

Rehabilitation Methods for Deformed Rigid Pavements Based on Research and Characterization - Cajamarca

Oscar Anibal Llique Cuzco, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.² 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00026634@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract. The objective of the research is to characterize the treatment methods for deteriorated rigid pavements based on research carried out for the city of Cajamarca (Peru). This theme is part of the line of research on public health and vulnerable populations, which in turn has the sub-line of research on urbanism, sanitation and urban mobility of the authors. For this, a non-experimental design was applied in which research such as scientific articles, theses and books were collected from which data were taken such as the structural number, the cost per m², the useful life time, the required thicknesses, the dimensions of the structural parts of the road, the evaluation and the current state of the roads by PCI method, VIZIR, among others. The best treatment method for deteriorated rigid pavements in Cajamarca was determined and a design manual for said method was prepared.

Keywords: Rigid pavements, treatment methods, on reinforcement layers, rehabilitation of pavements, characterization of methods.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Métodos de Rehabilitación de Pavimentos Rígidos Deformados en Base a Investigaciones y Caracterización - Cajamarca

Oscar Anibal Llique Cuzco, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.² 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00026634@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- La investigación tiene como objetivo caracterizar los métodos de tratamiento para pavimentos rígidos deteriorados tomando como base investigaciones realizadas para la ciudad de Cajamarca (Perú). Esta temática se enmarca en la línea de investigación de salud pública y poblaciones vulnerables que tiene a su vez la sub-línea de investigación urbanismo, saneamiento y movilidad urbana de los autores. Para ello se aplicó un diseño no experimental en el cual se recopilaron investigaciones tales como artículos científicos, tesis y libros de los cuales se tomaron datos como el número estructural, el costo por m², el tiempo de vida útil, los espesores requeridos, las dimensiones de las partes estructurales de la vía, la evaluación y el estado actual de las vías por método PCI, VIZIR, entre otros. Se determinó el mejor método de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados en Cajamarca y se elaboró un manual de diseño de dicho método.

Palabras Clave: Pavimentos rígidos, métodos de tratamiento, sobre capas de refuerzo, rehabilitación de pavimentos, caracterización de métodos.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el aumento de vehículos ha crecido exponencialmente ya sea por la mejor calidad de vida que tiene cada país o por el crecimiento de las industrias. El Perú ha crecido económicamente en los últimos años, según el Banco Central de Reserva del país ha tenido un crecimiento del 2.3% en su PBI, esto se hace notar en el aumento vehicular ya que solo en el año 2018 INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) reportó un aumento de 15.5% teniendo una gran repercusión en el distrito de Cajamarca con un crecimiento del 38.1% según INEI, adicionando que las empresas y negocios han crecido por lo cual el transporte que hacen con camiones para sus mercancías sea más constante. Esto conlleva a que las carreteras y vías urbanas sean más transitadas, teniendo como consecuencia el deterioro de dichas estructuras, a esto se suma el daño causado por la antigüedad, los agentes climatológicos a los cuales están sometidas, las malas gestiones para rehabilitarlas entre otras causas.

El principal problema es que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, ni se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo. Las autoridades solo intervienen cuando las vías ya están en un estado deteriorado grave. Esto también se nota porque las municipales no tienen ni siquiera un manual o guía para hacer el mantenimiento, refacción o reconstrucción de los pavimentos deteriorados [1]. A esto se suma la poca supervisión que existe en las obras de mantenimiento que según norma [2] en la pág. 120 da unas consideraciones para tomar en cuenta que tipo de reparación se debe hacer como puntuales (menos al 10% de la superficie de la losa afectada), puntuales

pero entre el 10% al 30% de la superficie de las losas afectadas y continuas que tienen mayor al 30% de la superficie afectada, así como también en las obras de pavimentos nuevos haciendo una menor calidad, por ende, el tiempo de vida es reducido o problemas estructurales que logran aparecer al poco tiempo del inicio de funcionamiento de las vías.

Todas estas circunstancias generan el deterioro de las vías que causan malestar en la población ya que los viajes se hacen más largos e incómodos así como también el deterioro de los automóviles, congestión de tráfico en las calles principales de la ciudad haciendo mayor contaminación al medio ambiente, a esto se suma el dinero mal gastado en pistas de poca duración, haciendo también que los accidentes de tránsito se generen con más frecuencia y en mayor cantidad haciendo que la seguridad y el bienestar sea escasa afectando seriamente a la salud pública haciéndonos una población vulnerable.

Por estos motivos esta investigación está basada en realizar la caracterización de métodos de rehabilitación de pavimentos rígidos en base a investigaciones para la ciudad de Cajamarca enmarcándose dentro de nuestra línea de investigación salud pública y poblaciones vulnerables que tiene a su vez la sub-línea de investigación urbanismo, saneamiento y movilidad urbana.

Por las razones ya mencionadas se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Qué características tienen los métodos de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados encontrados en investigaciones? esta interrogante nos plantea la siguiente variable: deterioro de los pavimentos rígidos teniendo como grupo de estudio a diecinueve (19) investigaciones entre tesis, artículos científicos y teniendo como referencia a las normas peruanas e internacionales los cuales son recopiladas de las fuentes del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca y de la Universidad Privada del Norte, así como utilizando el buscador ProQuest, EBSCO y Google Académico. Para poder dar respuesta a la interrogante planteada y poder ser utilizado en la ciudad de Cajamarca para luego elaborar un manual o guía del mejor método encontrado, por lo cual esta investigación es descriptiva y su diseño es cualitativo.

Para responder a la pregunta de investigación, nos hemos trazado como objetivo general: Caracterizar las metodologías de tratamiento para pavimentos rígidos deteriorados, así como para lograr esta meta tenemos como objetivos específicos: recopilación de la información en las fuentes ya mencionadas, describir las metodologías encontradas en cada investigación, clasificar cada investigación, elaboración de un manual en base a la mejor metodología encontrada. Para esto se tiene como hipótesis que las características que deben tener los métodos de

tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados son el corto tiempo de ejecución, la durabilidad, la alta calidad del pavimento, su alta funcionalidad y su bajo precio de elaboración.

Tomando como referencia la diversidad de teoría que existe y las investigaciones elaboradas a nivel local, nacional e internacional, considerando también las normas existentes.

Según [3], tiene como objetivo la evaluación superficial del pavimento rígido del Jr. José Sabogal cuadras 01 al 08 utilizando el rugosímetro Merlín, para lo cual su investigación la elaboró siguiendo procedimientos del TRRL (laboratorio británico de investigación de transportes y caminos) midiendo el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de la línea imaginaria y longitud constante midiendo 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio. Se tuvo como resultado un IRI (punto de la carretera que se define entre la razón del movimiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo entre la distancia recorrida por dicho vehículo) mayor a 5, que es muy malo proponiendo la rehabilitación por sobre capas de refuerzo obteniendo un espesor de 87.50mm de refuerzo flexible y 50mm de espesor de refuerzo rígido optando por la sobre capa de concreto simple debido a su mayor durabilidad y resistencia con un mantenimiento casi nulo, además de su mayor durabilidad.

Según la norma de [4], la clasificación de los pavimentos es flexibles, semirrígidos y rígidos. Los flexibles están conformados por el material granular y agentes bituminosos, colocados sobre una sub-base y base, los semirrígidos es una estructura formada por capas asfálticas y los rígidos son estructuras hechas de concreto sobre una sub-base o base granular que depende del caso o cargas que resista, se incorporan varillas de acero. Para definir exactamente que es un pavimento rígido, consideraremos lo que indica [5], que es una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los refuerzos que ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de la rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante.

Antes de hablar específicamente de los métodos de refuerzo, definiremos el término de rehabilitación que la norma [3], dice que es un refuerzo estructural del pavimento cuando ha cumplido su vida útil o ha sufrido algún daño por otro factor, ahora definiremos un método de tratamiento llamado sobre capas de refuerzos que según [6], es un tipo de rehabilitación estructural que permitirá al pavimento antiguo recuperar la capacidad estructural perdida por años de servicio, o en todo caso mejorar la capacidad inicial de diseño, otro método de tratamiento son las tecnologías Rubblizing que, según [7], consiste en la aplicación de un rompedor de resonancia para fragmentar el concreto viejo y poder compactarlo conformando una nueva capa estructural y homogénea, asimilable a un estabilizador granular de alto módulo.

Para valorar el deterioro de los pavimentos rígidos definiremos primero dos métodos el cual el primero que es Pavement Condition Index (PCI) que según [8], es la metodología que mide el daño por su severidad y cantidad o densidad de éste. La

forma de un índice de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los valores deducidos como arquetipo de factores de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

Para [9], la metodología francesa VIZIR (Visión e Inspección de Zonas e Itinerarios en Riesgo), es una diferencia entre fallas funcionales y estructurales del pavimento, esta metodología clasifica los daños o deterioros de la rodadura asfáltica.

Según [5], el índice de serviciabilidad es una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario, cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc., que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura.

Para este trabajo de investigación, en la evaluación del pavimento actual se ha considerado tomar los rangos de clasificación de PCI (Pavement Condition Index) como clasificación general, si se usó otro método de evaluación se comparó el estado mostrado del método y se lo relacionó con la tabla de PCI y así unificar las evaluaciones ya que se complicaría la recolección de datos expuestos más adelante.

TABLA 1
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL, [10]

PT	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Coletores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Este trabajo de investigación es importante ya que se daría un método práctico para el mantenimiento de las vías de Cajamarca teniendo un gran valor para la ciudad, ya que un gran porcentaje de pavimentos rígidos están deteriorados y no son refaccionados a tiempo o simplemente quedan en el olvido, con esto se busca aportar el conocimiento para saber el mejor método de tratamiento de pavimentos rígidos para la ciudad de Cajamarca, haciendo la elección a través de una caracterización de cada método, ofreciendo un manual de diseño de la rehabilitación de las vías cada vez que se deterioran sin llegar al punto de tener que cambiar toda la zona afecta y así ahorrar tiempo, dinero y evitar todas las molestias que causa un pavimento rígido deteriorado.

Cabe mencionar que el presente trabajo está basado en estudios tomados de la referencia [10] “Caracterización de los métodos de tratamientos rígidos deteriorados en base a investigaciones, Cajamarca 2021”

II. METODOLOGÍA

Esta investigación nos ha planteado la interrogante ¿Qué características tiene el mejor método de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados para la ciudad de Cajamarca?, para lo cual se cumplió con los objetivos, empezando con el principal que es caracterizar las metodologías de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados encontrados en

investigaciones ya realizadas, dichas características se hicieron siguiendo los siguientes procedimientos que son los objetivos específicos, empezando por la recopilación de la información en fuentes o sitios de búsqueda, luego se describió las metodologías encontradas en cada investigación para que después se clasifique cada una de ellas donde se pudo comparar las metodologías encontradas y así se concluyó con la elaboración de un manual en base a la mejor metodología encontrada y definida por la caracterización. Con esto se logró corroborar o rechazar la hipótesis propuesta que alude a que las características que tiene el mejor método de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados son el corto tiempo de ejecución, la durabilidad, la alta calidad del pavimento y si funcionalidad.

Después de lo mencionado hemos enfocado la investigación como cualitativo ya que involucra la recolección de datos utilizando técnicas que no pretenden hacer medición numérica como las caracterizaciones, en este enfoque no se aplica la réplica, al no usar medición numérica se fundamenta utilizando una estadística muy básica, todos los significados se extraen de los datos y no son generalizables. Para conocer el enfoque hemos tenido que saber el tipo, para lo cual la hemos definido

según su fin como aplicada ya que busca conocer los métodos de tratamientos de pavimentos rígidos deteriorados, y según su alcance es de tipo descriptiva.

Esta investigación se hace a través de la búsqueda de tesis, artículos y normas hechas en los últimos 10 años a excepciones de algunos que son más antiguos ya que son muy importantes y no han sido actualizados y la información que brindan es muy relevante, por esto definimos que esta investigación es longitudinal. Como hemos recolectado información y estamos caracterizando, la intervención como investigador es observacional, ya que no estoy modificando o experimentando con los fenómenos estudiados, en este caso los métodos de tratamiento para pavimentos rígidos, solo estamos caracterizando y eligiendo el método más adecuado para la ciudad de Cajamarca y así concluir con la elaboración de algún manual. Ya que anteriormente hablamos de que recopilamos la información a través de un lapso de 10 años con algunas excepciones, ni tampoco experimentamos ni alteramos los fenómenos estudiados, nuestro diseño de investigación es no experimental y a su vez es transversal, a continuación, se muestra un flujograma como ejemplo del sistema de búsqueda que se hizo en cada buscador:

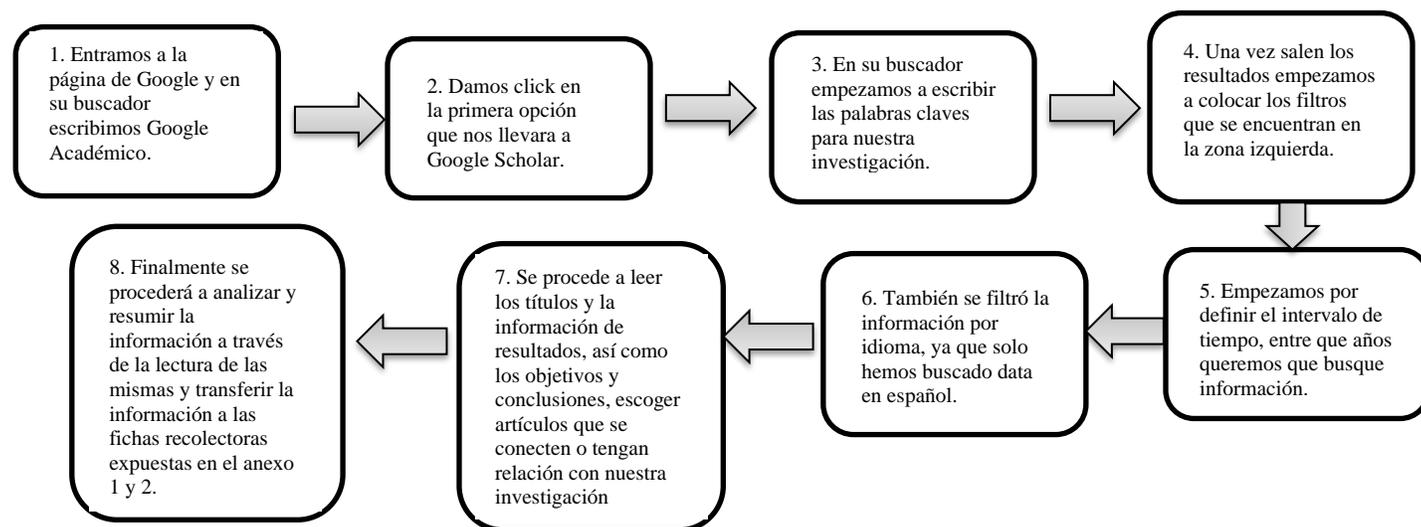


Fig. 1 Estrategia de búsqueda en Google Académico, [10]

Después de la recolección de datos obtuvimos un grupo de 19 investigaciones las cuales presentamos a continuación:

TABLA 2
TABLA DE INVESTIGACIONES CONSIDERADAS, [10]

N°	TÍTULO	AUTOR
01	"Propuesta de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando sobre capa de refuerzo en la Avenida Todos los Santos de la ciudad de Chota"	Yonel Núñez Guevara
02	"Evaluación del estado del pavimento rígido mediante la metodología del PCI de la Avenida La Paz."	Alwin Hernando Mendoza Huamán
03	"Evaluación del comportamiento funcional del pavimento rígido del Jr. José Sabogal cdra. 01-08 utilizando rugosímetro Merlin y las propuestas técnicas de rehabilitación."	William Edwin Tapia Ruiz.

04	"Diseño y evaluación económica de una alternativa de rehabilitación en pavimento rígido para el tramo de la carrera 22 entre calles 15 y 17, localidad de los Mártires en Bogotá D.C."	Álvaro Polanía Rivera, Leonel Leguizamón Bohórquez, Fernando Ramírez Fernández.
05	"Propuesta de rehabilitación del pavimento rígido en la Calle 127D entre Carreras 93F y Carrera 96 barrio el Rubí, de la localidad de Cuba Bogotá."	José Danian nova moreno
06	"Propuesta de diseño estructural del pavimento rígido convencional y fibroreforzado de la Av. Sánchez Cerro en Piura usando tecnología del reciclado mecánico."	Álvaro Javier Espinoza Gonzáles, Jessica Jeanette Vargas Guevara.
07	"Rehabilitación de pavimentos de hormigón empleando la técnica de trituración/fracturación (Rubblizing). evaluación capacidad estructural."	G. Thenoux y M. González.

08	<i>"Rehabilitación de pavimentos rígidos con tecnología Rubblizing: experiencia local"</i>	Mario Noste; Diana Cainelli; Juan pablo Raffaelli.
09	<i>"Metodología para la rehabilitación de losas de pavimento rígido cuyo porcentaje de transferencia de carga, no cumple con las especificaciones mínimas exigidas por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)"</i> <i>"Optimización del diseño estructural de pavimentos de concreto mediante el uso de sobre capas de refuerzo para la: Av. Mario Urteaga - carril noreste (entre Ovalo el Inca y Jr. Cumbe Mayo) de la ciudad de Cajamarca, 2016"</i>	Camilo Farfán Linares; Cristian Camilo Rodríguez García.
10	<i>"Aplicación de una metodología para rehabilitación para rehabilitación de pavimentos mediante sobre capas de refuerzo, utilizando AASHTO 93"</i>	Walter Eduardo Malaver Vargas
11	<i>"Rehabilitación de pavimentos rígidos en base al estudio de la carretera Tarji – Potosí"</i>	Diego Estaban Mendieta Quito
12	<i>"Diseño y evaluación económica de una alternativa de rehabilitación en pavimento rígido para el tramo de la carretera 22 entre calles 15 y 17, localidad de los Mártires en Bogotá D.C."</i>	Renán Castillo Creamer – Karen Romero Gil Álvaro Polonia Rivera – Leonel Leguizamón – Fernando Ramírez Fernández
13	<i>"Diagnóstico y propuesta de rehabilitación del pavimento rígido de la calle 4 (Avenida Kennedy) entre Avenida 17 y 25 de la ciudad de Cúcuta Norte de Santander"</i>	Jefrey Johan Codero Ariza – Jhorman Andres Contreras Pacheco
14	<i>"Nivel de deterioro y propuesta de rehabilitación de pavimento rígido de la calle Tumbes, distrito de Catacaos, provincia y departamento Piura, 2021"</i>	Marielen Madrid Luzuriaga – Jesús Rodríguez Lloclla
15	<i>"Propuesta de rehabilitación del pavimento rígido en la calle 127D entre carreras 93F y carrera 96 Barrio el Rubí, de la localidad Suba-Bogotá"</i>	José Danian Nova Moreno
16	<i>"Diseño de concreto Fast Track con fines de uso para rehabilitación de pavimentos rígidos en la ciudad de Juliaca"</i>	Samuel Pucutuni Yapura – Edwin Arias Aquino
17	<i>"Aplicación de sobre carpetas asfálticas de refuerzo para la rehabilitación de pavimentos rígidos metodología AASHTO 93 en la ciudad de Huancayo – 2021"</i>	Adelaida Judith Taipe Gala
18	<i>"Evaluación de la carpeta de rodadura y la optimización aplicando Ultra-Thin Whitetopping como método de Rehabilitación en la Av. Gerardo Unger, Comas – Lima 2019"</i>	Brandon Junior Riojas Ríos

Definido lo mencionado, notamos que esta investigación tiene una población de todas las investigaciones recopiladas en cada uno de los buscadores anteriormente mencionados, obteniendo una muestra de 19 investigaciones las cuales las consideramos para hacer esta investigación ya que vamos a utilizar una estadística básica, la selección de las investigaciones para la muestra depende a nuestro criterio para la elección de dicha muestra, teniendo como unidad de estudio cada investigación encontrada ya sea tesis de grado, artículos científicos o normas peruanas o internacionales. Teniendo reconocidos la muestra y la unidad de estudio procederemos a describir la técnica que es revisión documental ya que estamos revisando la información elaborada anteriormente que las hemos elegido a través de la técnica no probabilística que a la vez la elección se ha hecho por juicio o por conveniencia, para poder utilizar la revisión documental hemos tenido que elaborar dos fichas de recolección de datos, la ficha bibliográfica para tesis de grado o artículos científicos y la ficha de recolección de datos.

Para poder llenar estas fichas, primero se tendrá que recopilar la información para lo cual hemos buscado información en fuentes confiables como el repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca y de la Universidad Privada del Norte, así como utilizando el buscador ProQuest, EBSCO y Google Académico. Una vez con la información obtenida se procedió a incluir y excluir las investigaciones encontradas, teniendo como primer parámetro el año que se realizó, considerando sólo las que se hicieron desde el año 2010 hacia adelante con excepciones de algunas normas o tesis que se elaboraron anteriormente, pero son muy importantes para esta investigación y ya no han tenido actualizaciones o versiones recientes, otra consideración fue que las investigaciones sean sobre pavimentos rígidos descartando todas aquellas que trataban de pavimentos flexibles u otra clase, se consideraron también aquellas que se hicieron en el país especialmente en la región Cajamarca exceptuando aquellas internacionales como normas o que tengan información relevante como un método nuevo o no conocido en Perú.

Teniendo las informaciones seleccionadas procedimos a leer cada investigación y elaborar un resumen de cada una teniendo en cuenta los objetivos, la metodología, el procesamiento de datos, los resultados y conclusiones. Teniendo este resumen se procederá a llenar las fichas elaboradas como la ficha bibliográfica y la ficha de recolección de datos. Luego de tener las fichas llenas se procedió a clasificarlas teniendo en cuenta si es tesis, artículo o norma, por su lugar geográfico donde se han realizado, por su importancia, factibilidad, sus resultados, conclusiones, procedimientos, metodología y aplicación. La clasificación nos sirvió para comparar las metodologías encontradas y poder identificar el mejor método de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados para la ciudad de Cajamarca y así se pudo elaborar el manual de dicho método, donde detallamos paso a paso como calcular y diseñar el tratamiento. Por lo ya comentado podemos definir como una investigación cualitativa ya que usaremos una estadística básica y que no es compleja para definir los resultados, muy aparte que estamos caracterizando métodos de tratamiento en base a investigaciones ya realizadas.

III. RESULTADOS

Para presentar los siguientes resultados se tuvo que recopilar la información de las 19 investigaciones consideradas anteriormente las cuales se organizó por el llenado de fichas: ficha de resumen y ficha de recolección de datos, cada investigación fue colocada en fichas correspondientes. El análisis de datos se hizo siguiendo el orden del número de ficha que se contempló para la recolección de datos. A continuación, presentamos un cuadro donde está el número de ficha con el método de rehabilitación encontrado.

Como podemos observar hay varias metodologías que se repiten entre las cuales una es la más usada, para lo cual debemos analizar la utilización de cada método de tratamiento, por consiguiente, presentaremos el gráfico 2.

TABLA 3
MÉTODOS DE TRATAMIENTOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DETERIORADOS POR INVESTIGACIÓN, [10]

Nº FICHA	METODOLOGÍA
01	SOBRE CAPA DE REFUERZO
02	MANTENIMIENTO CORRECTIVO MAYOR PERIÓDICO
03	SOBRE CAPA DE REFUERZO
04	DISEÑO DE CAPA SUPERIOR CON PAVIMENTO RÍGIDO
05	SOBRE CAPA DE REFUERZO
06	YEILD LINE THEORY CON MATERIAL RECICLADO
07	TECNOLOGÍA RUBBLIZING
08	TECNOLOGÍA RUBBLIZING
09	BARRAS DE METAL ENTRA LAS JUNTAS
10	SOBRE CAPA DE REFUERZO
11	SOBRE CAPA DE REFUERZO
12	COSIDO CRUZADO
13	SOBRE CAPA DE REFUERZO
14	SOBRE CAPA DE REFUERZO
15	PARCHEO PARCIAL
16	SOBRE CAPA DE REFUERZO
17	DISEÑO DE CONCRETO FAST TRACK
18	SOBRE CAPA DE REFUERZO
19	ULTRA-THIN WHITETOPPING



Fig. 2 Porcentajes de cantidad de métodos encontrados en investigaciones, [10]

Como podemos notar el método más usado es el de sobre capas de refuerzo con 9 veces encontrado en las investigaciones y el que le sigue es el método de Tecnologías Rubblizing.

La evaluación del estado del pavimento se puede hacer por muchos métodos ya sea PCI, VIZIR, por rugosímetro Merlin, observación de campo, etc. Como son muchos métodos hemos unificado en un solo método que ha sido hecho a consideración del investigador y se ha tratado de evaluar en un solo tipo de clasificación, donde se ha contabilizado cada investigación en que rango se encuentra y cuál es el estado del pavimento más concurrente que ha sido analizado en las investigaciones escogidas.

TABLA 4
CONDICIÓN, RANGOS Y CANTIDAD DE EVALUACIONES DE LAS VÍAS ANALIZADAS, [10]

CONDICIÓN	RANGO	CANTIDAD
EXCELENTE	(100 a 85)	0
MUY BUENO	(85 a 70)	0
BUENO	(70 a 55)	1
REGULAR	(55 a 40)	3
MALO	(40 a 25)	10
MUY MALO	(25 a 10)	5
FALLIDO	(10 a 0)	0
TOTAL		19

Se toma los valores del RANGO del Método de PCI (Pavement Condition Index), [10].

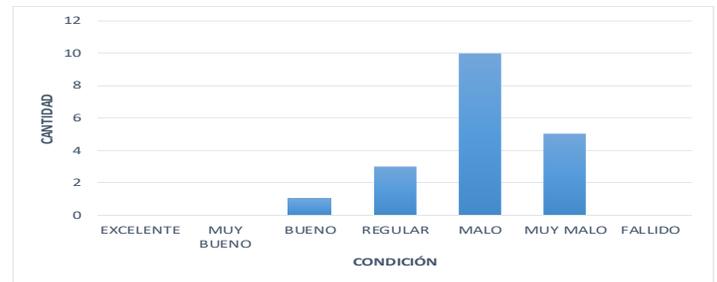


Fig. 3 Cantidad de pavimentos deteriorados según su condición, [10]

La condición de malo es la más recurrente en las investigaciones teniendo un total de 10, seguida por la condición de muy malo teniendo un total de 5, las condiciones de regular tiene 3 y la de bueno tiene 1 sola vía en investigación, mientras no se han encontrado investigaciones que tengas vías en estado de excelente, muy bueno y fallido.

Teniendo cada condición propuesta un rango específico, hemos analizado dichos rangos por condición encontrada en cada investigación teniendo como resultados los siguientes datos:

TABLA 5
CALIFICACIÓN DE RANGOS ENCONTRADOS, [10]

Nº FICHA	EVALUACIÓN DE LA VÍA	CALIFICACIÓN
01	MALO	35.05
02	BUENO	67.91
03	MUY MALO	20
04	MUY MALO	22
05	REGULAR	45
06	MALO	30
07	MALO	28
08	MALO	33
09	MALO	30
10	MUY MALO	21
11	MALO	30
12	MALO	28
13	MALO	27
14	MUY MALO	18
15	REGULAR	41.5
16	MUY MALO	22
17	MALO	35
18	MALO	38
19	REGULAR	48

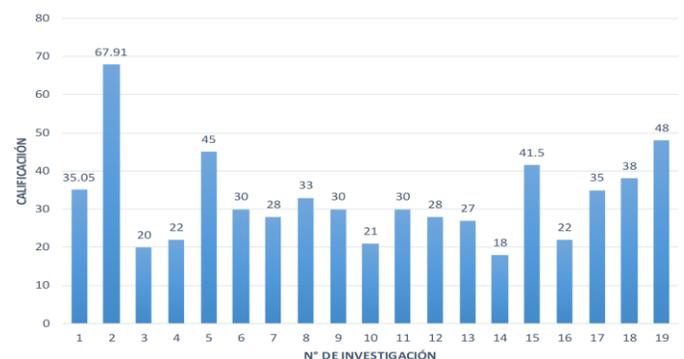


Fig. 4 Evaluación de vías investigadas, [10]

Como podemos observar la investigación de la ficha No. 2 tiene la vía menos afectada con una evaluación de 67.91 estando en una condición de bueno, siguiendo con la investigación No. 1 que esta con una evaluación de 35.05 estando en un estado regular, así también las vías de las investigaciones 5, 15 y 19 que son estados regulares, las demás se encuentran entre malo y muy malo, siendo las vías más afectadas encontradas en cada investigación.

Así mismo se procesaron los datos de la serviciabilidad de cada vía en cada investigación teniendo los siguientes resultados:

TABLA 6
ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD ENCONTRADOS, [10]

N° FICHA	SERVICIABILIDAD		
	INICIAL	FINAL	PÉRDIDA
01	4.50	2.50	1.70
02	4.50	2.50	1.30
03	4.50	2.50	2.00
04	4.50	2.50	1.70
05	4.50	2.50	2.00
06	4.50	2.50	2.00
07	4.50	2.50	1.80
08	4.50	2.50	2.00
09	4.50	2.50	2.00
10	4.50	2.50	1.70
11	4.20	2.50	1.70
12	4.50	2.50	2.00
13	4.50	2.50	2.00
14	4.50	2.00	2.50
15	4.50	2.50	2.00
16	4.50	2.50	2.00
17	4.50	2.00	2.50
18	4.10	2.70	1.40
19	4.50	2.50	2.00

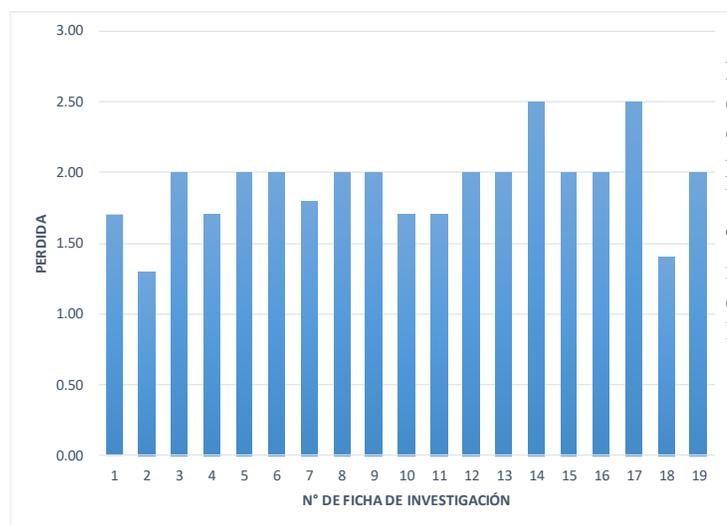


Fig. 5 Pérdida de serviciabilidad, [10]

Se puede observar que las vías con mayor pérdida de serviciabilidad son las de las investigaciones 3, 5, 6, 8, 9, 14 y 17, la que menos pérdida tubo fue la vía de la investigación 2 y 18.

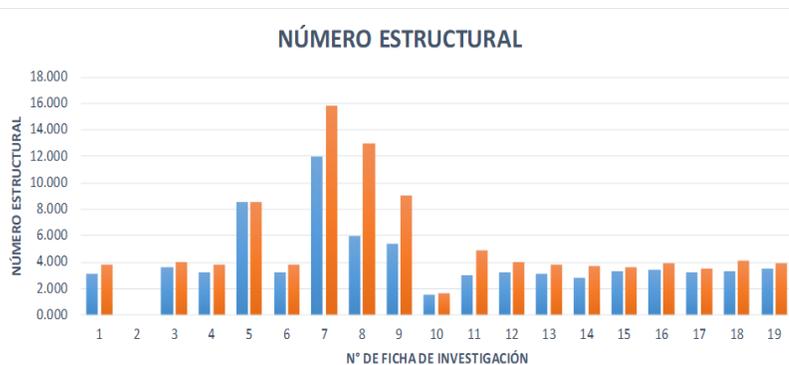


Fig. 6 Comparación de los números estructurales, [10]

Lo más importante de los pavimentos rígidos es el número estructural para lo cual fue analizado este aspecto de cada vía.

TABLA 7
NÚMEROS ESTRUCTURALES ENCONTRADOS, [10]

N° FICHA	NÚMERO ESTRUCTURAL	
	REQUERIDO	LOGRADO
01	3.102	3.800
02		
03	3.600	4.000
04	3.200	3.850
05	8.500	8.500
06	3.200	3.800
07	12.000	15.800
08	6.000	13.000
09	5.400	9.000
10	1.575	1.669
11	3.060	4.890
12	3.200	4.000
13	3.100	3.800
14	2.800	3.700
15	3.300	3.600
16	3.400	3.900
17	3.200	3.500
18	3.300	4.100
19	3.500	3.900

Fig. 6 Comparación de los números estructurales, [10]

En el gráfico anterior se ve la diferencia entre el número estructural requerido y el número estructural logrado, pero hay casos como en la investigación 5 que la diferencia es prácticamente nula, sin embargo, las diferencias más grandes y visible son las investigaciones 7, 8 y 9.

También hemos analizado los costos que tendrían en cada método de tratamiento para poder ver cuál es el método más económico y cuál sería el más caro, a continuación, mostramos los resultados.

TABLA 8
PRECIOS POR M² POR INVESTIGACIÓN, [10]

N° FICHA	COSTO	
	TOTAL	POR m ²
01	S/.450313.50	S/./67.54
02	S/./266722.23	S/./29.18
03	S/./29323.66	S/./67.54
04	S/./711241.03	S/./170.19
05	S/./947112.00	S/./67.00
06		
07	S/./4860000.00	S/./135.00
08		
09	S/./5181351.00	S/./28.79
10	S/./463312.50	S/./123.55
11	S/./11888526.99	S/./179.00
12	S/./69084000.00	S/./180.00
13	S/./737978.20	S/./176.59
14	S/./3157877.00	S/./221.45
15		
16	S/./2374111.75	S/./175.25
17	S/./466447905.00	S/./462.00
18	S/./401682.50	S/./155.00
19	S/./3080087.15	S/./345.65

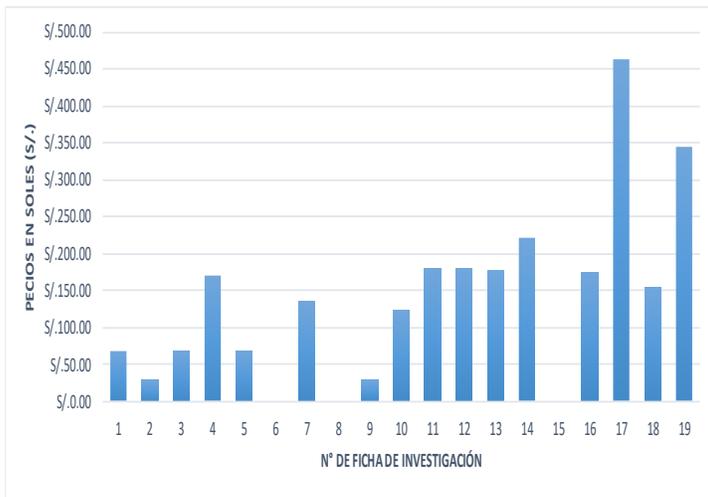


Fig. 7 Precios por m², [10]

En las investigaciones 6,8,15 no se encontró los costos por m² de rehabilitación, ni tampoco se pudo comprar con los costos de otras investigaciones ya no son equivalentes con otras investigaciones, en las demás se puede notar como en la investigación N° 17 el precio es muy alto a comparación de las investigaciones 1, 2, 3, 5 y 9.

El tiempo de vida que le da la rehabilitación también es muy importante tener en cuenta ya que será uno de los parámetros que nos beneficiará o no el método de tratamiento, a continuación, presentamos los resultados:

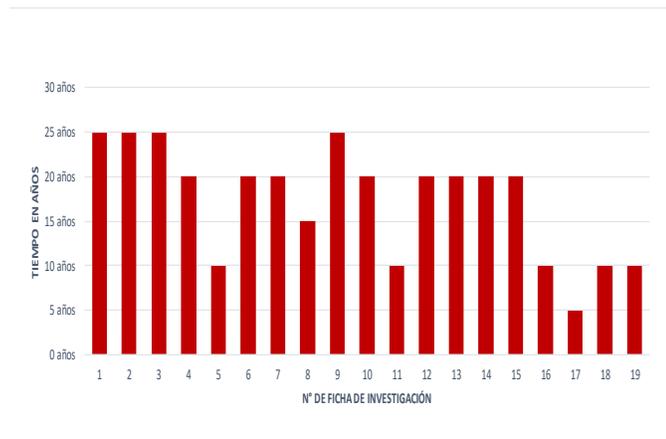


Fig. 8 Tiempo de servicio, [10]

En el gráfico anterior podemos notar que las investigaciones 5, 8, 11, 16 y 17 son investigaciones con el menos tiempo de vida útil propuesto al contrario las investigaciones 1, 2, 3, 9, 12, 13, 14 y 15, son las que tiene un rango de vida útil mayor, a continuación, se presenta una comparación entre el precio con el tiempo de servicio:



Fig.9 Comparativa entre costo por m² y tiempo de servicio, [10]

Como se puede notar las investigaciones de las fichas 1, 2, 3, 4, 9, 12, 13 y 14 son las que tienen menos valor monetario para su elaboración, pero mayor tiempo de servicio que puede ofrecer dichas investigaciones, mientras que las investigaciones 7, 11, 16, 17, 18 y 19 tienen un mayor precio de elaboración, pero un menor tiempo de servicio.

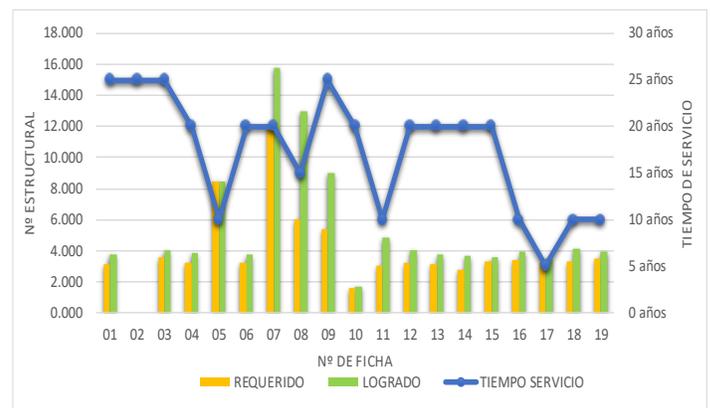


Fig. 10 Comparativa entre número estructural requerido y logrado vs tiempo de servicio, [10]

En la mayor parte de las investigaciones se puede ver un incremento entre el número estructural requerido y el número estructural logrado a excepciones de la investigación 10 y 5 que no hay tanto incremento, así también se puede notar que en las primeras 3 investigaciones se nota un incremento del número estructural y también da un tiempo de servicio alto, en la ficha de la investigación 9 se puede ver un gran incremento entre el número estructural requerido al logrado así como también demuestra un tiempo de servicio de 25 años, en las investigaciones 12, 13, 14 y 15 se tiene un aumento en el número estructural así como también un tiempo de servicio de 20 años.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados en el capítulo anterior de la caracterización de los métodos de tratamientos para pavimentos rígidos encontrados en las investigaciones consideradas, se muestra:

- En total fueron 10 métodos encontrados que se pueden ver en la tabla 6 del capítulo de resultados, donde el método de sobrecapas de refuerzos es el más utilizado con un 47% que se puede ver en la figura 3 este método ha sido más utilizado en la

región Cajamarca y también en ámbito nacional e internacional, por lo cual nos da un cierto nivel de confianza.

- En la figura 4 se puede apreciar que las vías más dañadas son la 1, 2, 5, 15, 17, 18 y 19 que incluso según [2] se podría ya considerar una reconstrucción de vía. En la figura 12 podemos deducir que los métodos que usan en las investigaciones 1, 2, 3, 5 y 9 son los que dan mayor tiempo de servicio a un menor costo, de los cuales el método de la ficha 2 no será contabilizado como tal porque son mejoramientos de corrección en daños leves que podrían estar como trabajos previos al método de sobre capas de refuerzo, de los cuales son las fichas 1, 3, 5 y 10, en las investigaciones 12, 13 y 14 se puede también evidenciar un periodo amplio de vida útil pero un bajo coste por m² de los cuales 2 métodos de ellos son de sobre capas de refuerzo.

- La variación entre números estructurales entre requeridos y logrados es muy importante porque nos dará a conocer que método da una mejor resistencia a las cargas entre los cuales son de las investigaciones 1, 3, 5, 7, 8, 9, 13, 14 y 18 pero se consideró que el método de la investigación 9 es en realidad un complemento o subtipo del método de sobre capas de refuerzo, ya que son la incorporación de barras de metal entre las juntas que se pueden diseñar y colocar en el mismo método antes mencionado, las investigaciones 7 y 8 muestran al Método de Nuevas Tecnologías Rubblizing que muestran un gran aumento en su número estructural logrado.

- En la figura 8 existen 4 investigaciones que dan como tiempo de vida de la rehabilitación 25 años que es como si fuera una vía nueva, claro está que se llegará a ese tiempo estimado con los cuidados y mantenimientos correspondientes, pero cabe resaltar que de esas 4 investigaciones 2 son de sobre capas de refuerzo que son de la 1 y 3, aun así, la investigación de las fichas 6, 10, 13 y 14 que también es el mismo método previamente nombrado tiene una alta estimación de vida útil que sería de 20 años.

- Si comparamos la calificación del estado actual del pavimento con la pérdida de serviciabilidad, podemos definir que las investigaciones (1, 3, 5, 10, 11, 13, 14 y 16) del método de sobre capas de refuerzo son las que tiene menor calificación por ende su estado es malo o muy malo y a la vez han sido los que han sufrido mayor pérdida de serviciabilidad.

Todas estas características de los métodos analizadas en el capítulo de resultados nos dan evidencia clara de que método podría ser el mejor, ya que haciendo una comparativa entre cada uno de ellos, el método de sobre capas de refuerzos cuenta con mejores características que los otros métodos estudiados.

V. CONCLUSIONES

Se logró corroborar la hipótesis planteada en esta tesis, ya que las investigaciones analizadas y estudiadas cuentan con las siguientes características: tiempo de ejecución, la durabilidad, la alta calidad del pavimento, su alta funcionalidad y su bajo costo de ejecución, estas características quedan evidenciadas en el ítem de resultados que analizamos la serviciabilidad que pierden los pavimentos (Fig. 5), los números estructurales encontrados, mostrados en figura 6 que nos dan una vista clara de que métodos son más efectivos estructuralmente por ende son más duraderos, con una alta calidad y muchos de ellos su alta funcionalidad. En la Fig. 7 pudimos evidenciar que es muy importante los costos que pueden generar la ejecución de cada

método dándonos una clara idea de los precios y pudiendo compararlos con su tiempo de servicio (Fig. 6) demostrando que la parte económica tiene que ir de acuerdo al tiempo de servicio incluso mejorándolo.

Se recopiló información de varios repositorios, buscadores virtuales académicos, en este caso se consideraron los repositorios de la Universidad Nacional de Cajamarca y de la Universidad Privada del Norte, así como utilizando el buscador ProQuest, EBSCO y Google Académico. De las cuales se consideró 19 investigaciones que están nombradas en la tabla 2 siendo seleccionadas por criterios mencionados en el capítulo de metodología, donde pudimos encontrar entre artículos científicos, tesis de grados y libros que tienen valor local, nacional e internacional. En la tabla 3 se nombre por investigación que tipo de método de tratamiento se utilizó en cada una de ellas. Se tomó también en consideración las normas nacionales e internacionales para poder referenciar los métodos y sacar conceptos importantes.

Se describió las metodologías encontradas en las 19 investigaciones consideradas, en el capítulo de resultados se puede evidenciar los aspectos considerados de cada investigación y las características principales considerados para el análisis y estudio en esta actual tesis, esto fue importante para poder disgregar cada método y ver sus diferencias entre sí.

Se logró clasificar los métodos de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados encontrados en las 19 investigaciones, en las cuales una clasificación fue que método fue el más usado como se puede notar en la tabla 3, figura 2, siendo el método de sobrecapas de refuerzo más utilizado, se clasificó también el estado actual de las vías antes de la rehabilitación donde las clasificamos entre muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo a través de una calificación, así como también en las Fig. 3 y 4.

Se elaboró un manual del mejor método encontrado que es el de sobrecapas de refuerzo, donde paso a paso se explica cómo se hace el diseño de una sobre capa de refuerzo para pavimentos rígidos, pero también se da recomendaciones a tener antes del diseño y que estudios previos se deben hacer para poder realizar el método, este manual fue basado en los resultados de esta tesis que dan como mejor método a la sobrecapas de refuerzo considerando las normas locales, nacionales e internacionales para su elaboración y tomando algunas sugerencias de las 19 investigaciones para el diseño, con esto se intenta dar solución a los problemas frecuentes en las vías de Cajamarca así como también ayudar a dar una mejor calidad de vida a los habitantes y visitantes de nuestra localidad.

Se logró corroborar la hipótesis planteada en esta tesis, ya que las investigaciones analizadas y estudiadas cuentan con las siguientes características: tiempo de ejecución, la durabilidad, la alta calidad del pavimento, su alta funcionalidad y su bajo costo de ejecución, estas características quedan evidenciadas en el ítem de resultados que analizamos la serviciabilidad que pierden los pavimentos (Fig. 5), los números estructurales encontrados, mostrados en la figura 6 que nos dan una vista clara de que métodos son más efectivos estructuralmente por ende son más duraderos, con una alta calidad y muchos de ellos su alta funcionalidad. En la figura 7 pudimos evidenciar que es muy importante los costos que pueden generar la ejecución de

cada método dándonos una clara idea de los precios y pudiendo compararlos con su tiempo de servicio (figura 9) demostrando que la parte económica tiene que ir de acuerdo al tiempo de servicio incluso mejorándolo.

Se recopiló información de varios repositorios, buscadores virtuales académicos, en este caso se consideraron: Universidad Nacional de Cajamarca y de la Universidad Privada del Norte, así como utilizando el buscador ProQuest, EBSCO y Google Académico. De las cuales se consideró 19 investigaciones que están nombradas en la tabla 2 siendo seleccionadas por criterios mencionados en el capítulo de metodología, donde pudimos encontrar entre artículos científicos, tesis de grados y libros que tienen valor local, nacional e internacional. En la tabla 3 se nombre por investigación que tipo de método de tratamiento se utilizó en cada una de ellas. Se tomó también en consideración las normas nacionales e internacionales para poder referenciar los métodos y sacar conceptos importantes.

Se describió las metodologías encontradas en las 19 investigaciones consideradas, en las fichas de recolección de datos informativos donde se describe de que trata cada método y cuáles son sus características, así como también en el capítulo de resultados se puede evidenciar los aspectos considerados de cada investigación y las características principales considerados para el análisis y estudio en esta actual tesis, esto fue importante para poder desglosar cada método y ver sus diferencias entre sí.

Se logró clasificar los métodos de tratamiento de pavimentos rígidos deteriorados encontrados en las 19 investigaciones, en las cuales una clasificación fue que método fue el más usado como se puede notar en la tabla 3 y Fig. 2, siendo el método de sobrecapas de refuerzo más utilizado, se clasificó también el estado actual de las vías antes de la rehabilitación como se puede evidenciar en las Fig. 3 y 4 donde las clasificamos entre muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo a través de una calificación, también el tipo de recubrimiento.

Se elaboró un manual del mejor método encontrado que es el de sobrecapas de refuerzo, donde paso a paso se explica cómo se hace el diseño de una sobre capa de refuerzo para pavimentos rígidos, pero también se da recomendaciones a tener antes del diseño y que estudios previos se deben hacer para poder realizar el método, este manual fue basado en los resultados de esta tesis que dan como mejor método a la sobrecapas de refuerzo considerando las normas locales, nacionales e internacionales para su elaboración y tomando algunas sugerencias de las 19 investigaciones para el diseño, con esto se intenta dar solución a los problemas frecuentes en las vías de Cajamarca así como también ayudar a dar una mejor calidad de vida a los habitantes y visitantes de nuestra localidad.

VI. REFERENCIAS

[1] Quinde Saavedra, J. A. (2013). Evaluación del estado actual del pavimento rígido de la calle las begonias de la urbanización Las Flores de la ciudad de Jaén. Jaén: Universidad Nacional de Cajamarca.

[2] Comunicaciones, M. d. (2018). Mantenimiento o conservación vial parte IV. Perú: MTC

[3] Ruiz, W. E. (2018). Evaluación del comportamiento funcional del pavimento rígido del Jr. José Sabogal cuadras 01 - 08 utilizando rugosímetro Merlin y las propuestas técnicas de rehabilitación. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

[4] Comunicaciones, M. d. (2013). Manual de carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima.

[5] AASHTO. (1993). NORMA AASHTO 93. Illinois.

[6] Núñez Guevara, Y. (2018). Propuesta de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo en la avenida Todos los Santos de la ciudad de Chota. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

[7] Noste, M., Cainelli, D., & Raffaelli, J. P. (2016). Rehabilitación de pavimentos rígidos con tecnología rubblizing: experiencia local. Buenos Aires, Argentina.

[8] Huamán, A. H.M. (2019). Evaluación del estado del pavimento rígido mediante la metodología del PCI de la avenida La Paz. Universidad Nacional de Cajamarca.

[9] Díaz, C. C., & Rivas Quintero, A. F. (2016). Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 - PR 01+020 de la vía al llano (DG 78 VIS SUR - Calle 84 sur) en la UPZ Yomaza. Colombia: U católica de Colombia.

[10] Llique, O. A. (2022). Caracterización de los métodos de tratamientos rígidos deteriorados en base a investigaciones, Cajamarca 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30538>