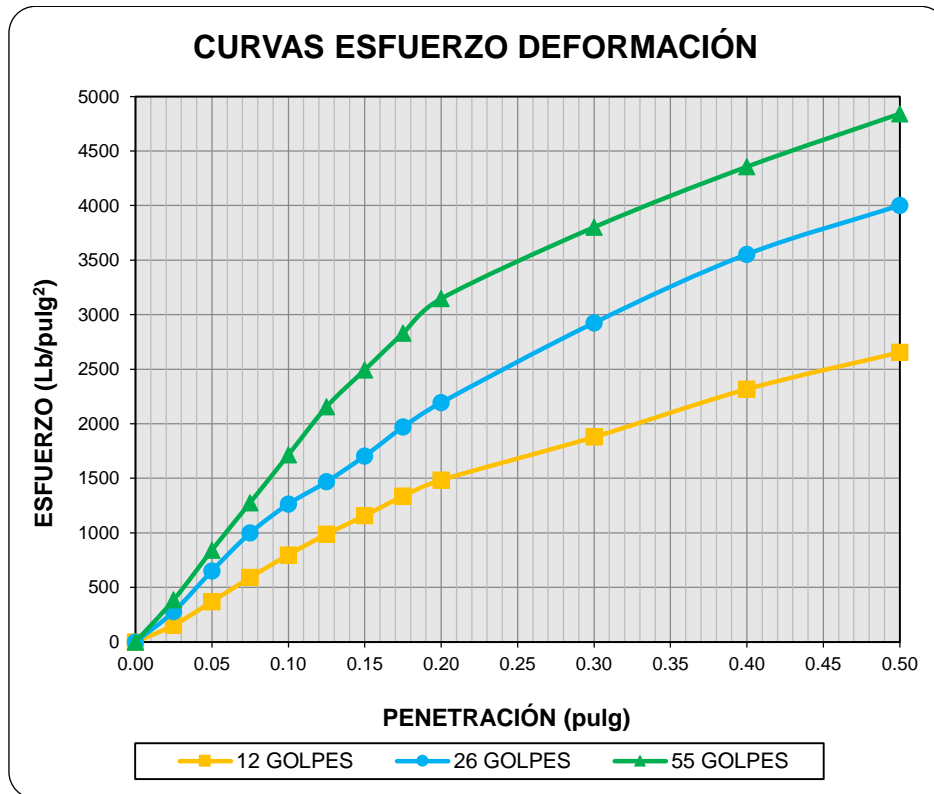
ENSAYO CBR – PENETRACIÓN

Tabla 3. 69: Primer ensayo CBR – Penetración, con adición del 3% de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg ²)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	46	153.91	83	278.53	115	386.12
0.050	110	369.32	194	651.01	251	841.42
0.075	176	590.75	298	997.96	382	1,276.61
0.100	238	798.05	378	1,263.37	515	1,714.62
0.125	295	987.98	440	1,468.12	650	2,154.85
0.150	346	1,157.37	512	1,704.79	755	2,493.92
0.175	400	1,336.12	593	1,969.54	860	2,829.85
0.200	445	1,484.59	662	2,193.76	960	3,146.66
0.300	565	1,878.21	890	2,925.22	1170	3,801.22
0.400	700	2,316.69	1090	3,553.65	1352	4,355.67
0.500	805	2,654.29	1235	4,000.67	1515	4,841.17

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 29: Curva esfuerzo vs deformación del primer ensayo con adición del 3% de cemento.



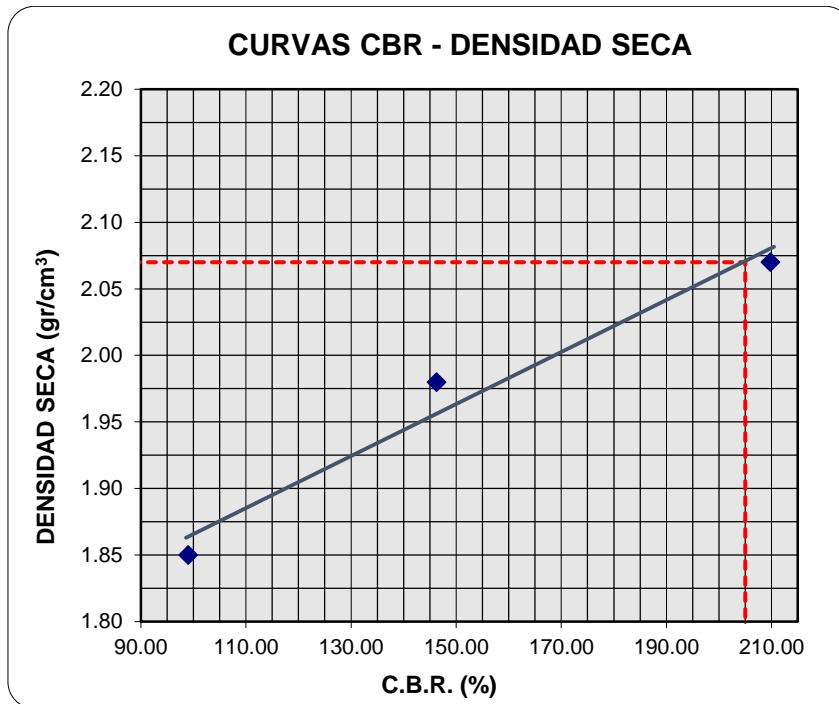
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 70: Cálculo del % CRB del primer ensayo con adición del 3% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg2)	798	1263	1715
Esfuerzo Patrón (lb/pulg2)	1000	1000	1000
CBR (%)	80	126	171
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg2)	1485	2194	3147
Esfuerzo Patrón (lb/pulg2)	1500	1500	1500
CBR (%)	99	146	210

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 30: Curva del primer ensayo CBR vs densidad seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 3% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

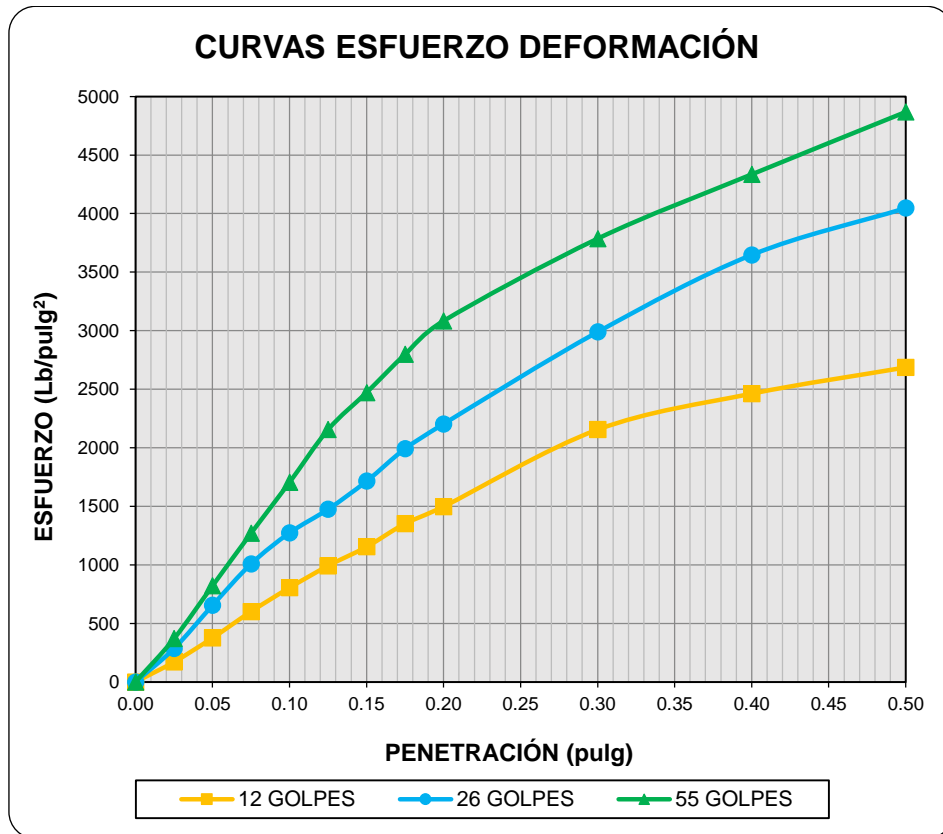
CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	205
---	------------

Tabla 3. 71: Segundo ensayo CBR – Penetración, con adición del 3% de cemento.

PENETRACIÓN (pulg)	MOLDE 4		MOLDE 5		MOLDE 6	
	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)	LECTURA DIAL (x)	ESFUERZO (lbf/pulg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	51	170.76	85	285.26	110	369.32
0.050	112	376.04	195	654.35	245	821.41
0.075	179	600.80	301	1,007.93	380	1,269.99
0.100	240	804.72	381	1,273.30	512	1,704.79
0.125	296	991.31	442	1,474.71	650	2,154.85
0.150	345	1,154.05	515	1,714.62	748	2,471.41
0.175	405	1,352.64	600	1,992.35	850	2,798.00
0.200	449	1,497.77	665	2,203.48	940	3,083.55
0.300	650	2,154.85	910	2,988.64	1165	3,785.81
0.400	745	2,461.76	1120	3,646.75	1345	4,334.58
0.500	815	2,686.28	1250	4,046.47	1524	4,867.66

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 31: Curva esfuerzo vs deformación del segundo ensayo con adición del 3% de cemento.



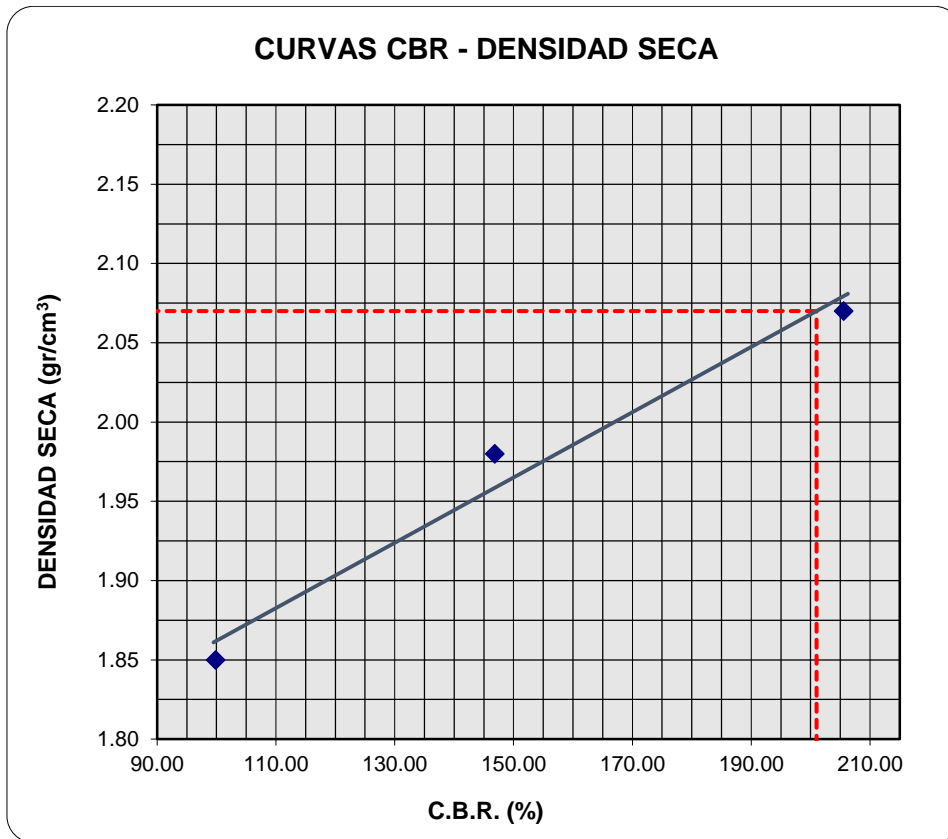
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 72: Cálculo del % CRB del segundo ensayo con adición del 3% de cemento con respecto al esfuerzo patrón.

CÁLCULO DEL CBR - CORREGIDO			
DESCRIPCIÓN	MOLDE 4	MOLDE 5	MOLDE 6
Penetración (pulg)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	805	1273	1705
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1000	1000
CBR (%)	80	127	170
Penetración (pulg)	0.2"	0.2"	0.2"
Esfuerzo (lb/pulg ²)	1498	2203	3084
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1500	1500	1500
CBR (%)	100	147	206

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 32: Curva del segundo ensayo CBR vs Densidad Seca para obtener el valor del CBR del agregado con adición del 3% de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

CBR (100% DE LA MDS y 0.2" DE PENETRACIÓN)	201
---	------------

Tabla 3. 73: Valor del CBR elegido de los 2 ensayos con adición del 3% de cemento realizado.

DESCRIPCIÓN	CBR%
AGREGADO CON 3% DE CEMENTO	205

Fuente: Elaboración propia.

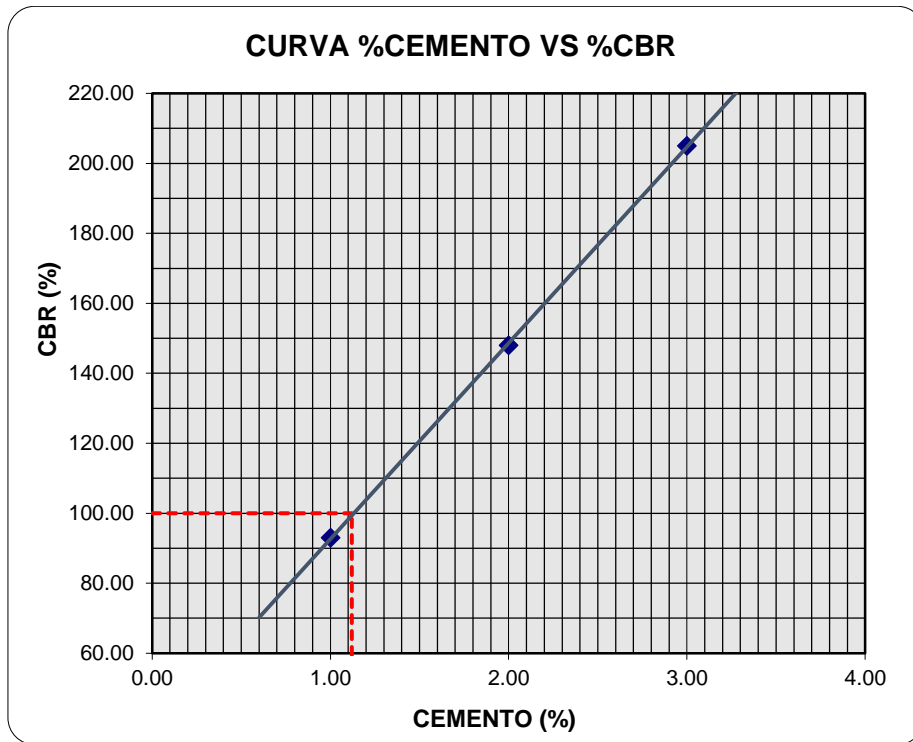
E. Obtención del porcentaje óptimo para alcanzar un CBR de 100%.

Tabla 3. 74: Valor de CBR de acuerdo a su cantidad de cemento adicionada.

DESCRIPCIÓN	CBR (%)			
	Sin Adición	1% Cemento	2% Cemento	3% Cemento
CBR (%)	32	93	148	205

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 33: Curva para obtener el porcentaje óptimo de cemento para alcanzar un valor de CBR del 100%.



Fuente: Elaboración propia.

% OPTIMO DE CEMENTO PARA OBTENER UN CBR DE 100%	1.12
--	-------------

3.7. Diseño del pavimento rígido por el método de la Portland Cement Association (PCA).

I. Módulo de reacción "K"

A) Se determinó el valor K de la subrasante, de acuerdo a su CBR

CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)	CBR (%)	K (pci)
2	72.25	7	191.47	14	260.12	33	361.27
2.1	75.87	7.6	202.31	15	263.73	35	379.34
2.8	101.16	8	205.93	16	270.95	39	404.63
3	108.38	9	216.76	18	281.79	43	433.53
4	140.9	10	223.99	20	289.02	47	469.65
4.7	151.73	11	234.83	22	303.47	52	505.78
5	158.96	12	242.05	25	317.92	57	541.91
6	177.02	13	249.28	30	346.82	64	606.94

Como tenemos un CBR de 3.5% y en la tabla no tenemos el valor para este CBR entonces interpolaremos.

Para CBR 3% K = 108.38

Para CBR 4% K = 140.9

Entonces para 3.5%

$$\frac{4 - 3.5}{3.5 - 3} = \frac{140.9 - x}{x - 108.38}$$

$$x = 124.64 \text{ pci}$$

Ahora hallamos el K combinado para cada caso utilizando una sub base sin estabilizar y estabilizada para un espesor de 6 pulg. (15 cm).

Valor k de la subrasante (pci)	Valor k de la sub base (pci) sin estabilizar			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	12 pulg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Para K = 100 Kc = 140

Para $K = 200$ $K_c = 230$

Entonces para K_c sin estabilizar de $K = 124.64$

$$\frac{200 - 124.64}{124.64 - 100} = \frac{230 - x}{x - 140}$$
$$x = 162.18 \text{ pci}$$

Valor k de la subrasante (pci)	Valor k de la sub base (pci) estabilizada			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	10 pulg
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Para $K = 100$ $K_c = 280$

Para $K = 200$ $K_c = 470$

Entonces para K_c con estabilizacion de $K = 124.64$

$$\frac{200 - 124.64}{124.64 - 100} = \frac{470 - x}{x - 400}$$
$$x = 459.14 \text{ pci}$$

II. Módulo de rotura del concreto (MR)

El valor recomendado por la PCA está comprendido entre:

$$0.10f'_c < MR < 0.17f'_c$$

Como un valor intermedio, se tomó el 15% y un $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ por lo que se tuvo:

$$MR = 0.15f'_c$$

$$MR = 0.15 \times (210)$$

$$MR = 31.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$MR = 499.24 \text{ psi}$$

III. Periodo de diseño

Por ser un pavimento rígido, se puede tomar un valor de 25 a 50 años de periodo de diseño, para el presente trabajo utilizaremos un periodo de diseño de 25 años.

$$n = 25 \text{ años}$$

IV. Tasa anual de crecimiento

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

V. Factor de crecimiento

Se utilizó la siguiente fórmula para hallar el factor de crecimiento:

$$FCr = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$
$$FCr = \frac{(1 + 0.03)^{25} - 1}{0.03}$$
$$FCr = 36.45\%$$

Donde:

r= Tasa Anual de Crecimiento

n= Periodo de diseño

VI. Estudio del trafico

Tabla 3. 75: Conteo de vehículos de acuerdo al tipo.

DIA	CARRIL	TIPO VEHÍCULO		Mototaxi	Ac	Ap	Microbús	Minibús	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3	
		HORA													
LUNES	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		37	18	16	114	11			5			1	
		8:00- 11:00 a.m		52	36	34	157	24	3		17		1	4	
		11:00 - 1:30 p.m		34	21	31	133	20			2		2	1	
		1:30-5:30 p.m		50	23	28	158	28	2		5		2		
		5:30 - 8:00 p.m		36	35	15	109	20			2				
	TOTAL				209	133	124	671	103	5	0	31	0	5	6
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m			35	28	14	107	10						
		8:00- 11:00 a.m			57	43	24	142	27	1		5		1	1
		11:00 - 1:30 p.m			28	19	19	137	22	1		12			1
		1:30-5:30 p.m			16	34	36	163	40	1		5		2	1
5:30 - 8:00 p.m				10	19	24	87	18			9		3	1	
TOTAL				146	143	117	636	117	3	0	31	0	6	4	
MARTES	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		21	15	12	87	7			1				
		8:00- 11:00 a.m		21	13	19	91	14	1		4		2	2	
		11:00 - 1:30 p.m		17	16	21	78	16	2		4		1		
		1:30-5:30 p.m		28	12	19	98	17	1		1	1		1	
		5:30 - 8:00 p.m		4	8	12	47	9			1				
	TOTAL				91	64	83	401	63	4	0	11	1	3	3
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m			18	14	12	91	8			1			1
		8:00- 11:00 a.m			21	13	14	90	16	3		3	1		
		11:00 - 1:30 p.m			19	18	25	92	13			9		1	
		1:30-5:30 p.m			26	13	20	102	18			4	1		2
5:30 - 8:00 p.m				6	12	17	51	11			2				
TOTAL				90	70	88	426	66	3	0	19	2	1	3	

DIA	CARRIL	HORA	TIPO VEHÍCULO	Mototaxi	Ac	Ap	Microbús	Minibús	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3	
MIÉRCOLES	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		25	17	14	91	9			2				
		8:00- 11:00 a.m		23	14	20	89	12			2		2	2	
		11:00 - 1:30 p.m		15	11	21	75	12			4	1	1	1	
		1:30-5:30 p.m		14	8	19	92	19	2		1		2	1	
		5:30 - 8:00 p.m		6	8	12	49	10			1				
	TOTAL				83	58	86	396	62	2	0	10	1	5	4
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m		16	14	12	89	9			1				1
		8:00- 11:00 a.m		32	17	18	93	17	1		4				2
		11:00 - 1:30 p.m		29	12	25	89	11			5		1		
		1:30-5:30 p.m		16	15	20	105	20			5		1	2	
		5:30 - 8:00 p.m		6	11	17	48	10			1				
TOTAL				99	69	92	424	67	1	0	16	0	2	5	
JUEVES	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		21	11	14	86	8			1				
		8:00- 11:00 a.m		27	19	22	85	14	3		3			1	
		11:00 - 1:30 p.m		14	9	19	69	13			5		1	1	
		1:30-5:30 p.m		19	15	27	97	18			1			1	
		5:30 - 8:00 p.m		4	4	8	45	9			2				
	TOTAL				85	58	90	382	62	3	0	12	0	1	3
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m		17	12	11	79	7			1				
		8:00- 11:00 a.m		23	15	15	91	17			3		1		
		11:00 - 1:30 p.m		15	12	27	72	12			4		1	1	
		1:30-5:30 p.m		25	16	18	95	23	2		7			1	
		5:30 - 8:00 p.m		7	5	17	48	8	1		3			1	
TOTAL				87	60	88	385	67	3	0	18	0	2	3	

DIA	CARRIL	TIPO VEHÍCULO		Mototaxi	Ac	Ap	Microbús	Minibús	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3	
		HORA													
VIERNES	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		26	15	5	62	8	1		3	1			
		8:00- 11:00 a.m		63	42	18	95	19	1		5	2		2	
		11:00 - 1:30 p.m		25	46	10	75	21	2		4			2	
		1:30-5:30 p.m		74	24	13	110	16			7		1		
		5:30 - 8:00 p.m		35	14	13	97	7			2			1	
	TOTAL				223	141	59	439	71	4	0	21	3	1	5
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m		45	18	9	75	6			2			1	
		8:00- 11:00 a.m		46	28	9	119	21			4	1		1	
		11:00 - 1:30 p.m		37	20	13	94	11			3	2		2	
		1:30-5:30 p.m		32	16	17	122	21	2		5	1	2	1	
5:30 - 8:00 p.m		26	15	12	103	12			2	1	1				
TOTAL				186	97	60	513	71	2	0	16	5	3	5	
SÁBADO	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m		10	11	2	34	2			2				
		8:00- 11:00 a.m		36	51	22	91	17	1		4	2	1		
		11:00 - 1:30 p.m		56	24	15	59	11	3		8	1	1		
		1:30-5:30 p.m		38	45	42	121	21			3	1		1	
		5:30 - 8:00 p.m		14	14	11	60	9			2				
	TOTAL				154	145	92	365	60	4	0	19	4	2	1
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m		22	19	1	42	5			2				
		8:00- 11:00 a.m		39	36	18	127	8	1		3	1	1		
		11:00 - 1:30 p.m		45	24	13	63	5		2	6	4	2	1	
		1:30-5:30 p.m		36	57	38	117	19	3		9			1	
5:30 - 8:00 p.m		30	17	18	66	13			2						
TOTAL				172	153	88	415	50	4	2	22	5	3	2	

DIA	CARRIL	TIPO VEHÍCULO	Mototaxi	Ac	Ap	Microbús	Minibús	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3	
														HORA
DOMINGO	CARRIL 1	6:30 - 8:00 a.m	14	3	9	70	2			2				
		8:00- 11:00 a.m	27	15	13	77	18	1		2		1		
		11:00 - 1:30 p.m	31	15	11	80	2	1		1				
		1:30-5:30 p.m	23	24	12	76	5							1
		5:30 - 8:00 p.m	9	12	8	25	3							
		TOTAL		104	69	53	328	30	2	0	5	0	1	1
	CARRIL 2	6:30 - 8:00 a.m	14	3	2	42	1				2			1
		8:00- 11:00 a.m	10	4	6	30	1				2	1	1	
		11:00 - 1:30 p.m	17	10	8	46	1	1	1				1	1
		1:30-5:30 p.m	21	15	18	74	4				1			
		5:30 - 8:00 p.m	6	10	9	26	4							
		TOTAL		68	42	43	218	11	1	1	5	1	2	2
	TOTAL DE LA SEMANA CARRIL 1			949	668	587	2982	451	24	1	109	9	18	23
	TOTAL DE LA SEMANA CARRIL 2			848	634	576	3017	449	17	3	127	13	19	24

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Carril 1: DE AV. SAN MARTÍN HACIA AV. VIA DE EVITAMIENTO

Carril 2: DE AV. VIA DE EVITAMIENTO HACIA AV. SAN MARTÍN

Se calculó el IMDA

Tabla 3. 76: Numero de vehículos por tipo.

Ac	Ap	Microbús	Minibús	B2	B3	C2	C3	T3S2	T3S3
186	166	857	128	5	2	34	3	6	6

ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL
1393

Fuente: Elaboración propia.

VII. Determinación del factor de seguridad

Se utilizó un Factor de Seguridad de 1 considerando que la Av. Industrial es una avenida con volumen bajo de vehículos pesados.

$$FS = 1$$

VIII. Se determinó el número de repeticiones por eje.

Tabla 3. 77: Número de repeticiones por peso del eje en Tn

Peso por Eje	Eje/Dia	Eje/Año	F dirección	F distrib	FCr	Número de repeticiones
Ejes Simples						
1	1689	616485				8988351
4	857	312805				4560697
5	128	46720	0.5	0.8	36.45	681178
7	56	20440				298015
11	39	14235				207546
Ejes Tándem						
16	2	730	0.5	0.8	36.45	10643
18	21	7665				111756
Ejes Trídem						
25	6	2190	0.5	0.8	36.45	31930

Fuente: Elaboración propia.

Ahora para poder utilizar el método antes nombrado es necesario, pasar los pesos de los ejes de toneladas a Kips.

Tabla 3. 78: Número de repeticiones por peso del eje en Kips

Peso por Eje	Eje/Día	Eje/Año	F dirección	F distrib	FCr	Número de Repeticiones
Ejes Simples						
2.20	1689	616485				8988351
8.82	857	312805				4560697
11.02	128	46720	0.50	0.80	36.45	681178
15.43	56	20440				298015
24.25	39	14235				207546
Ejes Tándem						
35.27	2	730	0.5	0.8	36.45	10643
39.68	21	7665				111756
Ejes Trídem						
55.12	6	2190	0.5	0.8	36.45	31930

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 79: Peso por eje de los vehículos usados en la presente investigación.

Vehículo	Tren de Cargas				
B2		13,20	7	11	
B3-1		14,00	7	16	
C2		12,30	7	11	
C3		13,20	7	18	
T3S2		20,50	7	18	18
T3S3		20,50	7	18	25

IX. Cálculo del espesor de la losa

Con ayuda de los nomogramas calcularemos los esfuerzos que ejercen que los ejes en nuestra losa de concreto y se encontró el espesor.

A). Para la sub base sin estabilizar

A.1. Análisis por fatiga

a) Se determinó el esfuerzo equivalente para ejes simples y ejes tándem, ingresando con un $K_c=162.18$ pci y para un espesor de losa de 9.5 pulg. Utilizando la Tabla 2.7, obtenemos:

*Eje Simple

$$K_c = 150 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 200 \text{ pci}$$

$$K_c = 200 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 190 \text{ pci}$$

$$\frac{200 - 162.18}{162.18 - 150} = \frac{190 - x}{x - 200}$$

$$K_c = 162.18 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 197.56 \text{ pci}$$

*Eje tándem

$$K_c = 150 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 183 \text{ pci}$$

$$K_c = 200 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 170 \text{ pci}$$

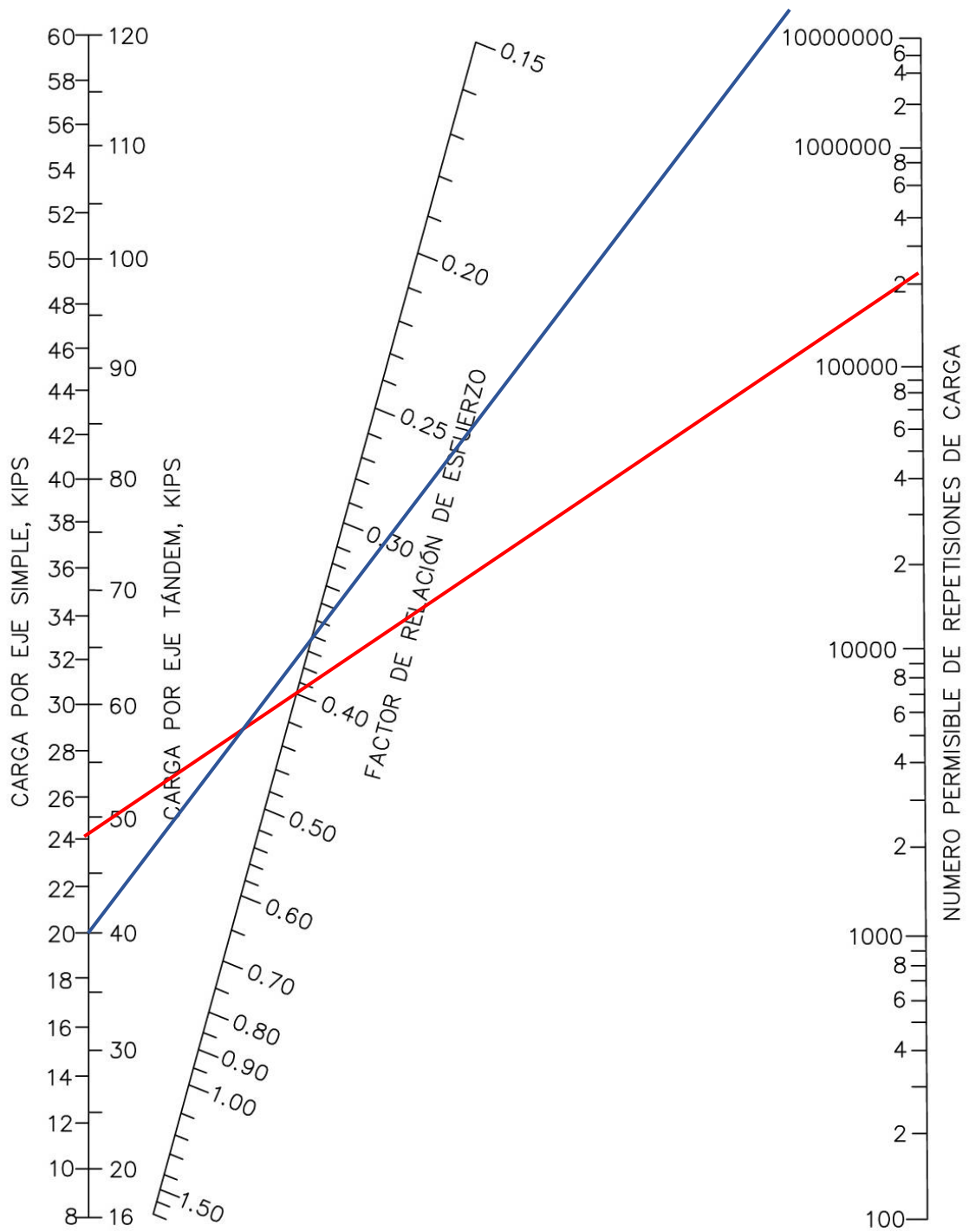
$$\frac{200 - 162.18}{162.18 - 150} = \frac{170 - x}{x - 183}$$

$$K_c = 162.18 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 179.83 \text{ pci}$$

b) Se determinó la relación de esfuerzos para ejes simples y ejes tándem, dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de rotura.

$$\text{Para eje simple } Re = \frac{197.56}{499.24} = 0.396$$

$$\text{Para eje tándem } Re = \frac{179.83}{499.24} = 0.360$$



Donde:

— : Máximo peso en eje simple (24.25 Kips)

— : Máximo peso en eje tándem (39.68 Kips)

A.2. Análisis por erosión

Se calculó el factor erosión para ejes simples y ejes tándem, ingresando con un $K_c=162.18$ pci y para un espesor de losa de 9.5 pulg. Utilizando la Tabla 2.8, y se obtuvo:

*Eje Simple

$$K_c = 100 \text{ pci} \quad F_e = 2.85 \text{ pci}$$

$$K_c = 200 \text{ pci} \quad F_e = 2.80 \text{ pci}$$

$$\frac{200 - 162.18}{162.18 - 100} = \frac{2.80 - x}{x - 2.85}$$

$$K_c = 162.18 \text{ pci} \quad F_e = 2.84 \text{ pci}$$

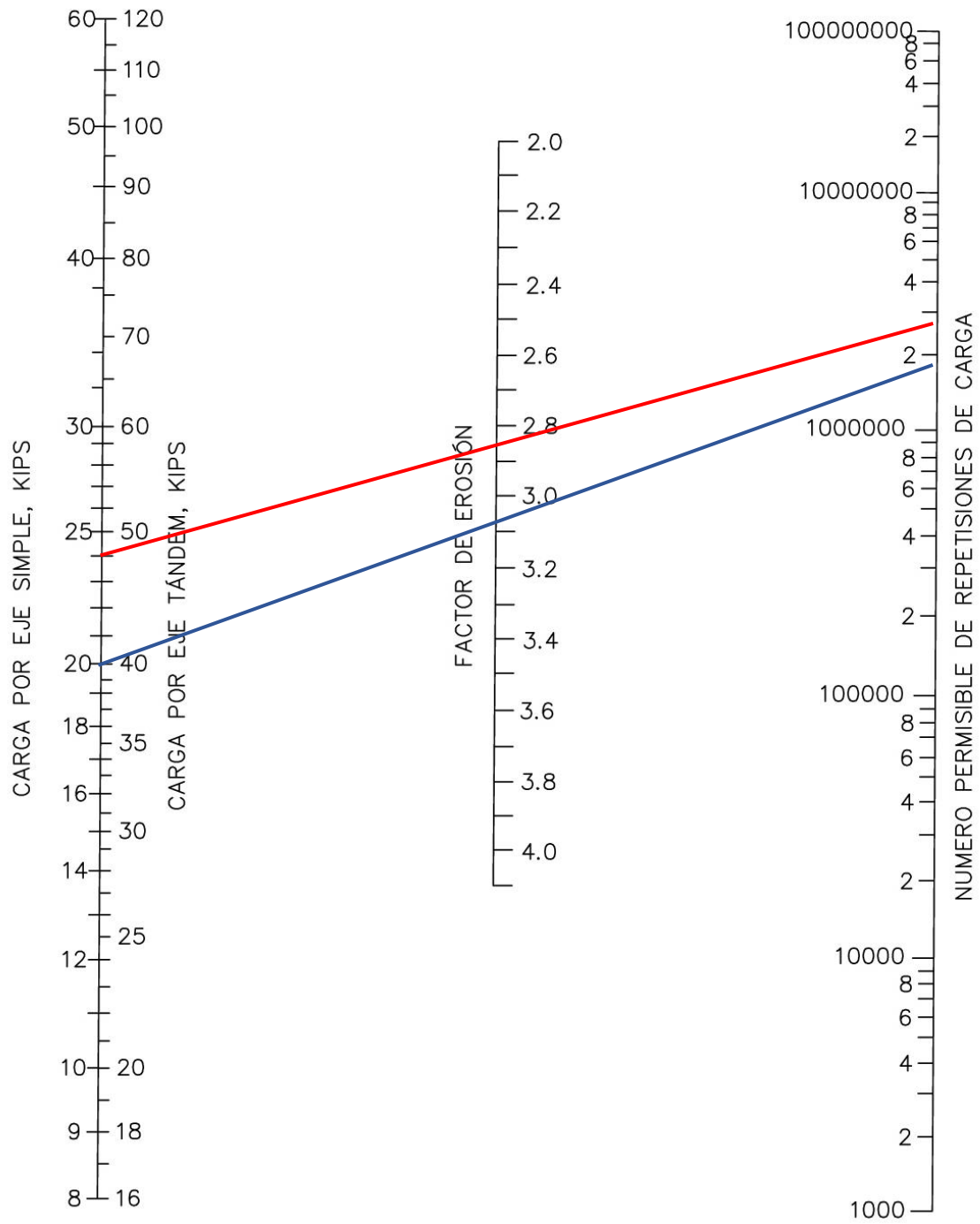
*Eje tándem

$$K_c = 100 \text{ pci} \quad F_e = 3.11 \text{ pci}$$

$$K_c = 200 \text{ pci} \quad F_e = 3.00 \text{ pci}$$

$$\frac{200 - 162.18}{162.18 - 100} = \frac{3.00 - x}{x - 3.11}$$

$$K_c = 162.18 \text{ pci} \quad F_e = 3.08 \text{ pci}$$



Donde:

— : Máximo peso en eje simple (24.25 Kips)

— : Máximo peso en eje tandem (39.68 Kips)

Tabla 3. 80: Cálculo del espesor de losa utilizando una sub base sin estabilizar.

K subrasante	124.64	pci	sub base	4	pulg
K combinado	162.18	pci	Factor de Seguridad	1.1	
Espesor de losa propuesto	9.5	pulg	Módulo de ruptura propuesto	399.24	PSI

Cargas por eje (KIPS)	Cargas por eje X FSC (KIPS)	Relación de esfuerzos por fatiga	Factor erosión	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión		
					Repeticiones admisibles	% de fatiga	Repeticiones admisibles	% de erosión	
EJES SIMPLES									
2.20	2			8988351	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
8.82	10			4560697	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
11.02	12	0.396	2.84	681178	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
15.43	17			298015	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
18.37	20			95791	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
24.25	27			207546	220000	94.34	2800000	7.41	
EJES TANDEM									
35.27	39	0.36	3.08	10643	Ilimitado	0	Ilimitado	0	
39.68	44			111756	Ilimitado	0	1800000	6.21	
SUMA						94.34		13.62	

Fuente: Elaboración propia.

B). Para la sub base estabilizada

B.1. Análisis por fatiga

a) Hallamos el esfuerzo equivalente para ejes simples y ejes tándem, ingresando con un $K_c = 459.14$ pci y para un espesor de losa de 8.25 pulg. Utilizando la Tabla 2.7, obtenemos:

*Eje Simple

$$K_c = 300 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 215.5 \text{ pci}$$

$$K_c = 500 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 196.5 \text{ pci}$$

$$\frac{500 - 459.14}{459.14 - 300} = \frac{196.5 - x}{x - 215.5}$$

$$K_c = 459.14 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 200.38 \text{ pci}$$

*Eje tándem

$$K_c = 300 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 181 \text{ pci}$$

$$K_c = 500 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 160.5 \text{ pci}$$

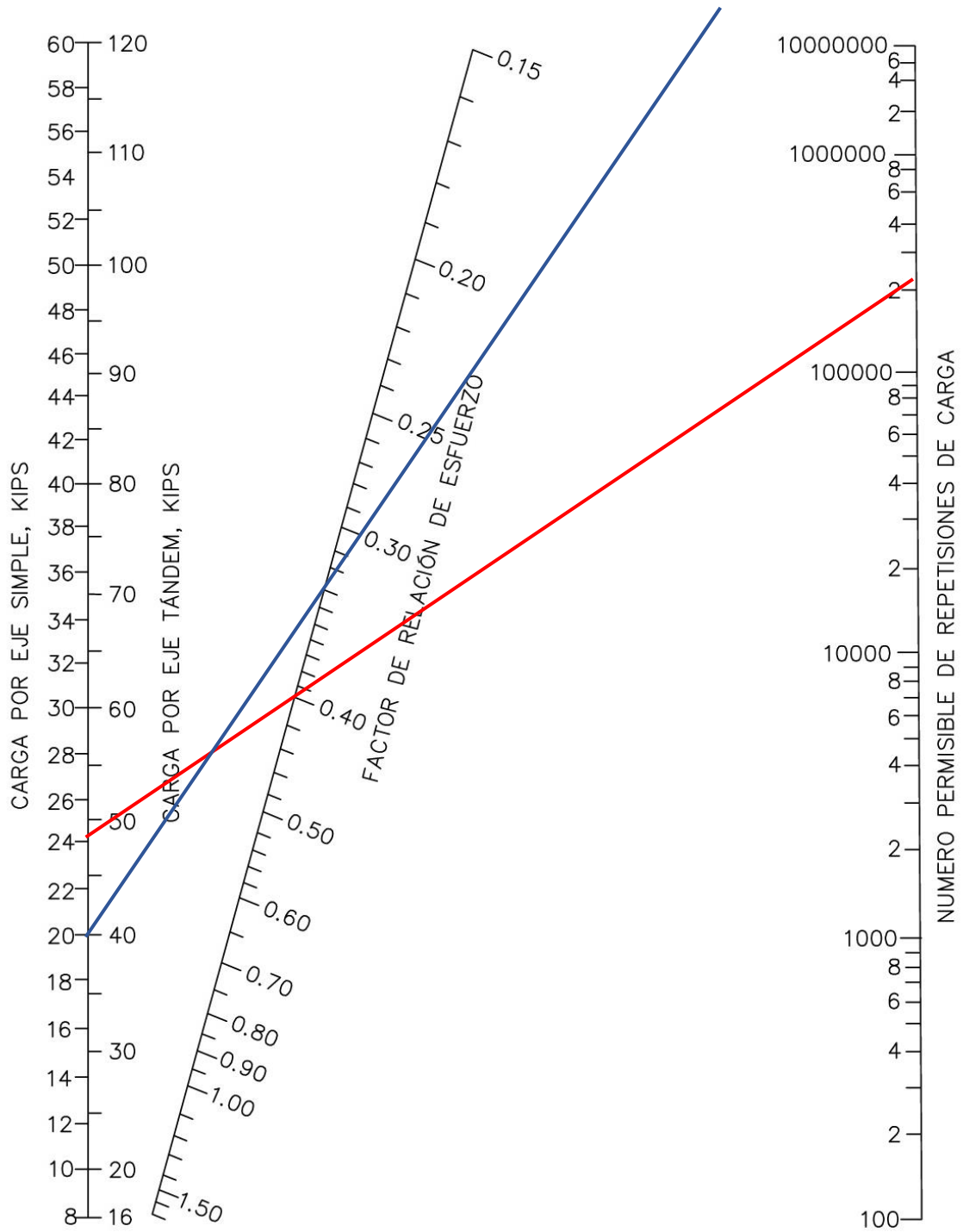
$$\frac{500 - 459.14}{459.14 - 300} = \frac{160.5 - x}{x - 181}$$

$$K_c = 459.14 \text{ pci} \quad \text{Esf.} = 164.68 \text{ pci}$$

b) Hallamos la relación de esfuerzos para ejes simples y ejes tándem, dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de rotura.

$$\text{Para eje simple } Re = \frac{200.38}{499.24} = 0.40$$

$$\text{Para eje tándem } Re = \frac{164.68}{499.24} = 0.33$$



Donde:

— : Máximo peso en eje simple (24.25 Kips)

— : Máximo peso en eje tándem (39.68 Kips)

B.2. Análisis por erosión

Hallamos el factor erosión para ejes simples y ejes tandem, ingresando con un $K_c=459.14$ pci y para un espesor de losa de 8.25 pulg. Utilizando la Tabla 2.8, obtenemos:

*Eje Simple

$$K_c = 300 \text{ pci} \quad F_e = 2.95 \text{ pci}$$

$$K_c = 500 \text{ pci} \quad F_e = 2.92 \text{ pci}$$

$$\frac{500 - 459.14}{459.14 - 300} = \frac{2.92 - x}{x - 2.95}$$

$$K_c = 459.14 \text{ pci} \quad F_e = 2.93 \text{ pci}$$

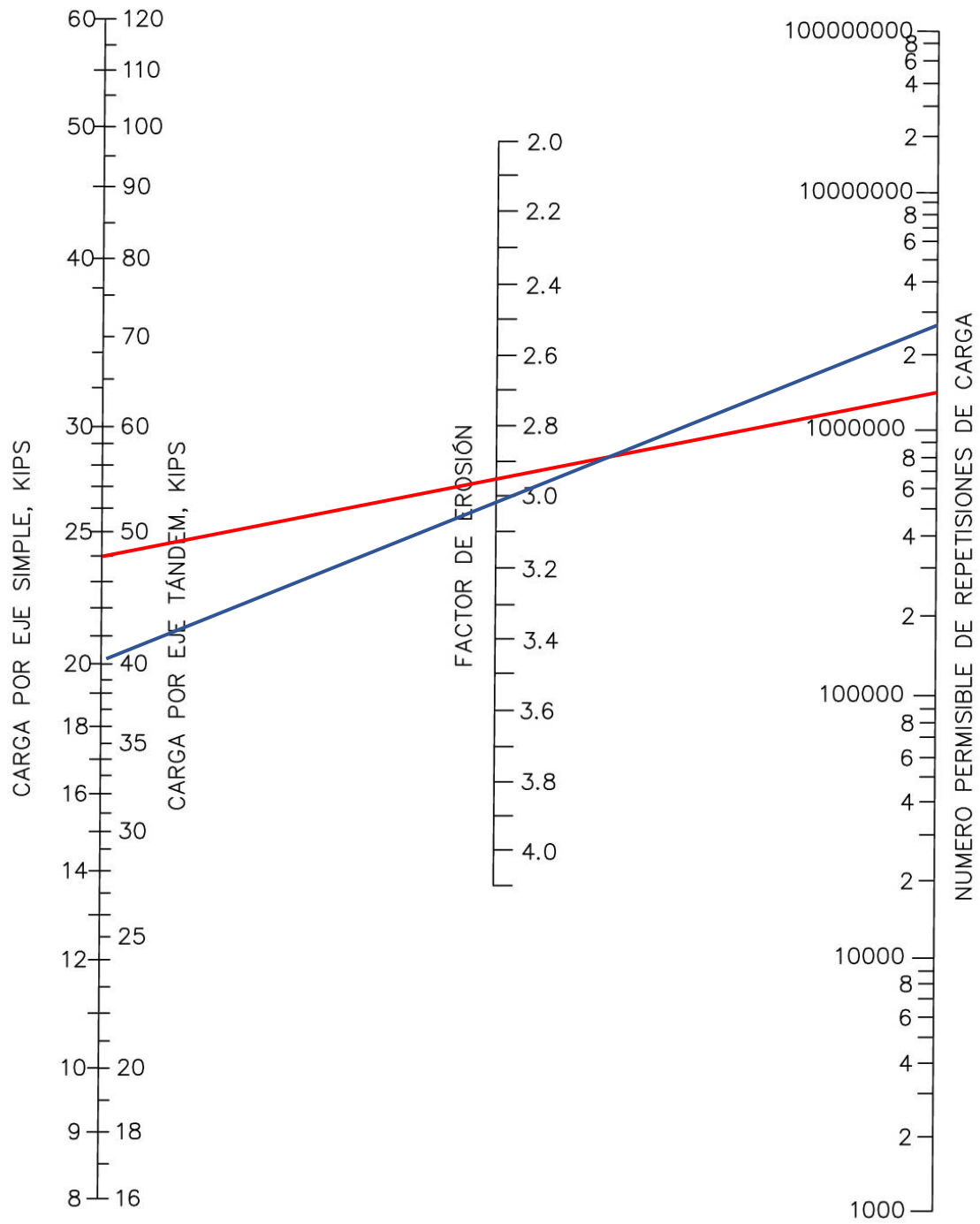
*Eje tandem

$$K_c = 300 \text{ pci} \quad F_e = 3.07 \text{ pci}$$

$$K_c = 500 \text{ pci} \quad F_e = 3.00 \text{ pci}$$

$$\frac{500 - 459.14}{459.14 - 300} = \frac{3.00 - x}{x - 3.07}$$

$$K_c = 459.14 \text{ pci} \quad F_e = 3.01 \text{ pci}$$



Donde:

- : Máximo peso en eje simple (24.25 Kips)
- : Máximo peso en eje tándem (39.68 Kips)

Tabla 3. 81: Cálculo del espesor de losa utilizando una sub base estabilizada con cemento.

K subrasante	124.64	pci	sub base	6	pulg
K combinado	459.14	pci	Factor de Seguridad	1.1	
Espesor de losa propuesto	8.25	pulg	Módulo de ruptura propuesto	499.24	psi

Cargas por eje (KIPS)	Cargas por eje X FSC (KIPS)	Relación de esfuerzos por fatiga	Factor erosión	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
					Repeticiones admisibles	% de fatiga	Repeticiones admisibles	% de erosión
EJES SIMPLES								
2	2			8988351	Ilimitado	0	Ilimitado	0
9	10			4560697	Ilimitado	0	Ilimitado	0
11	12	0.40	2.93	681178	Ilimitado	0	Ilimitado	0
15	17			298015	Ilimitado	0	Ilimitado	0
18	20			95791	Ilimitado	0	Ilimitado	0
24	27			207546	215000	96.53	1500000	13.84
EJES TANDEM								
35	39	0.33	3.01	10643	Ilimitado	0	Ilimitado	0
40	44			111756	Ilimitado	0	2800000	3.99
SUMA						96.53		17.83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 82: Cuadro de resumen de los espesores de la losa.

	Espesor de la Losa
Utilizando una sub base sin estabilización	9.5 pulg = 24 cm
Utilizando una sub base con estabilización	8.25 pulg = 21 cm

Fuente: Elaboración propia.

X. Comparación con el método AASHTO 93

En el método AASHTO 93 se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

- W = Número de ejes equivalentes previstas a lo largo del periodo de diseño.
- Z_R = Desviación normal estándar.
- S₀ = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.
- D = Espesor de la losa del pavimento en pulgadas
- ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
- P_t = Serviciabilidad final.
- S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- C_d = Coeficiente de drenaje.
- E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- K = Módulo de reacción de la superficie en la que se apoya el concreto, en pci.

a. Cálculo de los Ejes Equivalentes

Tabla 3. 83 Cálculo de ejes equivalentes

Ejes (TN)	Eje/Día	Eje/Año	F dirección	F distrib	FCr	F C	# EE
Ejes Simples							
1	1689	616485				0.0004	3922
4	857	312805				0.1283	585258
5	128	46720	0.5	0.8	36.45	0.1316	89619
7	56	20440				1.2728	379324
11	39	14235				3.3348	692131
Ejes Tándem							
16	2	730	0.5	0.8	36.45	2.3427	24935
18	21	7665				3.4580	386452
Ejes Trídem							
25	6	2190	0.5	0.8	36.45	5.1443	164259
						W8.2=	2325899

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 84: Tipo de tráfico en función a sus EE.

TP6	>1 500 000 EE ≤3 000 000 EE
-----	-----------------------------

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras.2014

b. Serviciabilidad

Tabla 3. 85: Nivel de serviciabilidad de acuerdo al tráfico.

TIPO DE TRÁFICO	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pf)	DIFERENCIA DE SERVICIABILIDAD
TP6	4.30	2.50	1.80

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras.2014

c. Nivel de confiabilidad y desviación estándar Normal

Tabla 3. 86: Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal de acuerdo al tráfico.

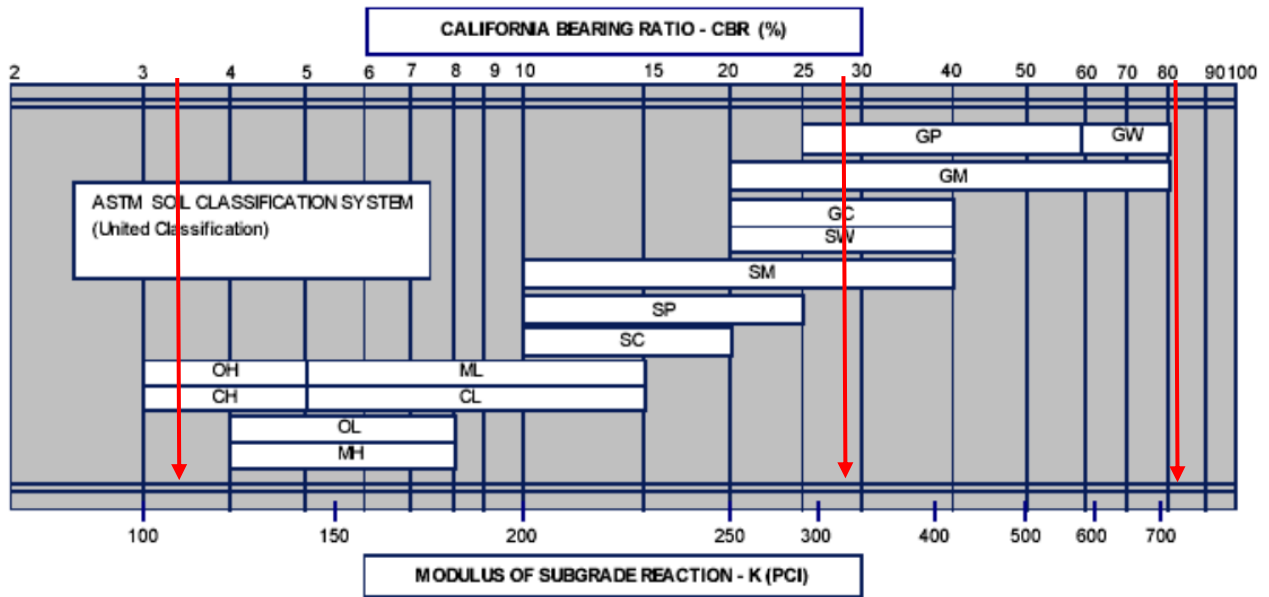
TIPO DE TRÁFICO	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
TP6	85%	-1.036

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras.2014

Para el valor de S_o , el rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre $0.30 < 0.40$, tomaremos un valor de $S_o = 0.35$

d. El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc).

Figura 3. 34. Relación aproximada entre los valores k y otras propiedades del suelo.



Fuente: AASHTO.1993

La presencia de sub base granular permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicó la siguiente ecuación:

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 x (k_1/k_2)^{2/3} \right]^{0.5} x k_0$$

Donde:

Kc (kg/cm³) = Coeficiente de reacción combinado.

K₀ (kg/cm³) = Coeficiente de reacción de la subrasante.

K₁ (kg/cm³) = Coeficiente de reacción de la sub base granular.

h (cm)= Espesor sub base granular

$$Kc_1 = [1 + (15/38)^2 x (10.3/3.1)^{2/3}]^{0.5} x 3.1$$

$$Kc_1 = 3.60 \text{ kg/cm}^3$$

$$Kc_1 = 130 \text{ pci}$$

$$K_{c2} = [1 + (15/38)^2 \times (22.1/3.1)^{2/3}]^{0.5} \times 3.1$$

$$K_{c2} = 3.90 \text{ kg/cm}^3$$

$$K_{c2} = 140 \text{ pci}$$

e. Módulo de rotura del concreto

$$S'_c = 0.15f'_c$$

$$S'_c = 0.15 \times (210)$$

$$S'_c = 31.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'_c = 499.24 \text{ psi}$$

f. Módulo de elasticidad del concreto

Para $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

$$E_c = 3115.20 \text{ psi}$$

g. Coeficiente de drenaje:

Teniendo en cuenta la siguiente tabla, se tiene que:

Tabla 3. 87: Valores recomendados del coeficiente de drenaje (C_d) para el diseño.

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
		< 1%	1 - 5%	5 -25%	>25%
Excelente	2 horas	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: AASHTO.1993

Se tomó un $C_d = 1.10$.

h. Transferencia de carga J.

Teniendo en cuenta el soporte lateral, tenemos el siguiente cuadro.

Tabla 3. 88: Coeficiente de transferencia de carga.

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3-1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1-3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3-10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10-30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

Fuente: AASHTO.1993

Por lo que el valor de $J = 1$

i. Finalmente reemplazando todos los valores en la fórmula del método AASHTO 93, tenemos los 2 espesores, cuando se utilizó una sub base una sin estabilizar y una estabilizada:

$D_1 = 8$ pulg.

$D_2 = 9$ pulg.

j. Cuadro comparativo de espesores de losa.

	Espesor de la Losa	
	PCA	AASHTO
Utilizando una sub base sin estabilización	9.5 pulg = 24 cm	9 pulg = 23 cm
Utilizando una sub base con estabilización	8.25 pulg = 21 cm	8 pulg = 20 cm

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Análisis costo – beneficio para determinar si el uso de la sub base estabilizada es económicamente rentable.

Teniendo en cuenta la siguiente tabla de las DG-2018:

Tabla 3. 89: Ancho de calzada de una vía, según su clasificación por su IMDA.

Clasificación	Autopista								Carretera											
	Primera clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño																				
30km/h																			6.00	6.00
40km/h																			6.60	6.60
50km/h																			6.60	6.60
60km/h					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60		
70km/h			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60		6.60	6.60		
80km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			6.60	6.60		
90km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			7.20				6.60	6.60		
100km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20				7.20							
110km/h	7.20	7.20			7.20															
120km/h	7.20	7.20			7.20															
130km/h	7.20																			

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico.

Obtenemos un ancho mínimo de calzada para nuestra carretera de segunda clase:

✓ 6.60 m

Para la distancia total de la vía en estudio obtenemos el volumen de agregado para la sub base, así como su cantidad de cemento (en el caso de la sub base estabilizada) y el volumen de concreto que se necesitara para la losa en cada uno de los casos:

Tabla 3. 90: Tablas de dosificación de cemento en volumen para concretos de diferente resistencia a la compresión de acuerdo a su Tamaño Máximo Nominal.

TMN agregado: ½”

Slump: 3”

Mf= 2.4 - 3

f'c (kg/cm3)	Proporción c:a:p	Cemento bolsa	Arena m3	Piedra m3	Agua m3
140	1:2.8:2.8	7.04	0.56	0.57	0.184
175	1:2.3:2.3	8.43	0.54	0.55	0.185
210	1:1.9:1.9	9.73	0.52	0.53	0.186
245	1:1.5:1.6	11.5	0.5	0.51	0.187
280	1:1.2:1.4	13.34	0.45	0.51	0.189

Fuente: Apuntes de ingeniería.2013

Metrado de la vía

Tabla 3. 91: Metrados del pavimento, con sub base sin estabilizar y con sub base estabilizada.

METRADO SUB BASE SIN ESTABILIZAR			METRADO SUB BASE ESTABILIZADA		
ANCHO	LARGO	ALTO	ANCHO	LARGO	ALTO
6.60	779.22	0.15	6.60	779.22	0.15
ÁREA	5142.85	m2	ÁREA	5142.85	m2
VOLUMEN	771.43	m3	VOLUMEN	771.43	m3
METRADO LOSA DE 24 CM DE ESPESOR			METRADO LOSA DE 21 CM DE ESPESOR		
ANCHO	LARGO	ALTO	ANCHO	LARGO	ALTO
6.60	779.22	0.24	6.60	779.22	0.21
ÁREA	5142.85	m2	ÁREA	5142.85	m2
VOLUMEN	1234.28	m3	VOLUMEN	1080.00	m3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 92: Materiales necesarios para la sub base por metro cuadrado.

CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUADRADO SUB BASE SIN ESTABILIZAR			CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUADRADO SUB BASE ESTABILIZADA		
AGREGADO	0.1800	m3	AGREGADO GRUESO	0.1800	m3
AGUA	0.0047	m3	AGUA	0.0068	m3
			BOLSA DE CEM POR CUBO	0.0925	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 93: Materiales necesarios para la losa de concreto por metro cuadrado.

CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUADRADO DE CONCRETO			CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUADRADO DE CONCRETO		
AGREGADO FINO	0.1248	m3	AGREGADO FINO	0.1092	m3
AGREGADO GRUESO	0.1272	m3	AGREGADO GRUESO	0.1113	m3
N° BOLSAS DE CEMENTO	2.3352	bolsas	N° BOLSAS DE CEMENTO	2.0433	bolsas
AGUA	0.0446	m3	AGUA	0.0391	m3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 94: Análisis de costos entre los 2 pavimentos diseñados.

SUB BASE SIN ESTABILIZAR		SUB BASE ESTABILIZADA	
PRECIO TOTAL	S/.48,034.22	PRECIO TOTAL	S/.77,605.61
LOSA ESPESOR 25 cm		LOSA ESPESOR 21 cm	
PRECIO TOTAL	S/.359,176.64	PRECIO TOTAL	S/.315,462.42
PRECIO TOTAL GENERAL		PRECIO TOTAL GENERAL	
S/.407,210.86		S/.393,068.03	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 95: Costos comparado en %, tomando el precio de la sub base sin estabilizar el 100%.

PRECIO SUB BASE SIN ESTABILIZAR		PRECIO SUB BASE ESTABILIZADA	
100.00	%	96.53	%

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE
RESULTADOS

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión de resultados del valor de CBR.

Herrera (2014), Ayala y Gallardo (2015), en sus respectivas investigaciones indican que las propiedades de los materiales, especialmente del CBR mejoran después de la estabilización con cemento, lo cual queda verificado en la Tabla 3.79, ya que una vez realizado el ensayo de CBR de la sub base sin estabilizar y estabilizada, vemos que si agregamos un 1% de cemento llegamos a un CBR de 93%, con 2% a un CBR de 148% y con 3% de cemento obtenemos un CBR 205 %, aumentando en 61%, 112% y 173% respectivamente, finalmente gracias a la Figura 3.33, obtenemos el porcentaje óptimo de cemento, para obtener un valor de CBR de 100%, el cual es 1.12% con respecto al peso del agregado utilizado.

4.2. Análisis y discusión de resultados del espesor de la losa.

Roncal y Urteaga (2008) en su investigación obtiene una reducción del espesor de la losa de 2 cm, al estabilizar la base con cemento. En la presente investigación después de realizar el diseño del pavimento rígido, con y sin sub base estabilizada con cemento, por el método de la PCA, se obtuvo espesores de 24 cm y 21 cm (sin y con sub base estabilizada respectivamente), lo cual significa una reducción del 12.5% respecto al pavimento sin sub base estabilizada.

4.3. Análisis y discusión de resultados del análisis costo-beneficio.

Se realizó el análisis costo-beneficio, teniendo en cuenta los precios actualizados de los materiales y mano de obra a noviembre del 2018, obteniendo como resultado la Tabla 3.94, la cual indica que utilizar una sub base estabilizada reduce costos al momento de su ejecución.

4.4. Contrastación de la hipótesis

Se logró verificar la hipótesis, que al estabilizar la sub base con cemento, sus propiedades mejoraron logrando; que el espesor de la losa de concreto se reduzca de 24 cm a 21 cm, disminuyendo así el espesor del pavimento, además también se consiguió verificar que al utilizar una sub base estabilizada se reduce el costo en un 3.47% del costo normal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se logró realizar el análisis de la disminución del espesor de un pavimento rígido estabilizando la sub base con cemento, el cual fue de 12.5% con respecto a utilizar la sub base sin estabilizar.
- Se consiguió determinar el porcentaje óptimo de cemento para obtener una capa sub base con CBR de 100%, el cual fue del 1.12% de cemento con respecto al peso del material.
- Se alcanzó realizar el diseño del pavimento rígido utilizando las propiedades de la sub base estabilizada y sin estabilizar; obteniendo espesores de la losa de concreto de 21 cm y 24 cm respectivamente.
- Se realizó un análisis costo-beneficio de la sub base estabilizada y sin estabilizar, resultando 3.47% más económico utilizar una sub base estabilizada con cemento.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estabilizar de manera mecánica o química en futuros proyectos de investigación la subrasante, ya que se obtuvo un valor de CBR del 3.5%, el cual está en el rango de pobre a regular.
- Se recomienda analizar la disminución del espesor de un pavimento rígido estabilizando la sub base con otras adiciones como cal, emulsiones asfálticas o combinaciones de estas.
- Se recomienda evaluar materiales de otras canteras de Cajamarca, como materia prima de la sub base para verificar si cumplen las especificaciones del MTC, en caso contrario proceder a estabilizar dichos agregados y comprobar si son económicamente rentables después de una estabilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 1993. Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos. Washington D.C. EE.UU.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 2018. Consultado el 15 de agosto del 2018 disponible en <https://www.transportation.org/>.
- ACPA (American Concrete Pavement Association). 2016. Subrasantes y sub bases para pavimentos de concreto.
- Arce, M. 2011. Bases estabilizadas con cemento. Programa De Infraestructura Del Transporte (PITRA). Costa Rica. 7p
- Asociación pasión por volar. 2015. Pavimentacion de pistas aéreas. Consultado el 13 de julio del 2018 disponible en <http://www.pasionporvolar.com/pavimentacion-de-las-pistas-aereas/>
- ASTM INTERNATIONAL (American Society for Testing and Materials). 2007. California Bearing Ratio CBR. ASTM D - 1883. Washington, DC. EE.UU. 11p.
- ASTM INTERNACIONAL (American Society for Testing and Materials). 1994. Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Sub base, Base, and Surface Courses. ASTM D 1241. Washington, DC. EE.UU. 3p.
- Ayala Lozano EW, Gallardo Terrones E. 2015. Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento portland tipo I utilizando las canteras el Gavilán, don Lucho y el río Chonta. Tesis profesional. Cajamarca, Perú. Universidad Privada del Norte. 269p
- CANACEM (Cámara Nacional del Cemento). 2017. Consultado el 10 de setiembre de 2018 disponible en <http://canacem.org.mx/home-2/>
- Cementos Pacasmayo. 2017. Tipos de cemento. Consultado el 12 de julio de 2018 disponible en <http://www.cementospacasmayo.com.pe/>
- Cemex. 2017. Tipos de cemento y sus usos. Consultado el 20 de julio del 2018 disponible en <http://www.cemex.com/ES/Index.aspx>

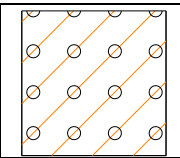
- Céspedes, J. 2002. Pavimentos de Carreteras y Aeropuertos. 1 ed. Cajamarca, Perú. Editorial Universidad Nacional De Cajamarca. 320 p.
- Cubas Becerra A. 2015. Pavimentos rígidos. Universidad Nacional de Cajamarca Cajamarca.Perú. 45p
- De la Fuente Lavalle E. 2013. Suelo - cemento: Sus usos, propiedades y aplicaciones. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México DF. México. 85 p.
- EICA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones). 2008. Manual de Estabilización de suelos con Cemento o Cal. Madrid. España. 217p
- Herrera Rojas, R. 2014. Efecto del cemento Portland tipo 1, como estabilizante del material granular de la Cantera el Guitarrero para bases de pavimentos. Tesis profesional. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 142 p.
- Instituto Boliviano del Cemento y el Concreto. 2015. Diseño de espesores para pavimentos de concreto en carreteras y calles Método de la Portland Cement Association. Bolivia. 65p.
- Juárez Badillo, E. 2005. Mecánica de Suelos. México D.F. México. Editorial Limusa. 627 p.
- M. Das.B. 1999. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.Thomson Learning. Sacramento. EE.UU. 587p.
- Menéndez, J. 2013. Ingeniería de Pavimentos: Materiales y variables de diseño. 4 ed. Lima, Perú. ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia). Tomo 1, 292 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2013. Especificaciones técnicas generales para construcción. Lima. Perú. 1285 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2016. Manual de Ensayo de Materiales. Lima. Perú. 1268 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2018. Glosario de términos. Lima. Perú. 27 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2018. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico. Lima. Perú. 285 p.

- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). 2014. Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima. 302 p.
- MPC (Municipalidad Provincial de Cajamarca). 2018. Plano catastral de la ciudad de Cajamarca. Cajamarca.
- Murillo Vázquez EX. 2010. Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos de Cuenca y su influencia en el diseño. Tesis de maestría en geología aplicada y geotecnia. Cuenca. Ecuador. Universidad de Cuenca. 181 p.
- Paredes, FC. 2008. Estudio de la estabilización con suelo-cemento para la base de una carretera usando agregados provenientes de la cantera Azufral Añashuaico. Lima, Perú. ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia). 4 p.
- Paveing. 2016. Ingeniería de Pavimentos. Consultado el 29 de agosto del 2018 disponible en [Paveing.blogspot.pe:](http://paveing.blogspot.pe/) <http://paveing.blogspot.pe/2016/01/terminos-pavimento-o-firme-l.html>
- Registro Técnico de Materiales. 2016. Control técnico de calidad. Consultado el 07 de setiembre del 2018 disponible en <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Pavimentos.pdf>
- Roncal, M; Urteaga JL. 2008. Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento Portland Tipo I, utilizando las canteras: Don Lucho y Huayrapongo. Tesis profesional. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 164 p.
- Tapia Garcia MA. 2015. Pavimentos. Ciudad de México. México.
- Universidad Mayor de San Simón. 2004. Componentes de un pavimento.. Cochabamba. Bolivia. 580p.

ANEXOS

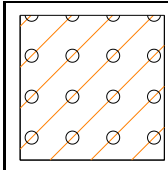
- Registro de excavación de Calicata N°1

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA N°:	C - 1	PROFUNDIDAD:	1.50 m	FECHA:	12/05/2018	NIVEL FREÁTICO:	NP
DESCRIPCIÓN				ESTRATO N° 1			
PROFUNDIDAD:				0.00 – 1.50			
MUESTRA NÚMERO:				M1			
CLASIFICACIÓN			S.U.C.S.:	SC			
			A.A.S.H.T.O	A-2-6 (0)			
			SÍMBOLO:				
			DESCRIPCIÓN:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA			
COLOR				MARRÓN OSCURO			
PLASTICIDAD	NP	NO PLÁSTICA		BP	FIN DE EXCAVACIÓN		
	BP	BAJA PLASTICIDAD					
	MP	MEDIANA PLASTICIDAD					
	AP	ALTA PLASTICIDAD					
HUMEDAD	Sa	SATURADO		H	FIN DE EXCAVACIÓN		
	H	HÚMEDO					
	S	SECO					
PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO: (SI / NO)				NO			
PRESENCIA DE OXIDACIONES: (SI / NO)				NO			
MÉTODO DE EXCAVACIÓN				TOMA DE MUESTRA CALICATA			
COORDENADAS UTM (Tomado con: GPS)				WGS-84	E 777 103	N 9 205 374	Z 2693

- Registro de excavación de Calicata N°2

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA N°:	C - 2	PROFUNDIDAD:	1.50 m	FECHA:	13/05/2018	NIVEL FREÁTICO:	NP
DESCRIPCIÓN				ESTRATO N° 1			
PROFUNDIDAD:				0.00 – 1.50			
MUESTRA NÚMERO:				M2			
CLASIFICACIÓN				S.U.C.S.:		SC	
				A.A.S.H.T.O		A-2-6 (0)	
				SÍMBOLO:			
				DESCRIPCIÓN:		ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
COLOR				MARRÓN OSCURO			
PLASTICIDAD		NP	NO PLÁSTICA		BP		
		BP	BAJA PLASTICIDAD				
		MP	MEDIANA PLASTICIDAD				
		AP	ALTA PLASTICIDAD				
HUMEDAD		Sa	SATURADO		H		
		H	HÚMEDO				
		S	SECO				
PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO: (SI / NO)				NO			
PRESENCIA DE OXIDACIONES: (SI / NO)				NO			
MÉTODO DE EXCAVACIÓN				TOMA DE MUESTRA CALICATA			
COORDENADAS UTM (Tomado con: GPS)				WGS-84	E 777 532	N 9 205 567	Z 2681

FIN DE EXCAVACIÓN

PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

Presupuesto del pavimento con sub base sin estabilizar

Presupuesto 0102012 TESIS ANALISIS DE LA DISMINUCION DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO ESTABILIZANDO LA SUB BASE CON CEMENTO
Cliente EDWIN GERALD CHALAN MACHUCA Costo al 24/11/2018
Lugar CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	SUBBASE SIN ESTABILIZACION				48,034.22
01.01	SUBBASE SIN ESTABILIZAR	m2	5,142.85	9.34	48,034.22
02	LOSA DE 24 CM				359,176.64
02.01	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 PILOSA 24 CM	m2	5,142.85	69.84	359,176.64
	COSTO DIRECTO				407,210.86

Presupuesto del pavimento con sub base estabilizada

Presupuesto 0102014 TESIS ANALISIS DE LA DISMINUCION DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO ESTABILIZANDO LA SUB BASE CON CEMENTO
Cliente EDWIN GERALD CHALAN MACHUCA Costo al 24/11/2018
Lugar CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	SUBBASE ESTABILIZADA				77,605.61
01.01	SUBBASE ESTABILIZADA	m2	5,142.85	15.09	77,605.61
02	LOSA DE 21 CM				315,462.42
02.01	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 PILOSA 21 CM	m2	5,142.85	61.34	315,462.42
	COSTO DIRECTO				393,068.03

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102012 TESIS ANALISIS DE LA DISMINUCION DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO ESTABILIZANDO LA SUB BASE CON CEMENTO
 Subpresupuesto 001 SUBBASE SIN ESTABILIZACION Fecha presupuesto 24/11/2018

Partida 01.01 SUBBASE SIN ESTABILIZAR

Rendimiento m2/DIA MO. 650.0000 EQ. 650.0000 Costo unitario directo por : m2 **9.34**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO	hh	1.1000	0.0135	10.50	0.14
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0492	6.25	0.31
0.45						
Materiales						
0205000004	AGREGADO PARA SUBBASE	m3		0.1800	40.00	7.20
0239050000	AGUA	m3		0.0047	3.50	0.02
7.22						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.45	0.01
0349030007	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 TN.	hm	1.0000	0.0123	135.00	1.66
1.67						

Partida 02.01 CONCRETO F'C=210 KG/CM2 P/LOSA 24 CM

Rendimiento m2/DIA MO. 40.0000 EQ. 40.0000 Costo unitario directo por : m2 **69.84**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.2000	10.50	2.10
0147010004	PEON	hh	9.0000	1.8000	6.25	11.25
13.35						
Materiales						
0204000006	ARENA GRUESA	m3		0.1248	40.00	4.99
0207010009	GRAVILLA 1/2"	m3		0.1272	40.00	5.09
0213010008	CEMENTO EXTRAFORTE	bol		2.3352	18.70	43.67
0239050000	AGUA	m3		0.0446	3.50	0.16
53.91						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	13.35	0.40
0349070003	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	0.3500	0.0700	7.50	0.53
0349100008	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 9 p3	hm	1.0000	0.2000	8.25	1.65
2.58						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0102014 TESIS ANALISIS DE LA DISMINUCION DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO ESTABILIZANDO LA SUB BASE CON CEMENTO**
 Subpresupuesto **001 SUBBASE ESTABILIZADA** Fecha presupuesto **24/11/2018**

Partida **01.01 SUBBASE ESTABILIZADA**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **250.0000** EQ. **250.0000** Costo unitario directo por : m2 **15.09**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO	hh	2.1000	0.0672	10.50	0.71
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.1280	6.25	0.80
1.51						
Materiales						
0205000004	AGREGADO PARA SUBBASE	m3		0.1800	40.00	7.20
0213010008	CEMENTO EXTRAFORTE	bol		0.0925	18.70	1.73
0239050000	AGUA	m3		0.0068	3.50	0.02
8.95						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.51	0.05
0349030007	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 TN.	hm	1.0000	0.0320	135.00	4.32
0349100008	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 9 p3	hm	1.0000	0.0320	8.25	0.26
4.63						

Partida **02.01 CONCRETO F'C=210 KG/CM2 P/LOSA 21 CM**

Rendimiento **m2/DIA** MO. **45.0000** EQ. **45.0000** Costo unitario directo por : m2 **61.34**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.1778	10.50	1.87
0147010004	PEON	hh	9.0000	1.6000	6.25	10.00
11.87						
Materiales						
0204000006	ARENA GRUESA	m3		0.1092	40.00	4.37
0207010009	GRAVILLA 1/2"	m3		0.1113	40.00	4.45
0213010008	CEMENTO EXTRAFORTE	bol		2.0433	18.70	38.21
0239050000	AGUA	m3		0.0391	3.50	0.14
47.17						
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	11.87	0.36
0349070003	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	0.3500	0.0622	7.50	0.47
0349100008	MEZCLADORA DE CONCRETO TROMPO 9 p3	hm	1.0000	0.1778	8.25	1.47
2.30						

PUNTOS LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Punto	Este	Norte	Altitud-Descripción
1	777004.825	9205321.685	2700.649
2	777003.615	9205328.028	2700.696
3	777002.201	9205336.408	2700.976 CRR
4	777001.139	9205337.065	2700.213 FQ
5	777001.205	9205337.541	2701.167 LQ
6	777024.519	9205323.658	2699.723 CRR
7	777024.105	9205329.156	2699.877 CRR
8	777023.586	9205336.157	2699.954 CRR
9	777044.428	9205325.418	2698.978 CRR
10	777043.899	9205331.338	2699.191 CRR
11	777042.959	9205337.542	2699.273 CRR
12	777064.405	9205326.584	2698.252 CRR
13	777063.611	9205332.097	2698.506 CRR
14	777062.346	9205338.677	2698.619 CRR
15	777084.311	9205328.536	2697.576 CRR
16	777083.724	9205333.581	2697.747 CRR
17	777083.858	9205340.325	2697.790 CRR
18	777104.302	9205329.670	2696.150 CRR
19	777103.696	9205335.398	2696.247 CRR
20	777103.158	9205341.654	2697.173 CRR
21	777124.450	9205330.967	2696.297 CRR
22	777123.557	9205336.570	2696.518 CRR
23	777122.813	9205342.970	2696.655 CRR
24	777144.351	9205332.225	2695.566 CRR
25	777144.071	9205337.856	2695.798 CRR
26	777143.303	9205344.446	2696.004 CRR
27	777164.330	9205334.014	2695.144 CRR
28	777163.628	9205339.579	2695.248 CRR
29	777162.971	9205345.964	2695.281 CRR
30	777184.269	9205336.036	2694.378 CRR
31	777182.720	9205341.659	2694.583 CRR
32	777180.913	9205347.894	2694.594 CRR
33	777185.423	9205336.279	2694.252 IN1
34	777182.283	9205348.034	2694.502 IN2
35	777197.820	9205335.588	2694.014 IN3
36	777191.854	9205349.189	2694.225 IN4
37	777212.093	9205339.853	2693.646 CRR
37	777204.137	9205338.683	2693.827 CRR
38	777203.165	9205343.962	2693.897 CRR
39	777201.654	9205350.065	2693.950 CRR
40	777201.585	9205349.971	2693.963 CRR
41	777224.312	9205341.476	2693.355 CRR

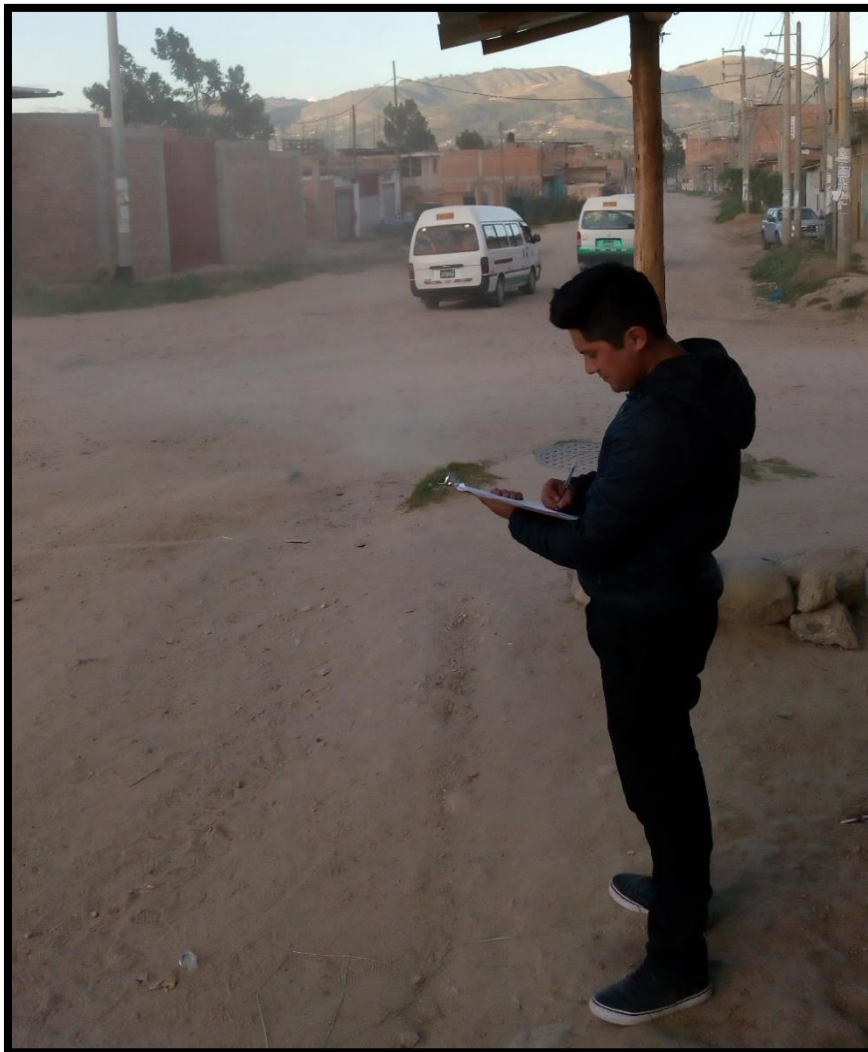
42	777223.671	9205346.651	2693.340 CRR
43	777222.981	9205353.079	2693.543 CRR
44	777244.206	9205344.176	2692.592 CRR
45	777243.360	9205349.540	2692.878 CRR
46	777242.443	9205355.308	2692.898 CRR
47	777264.095	9205346.905	2692.104 CRR
48	777263.311	9205351.800	2692.275 CRR
49	777262.322	9205357.431	2692.373 CRR
50	777283.676	9205350.026	2691.675 CRR
51	777283.010	9205354.200	2691.725 CRR
52	777281.656	9205359.777	2691.921 CRR
53	777303.639	9205352.379	2691.040 CRR
54	777302.384	9205357.052	2691.200 CRR
55	777300.588	9205363.029	2691.254 CRR
56	777323.441	9205355.455	2690.673 CRR
57	777322.970	9205360.469	2690.468 CRR
58	777322.522	9205366.305	2690.805 CRR
59	777336.612	9205359.410	2690.376 PUE
60	777335.783	9205362.958	2690.218 PUE
61	777335.205	9205366.056	2690.356 PUE
62	777338.109	9205359.650	2690.435 PUE
63	777337.203	9205363.096	2690.184 PUE
64	777336.483	9205366.264	2690.245 PUE
65	777348.142	9205359.500	2689.757 PUE
66	777347.202	9205363.479	2689.679 PUE
67	777345.999	9205368.077	2689.730 PUE
68	777357.884	9205361.529	2689.404 CRR
69	777356.458	9205366.490	2689.224 CRR
70	777354.086	9205374.187	2689.349 CRR
71	777367.160	9205364.619	2688.935 CRR
72	777365.106	9205370.585	2688.817 CRR
73	777362.888	9205377.098	2688.872 CRR
74	777376.618	9205367.953	2688.451 CRR
75	777374.357	9205373.677	2688.539 CRR
76	777372.388	9205380.227	2688.601 CRR
77	777394.961	9205376.227	2687.752 CRR
78	777392.926	9205380.396	2687.809 CRR
79	777390.561	9205386.231	2687.911 CRR
80	777413.566	9205383.344	2687.019 CRR
81	777411.449	9205388.503	2687.104 CRR
82	777408.044	9205394.909	2687.328 CRR
83	777431.852	9205391.608	2686.411 CRR
84	777429.559	9205396.045	2686.652 CRR
85	777428.258	9205399.799	2686.705 CRR
86	777450.140	9205399.897	2685.925 CRR
87	777448.038	9205404.681	2686.222 CRR

88	777446.872	9205408.676	2686.209 CRR
89	777468.826	9205406.908	2684.964 CRR
90	777465.639	9205412.550	2685.748 CRR
91	777464.071	9205417.096	2685.844 CRR
92	777487.011	9205414.423	2685.152 CRR
93	777484.240	9205419.739	2685.258 CRR
94	777483.452	9205423.355	2685.219 CRR
95	777494.211	9205418.066	2684.747 INT
96	777491.855	9205425.224	2684.906 INTC
97	777490.472	9205430.948	2685.056 INT
98	777512.528	9205425.395	2684.225 CRR
99	777510.025	9205432.153	2684.362 CRR
100	777506.721	9205439.724	2684.500 CRR
101	777531.188	9205433.096	2683.543 CRR
102	777528.827	9205440.462	2683.873 CRR
103	777525.403	9205448.055	2683.818 CRR
104	777531.925	9205451.347	2683.867 CRR
105	777550.163	9205439.195	2683.071 CRR
106	777546.847	9205446.641	2683.258 CRR
107	777544.022	9205455.309	2683.499 CRR
108	777568.550	9205446.187	2682.592 CRR
109	777566.177	9205453.350	2682.706 CRR
110	777562.873	9205461.981	2682.914 CRR
111	777587.623	9205452.684	2681.721 CRR
112	777583.841	9205460.385	2682.162 CRR
113	777579.866	9205467.646	2682.294 CRR
114	777573.581	9205465.749	2682.464 CLL
115	777606.083	9205459.019	2681.199 CRR
116	777602.828	9205468.066	2681.586 CRR
117	777600.246	9205474.247	2681.859 CRR
118	777629.832	9205467.515	2680.625 CRR
119	777626.829	9205474.998	2680.888 CRR
120	777621.483	9205481.245	2681.101 CRR
121	777626.690	9205482.765	2680.910 CRR
122	777650.130	9205473.077	2680.102 CRR
123	777647.628	9205480.700	2680.270 CRR
124	777645.522	9205489.053	2680.355 CRR
125	777669.432	9205479.461	2679.567 CRR
126	777667.804	9205486.009	2679.630 CRR
127	777665.241	9205495.639	2679.748 CRR
128	777669.942	9205497.475	2679.378 CRR
129	777676.439	9205499.427	2679.415 CRR
130	777689.213	9205485.298	2679.173 CRR
131	777686.594	9205492.312	2679.146 CRR
132	777683.613	9205501.175	2679.144 CRR
133	777708.893	9205492.108	2678.613 CRR

134	777706.508	9205499.942	2678.551 CRR
135	777704.521	9205508.043	2678.743 CRR
136	777727.404	9205498.618	2678.067 CRR
137	777724.556	9205505.271	2678.229 CRR
138	777721.530	9205513.746	2678.111 CRR
139	777718.364	9205512.918	2678.394 CRR
140	777723.022	9205514.484	2678.140 CRR
141	777746.737	9205504.568	2677.653 CRR
142	777744.889	9205511.186	2677.495 CRR
143	777742.559	9205518.927	2677.553 CRR
144	777746.046	9205520.402	2677.462 CRR
145	777752.233	9205515.220	2677.325 CRR
146	777759.215	9205509.086	2676.939 CRR

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: Conteo de carros de la Av. Industrial.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 2: Toma de muestras de suelo en calicata N° 1.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3: Peso de muestra antes de ingresar al horno (contenido de humedad).



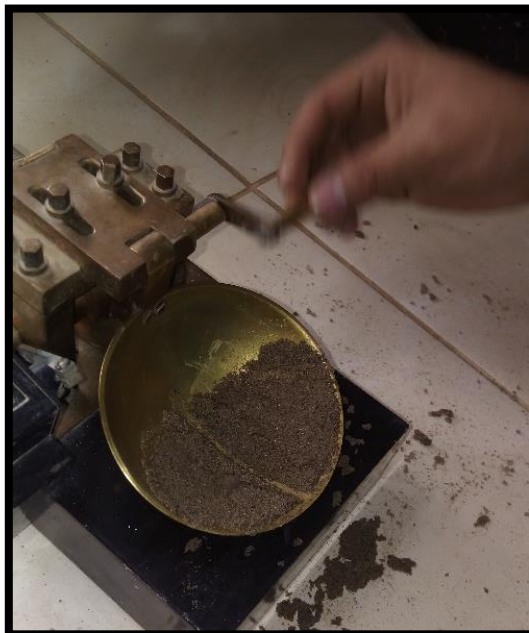
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 4: Ensayo de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 5: Cálculo del límite líquido.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 6: Ensayo resistencia a la abrasión.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 7: Ensayo Próctor modificado.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 8: Estabilización del material con cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 9: Moldes para el ensayo CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10: Ensayo CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Foto 1: Levantamiento topográfico de la Av. Industrial.

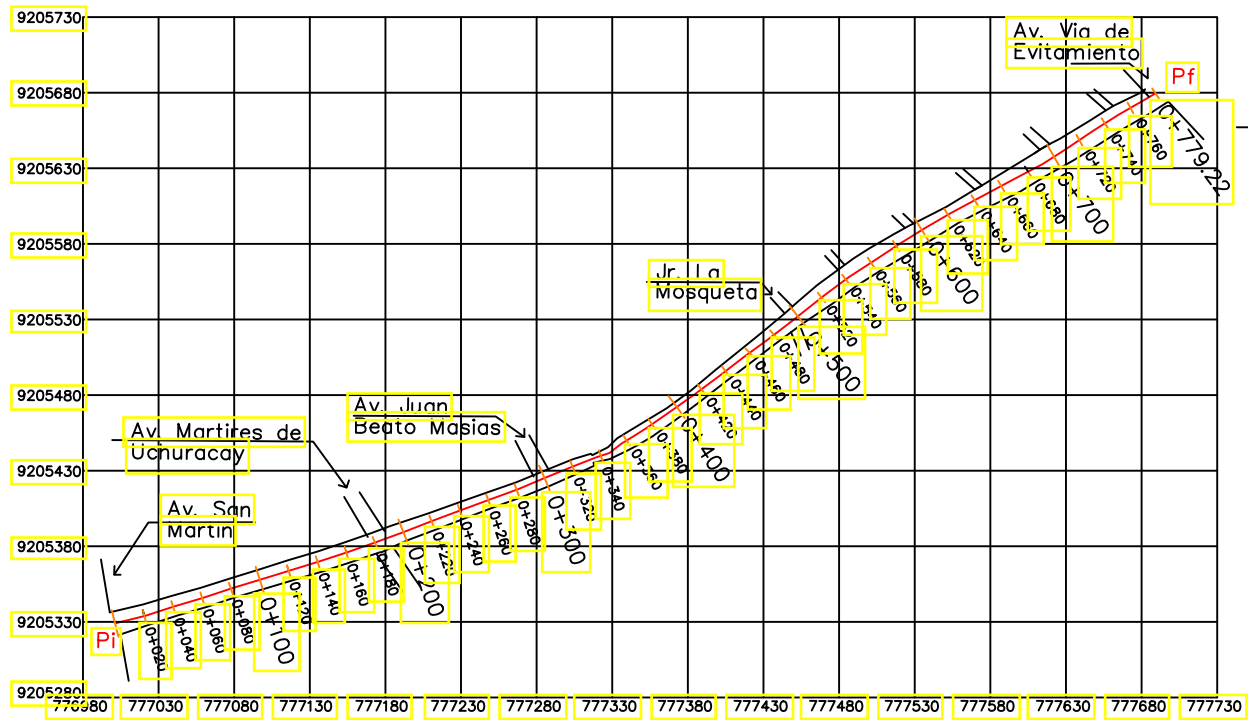


Fuente: Elaboración propia.

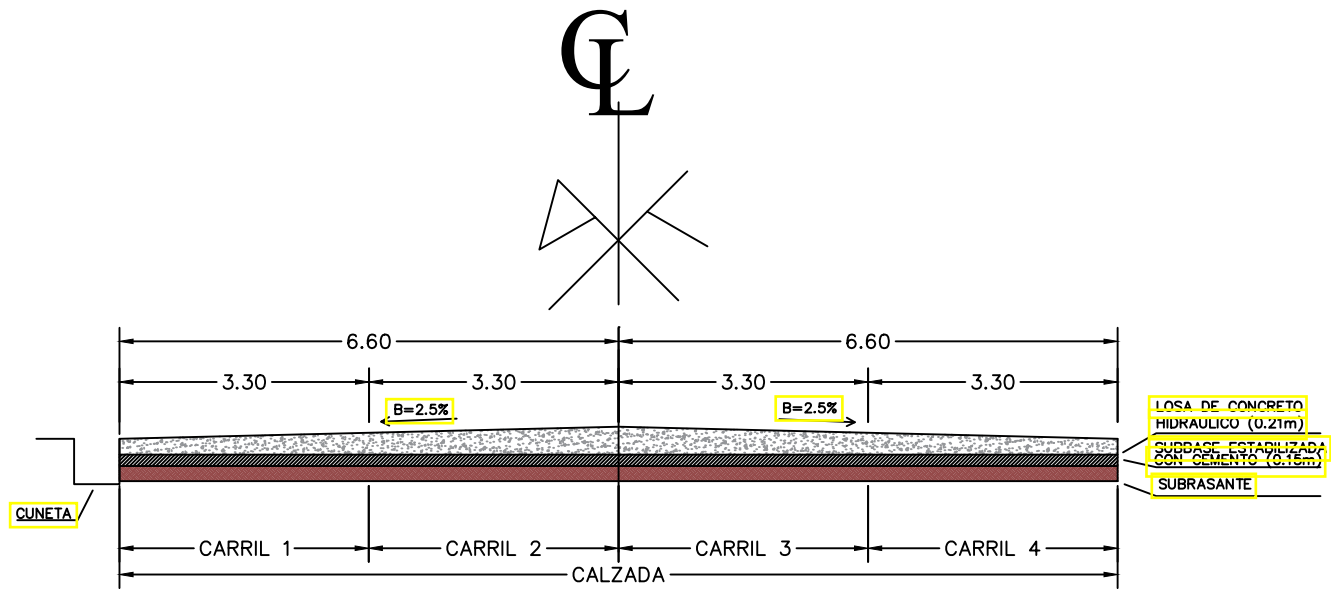
Documentos adicionales

Planos

Av. INDUSTRIAL

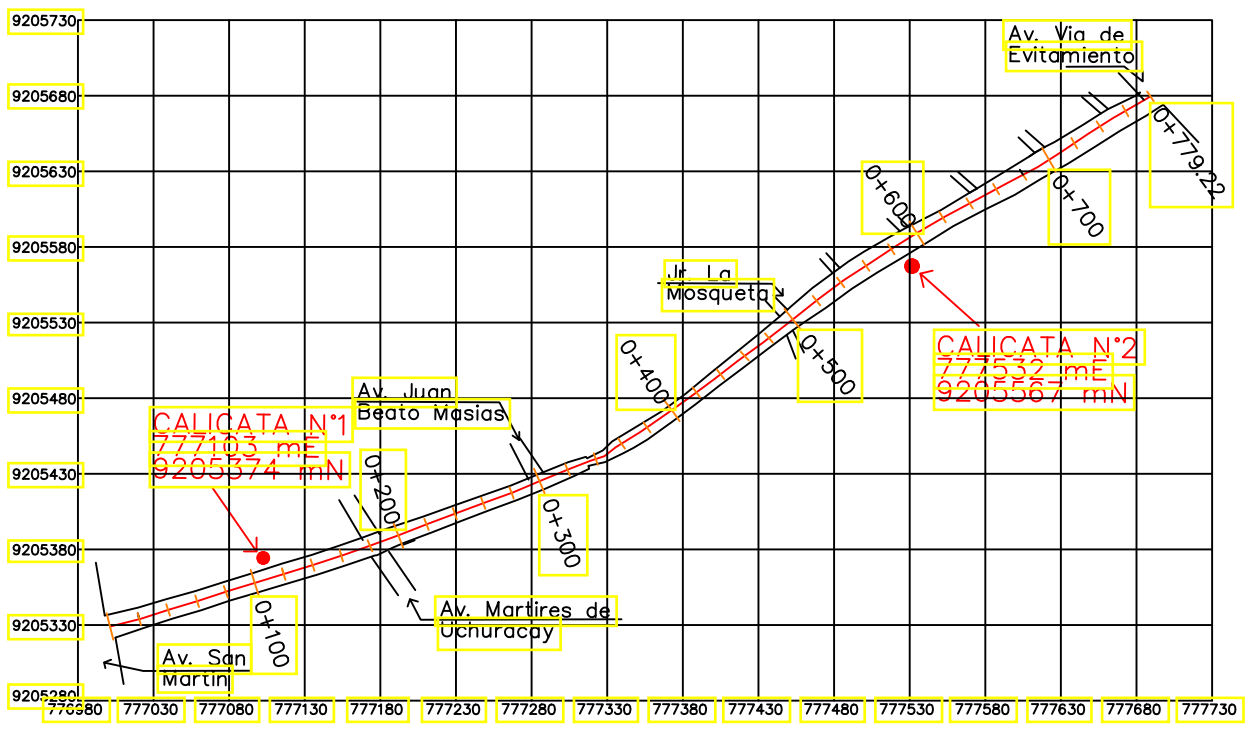
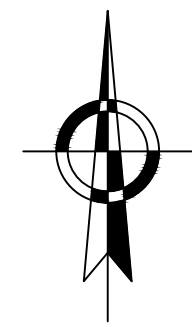


PLANO: VISTA EN PLANTA DEL TRAMO DE LA AV. INDUSTRIAL			PLANO N°:
DEPARTAMENTO CAJAMARCA	DISTRITO: CAJAMARCA	ESCALA 1/5000	FECHA: NOVIEMBRE 2018
			P - 01



PLANO:			SECCIÓN TÍPICA DE LA VÍA		PLANO N°:
DEPARTAMENTO	DISTRITO:	ESCALA	FECHA:		
CAJAMARCA	CAJAMARCA	1/100	NOVIEMBRE 2018		
					ST-01

Av. INDUSTRIAL



PLANO: UBICACION DE CALICATAS DE ESTUDIO			PLANO N°:
DEPARTAMENTO CAJAMARCA	DISTRITO: CAJAMARCA	ESCALA 1/5000	FECHA: NOVIEMBRE 2018
			U - 02