

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO
PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL DE LA
CARRETERA PE-1S, TRAMO: PROGRESIVA
1297+993 – 1300+080, TACNA – 2021**

TESIS

Presentada por:

Bach. Amerlin Cachicatari Mamani
Bach. David Froilan Calisaya Romero

Para optar Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA - PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Geotecnia
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO
PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA
CARRETERA PE-1S, TRAMO: PROGRESIVA 1297+993 –
1300+080, TACNA – 2021**

Tesis sustentada y aprobada el día 29 de diciembre de 2022 estando
integrado el Jurado Calificador por:


PRESIDENTE


:
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

SECRETARIO


:
Mtro. Ing. Cesar José Avendaño Jihuallanja

VOCAL


:
Mtro. Ing. Nahuel Molero Yañez

ASESOR DE TESIS


:
Ing. Martin Paucara Rojas

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Bernardo y Felisa, que día a día me han dado la fuerza para cumplir mis metas y gracias a sus esfuerzos por haberme dado uno de los privilegios más grandes que es la educación, a mi esposa Mariela y mi hijo Sebastián por estar a mi lado dándome apoyo y amor en cada momento en todo este proceso. Muchas gracias familia.

Bach. Amerlin, Cachicatari Mamani

Todo el trabajo está dedicado a Dios en primer lugar, que brindó el amor y apoyo incondicional de mi madre Nilia, mi tía Berta y mis hermanas Angela, Yoselyn y María, que no solo estuvieron en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor, que me ha guiado en todos los pasos de mi vida, brindándome fortaleza y la confianza necesaria para poder cumplir mis metas.

Bach. David Froilán, Calisaya Romero

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Martin Paucara Rojas, por la orientación recibida en el camino de elaboración de la presente tesis.

Al Ing. Edgar Chura Arocutipa, por los consejos durante el tiempo de la universidad que forjaron a ser no solo mejores profesionales, sino mejores personas.

A Dios, por su cuidado durante nuestras vidas, que hizo formar un equipo de trabajo hasta conseguir el objetivo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2.1 Problema general.....	7
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.4 OBJETIVOS.....	9
1.4.1 Objetivo general.....	9

1.4.2	Objetivos específicos	9
1.5	HIPÓTESIS GENERAL	10
1.5.1	Hipótesis general	10
1.5.2	Hipótesis específicas	10
CAPÍTULO II.....		11
MARCO TEÓRICO		11
2.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	11
2.2	BASES TEÓRICAS	19
2.2.1	Determinación del número estructural (sn) del pavimento (norma aashto-93).....	19
2.2.2	Determinación de los espesores de capa de la estructura de pavimento	21
2.2.3	Conformación de base estabilizada con cemento.....	23
2.2.4	Determinación del costo de una base estabilizada.....	25
2.2.5	Bases normativas.....	28
2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	30
CAPÍTULO III.....		32
MARCO METODOLÓGICO.....		332

3.1	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	332
3.1.1	Tipo de investigación.....	332
3.1.2	Nivel de la investigación.....	32
3.2	POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO.....	33
3.2.1	Población.....	32
3.2.2	Muestra.....	32
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	34
3.3.1	Variable dependiente.....	34
3.3.2	Variable independiente.....	35
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	36
3.4.1	Técnicas.....	36
3.4.2	Instrumentos.....	36
3.4.3	Procedimiento de ensayo C.B.R.....	37
3.4.4	Procedimiento de determinación de ESAL.....	43
3.4.5	Procedimiento de diseño estructural de pavimento	50
3.4.6	Procedimiento de cálculo de costo unitario de base estabilizada con cemento Portland.....	63

CAPÍTULO IV	75
RESULTADOS.....	75
4.1 RESULTADO DEL DISEÑO DE PAVIMENTO	75
4.2 RESULTADO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE VÍA.....	76
CAPÍTULO V.....	78
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
5.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO	78
5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE PRECIOS UNITARIOS	79
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fallas superficiales encontradas en la intersección Av. San Martín y Av. General Vizcarra.	6
Figura 2. Ubicación de las fallas encontradas en el pavimento.	6
Figura 3. Análisis de precios unitarios de base estabilizada con cemento	26
Figura 4. Tramo en estudio la Carretera PE-1S.	34
Figura 5. Obtención de muestras de material propio y base granular existente mediante método destructivo calicata in-situ.	39
Figura 6. Análisis granulométrico del material por tamizado	40
Figura 7. Proctor modificado para la determinación de la máxima densidad en relación con la humedad óptima.	41
Figura 8. Determinación del valor de relación de soporte (C.B.R.).....	42
Figura 9. Proyección de ESAL en periodos de 5 años realizado por COVINCA.	50
Figura 10. Hoja electrónica de Microsoft Excel para cálculo de diseño de pavimento.....	51
Figura 11. Ecuaciones de correlación para módulo resiliente de subrasante (Mr)	52
Figura 12. Determinación del nivel de confiabilidad y riesgo (R).....	53
Figura 13. Índice de Serviciabilidad inicial (Pi)	55
Figura 14. Índice de Serviciabilidad final (Pt)	56

Figura 15. Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes.....	62
Figura 16. Ubicación satelital del empalme km 1299+580.....	64
Figura 17. Análisis de precios unitarios de la obra creación de la Av. Zarumilla	66
Figura 18. Cuadrilla mínima en la etapa de compactación de base estabilizada .	71
Figura 19. Cuadrilla mínima en la etapa de perfilado y nivelado de base estabilizada.....	72
Figura 20. Dosificación de cemento portland en base estabilizada	73
Figura 21. Hoja electrónica de Microsoft Excel	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño	44
Tabla 2. Configuración de ejes.....	46
Tabla 3. Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos.....	47
Tabla 4. Parámetros para determinar el valor de EE.....	48
Tabla 5. Fórmula para determinación del SN	59
Tabla 6. Fórmula para determinación del SN	61
Tabla 7. Rendimientos para base estabilizada e=14cm (en m ³).....	68
Tabla 8. Rendimientos para base estabilizada e=28 cm (en m ³).....	68
Tabla 9. Resumen de rendimientos para base estabilizada en m ³ /día	69
Tabla 10. Resumen de rendimientos para base estabilizada en m ² /día	69
Tabla 11. Resumen de rendimiento base estabilizada e=14cm y e=28cm en m ² /día	69
Tabla 12. Análisis de costo unitario para base estabilizada con 4% cemento	77
Tabla 13. Resultado de costo unitario de base estabilizada con 4% de cemento .	79
Tabla 14. Resultado de costo unitario de base estabilizado con 4% de cemento Portland tipo IP.....	80

RESUMEN

La presente tesis estudia una mejor solución a la ejecución de proyectos para la recuperación de la infraestructura vial a nivel estructural, con la base granular existente, para la reconfiguración de capas estructurales del pavimento, además de ver la comparación de costos en relación con el pavimento flexible, con la estabilización de bases granulares con cemento Portland Tipo IP, para la recuperación de la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 + 1300+080. Se aplicó técnicas e instrumentos para la recolección de datos, como el CBR de la subrasante del ensayo de laboratorio, la determinación del ESAL deseado para el año 2030, el Módulo Resiliente de subrasante (M_r), el nivel de confiabilidad y riesgo, la desviación estándar combinada, el índice de serviciabilidad inicial (P_i), para poder obtener finalmente el número estructural requerido (SN) siendo 2.931 y el número estructural calculado 3.267, cumpliendo con el manual que indica que el número estructural calculado deberá ser mayor que el número estructural requerido. Una de las conclusiones es el costo del mantenimiento de vía añadido (%) de cemento portland tipo IP, tomando en cuenta que en la presente tesis se hizo ensayos con 1%, 2%, 3% y 4% con adición del cemento portland tipo IP, eligiendo el 4% dando una resistencia a la compresión de 26.10 kg/cm² a los 7 días, siendo su costo unitario de S/ 10.40 nuevos soles la estabilización de bases granulares con cemento

portland tipo IP, en comparación del costo unitario de conformación de bases granulares con S/ 14.87 nuevos soles, teniendo una diferencia positiva de S/ 4.43 nuevos soles por metro cuadrado con un espesor de 0.20 m.

Palabras clave: Cemento Portland tipo IP, estabilización, reciclado, base granular, CBR.

ABSTRACT

This thesis studies a better solution to the execution of projects for the recovery of the road infrastructure at a structural level, with the existing granular base, for the reformation of structural layers of the pavement, in addition to seeing the comparison of costs in relation to the pavement. flexible, with the stabilization of granular bases with Portland cement Type IP, for the recovery of the pavement structure in the road maintenance of the PE-1S highway, progressive section km 1297+993 + 1300+080.

Techniques and instruments were applied for data collection, such as the CBR of the subgrade, obtaining 14% of the laboratory test, the determination of the ESAL desired for the year 2030, the Resilient Module of the subgrade (Mr), the level of reliability and risk, the combined standard deviation, the initial serviceability index (Pi), in order to finally obtain the required structural number (SN) being 2,931 and the Calculated Structural Number 3,267, complying with the manual that indicates that the calculated structural number must be greater than the required structural number.

One of the conclusions is the cost of track maintenance added to the % of cement, taking into account that this thesis was tested with 1%, 2%, 3% and 4% with addition of cement, choosing 4% giving a compressive strength of 26.10 kg/cm² at 7 days, with a unit cost of S/ 10.40 nuevos soles for the stabilization of granular bases with cement, compared to the unit cost of conformation of granular bases with

S/ 14.87 nuevos soles, having a positive difference of S/ 4.43 nuevos soles per square meter with a thickness of 0.20 m, in addition to obtaining higher yields.

Keywords: Type IP Portland cement, stabilization, recycling, granular base, CBR.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la vialidad en el Perú va en crecimiento permitiendo la integración de pueblos y ciudades, es así, que los medios de transporte requieren cubrir esa necesidad con la construcción de nuevas vías y mantenimiento de las mismas.

El mantenimiento que se realiza a las vías existentes, en su mayoría, consiste en la remoción, retiro y mejoramiento de la capa de rodadura o carpeta asfáltica, sin embargo, en algunas ocasiones las fallas encontradas son de carácter estructural y requieren reparar los daños en toda la estructura de pavimento.

Existen alternativas para recuperar la infraestructura de las vías, entre ellos el reciclado de materiales granulares, sin embargo, el desconocimiento y la nula aplicación en la ciudad de Tacna, la convierte en una opción ignorada.

En el capítulo I, se describe planteamiento de problema, formulación de problema, justificación de la investigación y objetivos de la investigación.

En el capítulo II, se desarrolla la información teórica para determinar los espesores de la capa de la estructura de pavimento flexible utilizando el método AASHTO 1993, conformación de base estabiliza con cemento portland tipo IP y determinación del costo de una estabilizada.

En el capítulo III, se describe Tipo y diseño de investigación, variables e indicadores de la investigación, técnicas e instrumentación empleados; además se describe los procedimientos de ensayo de C.B.R, determinación de ESAL de

diseño, estructura del pavimento y cálculo de costo unitario de base estabilizada con cemento portland tipo IP.

En los capítulos IV, se describe resultados del diseño de pavimento que satisfagan y /o cumplan con el número estructural requerido para soportar las cargas en el periodo de diseño proyectado de 10 años, tomando en cuenta las recomendaciones de Manual de Carreteras, Suelos, Geología y Pavimentos – 2014 y además costo de mantenimiento de la vía.

En el capítulo V, se describe análisis del resultado de diseño de pavimento y económico de precios unitarios, además conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la vialidad en el Perú va en crecimiento permitiendo la integración de pueblos y ciudades, es así, que los medios de transporte requieren cubrir esa necesidad con la construcción de nuevas vías y mantenimiento de las mismas.

En la ciudad de Tacna, las vías más concurridas presentan desgaste en el pavimento. La avenida Jorge Basadre Grohmann presenta regular estado de conservación según el método PCI y el grado de severidad de las fallas encontradas varían de medio a alto (Banegas y Riega, 2019). En la avenida Industrial se encontraron fallas del tipo piel de cocodrilo, grietas parabólicas, grietas longitudinales, baches y desniveles, además, el resultado de la evaluación de pavimento indica estado malo (Toledo y Llaiqui, 2020).

En el 2020 se realizó la evaluación del pavimento en la av. Jorge Basadre Grohmann donde se encontró que predomina la falla tipo hueco, el nivel de severidad de las fallas es medio y en menor cantidad se encontró fallas con severidad alta. En este estudio se concluyó que la vía existente requiere rehabilitación de la estructura de pavimento (Consortio Dorado, 2020). Estos datos

reflejan el nivel de serviciabilidad que ofrece al usuario y el reducido mantenimiento aplicado.

El mantenimiento que se realiza a las vías existentes, en su mayoría, consiste en la remoción, retiro y mejoramiento de la capa de rodadura o carpeta asfáltica, sin embargo, en algunas ocasiones las fallas encontradas son de carácter estructural y requieren reparar los daños en toda la estructura de pavimento.

En la ciudad de Tacna aún no se ha presentado la ejecución de proyectos que recuperen la infraestructura vial a nivel estructural actualmente solo se han realizado la construcción de nuevas vías locales con materiales granulares provenientes de la explotación de canteras.

La recuperación de la estructura de pavimento implica la reconfiguración de las capas que la conforman, por lo que el uso de agregados como base granulares podrían ser una opción mas no la solución más favorable.

La adquisición de nuevas bases granulares para la reconfiguración de capas estructurales de un pavimento implica la explotación de más canteras, afectación de los recursos del suelo e impactos ambientales por la explotación. Por otro lado, los costos de producción y transporte hacen que el uso de nuevas bases granulares no sea la solución más económica para la recuperación de la infraestructura vial de la ciudad.

Existen alternativas para recuperar la infraestructura de las vías, entre ellos el reciclado de materiales granulares, sin embargo, el desconocimiento y la nula aplicación en la ciudad de Tacna, la convierte en una opción ignorada.

En la ciudad de Tacna se puede apreciar niveles de rasante de pista terminada inadecuadas, debido a que se observa que los niveles de pista se encuentran al mismo nivel que las veredas.

A lo largo del tiempo, los mantenimientos y recuperación de infraestructura de las vías de Tacna consistían en recapeos, tratamientos superficiales, sellos asfálticos (Contraloría General de la República, 2021), tal como se aprecia, realizar tratamientos inadecuados produce fisuras y grietas sobre la carpeta asfáltica antes de cumplir su tiempo de vida útil (ver siguiente fotografía) lo cual es técnicamente incorrecto; sin embargo, recuperar la infraestructura de las vías adecuadamente representa una inversión elevada, ya que se debería considerar la reconstrucción a nivel de estructura total del pavimento y de ser utilizadas nuevas capas estructurales en base a materiales granulares genera sobrecostos (Base Granular, Sub base Granular, etc.).

Figura 1

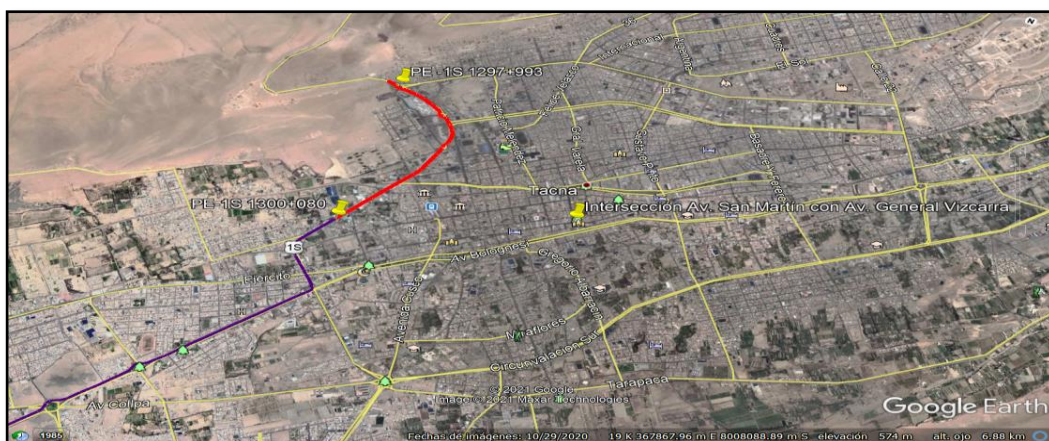
Fallas superficiales encontradas en la intersección Av. San Martín y Av. General Vizcarra.



Nota. La figura muestra estado actual de las vías que fueron mejoradas en el proyecto Mantenimiento y Recuperación de infraestructura en las calles y avenidas del distrito de Tacna – Tacna.

Figura 2

Ubicación de las fallas encontradas en el pavimento.



Nota. La figura muestra la ubicación satelital de las fallas visualizadas en la figura anterior. Tomado de Google Earth (2021).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Es posible estabilizar bases granulares para la recuperación de la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿El diseño estructural de un pavimento flexible se ve afectado por la estabilización de bases granulares con cemento Portland tipo IP en la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080?

- ¿La estabilización de materiales granulares con cemento Portland tipo IP reduciría el costo del mantenimiento vial en la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La creciente exigencia de materias primas destinadas a la industria de la preparación de materiales granulares para pavimentos nuevos y las posibilidades cada vez menores de disponibilidad de recursos naturales, provoca una progresiva concientización orientada hacia un retorno a la ingeniería sustentable.

El mantenimiento de vías colapsadas o con fallas estructurales, obliga a reconformar las bases y subbases del pavimento, para ello, existen mecanismos y técnicas constructivas que, frente al empleo de materiales granulares producidos recientemente para posteriormente ser colocados en el lugar de trabajo, podrían resultar menos costosos y reducir el impacto ambiental.

En los últimos tiempos, la identificación de problemas ambientales originados por los depósitos de Materiales Excedentes autorizados (DME) de construcción y demolición de pavimentos, ha llevado a proponer el uso de éstos como agregados artificiales, no sólo para la elaboración de nuevos hormigones, sino también como materiales constitutivos de bases y subbases de carreteras (Ocaranza et al., 2013).

En otros países denominados del primer mundo, el reciclado de residuos sólidos de la construcción y demolición es una realidad, por lo que la reutilización de materiales granulares para la conformación de un pavimento en el mantenimiento de vías representa la solución más viable (Ocaranza et al., 2013a).

Estudiar el comportamiento de estos residuos provenientes del reciclado busca demostrar que estos agregados pueden presentar propiedades y características físicas similares o mejores que los materiales granulares producidos recientemente y que podrían ser utilizados como materiales en la construcción y mantenimiento de las vías al igual que en otros países.

Para el presente proyecto se realizará el diseño de pavimento en la Av. Jorge Basadre Grohmann, debido a que es una vía arterial, y a su vez es parte de la Carretera Panamericana Sur PE-1S (del km 1297+993 al km 1300+080), por lo cual en dicho tramo se determinará el Eje Estándar de Carga Equivalente (ESAL), para lo cual se deberá cuantificar todos los tipos de vehículos mayores a 1 eje.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Estabilizar la base granular para la recuperación de la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080.

1.4.2 Objetivos específicos

- Verificar el cumplimiento del número estructural requerido en el diseño de pavimento flexible, incorporando la estabilización de bases granulares con cemento Portland tipo IP en la carretera PE-1S.

- Demostrar que el empleo de estabilizado de bases granulares mediante la incorporación de cemento Portland tipo IP reduce los costos del mantenimiento vial en la Carretera PE-1S.

1.5 HIPÓTESIS GENERAL

1.5.1 Hipótesis general

La estabilización de base granular existente con cemento portland tipo IP en el mantenimiento de vías, lograría recuperar la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080.

1.5.2 Hipótesis específicas

- El número estructural de un diseño de pavimento mejoraría estabilizando la base granular existente con cemento Portland tipo IP.
- La estabilización con cemento Portland tipo IP en el mantenimiento vial reduciría los costos a comparación de la incorporación de una nueva base granular.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Crispín y Helguero (2019) en la tesis denominada “Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales” buscaban determinar el porcentaje a reutilizar de RAP y Cemento Portland tipo I para obtener beneficios integrales. Para ello, realizaron ensayos de laboratorio utilizando 10% de RAP (Recycle Asphalt Pavement) y con la adición de cemento Portland tipo I en cantidades 1%, 2% y 3% obteniéndose CBRs DE 100%, 134,9% y 157% respectivamente. Estos resultados fueron aplicados en el proyecto denominado mejoramiento y rehabilitación de vías en la avenida Separadora Industrial en los distritos de Santa Anita y La Molina. Concluyeron que el proyecto demoraría 39 días en terminarse frente a 82 días con el uso de bases granulares convencionales, además representaría una reducción del costo en S/ 10.55 por metro cuadrado.

Velásquez (2018) en la tesis “Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina” realizó un estudio de suelos para identificar sus características físicas y mecánicas. Se usó cemento Portland Tipo I como aditivo estabilizador en diferentes porcentajes de 1, 3 y 5% del peso seco de la muestra de suelo. Se realizó ensayos

de contenido de humedad, límite de contracción, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, Proctor modificado y CBR, por medio los cuales se evaluó la influencia del cemento Portland Tipo I en índice de contracción, índice de plasticidad, e índice CBR. El suelo arcilloso analizado se clasificó como A – 7 – 6 (37) según AASHTO y como OH según SUCS. Con la adición de 5% de cemento su índice de plasticidad se disminuyó de 44% a 15%, su índice CBR se incrementó de 1.30% a 13.75% al 95%DSM y su índice de contracción se disminuyó de 27% a 19%. Se concluyó que la influencia del cemento Portland Tipo I, en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina, se observó en el incremento de su índice CBR, además en la disminución de su índice de plasticidad e índice de contracción.

Rodriguez y Silva (2019) en la tesis “Estabilización de suelos adicionando cemento portland tipo y mas cal hidratada en vias afirmadas, para el centro poblado Alto Trujillo, El Porvenir - La Libertad” demuestran la estabilización de suelos adicionando cemento Portland tipo I más cal hidratada en vías afirmadas. Se inició con la investigación de la normativa y las especificaciones técnicas vigentes y de esa manera, desarrollaron el estudio de la sub base granular, con ensayos de laboratorio y campo, de igual manera se determinó las cantidades del cemento Portland tipo I más cal hidratada desarrollando ensayos con distintas proporciones de la mezcla mediante tanteos, posterior se hizo el ensayo de CBR para poder hallar

la resistencia de hundimiento, así como el ensayo de Proctor modificado con el fin de saber el grado de densidad húmeda del suelo natural y del suelo con adición de cemento portland tipo I más cal hidratada, en base con el manual de diseño de carreteras, especificaciones técnicas generales para la construcción y las normas técnicas peruanas. Esta investigación concluyó: que el suelo estabilizado con cemento Portland tipo I más cal hidratada mejora las características físicas y mecánicas originales del suelo y un aumento un 29.5 % en la capacidad de soporte en el suelo.

Arteaga (2018) en la tesis experimental “Análisis comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado” compara el comportamiento de la base granular modificada con cemento, reemplazando el 2%, 4% y 6% de material granular con PET reciclado con el fin de determinar si éste puede ser usado como estabilizante. En esta investigación, se determina las características y la principales propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno (PET), posteriormente se determina las propiedades físicas y mecánicas de la base granular a emplear en esta investigación; esta base es sometida a los ensayos de granulometría, contenido de vacíos, resistencia a la abrasión, relación humedad-masa unitaria, C.B.R., entre otros según la normativa de INVIAS. Así mismo, una vez conocida las propiedades de estos materiales se procede al análisis de la base estabilizada con cemento a la cual se le adiciona el PET, se realizan los

ensayos de determinación de resistencia a la compresión para finalmente concluir que la combinación de estos materiales reciclados se comportan en forma positiva al objetivo de la investigación, además de ello, concluye el autor que la base granular usada presenta características óptimas y cumple con todos los requisitos de los agregados, para base tratada con cemento según normas INVIAS-13, resultando una base de alta calidad.

Ortiz y Díaz (2019) en la tesis “Diseño y análisis de bases estabilizadas con cementos tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)” diseñan y analizan el comportamiento de dos bases granulares estabilizadas con cementos tipo UG y MCH. Los autores realizaron una investigación en la ciudad de Bogotá comparando ambos cementos que se adicionaron a las bases granulares con iguales características físico mecánicas; se realizaron los ensayos de análisis granulométrico, compactación, proctor, compresión inconfiada y trabajabilidad según la normativa colombiana de INVIAS. Finalmente, sostienen que una base entre más material fino tenga, necesita menos agua para obtener la densidad seca máxima. Además de ello, concluyen que efectivamente el cemento de moderado calor de hidratación o MCH, frente a cementos convencionales (UG), utilizado en sus ensayos de verificación, permite que se obtenga una mayor resistencia de una base granular.

Ocaranza et al. (2013) publicaron para la IX Jornada de ciencia y tecnología de facultades de ingeniería del NOA, los resultados obtenidos con el reemplazo de material granular del 20, 50, 75 y 100% por áridos provenientes de los residuos de construcción y demolición para la construcción de bases y subbases de pavimento flexible, concluyendo con la obtención de resultados satisfactorios. En el artículo publicado concluyeron que el incremento de la capacidad portante de las mezclas está asociado a porcentajes crecientes de reemplazo de hormigón triturado. En el ámbito objetivo y práctico, el reemplazo total o parcial mayor a un 30 %, dificulta la trabajabilidad (mezclar y compactar la mezcla en el menor tiempo posible) en obra.

Soto et al. (2016) en el artículo denominado “Performance of portland cement stabilized bases in Mexico” basado en el estudio del tramo vial comprendido entre el km 217+500 hasta el km 252+000 de la carretera Acatzingo-Mendoza por la calzada “A”, realizaron un análisis exhaustivo con los datos obtenidos de campo y laboratorio; se analizó las granulometrías de los materiales existentes con el objetivo de mejorar y rehabilitar el tramo en estudio aplicando la técnica del reciclado de materiales existentes. Inicialmente, plantearon dos propuestas: la recuperación del pavimento existente formando una base estabilizada con asfalto, y la segunda, base estabilizada usando cemento portland. Efectuaron un Análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) concluyéndose que el pavimento conformado por

base estabilizada con cemento portland resulta ser más económico que la base estabilizada con asfalto. Una vez identificada esta alternativa como la más económica, se procedió a aplicar el método en campo y posteriormente a procesar las muestras ya estabilizadas. Se tomaron 79 muestras a lo largo del tramo. Se visualizó que las muestras no eran homogéneas, debido a las desigualdad en el tamaño y número de partículas que comprendían. También, se observó que muchas de las curvas de calidad de los materiales existentes, estaban fuera de intervalo estipulado en la norma mexicana. El 96.4% de los núcleos probados a la resistencia a la compresión simple posterior de 14 días, cumplió con la resistencia mínima requerida de 114 kg/cm². Con los resultados de la medición de las deflexiones antes de la rehabilitación presentaba un rango de 109 μm y 2091 μm con una media aritmética de 607 μm, luego de la rehabilitación se obtuvo deflexiones entre 74 μm y 197 μm con una media aritmética de 113 μm, lo que significa que la calidad de la estructura del pavimento mejoró con la nueva tecnología de construcción de la base estabilizada. Finalmente, los autores concluyen que la estabilización mediante el reciclaje in situ con cemento es una excelente técnica de reciclaje y que esta técnica tiene un futuro prometedor. No se especificó un límite superior de resistencia en el proyecto en estudio; sin embargo, los autores afirman que es necesario establecer una resistencia máxima para proyectos futuros.

Chai et al. (2005) expusieron el tema “In-Situ Stabilization of Road Base Using Cement - A Case Study in Malaysia” cuyo objeto de estudio fue evaluar la

posibilidad de rehabilitar la calzada en dirección sur de la Autopista Norte-Sur (Malasia Occidental) aplicando la estabilización de bases existentes con la adición de cemento, para ello se tomó un tramo de prueba de 100m de longitud. Para llevar a cabo la conformación de base estabilizada con cemento (CTB) se determinaron los parámetros de diseño: contenido de agua $4,50 \pm 0,50\%$, contenido de cemento de 3,50% para obtener una resistencia entre 4MPa a 8MPa, mínimo módulo de rigidez efectiva de 1000MPa a los 28 días de curado, obtener una resistencia promedio de 5 cubos (probetas) a los 7 días entre 4 y 8MPa, el resultado densidades de campo no deberá ser menor que el 94% del promedio de las densidades correspondientes en grupos de 5 cubos. Se conformó 200mm de espesor de base estabilizada con cemento y a los 7 días de curado se colocó una capa bituminosa de 190mm sobre el CTB. En este tramo de prueba usaron Falling Weight Deflectometer (FWD) o deflectómetro de impacto, para determinar el módulo de rigidez efectivo y verificar si el comportamiento era el esperado con respecto a los parámetros asumidos en el diseño, el ensayo consistió en 3 etapas: FWD test sobre la capa de base granular existente, FWD test sobre la capa CTB a los 3 días y FWD test a los 7 días; también se realizó FWD test sobre la estructura de pavimento a los 28 días de conformada la CTB super puesta con la capa bituminosa. Además, trabajaron en base a 12 extracciones en el CTB (4 a los 3 días, 5 a los 7 días y 3 a los 28 días) los que fueron sometidos a compresión un día después de su extracción. Por otro lado, prepararon especímenes durante la etapa de construcción del CTB para luego ser ensayados a

compresión axial a las edades de 1, 3 y 7 días. Una vez, procesados los resultados los autores plantean 2 relaciones empíricas: resistencia a la compresión-deflexión y resistencia a la compresión-módulo de rigidez. Finalmente, concluyeron que las deflexiones disminuían entre 3 y 7 días debido al curado de la base CTB, incluso disminuían a los 28 días y que las dos relaciones empíricas planteadas pueden ser útiles para el monitoreo el rendimiento de la capa CTB cuando la estabilización aún está en curso.

Según los reportes del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021), el flujo de vehículos ligeros y pesados en el departamento de Tacna da un total de 50 837 vehículos el mes de mayo del 2021. Así mismo, el INEI indica que en mayo de 2021, el índice nacional del flujo vehicular que anota el movimiento de unidades pesadas y ligeras por las garitas de peaje, aumentó en 81,2%, comparado a similar mes del año anterior, argumentado en el tráfico de vehículos pesados que aumentó en 76,3%, apoyado por el mayor desplazamiento de vehículos de carga de 3 a 7 ejes en 78,6%, sustentado por el incremento en la demanda del servicio de transporte en los sectores de comercio, construcción, comercio, manufactura y minería e hidrocarburos, en tanto que el flujo de vehículos ligeros aumentó en 86,5%, comparado con mayo de 2020, incentivado por el proseguir de las actividades económicas de forma progresiva según la clasificación del riesgo de contagio de coronavirus, en las regiones del país.

La obra ejecutada por Administración directa por la Municipalidad Provincial de Tacna denominada Mantenimiento y Recuperación de infraestructura en las calles y avenidas del distrito de Tacna – Tacna entre el periodo del 01 de agosto del 2016 y el 01 de enero del 2017, tuvo como finalidad pública y meta física recuperar la infraestructura en las calles y avenidas del distrito de Tacna, con un monto ejecutado total de S/ 472 233,19 invertidos tal como se indica en la página web de la Contraloría General de la República; sin embargo, actualmente se muestran daños (fisuras y grietas) sobre la pista ejecutada, debido a que el proyecto consistió realmente en recuperar la superficie de rodadura (tratamiento superficial). Por cuanto, el costo de la inversión era mínimo, no se pudo dar un tratamiento a nivel estructural del pavimento adecuado y así prolongar el tiempo de vida útil de las vías.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Determinación del número estructural (SN) del pavimento (norma AASHTO-93)

El diseño de pavimento en la metodología del American Association of state Highway Transportation Officials (1993) o AASHTO-93 para diseño de estructuras de pavimento flexible, presenta una ecuación a través de la cual, se obtiene el parámetro llamado número estructural (SN).

El SN es un número abstracto, que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento bajo condiciones de calidad del suelo de fundación, condiciones del tráfico y variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento.

En el diseño de pavimento se calcula el SN requerido que resulta de iteraciones de la ecuación de diseño del método AASHTO-93:

$$\log_{10}(W18) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad [1]$$

Donde las variables independientes son:

- W18: número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n)
- Z_R : valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.
- S_0 : desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.
- ΔPSI : pérdida de serviciabilidad (condición de servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado)

del pavimento al concluirse su construcción (serviciabilidad inicial p_o) y su planitud al final, del periodo de diseño (servicapacidad final p_t)

- M_R : módulo resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub bases granulares, resuelto a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos granulares).

Donde las variables dependientes son:

- SN: número estructural o capacidad de la estructura para soportar las cargas, bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

Una vez conocidas las variables de diseño son introducidas en la ecuación 1, para luego iterarse hasta calcular el valor de SN requerido. Esta ecuación no es válida o no puede utilizarse para materiales con módulos mayores a 45 000 psi, es decir, que solamente puede resolverse para materiales de las cuales se les puede realizar un ensayo tipo CBR.

2.2.2 Determinación de los espesores de capa de la estructura de pavimento

Una vez determinada el SN requerido, es necesario conocer el SN calculado que es resultado de la sumatoria del “aporte” estructural de cada capa que conforma en su conjunto el pavimento:

$$SN_{calculado} = a_{rod}xe_{rod} + a_{int}xe_{int} + a_bxe_bxm_b + a_{sb}xe_{sb}xm_{sb} \text{ [2]}$$

Donde:

- a_{rod} : coeficiente estructural de la mezcla de concreto asfáltico empleada en la capa de rodamiento.
- a_{int} : coeficiente estructural de la mezcla de concreto asfáltico empleada en la capa intermedia
- a_b : coeficiente estructural del material o mezcla empleado en la capa base
- a_{sb} : coeficiente estructural del material o mezcla empleado en la capa subbase
- e_{rod} : espesor de mezcla de concreto asfáltico empleada en la capa asfáltica intermedia
- e_b : espesor del material o mezcla empleado en la capa base
- e_{sb} : espesor del material o mezcla empleado en la capa subbase
- m_b : coeficiente de ajuste del coeficiente estructural en caso que la capa base esté constituida por material no tratado. Para MAC y materiales estabilizados con cemento este coeficiente de drenaje es siempre igual a 1.
- m_{sb} : coeficiente de ajuste del coeficiente estructural en caso de que la capa subbase esté constituida por material no tratado.

La ecuación 2, no tiene una única solución, existirán muchas posibles combinaciones de espesores que cumplan el determinado valor SN requerido. Sin

embargo, en el diseño estructural de pavimento AASHTO-93, para que los espesores de capa puedan soportar las imposiciones de tráfico y no sufran deformaciones permanentes, es necesario cumplir la siguiente condición:

$$SN_{calculado} > SN_{requerido} [3]$$

2.2.3 Conformación de base estabilizada con cemento

Las bases granulares existentes o el mismo terreno natural adicionados con cemento forman las bases estabilizadas. Según Rocci (1964):

Estas bases se obtienen a partir de materiales encontrados in situ proporcionándoseles una rigidez sensible por lo que la base funciona como una losa, repartiendo las cargas de tráfico sobre una superficie mayor como si se tratara de una base granular (pp.79).

El componente estabilizador, es decir, el cemento, se incorpora al material granular existente (o material natural sea el caso) mediante de una operación que se denominada “mezcla”. Su proporción será suficiente para conferir a la base ciertas cualidades mínimas de insusceptibilidad, resistencia mecánica y durabilidad. El agua debe ser añadida en la proporción óptima para obtener la máxima densidad al compactar, además, servirá en la hidratación del cemento (Rocci, 1964).

PITRA (2018) en la divulgación de la modificación del Manual CR-2010 presenta la Sección 302 Base granular estabilizada con cemento. Esta sección establece las siguientes condiciones para la conformación de base estabilizada con cemento:

- No iniciar el mezclado si dentro de las siguientes 48 horas se espera temperaturas menores a 4 °C. No se debe colocar la capa de agregado estabilizado cuando esté lloviendo o la superficie subyacente esté saturada.
- La humedad del agregado en el momento de la aplicación del cemento deberá ser trabajable y estar dentro de un rango de $\pm 2\%$ con respecto al contenido de humedad óptimo de la mezcla al inicio de la compactación.
- No se deberá dejar la mezcla de cemento, agua y agregado sin compactar por más de 30 minutos. El proceso total de mezcla y compactación deberá realizarse en un máximo de 2 horas.

El Manual CR-2010 y sus modificaciones establece el siguiente método:

a) Método de mezclado en sitio

Cuando se realice una base estabilizada reciclada producto de la escarificación de la capa existente, se debe escarificar por lo menos el 50% de todo el material pueda pasar por un tamiz No. 4 (4,75 mm). Se debe

desechar el material retenido en el tamiz de 75 mm. Si se añadirá material adicional, este deberá ser mezclado con el existente de acuerdo con el diseño de mezcla. La aplicación de cemento se realiza de manera uniforme con un esparcidor aprobado. El agua se debe aplicar utilizando métodos aprobados para obtener el contenido de humedad óptimo, para realizar la mezcla y la compactación. Luego del proceso de compactación se continúa con el proceso de hidratación y curado, considerado que a los 7 días de edad deberá alcanzar una resistencia a la compresión simple según los parámetros de diseño (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2018).

2.2.4 Determinación del costo de una base estabilizada

Para realizar la proyección del Análisis de Precio Unitario (APU) de la base estabilizada con cemento portland tipo IP, tomaremos como base la estructura de APU del expediente denominado “Diseño de Ejecutivo de Programa de Trabajo” realizada por el Consorcio Dorado (2020):

Figura 3

Análisis de precios unitarios de base estabilizada con cemento

Partida	03.02	RECICLADO CON 3% CEMENTO PORTLAND TIPO IP e=18cm			Costo unitario directo por : m3			9.07
Rendimiento	m3/DIA	MO. 8,500.0000	EQ. 8,500.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0009	32.20	0.03		
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0019	23.19	0.04		
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0028	21.30	0.06		
Materiales								
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0300	9.00	0.27		
02130100010007	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	bol		0.3262	21.94	7.16		
0237160004	PICAS	und		0.0160	32.25	0.52		
0237160005	PORTAPICAS	und		0.0002	210.00	0.04		
Equipos								
03011000060005	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 16TN, 140-160HP	hm	1.0000	0.0009	185.13	0.17		
03012000010005	MOTONIVELADORA 185 HP	hm	1.0000	0.0009	180.00	0.16		
0301200003	RECICLADORA Y ESTABILIZADORA DE SUELOS WR 240	hm	1.0000	0.0009	480.00	0.43		
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0009	130.00	0.12		
03012200050006	CAMION CISTERNA 4X2 122HP (5000 GLNS.)	hm	1.0000	0.0009	80.00	0.07		
							0.95	

Nota. La figura muestra un modelo de APU para bases estabilizadas con cemento en m³ y por un espesor de 18mm. Tomado de Consorcio Dorado (2020).

Para determinar el precio unitario de la base granular estabilizada con cemento portland tipo IP, se deben tener en cuenta la mano de obra, materiales, equipos necesarios. En cuanto al rendimiento de la actividad se debe proyectar un avance diario real teniendo en cuenta la destreza y experiencia, además de la capacidad logística del ente ejecutor.

- a) Mano de obra: Se considera para esta actividad la cantidad de mano de obra necesaria para la construcción de un m³ de base estabilizada. El valor unitario será tomado según la tabla salarial de construcción civil (Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú).

b) Materiales:

- Material in situ (m^3): El material in situ proviene de la excavación de algún punto cercano donde se encuentre material de aporte con buenas propiedades mecánicas, puede derivar de la escarificación in situ del suelo. En la mayoría de los casos este material debe ser seleccionado, para quitar sobre tamaños, material orgánico (descapote, raíces, etc.) y cualquier otro elemento que afecte la resistencia.
- Agua (l): Incluye el costo de agua en el unitario, si éste debe ser comprado por el contratista.
- Cemento (bls): Se toma el valor según el valor del mercado. La cantidad será determinada según el diseño de mezcla previo.

c) Equipos: Para llevar a cabo la actividad se plantea utilizar los siguientes equipos:

- rodillo liso vibratorio
- motoniveladora
- cisterna

2.2.5 Bases normativas

2.2.5.1 Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”-EG-2013

Sección 301.A – Suelos Estabilizados con cemento (...) Consiste en la construcción de una o más capas de suelos estabilizados con cemento Portland, de acuerdo con las estas especificaciones técnicas, así como de las dimensiones, alineamientos y secciones transversales indicados en el Proyecto.

301.A.02 – Suelos (...) El material por estabilizar con cemento Portland podrá ser material de afirmado o provenir de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de:

- Excavaciones o zonas de préstamo.
- Agregados locales.
- Mezclas de ellos.

Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto.

2.2.5.2 Manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”

Sección: Suelos y Pavimentos – 2014 del MTC

9.6 SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO (...) El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

2.2.5.3 Manual de ensayos de materiales (EM-2016) del MTC

MTC E 1101 PREPARACION EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO – CEMENTO (...) Objetivo: Establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.”

“MTC E 1102 RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (...) Se refieren a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo – cemento, cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.

“MTC E 1103 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO (...) Objeto: Determinar la Resistencia a la Compresión de probetas de suelo – cemento.”

2.2.5.4 Manual de conservación vial – 2014 del MTC

“La infraestructura vial o patrimonio vial es un bien de capital muy importante y de alto costo de construcción para el país y nunca se tiene suficientemente recursos como para construir todas las carreteras que el país necesita. La existencia de las actuales carreteras ha significado un esfuerzo permanente no sólo económico en recursos monetarios invertidos, sino también en esfuerzo personal de millones de pobladores desde épocas remotas, que necesitaban integrarse entre ellos”.

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

- **Capa:** material con un espesor determinado que se compactará y servirá como soporte al corte y los esfuerzos que se generen sobre el pavimento, otorgará un número estructural que sumado a las demás capas estructurales generarán todo el soporte en el diseño de pavimento.
- **Pavimento:** conjunto de capas conformados por materiales apropiados que compactados permiten el tránsito seguro y confortable de vehículos.

Por lo general está conformado por las siguientes capas: base, sub-base y capa de rodadura.

- **Estabilizar:** mejorar un material a base de cemento Portland tipo IP, con la finalidad de incrementar todas sus propiedades de resistencia para ser utilizados en una capa estructural de pavimento.
- **Base granular:** material granular grueso compuesto de triturados, arena y material fino. Posee alta resistencia a la deformación la cual hace que soporte presiones altas.
- **Base estabilizada:** material conformado y compactado por base granular y cemento Portland tipo IP.
- **Reciclado:** utilizar el material granular existente de una capa de pavimento, para conformar una nueva capa estructural, la cual obtenga propiedades de adherencia y resistencia mayores a las que tenía en su estado inicial.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada, porque está centrada en encontrar una alternativa al uso de nuevos materiales granulares para la recuperación de infraestructura de las vías en la ciudad de Tacna.

El tipo de ámbito que se aplica es bien específico y delimitado, debido que no se trata de explicar una amplia variedad de situaciones, sino, más bien se intenta abordar un problema en específico.

3.1.2 Nivel de la investigación

Nivel de investigación experimental, porque se obtiene datos a través de los ensayos realizado, los cuales se pueden comparar mediante un diseño de pavimento y análisis comparativo de precios, a fin de determinar los efectos que pueda producir la experimentación; para luego cuantificarlo y decidir sobre la prioridad que debe asignarle para solucionarlo.

3.2 POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1 Población

La población para la investigación son las vías arteriales de la provincia de Tacna, zona muy importante que interconecta toda la ciudad de Tacna, en sus diferentes distritos, por lo cual, el tránsito es constante y genera desgaste sobre la superficie de rodadura.

3.2.2 Muestra

La muestra de estudio será la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 – km 1300+080 con una longitud de 2,087 km.

Figura 4

Tramo en estudio la Carretera PE-1S.



Nota. Vista satelital obtenida de Google Earth (2021).

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable dependiente

Mantenimiento vial

- Definición conceptual:

El mantenimiento vial es la acción de conservar las condiciones estructurales y superficiales de las vías, de tal manera, garantizar la seguridad y confort de los conductores.

- Definición operacional:

Recuperar las condiciones físicas de los componentes de un camino, así como las capas estructurales del pavimento, al nivel que sea requerido.

Indicadores:

- ESAL
- estructura de pavimento
- costo de ejecución
- vida útil proyectada

3.3.2 Variable independiente

Estabilización de bases granulares con cemento Portland tipo IP

- Definición conceptual:

La estabilización es un proceso de mejorar el comportamiento de un camino mediante la adición de un porcentaje de cemento Portland tipo IP sobre las bases granulares existentes.

- Definición operacional:

Estabilizar con cemento portland tipo IP proporciona propiedades de adherencia y resistencia a un material para su correcto funcionamiento estructural.

Indicadores:

- AASHTO 1993
- C.B.R.
- módulo Resiliente
- índice de capa
- número estructural

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Técnicas

Se procesarán los datos de acuerdo a su tipología (cuantitativos), procesando los datos en base a los resultados de los ensayos a realizar. Así mismo se evaluará un muestreo comparativo entre un análisis de precio unitario de un material de base granular vs un análisis de precio unitario de una base granular existente estabilizada con cemento portland tipo IP, así también como las demás partidas implicadas en el desarrollo de las actividades.

3.4.2 Instrumentos:

- tamices o mallas
- moldes de 4” y 6”

- pistones
- balanzas
- horno de secado
- herramientas de mezcla
- prensa similar a la de rotura de compresión
- hoja electrónica Excel

En base a la información obtenida de las muestras extraídas de las calicatas realizadas y de los ensayos realizados en laboratorio, sumado al ESAL obtenido de estudios realizados por parte de COVINCA para la Carretera PE-1S, se procesan los datos y se insertan dentro de la fórmula obtenida por la Guía ASSHTO 1993, para lo cual, se utilizará la hoja electrónica de Microsoft Excel.

3.4.3 Procedimiento de ensayo C.B.R.

Se realiza la calicata in situ, donde se extraen las muestras de los diferentes estratos que contenga el suelo existente, para luego ser llevadas al laboratorio.

En el laboratorio de suelos se realizaron los diferentes ensayos que requiera el material para determinar un índice de resistencia de los suelos denominado el valor de la relación de soporte, muy conocido como CBR (California Bearing Ratio).

Se requirió analizar inicialmente el material perteneciente al suelo de fundación, para obtener el CBR de la subrasante existente, con lo que posteriormente, se halló el CBR de diseño para el pavimento de la carretera Panamericana Sur PE-1S, tramo de la progresiva 1297+993 al 1300+080.

Se comienza a realizar en ensayo de Análisis Granulométrico de suelos por tamizado, con el procedimiento descrito en el Manual de ensayos de materiales MTC E 107, con lo que, se obtiene la gradación del material y su clasificación.

Luego, se estableció el método de ensayo para la compactación del suelo usando una energía modificada ($2\ 700\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)), para lo cual, el Manual de ensayos de materiales MTC E 115 (Proctor Modificado), proporciona 3 métodos de acuerdo a la gradación antes obtenida.

Luego de la obtención de los datos antes mencionados, se procedió a desarrollar el ensayo CBR de suelo en laboratorio para evaluar la resistencia potencial de la subrasante; el valor obtenido dentro de la prueba forma una parte integral del método de diseño de pavimento flexible en la Guía AASHTO 1993.

Figura 5

Obtención de muestras de material propio y base granular existente mediante método destructivo calicata in-situ.



Nota. La figura muestra la carretera PE-1S km 1298+320.

Figura 6

Análisis granulométrico del material por tamizado



Nota. Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de CFC Técnicos e Ingenieros.

Figura 7

Proctor modificado para la determinación de la máxima densidad en relación con la humedad óptima.



Nota. Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de CFC Técnicos e Ingenieros.

Figura 8

Determinación del valor de relación de soporte (C.B.R.).



Nota. Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de CFC Técnicos e Ingenieros.

3.4.4 Procedimiento de determinación de ESAL

La determinación de ESAL (Equivalent Simple Axial Load) proviene del resultado de un estudio de tráfico. El estudio de tráfico proporciona información del índice medio diario anual (IMDA), para cada tramo vial materia de un estudio. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) dispone y puede proporcionar de los registros del IMDA de las estaciones de peaje y de pesaje del propio MTC y de los contratos de concesiones viales. La información levantada o proporcionada por el MTC o la concesión vial correspondiente servirá como base para el estudio de la proyección de la demanda, para el periodo de análisis y para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección suelos y pavimentos, indica que para obtener el ESAL es necesario determinar lo siguiente:

- a) Factor direccional o factor carril:

Tabla 1

Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado (Fd x Fc para carril de diseño)
1 calzada (para MDa total de la calzada)	1 sentido	1	1,00	1,00	1,00
	1 sentido	2	1,00	0,80	0,80
	1 sentido	3	1,00	0,60	0,60
	1 sentido	4	1,00	0,50	0,50
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 calzadas con separador central (para MDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,50	1,00
2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40	
2 sentidos	2	0,50	0,60	0,30	
2 sentidos	2	0,50	0,50	0,25	

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

b) Cálculo de tasas de crecimiento y poblacional:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

T_n: Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T_0 : Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n: Número de años del periodo de diseño



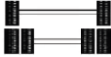
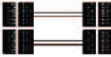
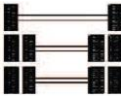

r: Tasa anual de crecimiento del tránsito

c) Número de repeticiones de ejes equivalentes:

AASHTO definió como un Eje Equivalente (EE), al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8,2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg².

Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

Tabla 2*Configuración de ejes*

Conjunto de ejes (s)	Nomenclatura	N° de neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (con rueda simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3 RD	12	

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). (RS (rueda simple), RD (rueda doble)).

Tabla 3

Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos

Tipo de eje	Eje equivalente
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [P / 6.6] ^{4.0}
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [P / 8.2] ^{4.0}
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{TA1} = [P / 14.8] ^{4.0}
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [P / 15.1] ^{4.0}
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{TR1} = [P / 20.7] ^{3.9}
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [P / 21.8] ^{3.9}

P = peso real por eje en toneladas

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8,2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep\ de\ EE_{8,2tn}} = \sum [EE_{día\ carril} \times F_{ca} \times 365]$$

Donde:

Tabla 4*Parámetros para determinar el valor de EE*

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8,2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE _{día-carril}	<p>EE_{día-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{día-carril} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi}$ <p>Donde:</p> <p>IMD_{pi}: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>F_d: Factor Direccional, según tabla 1</p> <p>F_c: Factor Carril de diseño, según tabla 1</p> <p>F_{vpi}: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>F_{pi}: Factor de Presión de neumáticos</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

El estudio vial de la concesionaria COVINCA servirá como base para el diseño de pavimento de la propuesta del presente trabajo de investigación.

COVINCA realizó el estudio de tráfico de obra “Concesión del tramo vial dv. Quilca-dv. Arequipa (repartición)-dv. Matarani-dv. Ilo - Tacna – La Concordia” en el año 2015 y para el presente estudio se tomó los ESALs obtenidos de dicho estudio de tráfico para ser aplicados en la Carretera PE-1S km 1299+993 al km 1300+080. Es importante mencionar que el tramo de estudio de la presente tesis es prolongación (continuación) de la obra anteriormente mencionada.

Según el Manual de conservación vial, los mantenimientos deben realizarse en periodos de 10 años como mínimo. Se tomará ese periodo mínimo para el diseño estructural del pavimento. En el presente caso se está proyectando la vida útil del pavimento hasta el año 2030; para obtener el ESAL del 2030 en la siguiente figura buscaremos el ESAL a 15 años desde que se realizó el estudio (año 2015) y obtendremos el ESAL deseado (año 2030): 2 671 000 ejes equivalentes.

Figura 9

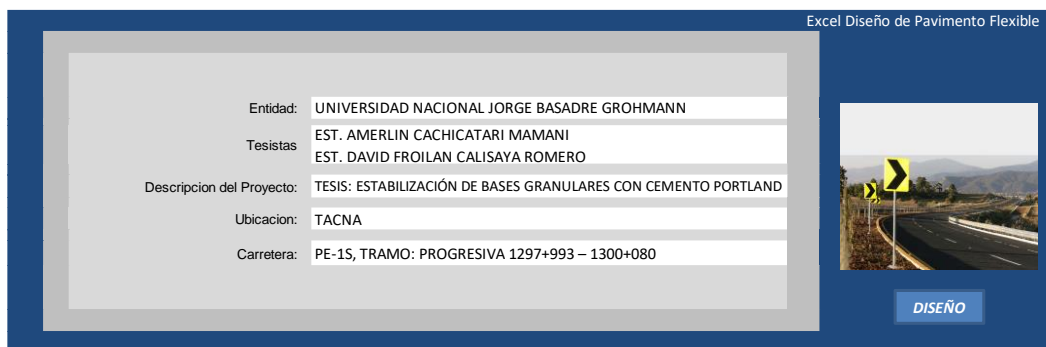
Proyección de ESAL en periodos de 5 años realizado por COVINCA

Tabla 3.13.1-7 Ejes Standard de Carga Equivalente para Sectores Puesta a Punto Cuadro Resumen de Resultados

Estación N°	m - 1	m - 2	m - 3	m - 4	m - 5	m - 6	m - 7	m - 8	m - 9	m - 10
Sentido	E - 1 - A	E - 1 - B	E - 2 - A	E - 2 - B	E - 3 - A	E - 3 - B	E - 4 - A	E - 4 - B	E - 5 - A	E - 5 - B
De	Dv. Aplao	Dv. Quilca	Dv. Aplao	La Joya	La Joya	Dv. Arequipa	Dv. Matarani	El Fiscal	El Fiscal	Dv. Cocachacra
A	Dv. Quilca	Dv. Aplao	La Joya	Dv. Aplao	Dv. Arequipa	La Joya	El Fiscal	Dv. Matarani	Dv. Cocachacra	El Fiscal
ESAL (00 años)	8.165 E+05	8.859 E+05	1.073 E+06	1.062 E+06	1.237 E+06	1.243 E+06	8.397 E+05	1.006 E+06	5.203 E+05	5.668 E+05
ESAL (05 años)	4.350 E+06	4.580 E+06	5.759 E+06	5.662 E+06	6.662 E+06	6.675 E+06	4.655 E+06	5.572 E+06	3.140 E+06	3.218 E+06
ESAL (10 años)	9.329 E+06	9.809 E+06	1.241 E+07	1.220 E+07	1.437 E+07	1.438 E+07	1.028 E+07	1.234 E+07	6.926 E+06	7.109 E+06
ESAL (15 años)	1.520 E+07	1.557 E+07	2.022 E+07	1.987 E+07	2.342 E+07	2.343 E+07	1.704 E+07	2.043 E+07	1.052 E+07	1.149 E+07
ESAL (20 años)	2.210 E+07	2.320 E+07	2.939 E+07	2.889 E+07	3.404 E+07	3.405 E+07	2.515 E+07	3.017 E+07	1.552 E+07	1.693 E+07
ESAL (25 años)	3.025 E+07	3.173 E+07	4.023 E+07	3.952 E+07	4.698 E+07	4.691 E+07	3.491 E+07	4.187 E+07	2.150 E+07	2.345 E+07
ESAL (28 años)	3.583 E+07	3.756 E+07	4.763 E+07	4.679 E+07	5.515 E+07	5.516 E+07	4.168 E+07	4.999 E+07	2.799 E+07	2.956 E+07
	4.077 E+07	4.273 E+07	5.309 E+07	5.209 E+07	6.162 E+07	6.163 E+07	4.637 E+07	5.531 E+07	3.245 E+07	3.499 E+07
	4.673 E+07	4.883 E+07	6.039 E+07	5.923 E+07	7.000 E+07	7.001 E+07	5.200 E+07	6.200 E+07	4.000 E+07	4.300 E+07
	5.309 E+07	5.531 E+07	6.800 E+07	6.663 E+07	7.900 E+07	7.901 E+07	5.900 E+07	7.000 E+07	5.000 E+07	5.400 E+07
	6.039 E+07	6.200 E+07	7.600 E+07	7.400 E+07	8.800 E+07	8.801 E+07	6.600 E+07	7.800 E+07	6.000 E+07	6.600 E+07
	6.800 E+07	7.000 E+07	8.600 E+07	8.400 E+07	1.000 E+08	1.000 E+08	7.500 E+07	8.800 E+07	7.000 E+07	7.700 E+07
	7.600 E+07	7.800 E+07	9.500 E+07	9.300 E+07	1.100 E+08	1.100 E+08	8.300 E+07	9.800 E+07	8.000 E+07	8.800 E+07
	8.400 E+07	8.700 E+07	1.050 E+08	1.030 E+08	1.200 E+08	1.200 E+08	9.200 E+07	1.080 E+08	9.000 E+07	9.900 E+07
	9.200 E+07	9.600 E+07	1.150 E+08	1.130 E+08	1.350 E+08	1.350 E+08	1.000 E+08	1.180 E+08	1.000 E+08	1.100 E+08
	1.000 E+08	1.050 E+08	1.250 E+08	1.230 E+08	1.450 E+08	1.450 E+08	1.100 E+08	1.280 E+08	1.100 E+08	1.200 E+08
	1.080 E+08	1.140 E+08	1.350 E+08	1.330 E+08	1.550 E+08	1.550 E+08	1.200 E+08	1.380 E+08	1.200 E+08	1.300 E+08
	1.160 E+08	1.230 E+08	1.450 E+08	1.430 E+08	1.650 E+08	1.650 E+08	1.300 E+08	1.480 E+08	1.300 E+08	1.400 E+08
	1.240 E+08	1.320 E+08	1.550 E+08	1.530 E+08	1.750 E+08	1.750 E+08	1.400 E+08	1.580 E+08	1.400 E+08	1.500 E+08
	1.320 E+08	1.410 E+08	1.650 E+08	1.630 E+08	1.850 E+08	1.850 E+08	1.500 E+08	1.680 E+08	1.500 E+08	1.600 E+08
	1.400 E+08	1.500 E+08	1.750 E+08	1.730 E+08	1.950 E+08	1.950 E+08	1.600 E+08	1.780 E+08	1.600 E+08	1.700 E+08
	1.480 E+08	1.590 E+08	1.850 E+08	1.830 E+08	2.050 E+08	2.050 E+08	1.700 E+08	1.880 E+08	1.700 E+08	1.800 E+08
	1.560 E+08	1.680 E+08	1.950 E+08	1.930 E+08	2.150 E+08	2.150 E+08	1.800 E+08	1.980 E+08	1.800 E+08	1.900 E+08
	1.640 E+08	1.770 E+08	2.050 E+08	2.030 E+08	2.250 E+08	2.250 E+08	1.900 E+08	2.080 E+08	1.900 E+08	2.000 E+08
	1.720 E+08	1.860 E+08	2.150 E+08	2.130 E+08	2.350 E+08	2.350 E+08	2.000 E+08	2.180 E+08	2.000 E+08	2.100 E+08
	1.800 E+08	1.950 E+08	2.250 E+08	2.230 E+08	2.450 E+08	2.450 E+08	2.100 E+08	2.280 E+08	2.100 E+08	2.200 E+08
	1.880 E+08	2.040 E+08	2.350 E+08	2.330 E+08	2.550 E+08	2.550 E+08	2.200 E+08	2.380 E+08	2.200 E+08	2.300 E+08
	1.960 E+08	2.130 E+08	2.450 E+08	2.430 E+08	2.650 E+08	2.650 E+08	2.300 E+08	2.480 E+08	2.300 E+08	2.400 E+08
	2.040 E+08	2.220 E+08	2.550 E+08	2.530 E+08	2.750 E+08	2.750 E+08	2.400 E+08	2.580 E+08	2.400 E+08	2.500 E+08
	2.120 E+08	2.310 E+08	2.650 E+08	2.630 E+08	2.850 E+08	2.850 E+08	2.500 E+08	2.680 E+08	2.500 E+08	2.600 E+08
	2.200 E+08	2.400 E+08	2.750 E+08	2.730 E+08	2.950 E+08	2.950 E+08	2.600 E+08	2.780 E+08	2.600 E+08	2.700 E+08
	2.280 E+08	2.490 E+08	2.850 E+08	2.830 E+08	3.050 E+08	3.050 E+08	2.700 E+08	2.880 E+08	2.700 E+08	2.800 E+08
	2.360 E+08	2.580 E+08	2.950 E+08	2.930 E+08	3.150 E+08	3.150 E+08	2.800 E+08	2.980 E+08	2.800 E+08	2.900 E+08
	2.440 E+08	2.670 E+08	3.050 E+08	3.030 E+08	3.250 E+08	3.250 E+08	2.900 E+08	3.080 E+08	2.900 E+08	3.000 E+08
	2.520 E+08	2.760 E+08	3.150 E+08	3.130 E+08	3.350 E+08	3.350 E+08	3.000 E+08	3.180 E+08	3.000 E+08	3.100 E+08
	2.600 E+08	2.850 E+08	3.250 E+08	3.230 E+08	3.450 E+08	3.450 E+08	3.100 E+08	3.280 E+08	3.100 E+08	3.200 E+08
	2.680 E+08	2.940 E+08	3.350 E+08	3.330 E+08	3.550 E+08	3.550 E+08	3.200 E+08	3.380 E+08	3.200 E+08	3.300 E+08
	2.760 E+08	3.030 E+08	3.450 E+08	3.430 E+08	3.650 E+08	3.650 E+08	3.300 E+08	3.480 E+08	3.300 E+08	3.400 E+08
	2.840 E+08	3.120 E+08	3.550 E+08	3.530 E+08	3.750 E+08	3.750 E+08	3.400 E+08	3.580 E+08	3.400 E+08	3.500 E+08
	2.920 E+08	3.210 E+08	3.650 E+08	3.630 E+08	3.850 E+08	3.850 E+08	3.500 E+08	3.680 E+08	3.500 E+08	3.600 E+08
	3.000 E+08	3.300 E+08	3.750 E+08	3.730 E+08	3.950 E+08	3.950 E+08	3.600 E+08	3.780 E+08	3.600 E+08	3.700 E+08
	3.080 E+08	3.390 E+08	3.850 E+08	3.830 E+08	4.050 E+08	4.050 E+08	3.700 E+08	3.880 E+08	3.700 E+08	3.800 E+08
	3.160 E+08	3.480 E+08	3.950 E+08	3.930 E+08	4.150 E+08	4.150 E+08	3.800 E+08	3.980 E+08	3.800 E+08	3.900 E+08
	3.240 E+08	3.570 E+08	4.050 E+08	4.030 E+08	4.250 E+08	4.250 E+08	3.900 E+08	4.080 E+08	3.900 E+08	4.000 E+08
	3.320 E+08	3.660 E+08	4.150 E+08	4.130 E+08	4.350 E+08	4.350 E+08	4.000 E+08	4.180 E+08	4.000 E+08	4.100 E+08
	3.400 E+08	3.750 E+08	4.250 E+08	4.230 E+08	4.450 E+08	4.450 E+08	4.100 E+08	4.280 E+08	4.100 E+08	4.200 E+08
	3.480 E+08	3.840 E+08	4.350 E+08	4.330 E+08	4.550 E+08	4.550 E+08	4.200 E+08	4.380 E+08	4.200 E+08	4.300 E+08
	3.560 E+08	3.930 E+08	4.450 E+08	4.430 E+08	4.650 E+08	4.650 E+08	4.300 E+08	4.480 E+08	4.300 E+08	4.400 E+08
	3.640 E+08	4.020 E+08	4.550 E+08	4.530 E+08	4.750 E+08	4.750 E+08	4.400 E+08	4.580 E+08	4.400 E+08	4.500 E+08
	3.720 E+08	4.110 E+08	4.650 E+08	4.630 E+08	4.850 E+08	4.850 E+08	4.500 E+08	4.680 E+08	4.500 E+08	4.600 E+08
	3.800 E+08	4.200 E+08	4.750 E+08	4.730 E+08	4.950 E+08	4.950 E+08	4.600 E+08	4.780 E+08	4.600 E+08	4.700 E+08
	3.880 E+08	4.290 E+08	4.850 E+08	4.830 E+08	5.050 E+08	5.050 E+08	4.700 E+08	4.880 E+08	4.700 E+08	4.800 E+08
	3.960 E+08	4.380 E+08	4.950 E+08	4.930 E+08	5.150 E+08	5.150 E+08	4.800 E+08	4.980 E+08	4.800 E+08	4.900 E+08
	4.040 E+08	4.470 E+08	5.050 E+08	5.030 E+08	5.250 E+08	5.250 E+08	4.900 E+08	5.080 E+08	4.900 E+08	5.000 E+08
	4.120 E+08	4.560 E+08	5.150 E+08	5.130 E+08	5.350 E+08	5.350 E+08	5.000 E+08	5.180 E+08	5.000 E+08	5.100 E+08
	4.200 E+08	4.650 E+08	5.250 E+08	5.230 E+08	5.450 E+08	5.450 E+08	5.100 E+08	5.280 E+08	5.100 E+08	5.200 E+08
	4.280 E+08	4.740 E+08	5.350 E+08	5.330 E+08	5.550 E+08	5.550 E+08	5.200 E+08	5.380 E+08	5.200 E+08	5.300 E+08
	4.360 E+08	4.830 E+08	5.450 E+08	5.430 E+08	5.650 E+08	5.650 E+08	5.300 E+08	5.480 E+08	5.300 E+08	5.400 E+08
	4.440 E+08	4.920 E+08	5.550 E+08	5.530 E+08	5.750 E+08	5.750 E+08	5.400 E+08	5.580 E+08	5.400 E+08	5.500 E+08
	4.520 E+08	5.010 E+08	5.650 E+08	5.630 E+08	5.850 E+08	5.850 E+08	5.500 E+08	5.680 E+08	5.500 E+08	5.600 E+08
	4.600 E+08	5.100 E+08	5.750 E+08	5.730 E+08	5.950 E+08	5.950 E+08	5.600 E+08	5.780 E+08	5.600 E+08	5.700 E+08
	4.680 E+08	5.190 E+08	5.850 E+08	5.830 E+08	6.050 E+08	6.050 E+08	5.700 E+08	5.880 E+08	5.700 E+08	5.800 E+08
	4.760 E+08	5.280 E+08	5.950 E+08	5.930 E+08	6.150 E+08	6.150 E+08	5.800 E+08	5.980 E+08	5.800 E+08	5.900 E+08
	4.840 E+08	5.370 E+08	6.050 E+08	6.030 E+08	6.250 E+08	6.250 E+08	5.900 E+08	6.080 E+08	5.900 E+08	6.000 E+08
	4.920 E+08	5.460 E+08	6.150 E+08	6.130 E+08	6.350 E+08	6.350 E+08	6.000 E+08	6.180 E+08	6.000 E+08	6.100 E+08
	5.000 E+08	5.550 E+08	6.250 E+08	6.230 E+08	6.450 E+08	6.450 E+08	6.100 E+08	6.280 E+08	6.100 E+08	6.200 E+08
	5.080 E+08	5.640 E+08	6.350 E+08	6.330 E+08	6.550 E+08	6.550 E+08	6.200 E+08	6.380 E+08	6.200 E+08	6.300 E+08
	5.160 E+08	5.730 E+08	6.450 E+08	6.430 E+08	6.650 E+08	6.650 E+08	6.300 E+08	6.480 E+08	6.300 E+08	6.400 E+08
	5.240 E+08	5.820 E+08	6.550 E+08	6.530 E+08	6.750 E+08	6.750 E+08	6.400 E+08	6.580 E+08	6.400 E+08	6.500 E+08
	5.320 E+08	5.910 E+08	6.650 E+08	6.630 E+08	6.850 E+08	6.850 E+08	6.500 E+08	6.680 E+08	6.500 E+08	6.600 E+08
	5.400 E+08	6.000 E+08	6.750 E+08	6.730 E+08	6.950 E+08	6.950 E+08	6.600 E+08	6.780 E+08	6.600 E+08	6.700 E+08
	5.480 E+08	6.090 E+08	6.850 E+08	6.830 E+08	7.050 E+08	7.050 E+08	6.700 E+08	6.880 E+08	6.700 E+08	6.800 E+08</

Figura 10

Hoja electrónica de Microsoft Excel para cálculo de diseño de pavimento



Excel Diseño de Pavimento Flexible	
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Tesistas	EST. AMERLIN CACHICATARI MAMANI EST. DAVID FROILAN CALISAYA ROMERO
Descripcion del Proyecto:	TESIS: ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND
Ubicacion:	TACNA
Carretera:	PE-1S, TRAMO: PROGRESIVA 1297+993 – 1300+080

DISEÑO

Nota. La figura muestra los datos del proyecto de investigación.

Para la determinación del número estructural requerido para soporte en el periodo de diseño, se requieren diversos datos, los cuales se procederán a explicar a continuación:

a) Módulo Resiliente:

Se encuentra en función del C.B.R. de diseño, el cual es obtenido en base a los C.B.R. de la subrasante explicados en el punto 3.5.1 de la presente tesis. La guía AASHTO 93, para la determinación del Módulo Resiliente nos presenta 3 fórmulas

Figura 11

Ecuaciones de correlación para Modulo Resiliente de subrasante (Mr)

Método AASHTO-93

c. Estimando los valores "normales" de módulo resiliente de los materiales, a partir de propiedades conocidas, tales como CBR, plasticidad, contenido de arcilla, etc. Luego, mediante la aplicación de relaciones empíricas se estima el módulo resiliente para diferentes épocas del año. Estas relaciones pueden ser del tipo: Módulo Resiliente en invierno = 20 a 30% del Módulo en verano.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

1. Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 7,2%

$$M_R = 1.500 * CBR$$

2. Para materiales de sub-rasante con CBR mayor de 7,2% pero menor o igual a 20,0%

$$M_R = 3.000 * (CBR)^{0.65}$$

3. Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20,0%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia Guía de Diseño AASHTO-93:

$$M_R = 4.326 * \ln(CBR) + 241$$

Nota: El valor resultante de estas correlaciones se mide en unidades de lb/pulg² -psi-.

Nota. En la figura se muestra tres ecuaciones para el cálculo de módulo resiliente. Tomado de Guía AASHTO (1993).

Según los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, el C.B.R. de la subrasante es 14%, se utilizó la segunda fórmula que indica la Figura nro.

03. Dando un resultado de Mr= 16 676,5 Psi.

b) Confiabilidad (R):

Figura 12

Determinación del nivel de confiabilidad y riesgo (R)

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado (R)					
	Urbano			Rural		
Autopista y carreteras interestatales, y otras vías	85	-	99.9	80	-	99.9
Arterias principales	80	-	99	75	-	95
Colectoras	80	-	95	75	-	95
Locales	50	-	80	50	-	80

Nota. Adaptado de Guía de diseño AASHTO 93.

Habitualmente a los aumentos de los volúmenes de tráfico, de los problemas para diversificar el tráfico, además de las expectativas de disponibilidad del ciudadano, debe reducirse el riesgo de que los pavimentos no se comporten convenientemente. Este objetivo se alcanza seleccionando niveles de confiabilidad más altos.

Para la carretera Panamericana Sur PE-1S, tramo progresivo 1297+993 a la progresiva 1300+080, se tomó el valor de $R=85\%$

c) Desviación Normal Estándar (Z_r):

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la Ecuación de Diseño, para ello, debe usarse el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar.

Según el Manual de Carreteras, Suelos, Geología y Pavimentos – 2014, para un valor de $R=85\%$, corresponde una desviación normal estándar $Z_r = -1.036$.

d) Desviación estándar combinada (S_o):

Así también, el manual recomienda un valor para la desviación estándar combinada de 0.45, lo que se corrobora con la guía AASHTO que nos indica que para pavimentos flexibles se debe considerar un valor entre 0.40 y 0.50.

e) Índice de Serviciabilidad:

Para el diseño es necesario seleccionar un índice de serviciabilidad inicial y terminal.

El índice de Serviciabilidad terminal o final de diseño deberá ser tal que, culminado el periodo de vida proyectado, la vía (superficie de rodadura) ofrezca una adecuada serviciabilidad.

Figura 13

Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	3.80
	T _{P2}	300,001	500,000	3.80
	T _{P3}	500,001	750,000	3.80
	T _{P4}	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	4.20
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T _{P15}	>30'000,000		4.20

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, Suelos, Geología y Pavimentos – 2014, en base a datos obtenidos de la guía AASHTO 93.

En base a la Figura nro. 8 y al ESAL determinado para el tramo en estudio (2,671x106 EE), se tiene $P_i = 4,00$.

Figura 14

Índice de Serviciabilidad final (Pt)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	2.00
	T _{P2}	300,001	500,000	2.00
	T _{P3}	500,001	750,000	2.00
	T _{P4}	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T _{P15}		>30'000,000	3.00

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, Suelos, Geología y Pavimentos – 2014, en base a datos obtenidos de la guía AASHTO 93.

En base a la Figura nro. 8 y al ESAL determinado para el tramo en estudio (2,671x106 EE), se tiene $P_t = 2,50$.

Como resultante tenemos la variación de Serviciabilidad (ΔPSI), que es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

$$\Delta PSI = P_i - P_t = 4.00 - 2.50 = 1.50$$

f) Número estructural (SN):

Una vez, obtenidos todos los valores necesarios para ser aplicados en la fórmula para determinación del número estructural

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (1)$$

Con la fórmula de diseño se obtiene el número estructural SN y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa según la guía AASHTO 93 es:

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

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m_1, m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje.

d_1, d_2, d_3 : Espesores de capas, en pulgadas o milímetros, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

Esta ecuación no tiene una única solución, hay prácticamente un infinito número de combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, no obstante.

Sin embargo, para efectos del presente diseño de pavimento se tomará en consideración los espesores recomendados en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

g) Coeficiente de drenaje:

Para el coeficiente de drenaje se tomaron en cuenta los factores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 5*Fórmula para determinación del SN*

Calidad de Drenaje		Tiempo de Eliminación del Agua					
Excelente		2 horas					
Bueno		1 día					
Regular		1 semana					
Pobre		1 mes					
Malo		El agua no drena					
Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación						
	0%	1%	1%	5%	5%	25%	25% a más
Excelente	1,40	1,35	1,35	1,30	1,30	1,20	1,20
Bueno	1,35	1,25	1,25	1,15	1,15	1,00	1,00
Regular	1,25	1,15	1,15	1,05	1,00	0,80	0,80
Pobre	1,15	1,05	1,05	0,80	0,80	0,60	0,60
Malo	1,05	0,95	0,95	0,75	0,75	0,40	0,40

Fuente. Guía AASHTO 93.

Según datos de SENAMHI/DRD, la precipitación en el distrito de Algarrobal es escasa, por lo que, en situación extrema se otorga un tiempo anual de 5%, con una calidad de drenaje buena, por lo que podemos considerar un coeficiente de drenaje de 1,3.

h) Coeficiente estructural de capa:

Para la determinación del índice estructural de capa de la base estabilizada con cemento Portland tipo IP, se tomará en consideración la resistencia a la compresión, dicha resistencia se hallará en laboratorio mediante un diseño de mezcla de base tratada con cemento Portland tipo IP, donde se calcula la resistencia en base al porcentaje de cemento Portland tipo IP.

Para la presente tesis se ensayó en las 2 muestras porcentajes de 1%, 2% 3% y 4%, obteniendo las resistencias a los 7 días del vaciado de las briquetas con las muestras correspondientes.

Se debe tener en cuenta que la rigidez alcanzada por la base estabilizada con cemento Portland tipo IP no puede ser muy elevada porque podría producir fisuras por retracción (American Association of state Highway Transportation Officials, 1993) .

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los diseños de mezcla con sus respectivos porcentajes de cemento portland tipo IP:

Tabla 6*Fórmula para determinación del SN*

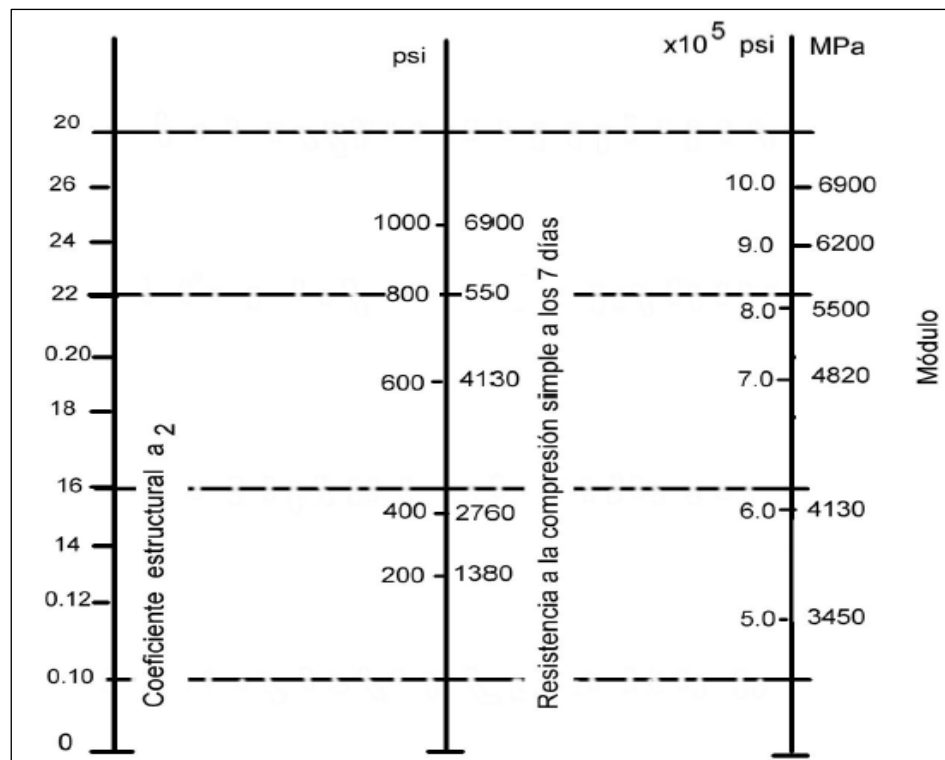
	% de cemento	Volumen	Cantidad de cemento	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Resistencia promedio kg/cm ²
Muestra 01	1%	1,00m ³	0,51 bls	27/08/2021	03/09/2021	12,86
	2%	1,00m ³	1,02 bls	27/08/2021	03/09/2021	15,79
	3%	1,00m ³	1,53 bls	27/08/2021	03/09/2021	19,86
	4%	1,00m ³	2,03 bls	27/08/2021	03/09/2021	26,61
Muestra 02	1%	1,00m ³	0,51 bls	27/08/2021	03/09/2021	12,73
	2%	1,00m ³	1,02 bls	27/08/2021	03/09/2021	15,15
	3%	1,00m ³	1,53 bls	27/08/2021	03/09/2021	18,97
	4%	1,00m ³	2,03 bls	27/08/2021	03/09/2021	25,59

Fuente. Elaboración propia.

En la presente tesis se utilizará el promedio del diseño de mezcla de la base granular existente con 4% de cemento Portland tipo IP, por lo cual, se utilizará una resistencia a la compresión de 26,10 kg/cm². La Guía AASHTO 93, nos muestra un ábaco para determinar el coeficiente estructural de capa para bases tratadas con cemento tipo IP.

Figura 15

Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes



Nota. En la figura se observa la relación entre el coeficiente estructural, resistencia a los 7 días. Tomado de American Association of state Highway Transportation Officials, 1993 (AASHTO 93).

Con lo cual, se determina un valor del coeficiente estructural de capa de la base estabilizada con cemento portland tipo IP de 0,15. Cabe mencionar que el coeficiente estructural de capa de la estabilizada con cemento Portland tipo IP sería menor si se reduce el porcentaje de cemento Portland tipo IP, lo cual, no cumpliría con el diseño de pavimento propuesto, por lo

consiguiente, la cantidad de cemento portland tipo IP de 4% deberá respetarse como mínimo para garantizar la vida útil del pavimento.

3.4.6 Procedimiento de cálculo de costo unitario de base estabilizada con cemento Portland tipo IP

Se realizó el análisis de costos unitarios en base a los rendimientos y los costos de los recursos de la base granular del presupuesto de la obra “Creación de la Av. Zarumilla en el tramo la av. Jorge Basadre – Av. Caplina, distrito de Tacna, provincia de Tacna-Tacna”, dicha información fue proporcionada por el Consorcio Zarumilla.

En cálculo del nuevo análisis de costos unitarios (APU) para base estabilizada con cemento Portland tipo IP se realiza en base al presupuesto del proyecto: “Servicio de mantenimiento periódico de la carretera PE-1S km 1297+993 al km 1300+080”, dicha información fue proporcionada por el Consorcio Dorado (2020).

Los análisis de costos, se realizó para la conformación de la base granular y de la base estabilizada con cemento Portland tipo IP. En el capítulo V detallaremos el análisis comparativo de las bases estructurales aplicando incidencias.

A continuación, se presenta los resultados del análisis de precios unitarios.

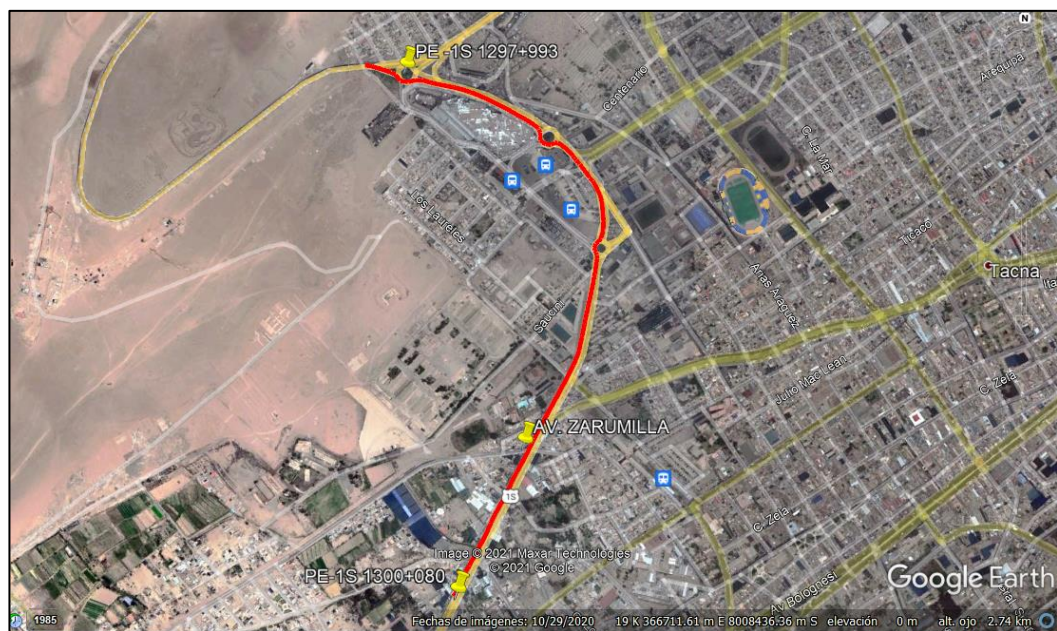
El análisis de precios se realizó en referencia a APU obtenido de la obra: “Creación de la Av. Zarumilla en el tramo la Av. Jorge Basadre – Av. Caplina,

distrito de Tacna, provincia de Tacna-Tacna”. Esta obra empalma a la carretera PE-1S (Carretera Panamericana Sur) en el km 1299+580.

Se usa como referencia esta obra debido a la proximidad que tiene al tramo de intervención de la presente investigación, esto significa, que el costo del traslado de los insumos será igual al del tramo de la carretera PE-1S.

Figura 16

Ubicación satelital del empalme km 1299+580



Nota. Vista satelital obtenida de Google Earth (2021).

De la información proporcionada por Consorcio Zarumilla se tiene que:

- a) El costo unitario de la partida 01.07.02.08 BASE GRANULAR E=0.20M C/EQUIPO es de S/ 14,87.

- b) El rendimiento de la actividad 01.07.02.08 BASE GRANULAR es de 1 250 m²/día.
- c) La cuadrilla de mano de obra está conformada por 0,1 capataz, 2 operarios, 2 oficiales y 8 peones. Es importante explicar que el valor de 0,1 se refiere que un capataz (personal obrero) dedicará el 10% de su trabajo a dirigir la actividad durante el jornal y a la vez tendrá que dirigir otras actividades en las que repartirá el 90% restante.
- d) Los recursos materiales son el material granular para base y agua. Para la producción de 1 250m² al día de base granular conformada se requiere 312,5 m³ de base granular, esta cantidad resulta de la multiplicación 0,25 m³/m²de base granular e=0,20 cm. En este análisis se está considerando que el material se encuentra esponjado en 1,25% con respecto al estado compactado en campo (lugar de trabajo). La cantidad de agua es de 0,035 m³ por m² de base granular, transformando se tiene 175 l/m³ de base granular conformada.
- e) El equipo necesario en esta obra estaba integrado por 01 rodillo tándem vibratorio autopropulsado, 01 motoniveladora y 01 camión cisterna.
- f) Los precios de los insumos descritos son resultado de la cotización que se realizó durante la elaboración del expediente en el 2017 a cargo de la empresa V & V Contratistas Generales.

Figura 17

Análisis de precios unitarios de la obra creación de la Av. Zarumilla

Partida	01.07.02.08 BASE GRANULAR E=0.20M C/EQUIPO						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 1,250.0000	EQ. 1,250.0000	Costo unitario directo por : m2			14.87
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0006	22.08	0.01	
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0128	20.07	0.26	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0128	16.47	0.21	
0101010005	PEON	hh	8.0000	0.0512	14.81	0.76	
						1.24	
	Materiales						
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3		0.2500	42.40	10.60	
0290130022	AGUA	m3		0.0350	8.47	0.30	
						10.90	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.24	0.04	
0301100010	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0064	152.54	0.98	
03012000010004	MOTONIVELADORA 125 HP	hm	1.0000	0.0064	161.02	1.03	
0301220009	CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122 HP 5000 GLN	hm	1.0000	0.0064	105.64	0.68	
						2.73	

Nota. La obra Creación de la Av. Zarumilla se realizó en el 2017. Tomado de Consorcio Zarumilla (2021).

Para determinar el costo unitario de la base estabilizada tomaremos como referencia los recursos del Análisis de Precios Unitarios brindado por el Consorcio Dorado tal como se observa en la figura 3, de donde se tiene que:

- a) El costo unitario de la partida 03.02 RECICLADO CON 3% CEMENTO PORTLAND TIPO IP e=18cm es de S/ 9,07.
- b) El rendimiento de la actividad 01.07.02.08 BASE GRANULAR es de 8 500 m³/día.
- c) La cuadrilla de mano de obra está conformada por 1 capataz, 2 oficiales y 3 peones.

- d) Los recursos materiales a utilizar son el agua, cemento portland tipo IP.
La cantidad de cemento Portland tipo IP que se muestra en la figura 3 resulta del diseño de mezcla.
- e) El equipo necesario en este proyecto está integrado por 01 rodillo liso vibratorio autopulsado, 01 motoniveladora, 01 camión volquete y 01 camión cisterna.
- f) Los precios de los insumos descritos son resultado de la cotización que se realizó durante la elaboración del expediente en el 2020 a cargo del Consorcio Dorado.

El análisis de costos unitarios que se construyó se realiza en el caso de estabilización con cemento Portland tipo IP de una base granular existente in situ.

En la siguiente tabla se muestra los rendimientos tomados en campo (reales) en trabajos de estabilización con motoniveladora.

Tabla 7*Rendimientos para base estabilizada e=14cm (en m³)*

Descripción	Miércoles	Jueves	Viernes
	02/06/2021	03/06/2021	04/06/2021
Subtramo 2 km 1297+993 al km 1298+900 (bajada)	0	0	0
Subtramo 1 km 1298+900 al km 1300+080 (bajada)	263	237	180
Subtramo 4 km 1297+993 al km 1298+900 (subida)	0	0	0
Subtramo 3 km 1298+900 al km 1300+080 (subida)	0	0	0
Ovalo e intersecciones	0	0	0

Fuente. Elaboración propia. (Datos tomados durante la ejecución de trabajos con motoniveladora en base a mediciones realizadas por el Consorcio Dorado).

Tabla 8*Rendimientos para base estabilizada e=28 cm (en m³)*

Descripción	Jueves	Viernes	Sábado
	29/07/2021	30/07/2021	31/07/2021
Subtramo 2 km 1297+993 al km 1298+900 (bajada)	0	0	0
Subtramo 1 km 1298+900 al km 1300+080 (bajada)	0	0	0
Subtramo 4 km 1297+993 al km 1298+900 (subida)	0	0	0
Subtramo 3 km 1298+900 al km 1300+080 (subida)	423	444	444
Ovalo e intersecciones	0	0	0

Fuente. Elaboración propia. (Datos tomados durante la ejecución de trabajos con motoniveladora en base a mediciones realizadas por el Consorcio Dorado).

Con estos datos se determinó el nuevo análisis de precios unitarios:

Tabla 9*Resumen de rendimientos para base estabilizada en m³/día*

Descripción	Metrado (m ³)		
Base estabilizada e=14cm	263,00	237,00	180,00
Base estabilizada e=28cm	241,92	272,16	272,16

Fuente. Elaboración propia. (Adaptada en base a mediciones realizadas en el 2021 por el Consorcio Dorado).

Tabla 10*Resumen de rendimientos para base estabilizada en m²/día*

Descripción	Metrado (m ²)		
Base estabilizada e=14cm	1878,57	1692,86	1285,71
Base estabilizada e=28cm	864,00	972,00	972,00

Fuente. Elaboración propia. (Adaptada en base a mediciones realizadas en el 2021 por el Consorcio Dorado).

Tabla 11*Resumen de rendimiento base estabilizada e=14cm y e=28cm en m²/día*

Descripción	Promedio
Base estabilizada e=14cm	1619,05
Base estabilizada e=28cm	936,00

Fuente. Elaboración propia. (Adaptada en base a mediciones realizadas en el 2021 por el Consorcio Dorado).

De los datos obtenidos anteriormente se calculó mediante la interpolación para un espesor de 20 cm según el diseño de pavimento de presente propuesta como se desarrolló en el punto 4.1 Resultado de diseño de pavimento. Se tiene que:

- Espesor de carpeta asfáltica: 9cm
- Espesor de base cementada (base estabilizada con cemento portland tipo IP):
20cm

Por lo tanto, para una base estabilizada $e=20\text{cm}$ corresponde un rendimiento $1\ 326,31\text{m}^2/\text{día}$. En el análisis de costos unitarios se tomó el valor conservador de $1\ 320\ \text{m}^2/\text{día}$.

La mano de obra estará integrada por la siguiente cuadrilla: 0,1 capataz, 2 peones y 2 vigías.

Estos valores fueron extraídos de las mediciones en campo y se pueden verificar en las siguientes figuras.

Figura 18

Cuadrilla mínima en la etapa de compactación de base estabilizada



Nota. En la figura se observa 2 peones y 1 vigía, es importante resaltar que por seguridad se propone 2 vigías mínimo para custodiar a la maquinaria mientras esté en movimiento. Tomado de Consorcio Dorado (2021).

Figura 19

Cuadrilla mínima en la etapa de perfilado y nivelado de base estabilizada



Nota. En la figura se observa al capataz y 2 peones. Tomado de Consorcio Dorado (2021).

Las cantidades de recursos materiales fueron obtenidos del diseño de mezcla por el laboratorio CFC TÉCNICOS E INGENIEROS E.I.R.L. a solicitud de los tesisistas elaborado para la presente investigación. En la siguiente figura se puede observar las cantidades:

Figura 20

Dosificación de cemento portland tipo IP en base estabilizada

BOLSAS DE CEMENTO POR M3 PARA EL TRAMO A ESTABILIZAR	
CEMENTO	4.00%
DENSIDAD MAXIMA SECA	2161 kg/m3
HUMEDAD OPTIMA	6.8%
VOLUMEN	1.00 M3
CANTIDAD DE CEMENTO	2.03 BLS
RESISTENCIA PROMEDIO	26.10 kg/cm2

Nota. Los resultados fueron obtenidos en laboratorio de suelos, tomado de CFC Técnicos e Ingenieros EIRL (2021).

Según la figura anterior es necesario 2,03 bolsas de cemento Portland tipo IP por m³ de base estabilizada. Esto representa el 4,00% de cemento en peso.

Es importante mencionar que en el aparatado anterior se explicó la elección de la aplicación del 4% de cemento portland tipo IP para el diseño estructural de pavimento.

El costo unitario de esta investigación se realizará en metro cuadrado por lo tanto se requiere 0,406 bolsas de cemento portland tipo IP por metro cuadrado de estabilizado.

La cantidad de agua se obtuvo de la humedad óptima: 6,80%; se requiere 0,014 m³ por metro cuadrado de estabilizado.

El equipo pesado necesario para ingresar en el costo unitario está integrado por 01 motoniveladora, 01 rodillo liso y 01 camión cisterna. Estas cantidades se tomaron en referencia al rendimiento y producción diaria que tuvo el Consorcio Dorado al ejecutar los trabajos de estabilizado en la carretera PE-1S en el mes de julio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 RESULTADO DEL DISEÑO DE PAVIMENTO

Una vez obtenidos los datos, se aplicó la fórmula de la Figura 11, los datos fueron ingresados en nuestra hoja electrónica arrojando los resultados que nos permiten determinar los espesores del pavimento.

Así también, se debe tener en cuenta que existen muchas soluciones que satisfagan y/o cumplan con el número estructural requerido para soportar las cargas en el periodo de diseño proyectado de 10 años. Sin embargo, se adoptó los espesores recomendados por el Manual de Carreteras, Suelos, Geología y Pavimentos – 2014.

Figura 21 Hoja electrónica de Microsoft Excel


DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
Diseño de espesores de Pavimento de acuerdo a:
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures

DATOS:

ESAL DE DISEÑO	2,671,000.00
CONFIABILIDAD	85%
DESVIACION	-1.036
SERV INICIAL (Po)	4.00
SERV FINAL (Pf)	2.50
DELTA PSI	1.50
So	0.45

DATOS DE SUELO

CBR BASE (%)	100
CBR SUBBASE (%)	-
CBR SUBRASANTE (%)	14
ESTABILIO MARSHALL (N)	9000
F c (Mpa)	2.5615
Modulo Resiliente (Psi)	16,676.5



$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{3.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

$\log_{10}(W_{18})$ = 6.427 = 6.427

NUMERO ESTRUCTURAL (ITERAR) SN = 2,931

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPESOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPESOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Asfalto	0.43	1	3.15	1.362	8.00	3.459
Base cementada	0.15	1.3	9.84	1.905	25.00	4.838

SN (Calculado) 3.267 SN (Requerido) 2.931 OK

8.298 7.444 OK

REPORTE

Nota. En la figura anterior se muestra la asignación valores obtenidos de los ensayos de laboratorio, procesamiento de datos y la determinación de espesores de las capas estructurales.

4.2 RESULTADO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE VÍA

La mano de obra mínima para la ejecución de los trabajos se calculó en base a mediciones realizadas en campo. Asimismo, los insumos requeridos para la conformación de un metro cuadrado de base estabilizada con cemento Portland tipo IP, la maquinaria pesada necesaria (motoniveladora, rodillo liso, camión cisterna)

y rendimientos se evaluaron en el capítulo anterior. Finalmente, se ingresó los resultados parciales anteriores y se calculó el siguiente costo unitario:

Tabla 12

Análisis de costo unitario para base estabilizada con 4% cemento Portland tipo IP

Partida	A	Base estabilizada con 4% cemento portland tipo IP e=20cm					
Rendimiento	m ² /día	1 320,0000	Eq.	1 320,0000		Costo unitario directo por: m ²	10,44
Código	Descripción recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
	Mano de obra						
	Capataz		hh	0,1000	0,0006	22,08	0,01
	Peón		hh	2,0000	0,0121	14,81	0,18
	Vigía		hh	2,0000	0,0121	14,81	0,18
							0,37
	Materiales						
	Cemento portland puzolánico tipo IP		bol		0,4060	18,35	7,45
	Agua		m ³		0,0136	8,47	0,12
							7,57
	Equipos						
	Herramientas manuales		%mo		3,0000	1,11	0,03
	Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101-135hp 10		hm	1,0000	0,0061	139,83	0,85
	Motoniveladora 125 hp		hm	1,0000	0,0061	161,02	0,98
	Camión cisterna 4x2 122hp (5000 galones)		hm	1,0000	0,0061	105,64	0,64
							2,50

Fuente. Elaboración propia. (Los precios de los insumos fueron extraídos del expediente de la obra de la creación de la av. Zarumilla, a fin de realizar la comparación con la construcción de bases granulares convencionales).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO

En el presente trabajo de investigación, se analizó la base estabilizada con cemento Portland tipo IP con las cantidades de 1%, 2%, 3% y 4%, obteniendo que a mayor porcentaje de cemento Portland tipo IP se obtiene mayor resistencia a la compresión y en consecuencia mayor valor de coeficiente estructural de capa para la base estabilizada.

Para efectos de diseño de pavimento se utilizó el cemento Portland tipo IP al 4%, obteniendo con un promedio de muestras 26,10 kg/cm² tal como se muestra en la Figura 20.

Se realizó la conversión de la resistencia a la compresión a Mega-pascales, obteniendo 2,5615 Mpa; dando un coeficiente estructural de capa de 0,15. Dicho análisis nos demuestra que, a mayor resistencia a la compresión, mayor es el valor del coeficiente estructural de capa.

Los resultados obtenidos en el diseño de pavimento muestran un SN requerido de 2,931, por lo que, el SN calculado a partir de los espesores de pavimento propuesto debe ser mayor para garantizar la resistencia de la estructura durante el periodo de vida proyectado. Para el diseño propuesto de la tabla 13, se obtuvo un SN calculado de 3,267.

Tabla 13 *Espesores propuestos en diseño de pavimento*

Capa estructural	Espesor en (cm)
Carpeta asfáltica en caliente	8,00
Base estabilizada (cemento 4%)	25,00

Fuente: Elaboración propia. (Los espesores indicados pueden ser variados, bajo la condición de que el SN calculado sea mayor al SN requerido).

Debido a que la normativa peruana no tiene parámetros para la granulometría, la resistencia a obtener será determinada en base a los porcentajes de cemento Portland tipo IP que se ensaye, de esta manera al aumentar la cantidad de cemento Portland tipo IP se reduce el espesor requerido de la base estabilizada con cemento Portland tipo IP.

Sin embargo, es necesario tener cuidado con la rigidez que pueda obtener la base estabilizada, ya que a mayor cantidad de cemento Portland tipo IP es mayor la probabilidad de presentarse fisuras por retracción.

Así también, la base estabilizada con cemento Portland tipo IP tiene menor permeabilidad que una base granular tradicional, es por eso que también mejora el coeficiente de drenaje que en este caso tuvo un valor de 1,30.

5.2 Análisis económico de precios unitarios

Los resultados obtenidos de la construcción del costo unitario de base estabilizada con cemento Portland tipo IP es el siguiente:

Tabla 14 Resultado de costo unitario de base estabilizada con 4% de cemento Portland tipo IP

Partida	A	Base estabilizada con 4% cemento portland tipo IP e=20cm				
Rendimiento	m ² /día	1 320,0000	Eq.	1320,0000	Costo unitario directo	10,44
					por: m ²	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se tiene que el costo calculado es de S/ 10,44 por metro cuadrado de base estabilizada con cemento portland tipo IP con un rendimiento de 1 320 metros cuadrados por día, lo que es equivalente a 264 metros cúbicos por día. Este precio unitario no incluye el Impuesto General a las Ventas (IGV).

Para encontrar la diferencia económica del costo de bases convencionales y bases recicladas, es necesario estudiar el proceso de construcción y fabricación de ambas bases, lo que significa conocer los materiales, equipos, herramientas y mano de obra, que se requerirán para ambos procesos.

En el capítulo IV de la presente investigación se menciona los insumos y equipos que se utilizarán para todo el proceso de fabricación, traslado y colocación de bases convencionales y recicladas. Respecto a los materiales, la única diferencia radica en el uso de bases granulares existentes para luego reutilizar en la capa base estructural de la misma vía en construcción.

Los equipos que se utilizan para la fabricación de ambos pavimentos son los mismos. La base reciclada se construye in situ, por lo que no se requiere trabajos de transporte de materiales, solo en aquellos casos que el proyecto requiera agregar material de préstamo.

En resumen, la diferencia única para este caso de análisis se basa en la reutilización del material antiguo y la cantidad que este permita ahorrar en la conformación de la nueva base reciclada. Por lo tanto, considerando los resultados anteriores tenemos lo siguiente:

- El costo unitario de conformación de bases granulares es de 14,87 soles por metro cuadrado con un espesor de 20 cm como se observó en el capítulo IV.
- El costo de bases estabilizadas con cemento portland tipo IP tiene un costo de S/ 10,44 por metro cuadrado con un espesor de 20 cm, lo que significa hay una diferencia de S/ 4,43 soles por metro cuadrado con respecto a las bases granulares convencionales.
- Los análisis de precios unitarios sólo se enfocan en los materiales utilizados para la fabricación de bases granulares convencionales y bases granulares recicladas.

Por lo tanto, se puede deducir lo siguiente:

- La base reciclada con adición de cemento Portland tipo IP es 29,79% más barato que la base convencional.
- El ahorro generado en materiales granulares es el 100%.

Sin embargo, se pueden obtener rendimientos mayores que el mostrado en el este capítulo, dependiendo del lugar de ejecución de los trabajos, condiciones climatológicas favorables, que permitan lograr el mejor desempeño; o rendimientos menores, donde el lugar y las condiciones climatológicas que retrasen el proceso de fraguado (climas fríos) o que generen dar celeridad al proceso de conformación de bases (climas cálidos).

Es importante contar con todo el equipo necesario para lograr los rendimientos con los cuales se calculó el costo unitario ya que si alguno de estos equipos presenta fallas o ausencia no se llegará a conseguir las utilidades deseadas.

El manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG-2013 no especifica como tal, parámetros para el reciclado de bases granulares existentes, es decir, reciclado o reutilización de bases granulares de vías urbanas o carreteras nacionales existentes, por lo que, el procedimiento para el cálculo de los resultados se realizaron en base a los parámetros establecidos en la sección de “suelos estabilizados con cemento”, donde no se requiere adicionar material de préstamo y solo se requiere trabajar con el material natural o existente y trabajarla in situ.

CONCLUSIONES

1. Se ejemplificó la estabilización con cemento Portland tipo IP 4% de la base granular existente en la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1 297+993 – 1 300+080, demostrando que mediante un mantenimiento vial estabilizando la base granular existente recuperará la estructura del pavimento durante el periodo de vida útil mínimo de 10 años, y teniendo un adecuado mantenimiento se espera que tenga mayor tiempo de vida útil.
2. El valor del coeficiente estructural de capa de la base estabilizada con cemento Portland tipo IP al 4% tiene un valor de 0,15, el cual es mayor al valor de una base granular convencional (0,14), así también, de haber optado por un porcentaje de cemento Portland tipo IP menor al 4%, el coeficiente estructural de capa de la base estabilizada hubiera sido menor a 0,15, en consecuencia, no hubiera cumplido con el diseño estructural y espesores propuestos. Considerando el valor optado de 4%, el SN calculado se incrementa, tal como en el presente proyecto que se alcanzó un SN calculado de 3,267; mientras que el SN requerido para soportar las cargas durante el periodo de vida útil de 10 años es de 2,931; lo cual, nos confirma que el diseño de un pavimento flexible incorporando la estabilización de la base granular existente, mejora considerablemente e incluso mejoraría aún más si se añade mayor cantidad de cemento Portland tipo IP.

3. De los resultados obtenidos por los ensayos realizados, se obtuvo que el uso de bases estabilizadas con cemento Portland tipo IP en el mejoramiento vial de la carretera PE-1S km 1297+993 al km 1300+080, presenta un costo unitario menor en 29,79% que el uso de bases granulares convencionales. El costo unitario de bases granulares convencionales para el mantenimiento vial en estudio es de S/14,87 y el costo de bases estabilizadas con cemento Portland tipo IP o bases recicladas y mejoradas con cemento Portland tipo IP es de S/10,44 es decir, la estabilización de bases granulares con cemento implica la reducción de costos al menos en un S/4,43 por metro cuadrado. La propuesta del uso de bases estabilizadas mediante la incorporación con cemento Portland tipo IP al ser bases recicladas y mejoradas, la estructura de pavimento no requiere la adición de material de préstamo lo que representa un 100% de ahorro en materiales granulares.

RECOMENDACIONES

1. El uso de estabilización de bases granulares es recomendable para la recuperación de pavimentos que se encuentran en mal estado, estado de colapso o con fallas estructurales, dado que la aplicación de cemento Portland tipo IP aporta un valor estructural importante que permite alcanzar valores estructurales (SN) calculados mayores a los requeridos.
2. Es importante verificar que el valor de la resistencia a la compresión de la base estabilizada con adición del cemento Portland tipo IP al 4%, sea igual o mayor al valor de la resistencia a la compresión indicado en el diseño de pavimento con base granular estándar, ya que esto garantiza el cumplimiento del diseño de pavimento.
3. Aplicar la estabilización de bases granulares con cemento Portland tipo IP ya que es más económica con respecto a la base granular convencional por metro cuadrado, su uso representa un menor costo de producción, por lo tanto, genera mayores utilidades al ejecutor, además representa menor impacto ambiental.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

American Association of state Highway Transportation Officials. (1993). *Guide for desing of pavement structures*. Washington D.C.

Arteaga, J. (2018). *Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16406/1/DOCUMENTO-ANALISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20DE%20LA%20BASE%20%20CEMENTO%20PARA%20PAVIMENTOS%20CON%20ADICION%20DE%20RESIDUOS%20PET%20RECICLADO.pdf>

Banegas, E. y Riega, M. (2019). *Evaluación de la condición funcional mediante el método del PCI y su estado de rugosidad (ensayo Merlín) de la avenida Jorge Basadre norte (l=3.89km), Tacna 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1265>

Chai, G. W., Oh, E. Y. y Balasubramaniam, A. S. (2005, del 19 al 24 de junio). *In-Situ Stabilization of Road Base Using Cement - A Case Study in Malaysia* [Conferencia]. En K. Uchida, J. Chung, H. Allersma, H.-i. Park, & M. Sayed

(Ed.), *The fifteenth (2005) International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2, págs. 400-403. Seoul, Korea.

https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/2703/29582_1.pdf%3Bsequence=1

Consorcio Dorado. (2020). *Diseño ejecutivo de programa de trabajo para el mantenimiento periódico de la carretera Panamericana Sur PE-1S KM 1297+993 al KM 1300+080*. Tacna.

Contraloría General de la República. (2021). Sistema de Información de Obras Públicas:

https://apps.contraloria.gob.pe/ciudadano/wfm_obras_mostrar_1.aspx?ID=Weimc

Crispín, E. y Helguero, L. (2019). *Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales*. [Tesis de pregrado Universidad Ricardo Palma].

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2781>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Flujo vehicular por unidades de peaje*.

<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/07-informe-tecnico-flujo-vehicular-may-2021.pdf>

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2018). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*.
<http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/391>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Conservación Vial*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de Materiales EM-2016*.
- Ocaranza, S., Sánchez, R. y Anaya, H. (Julio, 2013). Uso de material granular reciclado provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en bases y subbases para pavimentos flexibles. [Conferencia]. 2013 IX *Jornada de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*. Santiago del Estero, Argentina.
<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tecnologicas/49-ocaranza.pdf>
- Ortiz, C. y Díaz, P. (2019). *Diseño y análisis de bases estabilizadas con cementos tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21443>

Palli, E. (2015). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2444/Palli_Apaza_Edwin_Ever.pdf?sequence=1

PITRA. (2018). *Boletín técnico: manual CR-2010. Proceso de actualización y principales modificaciones de las secciones 301 subbases y bases granulares y 302 bases granulares estabilizadas con cemento*.
<https://cutt.ly/UEfhJPR>

Rocci, S. (1964). Bases estabilizadas con cemento. *Informes de la Construcción*, 17(160), 79-99.

<https://doi.org/10.3989/ic.1964.v17.i160.4555>

Rodriguez, V., & Silva, J. (2019). *Estabilización de suelos adicionando cemento portland tipo I más cal hidratada en vías afirmadas, para el centro poblado Alto Trujillo, El Porvenir - La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego].

https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/5553/1/RE_ING.CIVIL_VERONIKA.RODRIGUEZ_JORDY.SILVA_VIAS.AFIRMADAS_DATOS.PDF

Soto, R., Moreno, F., Inzunza, M., Pasaran, D., Zurita, R. y Lechuga, H. (2016). Performance of portland cement stabilized bases in Mexico. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 8(1), 2-13.

https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/2703/29582_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Toledo, D. y Llaiqui, E. (2020). *Evaluación superficial del pavimento flexible aplicando el método PCI y propuesta de mejoramiento de la infraestructura vial en la av. Industrial, en el tramo de la av. Gustavo Pinto y av. Jorge Basadre Grohmann-Tacna, 2019. Tacna, Tacna*, [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1635>

Velásquez, C. (2018). *Influencia del cemento Portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2534>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: PROGRESIVA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

ti	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es posible estabilizar bases granulares para la recuperación de la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080</p> <p>2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿El diseño estructural de un pavimento flexible se ve afectado por la estabilización de bases granulares con cemento portland tipo IP en la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080?</p> <p>b) ¿La estabilización de materiales granulares con cemento portland tipo IP reduciría el costo del mantenimiento vial en la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Estabilizar la base granular para la recuperación de la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Verificar el cumplimiento del número estructural requerido en el diseño de pavimento flexible, incorporando la estabilización de bases granulares con cemento portland tipo IP en la carretera PE-1S.</p> <p>b) Demostrar que el empleo de estabilizado de bases granulares mediante la incorporación de cemento portland tipo IP reduce los costos del mantenimiento vial en la Carretera PE-1S.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>- La estabilización de base granular existente con cemento portland tipo IP en el mantenimiento de vías, lograría recuperar la estructura del pavimento en el mantenimiento vial de la Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) El número estructural de un diseño de pavimento mejoraría estabilizando la base granular existente con cemento Portland tipo IP.</p> <p>b) La estabilización con cemento Portland tipo IP en el mantenimiento vial reduciría los costos en comparación a la incorporación de una nueva base granular.</p>	<p>Variable Independiente(X)</p> <p>X1. Estabilización de bases granulares con cemento Portland tipo IP.</p> <p>Variable Dependiente(Y)</p> <p>Y1. Mantenimiento vial</p>	<p>Indicadores :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ AASHTO 1993 ▪ C.B.R. ▪ Módulo Resiliente ▪ Índice de capa ▪ Número estructural <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ESAL ▪ Estructura de pavimento ▪ Costo de ejecución ▪ Vida útil proyectada 	<p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicada <p>Nivel de la Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experimental <p>Ámbito de Estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carretera PE-1S, tramo progresiva km 1297+993 - 1300+080, Tacna. <p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avenidas arteriales de la provincia de Tacna <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carretera PE-1S, longitud vía = 2.087 km. <p>Técnicas de Recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación. - Formato de campo. - Ensayos de laboratorio. - Datos históricos Senamhi. - Aforo vehicular de proyectos anteriores. <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamices o mallas. - Moldes de 4" y 6". - Pistones. - Balanzas. - Horno de secado. - Herramientas de mezcla. - Prensa similar a la de rotura de compresión. - Hoja electrónica Excel.

CERTIFICADOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

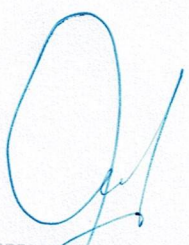
UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

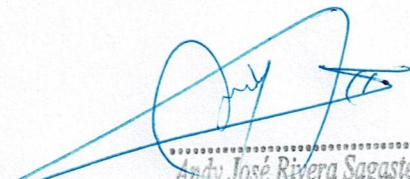
MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 4% (2.03 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

Nº de	DESCRIPCION	Fecha de	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.	MUESTRAS DE DISEÑO	Vaciado	Rotura	(días)	cm ²	KG-F	kg./cm ²
1	M-01 / BASE ESTABILIZADA (4% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	2010	25.59
2	M-02 / BASE ESTABILIZADA (4% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	2090	26.61
RESISTENCIA PROMEDIO							26.10



 Edwin A. Flores Chipana
 Técnico Laboratorista
 Suelos Concretos y Pavimentos



 Andy José Rivera Sagastegui
 INGENIERO CIVIL
 CIP 75160

ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

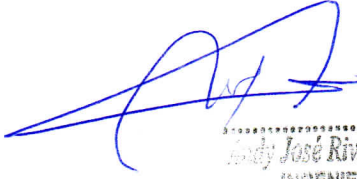
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 3% (1.53 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

Nº de	DESCRIPCION	Fecha de	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.	MUESTRAS DE DISEÑO	Vaciado	Rotura	(días)	cm ²	KG-F	kg./cm ²
1	M-01 / BASE ESTABILIZADA (3% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	1560	19.86
2	M-02 / BASE ESTABILIZADA (3% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	1490	18.97
RESISTENCIA PROMEDIO							19.42


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 78160

ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"


UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

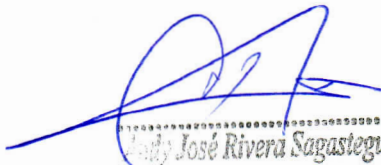
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 2% (1.02 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

Nº de	DESCRIPCION	Fecha de	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.	MUESTRAS DE DISEÑO	Vaciado	Rotura	(días)	cm ²	KG-F	kg./cm ²
1	M-01 / BASE ESTABILIZADA (2% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	1240	15.79
2	M-02 / BASE ESTABILIZADA (2% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	1190	15.15
RESISTENCIA PROMEDIO							15.47


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CPT3160

ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"


UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

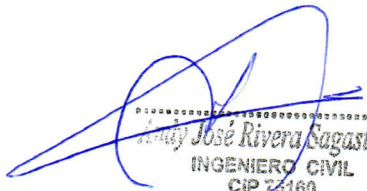
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 1% (0.51 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

Nº de	DESCRIPCION	Fecha de	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.	MUESTRAS DE DISEÑO	Vaciado	Rotura	(días)	cm ²	KG-F	kg./cm ²
1	M-01 / BASE ESTABILIZADA (1% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	1010	12.86
2	M-02 / BASE ESTABILIZADA (1% CEMENTO)	27/08/21	03/09/21	7	78.5	990	12.61
RESISTENCIA PROMEDIO							12.73


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 72160

DOSIFICACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

MTC E - 1103

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.


SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

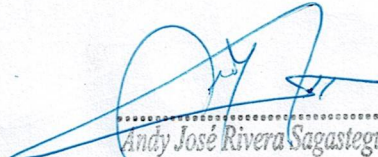
MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

BOLSAS DE CEMENTO POR M3 PARA EL TRAMO A ESTABILIZAR

CEMENTO	4.00%
DENSIDAD MAXIMA SECA	2161 kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	6.8%
VOLUMEN	1.00 M ³
CANTIDAD DE CEMENTO	2.03 BLS
RESISTENCIA PROMEDIO	26.10 kg/cm ²


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 75100

DOSIFICACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

MTC E - 1103

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.


SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

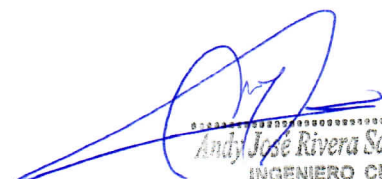
MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

BOLSAS DE CEMENTO POR M3 PARA EL TRAMO A ESTABILIZAR

CEMENTO	3.00%
DENSIDAD MAXIMA SECA	2161 kg/m3
HUMEDAD OPTIMA	6.8%
VOLUMEN	1.00 M3
CANTIDAD DE CEMENTO	1.53 BLS
RESISTENCIA PROMEDIO	19.42 kg/cm2


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

DOSIFICACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

MTC E - 1103

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

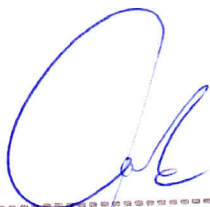
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

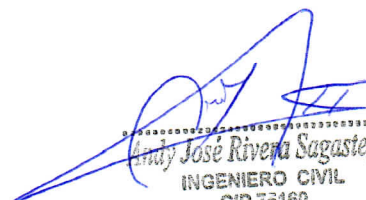
MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

BOLSAS DE CEMENTO POR M3 PARA EL TRAMO A ESTABILIZAR

CEMENTO	2.00%
DENSIDAD MAXIMA SECA	2161 kg/m3
HUMEDAD OPTIMA	6.8%
VOLUMEN	1.00 M3
CANTIDAD DE CEMENTO	1.02 BLS
RESISTENCIA PROMEDIO	15.47 kg/cm2


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

DOSIFICACION DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

MTC E - 1103

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACION : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.


SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

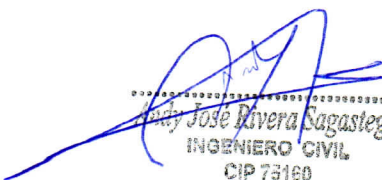
MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

BOLSAS DE CEMENTO POR M3 PARA EL TRAMO A ESTABILIZAR

CEMENTO	1.00%
DENSIDAD MAXIMA SECA	2161 kg/m3
HUMEDAD OPTIMA	6.8%
VOLUMEN	1.00 M3
CANTIDAD DE CEMENTO	0.51 BLS
RESISTENCIA PROMEDIO	12.73 kg/cm2


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos


José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

ENSAYO DE CBR.

METODO ASTM D - 1883

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 1% (0.51 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

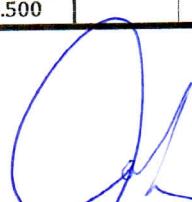
MOLDE Nro.	1		2		3	
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE LA MUESTRA	SATURADA		SATURADA		SATURADA	
Peso molde + suelo humedo	11172		10351		11912	
Peso del Molde	6637		5539		6933	
Peso del Suelo humedo	4535		4812		4979	
Volumen del Suelo	2159.4		2159.4		2148.9	
Densidad humeda	2.100		2.228		2.317	
% de humedad	6.87		6.90		6.96	
Densidad seca	1.965		2.085		2.166	
Tara Nro.	T-3		T-2		T-3	
Tara + suelo humedo	354.8		305.2		319.5	
Tara + suelo seco	332.0		285.5		298.7	
Peso del agua	22.8		19.7		20.8	
Peso de tara	0.0		0.0		0.0	
Peso del suelo seco	332.0		285.5		298.7	
% de humedad	6.87		6.90		6.96	

EXPANSION


DIAS	HORAS	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
			mm.	%		mm.	%		mm.	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
1	24	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
2	48	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
3	72	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
4	96	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00

PENETRACION

PENETRACION		MOLDE Nro:			MOLDE Nro:			MOLDE Nro:		
		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION	
mm.	pulg.	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.64	0.025	78	172	57	102	225	75	159	351	117
1.27	0.050	215	474	158	361	796	265	596	1314	438
1.91	0.075	388	855	285	691	1523	508	775	1709	570
2.54	0.100	567	1250	417	932	2055	685	1325	2921	974
5.08	0.200	1194	2632	877	1822	4017	1339	2360	5203	1734
7.62	0.300	1552	3422	1141	2377	5240	1747	2946	6495	2165
10.16	0.400									
12.70	0.500									



Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos



Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

GRAFICO PENETRACION DE CBR

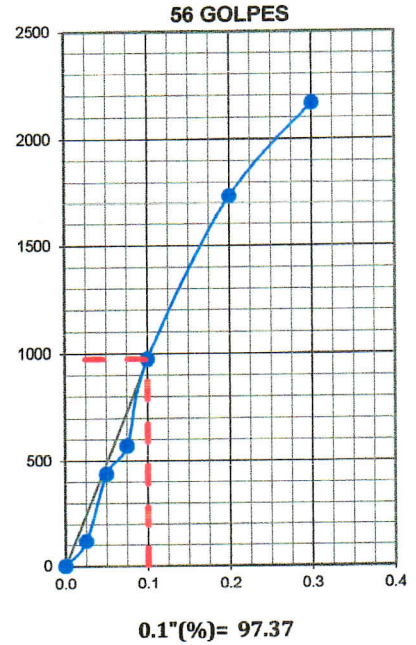
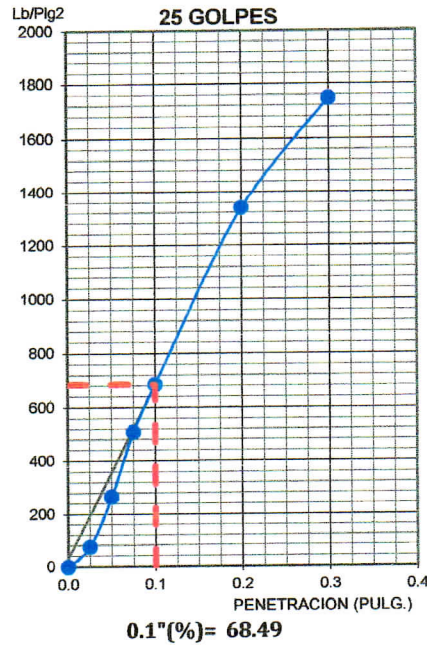
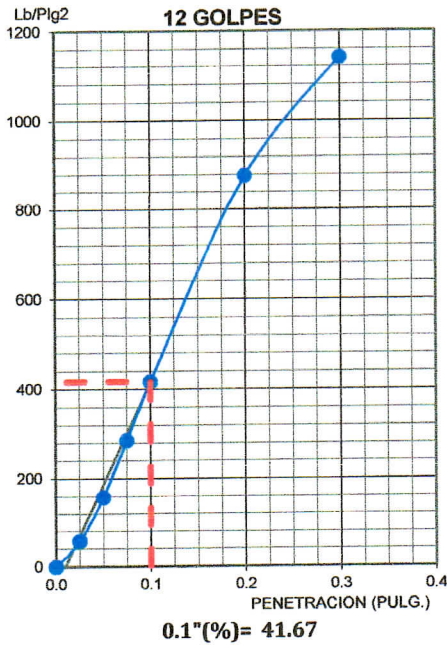
PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

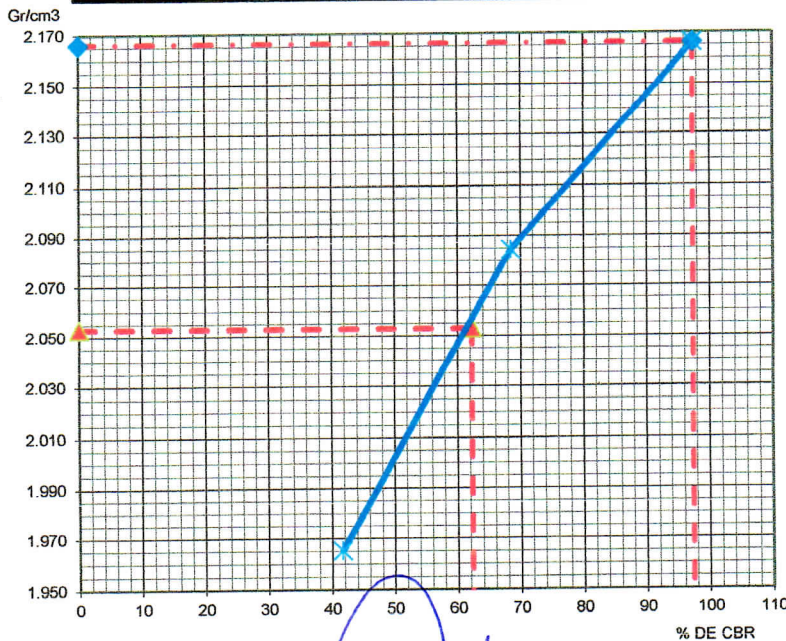
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01 + 1% (0.51 BLS/M3)

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021



DETERMINACION DE CBR



Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.161	gr/cc.
Optimo humedad:	6.8	%

CBR A 0.1"	62%	AL 95% MDS
CBR A 0.1"	97%	AL 100% MDS

Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorio
Suelos, Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

ENSAYO DE CBR.

METODO ASTM D - 1883

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

MOLDE Nro.	1		2		3	
Nro. GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE LA MUESTRA	SATURADA		SATURADA		SATURADA	
Peso molde + suelo humedo	11152		10315		11887	
Peso del Molde	6637		5539		6933	
Peso del Suelo humedo	4515		4776		4954	
Volumen del Suelo	2159.4		2159.4		2148.9	
Densidad humeda	2.091		2.212		2.305	
% de humedad	6.79		6.70		6.74	
Densidad seca	1.958		2.073		2.160	
Tara Nro.	T-3		T-2		T-3	
Tara + suelo humedo	320.9		351.8		335.6	
Tara + suelo seco	300.5		329.7		314.4	
Peso del agua	20.4		22.1		21.2	
Peso de tara	0.0		0.0		0.0	
Peso del suelo seco	300.5		329.7		314.4	
% de humedad	6.79		6.70		6.74	

EXPANSION

DIAS	HORAS	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
			mm.	%		mm.	%		mm.	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
1	24	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
2	48	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
3	72	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
4	96	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00

PENETRACION

PENETRACION mm.	MOLDE Nro: LECTURA DIAL	MOLDE Nro: CORRECCION			LECTURA DIAL	MOLDE Nro: CORRECCION			LECTURA DIAL	MOLDE Nro: CORRECCION		
		Libras	lbs/Pg2			Libras	lbs/Pg2			Libras	lbs/Pg2	
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.64	0.025	59	130	43	72	159	53	115	254	85		
1.27	0.050	155	342	114	246	542	181	491	1082	361		
1.91	0.075	273	602	201	502	1107	369	699	1541	514		
2.54	0.100	419	924	308	702	1548	516	1027	2264	755		
5.08	0.200	1002	2209	736	1562	3444	1148	1905	4200	1400		
7.62	0.300	1337	2948	983	2107	4645	1548	2426	5348	1783		
10.16	0.400											
12.70	0.500											

Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 15140

GRAFICO PENETRACION DE CBR

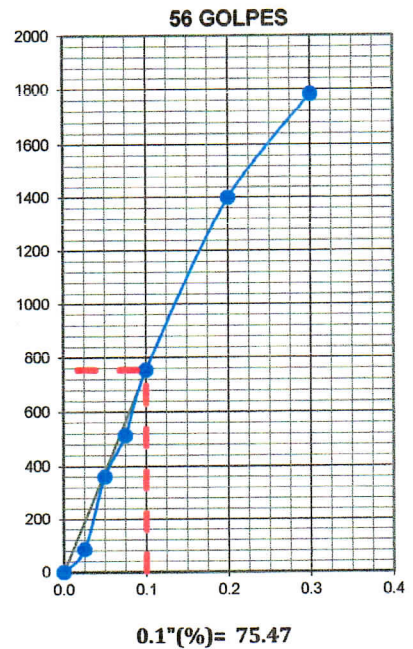
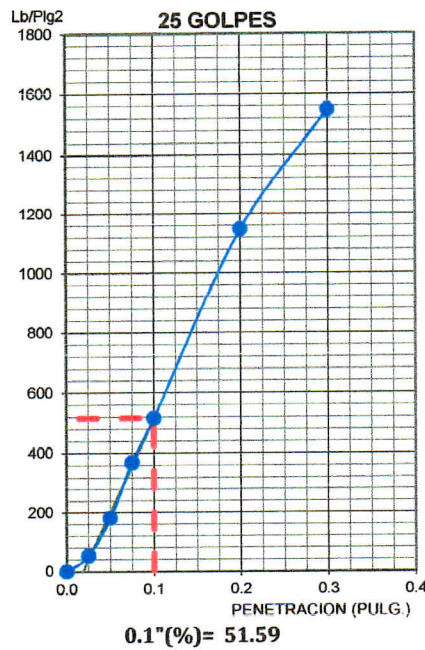
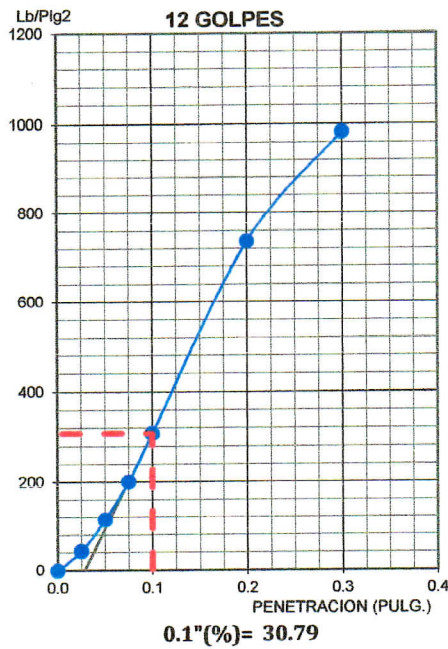
PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

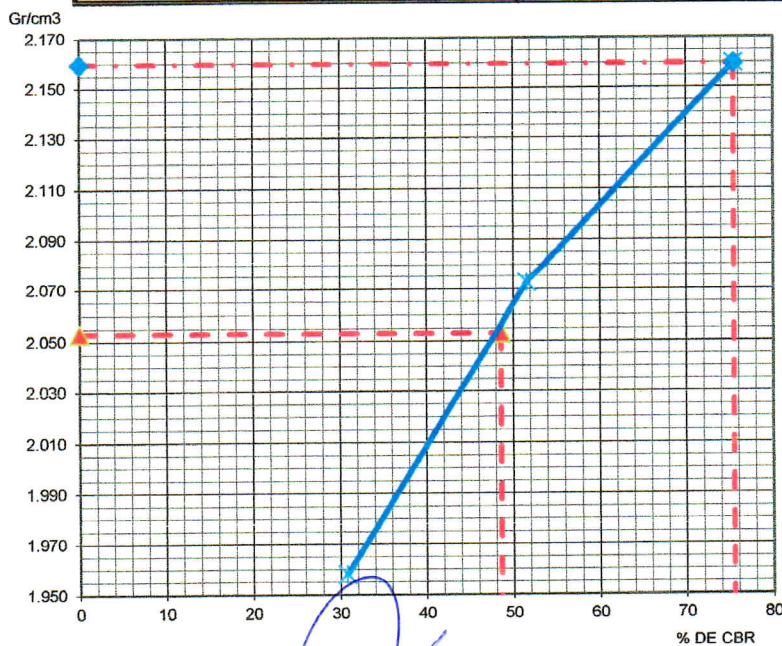
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021



DETERMINACION DE CBR



Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.161	gr/cc.
Optimo humedad:	6.8	%

CBR A 0.1"	49%	AL 95% MDS
CBR A 0.1"	75%	AL 100% MDS

Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 73160

RELACION DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

NORMA ASTM D 1557 / METODO C

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

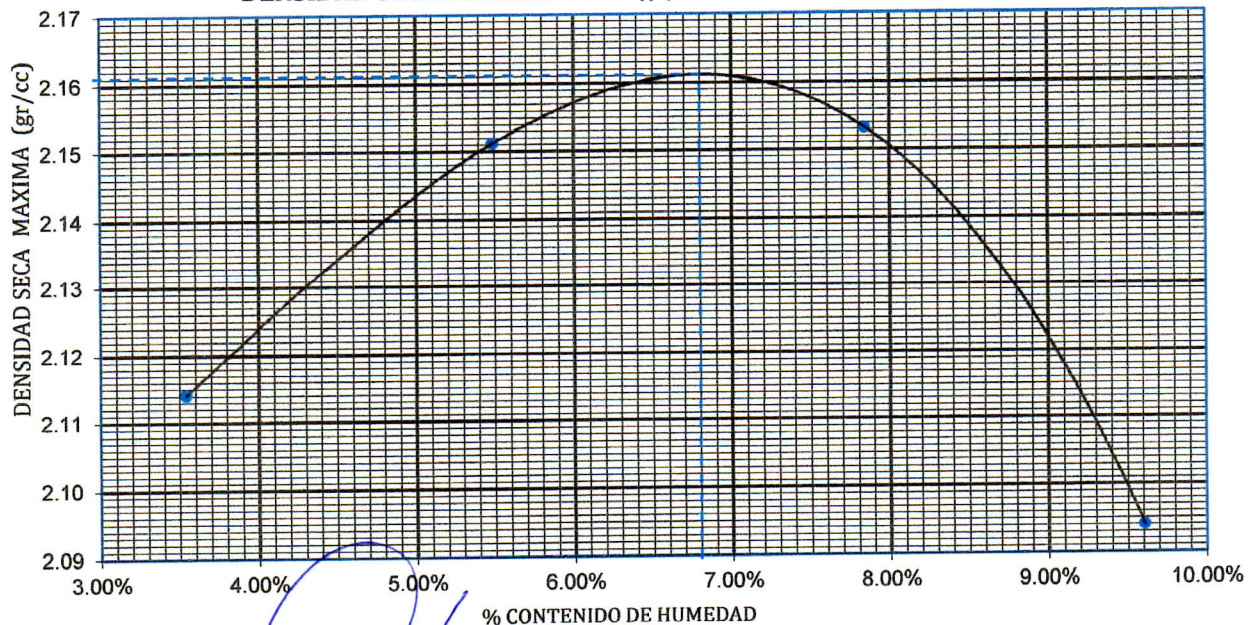
FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

MOLDE No 01	DIAMETRO MOLDE	6"	VOLUMEN DEL MOLDE	2118.78	cc
	No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56	

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9758	9928	10040	9983	
Peso del Molde	gr.	5120	5120	5120	5120	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	4638	4808	4920	4863	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.189	2.269	2.322	2.295	

Capsula No	No	1	2	3	4	
Suelo Humedo + Tara	gr.	415.2	384.5	455.2	479.2	
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	401.0	364.5	422.1	437.2	
Peso del Agua	gr.	14.2	20.0	33.1	42.0	
Peso de la Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0	
Peso del Suelo Seco	gr.	401.0	364.5	422.1	437.2	
% de Humedad	%	3.54%	5.49%	7.84%	9.61%	
Densidad del Suelo Seco	%	2.114	2.151	2.153	2.094	

DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.161 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 6.8 %



Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 78160

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA MTC E107-1999 - ASTM D 422

PROYECTO : "ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MANTENIMIENTO VIAL
EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO PROGRESVIA 1297+993 - 1300+080, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

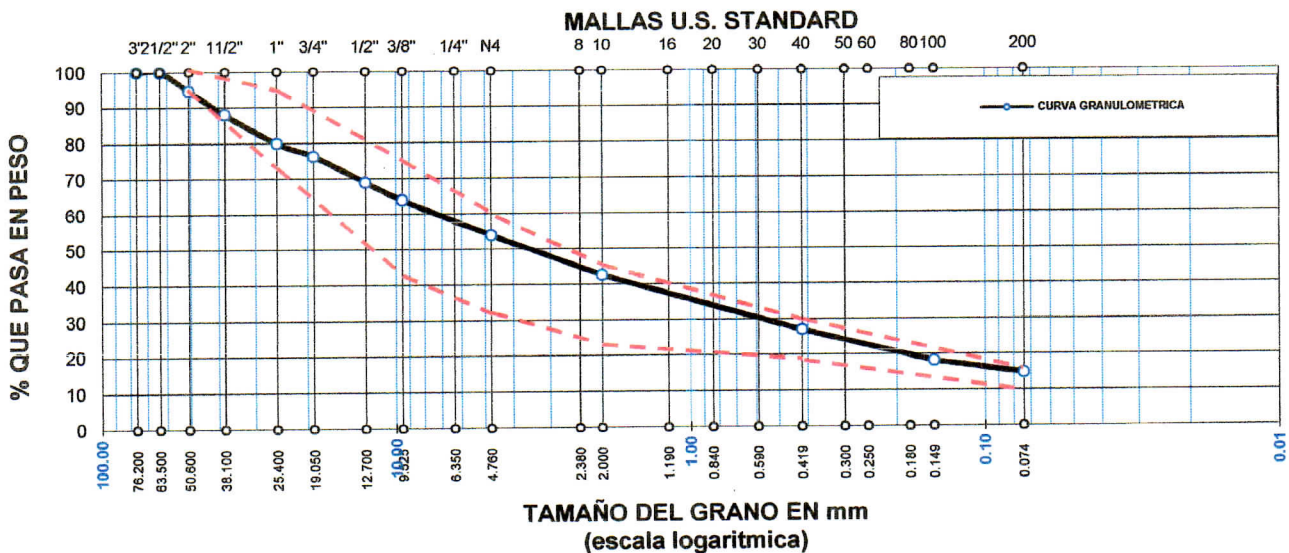
SOLICITA : AMERLIN CACHICATARI MAMANI
DAVID FROILAN CALIZAYA ROMERO

MUESTRA : BASE GRANULAR EXISTENTE C-01

FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2021

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. GRAD. "B"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00		BASE GRANULAR Límites de Consistencia : LL = N.P. LP = N.P. IP = N.P. D60 7.64 CU 153 D30 0.72 CC 1.4 D10 0.05 % DE GRAVA 46.01 % DE ARENA 39.19 % DE FINOS 14.80 Clasificación S.U.C.S. SM Clasificación AASHTO A-1-a (0) Peso de la muestra: 28019.5 gr. OBSERVACIONES: La muestra consiste de Arenas limosas con gravas y finos no plásticos.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
2"	50.600	1521.00	5.43	5.43	94.57	75 95	
1 1/2"	38.100	1845.00	6.58	12.01	87.99		
1"	25.400	2264.00	8.08	20.09	79.91		
3/4"	19.050	1029.00	3.67	23.77	76.23		
1/2"	12.700	2037.00	7.27	31.04	68.96	40 75	
3/8"	9.525	1411.00	5.04	36.07	63.93		
1/4"	6.350						
No4	4.760	2784.00	9.94	46.01	53.99	30 60	
No8	2.380						
No10	2.000	3225.83	11.51	57.52	42.48	20 45	
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.419	4323.93	15.43	72.95	27.05	15 30	
No 50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	2488.50	8.88	81.83	18.17		
No200	0.074	942.73	3.36	85.20	14.80	5 15	
BASE		4147.50	14.80	100.00	0.00		
TOTAL		28019.50	100.00				
% PERDIDA							

CURVA GRANULOMETRICA



Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorista
Suelos Concretos y Pavimentos

José Rivera Sagastegui
Ingeniero Civil