



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL
DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES
DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023**

TESIS PRESENTADA POR:
EDWIN MAMANI RODRIGO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

JULIACA – PERÚ
2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL
DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES
DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023**

TESIS PRESENTADA POR:

EDWIN MAMANI RODRIGO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :



Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO :



Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

SEGUNDO MIEMBRO :



Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS :



Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 386-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 23 de octubre del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-011389, presentado por el (la) Bachiller **MAMANI RODRIGO EDWIN**, con número de DNI. **43190170**, asignado (a) con código de matrícula **1810200148**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Filial Puno.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach. **MAMANI RODRIGO EDWIN**, con número de DNI. **43190170**, asignado (a) con código de matrícula **1810200148**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 19 de agosto del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023** Elaborado por el (la) Bachiller **MAMANI RODRIGO EDWIN**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Miembro del Jurado	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Miembro del Jurado	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES
Asesor de Tesis	:	Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Miércoles 30 de octubre del 2024
Hora	:	11:00 a.m.
Lugar	:	Aula N° 309 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron después a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA - NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Cari
 DIRECTOR (e)

Cc./Archiv. EPG (01)
 Interesado (01)
 Cargo (01)
 Jurados (03)
 Asesor (01)
 Expediente (01)
 LWOC/ffav



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCION DIRECTORAL N° 982- 2023- USA-EPG/UANCV

Juliaca, 17 de octubre del 2023.

VISTOS:

El expediente N° 2023-09867, de fecha 04 de octubre del 2023, presentado por el (la) Bachiller **EDWIN MAMANI RODRIGO** con DNI N° **43190170**, código de matrícula **1810200248**, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023** Línea de investigación **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION - P50**, para optar el grado de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez **Sede Puno**.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que, en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que, mediante oficio circular N° 671-2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 12 de Setiembre del 2023, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	:	Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Primer miembro	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Segundo miembro	:	Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
Asesor	:	Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Que, con registro N° 003695, de fecha 26 de setiembre del 2023, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de maestría y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023.**, para obtener el grado académico de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL** mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la UANCV.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese,



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Carr
DIRECTOR (e)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Mg. PERCY BOZALO PUMA PUMA
SECRETARIO ACADÉMICO

c.c/CARGO (01)
ARCHIVO EPG-2023 (01)
INTERESADO (01)
LWCC/VCH



EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	www.arquitectura-tecnica.com Fuente de Internet	1%
6	www.construmatica.com Fuente de Internet	1%
7	www.conarquitectura.com Fuente de Internet	1%
8	documen.site Fuente de Internet	<1%



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo EDWIN MAMANI RODRIGO identificado con DNI
Nro. 43190170 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

"EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS
CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023"

Asesorado por: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 15 de ABRIL del 2025

FIRMA (ASESOR)

FIRMA (obligatoria)




Huella



Metadatos complementarios - UANCV

TITULO	
EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	EDWIN MAMANI RODRIGO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43190170
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-7093-9494
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X



Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN- P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: PUNO País: PERÚ Departamento: PUNO Provincia: PUNO Distrito: PUNO -15.83985, -70.02076 https://maps.app.goo.gl/f9bWuocHcpB5e78x7</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
- Librería	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 ESCUELA DE POSTGRADO
[Signature]
 Dr. Ramiro Amílcar Bolaños Calderón
 DIRECTOR



DEDICATORIA

Esta Tesis la dedico en memoria a mi querida Madre Olimpia, así mismo a mi Padre Francisco que son la razón de mi superación permanente y aliento para seguir adelante, a quienes agradeceré toda la vida por su ejemplo de trabajo, apoyo permanente, abnegado sacrificio, y continuos consejos que me brindaron durante mi formación profesional, a mi esposa Yudith y mis queridos hijos Yosué, Yamileth y Valentina a quienes siempre las tendré presente por su permanente fortaleza, vigor y voluntad; actitudes que siempre recordare.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas las cosas buenas de mi vida, entre ellas este logro.

Agradezco al personal que labora en la Sub-Gerencia de Obras de la Municipalidad Provincial de Puno, por brindarnos todas las facilidades en la realización de la presente.

Agradezco a la escuela de Post Grado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, alma mater de la región Puno por brindarme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa casa superior de estudios, al programa de Maestría en Ingeniería Civil y su mención Geotecnia y Transportes quien me acogió en sus aulas durante mi permanencia en estudios.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación de la investigación	3
1.3.1. Justificación técnica.....	3
1.3.2. Justificación social	4
1.3.3. Justificación económica.....	4
1.4. Objetivos de la investigación	5



1.4.1. Objetivo general..... 5

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5

1.5. Delimitación del estudio..... 5

1.6. Hipótesis 6

1.6.1. Hipótesis general..... 6

1.6.2. Hipótesis específica 6

1.7. Variables e indicadores 6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes 8

2.1.1. Internacionales 8

2.1.2. Nacionales 10

2.1.3. locales 12

2.2. Marco teórico 15

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Investigación cuantitativa 82

3.2. Nivel descriptivo..... 82

3.3. Modelo de investigación 82

3.4. Descripción del ámbito de la investigación 83

3.4.1. Población 83



3.4.2. Muestra 83

3.2. Estructura de un pavimento segmentado..... 88

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Evaluación de tablas y gráficos 119

4.2. Encuesta aplicada a los usuarios 127

Interpretación de gráficos 133

Interpretación de los datos obtenidos de la encuesta 136

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad de repeticiones por 100 operaciones	27
Tabla 2 Dilemas comunes y posibilidades de estabilización de algunos suelos comunes	53
Tabla 3 Peso de agregado y N° de esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½” , ASTM C 131	63
Tabla 4 Peso de agregado y N° de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores A 3/4” , ASTM C-535	64
Tabla 5 Grados de pH del agua	75
Tabla 6 Valores de magnitud del módulo elástico y del coeficiente de Poisson	95
Tabla 7 Categorías de explanada	98
Tabla 8 Categorías de tráfico	101
Tabla 9 Secciones Tipo	103
Tabla 10 Tipo de áridos artificiales	104
Tabla 11 Tabla de tipo de gravacemento	106
Tabla 12 Abultamiento en pavimento con adoquines de concreto	120
Tabla 13 Depresiones en pavimento con adoquines de concreto	121
Tabla 14 Ahuellamiento en pavimento con adoquines de concreto	122
Tabla 15 Fracturamiento en pavimento con adoquines de concreto	123
Tabla 16 Fracturamiento de confinamiento interno en pavimento con adoquines de concreto	124
Tabla 17 Desgaste superficial en pavimento con adoquines de concreto	125
Tabla 18 Desplazamiento de borde en pavimento con adoquines de concreto en el Jr. Bolognesi	126
Tabla 19 Condición Actual del pavimento	127



Tabla 20 Calificación del nivel del servicio del pavimento.....	128
Tabla 21 Causa de la presencia de fallas en los pavimentos Intertrabado	129
Tabla 22 Repercusión de las fallas en la vida útil del pavimento	129
Tabla 23 Falla Severa que Afecta al Funcionamiento del Pavimento	130
Tabla 24 Influencia del mantenimiento oportuno en la vida útil del Pavimento	131
Tabla 25 Medidas para una mejor serviciabilidad del Pavimento	132



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aparato de vikat	74
Figura 2 Ensayo de aspectos visuales	78
Figura 3 Ensayo de forma	79
Figura 4 Sistema de prueba de flexo compresión	80
Figura 5 Sistema de la máquina de prueba de disco ancho.....	81
Figura 6 Sección tipo de una estructura con pavimento segmentado flexible ..	88
Figura 7 Tabla de bordes de confinamiento	89
Figura 8 Asentamientos en el suelo de fundación.....	111
Figura 9 Desgaste superficial y pérdida de arena	111
Figura 10 Desplazamiento de borde y desplazamiento de juntas.....	112
Figura 11 Fracturamiento y fracturamiento de confinamientos externos	114
Figura 12 Fracturamiento de confinamientos internos	115
Figura 13 Escalonamiento entre adoquines y escalonamiento entre adoquines o confinamientos.....	116
Figura 14 Juntas abiertas y vegetación en la calzada.....	117
Figura 15 Condición Actual del pavimento	127
Figura 16 Calificación del nivel del servicio del pavimento.....	128
Figura 17 Causa de la presencia de fallas en los pavimentos Intertrabado....	129
Figura 18 Repercusión de las fallas en la vida útil del pavimento.....	130
Figura 19 Falla Severa que Afecta al Funcionamiento del Pavimento.....	131
Figura 20 Influencia del mantenimiento oportuno en la vida útil del Pavimento	132
Figura 21 Medidas para una mejor serviciabilidad del Pavimento.	133



RESUMEN

Actualmente se está produciendo un renacimiento en el uso de adoquines de hormigón para la pavimentación, no sólo en todo el país, sino especialmente en la región de Puno. Esto se debe a que los pavimentos de las antiguas ciudades del Perú se hicieron primero con adoquines. Debido al paso del tiempo, con el tiempo fueron reemplazados por una mezcla de adoquines y mezclas asfálticas, que se denominan pavimentos flexibles, así como losas de concreto, que se denominan pavimentos rígidos. Los elementos que contribuyen al deterioro de los pavimentos de hormigón son el objeto principal de la investigación de los presentes investigadores. Esto implica realizar un análisis del suelo utilizado para la cimentación, la calidad de las superficies usadas para la base y sub-base, la calidad de las unidades de hormigón segmentado, y los métodos de construcción que se dedican a cada componente individual del sistema del pavimento. Luego, se llevó a cabo una evaluación de los defectos y/o la degeneración de estos firmes. Por último, reconocer la importancia de utilizar adoquines de hormigón en las vías urbanas para mejorar la estética. La variedad de formas y colores disponibles en el mercado los convierten en una opción adecuada para zonas como parques, áreas recreativas y otros espacios públicos. Al realizar análisis de laboratorio sobre la calidad del suelo de cimentación, base y unidades de los pavimentos con adoquines de hormigón, hemos determinado que sus valores de granulometría, limitaciones de consistencia, compactación y otras características están por debajo de los estándares establecidos por la AASHTO-93 y el MTC-2000. Estos argumentos de peso nos permiten inferir que los pavimentos en estudio tienen una vida útil limitada.

Palabras Claves: Adoquines de concreto, calidad, deterioro, durabilidad.



ABSTRACT

It is becoming more popular to use the concrete paving technology throughout the country, particularly in the Puno Region. It is due to the fact that the pavements in the old cities of Peru were first made using cobblestones that this is the case. They eventually made the switch to utilizing flexible pavements, which are a blend of cobblestones and asphalt mixes, as well as rigid pavements, which are concrete slabs. This transition took place over the course of time. Within the scope of this research, the elements that contribute to the deterioration of concrete pavement with paving stones are investigated. An investigation of the underlying soil, the quality of the soil that was used in the base, the quality of the concrete units, and the building techniques that were engaged in each component of the segmented pavement structure are all included in this. In the subsequent steps, a thorough evaluation of the flaws and/or deteriorations has been carried out in order to make the required repairs more accessible. lastly recognize the importance of using concrete pavers on city roads to enhance aesthetics. The variety of forms and colors available on the market make them a suitable choice for areas such as parks, recreational areas, and other public spaces. Upon doing laboratory analyses on the soil quality of the foundation soil, base, and units of the pavements with concrete pavers, we have determined that their granulometry values, consistency limitations, compaction, and other characteristics fall below the standards set by AASHTO-93 and MTC-2000. These compelling arguments allow us to infer that the pavements under study have a limited lifespan.

KEYWORDS: Concrete pavers, quality, deterioration, durability.



INTRODUCCIÓN

El campo del diseño de firmes se originó con la construcción de las primeras carreteras. Sin embargo, ha cobrado impulso y complejidad con la llegada de los vehículos, sobre todo en lo que respecta al análisis y la predicción de su comportamiento. Los orígenes del diseño de firmes se remontan a la construcción de las primeras carreteras.

La ingeniería de firmes es una profesión distinta que abarca conocimientos especializados en mecánica de materiales, análisis estructural, técnicas de construcción y gestión del mantenimiento. En la actualidad, la ingeniería de pavimentos está reconocida como una disciplina independiente. La interconexión de varios ámbitos de conocimiento constituye una dificultad para el ingeniero de pavimentos, que debe buscar constantemente la alternativa más eficaz y sencilla al precio más económico.

Se puede deducir que la longevidad de un pavimento depende del calibre de su diseño, del procedimiento de construcción y de la ejecución oportuna del mantenimiento. El desarrollo de este trabajo se centrará en analizar las variables que ocasionaron la degradación de la calle Bolognesi de la ciudad de Puno. Esta calzada es de adoquines de concreto.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Evaluar el estado y la condición de una carretera es un elemento crucial de un sistema de gestión de infraestructuras viarias. Esto se hace para mantener la funcionalidad de la carretera a largo plazo, proporcionando así a los consumidores un servicio no sólo agradable sino también eficiente, seguro y económico. Por lo tanto, es crucial investigar a fondo una carretera que ha experimentado un deterioro temprano para identificar los problemas probables y determinar las tareas de mantenimiento necesarias. Esto garantizará que el servicio se preste de forma que satisfaga las expectativas.

Todos los tipos de pavimento muestran los deterioros típicos que se observan. En consecuencia, se emprende un esfuerzo concertado para establecer un marco cohesivo de normas y procedimientos que permitan evaluar y rectificar eficazmente estos deterioros de una manera que sea a la vez sencilla y eficaz. Ya existen catálogos de daños accesibles en Perú para pavimentos flexibles, pavimentos rígidos e incluso pavimentos afirmados. Estos catálogos son muy beneficiosos para los ingenieros a la hora de reconocer, evaluar y medir las muchas clases de daños que se producen en un segmento de vía. También ayudan a implementar acciones correctivas y preventivas.



Sin embargo, no se han tenido en cuenta los pavimentos de adoquines de hormigón. Esto puede atribuirse al escaso uso de estos elementos en el pasado, lo que se tradujo en una falta de necesidad de establecer el alcance del daño, sus probables orígenes o las reparaciones necesarias. Por el contrario, esta clase específica de pavimento se utiliza con mayor frecuencia en las vías primarias de las áreas metropolitanas, así como en regiones tanto urbanas como rurales de todo el país. Esto pone claramente de manifiesto la imperiosa necesidad de seguir investigando sobre este tema.

Tras realizar un análisis exhaustivo de la investigación existente, se descubrió que existe una escasez de bibliografía a nivel mundial sobre los métodos utilizados para determinar el índice de estado de los pavimentos de adoquines de concreto. El ICPI, la AASHTO y otras organizaciones encargadas de promover el desarrollo de sistemas de gestión de carreteras han sugerido numerosas estrategias que pueden utilizarse como puntos de referencia. Los métodos utilizados para construir la pieza actual son los siguientes. En la situación de la ciudad de Puno, una ciudad de importancia histórica, tanto las calzadas antiguas como las modernas están construidas utilizando adoquines de hormigón para sus pavimentos. Las calzadas de reciente construcción han experimentado un deterioro prematuro, lo que nos ha impulsado a realizar la presente investigación.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los factores que producen el deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?



1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características de los suelos de la subrasante, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?
- b) ¿Cuáles son las características de los suelos de la base, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?
- c) ¿Cuáles son las características del deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

Normalmente, existen dos enfoques o patrones predominantes en el diseño de pavimentos. La primera escuela es ampliamente utilizada en varias naciones, con especial énfasis en los Estados Unidos de América. En esta escuela, los enfoques de diseño suelen ser mecanicista-empíricos, lo que significa que se basan en programas informáticos para predecir cómo responderá el pavimento a diferentes cargas y condiciones meteorológicas. En consecuencia, es necesario un análisis más sofisticado de las cualidades de los materiales. En Europa, la segunda tendencia incluía sobre todo el uso de secciones de diseño preestablecidas en los catálogos. Los diseñadores debían obtener los datos de entrada adecuados para este método. En esta situación, los catálogos solían mejorarse utilizando diversas técnicas.

La finalidad de esta investigación es evaluar las propiedades de los materiales utilizados en pavimentos de concreto con adoquines en la ciudad de Puno. Se pretende analizar el impacto de estos materiales en la longevidad de los pavimentos.



1.3.2. Justificación social

Actualmente, se está reactivando el uso de adoquines de hormigón en la ciudad de Puno. Sin embargo, faltan criterios específicos para garantizar una construcción de alta calidad. La calzada de Bolognesi, realizada con adoquines de hormigón, ha tenido hasta ahora una vida útil limitada, lo que ha provocado importantes gastos de conservación y mantenimiento. Ahora se está evaluando la posibilidad de crear una estructura con pavimentos idénticos nueva. El ingeniero se enfrenta a importantes obstáculos en la ingeniería de pavimentos como consecuencia de la mayor disponibilidad de una gama más amplia de materiales fabricados industrialmente, incluidos modificadores y estabilizadores. Además, la disponibilidad de materiales de cantera ha ido disminuyendo constantemente, mientras que el tráfico ha experimentado un desarrollo sustancial en los años últimos. Además, existe una creciente necesidad de diseños que sean rentables y eficientes. Sin embargo, las pruebas de laboratorio han avanzado hasta el punto de que ahora pueden reproducir escenarios del mundo real con mayor precisión. Además, las tecnologías de simulación avanzaron en sofisticación y ahora pueden dar cabida a un mayor número de factores.

1.3.3. Justificación económica

La justificación económica del desarrollo de la obra se basará en la valoración de la calidad de los elementos usados y de los procedimientos constructivos utilizados. Posteriormente, es imprescindible examinar las labores de conservación y rehabilitación, factores fundamentales para la longevidad de las vías de adoquines de hormigón.



1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar los factores que originan el deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar las características de los suelos de la subrasante, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno.
- b) Determinar las características de los suelos de la base, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno.
- c) Identificar las características del deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno.

1.5. Delimitación del estudio

El proyecto tendrá lugar en la ciudad de Puno, especialmente en el jirón Bolognesi, donde el pavimento compuesto por adoquines de concreto ha visto una desintegración prematura. Para esta investigación se considerarán los siguientes factores:

- Análisis de la organización del suelo de la cimentación.
- Análisis de la organización del suelo de la cimentación y metodología constructiva.
- Análisis del pavimento de adoquines de hormigón y su proceso de construcción.



1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Los factores que originan el deterioro de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de puno son de mala calidad de los materiales para la estabilización de la estructura del pavimento.

1.6.2. Hipótesis específica

- a) Las características de los suelos de la subrasante, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de puno están por debajo de los parámetros mínimos de las normas técnicas.
- b) Las características de los suelos de la base, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de puno no tiene un nivel óptimo de estabilización.
- c) Las características del deterioro de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de puno son las fallas por fatiga y defectos constructivos.

1.7. Variables e indicadores

VARIABLE 1: TERRENO DE FUNDACIÓN

- Clase de suelo
- CBR
- Profundidad de napa freática

VARIABLE 2: BASE

- Clase de suelo
- Consolidación



- CBR

VARIABLE 3: PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO

- Unidades de adoquín
- Proceso constructivo
- Obras de drenaje



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

Se han realizado varios trabajos de investigación en este ámbito, entre los que cabe destacar los siguientes:

2.1.1. Internacionales

2. César Alejandro Ruiz Brito (Sangolqui_Ecuador 2011) realizó un estudio de tesis titulado "Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos". En el cual se concluyó que es necesario regirse de manera estricta a las normas tanto de diseño como de mantenimiento de los pavimentos rígidos, con el fin de evitar y disminuir procesos de deterioro observados en el análisis del presente documento. Además, considera que no se toman en cuenta variables topográficas y climáticas, las cuales influyen negativamente en el resultado final del proyecto.
3. Centro Constructor (Argentina 2013) realizó un estudio de titulado "Características del Adoquín Intergrabado de Alto Transito ". En el cual se concluyó lo siguiente, Los pavimentos adoquinados se pueden utilizar en andenes, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal;



en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, plataformas de aeropuertos y zonas donde se tienen cargas muy altas e inclusive tráfico de vehículos montados sobre orugas.

4. Germán Guillermo Madrid (Argentina 2010) realizó un estudio de titulado "Ventajas y Aplicaciones de los Pavimentos de Adoquines de Concreto ". En el cual se concluyó lo siguiente, Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales; además, como se trabaja con pequeñas zonas a la vez, cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala, cosa que sí ocurriría con otros tipos de pavimento; esto resulta especialmente útil para la pavimentación de unas cuantas vías cuando no se dispone de los recursos completos para acometer un plan a gran escala; se puede, por lo tanto, adoquinar en varias etapas, a medida que se vayan produciendo las piezas o se obtengan los recursos. Se puede usar este tipo de pavimento para altas cargas.
5. Ricardo Javier Miranda Rebolledo (Valdivia _Chile 2010) en su tesis titulada "Deterioros en Pavimentos flexibles y rígidos "para para optar al título de Ingeniero constructor. Llego a la conclusión: Que la conservación de los pavimentos requiere de personal capacitado, es decir que dominen ampliamente el tema. También define que los pavimentos necesitan un mantenimiento oportuno y continuo para preservar la inversión y mantener el



pavimento en completo servicio al público.

6. Marco Antonio Ruano Paz (Guatemala 1996), en su trabajo de investigación "Instructivo para pavimentación con adoquines de concreto." Llego a la siguiente conclusión: el pavimento con adoquines cumple con todos los requisitos para brindar un servicio bueno al tránsito vehicular y peatonal. Es por ello que es necesario darle mantenimiento respectivo para asegurar el servicio en condiciones óptimas de superficie y alargar su vida útil. Y en lo que respeta mano de obra, por ser una labor que no requiere personal especializado representa una gran economía y facilidad para hacerlo en cualquier comunidad. Contribuyendo como fuente de trabajo y desarrollo a la comunidad.

2.1.2. Nacionales

7. Víctor Fabián Armijos Cuenca (Chile 2011), realizó un estudio para su tesis de maestría en ciencias de la ingeniería. Utilizó pruebas de deflectometría de impacto ligero para determinar los valores del módulo dinámico de un pavimento flexible y de un pavimento articulado, ambos fabricados con combinaciones asfálticas. Los resultados mostraron que los dos pavimentos tenían valores de módulo dinámico muy similares, alcanzando el requisito estructural requerido para el estudio de los pavimentos asfálticos.
8. Miguel Enrique Bórquez Bertrán (Valdivia, Chile, 2014) En su tesis que lleva por nombre "Diseño de la estructura del pavimento de la pista de aterrizaje del Aeródromo de Panguipulli", llegó a la conclusión de que los pavimentos aeroportuarios deben poner énfasis en la seguridad debido a que están sometidos a grandes cargas y no pueden tolerar fallas. En consecuencia, es de suma importancia tener en cuenta la seguridad en todas y cada una de las fases



del proceso de modelo y elegir el enfoque constructivo más adecuado para cada proyecto individual. Dado que las condiciones del terreno en Panguipulli son buenas, los gastos del proyecto no aumentarían mucho si no se tuviera en cuenta la necesidad de reparar el terreno. Para diseñar el marco.

9. Julio Ferreyra _Pereyra (Lima febrero 2012) realizo un estudio de tesis titulado” Actividades de mantenimiento Rutinario y periódico en una carreta del Perú“. En el cual se concluyó que ese tipo de proyectos son muy dinámicos ya que requieren una evaluación constante para tomar las medidas a tiempo y mantener la transitabilidad de la vía, y por ende un buen servicio de los usuarios.
10. Camposano Olivera Jhessy Elián y García Cárdenas Kenny Víctor (Huancayo 2012), realizaron un estudio de tesis para optar el título de ingeniero civil, denominado “Diagnostico del estado situacional de la vía: Av. Argentina – Av. 24 de junio por el método: índice de condición de pavimentos 2012”. En la cual se concluyó: que las fallas localizadas en el diagnóstico de la vía fueron: piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, abultamiento y hundimiento, corrugación, grieta de borde, grieta longitudinal y transversal parcheo. Llegando a la conclusión que las principales causas de las fallas localizadas en el diagnóstico de la vía son: la condición climática de la zona, la carga de tránsito, materiales de baja calidad.
11. José Abdón Cango Vásquez (Piura 2015), realizo un estudio de tesis para optar el título de ingeniero civil titulado ““Análisis patológico de la superficie del pavimento intertrabado, en la av. Sánchez cerro, cuadra 11 y 12, desde la av. sullana norte hasta la AV. country, vía auxiliar izquierda, Piura - 2015” “, la cual



se concluyó que el pavimento intertrabado de, la av. Sánchez Cerro, cuadra 11 y 12, desde la av. Sullana Norte hasta la av. Country vía auxiliar izquierda, es de condición REGULAR. Con un PCI promedio ponderado de 3, en un total de tres muestreos. Y las patologías que se encontraron, fueron por, abultamiento 0.78%, ahuellamiento 0.84%, depresión 0.19%, desgaste superficial 14.60%, perdida de arena 4.77%, fracturamiento 0.65%, fracturamiento de confinamientos internos 4.19%, escalamiento entre adoquines 3.60%

2.1.3. locales

12. Enrique Espinoza Ordinola (Piura 2010). Realizo un estudio de tesis para optar el título de Ingeniero civil denominado "Determinación y evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos de la Provincia de Huancabamba Departamento de Piura". La cual llego a la conclusión: Que el índice promedio de condición del pavimento, del Distrito de Huancabamba es 50%correspondiendo a un nivel o estado regular. Se concluyo también que los pavimentos sufren grandes desperfectos por la mala ejecución y calidad de los agregados de la zona.
13. Javier Paúl Morales Olivares (Piura enero 2005), realizo un estudio para optar el título de ingeniero civil denominado "Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo". La cual concluyo que el refuerzo rígido al soportar mayores repeticiones de carga, tiene un período de servicio más largo en comparación con el refuerzo flexible, pero también El refuerzo rígido requiere un mayor costo inicial que el refuerzo flexible, pero a diferencia de éste los costos de mantenimiento son casi nulos.
14. Dante Jesús Castro Arballo (Piura 10 de marzo 2003), realizo un estudio de



tesis para optar el título de Ingeniero Civil, denominado "Propuesta de gestión de pavimentos para la ciudad de Piura". La cual se concluyó: el mantenimiento inadecuado de los caminos en las ciudades obedece a varias causas, como la irresponsabilidad de las autoridades municipales que no cuentan con un monitoreo de los trabajos.

15. Ronald Gamboa Carranza (Trujillo 2012), realizo un estudio de tesis titulado "El mal Estado de los Pavimentos y su Efecto en Tránsito vehicular del Distrito de Trujillo- Año 2012". La cual se concluyó: El mal estado de los pavimentos son por deficiencia en el momento de su elaboración, el poco cuidado del pavimento por los vecinos, el tránsito vehicular excesivo, deficiencia en calidad de materiales y así mismo los tipos de daños o patologías más frecuentes son: agrietamientos transversales, agrietamientos longitudinales, agrietamientos en media luna, agrietamientos diagonales, escalonamiento, escamado y astillamiento.
16. Bazán Serrano, Milagritos de Jesús y Vargas Hernández, Johan César (Cajamarca 2009), realizo un estudio de tesis titulado "Estudio de mejoramiento de la carretera Panamericana Norte (Km. 609), Cartavio - Santiago de Cao". La cual se concluyó: El Distrito de Santiago de Cao y sus aledaños, cuenta con una buena producción agroindustrial, la misma que podrá ser bien aprovechada con la construcción de esta carretera; mejorando los niveles de vida de la población, impulsando el comercio y el turismo, y generando empleo temporal a los pobladores de la zona. El terreno de fundación de la carretera está constituido en su mayoría por suelos de arcilla inorgánica de baja plasticidad, arcilla con grava, arcilla arenosa, de regular a mala calidad para carreteras con un CBR de 5.49 %. Se ha diseñado el pavimento, obteniendo una estructura de



0.30 m de espesor de afirmado usando el método de USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS) y el método del ROAD RESEARCH LABORATORY.

17. Céspedes Abanto, José María (Cajamarca 2004), realizó un estudio de tesis titulado "El Control de calidad y el comportamiento de los pavimentos existentes en la ciudad de Cajamarca". La cual se concluyó: Hay Factores Pasivos, están directamente ligados con las características propias del pavimento, como pueden ser los espesores, los materiales usados en la conformación de cada capa de la estructura de pavimento y hasta el mismo proceso de construcción y Factores Activos, son los principales responsables del deterioro en el pavimento, estos van desde el tránsito que circula en el pavimento, hasta los factores ambientales que reinan en el lugar. Tanto los factores pasivos y activos de deterioro aceleran la aparición y posterior propagación de diversos tipos de fallas en los pavimentos.
18. Alfonso Ramos Zela (2014) . realizó una investigación de las variables que afectan el desenvolvimiento de los pavimentos segmentados. Estudiar el estado y la calidad de una vía es un elemento crucial de un sistema de gestión. Esto se hace para asegurar la perpetuidad de la carretera, garantizando así que los usuarios obtengan un servicio que no sólo sea agradable y eficiente, sino también seguro y económico. Para identificar a fondo los posibles defectos y los trabajos de mantenimiento necesarios, es esencial llevar a cabo un examen exhaustivo de la carretera. Esto garantizará que el servicio se preste de forma que responda a las expectativas.
19. Todo tipo de pavimento experimenta muchos deterioros fundamentales. En consecuencia, se emprende un esfuerzo concertado para establecer un marco



cohesivo de normas y procedimientos que permitan evaluar y rectificar eficazmente estos deterioros de una manera que sea a la vez sencilla y eficiente. Hoy por hoy, el país carece de un catálogo completo que deje evaluar los pavimentos segmentados. La ausencia de documentación detallada sobre los daños, sus posibles causas y las reparaciones realizadas podría atribuirse al uso de pavimentos segmentados en épocas anteriores. El actual proyecto se centra en el estudio de los elementos constitutivos de la construcción de pavimentos segmentados. Este análisis se ha centrado principalmente en la calidad de los elementos y de los procedimientos de ejecución. La discusión ha abarcado el suelo de cimentación, la subbase, la base y la capa de rodadura segmentada.

20. En su tesis que lleva por nombre "Diseño de la estructura del pavimento de la pista de aterrizaje del Aeródromo de Panguipulli", Miguel Enrique Bórquez Bertrán (Valdivia, Chile, 2014) llegó a la conclusión de que los pavimentos aeroportuarios deben poner énfasis en la seguridad debido a que están sometidos a grandes cargas y no pueden tolerar fallas. En consecuencia, es de suma importancia tener en cuenta la seguridad en todas y cada una de las fases del proceso de modelo y elegir el enfoque constructivo más adecuado para cada proyecto individual. Dado que las condiciones del terreno en Panguipulli son buenas, los gastos del proyecto no aumentarían mucho si no se tuviera en cuenta la necesidad de reparar el terreno. Para diseñar el marco.

2.2. Marco teórico

Terreno de fundación de la carretera

El término "franja de terreno" se refiere a la porción de propiedad que se encuentra dentro del derecho de paso y que se verá directamente afectada por la



construcción de un proyecto de carretera. Además, se refiere a la superficie concreta de terreno que soportará el peso del tráfico que se distribuya por el pavimento.

Clases de superficies en el terreno de fundación

Las carreteras presentan una amplia gama de tipos de suelo, cada uno de ellos caracterizado por un alto grado de variedad y complejidad. Por tanto, cualquier intento de organizar sistemáticamente el conocimiento científico, junto con la tendencia a hacer generalizaciones, debe incluir primero un esfuerzo exhaustivo por clasificar los suelos.

Así, los primeros sistemas se basaban en atributos insignificantes o difíciles de relacionar con los esenciales. En consecuencia, estos sistemas han sido sustituidos desde entonces. Los esquemas de categorización de suelos han existido desde los inicios de la mecánica de suelos. Sin embargo, estos sistemas se fundaban en cualidades que o bien se debían a la insuficiente comprensión que se tenía de los suelos.

El proceso de granulometría ofrece un enfoque directo y sencillo para organizar las superficies. En efecto, basta con separar una superficie en sus fracciones granulométricas para "categorizarlo", siempre que exista un acuerdo previo para asignar un nombre específico a cada una de las distintas fracciones, en función de que se hallan dentro de ciertos rangos de dimensión.

Muchos ingenieros asocian los términos arcilla, arena, limo y grava únicamente con el tamaño de las moléculas individuales de estas superficies o fracciones. La popularidad de los esquemas de organización granulométrica en el pasado puede atribuirse a sus orígenes claros y poco complicados. Dada la



importancia de estas propiedades mecánicas básicas en los usos de ingeniería, está claro que un esquema de organización de suelos debería clasificar los suelos basándose en estas características.

Asentamiento en el terreno de fundación

La principal preocupación que puede suscitar un suelo de cimentación que es a la vez delgado y compresible es el asentamiento que se produce cuando está expuesto a la carga excesiva impuesta por los terraplenes. Estos tipos de asentamientos son:

1. El bombeo se produce por una diferencia de presión entre el centro de la corona y los hombros del terraplén, siendo la presión mayor en el centro.
2. Los asentamientos diferenciales se producen en dirección longitudinal como consecuencia de variaciones en el límite elástico del suelo de cimentación. Dichos asentamientos provocan perjuicios en el funcionamiento de la vía, el pavimento, el drenaje superficial y otras áreas relacionadas.
3. La altura del terraplén disminuye significativamente al pasar por regiones propensas a inundaciones o ya inundadas.
4. Las obras de drenaje menores pueden sufrir daños cuando adoptan una forma hidráulicamente inconveniente y desarrollan grietas, hundiéndose más en el núcleo que en los lados.
5. Agrietamiento en la parte superior del terraplén, sobre todo en los casos en que el terraplén es ancho y contiene bermas.
6. La conexión inadecuada entre los terraplenes de acceso y los sistemas se produce cuando las estructuras, como las sostenidas por pilotes de punta, no



contribuyen al asentamiento global.

En el departamento de Puno, a menudo se observa que los asentamientos en el suelo de cimentación poseen un impacto relevante en el diseño de la construcción de vías. Esta influencia es tan significativa que incluso puede requerir cambios en el trazado de la carretera. Esto es así independientemente de la presencia de algunos casos excepcionales que se desarrollarán en las páginas siguientes de este capítulo. Cuando sólo se incluyen los componentes que suelen evaluarse para el diseño de carreteras, los proyectos resultantes no alcanzan su máximo potencial.

Predecir el orden de asentamiento admisible que hay que tener en cuenta al construir una carretera sobre superficies blandas es una tarea difícil. En primer lugar, es crucial darse cuenta de que el asentamiento global del terraplén puede no ser muy significativo, a no ser en algunos casos como los terraplenes de acceso a sistemas rígidos que no se asientan o en zonas inundables. Esto se opone a los asentamientos diferenciales, que son desplazamientos que se producen a distancias considerables del terraplén.

Las carreteras suelen mostrar más tolerancia a los asentamientos desiguales que los ferrocarriles, sobre todo por las características del tráfico que acogen. Sin embargo, la tecnología contemporánea permite calzar la vía con facilidad y eficacia, añadiendo más balasto según sea necesario para restablecer la alineación original. Por otro lado, cuando se trata de renivelar una carretera, el proceso suele implicar el uso de mezclas asfálticas, que resultan ser el elemento más costoso del segmento de la carretera. En pocas palabras, no es posible construir un método fijo para determinar la filosofía de diseño de una carretera que



tenga en cuenta los asentamientos. El ingeniero se encargará de identificar los valores inaceptables para cada caso concreto, partiendo de la relevancia de la problemática y considerando cualquier otro criterio pertinente.

Optimización del terreno de fundación

Nunca se insistirá lo capaz en que el suelo de cimentación suele tener la resistencia y compresibilidad suficientes para soportar los carriles sobre tierra en circunstancias normales. Esto se debe a que las fuerzas ejercidas sobre el terraplén suelen ser mínimas y a que la construcción del terraplén suele ser adecuada para acomodar los pequeños desplazamientos que pudieran producirse. En los párrafos siguientes se abordarán los obstáculos y las estrategias de mejora que suelen encontrarse en determinadas zonas geográficas y que no se aplican de forma generalizada debido a su elevado coste.

Formación de explanadas

En el contexto de un pavimento, la palabra "subrasante" se refiere a la superficie portante del pavimento (conocida como subrasante en los países latinoamericanos). Por lo tanto, la subrasante se refiere a la parte superior de la cimentación del pavimento. La cimentación del firme suele estar constituida por los suelos o rocas existentes, o por un suelo estabilizado en la parte superior. En algunos casos, la cimentación del firme puede ser la cubierta del edificio.

La cimentación suele identificarse por la corona de relleno o la parte superior de los cortes excavados, alcanzando una profundidad de unos cincuenta centímetros. En los tiempos modernos, se acostumbra a incluir en la cimentación todos los espesores de los materiales que se encuentran bajo la subrasante, considerando su impacto potencial en el comportamiento del pavimento. Es



probable que el espesor estimado del pavimento oscile entre uno y dos metros, dependiendo tanto de la naturaleza de los materiales utilizados como del propio pavimento.

El objetivo fundamental de la construcción de una subrasante es disponer de una superficie lisa y uniforme:

- Es crucial garantizar la ausencia de anomalías significativas para mantener un espesor relativamente uniforme en la capa inferior del pavimento.
- Poco alterable a los cambios de humedad relativa. Con inclinaciones que faciliten la evacuación del agua de lluvia que pueda producirse durante las actividades de construcción.
- Sin erosiones ni formaciones, y con resistencia suficiente para mantener el flujo de mano de obra.
- La cimentación del pavimento debe ser capaz de soportar tanto su propio peso como las fuerzas ejercidas por los pesos de tránsito, sin sufrir deformaciones retardadas significativas.

Las deformaciones están sujetas a dos restricciones: una para el asentamiento global y otra, más estricta, para los asentamientos diferenciales. Ambas restricciones tienen la capacidad de modificar la regularidad de la superficie del firme y, por tanto, sus condiciones operativas al afectar al pavimento.

Principios en el modelo de pavimentos

A lo largo de la historia, las personas se han enfrentado al reto de ejecutar proyectos de pavimentación de forma que se garantice la capacidad de circulación de los automóviles. Sin embargo, la verdadera expansión de las carreteras



pavimentadas, tal y como se entiende en su sentido contemporáneo, se ha producido principalmente con la introducción de los automóviles y, más últimamente, con el uso generalizado de la aviación. El estado actual de la vía puede describirse con precisión con esta palabra.

Los métodos utilizados en la construcción de firmes han evolucionado rápidamente debido al aumento de las cargas, la velocidad de tránsito, la repetición y otras variables que contribuyen a ello. Este progreso ha ido acompañado de una inclinación perceptible, que lamentablemente no siempre se ha traducido en éxito, por obtener fundamentos teóricos más sólidos que refuercen, fundamenten y dejen usar con correcto criterio nuestros ya amplios conocimientos observables. Es crucial reconocer que la inversión en la construcción de carreteras es un aspecto esencial para toda nación, que valida cada gasto realizado para lograr una determinada mejora. Para demostrar la importancia del pavimento en la ingeniería, basta afirmar que, en varias carreteras, la pavimentación puede suponer el cincuenta por ciento de todo el gasto.

La función principal del pavimento es distribuir las tensiones a la subrasante de manera en que se evite una deformación perjudicial para ésta.

El término "subrasante" se refiere a la superficie acabada de un movimiento de tierras, consistente en las secciones excavadas y rellenadas que forman una carretera. Hoy por hoy, hay dos clases primarias de pavimentos: los rígidos y los flexibles.

Para los movimientos de tierras, puede utilizarse cualquier tipo de suelo, excepto suelos muy orgánicos o suelos con un elevado rebote elástico que podrían causar graves deformaciones a las capas situadas por encima de ellos. Cuando el



elemento de terraplenado es de baja calidad, puede ser imprescindible usar una verdadera capa de subrasante de material de mayor calidad. Esta capa de subrasante sirve de transición entre el elemento de movimiento de tierras y el pavimento. Por el contrario, si el material del movimiento de tierras es de mayor calidad, se utiliza para crear la capa de subrasante utilizando técnicas de construcción mejoradas, especialmente en términos de compactación.

A partir de los hechos expuestos, puede deducirse que un pavimento suele estar formado por muchas capas, siendo cada una de ellas de mayor calidad y más costosa a medida que se acerca a la superficie que soporta el peso. Esto se debe principalmente al hecho de que las tensiones transmitidas a estas capas tienen una mayor intensidad. Para que un pavimento cumpla eficazmente su función, debe cumplir dos requisitos esenciales. En primer lugar, debe ofrecer una superficie duradera y de alta calidad que proporcione una rugosidad suficiente para asegurar una fricción óptima con los neumáticos de las movilidades. Además, el pavimento debe poseer un color correcto para evitar reflejos y deslumbramientos. Por otra parte, es esencial que el material tenga la resistencia y las propiedades mecánicas necesarias para aguantar las fuerzas ejercidas por el tráfico sin experimentar ningún fallo. Además, debe presentar deformaciones temporales que proporcionen unas condiciones de tráfico fluidas. No es de extrañar que un pavimento deba ser capaz de aguantar los impactos de la intemperie.

Una capa de material subyacente que distribuya eficazmente las tensiones en la subrasante, evitando fallos o deformaciones destructivas, cumple los requisitos de resistencia y deformabilidad. Esta capa de material es la responsable de salvaguardar la subrasante de los impactos de las tensiones. La construcción de esta capa requiere el uso de materiales de fricción muy adecuados para cumplir



su función estructural. Esta capa actúa como base en los pavimentos flexibles. En los pavimentos rígidos, la capa de hormigón cumple la misma función estructural que en otros tipos de pavimento.

Debido a la ausencia de restricciones en el suelo, la capacidad de carga de los materiales de fricción es baja. Por este motivo, es esencial una capa de elemento cohesivo con F' a la tracción sobre la cimentación. La capa en cuestión es la capa asfáltica, que debe cumplir los criterios establecidos anteriormente para una superficie de apoyo adecuada. La necesidad de pavimentos rígidos la satisface la propia losa de hormigón, lo que es posible gracias a las características cohesivas del hormigón. Es evidente que los pavimentos flexibles necesitan cohesión en la superficie, mientras que la fricción es una propiedad deseada en el interior del pavimento. Esto se debe a que la fricción es el atributo deseado.

Variables que influyen el modelo de pavimentos

Las características que más influyen en el pavimento, independientemente del método y la calidad del diseño del mismo, pueden clasificarse en las tres categorías siguientes:

- a) Cualidades del elemento que conforman el movimiento de tierras y la capa de subrasante

El desenvolvimiento y el espesor necesario de un pavimento flexible están muy influidos por los elementos que componen la superficie y la capa de subrasante de una carretera o pista. Por el contrario, la composición de un pavimento rígido tiene poca influencia en el espesor de la losa, pero afecta en gran medida a su rendimiento. Por lo tanto, es crucial determinar las características del suelo que se usará en la construcción del movimiento de tierras y, en su caso, de la capa de



subrasante. Para ello se pueden utilizar los principios y metodologías establecidos de la mecánica del suelo.

De hecho, un número considerable de los métodos utilizados para hallar los estándares de la superficie en la construcción de pavimentos ya se han tratado anteriormente en este estudio. A continuación, exploraremos y examinaremos ciertos temas relacionados con la exploración y el muestreo. Además, tendremos la oportunidad de abordar algunas pruebas dentro de este tema que aún no han sido dichas. Estas pruebas no han sido referenciadas con anterioridad.

El muestreo empleado y las metodologías de investigación en una obra de carretera pueden clasificarse en 2 clases principales en función de las metas que se persigan. Antes de iniciar la construcción del movimiento de tierras, es esencial poseer un conocimiento exhaustivo de las propiedades de los elementos que se van a usar. Existen dos métodos principales para conseguir insumo con este fin: el préstamo lateral y el préstamo bancario. En el 1er método, el elemento se toma de excavaciones poco profundas a lo largo de la carretera, no demasiado lejos. El segundo método, que suele ser más costoso, consiste en transportar el material desde otro lugar donde esté disponible en la cantidad y calidad deseadas. Cabe señalar que la práctica de utilizar material de un tajo cercano para construir un terraplén puede considerarse una variación del segundo método a efectos de esta explicación.

En la primera situación, la investigación suele limitarse a la excavación de cavidades abiertas en la cantidad y profundidad requeridas. A continuación, estas cavidades se utilizan para recoger muestras del suelo con el fin de clasificarlo y determinar su idoneidad para incorporarlo al cuerpo del movimiento de tierras. Es



factible desarrollar una norma coherente para espaciar los pozos, a menudo a intervalos de 100 metros, en los casos en que estas evaluaciones no sean realizadas por expertos competentes en el área de la mecánica del suelo, cuyos criterios fiables puedan decidir la opción más adecuada.

De acuerdo con la segunda hipótesis, será necesario situar el banco en una zona adecuada y extraer muestras de sus componentes para evaluar las características del banco. El segundo tipo de investigación consiste en adquirir una comprensión global de las características del suelo subyacente, que se usa de apoyo para la ejecución de la carretera. Se hará especial hincapié en los lugares en los que se considere probable que existan causas específicas de problemas y que sea necesario investigar.

b) El Clima

Las precipitaciones, ya sea por sus efectos directos o por el ascenso de las aguas subterráneas, suelen ser el componente climático más importante que repercute en los pavimentos. En muchos casos, el diseñador se ve obligado a modelar y ejecutar sistemas de drenaje añadidos, también del drenaje estándar que siempre debe incluirse en la construcción de la carretera, o a hacer uso de diseños especializados para el pavimento. Las heladas pueden ser la causa de un número significativo de problemas en el pavimento, especialmente en regiones con temperaturas severas y suelos propensos a sufrir daños. La T° y sus bruscas fluctuaciones repercuten en los modelos, sobre todo en las losas de hormigón, ya que contribuyen al desarrollo de importantes tensiones en este tipo de construcciones.

c) El Tráfico



El pavimento está sometido a cargas provocadas por el tráfico que lo atraviesa. A la hora de diseñar el pavimento, es fundamental conocer los tamaños de las cargas, las presiones de inflado de los neumáticos, el área de contacto de los neumáticos, la disposición de los neumáticos dentro de la movilidad, la frecuencia y cantidad de repeticiones de las cargas y las velocidades de uso. Dentro de los límites de los laboratorios, reproducir una cantidad sustancial de estas características de carga es muy difícil, si no imposible. Aquí es donde pueden identificarse una parte sustancial de los retos de esta industria. A este respecto, cabe formular la siguiente observación general. Hasta ahora, la investigación de las vías se ha basado principalmente en maneras empíricas debido a muchos factores. La Teoría se ha incluido adecuadamente en un número muy limitado de casos, algunos de los cuales se examinarán en los párrafos siguientes. No es de extrañar que ésta sea una limitación del campo, ya que no consigue mantener un equilibrio adecuado entre la teoría y el conocimiento práctico.

Los esfuerzos aplicados sobre los pavimentos oscilan entre las 8 toneladas (16.000 lb) por eje de los automóviles y el peso total de 150 toneladas (300.000 lb) de un avión DC-8, lo que los hace excesivamente masivos. Los camiones suelen tener presiones de inflado de los neumáticos que oscilan entre 4 y 6 kg/cm² (equivalentes a unas 60 a 90 lb/pulg²), mientras que los neumáticos de los aviones más grandes tienen presiones superiores a 14 ó 13 kg/cm² (aproximadamente 200 lb / pulg²).

La palabra “aplicaciones de carga” se utiliza a menudo para denotar el concepto de repetición. En el contexto de una carretera o pista, se produce una repetición cuando el mismo neumático vuelve a pasar por el mismo punto de forma



consecutiva. En el contexto de las autopistas, es bien sabido que se produce una repetición en el pavimento cuando pasan dos unidades de un determinado tipo. Sin embargo, en el contexto de los aeródromos, el cuadro 1 ofrece una idea del número mínimo de operaciones necesarias para que una aeronave repita una determinada acción.

Tabla 1

Cantidad de repeticiones por 100 operaciones

AVIÓN	PISTA	CALLE DE RODAJE
DC-4	9.6	27
DC-6	10.4	30
DC-3	3.3	7
Convair	7.6	21

Nota: Rico, Alfonso y Del Castillo Hermilio, (2001).

Los términos “pista” y “calle de rodaje” se utilizan para designar las zonas designadas de un aeropuerto. La calle de rodaje es la superficie designada por la que se desplaza un avión entre la plataforma y la pista. En las carreteras, la tarea implica millones de repeticiones, mientras que en las pistas el número de repeticiones es de miles.

La influencia de las repeticiones es significativa hasta el punto de que el espesor de los pavimentos de las autopistas y de las pistas puede ser comparable, aunque las pistas experimenten cargas mucho mayores. Esto se debe a la mayor frecuencia de repeticiones en las autopistas en comparación con las pistas de aterrizaje. El hormigón experimenta fatiga cuando se expone a un escenario de carga, que es un efecto crucial que se produce cuando se aplican cargas repetidamente a pavimentos rígidos.

El hormigón puede soportar una tensión por debajo de un determinado



umbral sin consecuencias negativas, pero cuando la tensión se aproxima al límite máximo, el hormigón falla tras unas pocas repeticiones. Estudios empíricos han demostrado que es necesario un nivel de tensión superior al cincuenta por ciento de la tensión final para inducir un desgaste sustancial mediante acciones repetitivas. Además, el efecto de la fatiga es enormemente menor pronunciado en las vías flexibles. Sin embargo, en estos pavimentos, la aplicación repetida del peso conduce a la acumulación de deformaciones plásticas o al rebote elástico en suelos susceptibles a tales influencias.

La evidencia empírica sugiere que el deterioro de un pavimento debido a cargas repetidas se adhiere a un patrón logarítmico, donde la extensión de la degradación está directamente relacionada con la cantidad de repeticiones de la carga. Las 1eras iteraciones tienen una influencia sustancial, pero ésta reduce en relación que incrementa la cantidad de instancias. En cuanto a los materiales de base, las repeticiones conducen a la fragmentación de las partículas y a la penetración de las capas subyacentes. Esto tiene un efecto positivo, ya que conduce a un aumento de la resistencia y del modelo de deformación de las superficies bajo la subrasante con cada repetición de carga adicional.

Organización de suelos

Esquemas de organización de suelos

El conocimiento exhaustivo de la superficie subyacente es vital para el análisis de cualquier obra de construcción, independientemente de si se trata de una carretera, un puente o un edificio. Ello se debe a que el proyecto requiere una investigación exhaustiva, que incluya todos sus datos completos. Llevar a cabo un reconocimiento in situ es una tarea de preparación esencial. Para minimizar las molestias, es aconsejable recoger muestras de forma cautelosa. Para garantizar



una descripción exhaustiva de estas muestras, es necesario obtener los datos pertinentes y realizar las pruebas oportunas. ¿Qué tipos concretos de datos deben recogerse y qué pruebas específicas deben realizarse? La cuestión que nos ocupa es la identificación del suelo. Normalmente, basta con un examen visual básico para determinar la composición de la sustancia, que puede consistir en marga azul, arcilla amarilla, arena fina y otros materiales similares. Independientemente de la situación, es requerido llenar esta descripción realizando una evaluación granulométrica (como mínimo, uno básico) e identificando los límites de Atterberg. Es crucial equipar cada laboratorio de forma que permita la realización de estos dos exámenes principales.

Cuando se trata de suelos que carecen de coherencia, es aconsejable evaluar el índice de densidad o la densidad relativa. En la situación de las superficies cohesivas, es aconsejable evaluar el contenido de humedad inherente y la $F'c$ no confinada. Además, estos datos incluyen el cálculo de la masa específica aparente.

Equipado con esta información, el ingeniero puede discernir las características de los suelos y, por tanto, conocer su comportamiento. No obstante, hemos optado por mejorar nuestro enfoque identificando sistemáticamente los distintos tipos de suelos. En consecuencia, copiaremos algunas frases de Taylor que revelan perfectamente el pensamiento subyacente en la materia.

Cuando se abordan problemas comunes en mecánica de superficies, es ventajoso emplear un método directo de organización de suelos que utilice técnicas de identificación sencillas y produzca una categorización cercana pero suficientemente precisa de los suelos en grupos o tipos. Un ejemplo de este tipo de



problema surge en los primeros exámenes de suelos que tienen lugar en previsión de la ejecución de carreteras. Por ejemplo, a menudo se utilizan organizaciones basadas en la granulometría o en las cualidades poliméricas.

Sin embargo, los ingenieros no se ponen de acuerdo sobre la importancia de estas categorías y si es necesario un acuerdo general sobre su uso. La resolución de este problema depende sobre todo de cómo se utilicen estas categorías, ya que se trata principalmente de una cuestión de puntos de vista. Las clasificaciones de suelos se consideran intrínsecamente no binarias, lo que significa que no pueden clasificarse como completamente correctas o completamente incorrectas. Por el contrario, son sólo herramientas útiles para clasificar los suelos, de forma similar a otros sistemas de clasificación. Aunque es cierto que hay casos en los que las categorizaciones se solapan, también es así. Es inevitable que, si se clasifica una cantidad considerable de superficies basándose en un sistema, algunos de esos suelos se clasifiquen de forma diferente basándose en otro sistema. Esto se debe a la forma en que funcionan las clases.

A menudo se necesita una definición precisa de la categorización, que tiene una amplia gama de aplicaciones. Esta petición sugiere que existe la creencia de que, siempre que sea necesaria la Mecánica del Suelo, alcanzaría con realizar una cantidad específica de pruebas para hallar constantes. Estas constantes servirían entonces para clasificar el suelo y preguntar el capítulo que corresponde de un manual para determinar su idoneidad para cualquier tipo de problema que se esté estudiando. No hace falta conocer muy bien el comportamiento del suelo para darse cuenta de lo infundado de este punto de vista. Aunque los coeficientes numéricos pueden reflejar con precisión el comportamiento del suelo, una caracterización completa de su comportamiento requiere un número de coeficientes mucho mayor



del que se suele utilizar. Es aconsejable hacer una clasificación utilizando sólo un número limitado de estos coeficientes. En consecuencia, una clasificación carecerá de valor y puede incluso suponer un riesgo, a menos que los atributos en los que se fundamente sean específicamente relevantes para la cuestión investigada.

Esquema de organización sucs

La Tabla de Plasticidad, derivada de la investigación de laboratorio realizada por A. Casagrande, es la base del Sistema Unificado de organización de superficies. Basándose en los datos obtenidos de esta investigación, la disposición de los suelos en un sistema de coordenadas con el LL en el eje x y el IP en el eje y no es aleatoria. Por el contrario, los suelos se clasifican de manera que cada zona del gráfico contiene suelos que poseen características de plasticidad bien definidas, así como cualidades mecánicas e hidráulicas. Los suelos adyacentes tienen características similares, mientras que los situados a mayor distancia poseen cualidades distintas.

Utilizando este descubrimiento como base, Casagrande logró crear límites en la ilustración que clasifican los elementos finos en muchas categorías basadas en propiedades interconectadas.

A. SUELOS GRUESOS

Cada grupo está representado por un símbolo formado por 2 letras en mayúscula. Estas letras señalan las siglas de los nombres en inglés de las superficies que suelen estar relacionados con esa categoría concreta. La siguiente explicación proporciona el significado previsto:

- Gravas y suelos formados principalmente por componentes de grava. La representación universal de la grava se denota mediante el símbolo G.



- Las arenas y los suelos arenosos pertenecen a esta categoría. La letra "S" es una abreviatura de la palabra "arena".

Las arenas y las gravas se segregan utilizando la malla N° 4. Un suelo se clasifica como perteneciente al grupo genérico G si + del 50% de su fracción gruesa, que queda retenida en la malla 200, no atraviesa la malla N° 4. Si esta condición no se cumple, entonces el suelo se clasifica en el grupo G. Si no se cumple esta condición, la superficie se divide como perteneciente al grupo genérico S.

Las piedras y arenas pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

1. El material carece en su mayor parte de partículas pequeñas y está distribuido uniformemente en cuanto a tamaño. La letra "W" es una abreviatura del término "bien clasificado". GW y SW son los grupos resultantes formados al combinar los símbolos genéricos con cada uno de ellos.
2. Sustancia que contiene muy pocas partículas pequeñas y es de mala calidad. El signo P (con un grado bajo). Al amalgamarlo con simbología genérica, da lugar a la creación de los grupos GP y SP.
3. Sustancia que contiene una cantidad significativa de partículas no plásticas. La letra M se forma a partir de las palabras suecas "mo" y "mjala". Además, al unir los símbolos genéricos, se crean los grupos GM y SM.
4. Material que contiene una cantidad significativa de partículas plásticas. La letra "C" es una abreviatura de la palabra "clay" (arcilla). Cuando se combina con los símbolos genéricos, da lugar a la creación de los grupos GC y SC.

Para otorgar criterios de identificación más exhaustivos, ya sea in situ como en el laboratorio, en los párrafos siguientes se delimitan los grupos estudiados anteriormente.



B. SUELOS FINOS

Aquí, el Sistema entiende la agregación de suelos y genera un símbolo para cada grupo compuesto por 2 letras en mayúscula. La elección del símbolo se basa en un criterio parecido al utilizado para las superficies gruesas, lo que permite disponer de las divisiones siguientes:

- Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del sueco mo y rnjala).
- Arcillas inorgánicas, de símbolo C (clay).
- Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico ó (organic).

Cada una de estas tres clases de superficies puede dividirse en 2 grupos únicos en función de su capacidad de retención de líquidos. Si el porcentaje es inferior al cincuenta por ciento, significa que las superficies en cuestión tienen una compresibilidad media o baja. En este caso, el símbolo general va acompañado de la letra L, que representa la baja compresibilidad. Esta combinación da lugar a la creación de los grupos ML, CL y OL. En consecuencia, se forman los grupos MH, CH y OH. Las superficies con un límite líquido superior al cincuenta por ciento, denominados de alta compresibilidad, se designan con la letra H, que representa alta compresibilidad, después del símbolo general.

Es fundamental observar que las letras L y H no equivalen a baja o alta plasticidad. Esto se debe a que, como se ha dicho anteriormente, el atributo del suelo debe definirse en relación de dos factores (LL e Ip). Sin embargo, en este caso concreto, sólo es relevante el valor del LL. Sin embargo, estudios anteriores han demostrado que la compresibilidad del suelo está directamente influenciada por su límite líquido. Por consiguiente, un aumento del límite líquido del suelo



corresponde a un aumento de su compresibilidad.

En este sentido, la "compresibilidad" se refiere únicamente a la inclinación de la primera porción de la curva de compresibilidad, y no al estado que tiene ahora el suelo inalterado, que podría estar parcialmente seco o preconsolidado. Este es un factor que debe tenerse en cuenta.

Los suelos con un alto contenido orgánico y una textura fibrosa, como la turba y los suelos de pantano, se clasifican como Pt (Turba) debido a su alta compresibilidad. El siguiente texto ofrece una explicación exhaustiva de las numerosas clasificaciones de suelos de alta calidad que se han mencionado anteriormente.

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

Los suelos se clasifican en ocho tipos distintos, etiquetados de A-1 a A-8, en función de su actividad.

Según este método de organización, las superficies inorgánicas se organizan en siete categorías distintas, que van de A-1 a A-7. Además, se separan en un total de doce subcategorías. Los suelos que tienen una cantidad sustancial de materiales orgánicos se clasifican como A-8.

COMPACTACIÓN DE SUELOS

La consolidación de la tierra es un proceso mecánico que mejora las propiedades de resistencia, compresibilidad y tensión de deformación de los suelos. Este proceso implica una reducción relativamente rápida de los espacios vacíos, lo que provoca importantes cambios de volumen en las superficies. Estas variables implican principalmente la pérdida de volumen de aire, ya que el líquido no suele expulsarse de los espacios vacíos durante la consolidación. En un suelo



compactado, la condición se asemeja a la de una superficie parcialmente saturada, ya que no todo el aire es capaz de escapar del suelo.

La finalidad básica de la consolidación es conseguir y mantener una superficie bien estructurada que presente propiedades mecánicas satisfactorias durante toda la vida útil de la obra. Esto se consigue adquiriendo la tierra con un método determinado. Se persigue sistemáticamente mejorar la resistencia, la compresibilidad y lograr una conexión tensión-deformación satisfactoria. Además, se comprime para conseguir los atributos deseables de permeabilidad y flexibilidad, aunque esta práctica es menos habitual pero no por ello menos importante en ocasiones. Los atributos necesarios pueden cambiar en relación de la situación específica. Por último, la fuerza y la resistencia de la estructura de tierra frente a los agentes erosivos aumentan considerablemente debido a un proceso de compactación. Esto se debe a la compactación del suelo.

Un elemento destacable se destaca cuando los propósitos de la compactación se enumeran de manera clara y directa. Esta verdad debería obligar al ingeniero a prever una proporción sustancial de los obstáculos y complejidades que hallaría más tarde en estas operaciones. En primer lugar, la compactación es un proceso multifacético que sirve para varios propósitos, lo que contribuye a su complejidad. Además, es evidente que varios de estos objetivos entrarían inherentemente en conflicto en diversas situaciones específicas. Esto se debe al hecho de que las operaciones utilizadas para alcanzar una determinada meta podrían tener el potencial de dañar a otra persona. Respecto a este aspecto específico, existe una cantidad casi infinita de posibles sucesos opuestos que pueden ocurrir. Por ejemplo, en términos generales, suele ocurrir que una compresión intensa produce una sustancia que es muy robusta, pero también muy



susceptible a romperse. Al considerar el requisito de que los suelos compactados tengan una vida útil prolongada y mantengan consistentemente sus cualidades a lo largo del tiempo, incluida su capacidad para resistir agua, cargas y otros factores, estas posibles inconsistencias se vuelven significativamente más complejas y magnificadas.

Desde una perspectiva temporal y situacional, existe la probabilidad de encontrar varios casos de discrepancias entre los objetivos del proceso. Es posible que la fuerte resistencia que se logra mediante una compactación vigorosa se contradiga. La razón de este fenómeno es que un suelo muy denso tiene la capacidad de absorber una cantidad importante de agua en determinadas circunstancias, lo que provoca una disminución significativa de su resistencia. Por el contrario, el suelo que inicialmente se compacta con menos fuerza y tiene una menor resistencia inicial puede exhibir más estabilidad contra el agua. Este suelo conservará una resistencia inicial menor en comparación con el otro suelo, pero probablemente será adecuada.

La problemática de la consolidación de la superficie está estrechamente conectada con la cuestión de garantizar el control de calidad de las operaciones sobre el terreno desde el principio. De hecho, es crucial evaluar si se han alcanzado los objetivos deseados tras la finalización de un método de compactación. Dado que las carreteras suelen ser construidas por grupos especializados bajo contrato, el proceso de verificación antes mencionado está relacionado con cuestiones de pago y complejidades legales. La amplia gama de problemas de compactación del suelo, que a menudo van más allá de los aspectos técnicos, es esencial para gestionar estos problemas con eficacia. Quienes se ocupan de ellos no pueden ignorar la naturaleza única de los descubrimientos y las soluciones obtenidas. Para



evaluar la resistencia, la compresibilidad, las relaciones tensión-deformación, la permeabilidad o la flexibilidad de los suelos, es esencial realizar ensayos que son cercanamente especializadas y caras.

Factores que alteran el proceso de consolidación de las superficies

La compactación del suelo puede realizarse mediante distintos métodos, y cada uno de ellos producirá un resultado diferente. Del mismo modo, si se aplica el mismo método de compactación a suelos diferentes, los datos obtenidos cambiarán. Además, incluso cuando se aplica la misma forma de consolidación en la misma superficie, pueden obtenerse datos obtenidos diferentes alterando determinadas condiciones.

Los comentarios anteriores demuestran que los datos obtenidos de un proceso de consolidación dependen de varias circunstancias, lo que resulta evidente para cualquier persona que tenga un mínimo conocimiento de estas cuestiones. Algunas de estas características están asociadas al tipo de suelo, mientras que otras están vinculadas a la técnica de compactación utilizada. Además, otros aspectos están relacionados con situaciones únicas que pueden estar presentes en el suelo que se está trabajando. Estos aspectos se denominan a veces "variables" que influyen en el proceso de compactación. Seguidamente se presenta un resumen conciso de las más significativas.

- 1. La naturaleza del suelo.** Además, en este capítulo se diferencian claramente las técnicas y los resultados en relación de la clase de suelo usado. La influencia del tipo de suelo en la compactación es claramente evidente. Aunque el contraste tradicional entre suelos finos y gruesos o entre suelos arcillosos y suelos friccionales sigue estando muy extendida, es más habitual que esta



diferenciación se explore con mayor detalle en la investigación de los procesos de compactación. Esto se consigue clasificando los suelos en función de las siguientes características.

2. **El modelo de consolidación.** El laboratorio emplea tres tipos distintos de técnicas de consolidación: consolidación por impacto, compactación por amasado y compactación mediante el uso de una fuerza estática. Esta categorización es bastante sencilla. Actualmente, basta con afirmar que los distintos métodos proporcionan resultados diferentes en cuanto a la estructura del suelo y, por tanto, a la calidad del material compactado. Es necesario aportar más información sobre estos procesos. Además, se está generalizando el uso de algunos equipos de laboratorio para la compactación por vibración, pero su uso no está tan extendido como el de las demás 2 formas accesibles.
3. Resulta relativamente complicado notar la diferencia entre los distintos métodos de compactación sobre el terreno. Normalmente, se definen en función del equipo mecánico utilizado en el proceso. Las palabras "compactación con rodillo liso", "compactación con rodillo neumático", "compactación con equipo vibratorio" y frases similares ejemplifican este patrón. Establecer una correlación definitiva entre las actividades de campo y los estudios de laboratorio puede resultar complicado. Esto se debe a la dificultad de reproducir con precisión en las pruebas de laboratorio todas las condiciones de la superficie que se dan en el campo durante la compactación. No obstante, los métodos de laboratorio pretenden reproducir las circunstancias del proceso sobre el terreno.
4. **La energía específica.** La fuerza específica de consolidación suele definirse



como la energía suministrada al suelo por unidad de volumen durante una actividad mecánica.

Cuando se realiza un ensayo de laboratorio en el que el suelo se comprime utilizando un pisón, es bastante sencillo calcular la energía específica. De hecho, está claro que en esta situación, la energía específica viene determinada por la expresión proporcionada.

$$E = \frac{N_n W_h}{V}$$

Donde:

E= Densidad de energía.

N = es la cantidad de golpes propinados por el apisonador de compactación por cada capa de tierra colocada en el molde de consolidación.

n = es la cantidad de capas que se colocan sistemáticamente para ocupar completamente la probeta

W = Peso del pisón compactador.

h = representa la distancia vertical a la que cae el pisón mientras ejerce impactos sobre la tierra.

V = representa el volumen total del molde de consolidación, que equivale a todo el volumen del suelo una vez comprimido.

En los experimentos de laboratorio que incluyen la aplicación de presión estática sobre un suelo compactado, la energía específica se puede calcular teniendo en cuenta una serie de criterios, entre ellos el tamaño del molde, el número



de capas de suelo, la presión que se aplica a cada capa y el tiempo durante el que se aplica el método. A pesar de ello, la valoración no es tan concluyente como lo sería en otras situaciones debido a las circunstancias especiales que se dan. Al mismo tiempo que la duración de la presión aplicada tiene un efecto sobre la energía específica, también lo tiene la deformabilidad del suelo.

Cuando el ensayo incluye el proceso de amasado, que es un tipo de compactación, encontrar la energía específica se hace mucho más difícil en comparación con los procedimientos que se utilizaban en el pasado. La razón de esto es que se utiliza un apisonador, que proporciona presiones crecientes desde cero hasta un valor máximo, para comprimir cada capa de tierra que está encerrada dentro del molde. Esto se hace aplicando un número determinado de aplicaciones de carga. Luego, el proceso se invierte cuando el suelo se libera de su confinamiento. Es por esto que se ha producido esta circunstancia. Aunque es difícil definir con precisión la energía de compactación, es posible cambiarla intencionadamente modificando elementos como la presión de apisonado, el número de capas, el número de aplicaciones de apisonado que se deben realizar en cada capa, el área del apisonador o el tamaño de la probeta. Estas modificaciones se pueden realizar para obtener el efecto deseado. Se pueden realizar modificaciones a estos ajustes de varias maneras diferentes. Cuando se acopla a los procesos de compactación del campo, el concepto de energía particular es capaz de mantener intacto su significado total y fundamental. En el caso del uso de rodillos, los elementos clave que influyen para determinar el resultado son la presión y la superficie de contacto que existe entre el rodillo y la superficie, el espesor de la capa a compactar y la cantidad de rodillos. pases que realiza el equipo. Tampoco es viable analizar la energía de consolidación en



términos absolutos en un caso determinado; pero, si se modifican las variables descritas anteriormente, es posible variarla, lo que dará como resultado que se logre en términos de contraste entre 2 trenes de operaciones únicas.

En las próximas páginas de este capítulo se ilustrará la influencia sustancial que tiene el nivel de energía de compactación en los resultados que se obtienen. Al compactar un suelo determinado utilizando una técnica concreta, la energía de compactación específica es un elemento significativo que tiene un impacto sustancial.

1. El contenido de agua, del suelo. Las investigaciones preliminares de Proctor revelaron que el contenido de líquido de la superficie que se consolida es un factor crucial en el proceso. Comprobó que, a medida que aumenta el contenido de agua, pueden alcanzarse pesos específicos secos más elevados para el elemento consolidado, hasta cierto punto. Sin embargo, más allá de este punto, los pesos específicos secos disminuyen. En términos más sencillos, Proctor demostró que existe un contenido óptimo de agua, conocido como contenido de agua de consolidación, que desarrolla el mayor peso volumétrico en seco posible para una superficie y un procedimiento de consolidación determinadas.

La cantidad de agua presente en este nivel es perfecta para la maquinaria y la cantidad de energía que se requieren para el proceso de compactación del suelo. El agua capilar se encuentra a menudo en suelos arcillosos finos cuando la cantidad de agua es más baja. Esto se debe a que el agua capilar está compuesta por moléculas de agua. Esto da como resultado la compresión de partículas individuales del suelo, lo que a su vez conduce a la formación de aglomeraciones que son difíciles de desmontar, lo que a su vez crea una dificultad para el proceso



de compactación del suelo. Una disminución de la tensión capilar, que se produce por la presencia de una mayor cantidad de agua, hace que las partículas se aglomeren, lo que en última instancia da como resultado un aumento en la eficiencia energética del proceso de compactación. Por el contrario, si la cantidad de agua es tal que hay una abundancia de agua no ligada, hasta el punto de que esencialmente ocupa todos los huecos del suelo, entonces se impide la compactación efectiva. Esto se debe a la incapacidad del agua para desplazarse inmediatamente como resultado de la fuerza mecánica ejercida. Esto es particularmente preciso en suelos con una textura más refinada. La cantidad de líquido en la superficie es otro factor crucial en el proceso de consolidación.

2. El sentido en que se recorra la escala de humedades al efectuar la consolidación. Este ingrediente concreto tiene una influencia sustancial en los ensayos de consolidación realizadas en el laboratorio. Normalmente, los resultados de estos ensayos se presentan mediante gráficos $Y_d - W$, que ilustran la conexión entre el peso volumétrico seco y el contenido de humedad. Las propiedades de estas curvas varían en función de si los ensayos se inician con un suelo primero árido y posteriormente hidratado, o si se parte de una superficie inicialmente húmedo que se va desecando en forma que progresa el ensayo. Las investigaciones experimentales demuestran que, en condiciones idénticas de suelo y agua, los pesos específicos secos son mayores en el primer caso que en el segundo. Este efecto es particularmente evidente en suelos poco profundos e impermeables con niveles de agua inferiores al umbral ideal. El fenómeno puede explicarse por el hecho de que, cuando se riega un suelo seco, el agua tiende a quedarse en los bordes exteriores de los terrones y tarda algún tiempo en penetrar en ellos. Por el contrario, cuando el suelo



húmedo se seca y el agua se evapora, la humedad de la superficie de los terrones es inferior a la de su interior, lo que hace que el contenido de agua de los terrones disminuya en comparación con la humedad interna del suelo. Los terrones de tierra que tienen la misma cantidad de contenido de humedad presentan condiciones distintas. En la primera situación, al añadir líquido, la presión capilar entre los terrones disminuye esto a causa del exceso de agua. En cambio, en la situación 2, la evaporación hace que los meniscos se desarrollen con mayor frecuencia. En el primer caso, la conexión entre los terrones será más débil, y la misma cantidad de energía utilizada para comprimir el suelo tendría un mayor impacto en comparación con la segunda situación.

En el razonamiento anterior influye naturalmente la duración del tiempo que transcurre entre la introducción del agua y la aplicación de la energía de compresión. Este fenómeno se produce porque un intervalo de tiempo más largo permite que el agua sea absorbida uniformemente por los agregados del suelo, lo que provoca una reducción de la humedad superficial y un aumento de las presiones capilares. Además, tanto la composición específica de la arcilla como la cantidad de sal presente influyen significativamente en el resultado final.

El procedimiento habitual en los laboratorios es empezar con un suelo que esté algo seco. A medida que avanza la prueba, se introduce agua en el suelo y se le da el tiempo suficiente (unas veinticuatro horas) para garantizar una distribución uniforme.

3. El contenido de agua original de la superficie. Durante la búsqueda de un contenido adecuado para la compactación, el término "contenido de agua



natural" se refiere al nivel de humedad del suelo antes de que se agregue o elimine humedad con el fin de comprimirlo. En el contexto de las operaciones de campo, el contenido inicial de agua del suelo tiene un doble efecto. En primer lugar, influye mucho en la respuesta del suelo a los equipos de compactación. En segundo lugar, juega un papel crucial en la predicción del comportamiento futuro de la masa compactada. También es recomendable buscar constantemente niveles de humedad orgánica que no se desvíen significativamente de las condiciones ideales para el proceso de consolidación que se utilizará. Esto se debe a que, por lo general, remojar o secar la tierra que se ha colocado en el sitio de construcción solo puede generar cambios menores.

El contenido de humedad de la superficie en operaciones de laboratorio tiene una clara influencia en la compactación lograda con una cierta cantidad de energía, particularmente cuando los niveles de humedad están por debajo del rango ideal. Esto es particularmente exacto cuando el suelo está densamente compactado justo después de la introducción del agua. Cuando se añade líquido a una superficie que previamente estaba seca, habrá una diferencia de humedad más significativa e instantánea entre el interior y el exterior de los terrones de tierra en comparación con otro suelo que inicialmente estaba más húmedo. En consecuencia, se espera que los pesos volumétricos secos sean $>$ cuando los contenidos iniciales de líquido de la superficie sean $<$. Para comprender este hecho es necesario estudiar la explicación ofrecida en el punto 5 de la página anterior.

4. La re compactación. En muchos laboratorios es práctica normal usar el mismo espécimen de superficie.



Estabilización de suelos

Durante el proceso de estudio, es frecuente que los ingenieros descubran que los suelos destinados a un determinado uso en un lugar concreto son inadecuados de alguna manera. Ante esta circunstancia, existen tres alternativas distintas para la toma de decisiones.

- El estado actual del material debe considerarse aceptable, pero el diseño debe tener en cuenta de forma realista la calidad del material.
- Elimine el material deficiente o deje de utilizarlo por completo y sustitúyalo por otro que tenga atributos más adecuados.
- Cambiar las cualidades del elemento existente para alcanzar criterios más estrictos.

La elección final conduce a la formulación de técnicas para el refuerzo del suelo. La estabilización hace referencia a las numerosas operaciones que pueden llevarse a cabo para optimizar las cualidades de las superficies, haciéndolos aptos para un fin determinado. La siguiente lista de operaciones no es exhaustiva, pero abarca los procedimientos más frecuentes:

- La estabilización se consigue mediante el uso de procedimientos mecánicos, siendo la compactación el método más destacado. Sin embargo, también suelen emplearse combinaciones de suelos.
- En este libro ya se ha tratado de forma exhaustiva y detallada el tema de la estabilidad por drenaje.
- La estabilización puede lograrse mediante el uso de técnicas eléctricas, siendo la electroósmosis y el uso de diferentes pilotes electrometálicos los enfoques



más reconocidos.

- Utilización del calor y la calcinación para lograr la estabilidad.
- La estabilización se consigue mediante el uso de procesos químicos, que a menudo incluyen el uso de elementos estabilizadores específicos como cemento, CaO, asfalto y demás compuestos similares.

Cada enfoque sólo es adecuado para una gama restringida de tipos de suelo debido a la considerable diversidad de los suelos y sus composiciones. En algunos casos, esta diversidad es evidente en unos pocos metros, mientras que en otros lo es en unos pocos kilómetros. No obstante, a veces es necesario integrar muchos tipos de suelo, a veces con variaciones significativas, para aplicar una técnica de forma económica. Por consiguiente, hay que renunciar a utilizar el proceso "óptimo" en cada clase.

Es importante reconocer que la estabilidad no es universalmente beneficiosa y que sus ventajas pueden variar según las circunstancias. Por lo tanto, es crucial considerar sistemáticamente las características que deben mejorarse, junto con la correlación entre los resultados deseados de estas mejoras y los recursos necesarios para conseguirlos. Para lograr la correcta implementación de la estabilización del suelo, es crucial encontrar meticulosamente un equilibrio armonioso entre estos factores.

CUALIDADES EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

A continuación, se indican las características de los suelos que suelen examinarse en el contexto de los problemas de estabilización: Además, es crucial considerar tanto la:



- Estabilidad volumétrica
- La resistencia.
- Accesibilidad del aire.
- La capacidad de compresión.
- Durabilidad.

A menudo es factible usar tratamientos que optimicen de mismo modo varias de estas características; sin embargo, también hay que estar preparado para descubrir tendencias contradictorias en la lista, que indiquen que la mejora de un atributo provocará el deterioro de otra u otras propiedades. La estabilización no debe verse sólo como una solución terapéutica, sino que algunas de las aplicaciones más eficaces de estos métodos sirven como medida preventiva frente a circunstancias desfavorables que pueden agravarse. Los párrafos siguientes ofrecen una visión sucinta de las características del suelo que tienen más probabilidades de mejorar mediante la estabilización.

A. ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

Típicamente, la palabra se utiliza para referirse a problemas conectados con superficies expansivas causados por variaciones de humedad, cambios estacionales o acciones del encargado. En lo que respecta a estos suelos, la estabilización ofrece a menudo una alternativa de tratamiento que difiere del uso de gas, capas permeables, infiltración de agua y otros procedimientos comparables, que constituyen la gama de acciones más frecuente. El proceso consiste en transformar la masa arcillosa en crecimiento en una masa rígida o en una masa granular, en la que las partículas están unidas por enlaces robustos capaces de



soportar las presiones internas causadas por la expansión. Este procedimiento se denomina transición de expansión. Para lograrlo, se utilizan tratamientos químicos o térmicos, que se detallarán más adelante en este capítulo. Las pruebas empíricas han demostrado que los factores económicos desempeñan un papel importante a la hora de hallar la eficiencia de los tratamientos químicos para las arcillas situadas en la superficie, mientras que los tratamientos térmicos son más adecuados para las arcillas situadas más abajo.

En muchos casos de tratamiento de capas superficiales de arcilla en expansión, lo más rentable es estabilizar sólo la zona superior de la capa hasta un determinado espesor. Esto será suficiente siempre que se ajuste adecuadamente la presión de expansión causada por el espesor no tratado. En pocas palabras, esto será suficiente.

B. RESISTENCIA

Varios enfoques estabilizadores han demostrado su utilidad para mejorar la resistividad de diversos tipos de suelos. Antes de continuar, es importante señalar que todas estas entidades parecen experimentar una notable disminución de su eficacia cuando hay una presencia sustancial de materia orgánica. Se trata de una situación desafortunada, ya que es bien sabido que los problemas más graves de deficiencia de resistencia se dan sobre todo en suelos orgánicos.

Aumentar la resistencia del suelo es un objetivo común del método de estabilización mecánica llamado compactación, que es esencialmente un tipo de estabilización mecánica. Por lo general, no se consiguen mayores valores de resistencia con mayores intensidades de compactación. Esto es especialmente cierto cuando se cuenta el requerimiento de mantener este estándar en niveles



adecuados durante períodos prolongados. Se puede conseguir un aumento de la resistencia mediante varias estrategias de estabilización, algunas de las cuales son muy comunes:

- Compactación.
- vibroflotación.
- Ahora tiene lugar el proceso de precarga.
- Drenaje es la frase adecuada.
- El uso de diversas mezclas de suelo para proporcionar estabilidad mecánica.
- El procedimiento de estabilización química implica el uso de cemento, cal y aditivos líquidos.

Todos ellos, salvo los dos últimos, se han tratado en este libro de una forma u otra. El calor se ha utilizado para la estabilización, aunque no es frecuente.

C. PERMEABILIDAD

La modificación de la permeabilidad de las formaciones del suelo puede lograrse fácilmente mediante procedimientos como la compactación, la inyección y otros métodos similares. La aplicación de defloculantes, como los polifosfatos, a materiales arcillosos puede disminuir significativamente la permeabilidad. Sin embargo, el uso de floculantes, a menudo hidróxido de cal de yeso, provoca un aumento en la medición de la permeabilidad. Actualmente, existen algunos compuestos que pueden inyectarse en la superficie en modelo de emulsión, lo que puede disminuir en gran medida la permeabilidad del suelo. No obstante, la aplicación de estos compuestos debe examinarse a fondo, ya que suelen tener



efectos perjudiciales en la resistencia al cizallamiento de los suelos.

Por lo general, a excepción de la estabilización mecánica, las maneras utilizadas para alterar la permeabilidad de las superficies difieren significativamente de los procedimientos utilizados para variar la estabilidad volumétrica del suelo o la resistencia al cizallamiento.

D. COMPRESIBILIDAD

La consolidación es un método de estabilización ampliamente utilizado que cambia en gran medida la compresibilidad de los suelos. Es crucial reconocer que la consolidación no es el único tipo de estabilización que influye en la compresibilidad. Ciertamente, puede decirse que cualquier método de estabilización influye en la compresibilidad.

E. DURABILIDAD

Por consiguiente, las cuestiones relativas a la durabilidad de las carreteras suelen estar estrechamente vinculadas a los suelos situados en las proximidades de la superficie de apoyo. Este concepto incluye a menudo factores relacionados con la capacidad de soportar la intemperie, la erosión o la abrasión causadas por el tráfico. Estas preocupaciones pueden alterar tanto a las superficies naturales como a las estabilizadas, estrictamente hablando. Sin embargo, cuando se trata de suelos estabilizados, los comportamientos más problemáticos suelen producirse debido a un diseño insuficiente, como una selección inadecuada del elemento estabilizador o un error significativo en su administración. Esta situación puede darse cuando alguien ignora la vulnerabilidad bien reconocida de las superficies arcillosas estabilizadas con hormigón a la presencia de sulfatos.



Actualmente, existe una escasez de criterios de campo o de laboratorio que puedan determinar definitivamente la resistencia de un suelo estabilizado. Este es uno de los principales factores que añaden gran complejidad al análisis de la idea de durabilidad, particularmente en términos cuantitativos. Sin embargo, hay muchos métodos de estabilización que están siendo ampliamente aceptados. Las tecnologías de estabilización química, como el uso de cemento, cal y asfalto, se utilizan cada vez más en todo el mundo para la construcción de carreteras, especialmente en el campo de la tecnología de pavimentos. Opone a procedimientos de estabilización mecánica que se han venido exigiendo en todo el mundo.

Algunas ideas en torno a identificación de suelos con fines de estabilización

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se usa ampliamente en la rama de la tecnología de carreteras terrestres para gestionar materiales. Sin embargo, es innegable que algunos aspectos de los suelos, concretamente aquellos relacionados con su composición química, a menudo se pasan por alto o no se les da suficiente importancia. Estas habilidades son especialmente importantes para abordar las dificultades de estabilización.

El sistema no examina plenamente muchos elementos importantes. Estos factores incluyen la composición mineralógica, la permeabilidad, la influencia de las condiciones locales como la temperatura o la vegetación, y la historia geológica previa, especialmente en lo que respecta a superficies finas. Por lo tanto, cuando se abordan cuestiones relacionadas con la estabilidad del suelo, a menudo es requerido ampliar la organización dada por el Sistema Unificado con detalles adicionales sobre estos componentes. De hecho, hay autores que han llevado estas tendencias al extremo, llegando incluso a desarrollar métodos específicos y



exhaustivos para categorizar los suelos, con el objetivo de hacerlos más estables. La introducción de un sistema de categorización de suelos podría causar confusión y socavar los beneficios de utilizar dicho sistema como marco compartido. Esto es cierto independientemente de si se logra o no una resolución más óptima de los problemas de estabilidad mediante el uso de un sistema de categorización especialmente diseñado para tales dificultades. La fuente de información o el punto de cita. Los autores de este libro reconocen que no respaldan la implementación de un esquema de organización para cada tema determinado, independientemente de su amplitud o utilidad potencial para ese tema en particular. En cambio, quieren un sistema diseñado para un uso generalizado, aun cuando reconocen que puede usarse de maneras que ellos desapruaban en algunas áreas. En el segundo ejemplo, argumentan que sería más eficiente mejorar el sistema de clasificación general incluyendo información que sea pertinente a las circunstancias específicas.

La Tabla 2, indica ciertas indicaciones en cuanto a posibilidades de estabilización de distintos elementos recurrentes.



Tabla 2

Dilemas comunes y posibilidades de estabilización de algunos suelos comunes

CLASE DE SUPERFICIE	PROBLEMAS Y MEDIOS DE ESTABILIZACIÓN COMUNES
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos arenosos. 	<p>Cuando la distribución granulométrica es uniforme, es posible obtener estabilidad mezclando distintos tipos de suelos. Las arenas limpias pueden mejorarse utilizando cemento o asfalto.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos limosos con algo de arcilla. 	<p>Normalmente, sólo son receptivos a los métodos de tratamiento baratos que utilizan la compactación.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos limosos con muy poca o ninguna arcilla. 	<p>No existe ninguna terapia que sea rentable. Debido al polvo que levantan al secarse, no deben utilizarse en superficies expuestas a la intemperie.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos arcillosos agrietados. 	<p>Responden a la estabilización</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Suelos arcillosos no agrietados y detextura abierta. 	<p>con cal. Responden muy bien</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Arcillas suaves 	<p>a la compactación.</p>
<p>Susceptibles a la estabilización con cal.</p>	

Nota: Lambe, T.W. y Whitman, R.V. (2009).

La estabilidad de las superficies se ve muy afectada por el hecho de que estén saturados o no, lo que acarrea importantes consecuencias. La cal es una solución eficaz para tratar suelos finos saturados, sin embargo, puede no ser apropiada para tratamientos con asfalto o emulsiones. La razón es que el asfalto puede no penetrar o adherirse eficazmente, mientras que las emulsiones podrían experimentar roturas incontroladas. Además, la resistencia obtenida mediante la estabilización con cemento suele ser menor en comparación con la obtenida mediante la estabilización de superficies más secas. En suelos finos no saturados, la adición de cal o cemento puede tener efectos tremendamente beneficiosos. Sin embargo, es igualmente importante asegurarse de que el agua se incorpora



uniformemente, al igual que el propio estabilizador.

CONCEPTO GENERAL DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

Los suelos de una zona específica pueden ser estabilizados si están sueltos o son muy compresibles, tienen índices de consistencia incorrectos, poseen una permeabilidad extremadamente alta o muestran cualquier otra cualidad que los haga inadecuados para su uso en un proyecto de construcción. Se pueden utilizar varios métodos para la estabilización:

1. Incrementar la densidad de la superficie
2. Añadir elementos para llevar a cabo un cambio químico y/o físico en la superficie.
3. Disminuir el nivel freático (drenaje del suelo)
4. Remover y/o reemplazar de las superficies malas.

Cualquier cambio de las características técnicas o físicas de una masa de tierra requiere una investigación exhaustiva de las soluciones económicas existentes, como considerar la reubicación en el emplazamiento actual o explorar otros emplazamientos. En la actualidad, la mayor parte de las zonas más solicitadas para el desarrollo en las proximidades de los centros urbanos ya han sido utilizadas, lo que hace potencialmente inviable la capitalización de cualquier otro emplazamiento. Entre los lugares que con frecuencia se destinan a la construcción figuran los que han quedado abandonados como vertederos, humedales, bahías, marismas, ciénagas, pendientes y otras regiones de escasa utilidad económica. Se prevé que esta tendencia persista y tal vez se intensifique en el futuro. Cuando todos los demás emplazamientos son inaccesibles o cuando las preocupaciones



medioambientales, la resistencia de la comunidad y las normas de zonificación restringen altamente las opciones al alcance, resulta crucial cambiar o controlar el suelo del emplazamiento para alcanzar las características deseadas. Las soluciones económicamente viables pueden.

Una comprensión exhaustiva del sistema de la tierra y de las cualidades mecánicas del suelo puede conducir a una aplicación exitosa de la construcción zonal en muchos escenarios, incluyendo presas de tierra, terraplenes, diques y otras áreas de relleno. Esto también es aplicable en escenarios en los que no se dispone de recursos en cantidades suficientes. Cuando es necesaria la estabilización, suelen utilizarse técnicas mecánicas o químicas; aunque, en ocasiones, también se han desplegado técnicas térmicas y eléctricas. El procedimiento de estabilización mecánica incorpora muchas técnicas propias de vibración, junto con el uso de explosivos.

Para modificar la resistencia del material, se introducen determinadas proporciones de hormigón portland o combinaciones de hormigón y cenizas finas. Los porcentajes pueden variar entre el 4% y el 8%, dependiendo del peso en seco del material. A menudo se utilizan procedimientos de compactación convencionales, que incluyen el ajuste de los porcentajes de las mezclas, para obtener curvas ideales de humedad-densidad. Luego, se realizan pruebas de consolidación sobre una colección de muestras que han sido consolidadas con los niveles de humedad más favorables (para conseguir el mayor peso unitario seco) y sometidas a lapsos de curado de 1, 2, 4 semanas.



Pruebas de laboratorio para construcción de pavimentos

Evaluación granulométrica

La distribución del tamaño de las partículas puede ser la cualidad más relevante de una superficie. El lenguaje común clasifica los suelos según el tamaño de sus partículas, incluyendo grava, arena, arcilla, limo y otros. La comprensión cuantitativa de la organización de la dimensión de las moléculas es crucial en el campo de la ingeniería. Una forma de hacerlo es adquiriendo conocimiento sobre la proporción de diferentes tamaños de partículas que existen en una determinada zona del suelo. Debido a su facilidad de medición, esta característica se utiliza a menudo en las organizaciones de superficies.

El ensayo implica hallar la cantidad de suelo deshidratado y fragmentado que se captura entre dos tamices consecutivos de una secuencia predefinida. Posteriormente, la proporción de la muestra que queda con respecto a la muestra total se calcula utilizando la masa de la porción retenida. Esto permite calcular el porcentaje de masa que puede pasar a través de cada tamiz a lo largo de la operación, que a menudo se expresa como una proporción una vez finalizado el procedimiento.

En cuanto a las capacidades de tamizado, los tamices con un diámetro de aproximadamente 0,070 milímetros representan el umbral. Para determinar la dimensión de las moléculas de arcilla y limo cuando son menores, es necesario recurrir a pruebas de tamaño de partículas de sedimentación. El desarrollo de separación de moléculas de arcilla y limo se vuelve más desafiante e incierto a medida que disminuyen los tamaños de las partículas. La curva granulométrica, que representa visualmente estas fracciones, se muestra en ejes semilogarítmicos. Los diámetros, denominados holgura de tamiz, se muestran en un eje x logarítmico,



mientras que los porcentajes de partículas que pasan a través de los tamices se representan en un eje y lineal. Esto se hace por razones pragmáticas. Un enfoque convencional es colocar las dimensiones más grandes a la izquierda, lo que da como resultado una curva con pendiente decreciente de izquierda a derecha. Por el contrario, las dimensiones más pequeñas a menudo se colocan a la derecha en determinadas situaciones.

La serie ASTM se utiliza ampliamente en todo el mundo. Los tamices de la serie fina se numeran en función de la cantidad de mallas por pulgada, mientras que los tamices de la serie gruesa se numeran en función de la holgura de malla en pulgadas. Por ejemplo, el tamiz n.º 40 significa que hay cuarenta aberturas por pulg². La relación de aberturas entre 2 tamices seguidos es:

$$\sqrt[4]{21} = 1,189$$

En términos de granulometría, lo que diferencia una superficie de otra no es sólo las dimensiones del suelo en sí, sino también el porcentaje de cada fracción que está presente en el suelo. Es posible determinar el origen probable del suelo mediante un examen directo de la curva granulométrica. Entre las características que determina la granulometría, podemos nombrar las siguientes:

- **La porosidad:** El suelo discontinuo, debido a su mayor contenido de aire por unidad de volumen, tiene una menor compacidad límite en comparación con otros tipos de suelo. Por lo tanto, la granulometría del suelo tiene un impacto directo en la densidad del mismo.
- **Debido a la granulometría y a la abundancia de partículas más pequeñas,** la permeabilidad del material es tal que, a pesar de una fracción significativa de



huecos, los espacios en sí pueden ser bastante reducidos. La permeabilidad del suelo está directamente influida por el tamaño de sus huecos, ya que es el factor determinante de la velocidad a la que el agua puede fluir a través del medio poroso. La disposición de los espacios vacíos en el interior de un suelo también está relacionada con el rendimiento del suelo cuando se utiliza como medio de filtración.

- **La resistencia al cizallamiento**, o ángulo de fricción interna, es la capacidad de los granos para resistir las presiones de cizallamiento interactuando entre sí. En esta capacidad influye sobre todo el tamaño de los granos, que es el factor intrínseco que afecta al ángulo de fricción. El otro componente primario es extrínseco, que es la presión que limita efectivamente, ya sea actual o pasada.

La curva granulométrica arroja dos indicadores significativos, a saber, el coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c). Estos indicadores son cruciales junto con la propia curva granulométrica. Ambos cálculos utilizan la variable D_x . Esta cantidad se define como el % de luz que se deja pasar a través del tamiz en relación con el X % del espécimen. El coeficiente de homogeneidad puede definirse del siguiente modo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Además, está íntimamente ligado al origen del suelo. Los suelos con bajas concentraciones de C_u presentan un alto grado de uniformidad en su granulometría. Las arenas de playa y las arenas eólicas son dos tipos de suelos con coeficientes de uniformidad inferiores a 2. Los suelos no uniformes podrían considerarse el otro extremo del espectro.



El coeficiente de curvatura se define y expresa como:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Refleja la curvatura de la curva granulométrica. En las superficies bien graduadas, este valor posee datos situados entre 1 y 3.

Límites de Atterberg

Plasticidad es el valor usado para describir la capacidad del suelo para moldearse sin fracturarse fácilmente. La palabra "moldeado" se refiere a un cambio permanente de forma que se induce y se fija. La flexibilidad de las arcillas es el resultado del comportamiento de los minerales que las componen. Estos minerales, junto con el líquido que contienen (agua adsorbida), tienen cargas eléctricas que dejan al sistema de la arcilla mantener su forma incluso bajo deformaciones importantes. Las arcillas se distinguen por su capacidad para ser moldeadas a gran escala.

La flexibilidad del suelo se rige por su contenido de humedad y la composición de sus partes arcillosas. En cuanto al contenido de líquido, es lógico considerar dos condiciones límite distintas: un suelo disuelto en agua y un suelo absolutamente desprovisto de humedad.

El primero muestra un desenvolvimiento ya no maleable sino viscoso, mientras que una superficie totalmente seca es frágil y carece de toda maleabilidad. Existe una amplia gama de situaciones que se sitúan entre estos dos extremos. La plasticidad no es una cualidad inherente al suelo, ya que depende de la humedad. Sin embargo, la humedad necesaria para alcanzar una determinada consistencia sí es una característica inherente al suelo.



Estos límites se utilizan para cuantificar la plasticidad de distintos materiales. El IP de la superficie viene determinada por la cantidad de humedad requerida para lograr 2 niveles específicos de consistencia. Dos de las limitaciones que se están discutiendo son el límite líquido y el límite plástico. El límite líquido se refiere al contenido de humedad en el que una determinada huella de suelo se cierra bajo una cantidad específica de energía, y el límite plástico se refiere al contenido de humedad en el que rollos delgados o barras de suelo comienzan a romperse cuando se intenta amasarlos. 1911 fue el año en que el agrónomo sueco Atterberg impuso estos límites. Para determinar el límite líquido se utiliza el contenido de humedad, con un valor de cohesión correspondiente de unos 2 kPa. En 1932, Casagrande propuso la normalización de su medición. Casagrande se encargó de fabricar un dispositivo, conocido como cuchara Casagrande, diseñado para realizar mecánicamente la prueba sugerida por Atterberg.

El umbral se define como el nivel de humedad del suelo en el que una ranura en el suelo, de 2 milímetros de anchura, se cierra completamente en una distancia de 13 milímetros tras dejar caer una cuchara 25 veces desde una altura de 10 milímetros. Si el contenido de humedad supera este umbral, el suelo mostraría un comportamiento fluido, dada la oportunidad.

Por el contrario, el límite plástico corresponde al contenido de humedad, por lo que la cohesión entre ambos es de unos 200 kPa. El contenido de humedad de la superficie se considera el nivel de líquido a partir del cual resulta difícil moldear la tierra en cilindros de unos tres milímetros de diámetro sin que se rompan. Este umbral se determina de forma subjetiva. Si el contenido de humedad cae por debajo de un determinado nivel, no habría signos observables de plasticidad en el suelo. Desde mediados del siglo XX, las pruebas mencionadas se han utilizado



sistemáticamente. Por ende, tienen una gran utilidad. No obstante, tienen el inconveniente de ser a mano y de requerir un esfuerzo especializado considerable.

En la actualidad, se han creado otras pruebas que se basan en actividades mecánicas. Un ejemplo de este fenómeno puede observarse cuando un suelo con cierto nivel de humedad retiene su huella después de soltar un cono estándar sobre su superficie. Estos exámenes se están adoptando actualmente en varios países, y es probable que en un futuro próximo aumente su prevalencia.

El (LL) y plástico (LP) pueden utilizarse para obtener tres índices útiles para la investigación del suelo. Se trata del (IP), el (Ic) y el (If):

$$IP = LL - LP$$

Tanto el índice de consistencia como el índice de fluidez tienen un valor de 0 para la humedad del borde plástico y un valor de 1 para la humedad del límite líquido. El índice de consistencia es 0 para la humedad de frontera líquida, pero el índice de fluidez es 1 para la humedad de frontera plástica.

Prueba de abrasión por medio de la maquina de losangeles. (Documento Referencial ASTM C-131 y ASTM C-535)

La máquina de Los Ángeles emplea esferas de acero que giran con el agregado a una velocidad de 33 revoluciones por seg durante 15 o 30 minutos, dependiendo del tamaño de la grava. Esta prueba de abrasión evalúa la capacidad del agregado para soportar el desgaste mecánico o físico. Esto se logra induciendo la desintegración de la sustancia. Durante todo el proceso de fabricación, colocación y consolidación de las obras de pavimentación, así como durante toda la vida útil del pavimento, es crucial que los agregados tengan la capacidad de soportar el desgaste y la degradación de manera irreversible. Debido a las



condiciones de tensión-deformación, el peso de la rueda se transmite al pavimento a través del neumático como una presión vertical uniformemente alta. Las tensiones de carga se distribuyen por toda la estructura del pavimento, siendo la superficie la que soporta la mayor intensidad y la subrasante la que soporta la menor intensidad.

Por lo tanto, los aditivos utilizados en las etapas inferiores de la construcción de la vía, como la subbase, necesitan una mayor durabilidad en comparación con los agregados utilizados sobre la superficie o en las proximidades de esta, como los materiales de base y el aglutinante asfáltico. Esto se debe a que las capas superficiales experimentan los niveles más altos de estrés y desgaste debido a las cargas del tránsito. De otra forma, los aditivos tienen la capacidad de transmitir tensiones a través de los sitios de contacto, que son regiones específicas donde se aplican fuerzas sustanciales.

El ensayo de desgaste de Los Ángeles mide la resistencia de los puntos de contacto de los agregados al desgaste y/o la abrasión. Esta prueba sigue la norma ASTM C-131 para agregados de menos de 1 ½" y ASTM C-535 para agregados de más de ¾". Se utilizan para determinar la resiliencia del agregado.

A. OBJETIVO

La máquina Angels se utiliza en esta metodología para cuantificar el grado de erosión en áridos con dimensiones inferiores a 37,5 mm (1 ½") y áridos gruesos con dimensiones superiores a 19 mm (3/4").

B. MATERIAL Y CARGA ABRASIVA A USAR

La cantidad de insumo a probar y la cantidad de esferas a añadir dependen de la granulometría del aditivo grueso.

Tabla 3

Peso de agregado y N° de esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½", ASTM

C 131

MÉTODO		A		B		C		D	
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)							
Pa	Retenido								
sa	do								
1	1"								
½"	¾"	1 250 ± 25							
1"	½"	1 250 ± 25							
¾"	3/8"	1 250 ± 10		2 500 ± 10					
½"	¼"	1 250 ± 10		2 500 ± 10		2 500 ± 10			
3/8"	Nº4					2 500 ± 10			
8"	Nº8					2 500 ± 10			
Nº4									
Nº8									
4									
PESO TOTAL		5	1	5	1	5	1	5	1
		00	0	00	0	00	0	00	0
		0		0		0		0	
Nº de esferas		1		1		8		6	
		2		1					
Nº de revoluciones		5		5		5		5	
		0		0		0		0	
		0		0		0		0	
Tiempo de rotación, min.		1		1		1		1	
		5		5		5		5	

Nota: ASSHTO.

En los cuadros 3 y 4 se muestra la metodología que debe utilizarse, junto con la cantidad de elemento, la cantidad de esferas, la cantidad de rotaciones y la duración de la rotación de cada una de ellas. Para llevar a cabo este procedimiento con eficacia, la gradación utilizada debe reflejar con exactitud la gradación de partida del material dado.

Tabla 4

Peso de agregado y N° de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores

A 3/4", ASTM C-535

MÉTODO		1	2	3
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)		
Pasas	Retenido			
	3"	2 500 ± 50		
	2 ½"	2 500 ± 50		
	2"	5 000 ± 50	5 000 ± 50	
	1 ½"		5 000 ± 25	5 000 ± 25
	1"			5 000 ± 25
	¾"			
PESO TOTAL		10 000	100 75	10 000 50
N° de esferas		1	1	1
N° de revoluciones		2	2	2
Tiempo de rotación, min.		1 000	1 000	1 000
		3 0	3 0	3 0

Nota: ASSHTO

C. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Es necesario identificar la muestra que se ha recibido en el laboratorio. Las muestras tienen un tamaño máximo inferior a 1 ½ pulgadas o superior a ¾ pulgadas.
2. El elemento debe lavarse y secarse en un horno mantenido a una temperatura constante de 105-110 grados centígrados. Después, el material debe tamizarse utilizando los tamaños de malla especificados. Combinar las cantidades según el proceso prescrito.
3. La muestra debe medirse con una precisión de 1 gramo y 5 gramos, basándose en las dimensiones máximas de 1 ½ pulgadas y ¾ pulgadas, respectivamente.
4. Una vez que la muestra de ensayo y la carga abrasiva estén colocadas dentro de la máquina Los Ángeles, asegúrese de que la tapa del cilindro esté cerrada.



5. Activar la máquina mientras se modifica el número de vueltas según lo indicado por el algoritmo.
6. Una vez finalizado el tiempo de giro, se retiran las cargas y el material de la máquina. La sustancia pasa a través de un filtro con una abertura de malla de 12.
7. El material que permanece en el tamiz N-12 se somete a un proceso de lavado y, a continuación, se seca en un horno a una T° constante que oscila entre 105 y 110 grados Celsius. Determine el peso de la muestra deshidratada.

CUALIDADES DE UNIDADES ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS

En la fabricación de los componentes utilizados en la ciudad de Puno se emplean diversas formas. Estos componentes han sido meticulosamente contruidos a mano, prescindiendo de las técnicas de fabricación que suelen emplearse para esta clase de agentes.

CUALIDADES FÍSICAS

1. RESISTENCIA AL IMPACTO:

Esta clase de pavimento tiene una gran resistencia a las fuerzas de impacto causadas por la caída accidental de objetos sobre él. El pavimento es capaz de soportar el impacto de una bola de un kilogramo lanzada desde una altura de más de 400, 500 o 600 milímetros, dependiendo de la categoría específica.

2. RESISTENCIA Y REACCIÓN AL FUEGO:

Los adoquines de hormigón, al carecer de componentes biológicos, tienen una elevada resistencia al fuego y no son reactivos al fuego. En consecuencia, son



una opción magnífica para uso interior en zonas con ventilación adecuada. Según las normas, este tipo de pavimento está clasificado como de Clase A1 de resistencia al fuego, y no se requieren más pruebas para confirmarlo. Esta condición es válida siempre que no se le apliquen otras sustancias, como hidrofugantes. Si esta no es la situación, habrá que recurrir a alguna clase de examen.

3. FACILIDAD DE MANTENIMIENTO:

Una vez selladas las juntas del pavimento, se forma una superficie sin juntas que impide la acumulación de agua o residuos en cualquier parte del pavimento.

4. ANTIDESLIZAMIENTO:

Tienen un importante nivel de tracción. Existe una fuerte correlación entre la correcta implementación de un pavimento y su óptimo desempeño. Adicionalmente, las características de la estructura de soporte (como las losas) y la disposición adecuada de las juntas para absorber los movimientos causados por los efectos de la temperatura y las deformaciones inducidas por la carga también son factores importantes para determinar el mejor desempeño de un pavimento. Además, la correcta ejecución depende de los atributos del soporte.

ELABORACIÓN

1. MATERIAS PRIMAS

El fabricante determina los números de las siguientes materias primas utilizadas en la fabricación de adoquines de hormigón terrazo.

- La sustancia en cuestión es el agua.
- Materiales de textura más refinada.



- Se utilizan áridos gruesos.
- La palabra "aditivos" se refiere a las sustancias que se añaden a un producto para mejorar sus propiedades o prestaciones.

2. DOSIFICACIÓN Y AMASADO

Los cementos se fabrican mediante procesos mecánicos precisos que proporcionan una homogeneidad óptima debido a los diferentes métodos de dosificación de cada materia prima. La cuantificación del agua se lleva a cabo mediante el uso de un enfoque volumétrico, que depende de la etapa de producción. Se incluye una cantidad suficiente de pasta en la capa visible, lo que permite que la pasta se distribuya en el molde de manera adecuada durante la fase de vibración sin exceder la cantidad necesaria. Por el contrario, la capa que es de naturaleza opuesta contiene una cantidad suficiente de humedad para crear un equilibrio adecuado durante la etapa de prensado. Esto se debe a que la capa es de naturaleza opuesta. Se recomienda que la proporción de agregado que se va a colocar en la superficie visible esté entre el cincuenta y el setenta y cinco por ciento del peso total de los ingredientes secos. El mortero utilizado para la cara visible debe tener siempre un volumen igual o superior a los huecos entre los granos de árido. Este es un requisito previo indispensable sin excepción.

El uso excesivo de áridos da como resultado una cobertura inadecuada de los huecos entre los granos de árido utilizados por el mortero. Como consecuencia, el proceso de pulido del terrazo conduce a la creación de grandes hormigueros que son fácilmente visibles. Además, en el caso de que la energía de consolidación ejercida por la prensa supere la resiliencia del árido, éste se fracturaría, acentuando así el defecto mencionado anteriormente.



El proceso de mezclado comienza una vez decidida la distribución de la dosis deseada para el terrazo. El procedimiento se lleva a cabo mediante mezcladoras de eje vertical, especialmente diseñadas para conseguir una mezcla homogénea y uniforme de la masa sin burbujas de aire. Asegurar la igualdad de la masa es crucial durante todo el proceso de descarga de la mezcladora.

Para asegurar una plasticidad constante de la masa, es importante incluir agua en el proceso de mezclado. Las paletas o álabes utilizados en las mezcladoras a contracorriente están especialmente diseñados para eliminar cualquier espacio vacío en el fondo o en las paredes del equipo. Ajustar el tiempo de mezclado es esencial para lograr una combinación uniforme.

3. VIBROPRENSADO

Durante esta etapa del proceso de producción, el componente se define con precisión en cuanto a sus dimensiones y otros aspectos geométricos. Es la primera etapa del proceso de fabricación. Posteriormente, hay muchas etapas en las que el elemento encerrado en el interior del molde se somete a vibración. Esto garantiza la distribución uniforme de la pasta dentro del molde, sin inclusión de burbujas de aire. En consecuencia, se evita la posibilidad de que se formen poros debido a la salida de aire.

Al realizar el cálculo de vibración, es fundamental observar las siguientes precauciones de seguridad:

La correcta nivelación de los moldes de la prensa y del sistema vibratorio es crucial para evitar la acumulación de áridos, mortero o ambos en cualquier rincón de los moldes durante la operación. Para evitar la segregación, es crucial que el molde se llene a mano con cantidades iguales de pasta blanca o de pasta cara



vista. El dispensador automático es el equipo más empleado para este trabajo, ya que mezcla y dispensa las dosis de forma consistente.

Cuando se utiliza árido grueso, es importante colocar primero el propio árido y asegurarse de que está bien limpio de polvo antes de utilizarlo. A continuación, se aplica el mortero de hormigón. Esto se hace para regular el nivel de espesor que alcanzan los áridos. Esta precaución se utiliza para evitar la formación de una zona vulnerable en la baldosa, ya que más allá del límite podría comprometer su integridad estructural. Por lo tanto, es crucial mantener un control estricto sobre esta dimensión.

A medida que la pasta blanca se asienta, las fuerzas de inercia y fricción entre las partículas se unen para crear un estado de equilibrio. Este equilibrio se logra durante el proceso de sedimentación. Para lograr una sedimentación ideal, es necesario reducir la viscosidad, lo que dará como resultado una reducción de la fricción, al mismo tiempo que se evita un aumento en la cantidad de agua presente. Para lograr este objetivo, se necesita tanto la reducción de los componentes intangibles del polvo de mármol como la aplicación de la vibración adecuada a la probeta. La viscosidad aumenta cuando hay una cantidad excesiva de cemento.

El uso óptimo de la vibración se produce cuando se aplica en dos fases con amplitudes variables: la primera fase funciona a una frecuencia de cincuenta ciclos por segundo, y su objetivo es distribuir uniformemente y afinar la pasta dentro del molde. La segunda fase opera a una frecuencia de cien ciclos por segundo, con el objetivo de superar la fricción y lograr la estabilización total. Es lógico que cada fabricante de máquinas disponga de su propia tecnología, lo que le permite ajustar tanto la cantidad de estaciones como la cantidad de ciclos ejecutados en cada



estación.

- Una vez que se ha formado una pequeña capa de líquido en el suelo de la pasta, el proceso de fraguado ha finalizado. En consecuencia, se obtiene
- Una dispersión uniforme del granulado.
- Una disminución gradual y constante del nivel de la pasta.
- La disminución de la cantidad de burbujas de aire que ahora están presentes. Un espesor constante en toda la superficie.

Otra estación de la mesa está destinada a verter el mortero en el otro lado de la mesa. Para garantizar un espesor uniforme y evitar cualquier defecto inherente que pudiera afectar significativamente a las fases de producción posteriores, es imperativo garantizar una distribución uniforme del mortero por toda la superficie del material, llenando el molde total o parcialmente.

El último paso es la compresión del material, que debe llevarse a cabo en dos etapas: la primera compresión debe realizarse a una presión de unos 5 MPa, seguida de una segunda compresión a una presión de 16 MPa. La compresión se lleva a cabo dentro de un rango de presión de 16 a 18 MPa, seleccionándose el nivel de presión específico en función de las dimensiones de los moldes. El procedimiento de precompresión se realiza a una presión de 5 megapascales (MPa). La precompresión desempeña un papel crucial no sólo para evitar defectos de adherencia en el borde inferior del molde, sino también para garantizar que el terrazo se produzca exactamente según las especificaciones.

El prensado debe ser como mínimo de 6 a 5 seg, y la vibración debe estar presente en todas las estaciones. Cuando se trata de vibración, se da un tiempo



determinado para que la pasta se asiente correctamente. Del mismo modo, al prensar, se da un tiempo determinado para que el exceso de agua se transfiera de la pasta blanca al mortero invertido. Esto garantiza la formación precisa del terrazo, especialmente en sus bordes. Independientemente de las circunstancias, es fundamental dejar espacio suficiente para que salgan las burbujas de aire. Finalmente, hay que retirar el elemento del molde, que es el último proceso. Este proceso puede realizarse manual o mecánicamente, según las circunstancias.

4. CURADO

Este proceso implica permitir que el componente se someta al proceso de endurecimiento, necesario para que adquiera la resistencia suficiente para ser colocado sin cambios y aguantar las futuras presiones a las que se verá sometido. El terrazo debe permanecer constantemente húmedo hasta su pulido. Se trata de una necesidad básica. Es aconsejable humedecer el terrazo unas ocho horas después de haber sido prensado, una vez que se ha producido el primer endurecimiento y el terrazo aún se encuentra en estado fresco. Debido a que el cemento es un componente crucial, es necesario tener en cuenta que debe pasar por un proceso de hidratación adecuado para obtener las cualidades necesarias. El proceso de curado es de suma importancia, ya que tiene una influencia considerable en la calidad del terrazo, así como en su dureza final antes de su acabado. Además, es un factor que se tiene en cuenta a la hora de calcular la cantidad de tiempo que se requiere para el proceso de pulido. El proceso de curado de los adoquines de hormigón puede utilizar técnicas naturales o artificiales, según las circunstancias, dependiendo de los recursos de que disponga cada fabricante.

Durante el proceso de secado natural, se permite que el material se



autoendurezca sin someterlo a ningún tipo de tratamiento. Es fundamental evitar las corrientes de aire, las bajas T° , la sequedad atmosférica y las oscilaciones imprevistas de T° . Garantizar y mantener una cantidad óptima de humedad es crucial. De este modo, el producto queda totalmente curado. Control de calidad. Las fuerzas mecánicas provocan resistencia. Se prepara una probeta de mortero de cemento de 4x4x16 cm utilizando una proporción de peso de 1:3:0,5. Para conseguir la consistencia deseada, se mezclan inicialmente el cemento y el agua y se amasan lentamente durante 30 segundos. A continuación, se añade la arena mientras se sigue amasando lentamente durante otros 30 segundos. A continuación, se aumenta la velocidad de mezcla a un amasado rápido durante 90 segundos, seguido de una pausa de 90 segundos. Por último, se realiza un amasado rápido durante 60 segundos para completar el proceso.

Para garantizar una compactación adecuada del hormigón, es necesario verterlo en dos capas, sometiendo cada una de ellas a sesenta impactos. Además, una vez transcurridas veinticuatro horas, el hormigón puede sacarse del molde y sumergirse en agua hasta el punto en que se fracture. Los moldes se someten a una prueba de flexión y a otra de compresión, y el dato obtenidos de la prueba se determina como la media de seis medidas de resistencia a la consolidación tomadas en un conjunto de tres prismas. Si hay una discrepancia de más del diez por ciento entre cualquiera de los resultados, se ignora ese resultado específico y se calcula la media de los cinco restantes. Si hay muchos datos obtenidos contradictorios, se descarta toda la muestra.

Identificación de los intervalos de tiempo durante los cuales el volumen permanece constante - En una balanza, se miden y pesan individualmente una cantidad específica de agua, como 125 gramos, y 500 gramos de cemento, con una



precisión de ± 1 gramo. Al cuantificar el volumen de agua mediante una bureta o una probeta graduada, es fundamental garantizar que la medición sea precisa dentro de una tolerancia de ± 1 mililitro. Esta mezcladora se utiliza para ejecutar un procedimiento de mezcla mecánica en cada lote de pasta de cemento. El período durante el cual se activa y desactiva la mezcladora se conoce como la duración de las diversas fases de mezcla. Es aconsejable mantener la mezcladora en funcionamiento durante unos dos segundos.

Con la amasadora en posición de operabilidad:

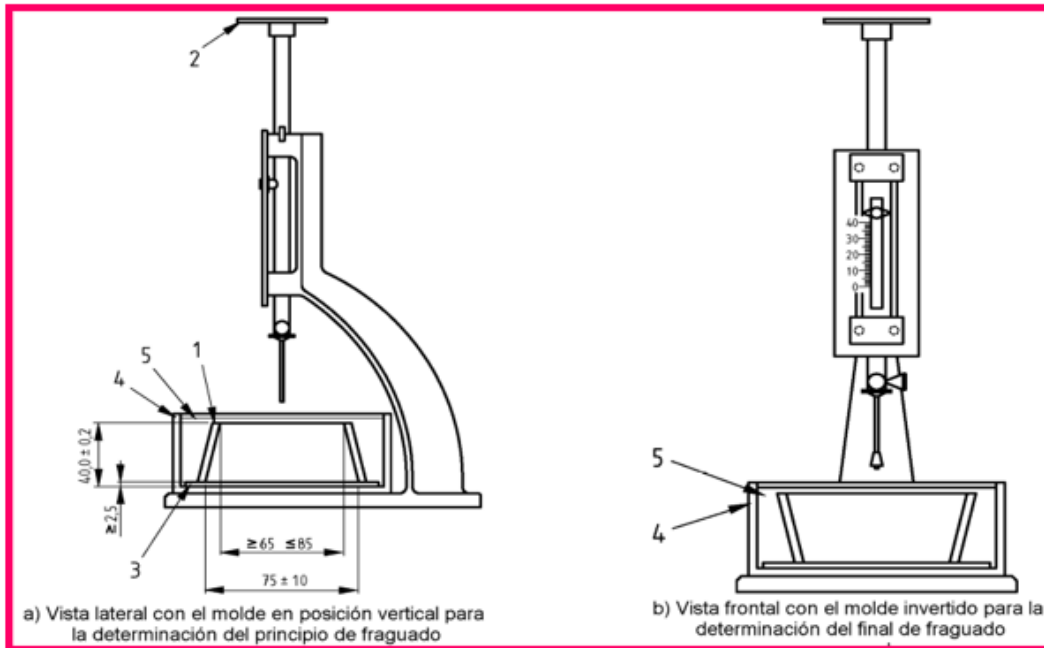
- a) El líquido y el hormigón se combinan en la cubeta, y la operación se completa en unos 10 segundos. Se utilizan medidas precisas para evitar cualquier pérdida de agua o cemento durante todo el procedimiento.
- b) Se inicia rápidamente el proceso de mezclado accionando la mezcladora a una velocidad modesta mientras comienzan los intervalos entre cada fase. Además, el tiempo designado como tiempo cero corresponde al punto más cercano al minuto exacto.
- c) Transcurridos noventa segundos, la amasadora se detiene durante treinta segundos. En esta fase, la masa que se haya adherido a las paredes y al fondo del recipiente se retira con una rasqueta de plástico o caucho diseñada específicamente para este fin, y se sitúa en el centro del recipiente.
- d) Se vuelve a poner en marcha la amasadora a velocidad moderada durante noventa segundos más. La duración recomendada para el amasado es de tres minutos en total.

Tras cuatro minutos de amasado, se introduce una sonda de diez milímetros

de diámetro en la pasta hasta una profundidad de treinta y cuatro milímetros en el dispositivo Vicat.

Figura 1

Aparato de vicat



Nota: PEEK, Ralph, E. HANSON, Walter y H. THORNBURN, Thomas. (2002)

Veamos la inserción de una aguja mediante el dispositivo Vicat que hemos venido utilizando. Para ello, se calcula la duración partiendo del punto en que se amasa una pasta de textura consistente hasta que la aguja alcanza una profundidad de 36 milímetros y se continúa hasta que se produce una penetración de 0,5 milímetros.

Por último, Para determinar la estabilidad del volumen se utiliza una técnica conocida como método Le Chatelier, que utiliza dos agujas. Una vez que los recipientes de las agujas se han llenado con una pasta que tiene un estándar consistente, se colocan en una cámara húmeda que tiene una temperatura de 20 grados centígrados y una humedad relativa del 98% durante un período de



veinticuatro horas. Este proceso se repite hasta obtener los resultados deseados.

El siguiente paso es determinar la distancia que separa las dos puntas de la aguja, con lo que se obtiene una primera medición. Posteriormente, las agujas se someten a un proceso de ebullición de tres horas, con lo que se obtiene una medición secundaria. Según esta definición, la dilatación se refiere a la disparidad entre las dos mediciones. Deben tomarse dos decisiones. La medición de la densidad y el contenido de humedad del árido fino. En primer lugar, es crucial poseer una comprensión global de las magnitudes que estamos manejando. Esto puede conseguirse midiendo el peso tanto de la grava como de la arena, junto con la masa de un espécimen empapada con una superficie seca. Por esto, utilizaremos diversas metodologías.

Cuando se trate de gravas, utilizaremos la balanza hidrostática para medir el peso de la muestra dos veces: una vez mientras la muestra está en el aire, y otra cuando el espécimen está sumergida en agua. El volumen puede determinarse dividiendo la discrepancia entre las dos cantidades por la densidad del líquido.

Tabla 5

Grados de pH del agua

pH	GRADO
11 a 14	Muy básica
9 a 10	Básica
8	Moderadamente básica
7	Neutra
5 a 6	Moderadamente ácida
4	Ácida
1 a 3	Muy ácida

Nota: CARRASCO ORTIZ, S., DEL TERREZO, M. (2012).



Determinación del pH y contenido del agua Antes de proceder, es imprescindible determinar el nivel de pH del líquido, que debe ser igual o superior a 5. Por esto, comenzaremos sumergiendo papel indicador en la muestra de agua, seguidamente retiramos el exceso de líquido y luego, tras un tiempo de quince a treinta segundos, compararemos los resultados con la escala de colores proporcionada por el fabricante. Casos como el que se describe a continuación son factibles:

Un análisis del agua para determinar la presencia de sulfatos. Para este experimento específico, transferiremos con cuidado un volumen de 100 centímetros cúbicos a un vaso de precipitados con una capacidad total de 200 centímetros cúbicos. Si el pH es superior a 7, se utilizará ácido clorhídrico para bajarlo. Posteriormente procederemos a elevar la temperatura del agua, mientras simultáneamente preparamos una solución de cloruro de bario de 10 centímetros cúbicos en un recipiente de vidrio con capacidad de 50 centímetros cúbicos. Una vez que el agua alcance su punto de ebullición, introduciremos en ella el cloruro de bario mientras la agitamos con una varilla. Un desarrollo de precipitado blanco indica la existencia de sulfatos en el material. La evaluación del agua para determinar la presencia de cloruros. Para realizar esta prueba mezclaremos 15 cm³ de agua con nitrato de plata. La formación de un precipitado blanco confirmará la presencia de cloruros en la solución.

Comenzaremos añadiendo una solución alcohólica que contiene α -naftol a un tubo de ensayo que contiene 15 centímetros cúbicos de agua. A continuación, añadiremos ácido sulfúrico potente. Esto nos permitirá determinar la existencia o ausencia de carbohidratos en el líquido. Se desarrollará un anillo violeta en la interfaz entre el líquido y el ácido sulfúrico, lo que indica la existencia o ausencia de



sacarosa en el líquido.

Realización de análisis de agua para determinar la presencia o ausencia de sustancias orgánicas. Signo de exclamación Después de verter 50 cc de agua en un vaso con capacidad para 100 cc, se procede a rallar una pastilla de alcanfor. Las partículas de alcanfor permanecerán estacionarias en presencia de grasa o aceite en el agua, pero girarán sobre la superficie del agua si está limpia.

Control de calidad del agente

El control de calidad en fábrica nos importa especialmente porque es la norma que se sigue para conceder el sello de calidad. Implica pruebas iniciales de tipo y pruebas agregados en caso de variables en el proceso de elaboración de adoquines de hormigón, como cambios en la grava o el cemento. Además, es necesario que mantengan rigurosas medidas de control de calidad tanto de las materias primas como del sistema de producción, lo que incluye garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

El sello de calidad realiza un ensayo de tipo sobre las baldosas y también realiza una auditoría, que evalúa el laboratorio de control de calidad de la fábrica y el sistema de almacenamiento tanto de materias primas como de producto terminado, así como la realización de inspecciones anuales tras la concesión del sello, éste sigue concediéndose.

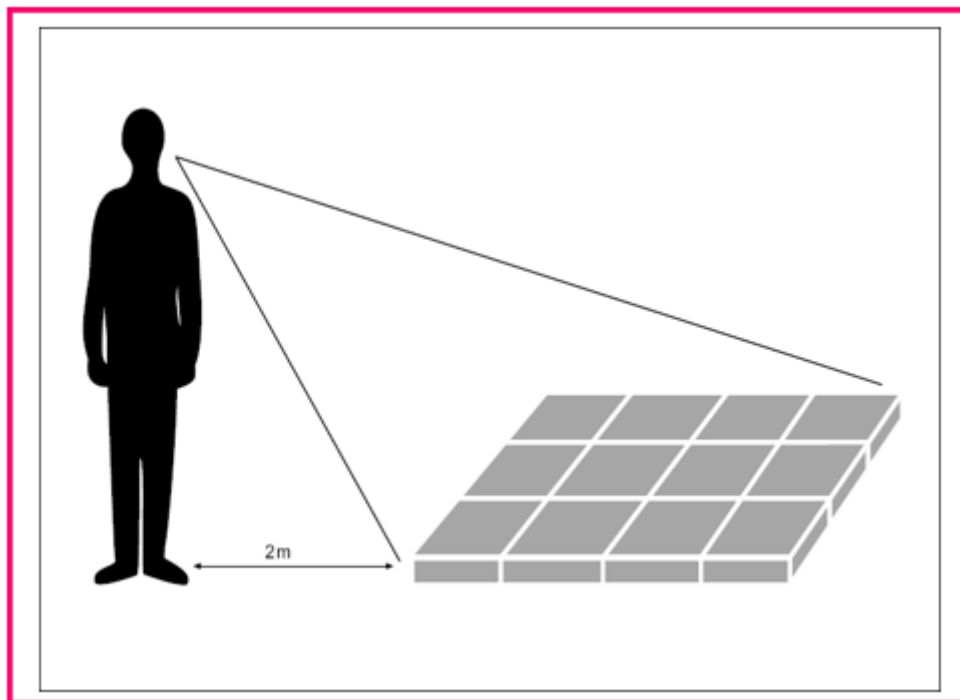
COMPROBACIÓN VISUAL Y DIMENSIONAL

El método más sencillo consiste en disponer los especímenes en la superficie en forma de cuadrado. En situaciones comunes y durante el día, un observador debe situarse a dos metros de distancia a cada lado del cuadrado. El observador debe inspeccionar el revestimiento de las baldosas bicapa para detectar

posibles fracturas o descamaciones, y asegurarse de que no se produzcan cambios perceptibles de color.

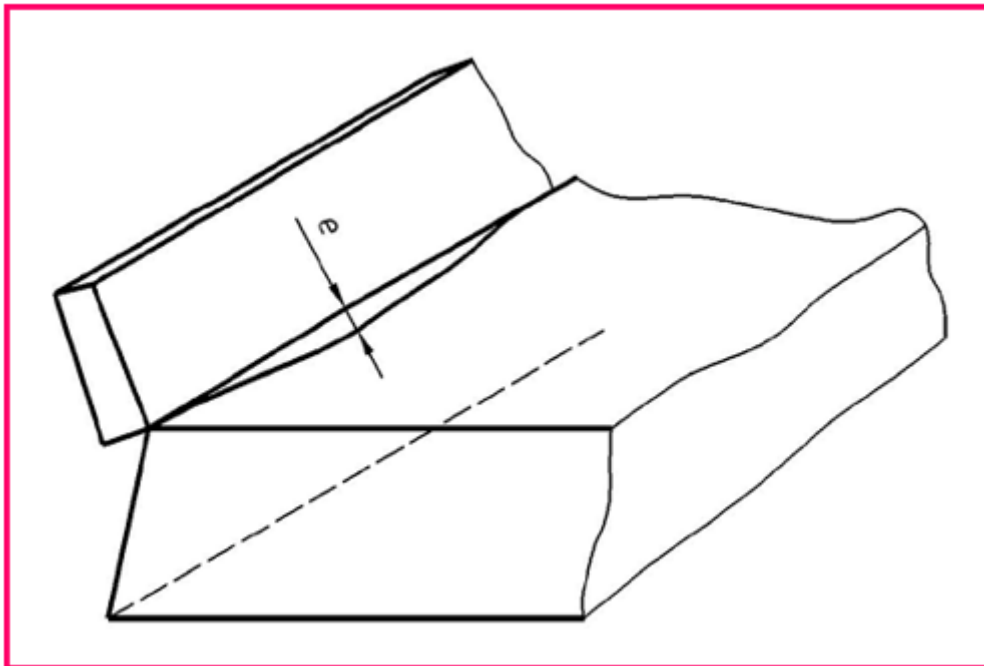
Figura 2

Ensayo de aspectos visuales



Nota: PEEK, Ralph, E. HANSON, Walter y H. THORNBURN, Thomas. (2002).

- **Forma y dimensiones.** - Utilizando una regla con una precisión de 0,5 mm y un calibre capaz de medir 0,1 mm, podemos examinar a fondo los bordes. Durante el examen, utilizaremos primero la regla para determinar la longitud del lado y, a continuación, el calibre para medir la distancia máxima entre la regla y el borde. Esto nos permitirá determinar la rectitud de la regla de acuerdo con las restricciones definidas.

Figura 3*Ensayo de forma*

Nota: PEEK, Ralph, E. HANSON, Walter y H. THORNBURN, Thomas. (2002)

Una vez tomadas las medidas de las dos diagonales y confirmada la distancia de la regla a la superficie plana del adoquín, es necesario seguir un procedimiento similar para evaluar la regularidad de la superficie expuesta. Además, es imprescindible documentar todas las mediciones.

Pruebas físicas y mecánicas

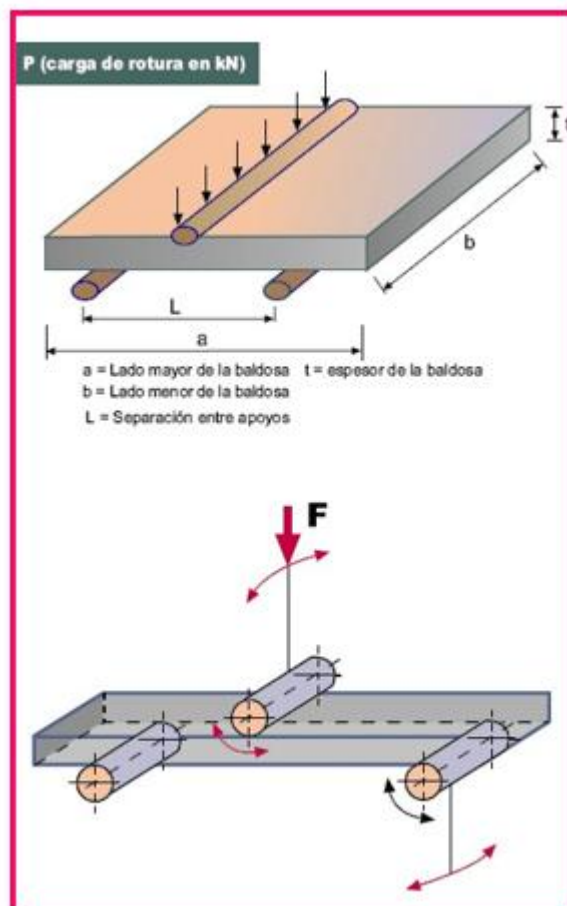
Una evaluación del peso de rotura y la resistencia a la flexión del material. Para evaluar la durabilidad mecánica del adoquín, éste se somete a una secuencia de pasos. En primer lugar, se somete a flexión hasta que se rompe. A continuación, se coloca sobre rodillos. Por último, se aplica una carga a la cara expuesta del bloque.

Para evitar la torsión durante la prueba, es necesario girar los apoyos inferiores o la barra de carga. Es esencial dimensionar el peso de rotura de las

baldosas en kilonewtons y hallar su módulo de flexión en megapascales. La estructura de esta investigación se muestra en la siguiente imagen.

Figura 4

Sistema de prueba de flexo compresión



Nota: PEEK, Ralph, E. HANSON, Walter y H. THORNBURN, Thomas, (2002).

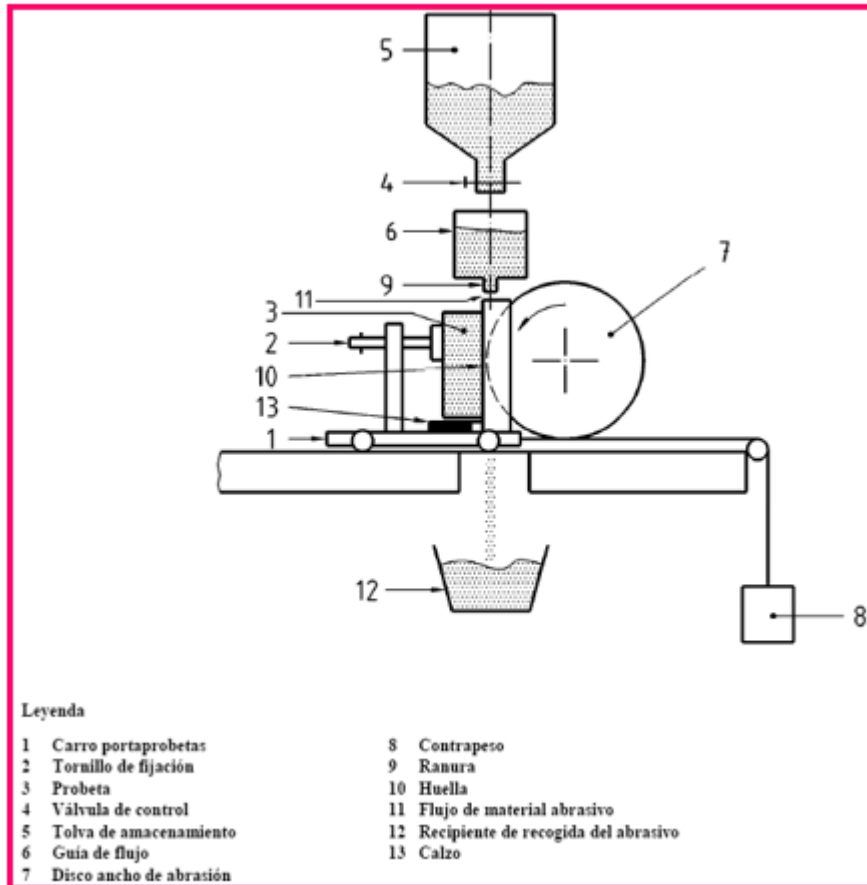
Resistencia al desgaste y la abrasión

El ensayo de disco ancho evalúa la resistencia a la abrasión de una probeta midiendo el desgaste causado en su cara expuesta al someterla a la fricción de un disco de acero de 7 cm de ancho y una sustancia abrasiva. El elemento abrasivo requerido debe ser corindón blanco con un tamaño de gr de 80, tal como se especifica en la norma ISO 8486-1. El aparato de prueba consta de los

componentes que se ven en la figura 5.

Figura 5

Sistema de la máquina de prueba de disco ancho



Nota: PEEK, Ralph, E. HANSON, Walter y H. THORNBURN, Thomas, (2002)

2.2.1.1. RESISTENCIA AL IMPACTO

Cuando se suelta una bola de acero de un kilogramo de peso, de acuerdo con las directrices especificadas, desde alturas comprendidas entre cuatrocientos y mil milímetros sobre la superficie expuesta del adoquín, se cuantifica la resistencia que encuentra el adoquín.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa trata de comprender y prever acontecimientos examinando patrones e interacciones causales entre varios componentes. Para ello, recopila datos y utiliza mediciones cuantitativas para evaluar hipótesis. (Gotuzzo, 2007, p. 36).

3.2. Nivel descriptivo

Esta actividad de estudio se clasifica como investigación descriptiva, ya que su objetivo es ofrecer una explicación detallada de las causas subyacentes de los acontecimientos, sucesos y fenómenos. El objetivo principal es aclarar los factores subyacentes que contribuyen a un cambio. (Gotuzzo, 2007, p. 33).

3.3. Modelo de investigación

Estamos realizando una serie de investigaciones descriptivas sobre los factores de caracterización e interés de esta medida. En este contexto, el término "diseño" se refiere al modelo o esquema que demuestra la conexión entre las variaciones y guía la recogida de pruebas para apoyar o refutar la hipótesis. (Charaja, 2011, citado en 187).



3.4. Descripción del ámbito de la investigación

El proyecto tiene como finalidad hallar las variables subyacentes responsables de la degradación temprana de los pavimentos de hormigón en la ciudad de Puno.

3.4.1. Población

La población para el desarrollo de esta investigación son las vías con adoquines de hormigón que existen en la ciudad de Puno.

3.4.2. Muestra

La muestra representativa para esta investigación será considerada a la vía del jirón Bolognesi de la ciudad de Puno que tiene un pavimento con adoquines de concreto.

Composición del sistema del pavimento con adoquines de hormigón

Para garantizar un rendimiento óptimo de cualquier pavimento, es esencial comprobar que la estructura es adecuada para la carga específica que va a soportar.

Las estructuras están formadas por una serie de capas aproximadamente horizontales que se superponen entre sí. Estas capas pueden tener distintos grosores y estar compuestas por materiales diversos que se han triturado correctamente en función de requisitos particulares. Las estructuras escalonadas se apoyan en la explanada formada por el movimiento de tierras del proyecto.

Estas estructuras escalonadas deben tener la disposición de aguantar las cargas ejercidas sobre el pavimento durante su vida útil sin que se produzca ningún deterioro que pueda afectar a las propiedades del pavimento. Estas construcciones descansan sobre la subrasante que se creó durante el proceso de movimiento de



tierras.

Deterioro que tiene la capacidad de impactar las características físicas y operativas del pavimento.

Las principales funciones que cumple una estructura son:

1. El objetivo es diseñar una superficie para correr que sea agradable y segura, al tiempo que garantice una larga durabilidad a lo largo de toda su vida útil.
2. Poseer la capacidad de soportar las oscilaciones resultantes del tránsito pesado y distribuir las fuerzas verticales impuestas por los pesos. Al considerar las cargas repetidas y la resistencia a la fatiga de los elementos, es importante tener en cuenta las deformaciones que se producen tanto en el firme como en las distintas capas de la vía.
3. Proteger la explanada de las inclemencias del tiempo, en particular de las precipitaciones que puedan afectar a la resistencia al cizallamiento del suelo.

Los pavimentos se dividen en dos grandes grupos: estructuras flexibles y estructuras rígidas. Estas categorías se diferencian en función de criterios habituales.

Las estructuras flexibles están formadas por capas de materiales cuya resistencia a la deformación disminuye gradualmente a medida que aumenta la profundidad. Esto equivale a la reducción de las presiones que se envían desde la superficie. La mayoría de las estructuras rígidas consisten en un pavimento de hormigón. Para distribuir las cargas verticales por una amplia superficie manteniendo las presiones muy bajas, estos materiales poseen un mayor nivel de rigidez en comparación con otros materiales.



Habitualmente, la composición de la estructura está compuesta por los siguientes agentes:

- Subbase.
- Explanada.
- Base.
- Vía.

Los adoquines cerámicos pueden colocarse sobre cualquier construcción capaz de soportar impactos, como losas o baldosas, además de sobre estructuras tradicionales.

3.1. Explanada

Además, las próximas actividades sobre el terreno deberán centrarse en lograr un mayor rendimiento del equipo de movimiento de tierras y en eliminar los obstáculos de la zona de trabajo. En el proceso de nivelación se utilizarán los materiales naturales existentes en el paisaje. La primera acción necesaria en esta situación es la eliminación de la vegetación y los escombros de la zona. El procedimiento de desbroce incluye la eliminación de cualquier obstáculo que pueda impedir el correcto funcionamiento del equipo de movimiento de superficies. La técnica de arranque implica la eliminación de cualquier resto de vegetación que no se haya eliminado durante el proceso de retirada de árboles. Estos elementos incluyen pequeñas plantas arbóreas, arbustos, vegetación, cultivos, plantas bajas, hojas caídas y elementos similares.

Estos trabajos se realizarán en función de las pendientes previstas del proyecto. En consecuencia, se suprimirán o redirigirán algunos servicios como



líneas de comunicación, tendidos eléctricos, tuberías de abastecimiento de agua, sistemas de alcantarillado y líneas de ferrocarril. Otra variable que hay que tener en cuenta es la adecuada protección de la obra en toda circunstancia frente a los posibles daños que puedan causar las precipitaciones y otros elementos atmosféricos.

Sub base

La capa de firme se sitúa entre la capa de base y la capa de subrasante, y se encuentra en la superficie del firme. Si las subrasantes granulares poseen una capacidad portante sustancial, puede ser innecesario incluir esta capa. Su objetivo es proporcionar una base estable y sólida para colocar y compactar la base. Lo óptimo es que también tenga la función de drenar, y para ello es imprescindible que los materiales utilizados estén libres de cualquier partícula. Independientemente de la situación, suele ser una capa intermedia crucial. Se utilizan subbases granulares compuestas de grava y arena natural o triturada, suelos estabilizados con cemento, escoria de alto horno cristalizada y materiales similares.

Base

La capa de la superficie de la carretera que se encuentra bajo el pavimento se conoce como subrasante. Presenta una gran resistencia en el cumplimiento de su función, que es absorber la mayor parte de las tensiones verticales. Para cargas suaves o reguladas, como tráfico ligero y medio o peatonal, se suelen utilizar las convencionales bases granulares de macadán o grava artificial, que consisten en grava triturada y arena. Los materiales granulares que han sido procesados con un aglutinante o conglomerado suelen utilizarse para soportar grandes cargas, que conllevan un tráfico importante. Estos materiales suelen incluir bases de combinación bituminosa y bases de grava-cemento. Otros tipos de bases que



suelen utilizarse son las de grava de escoria, grava-emulsión, grava-cemento y cemento-suelo.

Pavimento

La sección elevada del pavimento lo constituye en su totalidad, y sobre ella recae la responsabilidad directa de soportar todas las tensiones. El pavimento aporta las cualidades funcionales, que generalmente son las mismas que sus características superficiales, y también absorbe estructuralmente las cargas horizontales y parte de los esfuerzos verticales.

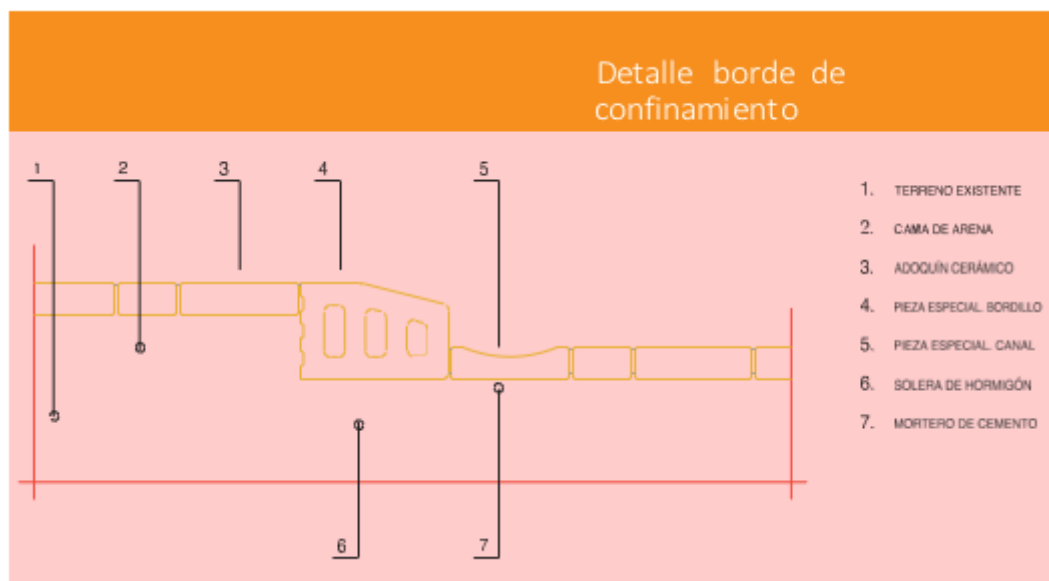
En cuanto a las propiedades funcionales, cabe señalar lo siguiente:

- Una textura superficial adecuada puede servir para crear resistencia al deslizamiento. La suavidad del pavimento, tanto horizontal como vertical, es una característica que afecta al grado de confort percibido por los usuarios.
- El objetivo es establecer un sistema de drenaje superficial rápido para disminuir el espesor de la película de líquido y las proyecciones de líquido que suponen un peligro tanto para las personas como para los vehículos.
- La capacidad de redirigir o rebotar la luz visible presente.
- La aparición de ruidos provocados por el movimiento de los automóviles, que pueden ser oídos tanto por los pasajeros del interior de los coches como por las personas que se encuentran fuera de los vehículos.

1. BORDES DE CONFINAMIENTO.- La aplicación de la capa de arena sigue a la creación de estos componentes, que sirven para contener el pavimento. Las principales funciones que cumplen son inhibir el movimiento de las piezas, dificultar la apertura de las juntas y preservar la capacidad de enclavamiento de los adoquines cerámicos. Es necesario un ajuste mínimo para garantizar la correcta ejecución de estas actividades. La fijación proporcionará apoyo a los bordes de contención a una profundidad de al menos 15 centímetros abajo del nivel inferior de los adoquines.

Figura 7

Tabla de bordes de confinamiento



Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

2. CAPA O CAMA DE ARENA. -La colocación de este componente se realiza sobre la cimentación del firme previamente terminada, y es aconsejable crear la capa de nivelación o lecho de arena utilizando arena natural bien limpia. En cuanto a la granulometría, el rango de tamaños debe estar comprendido entre 5 y 0,4 milímetros, y la cantidad de material que se desvíe o supere estos



requisitos no debe superar el diez por ciento. En general, el uso de arenas naturales gruesas da buenos resultados. El material debe tener un contenido de arcilla y limo inferior al tres por ciento, y también debe estar libre de cualquier contaminante extraño y sales peligrosas.

Tras instalar los adoquines cerámicos y compactar el pavimento, el grosor de este nivel debe ser de entre tres y cinco centímetros. Además, la capa de arena debe tener un espesor constante y uniforme en toda su extensión. Los estudios han demostrado que la reducción del espesor de la capa de arena en los adoquines a menos de 5 cm conlleva una disminución de las deformaciones producidas por la rodadura de los vehículos. Uno de los porqués más recurrentes de fallo en las vías adoquinadas es la aplicación de una capa de arena excesivamente gruesa para compensar una nivelación errónea de la cimentación. Se trata de un hecho muy peligroso. El movimiento de los coches provoca la compresión y consolidación de esta capa gruesa, lo que da lugar a irregularidades en la superficie pavimentada. Por lo tanto, es aconsejable aplicar la capa de arena con los espesores especificados anteriormente.

3. ADOQUINES CERÁMICOS. - Al mismo tiempo, sirven como componentes duraderos y elementos decorativos, y se colocaron sobre la base de arena previamente preparada. Al utilizar adoquines cerámicos en pavimentos flexibles, es crucial asegurarse de que las piezas tengan un grosor mínimo de 40 milímetros y que la relación entre toda la longitud y la anchura no sea superior a seis. Para evitar el uso de dispositivos automatizados para la colocación de las piezas, la separación ideal entre los adoquines cerámicos debe oscilar entre 3 y 5 milímetros. No obstante, los implantes de glúteos no



deben implantarse en ningún caso.

- 4. ARENA DE SELLADO.-** Los huecos entre los adoquines cerámicos deben rellenarse con arena natural, fina y seca, que tenga una granulometría entre 0 y 2 milímetros y no incluya sales solubles posiblemente perjudiciales.

No se recomienda utilizar arenas de machaqueo calcáreas, ya que suelen incluir una cantidad importante de polvo, lo que resta atractivo a la superficie del pavimento. Las arenas altamente purificadas facilitan el relleno de estas juntas; no obstante, al principio pueden estar bastante sueltas y solidificarse posteriormente con el tiempo. La utilización de arenas con una proporción sustancial de limo ayuda a mejorar el sellado inicial del pavimento de piedra.

Excepto en zonas expuestas al agua de forma regular y forzada, como lavaderos de coches o bordes de piscinas (en estos casos, se recomienda utilizar mortero o masillas para rellenar las juntas), o cuando el proyectista pretende crear una junta ancha rellena de mortero, en general es aconsejable colocar los adoquines cerámicos utilizando sólo arena. Este método ofrece varias ventajas en la mayoría de las situaciones. Sólo existen algunas excepciones a esta regla, como las regiones con una pendiente pronunciada (superior al 9%) y las zonas sometidas con frecuencia e intensidad a proyecciones de agua, como los lavaderos de coches.

B. PAVIMENTO SEGMENTADO RÍGIDO

Para crear pavimentos duraderos con adoquines cerámicos, el proceso de construcción consiste en colocar las piezas con juntas de mortero sobre una capa similar de mortero, que luego se asienta sobre una base sólida. Esto se hace para garantizar la correcta construcción de los pavimentos. El pavimento se conforma de los siguientes agentes:



- 1. CAPA DE MORTERO.** - La instalación de este componente tendrá lugar sobre la losa de hormigón, que funciona como base del pavimento. Se recomienda utilizar un mortero de textura sólida y espesores de capa de unos tres centímetros para esta capa en particular. El mortero debe mezclarse en una proporción de uno a tres, o de uno a cuatro a tres si se va a utilizar cal.
- 2. JUNTA DE DILATACIÓN.** - Debe alinearse con las juntas ya presentes en la capa base, y debe tener una profundidad igual al espesor total del pavimento cerámico. Este sistema es responsable de acomodar los movimientos causados por la expansión térmica, la expansión debida a la humedad y otros fenómenos relacionados. Las dimensiones de este componente serán de unos 20 milímetros, y será crucial incluir juntas de dilatación a intervalos de 5 metros por 5 metros. Es necesaria una elasticidad adecuada para rellenar y sellar eficazmente estas juntas.
- 3. ADOQUÍN CERÁMICO.** - Estos componentes son a la vez duraderos y decorativos, y se colocan sobre la capa de mortero previamente aplicada. Cuando se utilicen adoquines cerámicos para pavimentos rígidos, se recomienda disponer una junta de mortero con un espesor que oscile entre 6 y 10 mm para separarlos. Los adoquines deben colocarse sin huecos que sobresalgan. El espesor de los adoquines cerámicos utilizados en pavimentación rígida debe ser como mínimo de treinta milímetros.
- 4. MORTERO DE RELLENO DE JUNTAS.** - Una vez situados y nivelados correctamente los adoquines cerámicos, se rellenan los huecos entre ellos con un mortero que tiene la misma proporción que el utilizado para colocar los adoquines, pero con una consistencia más líquida. En el segundo caso, se



pueden utilizar recipientes parecidos a jarras, lo que reduce la cantidad de suciedad que se acumula en los adoquines.

4.1. Dimensionamiento del sistema de pavimentos con adoquines de hormigón

Los pavimentos deben poseer características funcionales específicas que estén estrechamente alineadas con las propiedades superficiales del pavimento. Además, deben presentar características estructurales que están directamente conectadas con los elementos utilizados en las distintas capas del pavimento, en especial las propiedades mecánicas, así como los espesores de dichas capas. Para preservar su funcionamiento, los pavimentos deben poseer ciertas características específicas.

La deformabilidad variable de las capas del pavimento conduce a la creación de discontinuidades de tensión y/o deformación en los planos de contacto. Para lograr un rendimiento estructural global adecuado, es necesario sincronizar el diseño de una capa con el diseño de las demás. Los pavimentos deben incluir tanto factores económicos como estructurales, además de las características estructurales y funcionales mencionadas anteriormente. Esencialmente, el objetivo debe ser optimizar la resistencia y funcionalidad del edificio minimizando al mismo tiempo el coste global. Esto debería incluir los costes asociados a la construcción, el mantenimiento y la restauración del pavimento durante su vida útil operativa. El dimensionamiento del pavimento tiene por objeto determinar la composición y el espesor de cada una de las capas que lo componen. Esto se consigue teniendo en cuenta muchos factores, como el tráfico, la capacidad de la calzada, los materiales disponibles, las condiciones meteorológicas y otros parámetros relevantes.



Alternativamente, el dimensionamiento puede lograrse mediante técnicas analíticas, que se basan en cálculos, o a través de modo empíricos

2.2.1.2. FORMAS ANALÍTICAS

Para determinar el tamaño adecuado de los pavimentos es necesario calcular los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos que se producen por las cargas del tráfico y las condiciones climáticas predominantes. A continuación, se comparan estos valores con los valores permitidos en cada escenario, lo que marca el punto en el que el pavimento se aproxima a su límite estructural. Los enfoques y modelos que manejan pavimentos flexibles y semirrígidos como sistemas multicapa con supuestos elásticos son los que se utilizan con mayor frecuencia para evaluar los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos que se encuentran en este tipo de pavimentos. Para los sistemas multicapa, las hipótesis más utilizadas son las desarrolladas por Burmister. Estas hipótesis pueden describirse como sigue:

- Las cargas en el área circular de la superficie del pavimento se distribuyen uniformemente. Cada capa se caracteriza por su módulo de elasticidad E y su coeficiente de Poisson ν . Además, cada capa es uniforme, tiene las mismas propiedades en todas las direcciones y tiene un espesor constante que no se indica horizontalmente.
- Se da una asistencia continua entre niveles.
- No se tiene en cuenta el posible impacto de los gradientes de calor en el sistema.
- Hay pocos desplazamientos notables en el sistema.

Para ejecutar eficazmente esta estrategia multicapa, es crucial poseer una



comprensión exhaustiva de las características de cada componente del pavimento.

La tabla siguiente muestra los valores del módulo elástico y del coeficiente de Poisson para las vías adoquinadas.

Tabla 6

Valores de magnitud del módulo elástico y del coeficiente de Poisson

Ca pa		Módulo Elástico E (MPa)	Coefficiente de Poisson (ν)
Adoqui na do		2000 - 3500	0,20 - 0,35
	Granular	150 - 900	0,10 - 0,50
Ba se	Estabilizada con cemento	1000 - 30000	0,10 - 0,50
	Granular	150 - 500	0,10 - 0,50
Sub base	Estabilizada con cemento	5000 - 7000	0,10 - 0,50

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

Utilizando las hipótesis de Burmister, pueden deducirse las ecuaciones que calcularían con precisión los valores de las tensiones, deformaciones y deslizamientos. Esto se haría para alcanzar el equilibrio elástico en la masa multicapa. Varias herramientas de software comerciales pueden agilizar el cálculo antes mencionado para pavimentos flexibles y semirrígidos. Algunos ejemplos de estas iniciativas son Alizé, Bisar, Elsym, Chevron y varios otros.

Debe realizarse una comparación entre estos valores y los adquiridos durante el agotamiento estructural del pavimento de grava. Cuando se trata de hallar las condiciones en las que se desarrolla el deterioro de estructura del pavimento, los modelos más utilizados son los que se basan en los principios de la fatiga. Cuando cada aplicación de una carga provoca tensiones o deformaciones, las reglas de fatiga pueden determinar el número N de aplicaciones de peso que un material puede aguantar antes de colapsar estructuralmente.



Para los materiales granulares y graduados, las leyes de fatiga pueden clasificarse de la siguiente manera:

$$s = k \cdot N^{-\alpha}$$

Siendo:

s = deformación de la capa.

k y α = constantes propias del elemento usado.

N = aplicaciones de carga hasta rotura.

Para elementos tratados con conglomerantes hidráulicos las leyes de fatiga son del tipo:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = 1 - (A \times \log N)$$

Siendo:

σ y σ_{\max} = tensión y tensión máxima, de forma respectiva

A = constante propia del material empleado.

N = aplicaciones de carga hasta rotura.

Método simplificado

A. PLANTEAMIENTO GENERAL

Las metodologías analíticas anteriormente expuestas permiten la investigación de pavimentos compuestos por adoquines cerámicos. Por otro lado, la utilización de un catálogo de secciones de firme obtenidas por métodos más sencillos resulta más directa. El enfoque simplificado considera tanto el tipo de firme como la categoría de tráfico, de forma similar a la "Orden Circular 10/2002 sobre secciones de firmes y capas estructurales de firmes". Esta orden se basa en el uso



de dos criterios.

B. ORGANIZACIÓN DE LA EXPLANADA

El ensayo de placa de carga y el ensayo CBR se utilizan a menudo para caracterizar mecánicamente los firmes. El ensayo CBR es la manera más usada para analizar la capacidad portante de una subrasante, un elemento crucial en el diseño de pavimentos.

Durante el ensayo, un espécimen representativo de la subrasante consolidada y saturada de agua se somete a una prueba de penetración o punzonamiento mediante un pistón cilíndrico. A partir de los resultados de este examen se calcula el índice CBR. Cuando el índice CBR alcanza 5, la subrasante puede tener su valor mínimo sin que sea necesario realizar ningún cambio en las condiciones de la subrasante, como el cambio de una superficie o el control con hormigón. Un índice CBR más alto indica una capacidad portante superior de la subrasante.

Existen varias fórmulas empíricas que pueden ser utilizadas para calcular el módulo de elasticidad. Este módulo puede estimarse a partir del índice CBR, que se considera un estándar de referencia:

$E \text{ (MPa)} = 6,5 \text{ (CBR)}^{0,65}$ Para cargas estáticas o más usadas.

$E \text{ (MPa)} = 10 \text{ CBR}$ Para las cargas dinámicas comunes del tránsito.

Un modelo es asignar un módulo dinámico de deformación de 100 megapascales a una llanura con un índice CBR de 10. Hay tres categorías distintas de llanuras, cada una caracterizada por el índice CBR más bajo. Hay tres categorías distintas de llanura, cada una caracterizada por el índice CBR más bajo.



Las restricciones del CBR incluyen:

Tabla 7

Categorías de explanada

CATEGORIA DE EXPLANADA	
E1	$10 > \text{CBR} > 5$
E2	$20 > \text{CBR} > 10$
E3	$\text{CBR} > 20$

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ (2004).

A. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO

La presencia de tráfico, especialmente de grandes volúmenes de tráfico, es crucial para determinar las dimensiones adecuadas del pavimento durante la fase de diseño. La composición estructural del firme se determina en función de la intensidad media diaria prevista de vehículos pesados (IMDp) en el carril designado durante el año de construcción. Esta intensidad se utiliza para determinar la clasificación del tráfico pesado.

Los camiones pesados se clasifican en:

- Camiones con uno o varios remolques enganchados.
- Movilidades articuladas y especiales.
- Movilidades de largo recorrido con capacidad para transportar a más de nueve personas.

Para describir con precisión el tráfico, es necesario empezar por recopilar datos sobre el volumen de tráfico, lo que incluye información sobre el número de movilidades pesadas y la asignación de carriles. Si no se dispone de estos datos,



puede utilizarse la siguiente para determinar la categoría de tránsito pesado del proyecto, es decir, en el carril de mayor carga:

- La presencia del 50 % de los camiones pesados en una carretera de dos carriles y doble sentido afecta a todos los carriles de la ruta.
- El carril exterior suele designarse para el tráfico pesado en las carreteras con doble carril en cada sentido. Esto se debe a que se considera que todos los vehículos grandes que se dirigen en esa dirección circulan por ese carril específico de tráfico.
- Se considera que aproximadamente el 85% de los camiones grandes que circulan en una dirección determinada utilizan el carril exterior en carreteras con tres o más carriles en cada dirección.

Para conseguir la cantidad de tráfico deseada, es esencial examinar todos estos elementos. A continuación, se presenta una recopilación de las cinco categorías reconocidas de tráfico de diseño.

Según el autor Rafael García Sáez, en el contexto de la ingeniería de tráfico y tránsito, las categorías de tráfico se estudian desde diversos enfoques para garantizar la seguridad y eficiencia del movimiento de vehículos y personas. La ingeniería de tráfico abarca.

Planificación y demanda evalúa las necesidades futuras de transporte y así diseñar sistemas adecuados que consideran el crecimiento poblacional.

Diseño vial que incluye la construcción de infraestructuras como autopistas, vías urbanas, carreteras convencionales y autopistas peajes.



Así mismo la gestión de tránsito usa un sistema dinámico como semáforos inteligentes, sensores de velocidad y medidas para evitar cuellos de botella, optimizando flujos vehiculares.

Estas categorías buscan integrar tecnologías y planificación estratégica para mejorar la movilidad y reducir impactos negativos como la congestión vehicular y accidentes.



Tabla 8

Categorías de tráfico

Categoría de Tránsito	Tránsito de Proyecto*
T0	150 - 50
T1	49 - 25
T2	24 - 15
T3	14 - 5
T4	4 - 0

* Intensidad media diaria de vehículos pesados durante el año de puesta en servicio.

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

Deberá realizarse una investigación específica para hallar las dimensiones de la sección de firme en lugares con un elevado volumen de tráfico de camiones pesados que supere los 150 diarios. En situaciones singulares, como zonas industriales, puertos, aeropuertos, etc., el único criterio determinante para el dimensionamiento será el peso de las ruedas de los vehículos. Si no se dispone de datos suficientes sobre el recuento del tránsito, es posible hacer una estimación. Para ello puede establecerse una relación entre el tipo de tráfico y la finalidad prevista de la ruta. Sería responsabilidad que:

- T0: Vías urbanas principales o carreteras. Centros de transporte público. Centros de transporte. Centros de servicio de automóviles. El número máximo de camiones pesados permitidos por día es de 150.
- T1: Vías principales con una restricción diaria de 49 vehículos grandes.
- T2: Vías comerciales caracterizadas por la presencia de transporte público y un ancho de calzada superior a 6 metros.
- T3: Calles comerciales que no cuentan con vehículos de transporte público y tienen una anchura de calzada superior a 6 metros.



- T4: Calles y zonas peatonales restringidas únicamente a vehículos ligeros. Calles en zonas residenciales. Zonas de aparcamiento residenciales. Calles con una anchura máxima de 6 metros, restringidas al tráfico comercial.

B. SECCIONES TIPO

Se suministran múltiples tramos para cada mezcla posible de categoría de tránsito elevado y categoría de firme. Basándose en consideraciones técnicas y económicas, debe elegirse el segmento más adecuado para cada circunstancia específica. Así pues, el espesor óptimo de la capa pavimentada y compactada suele oscilar entre uno y tres centímetros más, en función del tipo de material, la calidad de la capa subyacente, el método de extendido y varios parámetros más. Los espesores de capa proporcionados en la tabla de secciones transversales estándar deben interpretarse como el espesor mínimo requerido en cualquier ubicación dentro del carril de diseño.

El material no debe ser de plástico y su valor equivalente de arena debe ser ($EA > 30$). Estos criterios deben cumplirse. Para que un material tenga capacidad portante, es necesario que el CBR (California Bearing Ratio) sea superior a 20. Al colocar el material por primera vez en la obra, es esencial saturarlo rápidamente para lograr la compactación.

La densidad adquirida tras la consolidación debe ser $>$ al 95% de la densidad límite alcanzada mediante la prueba Proctor modificado.



Tabla 9

Secciones Tipo

Secciones Tipo						
CATEGORIA DE TRAFICO	CATEGORIA DE EXPLANADA					
	E 1		E 2		E 3	
AD + AR		AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
25 ZA		15 HM	20 ZA	15 HM		
25 SG		25 SG	20 SG	20 SG	25 ZA	20 HM
E X		EX	EX	EX	EX	EX
AD + AR		AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
20 ZA		15 HM	15 ZA	15 HM		
20 SG		20 SG	15 SG	15 SG	20 ZA	18 HM
E X		EX	EX	EX	EX	EX
AD + AR		AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
35 SG		20 HM	25 SG	18 HM	20 SG	15 HM
E X		EX	EX	EX	EX	EX
AD + AR		AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
30 SG		18 HM	15 SG	15 HM	15 SG	12 HM
E X		EX	EX	EX	EX	EX
AD + AR		AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
20 SG		15 HM	15 SG	10 HM	15 SG	10 HM
E X		EX	EX	EX	EX	EX

NOTA 1 - Fuente: Manual Euroadoquín.

NOTA 2 - AD + AR = adoquines y capa de arena (3-5 cm) HM = base de hormigón magro (mínimo H-80) ZA =base de zahorra artificial SG = base o subbase granular EX = explanada compactada

NOTA 3 - Espesores de capas en cm.

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

2.2.1.3. Extendido y compactación de la base

Durante la preparación de la cimentación, es fundamental comprobar que la rasante del proyecto esté nivelada y reducir al mínimo las posibles desviaciones. De lo contrario, pueden surgir discontinuidades en el lecho de arena, que afectarán al comportamiento uniforme del pavimento, especialmente durante la fase de consolidación. Usted tiene la libertad de utilizar cualquiera de los activos enumerados a continuación, con la condición de que se ajusten proporcionalmente:



A. ÁRIDOS ARTIFICIALES

Es aconsejable utilizar material triturado y molido procedente de grava natural o piedra obtenida de canteras. El tamiz UNE 5 debe incluir una dimensión de agentes con 2 o más caras de fractura, y esta fracción debe ser al menos del cincuenta por ciento en peso.

Tabla 10

Tipo de áridos artificiales

Abertura Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	Cernido ponderal acumulado (% en masa)		
	Tipo de áridos artificial *		
	ZA25	ZA 20	ZAD 20
0,063	0 - 9	0 - 9	0 - 2
0,250	4 - 6	5 - 18	0 - 4
0,500	7 - 21	9 - 24	0 - 6
2	15 - 32	20 - 40	0 - 15
4	26 - 45	31 - 54	14 - 37
8	40 - 63	45 - 73	30 - 58
20	65 - 90	75 - 100	65 - 100
25	75 - 00	100	100
40	100	-	-

* La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

Es necesario asegurar la ausencia de materia orgánica, polvo, arcillas y otros contaminantes potencialmente peligrosos. El elemento debe ser no plástico, y su equivalente en arena debe ser superior a 35 para tráfico intenso y a 30 para el resto de situaciones. Además, el material no debe ser de plástico. La curva



granulométrica de los áridos debe ajustarse a uno de los usos especificados por PG-3:

Una vez dispersado el material, debe humedecerse adecuadamente para conseguir la compactación adecuada, que debe ser equivalente al cien por cien de la densidad límite indicada por la prueba Proctor modificada. En algunos periodos, es aconsejable intercalar una capa de material geotextil o cubrir el lecho de arena con arena y compactarla para evitar una mayor erosión del lecho de arena.

B. GRAVACIMIENTO

El proceso de obtención de los áridos necesarios para la combinación implica la trituración de gravas naturales o piedras procedentes de canteras. Para adaptarse a uno de los usos descritos en el PG-3, se alterará la granulometría:

Tabla 11

Tabla de tipo de gravacemento

CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% en masa)		
Abertura Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	Tipo de gravacemento	
	GC2 5	GC20
40	100	-
25	76 - 100	100
20	67 - 91	80 - 100
8	38 - 63	44 - 68
4	25 - 48	28 - 51
2	16 - 37	19 - 39
0,50 0	6 - 21	7 - 22
0,06 3	1 - 7	1 - 7

Nota: RAFAEL GARCIA SAEZ, (2004).

Los áridos utilizados deben poseer características no plásticas, con un valor igual a ($EA > 30$). Es obligatoria la exclusión de todas las sustancias biológicas, y la proporción de terrones de arcilla no debe superar el 2% del peso total. El hormigón a usar será del tipo II clase 32,5 (N/mm²). El contenido de cemento no debe superar el 4,50% en peso en relación al total de áridos utilizados. La creación in situ de probetas de siete días utilizando el molde Proctor modificado y la compactación deben dar como resultado una resistencia a la compresión de al menos 35 kg / cm² en todo momento.

La aplicación in situ debe realizarse en estricto cumplimiento de las directrices proporcionadas por el PG-3. Debe prestarse especial atención a que el soporte esté suficientemente húmedo y a que la mezcla esté bien mezclada durante todo el transporte. Para mantener un progreso continuado, es necesario asegurar



que se completan las conexiones de trabajo apropiadas en caso de interrupciones sustanciales. La consolidación se realizará en una sola tongada, y se recomienda lograr una densidad máxima del Proctor modificado de la combinación de cemento a un nivel del cien por cien. En ningún caso tendrá que ser inferior al 97 %.

Una vez finalizado el proceso de compactación, es importante mantener húmeda la capa de grava-cemento. Es aconsejable aplicar a continuación un riego con ligante bituminoso, seguido de espolvorear de 0 a 5 milímetros de arena.

C. HORMIGÓN

Se recomienda utilizar hormigón en masa con una resistencia característica mínima de 10 N/mm². Además, es factible la utilización de áridos que tengan una dimensión máxima de 40 mm, tal y como establecen las directrices de la instrucción EHE.

Durante toda la operación se mantendrá la humidificación del soporte o la utilización de membranas plásticas para evitar la deshidratación de la combinación.

2.2.1.4. EJECUCIÓN DE LOS BORDES DE CONFINAMIENTO

Para asegurar la correcta instalación del pavimento es imprescindible colocar previamente los bordes de confinamiento o bordillos perimetrales. Estos bordes proporcionan la alineación y los apoyos requeridos al pavimento, conteniendo la fuerza externa ejercida por el pavimento y evitando que la arena se disperse. Para evitar deslizamientos de las piezas, aperturas de las juntas y pérdida de enclavamiento entre los adoquines de barro cocido, se ejecutan los bordes de confinamiento. Si se decide realizar los límites de confinamiento después de la colocación de los adoquines, las cargas sobre el pavimento deben restringirse a un margen de aproximadamente 1 m, medido desde el extremo no confinado. Ante



esta situación particular.

2.2.1.5. EXTENDIDO Y NIVELACIÓN DE LA CAPA DE ARENA

Una vez situados los adoquines cerámicos y compactado la vía, el espesor de esta capa oscilará entre los tres y los cinco milímetros. Antes de comenzar el procedimiento de esparcido de arena en un área concreta, se habrán terminado todos los bordillos y demás agentes del pavimento que actúan como límites para la arena. Además, es vital la instalación de los drenajes necesarios para suprimir las filtraciones de líquido, junto con la implementación de bordillos de confinamiento.

Para minimizar el desperdicio de material, es conveniente evitar distribuir arena en zonas demasiado largas de forma simultánea. Para garantizar una correcta organización, es fundamental disponer el corte utilizando piezas de exactamente tres o cuatro metros de longitud. Debido a la acumulación de polvo y suciedad, las juntas de los adoquines cerámicos flexibles quedan completamente obstruidas, haciendo que actúen como pavimentos impermeables. Esto es así porque inhiben eficazmente la infiltración de líquido a través de las juntas, por lo que estarán dotados de sistemas de drenaje superficial. En cualquier caso, es recomendable incluir medidas de drenaje en la cimentación para evitar la posible saturación del lecho de arena durante el primer uso. La presencia de material impermeable en la base es la razón de esto. Para minimizar los asentamientos causados por la pérdida de material arenoso, es esencial colocar membranas geotextiles entre la arena y el agente de drenaje en estos casos. La arena se distribuirá uniformemente en una capa que será uniforme, suelta y no compactada. Se extenderá a la altura necesaria para lograr las pendientes deseadas después de la compactación. La práctica convencional para nivelar esta capa implica el uso de reglas continuas que tienen las pendientes marcadas en ellas. Otra técnica que



se puede utilizar para distribuir esta capa y mejorar el rendimiento es la aplicación de reglas vibratorias para nivelar la arena.

2.2.1.6. COLOCACIÓN DE LOS ADOQUINES DE CONCRETO

Una vez nivelada y precompactada la capa de arena, se colocarán sobre ella los adoquines cerámicos según la mezcla prevista. El pavimento cerámico ofrece una variada selección de alternativas de diseño, que pueden crearse combinando diferentes combinaciones para cada modelo, así como utilizando variadas formas y colores. Al momento de construir pavimentos flexibles con adoquines cerámicos, es importante examinar cuidadosamente la disposición de pendientes y componentes de drenaje superficial de la forma correcta. Para proporcionar un drenaje adecuado, es necesario tener un mínimo de dos por ciento de pendientes transversales, mientras que la pendiente del canal debe rondar el uno por ciento. Es muy recomendable utilizar soluciones de pavimento rígido cuando se diseñan áreas con una pendiente superior al nueve por ciento. Para obtener los mejores resultados, es aconsejable extraer los adoquines de varios palets simultáneamente, utilizando una técnica de estratificación vertical en lugar de una horizontal. Esto hará que el pavimento presente un efecto visual notable, junto con una amalgama de tonos que son estéticamente agradables.

La ejecución de una disposición precisa del pavimento es de suma importancia. Para ello, se recogerán los componentes necesarios y se colocarán en el lugar designado, junto con la separación física de las juntas. Esto permitirá ajustar los márgenes de confinamiento para que coincidan lo más posible con las dimensiones de las piezas en su conjunto. Al realizar este proceso con precisión, se evitará la fragmentación innecesaria de componentes, que de otro modo aumentaría el costo de ejecución y reduciría la calidad final.



En el caso de los adoquines, la separación ideal debe medir entre tres y cinco milímetros en la unión 11. Los componentes nunca se organizarán de manera secuencial bajo ninguna circunstancia. Para garantizar una alineación adecuada, el instalador puede necesitar realizar pequeños cambios en función de estas mediciones. Se realizará un análisis sistemático de estas alineaciones utilizando reglas, una cantidad suficiente de cuerdas o cualquier otro método adecuado. Además, se conservarán las pendientes del pavimento y, para ello, se documentarán los puntos de elevación en andamios. Estos puntos de nivelación servirán como referencia para varias tareas, como el roscado y la medición con reglas.

Figura 8

Asentamientos en el suelo de fundación

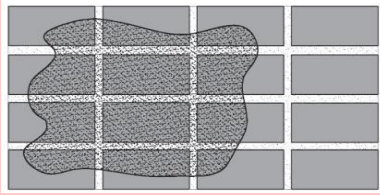
DESCRIPCIÓN	Es posible encontrar dolinas que sean de forma circular o similar, y el material que se encuentra contenido en su interior no sufre pérdida alguna..	
CAUSAS	El terreno bajo los cimientos ha sufrido hundimientos. La degradación de las partículas de arena provoca disfunciones en la capa de arena. El sistema de drenaje es insuficiente o no se realiza el mantenimiento adecuado	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Flecha menor de 20 mm
	MEDIA (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	ALTA (A)	Flechas mayores a 40 mm
REPARACIÓN	Para abordar los bultos, utilice la misma metodología descrita anteriormente.	

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9

Figura 9

Desgaste superficial y pérdida de arena

DESGASTE SUPERFICIAL, DS		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	La pérdida de finos en la superficie del adoquín conduce a la creación de una textura rugosa, la formación de huecos y la exposición del agregado grueso.	
CAUSAS	Mano de obra inadecuada y/o supervisión insuficiente en la producción de adoquines. Causada por la fricción entre los neumáticos y una superficie. Exposición continua a corrientes de agua a presión	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Desgaste superficial aislado. Es menor o igual a medio metro cuadrado.
	MEDIA (M)	El único material que se pierde es el agregado fino, y el desgaste superficial se produce en una gran superficie y de manera continua. El área es mayor a 0,5 metros cuadrados.

	ALTA (A)	El desgaste superficial se produce en una gran superficie y de manera continua, lo que da como resultado la pérdida de agregado grueso y la creación de concavidades. El área es mayor a 0,5 metros cuadrados.
REPARACIÓN	Cuando el nivel de severidad es alto es imprescindible sustituir las piezas de adoquín por otras nuevas que posean mayor durabilidad frente al desgaste.	
PÉRDIDA DE ARENA, PA		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Es la aparición de partículas de arena alrededor y sobre los adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Arrastre de material fino por expulsión de agua al paso de los vehículos. • Juntas abiertas. • Desplazamiento de juntas. 	
FOTO Y ESQUEMA	 	
SEVERIDAD	BAJA (B)	Se observa únicamente en lugares aislados y lo único que se pierde es la arena de sellado. La superficie es menor a medio metro cuadrado.
	MEDIA (M)	Se encuentra en regiones que tienen superficies mayores a 0,5 metros cuadrados.
	ALTA (A)	Existe evidencia de asentamientos así como de erosión de los perfiles del pavimento.
REPARACIÓN	Independientemente de la presencia de problemas de drenaje en esa zona específica, es importante realizar una inspección. Es necesario construir desagües y cualquier otro sistema de drenaje necesario si aún no existen. Para corregir esta degradación, es necesario limpiar el área y repetir el procedimiento de sellado de juntas. Esta es la metodología que se seguirá. El sellado de juntas debe realizarse como parte de cada operación de mantenimiento periódico. En casos de alta gravedad, es esencial extraer los adoquines, evaluar el estado de la capa de arena y realizar las reparaciones necesarias.	

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9

Figura 10

Desplazamiento de borde y desplazamiento de juntas

DESPLAZAMIENTO DE BORDE, DB		Unidad: m ²
DESCRIPCIÓN	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falla localizada en el lugar de construcción del elemento, inadecuada construcción y diseño del elemento de confinamiento. • Por las cargas del tránsito. 	
FOTO Y ESQUEMA	 	
SEVERIDAD	BAJA (B)	Se observa un desplazamiento de menos de dos centímetros en el perímetro de los adoquines, que se encuentran aún en su ubicación original.

	MEDIA (M)	Se ha producido un desplazamiento de entre dos y cinco centímetros en el perímetro de los adoquines, que han migrado de su ubicación inicial.
	ALTA (A)	Se ha determinado que los adoquines se han movido de su ubicación inicial, que algunas de las piedras ya se han desprendido del pavimento y que el desplazamiento en el perímetro es superior a cinco centímetros.
REPARACIÓN	Extraer el material afectado y luego higienizar el área. Evaluar y resolver los factores que afectan la estabilidad del sitio. Realizar un examen minucioso y resolver los problemas relacionados con el flujo de agua en el lugar. Reconstruir los elementos constitutivos de la contención. Reordenar el pavimento.	

DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS, DJ		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Los adoquines se apartan de su alineamiento inicial. Generalmente se da en hiladas de adoquines rectangulares.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • En zonas de frenado. • En sitios de alta pendiente. • Por falta de confinamientos transversales o porque éstos no están a una distancia adecuada. 	
FOTO Y	 	
SEVERIDAD	BAJA (B)	La separación promedio de las aberturas de las juntas es menor a 5 mm.
	MEDIA (M)	Se presenta en zonas con áreas superiores a 0.5 m ² .
	ALTA (A)	La separación promedio de las aberturas de las juntas está entre 5 y 10 mm.
REPARACIÓN	<p>El espacio medio que separa las juntas entre sí es superior a 10 milímetros. Asegúrese de que existen elementos de contención y de que están adecuadamente espaciados, y haga las modificaciones necesarias. Deben construirse si no están ya presentes.</p> <p>Para limpiar y ordenar eficazmente los adoquines, primero extráigalos de la zona afectada y luego continúe con la tarea en consecuencia.</p> <p>Se debe realizar una evaluación de la capa de arena para determinar su estado y determinar si es necesario reemplazarla.</p> <p>Una vez finalizado el proceso de sellado de juntas y limpiado el lugar, se deben colocar los adoquines en su posición original.</p>	

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9.

Figura 11

Fracturamiento y fracturamiento de confinamientos externos

FRACTURAMIENTO, FA		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Se trata de diferencias en los adoquines que se sitúan cerca de los elementos que se utilizan para el confinamiento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • El espesor de los adoquines es insuficiente • Las capas de soporte tienen un espesor insuficiente. • Existe una falta de calidad en los materiales que se utilizan para la capa de soporte y/o los adoquines. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Pavimentos que se han roto de forma solitaria. La superficie es inferior a medio metro cuadrado.
	MEDIA (M)	Pavimentos que se han roto de forma continua y sobre una sección significativa del pavimento. Espacio de al menos medio metro cuadrado.
	ALTA (A)	Pavimentos que se han roto de forma continua y sobre una sección significativa del pavimento. Se produce una textura rugosa como resultado de la pérdida de material, lo que da lugar a la formación de concavidades. Espacio de al menos 0,5 metros cuadrados.
REPARACIÓN	<p>Asegúrese de que el diseño actual del modelo estructural y el espesor de los adoquines sean suficientes para satisfacer los requerimientos de tráfico presentes y futuros. Si las especificaciones y espesores de las capas y/o adoquines no cumplen con los estándares, es imprescindible realizar los cambios necesarios.</p> <p>La sustitución de las piezas de adoquín es necesaria cuando el nivel de severidad es severo. El procedimiento inicialmente previsto para el deterioro por desplazamiento de juntas (DJ) es adecuado para la sustitución de adoquines.</p>	
FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTOS EXTERNOS, CE		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	La palabra se refiere al deterioro y ruptura gradual o total de los límites que existen fuera del cuerpo físico. En las últimas fases del deterioro, se produce un agotamiento del material, lo que permite que partículas y objetos extraños se afiancen en el pavimento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento por la presencia de automóviles y camiones. • Falta de control sobre el proceso de construcción y/o materiales de baja calidad para la obra. • En situaciones en las que los confinamientos se encuentran a un nivel superior al de la calzada, el impacto de los neumáticos de los vehículos puede ser un factor importante. • Por la implantación de vegetación. • Por la tendencia del hormigón a retraerse (en el caso de que sea hormigón) 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Existen grietas de tamaño inferior a tres milímetros.
	MEDIA (M)	El elemento se encuentra aún in situ, funcionando como confinamiento, a pesar de tener grietas de tamaño superior a tres milímetros.
	ALTA (A)	A pesar de que el elemento contiene fracturas de tamaño superior a tres milímetros, ya ha migrado de su lugar original y no impide el movimiento lateral de los adoquines.

REPARACIÓN	<p>A continuación, se detallan los pasos a seguir para corregir esta degeneración cuando el grado de severidad es significativo: Verificar que la estructura y configuración del componente sean aceptables. Retirar el material problemático y sanear la zona. Validar e implementar las modificaciones necesarias en las condiciones de estabilidad del sitio. Inspeccionar y corregir los posibles problemas de drenaje que puedan presentarse en el sitio. Reconstrucción de los materiales utilizados en el confinamiento. Reordenamiento de la superficie de la calzada.</p>
-------------------	--

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9.

Figura 12

Fracturamiento de confinamientos internos

FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTOS INTERNOS, CI		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Se refiere al deterioro y devastación de algunas estructuras internas, que puede ocurrir de forma parcial o total. En fases posteriores de degradación, se produce un agotamiento del material, lo que permite que partículas y objetos extraños se incrusten en el pavimento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento por la presencia de automóviles y camiones. • Falta de control sobre el proceso de construcción y/o materiales de baja calidad para la obra. • En situaciones en las que los confinamientos se encuentran a un nivel superior al de la calzada, el impacto de los neumáticos de los vehículos puede ser un factor importante. • Por la implantación de vegetación. • Si está formada por hormigón, se retraerá como consecuencia de la retracción del hormigón. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Se pueden encontrar grietas de tamaño inferior a tres milímetros.
	MEDIA (M)	El elemento contiene fracturas de más de tres milímetros de diámetro, no hay pérdida de material y sigue estando in situ actuando como confinamiento.
	ALTA (A)	El elemento contiene fisuras de más de tres milímetros de diámetro y hay pérdida de material, lo que hace posible que basura y otras partículas u objetos extraños se incrusten en el pavimento. Los adoquines pueden moverse tanto en sentido longitudinal como lateral sin que el elemento se lo impida.
REPARACIÓN	<p>Seguidamente se detallan los pasos a seguir para corregir esta degeneración cuando alcanza un alto grado de severidad: Verificar que la estructura y configuración del componente sean aceptables.</p> <p>Retirar el material responsable del problema y sanear la zona afectada. Validar e implementar las modificaciones necesarias en las condiciones de estabilidad del sitio. Inspeccionar y corregir los posibles problemas de drenaje que puedan presentarse en el sitio. Reconstrucción de los componentes utilizados en el confinamiento. Reordenamiento de la superficie de la calzada.</p>	

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9.

Figura 13

Escalonamiento entre adoquines y escalonamiento entre adoquines o confinamientos


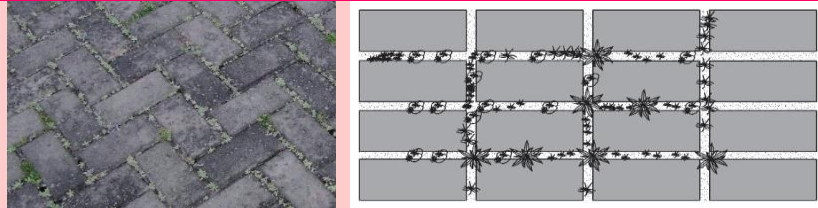
ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES, EA		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	El cambio abrupto de elevación que se produce entre las hileras de adoquines es lo que es.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Errores en la construcción que son el resultado de deficiencias en los procedimientos de construcción o una falta de control. • Torsión provocada por el peso y el tráfico. • No es el patrón de diseño más ideal colocar los adoquines en el patrón que se diseñó.. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Hay una pendiente que tiene una altura media de menos de 5 milímetros.
	MEDIA (M)	La altura de la pendiente, en promedio, está entre 5 y 10 milímetros.
	ALTA (A)	Es más de diez milímetros más alta que la altura media de la pendiente.
REPARACIÓN	<p>Para abordar la zona afectada, es imprescindible extraer los adoquines. Inicialmente, se deben limpiar a fondo antes de apartarlos para su posterior reinstalación.</p> <p>La capa de arena se está separando. Una capa de arena plana y uniforme.</p> <p>Al reposicionar y compactar inicialmente los adoquines previamente levantados, es recomendable colocar los adoquines con las caras orientadas en la misma posición que antes. Esto ayudará a mitigar cualquier inconsistencia en la textura del pavimento. La compactación final se produce en este lado de la junta.</p>	

ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES Y CONFINAMIENTOS, EC		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Como resultado de la variación del nivel superior del elemento de confinamiento con los adoquines en el momento de la construcción, se produce el cambio brusco de nivel entre los elementos de confinamiento y los adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • El nivel del adoquín se encontraba a un nivel superior, o en su defecto, inferior al nivel del elemento de confinamiento cuando se construyó el adoquín. • Como resultado de la variación del nivel superior del elemento de confinamiento con los adoquines en el momento de la construcción, se produce el cambio brusco de nivel entre los elementos de confinamiento y los adoquines. • El nivel del adoquín se encontraba a un nivel superior, o en su defecto, inferior al nivel del elemento de confinamiento cuando se construyó el adoquín. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm.
	MEDIA (M)	La altura del desnivel promedio está entre 5 y 10 mm.
	ALTA (A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm.
REPARACIÓN	<p>Si se descubre que el confinamiento es la fuente del problema, se debe reemplazar el problema con una alternativa de nivel óptimo. Si el problema se crea porque los adoquines de un carril están ubicados a un nivel que es más bajo o más alto que los componentes de confinamiento, es importante utilizar el siguiente enfoque:</p> <p>Es esencial extraer los adoquines de la zona afectada; primero, se deben limpiar y,</p>	

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9.

Figura 14

Juntas abiertas y vegetación en la calzada

JUNTAS ABIERTAS, JA		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Se trata de un espacio entre juntas superior a tres milímetros, que permite la pérdida de arena de sellado y la incrustación de partículas a través de las juntas, lo que finalmente produce la destrucción de los márgenes de los adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Por el volumen de tráfico. • Contención inadecuada o inexistente del objetivo. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Separación entre juntas menores a 5 mm.
	MEDIA (M)	Separación entre juntas entre 5 y 10 mm.
	ALTA (A)	Separación entre juntas mayores a 10 mm.
REPARACIÓN	<p>Saneamiento de la zona afectada. Se procederá a desalojar la zona afectada de los adoquines, para posteriormente limpiarlos y apartarlos en previsión de su futura sustitución. Se procederá a la reparación de la capa de arena. Capa de arena plana y uniforme. Al reposicionar y compactar inicialmente los adoquines previamente levantados, es</p>	
VEGETACIÓN EN LA CALZADA, VC		Unidad: m ² .
DESCRIPCIÓN	Es la invasión o crecimiento de vegetación a través de las juntas en la calzada. La vegetación puede llegar a levantar el adoquinado.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Abandono de la carretera. • Falta de limpieza y desmonte de las franjas adyacentes de la calzada. 	
FOTO Y ESQUEMA		
SEVERIDAD	BAJA (B)	Solo hay aparición de vegetación entre las juntas y es apenas apreciable.
	MEDIA (M)	La vegetación ya está por encima de los adoquines.
	ALTA (A)	La vegetación empieza a levantar los adoquines.
REPARACIÓN	<p>En situaciones en las que el grado de severidad es bajo o medio, el método que se debe utilizar es el desmontaje manual. Para ello, se debe retirar la arena de sellado contaminada con los instrumentos adecuados y, a continuación, repetir la operación de sellado de la junta. En situaciones en las que el grado de severidad es alto, es muy necesario llevar a cabo los siguientes procedimientos:</p> <p>El proceso de desmontaje de la región afectada se realizará de forma manual. El saneamiento de la zona afectada.</p> <p>Las actividades involucradas en este proceso incluyen la remoción de los adoquines, su limpieza y apilamiento a un lado. Se examinan las capas afectadas y, si es necesario, se realizan reparaciones.</p> <p>Las etapas esenciales incluyen la reorganización de los adoquines, la nivelación adecuada, la compactación y la limpieza, y finalmente el sellado de las juntas. Si es necesario, se</p>	



desmonta el componente y se limpian las áreas circundantes.

Nota: REVIST INGENIERÍAS DE MEDELLIN- COLOMBIA, VOL 9.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Evaluación de tablas y gráficos

Se realizó un análisis para identificar los defectos encontrados en el pavimento en investigación. El estudio se realizó en una vía para investigar las posibles causas y categorizarlas utilizando la escala de severidad basada en la metodología AASTHO 1993. Recolección de datos y realización de un análisis sobre los defectos en pavimentos de concreto elaborados con adoquines:

La ubicación del Jr. Bolognesi cuadra 11 se encuentra en la ciudad de Puno, dentro de un rango de 0+00 a 0+135 metros. El objeto de estudio es el adoquín. Se seleccionó un área de 135 m de largo y con un ancho de vía de 10 m. Se cuantificó el grado de deterioro que se identificó y se evaluó la ocupación espacial del pavimento ocasionada por los mismos.

Defectos identificados en el primer segmento: cuadra 11 del Jr. Bolognesi.

Tabla 12

Abultamiento en pavimento con adoquines de concreto

	Abultamiento B, A	Unidad m2
Descripción:	En otras palabras, son elevaciones o protuberancias que se manifiestan en la superficie del pavimento y provocan que el perfil del mismo se deforme.	
Causas:	Un espesor insuficiente para el tránsito. la cimentación del pavimento no tiene la suficiente estabilidad. además, suelen encontrarse en subrasantes que tienen suelos expansivos.	



Imagen N° 01. Abultamientos

Severidad: ALTA = Flecha mayor de la superficie del pavimento de 5cm

Reparación : Es necesario extraer los adoquines de la zona afectada, limpiarlos y luego disponerlos a un lado para su eventual instalación.
La excavación del estrato tiene como objetivo descubrir posibles complicaciones de drenaje y otras variables que puedan comprometer el control del edificio.
El proceso implica reorganizar los adoquines, primero compactándolos, sellando las juntas y luego compactándolos nuevamente.

Nota: elaboración propia

Tabla 13

Depresiones en pavimento con adoquines de concreto

Depresiones D, A	Unidad m2
Descripción:	Se incluyen los hundimientos localizados que tienen forma redonda o circular y que no implican ninguna pérdida de material. El suelo de cimentación ha experimentado asentamiento.
Causas:	La degradación de las partículas en la capa de arena puede provocar fallas en la capa. Drenaje insuficiente o pavimento que no se mantiene adecuadamente.



Imagen N° 02. Depresiones

- Severidad:** Alta = flecha de 6cm de profundidad
- Reparación:** Una vez que se hayan retirado los adoquines de la zona afectada, se deben limpiar a fondo y apilar juntos en un lado para su posterior instalación.
Examinar la posibilidad de que haya problemas de drenaje y cualquier otra variable que pueda afectar la estabilidad del edificio.
Las capas que se tratarán se comprimen y nivelan simultáneamente.
Reposicionar y compactar los adoquines que se levantaron y elevaron previamente.

Nota: elaboración propia

Tabla 14

Ahuellamiento en pavimento con adoquines de concreto

Ahuellamiento	AH	Unidad m2
Descripción:	Son depresiones que discurren en sentido longitudinal continuo a lo largo de las carreteras y vías principales.	
Causas:	Las capas no tienen un espesor adecuado para soportar el tráfico. Insuficiente compactación aplicada a las capas estructurales.	



Imagen N° 03. Ahuellamiento

Severidad: Media = flecha de 4cm de profundidad

Reparación: Para llevar a cabo con éxito la operación es necesario realizar una nivelación y consolidación siguiendo los siguientes pasos:

Una vez retirados los adoquines del área intervenida, se deben limpiar a fondo y apilar juntos en un solo lado en preparación para su futura instalación.

Las capas que se abordarán en cuanto a compactación y nivelación. Reposicionar y compactar los adoquines que fueron previamente levantados y elevados.

Tabla 15

Fracturamiento en pavimento con adoquines de concreto

Fracturamiento	F, A	Unidad m2
Descripción:	Son corrimientos zonificados de los adoquines junto a los agentes para confinar	
Causas:	Inadecuado espesor de los adoquines. Inadecuado espesor de la capa de base. Deficiencia en la calidad de los elementos del nivel de base.	



Imagen N° 20. Fracturamientos

Severidad: Media: Zona de extensión considerable de 0.60m²

Reparación: Asegúrese de que el diseño del modelo estructural existente y el espesor de los adoquines sean suficientes para satisfacer tanto los requisitos de tráfico actuales como los previstos para el futuro.

Debido al alto grado de gravedad de este escenario, será necesario reemplazar los adoquines por otros nuevos.

Tabla 16

Fracturamiento de confinamiento interno en pavimento con adoquines de concreto

Fracturamiento de confinamiento interno	Unidad m²
F, I	
Descripción:	El confinamiento interno se produce cuando se produce una degeneración y destrucción parcial o total del confinamiento. Se produce una pérdida de sustancia, lo que hace posible que elementos extraños se conviertan en incrustaciones. Es un agotamiento provocado por la presencia del tráfico.
Causas:	El impacto de los neumáticos de los automóviles puede provocar una disminución de la calidad de los materiales utilizados o una falta de control durante el proceso de construcción.
	
Imagen N° 21. Fracturamiento de confinamiento interno	
Severidad:	Alta = el elemento presenta grietas mayores de 7cm
Reparación:	Retirada del material problemático y sanitización del área. Reconstrucción de los componentes utilizados en el confinamiento. Reubicación de los adoquines.

Tabla 17

Desgaste superficial en pavimento con adoquines de concreto

Desgaste superficial D, S	Unidad m2
Descripción:	Es el proceso por el cual se pierden partículas de la superficie del adoquín, lo que da como resultado una textura superficial rugosa. Al mismo tiempo que se producen cavidades, se deja al descubierto el agregado grueso.
Causas:	Debido a la abrasión provocada por los neumáticos, los adoquines poseen un bajo nivel de control de calidad y/o producción. Contacto continuo con corrientes de agua que se encuentran bajo presión



Imagen N° 26. Depresiones

Severidad: Alto equivale a 36 metros cuadrados. Zona de importante expansión, lo que ha provocado la pérdida de agregado grueso.

Reparación: Cuando el grado de deterioro es severo, es importante sustituir las piezas de adoquín por otras nuevas que tengan una mayor resistencia al desgaste.

Tabla 18

Desplazamiento de borde en pavimento con adoquines de concreto en el Jr.

Bolognesi

	DESPLAZAMIENTO DE BORDE D, B	Unidad m ²
Descripción:	En concreto, se han producido desprendimientos de tierra en la zona del borde de los adoquines.	
Causas:	Se produce un debilitamiento de la base o subbase en lugares que se encuentran cerca del borde del adoquín. Por el tráfico intenso. Construcción y elemento de confinamiento insatisfactorios respectivamente. Impacto abrasivo provocado por arena suelta cerca del borde del adoquín, que da lugar al desprendimiento de las partes de la piedra.	



25cm

Imagen N° 23. Desplazamiento de borde

Severidad: La altura es de 25 centímetros. Se ha observado que los adoquines han migrado de su ubicación inicial y algunos de ellos ya se han desprendido del pavimento.

Reparación: Retire la sustancia que esté causando el problema y limpie la zona. Verifique y haga los ajustes necesarios a las condiciones de estabilidad del sitio. Examine y solucione los problemas de drenaje que encuentre.

4.2. Encuesta aplicada a los usuarios

1. ¿Considera que el pavimento con adoquines de concreto en el Jr. Bolognesi se encuentra en buen estado?

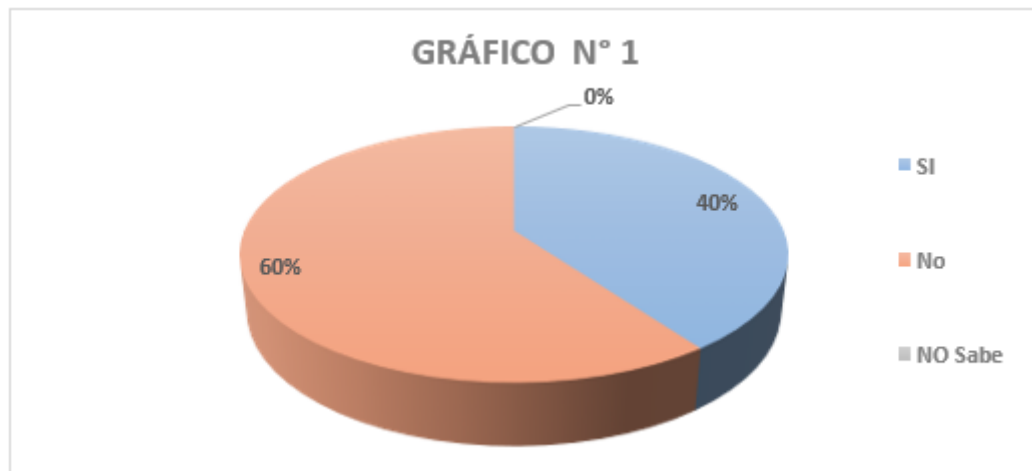
Tabla 19

Condición Actual del pavimento

RESPUESTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	4	40%
NO	6	60%
NO SABE	0	0%
TOTAL	10	100%

Figura 15

Condición Actual del pavimento



2. ¿Con que valores calificaría el nivel de servicio del pavimento?

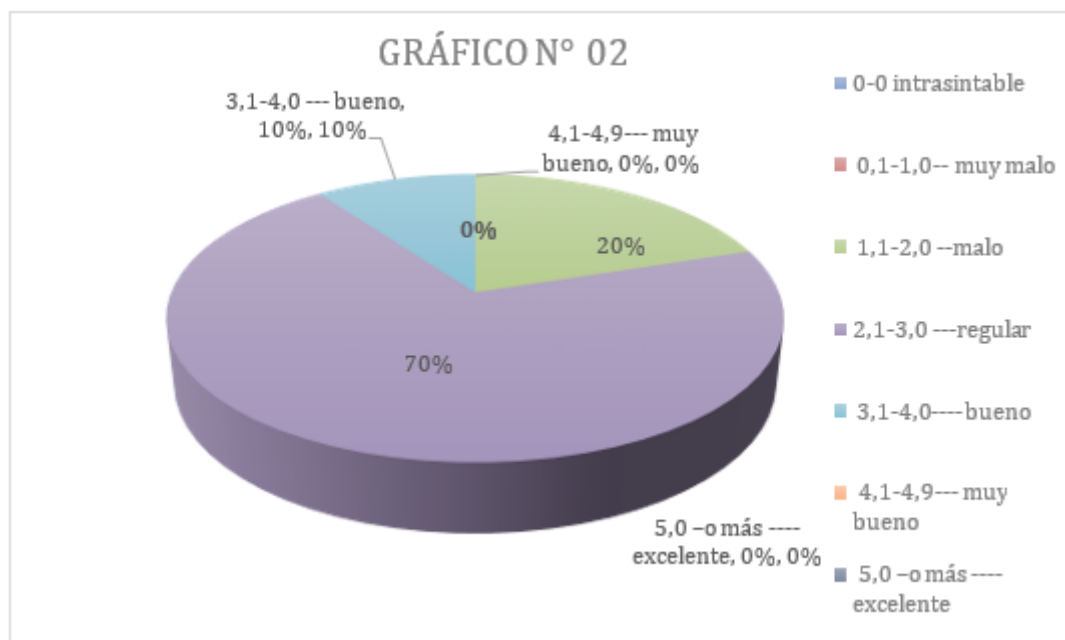
Tabla 20

Calificación del nivel del servicio del pavimento

RESPUESTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
5,0 – o más Excelente	0	0%
4,1 – 4,9 Muy bueno	0	0%
3,1 – 4,0 Bueno	1	10%
2,1 – 3,0 Regular	7	70%
1,1 – 2,0 Malo	2	20%
0,1 – 1,0 Muy malo	0	0%
0,0 – 0,0 Intransitable	0	0%
TOTAL	10	100%

Figura 16

Calificación del nivel del servicio del pavimento



3. ¿A qué cree que se deba la presencia de fallas o deterioros en el pavimento con adoquines de concreto el Jr, Bolognesi de la ciudad de Puno?

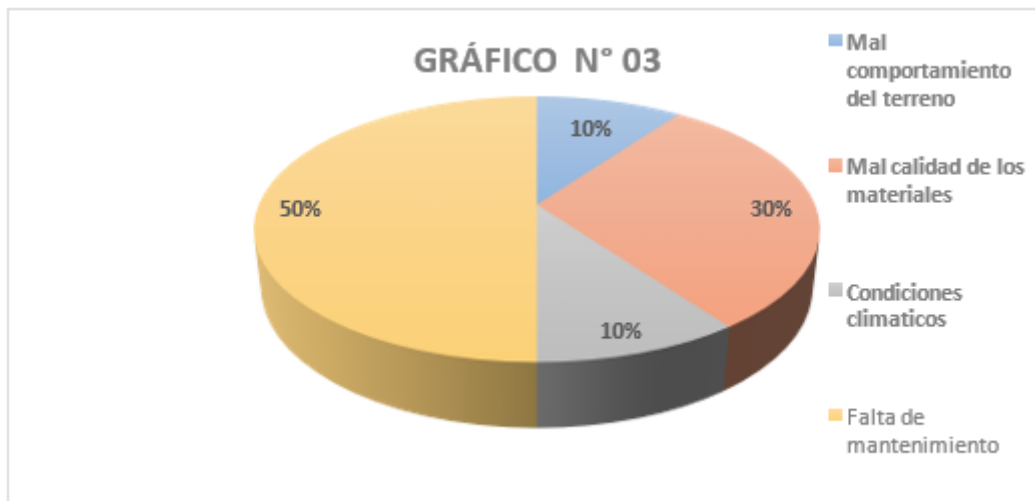
Tabla 21

Causa de la presencia de fallas en los pavimentos Intertrabado

RESPUESTA	CANTIDA	PORCENTAJ
	D	E
MAL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO	1	10%
MALA CALIDAD DE LOS MATERIALES	3	30%
CONDICIONES CLIMÁTICAS	1	10%
FALTA DE MANTENIMIENTO	5	50%
TOTAL	10	100%

Figura 17

Causa de la presencia de fallas en los pavimentos Intertrabado



4. ¿cómo cree usted que afecte las fallas de los pavimentos con adoquines de concreto del Jr. Bolognesi de la ciudad de Puno?

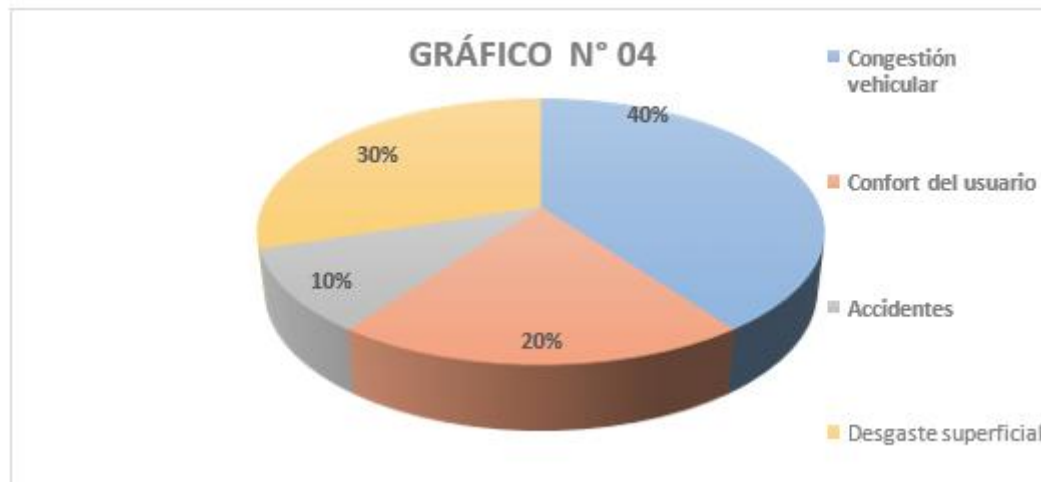
Tabla 22

Repercusión de las fallas en la vida útil del pavimento

RESPUESTA	CANTIDA	PORCENTAJ
	D	E
CONGESTIÓN VEHICULAR	4	40%
CONFORT DEL USUARIO	2	20%
ACCIDENTES	1	10%
DESGASTE DE LOS VEHICULOS	3	30%
TOTAL	10	100%

Figura 18

Repercusión de las fallas en la vida útil del pavimento



5. ¿Cuál es la falla más severa que afecte al funcionamiento del pavimento con adoquines de concreto para el libre tránsito del usuario, Según su apreciación?

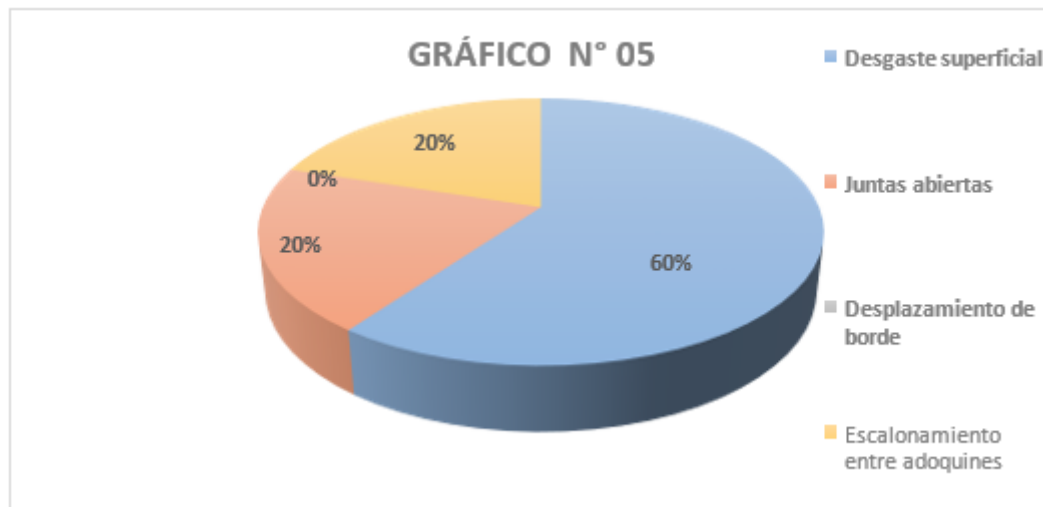
Tabla 23

Falla Severa que Afecta al Funcionamiento del Pavimento

RESPUESTA	CANTIDA D	PORCENTAJ E
DESGASTE SUPERFICIAL	6	60%
JUNTAS ABIERTAS	2	20%
DESPLAZAMIENTO DE BORDE	0	0%
ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES	2	20%
TOTAL	10	100%

Figura 19

Falla Severa que Afecta al Funcionamiento del Pavimento



6. ¿Cómo influye el mantenimiento oportuno en la vida útil del pavimento con adoquines de concreto en el Jr. Bolognesi de la ciudad de Juliaca?

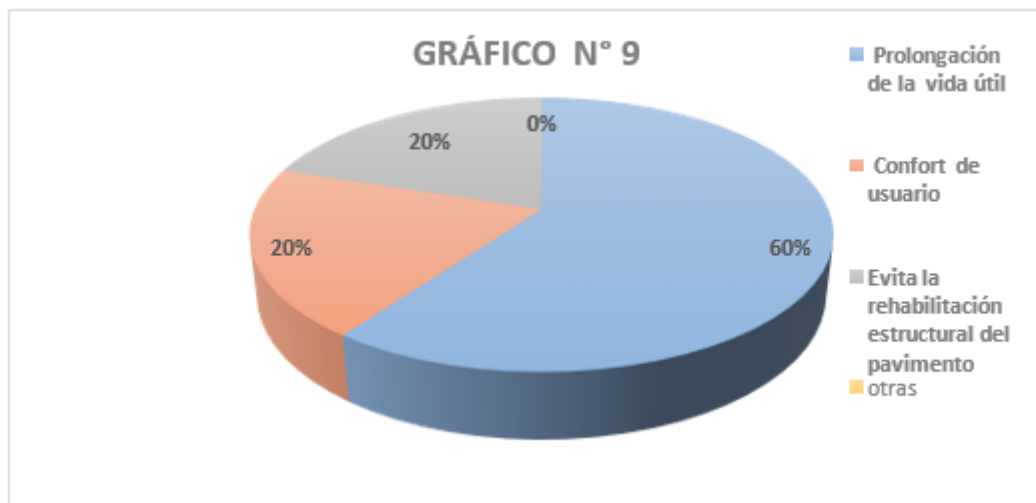
Tabla 24

Influencia del mantenimiento oportuno en la vida útil del Pavimento

RESPUESTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
prolongación de la vida útil	3	30%
confort del usuario	3	30%
evitar la reconstrucción estructural del pavimento	4	40%

Figura 20

Influencia del mantenimiento oportuno en la vida útil del Pavimento



7. ¿Qué medida aportaría para una mejor serviciabilidad de los futuros pavimento con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?

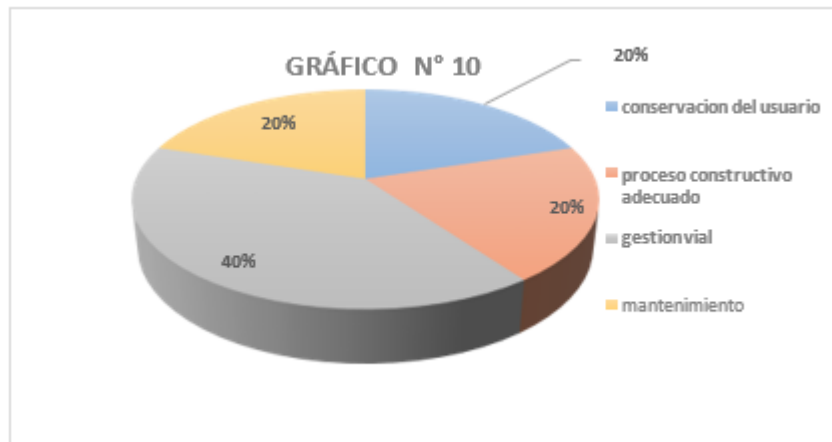
Tabla 25

Medidas para una mejor serviciabilidad del Pavimento

RESPUESTA	CANTIDA	PORCENTAJ
	D	E
Prolongación de la vida útil	3	30%
Confort del usuario	3	30%
Evitar la reconstrucción estructural del pavimento	4	40%
TOTAL	10	100%

Figura 21

Medidas para una mejor serviciabilidad del Pavimento.



Interpretación de gráficos

Para garantizar la validez de la investigación se aplicó una encuesta a usuarios y especialistas en el campo de la ingeniería civil residentes en la ciudad de Puno.

El resultado obtenido es el siguiente:

1. ¿Considera que el pavimento con adoquines de concreto del Jr. Bolognesi se encuentra en buen estado?

El 60% de los usuarios y expertos considera que el estado del pavimento con adoquines de hormigón es deficiente.

El 40% de los usuarios y expertos considera que la calidad del pavimento con adoquines de hormigón es satisfactoria. Ver (Figura 15).

2. ¿Con que valores calificaría el nivel de servicio del pavimento?

Según la escala de calificación de capacidad de servicio basada en la norma AASTHO, el setenta por ciento de los usuarios e ingenieros han indicado que la



capacidad de servicio es promedio. El valor de la escala varía de 2,1 a 3,0, y la puntuación promedio se sitúa en algún punto intermedio. (ver tabla n°5)

El 20% de los clientes y profesionales calificaron el estado de conservación del pavimento como malo, con puntuaciones que oscilaban entre 1 y 2. Según su opinión, el 10% de ellos calificó el estado de conservación del pavimento como excelente, con puntuaciones que oscilaban entre 3,1 y 4,10 ver (*Figura 16*)

3. ¿A qué cree que se deba la presencia de fallas o deterioros en el pavimento con adoquines de concreto del Jr. Bolognesi de la ciudad de Puno?

La mitad de los usuarios y especialistas atribuyen las averías a un mantenimiento insuficiente de los pavimentos.

El 20% de los consumidores e ingenieros se ven afectados por las circunstancias climáticas.

El 20% restante de la muestra opina que la causa se atribuye a la mala calidad de los materiales.

Además, un 10% de los individuos atribuye este problema al comportamiento inadecuado del suelo bajo el pavimento en estudio. Ver (*Figura 17*).

4. ¿Cómo cree usted que afecte las fallas de los pavimentos con adoquines de concreto del Jr. Bolognesi de la ciudad de Puno?

El 40% considera que afecte en la congestión vehicular

El 30% de los encuestados cree que influye en el deterioro y los daños de los automóviles.



El 20% de los encuestados cree que influye en el confort de los consumidores.

Una minoría de usuarios y expertos, concretamente el 10%, cree que los desperfectos del pavimento son un factor que contribuye a los accidentes. Ver (Figura 18).

5. ¿Cuál es la falla más severa que afecte al funcionamiento del pavimento con adoquines de concreto para el libre tránsito del usuario? ¿Según su apreciación?

La mayoría de los usuarios e ingenieros, un 60%, considera que el fallo más significativo es el desgaste superficial que se visualiza en la vía investigada.

Un 20% de los individuos lo ve como las separaciones visibles que se desarrollan en un área dada del pavimento.

Otro 20% de los encuestados lo ve como el acto de caminar de forma inestable sobre el pavimento. Ver (Figura 19).

6. ¿Cómo influye el mantenimiento oportuno en la vida útil del pavimento con adoquines de concreto en Jr. Bolognesi de la ciudad de Puno?

El 40% de los usuarios e ingenieros manifestaron que se abstendrían de realizar reconstrucciones estructurales de la vía si se realizara un mantenimiento justo.

El 30% de los encuestados cree que realizar un mantenimiento regular extenderá efectivamente la vida útil de la vía.

El 30% restante cree que un mantenimiento adecuado y oportuno habría



resultado en una experiencia más satisfactoria para el cliente. (Figura 20).

7. ¿Qué medida aportaría para una mejor serviciabilidad de los futuros pavimento con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?

Según el 40% de los usuarios e ingenieros, la gestión del tráfico sería necesaria para mejorar la capacidad de servicio de los pavimentos futuros.

El 20% de los encuestados cree que la responsabilidad del mantenimiento debería recaer en el usuario.

El 20% de los encuestados cree que el mantenimiento es necesario para mejorar la capacidad de servicio de los pavimentos futuros.

Además, el 20% de los individuos cree que utilizando un método de construcción adecuado, se garantizaría la funcionalidad de los pavimentos futuros.

(Figura 21)

Interpretación de los datos obtenidos de la encuesta

1. Según la Norma AASTHO 1993, la capacidad de servicio se define como la capacidad del pavimento para satisfacer las necesidades del que la usa. Según una encuesta, el 70% de los usuarios e ingenieros consideran que la capacidad de servicio del pavimento es promedio. Esto se basa en una escala de valores que va de 2,5 a 3,5.
2. Se utiliza una escala numérica que va de 0 a 5 para indicar el nivel de logro, donde 0 significa un resultado inalcanzable y 5 significa un rendimiento excepcional. Esta escala indica un valor abstracto que no existe en la realidad.
3. La falta de una estrategia de mantenimiento de la carretera causó directamente los problemas encontrados en el pavimento investigado.



4. La presencia de defectos en los adoquines de hormigón del pavimento reduce significativamente su durabilidad y dificulta el movimiento fluido de vehículos ligeros y pesados. Esto es particularmente problemático para una carretera local que proporciona acceso directo a áreas comerciales y experimenta altos niveles de congestión vehicular. Según la normativa NTE.CE 010, en las vías locales utilizadas con fines comerciales se prevé la aparición frecuente de congestiones debido a la baja velocidad a la que circulan los vehículos por dichas aceras.



CONCLUSIONES

- Primera:** El pavimento de hormigón del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno se considera de calidad y funcionalidad satisfactorias. La idoneidad de este grado se determinó mediante encuestas realizadas a ingenieros y vecinos de la ciudad de Puno.
- Segunda:** Además, se ha demostrado que la cuadra 11 del Jirón Bolognesi presenta deficiencias en los niveles construidos, entre las que se encuentran, pero no se limitan a, desgastes superficiales que se caracterizan por un grado de severidad razonablemente significativo. Las fracturas por confinamiento interno presentan una severidad mucho mayor en comparación con otras formas de fractura; El nivel de severidad de los abultamientos es muy alto. Estos casos urgentes necesitan un tratamiento rápido y se consideran cuidadosamente dentro del marco teórico.
- Tercera:** Se identificaron defectos en la primera fase del pavimento de hormigón del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno. Estas fallas consistieron en ahuellamientos con un nivel de intensidad moderado. Las grietas al interior de los recintos internos presentan un nivel de severidad moderado. Para evitar su deterioro total, se requiere de mantenimiento.
- Cuarta:** Las técnicas de restauración de los defectos o degeneraciones del pavimento generados por adoquines de hormigón se han reconocido como las siguientes. Se recomienda nivelar y compactar las capas para corregir las imperfecciones que produzcan deformaciones en la superficie del pavimento. Se sugiere sustituir las piezas de adoquín



siempre que existan fallas que presenten desprendimientos. Esto redundará en una mayor durabilidad y calidad. En el caso de fallas resultantes de fracturas, se recomienda repararlas solucionando las complicaciones de drenaje y mejorando el control de la capa de cimentación.



RECOMENDACIONES

- Primera:** Las autoridades municipales de la provincia de Puno deben abordar las fallas identificadas en el pavimento entrelazado del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno, específicamente en las calzadas.
- Segunda:** Se sugiere que las autoridades municipales de la provincia de Puno establezcan un esquema de manejo de conservación vial para las calles claves. Este sistema tendría como objetivo identificar las posibles fallas y realizar las reparaciones necesarias.
- Tercera:** Se sugiere realizar evaluaciones experimentales para analizar la estructura de la vía y evaluar su estado y desempeño.
- Cuarta:** Se sugiere que los ingenieros civiles controlen, normen y gestionen el recurso humano involucrado en la ejecución de pavimentos utilizando adoquines de concreto. Además, es recomendable que los ingenieros civiles promuevan la educación técnica de los trabajadores para garantizar la construcción de pavimentos de alta calidad y funcionales.



REFERENCIAS

- Alvarado, J. R., & Castillo, B. E. (2020). *Análisis de las patologías en el pavimento articulado de la avenida Grau del Distrito de Máncora-Talara-Piura*. 2020. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56218>
- Alvarado, M. I. (2018). *Evaluación de los defectos constructivos en Viviendas de Albañilería confinada según NTP-E070 Sector 4 Distrito de la Esperanza* 2018. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34033>
- Alvarez, E. D. (2016). *Determinación del índice de condición del pavimento flexible en la carretera Cajamarca-Otuzco, Distrito de Baños del Inca, Departamento de Cajamarca-2016*.
- Alviz, N. A. (2023). *Diagnóstico de las deficiencias constructivas en viviendas de albañilería confinada del cercado de Concepción, Junín*. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6607>
- Barreto, C. E. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías del pavimento intertrabado del jirón Andres Rázuri, cuadras 1 y 2 y de la avenida Huacanvelica, cuadras 15, 16 y 17 de Chulucanas—octubre 2017*.
- Calle, R. L. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías en el sistema estructural de albañilería confinada de las viviendas comprendidas entre las calles jr. 3 de Octubre, avenida Ancash, jr. Paita y avenida nueva del pozo, del pueblo joven La Merced-Paita alta-Pait*. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/5579>
- Cango, J. A. (2015). *Análisis y evaluación patológico de la superficie del pavimento intertrabado en la Av. Sánchez Cerro Cuadras 11 y 12, Desde La Av. Sullana Norte Hasta La Av. Country, Vía Auxiliar Izquierda, Piura—2015*.



<https://es.scribd.com/document/386128957/Analisis-y-evaluacion-patologico-de-la-superficie-del-pavimento-intertrabado-pdf>

Ccoillo, I. (2017). *Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina–2016.*

Chihuan, J. A., & Ponce, D. E. (2024). *Análisis de las deficiencias constructivas en viviendas de albañilería confinada del distrito de Orcotuna, Junín.*
<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/8108>

Cieza, D. (2015). *Comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado, una nueva alternativa para pavimentos articulados.*
<http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/632>

Cieza, E. O., & Liñán, M. T. (2018). *Evaluación del pavimento rígido en el jirón Augusto B. Leguía, distrito Independencia, Huaraz, Ancash-2018.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/32593>

Dominguez, H. L., & Yovera, E. J. (2021). *Análisis del efecto de los polímeros en los asfaltos provenientes de la refinería de Talara a fin de mejorar su comportamiento para su aplicación en los pavimentos de la ciudad de Piura, departamento de Piura.* <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7237>

Espinoza, A. E., & Chambi, M. E. (2016). *Evalucion y recomendaciones de la calidad constructiva en viviendas edificadas sin asesoramiento tecnico caso centro poblado de alto Puno-Puno.* <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/acd79071-0b1d-4512-8345-7f24878e380a>

Espinoza, T. E. (2010). *Determinación y evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos de la provincia de*



Huancabamba, departamento de Piura. *Proyecto de Tesis Para Optar El Título de Ingeniero Civil. Piura, Perú, Universidad Católica Los Ángeles Chimbote.*

Flores, K. K. (2020). *Estabilización de subrasante utilizando puzolánico de cascarilla de arroz y cal para mejorar la capacidad portante, San Martín-2020.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/47893>

Giron, G. M., & Ríos, S. V. (2020). *Evaluación del estado de conservación del pavimento articulado de la vía La libertad en el distrito de Moche-Trujillo-2020.*

Gomez, S. J. (2014). *Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau-Trujillo-La Libertad.*

Grupo, T. (2008). *Manual de colocación de pavimentos intertrabado.*

Hurtado, L. A. (2017). *Evaluación de las patologías en viviendas de concreto armado en la urbanización Monterrico-distrito Jaén-departamento Cajamarca-2017.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/25702>

Ibáñez, W. E. (2015). *Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico-mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera Chilete-Cajamarca.*

Infante Sosa, S. A. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en las columnas, vigas, sobrecimientos y muros de albañilería del cerco perimétrico de la industria Veinte Veinte SAC, del distrito de Puerto Supe, provincia de Barranca, región Lima, Abril-2018.*

López, J. C. (2019). *Evaluación del nivel de deterioro de las Estructuras de Concreto y albañilería en los módulos de vivienda de la urb. villa médica de Juliaca.*



- Luis, A. (2017). *Comportamiento estructural de una edificación de albañilería confinada existente y proyectada, en el distrito de Ate-Lima-2017.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/35532>
- Mejia, C. R. (2017). *Guía de procedimiento para la determinación y evaluación de patologías en la construcción en edificaciones de concreto armado en Huaraz–Ancash-2017.*
- Meza, L. E., & Palomino, K. J. (2021). *Mezcla asfáltica modificada con polímeros para el mejoramiento del pavimento asfáltico en zona de selva.*
- Miranda, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Valdivia: Universidad Austral de Chile.*
- Morales, K. A., & Oliveira, K. M. (2021). *Determinación de Parámetros de Albañilería para Establecer la Calidad en Viviendas de Interés Social, Pucallpa 2021.*
- Navarro, C., & Gonzalo, A. (2016). *Defectos constructivos en viviendas de albañilería confinada-Barrio Santa Elena, 2016.*
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_d22362f2852683f4d69d014ce40900c2
- Paredes, A. F. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, muros y sobrecimientos de albañilería confinada del cerco de la pesquera conservas de Chimbote La Chimbotana de la urbanización Gran Trapecio, distrito de Chimbote, provincia de.*
<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/9022>
- Peña, C. H. (2016). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico de la*



Institución Educativa 607443 Enry Herve Linares Soto, Distrito De Belen, Provincia De Maynas, Región Loreto, Marzo–2.
<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/321>

Ponce, L. A. M., Cantos, G. N. P., Lucio, D. A. C., Garcés, M. O. C., Delgado, J. A. P., Reyes, F. S. P., & Campozano, B. P. B. (2018). *Mantenimiento y conservación de carreteras* (Vol. 28). 3Ciencias.

Quispe, W. (2016). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimiento y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico del depósito de comercio de la manzana 13-14, lote 1 del pueblo joven Miraflores alto tercera zona, distrito.*
<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/327>

Rodriguez, L. E. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías en las estructuras de concreto en columnas, vigas y muros en albañilería del cerco perimétrico de la Institución Educativa Inicial 170 Divino Niño Jesús. Belén, Loreto, Marzo–2016.*
<https://hdl.handle.net/20.500.13032/276>

Romero, G. V. (1991). *Diseño y construcción de pavimentos*. Colegio de Ingenieros del Peru, Capitulo de Ingenieria Civil, Consejo

Salinas, W. A., Rojas, O., & Jiménez, Y. (2019a). *Evaluación superficial de pavimento rígido utilizando método índice de condición de pavimento, la Avenida Pakamuros provincia de Jaén, Cajamarca, 2019.*

Salinas, W. A., Rojas, O., & Jiménez, Y. (2019b). *Evaluación superficial de pavimento rígido utilizando método índice de condición de pavimento, la Avenida Pakamuros provincia de Jaén, Cajamarca, 2019.*



Sánchez, H. A. (2023). *Creación del servicio deportivo y de recreación en la MZ C Lt 1 de la Junta Vecinal Los Pioneros, distrito de San Antonio, Mariscal Nieto, Moquegua*. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/2696>

Shaquihuanga, D. L. (2014). *Evaluación del estado actual de los muros de albañilería confinada en las viviendas del sector Fila Alta-Jaén*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/379>

Sosa, A. (2017). *Determinación y evaluación de patologías del concreto en sobrecimientos, columnas, vigas y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico del coliseo municipal del distrito de la Unión, provincia de Piura, región Piura, agosto-2016*.

Vilchez, I. K. J. (2016a). *Análisis de las fallas en los pavimentos intertrabados de las calles circundantes del mercado de Catacaos-Piura 2016*. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/5357>

Vilchez, I. K. J. (2016b). *Análisis de las fallas en los pavimentos intertrabados de las calles circundantes del mercado de Catacaos-Piura 2016*. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/5357>



ANEXOS



ANEXO 1. Matriz de consistencia

TEMA : EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023 EJECUTOR : EDWIN MAMANI RODRIGO

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES
<p>PROBLEMA GENERAL. ¿Cuáles son los factores que producen el deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las características de los suelos de la subrasante, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno? ¿Cuáles son las características de los suelos de la base, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno? ¿Cuáles son las características del deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno? 	<p>OBJETIVO GENERAL. Determinar los factores que originan el deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</p> <ol style="list-style-type: none"> Determinar las características de los suelos de la subrasante, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno. Determinar las características de los suelos de la base, de los pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno. Identificar las características del deterioro de pavimentos con adoquines de concreto en la ciudad de Puno. 	<p>VARIABLE 1 : TERRENO DE FUNDACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> Clase de suelo. CBR. Profundidad de napa freática.
		<p>VARIABLE 2 : BASE</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de suelo. Compactación. CBR.
		<p>VARIABLE 3 : PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO</p>	<ul style="list-style-type: none"> Unidades de adoquín. Proceso constructivo. Obras de drenaje.

ANEXO 2. Anexo 02 panel fotográfico

FOTOGRAFÍA N° 1: DESPLAZAMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- Se aprecia la desnivelación de unidades segmentadas.



FOTOGRAFÍA N° 2 : DESPRENDIMIENTO EN EL JR. BOLOGNESI.- Se aprecia la falta de unidades segmentadas en partes de la vía.



FOTOGRAFÍA N° 3: DESPRENDIMIENTO EN EL JR. BOLOGNESI.- Se aprecia la falta de unidades segmentadas en partes de la vía.



FOTOGRAFÍA N° 4: FRACTURACIÓN EN EL JR. BOLOGNESI.- Se observa unidades segmentadas fracturadas.



FOTOGRAFÍA N° 5: OBRAS DE DRENAJE EN EL JR. BOLOGNESI.- No se distinguen las obras de drenaje que faciliten el escurrimiento de aguas.



FOTOGRAFÍA N° 6: DESPLAZAMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- Se observa las unidades segmentadas completamente desalineadas.



FOTOGRAFÍA N° 7: OBRAS DE DRENAJE EN EL JR. BOLOGNESI.- Las aguas pluviales no tienen lugares adecuados de escurrimiento.



FOTOGRAFÍA N° 8: DESPLAZAMIENTO EN EL JR. BOLOGNESI.- La intersección con otras vías no están debidamente complementadas.



FOTOGRAFÍA N° 9: DESPRENDIMIENTO EN EL JR. BOLOGNESI.- Al no estar pavimentadas las vías de intersección origina desplazamientos.



FOTOGRAFÍA N°10: DESPRENDIMIENTO EN EL JR. BOLOGNESI.- Al no estar pavimentadas las vías de intersección origina desplazamientos.



FOTOGRAFÍA N°11: OBRAS DE DRENAJE EN EL JR BOLOGNESI.- La falta de obras de drenaje deterioran los muros de las construcciones.



FOTOGRAFÍA N°12: ESPLAZAMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- El desalinamiento alineado y desalineado del ancho de la vía origina desplazamientos en los adoquines.



FOTOGRAFÍA N° 13: FRACTURACIÓN EN EL JR BOLOGNESI.- La deficiente conformación de la base origina fracturas en las unidades segmentadas.



FOTOGRAFÍA N° 14: DESPRENDIMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- El cambio de pavimento con las vías de intersección originan desprendimiento.



FOTOGRAFÍA N° 15: DESPRENDIMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- El cambio de pavimento con las vías de intersección originan desprendimiento.



FOTOGRAFÍA N° 16: DEFORMACIONES EN EL JR. BOLOGNESI.- La falta de bombeo en la vía dificulta el adecuado exclusimientto de las aguas.



FOTOGRAFÍA N° 17: DESPRENDIMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- El deficiente diseño de obras de drenaje origina el desprendimiento de las unidades segmentadas.



FOTOGRAFÍA N° 18: DEFICIENTES PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN EL JR. BOLOGNESI.- Se observa la falta de adecuadas características geométricas.



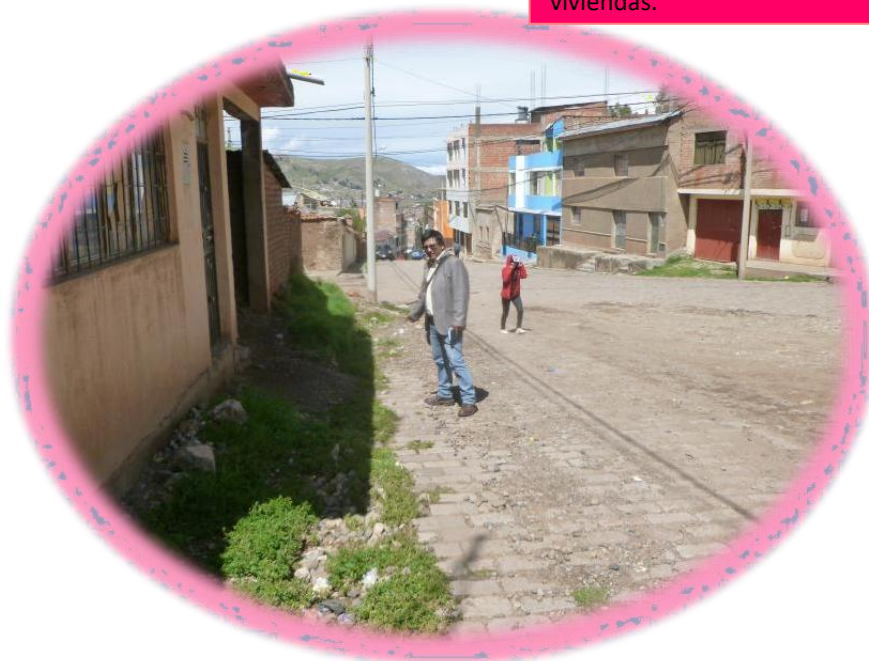
FOTOGRAFÍA N° 19: OBRAS DE DRENAJE DISCONTINUAS EN EL JR. BOLOGNESI.- En las intersecciones con otras vías no se facilitan el escurrimiento de las vías.



FOTOGRAFÍA N° 20: DESPRENDIMIENTOS EN EL JR. BOLOGNESI.- Al no tener definidas las obras de drenaje se origina desprendimientos de las unidades segmentadas.



FOTOGRAFÍA N° 21: ALTA DE VEREDAS EN EL JR. BOLOGNESI.- Ocasiona daños en el interior de viviendas.



FOTOGRAFÍA N°22: DEFICIENTE TRANSICIÓN EN EL JR. BOLOGNESI.-El encuentro de dos tipos de pavimentos no es tan debidamente complementadas.



FOTOGRAFÍA N°23: DEFICIENTE TRANSICIÓN EN EL JR. BOLOGNESI.-El encuentro de dos tipos de pavimentos no es tan debidamente complementadas.



FOTOGRAFÍA N°24: DEFORMACIONES EN EL JR. BOLOGNESI.-La excesiva pendiente no permite el control de la rasante de la vía.





ANEXO 3.

ENCUESTA A USUARIOS Y PROFESIONAL INGENIERO

ENCUESTA

Estimado Sr (a) el presente cuestionario tiene por objetivo recoger información relacionada con las Fallas del Pavimento con adoquines de concreto del Jirón Bolognesi, razón por la cual le solicito conteste con sinceridad a cada una de las interrogantes hechas.

AREA.....FECHA.....

LUGAR.....

1. *¿Considera que el pavimento con adoquines de concreto del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno se encuentra en buen estado?*

- a) Si
- b) No
- c) No sabe

2. *¿Con que valores calificaría el nivel de servicio del pavimento según la norma AASTHO 1993?*

- a) 0,0--- intransitable
- b) 0,1-1,0-- muy malo
- c) 1,1-2,0 --malo
- d) 2,1-3,0 ---regular
- e) 3,1-4,0---- bueno
- f) 4,1-4,9--- muy bueno
- g) 5,0 -o más ----- excelente



3. *¿A qué cree que se deba la presencia de fallas o deterioros en el pavimento con adoquines de concreto del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno?*
- a) Mal comportamiento del terreno
 - b) Terrenos débiles
 - c) Mal calidad de los materiales
 - d) Condiciones climáticas
 - e) Falta de mantenimiento
4. *¿Cómo cree usted que afecte las fallas de los pavimentos con adoquines de concreto en el Jirón Bolognesi?*
- a) congestión vehicular
 - b) libre tránsito de transeúntes
 - c) accidentes
 - d) desgaste de los vehículos
5. *¿Cuál es la falla más severa que afecte al funcionamiento del pavimento con adoquines de concreto para el libre tránsito del usuario. Según su apreciación?*
- a) Desgaste superficial
 - b) Juntas abiertas
 - c) Desplazamiento de borde
 - d) Escalonamiento entre adoquines
6. *Como se podría tratar la falla que afecta al funcionamiento del pavimento con adoquines de concreto.*
- a) Reemplazando las piezas de adoquines por unas nuevas de mejor resistencia de desgaste
 - b) Haciendo limpieza de la zona y sellado de juntas
 - c) Nivelación de la cama de arena.



7. *¿Cuál es la falla más severa que afecten a la estructura del pavimento con adoquines de concreto del Jirón Bolognesi de la ciudad de Puno según su apreciación?*
- a) Depresiones
 - b) Ahuellamiento
 - c) Abultamiento
 - d) fracturamientos
8. *¿Cómo se podría tratar las fallas que afectan la estructura del pavimento con adoquines de concreto.*
- a) Revisando y corrigiendo problemas de drenaje
 - b) Compactación y nivelación de las capas tratadas
 - c) Estabilizando las capas de paquete estructural
 - d) a y c
9. *¿Cómo influye el mantenimiento oportuno en la vida útil del pavimento con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?*
- a) Prolongación de la vida útil
 - b) Confort de usuario
 - c) Evita la reconstrucción estructural del pavimento
 - d) Otras(especificar)
10. *¿Qué medida aportaría para una mejor serviciabilidad de los futuros pavimento con adoquines de concreto en la ciudad de Puno?*
- a) Conservación del usuario
 - b) Proceso constructivo adecuado a las especificaciones técnicas.
 - c) gestión vial
 - d) mantenimiento.



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 15/04/25

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EDWIN MAMANI RODRIGO

Dirección: Jr. 9 DE DICIEMBRE 104

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 43190170

Teléfono: 938469540 email: edwindelrodrigo2000@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL DETERIORO EN PAVIMENTOS

CON ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PUNO 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): ADOQUINES DE CONCRETO, CALIDAD, DETERIORO

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?

1,2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN- P50

Firma de Autor



huella digital

15 de Abril de 2025

Fecha