

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE ESTUDIO INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de las fallas de pavimento rígido en la Carretera  
Central de la ciudad de Caraz – Ancash - 2018**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Omar Yovani Milla De La Cruz

**Asesor:**

Rubén López Carranza

Código: 0000-0002-3631-2001

**Chimbote - Perú**

**2020**

## **TÍTULO**

Evaluación de las fallas de Pavimento rígido en la Carretera Central de la ciudad de Caraz – Ancash – 2018

## **PALABRA CLAVE**

Tema	Evaluación de las fallas de pavimento rígido
Especialidad	Pavimento

## **KEY WORDS**

Topic	Evaluation of pavement faults
Especialización	Pavement

## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

<b>PROGRAMA</b>	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>Línea de investigación</b>	Transporte	
<b>OCDE</b>	<b>Área</b>	Ingeniería y Tecnología
	<b>Sub área</b>	Ingeniería Civil
	<b>Disciplina</b>	Ingeniería de Transporte

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos evaluar y calificar de manera objetiva las estructuras del pavimento rígidos en la carretera central de Caraz, ubicada en la provincia de Huaylas, en el departamento de Ancash, año 2018. Para lograr el objetivo propuesto se tomó en cuenta la carretera central de la ciudad de Caraz, se hizo uso de información oficial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, en su oficina descentralizada de la ciudad de Huaraz – Ancash, la cual fue evaluada para la carretera central de Caraz.

Los trabajos concernientes a la evaluación se realizaron mediante el método de la condición del índice del pavimento (PCI), este método se aplica también en la norma ASTM 5340. En este método se utilizó la técnica de la observación, la cual se en 2 partes: la primera de ellas es la que se denomina trabajo de campo o insitu, en esta etapa, se recoje la información directa de manera visual con los instrumentos de recolección de información del PCI, el cual describirá el tipo de falla, la extensión y la severidad con que afecta al pavimento, el trabajo de gabinete corresponde a la segunda etapa, en ella se determinó los valores de PCI, y fueron tabulados y presentados en tablas y gráficos haciendo uso del software Excel.

En la investigación se analizó la severidad, el valor deducido, valor deducido corregido, empleando ábacos y por último se determinó la condición del Pavimento rígido de la carretera central de la Ciudad de Caraz.

De los datos analizados para la carretera central de la ciudad de Caraz se obtuvo como resultado lo siguiente: con un  $PCI = 40 \%$ , este porcentaje lo califica con un estado **MALO**; de acuerdo a la calificación de la vía principal necesita rehabilitación en su mayoría.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to evaluate and objectively qualify the rigid pavement structures on the Caraz central highway, located in the province of Huaylas, in the department of Ancash, in 2018. To achieve the proposed objective, the The central highway of the city of Caraz was made using official information from the Ministry of Transport and Communications, in its decentralized office in the city of Huaraz - Ancash, which was evaluated for the central highway of Caraz.

The works concerning the evaluation were carried out using the method of the condition of the pavement index (PCI), this method is also applied in the ASTM 5340 standard. In this method the observation technique was used, which was

In 2 parts: the first one is what is called field work or insitu, at this stage, the direct information is collected visually with the PCI information collection instruments, which will describe the type of failure, the extension and the severity with which it affects the pavement, the cabinet work corresponds to the second stage, in which the PCI values were determined, and they were tabulated and presented in tables and graphs using Excel software.

In the investigation, the severity, the deducted value, corrected deducted value, using abacus were analyzed and finally the condition of the rigid pavement of the central highway of the City of Caraz was determined.

The following results were obtained from the data analyzed for the central highway of the city of Caraz: with a  $PCI = 40\%$ , this percentage qualifies it as a BAD state; According to the qualification of the main road, it needs mostly rehabilitation.

## Índice General

Título	i
Palabras Clave	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	1
Metodología	51
Resultados	65
Análisis y Discusión	70
Conclusiones	71
Recomendaciones	72
Agradecimiento	73
Referencia Bibliográfico	74
Anexos	76

## Índice de Figuras

<b>Figura 01:</b> Plano Catastral de Caraz	03
<b>Figura 02:</b> Vista en planta de la carretera central -Caraz	03
<b>Figura 03:</b> Pavimento flexible	09
<b>Figura 04:</b> Sección Típica Transversal Pavimento Rígido	11
<b>Figura 05:</b> Esquema del Comportamiento de Pavimento	12
<b>Figura 06:</b> Rotura de Esquina	27
<b>Figura 07:</b> Fisuras Longitudinales	28
<b>Figura 08:</b> Fisuras de Durabilidad	28
<b>Figura 09:</b> Daño del Sellado de Juntas	29
<b>Figura 10:</b> Bacheo Menor	30
<b>Figura 11:</b> Bacheo Mayor	30
<b>Figura 12:</b> Bombeo	31
<b>Figura 13:</b> Desprendimiento superficial, Mapa de Fisuras – Erráticas	32
<b>Figura 14:</b> Asentamiento o Fallas	32
<b>Figura 15:</b> Losa Cuarteada	33
<b>Figura 16:</b> Fisuras por Contracción	33
<b>Figura 17:</b> Desprendimiento (en Juntas Longitudinales y Transversales)	34
<b>Figura 18:</b> Desprendimiento en la Esquina	35
<b>Figura 19:</b> Número Mínimo a Unidades a Evaluar	39
<b>Figura 20:</b> Desviación Estándar	40
<b>Figura 21:</b> Inérvalo de Espaciamiento	40
<b>Figura 22:</b> El Máximo Número Permisible	42
<b>Figura 23:</b> Ajuste de Números de Valores Deducidos	43
<b>Figura 24:</b> Índice de Condición de Pavimento	44
<b>Figura 25:</b> Ensayo de Laboratorio	46
<b>Figura 26:</b> Ensayo de Esclerómetro	49
<b>Figura 27:</b> Imagen de grieta transversal y diagonal	54
<b>Figura 28:</b> Imagen de grieta Longitudinal	55
<b>Figura 29:</b> Imagen de grieta de esquina	57
<b>Figura 30:</b> Imagen de Losa dividida	59

<b>Figura 31:</b> Imagen de Fisuras en bloques	60
<b>Figura 32:</b> Imagen de parchados	61
<b>Figura 33:</b> Imagen de descascaramiento de juntas	62
<b>Figura 34:</b> Ensayo de esclerómetro	76
<b>Figura 35:</b> Calicata, obtención de la muestra	76
<b>Figura 36:</b> Tamizado del material	77
<b>Figura 37:</b> Ensayo del Proctor Modificado y CBR	77
<b>Figura 38:</b> Secado de muestras en horno eléctrico	78
<b>Figura 39:</b> Ensayo de penetración para los resultados de Proctor y CBR	78

### Índice de Tablas

<b>Tabla 01:</b> Sustancias Perjudiciales en el Agua N.T.P 339.008	18
<b>Tabla 02:</b> Granulometría de la Grava	19
<b>Tabla 03:</b> Sustancia Perjudiciales en la Grava	19
<b>Tabla04:</b> Granulometría de la Grava	20
<b>Tabla 05:</b> Cuadro de Calificación del PCI	37
<b>Tabla 06:</b> Intervención / acción según rango PCI	38
<b>Tabla 07:</b> Operacionalización de Variable	50
<b>Tabla 08:</b> Técnicas e Instrumentos de Investigación	52
<b>Tabla 09:</b> Niveles de Severidad de Losas Subdivididas	59
<b>Tabla 10:</b> Niveles de Severidad de Descascaramiento de Juntas	63
<b>Tabla 11:</b> Tipos de Fallas y daños (Resultados)	65
<b>Tabla 12:</b> Hoja de Inspección	66
<b>Tabla 13:</b> RVC y PCI	67
<b>Tabla 14:</b> Tipos de Fallas	68
<b>Tabla 15:</b> Cálculo General de PCI	68
<b>Tabla 16:</b> Ensayo de Esclerómetro	69

## I. INTRODUCCIÓN

### **Aspectos Generales:**

Los pavimentos rígidos son estructuras que se conforman de capas o estrato, cuya capa superior se conforma por concreto hidráulico, y con refuerzo según diseño, esta capa de concreto se descansa sobre un estrato que trasmite las cargas al terreno llamado base o sub base, esta base se conforma por un material que contiene agregados gruesos y material fino o ligante (arcillas). Estas capas deben ser diseñadas de acuerdo a reglamento y metodología establecida.

Respecto a la durabilidad de los pavimentos se debe señalar que esta durabilidad se ve afectada por diversos factores propios de este tipo de construcciones de vías u obras de transporte, así como el clima y el intemperismo, la frecuencia de su uso y tipo de vehículos que lo transitan, los materiales que se usan en su elaboración, los trabajos de mantenimiento que se realicen en la vía,

En este contexto de incidencia de distintos factores que afecta la durabilidad, y de sus múltiples efectos que pueden presentarse en los pavimentos rígidos a estos efectos o consecuencias le llamamos patologías del pavimento rígido, estas patologías son observables a simple vista porque constituyen la superficie de rodadura y están expuestas a su análisis directo; entre estas patologías podemos mencionar las grietas o fisuras, fisuras en esquina, grietas lineales, grietas trasversales, pulimiento de agregados, fisuras en bloque, losas divididas, el descascaramiento de las juntas de dilatación, el descascaramiento en esquina, parche pequeño, entre otros. Para llegar a conocer el grado o severidad de afectación o incidencia que tiene el pavimento rígido debemos tener presente dos aspectos: que las patologías que se presentan siempre son más de una, y el segundo aspecto a tener en cuenta es que los niveles de vulnerabilidad son diferentes frente a los fenómenos climáticos, físicos al que pueden estar expuestos los pavimentos rígidos

A través de la evaluación de las patologías del pavimento rígido nos permite saber cuál es la condición estructural de los pavimentos rígido de la carretera central del distrito de Caraz - Huaylas, Áncash, mediante la evaluación visual, empleando una metodología clara y detallada como es la del Índice de Condición del Pavimento o

PCI (Pavement Condition Index), este método nos proporciona en su etapa final de análisis un porcentaje entre 0% y 100%, siendo el 0% el más desfavorable y 100% el mejor, respecto al Estado de conservación y por tanto se clasificará desde Fallado a excelente. Para obtener datos reales del estado de la estructura del pavimento rígido y así buscar optimas soluciones de acuerdo al tipo de patología en las distintas etapas de la vida útil de la vía.

### **Justificación**

El estudio de la evaluación realizado en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz – Huaylas, Ancash, nos permitió observar en qué condición se encuentra la estructura, determinando sus fallas se pudo realizar propuestas con distintas alternativas de solución para mejorar el servicio de transitabilidad, comodidad, seguridad, durabilidad que permitan la eficiencia del servicio de la vía.

La presente investigación permitió conocer de cerca la realidad del pavimento en el área de estudio, pese a las restricciones, pero permitió plantear algunas alternativas de solución. Se escogió esta zona de estudio debido al gran volumen de tránsito y como consecuencia el deterioro evidente de la capa de rodadura de esta carretera.

### **Ubicación y Accesibilidad**

#### **Creación política:**

La ciudad de Caraz, geopolíticamente es parte de la provincia de Huaylas, departamento de Ancash. Su primera denominación fue de Villa Caraz en su creación del 25 de julio del año 1957. Posteriormente su categoría se elevó, debido a su crecimiento poblacional y habitacional, a la denominación de “Ciudad” en el año 1861, geográficamente se sitúa a una altitud de 2,256 m.s.n.m, latitud Sur de 09°02’40” y longitud Oeste 77° 48’28” y cuenta con una superficie total de 2,292.78 Km<sup>2</sup>.

#### **Limites:**

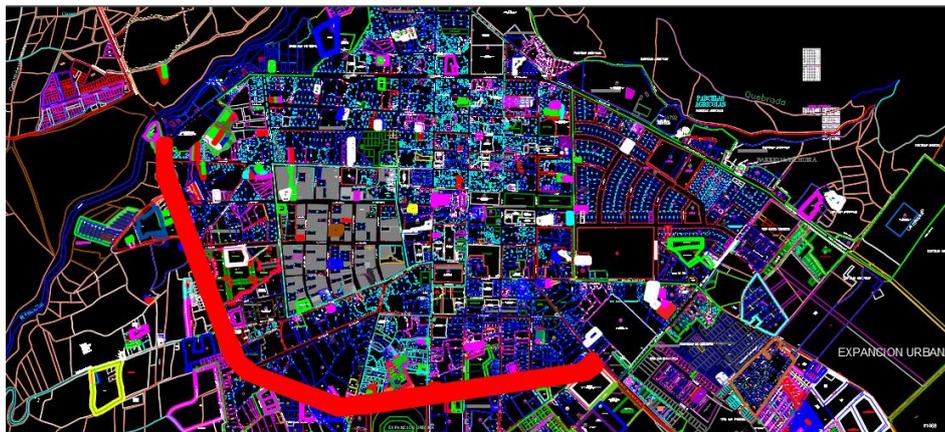
El distrito de Caraz, limita de la siguiente forma:

- Hacia el norte: distrito de Santa Cruz
- Hacia el sur: distritos de Yungay Pueblo Libre
- Hacia el este: distrito de Yungay
- Hacia el oeste: distritos de Huata y Mato

**Lugar de la evaluación de la estructura:**

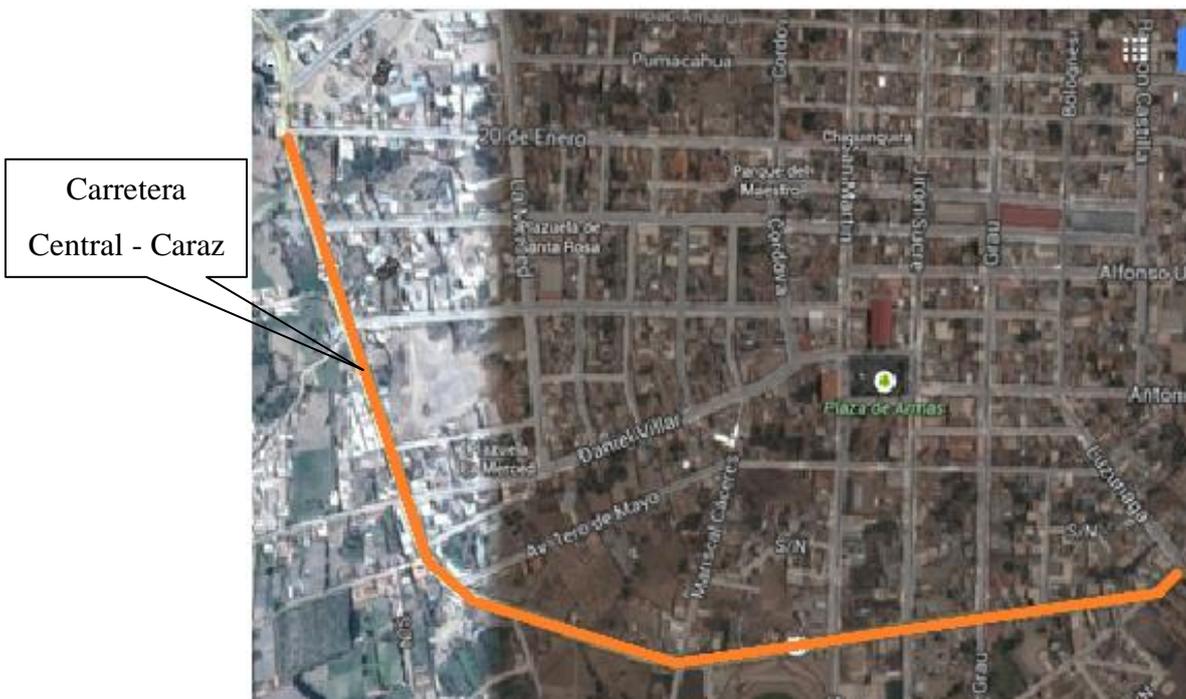
La presente evaluación se realizó, en la Carretera Central, de la ciudad: Caraz, perteneciente a la provincia de Huaylas, en Ancash, el tramo que se evalúa y se aprecia en la figura 01, tiene la longitud de 1,000.00 metros y el ancho de la vía es de 7.00 metros.

A continuación, se muestra la ubicación del tramo a evaluar.



**Figura 01:** Plano Catastral de Caraz

**Fuente:** Propia -AutoCAD



**Figura 02:** Vista en planta de la carretera central -Caraz.

**Fuente:** Internet

Godoy (2006), señala que la patología del concreto viene a ser el estudio de las enfermedades, como fenómenos físicos, químicos, o los denomina “estados anormales” los cuales aparecen o afecta al concreto debido a causas conocidas o en algunos casos las causas son desconocidas”.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la situación funcional y estructural de los pavimentos rígidos en la ciudad capital de Asunción, Paraguay, se señala que hace la primera pavimentación rígida en esta ciudad fue aproximadamente en el año 1972 (desde el estudio 34 años), y además que desde finales la década del 80 se produjo una masificación de uso de pavimentos rígidos en la ciudad de Asunción; es este contexto el que impulsa a determinar las causas que origina fallas del pavimento rígido en Asunción. Y se incide en lo fundamental e importancia que debe tener los procesos de monitoreo permanente en las obras viales de este tipo: concreto hidráulico. En el presente estudio se llegó a la conclusión que las vías de pavimento rígido presentan daños o fallas prematuras la cuales no coinciden con el desempeño que debe tener en teoría un pavimento rígido, es decir una vida útil muy elevada y con pocos trabajos de mantenimiento. Las fallas o daños en su mayoría encontrados en estas vías se originan debido al ineficiente servicio sanitarios, específicamente, las coberturas de estos servicios son incompleta.

**Se concluyó que:** De los tramos analizados, algunos presentan deterioros prematuros que no son coincidentes con las expectativas de desempeño de los pavimentos rígidos (larga vida útil con mínimo mantenimiento). El mayor porcentaje de daños es atribuible a los inconvenientes por cobertura incompleta y deficiente de servicios sanitarios. Se encontró resanes, parches que se realizaron luego de haber roto el pavimento para instalaciones de abastecimiento de agua o el sistema de alcantarillado, cambio de tuberías, accesorios, llaves de control, etc. Estos trabajos además de las ineficiencias de los sistemas de saneamiento de forma indirecta causaron saturación en la subrasante de los pavimentos rígidos por consiguiente se produjo el asentamiento (conformación de espacios o vacíos), por tanto, existe la pérdida de sustentación de la losa de concreto hidráulico, lo que provoca su falla.

**Cote, S y Villalba, O. (2017).** Realizaron un estudio de daños, en el pavimento rígido de la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, debido a la importancia de la vía: carretera del Barrio Bocagrande, este estudio se enmarc

o bajo la norma ASTM D-5340, determinaron el tipo de falla, nivel de severidad, y grado de afectación en cada unidad muestral, inspecciones visuales, registros fotográficos, aplicación de fichas o instrumentos. Además, se determinó el comportamiento mecánico de la losa de concreto, con la resistencia a la compresión del concreto hidráulico, mediante la prueba no intrusiva: esclerometría. Se concluyó que 2/3 de las muestras analizadas se clasifican en un estado “Regular” (65%), la cuarta parte de la muestra (25%) presenta una clasificación “Mala” y la décima parte de la muestra (10%) se clasifica como “Bueno”. El promedio del PCI obtenido en el estudio fue de 44% lo que permite señalar que se encuentra en un estado “regular”. Respecto a las fallas y su incidencia se determinó que el desconchamiento, grietas y craquelado fueron los daños que más inciden o dañan en mayor medida a la vía, con nivel de severidad media en el 70% de la zona de estudio, también se presenta la falla: punzonamiento, la cual se presenta en menor incidencia, pero con elevada severidad. Respecto a la determinación de las propiedades mecánicas del pavimento de concreto hidráulico, estas presentan valores por encima de las resistencias mínimas exigidas por las normas, por lo que se descarta que las fallas se hayan producido por este factor o parámetro mecánico. Tras la investigación se realizó una propuesta de solución que consistió en el sellado de las grietas y de las juntas de dilatación, también se debería reparar la losa de concreto en todo su espesor, en algunas áreas se realizaría un cepillado de la superficie. Presentando alternativas para determinar su viabilidad.

**Quiñonez (2014).** En su revista publicado acerca de las patologías del concreto, utiliza el método del índice del pavimento PCI, con el cual logra estudiar la zona, dividiendo las veredas en ochocientos veinte paños o áreas muestrales, para tomar datos acerca de sus fallas superficiales y su severidad o estado. Empleo un estudio evaluativo observacional, aplicando hojas de recolección de datos, llamados también en investigación los instrumentos de recolección. Estos registros se ordenaron, clasificaron, tabularon, analizaron mediante procesos estadísticos propios del método

PCI y se obtuvieron valores diferentes en las calles de la Ciudad de Puerto Maldonado. El estudio concluye que el Índice de condición del pavimento es de 45.42% lo que clasifica a estas vías con un estado Bueno, y que las fallas encontradas tienen un carácter o tipo funcional, que si bien es cierto no es peligro para el pavimento, las fallas encontradas causan un tránsito incomodo e inseguro para los usuarios del transporte.

**Prunell S.** (2011) en su investigación “Estudio de patologías en pavimentos de hormigón”, busca determinar cuáles son los principales mecanismos que causan el desgaste de los pavimentos de concreto hidráulico. Sabemos que el concreto es material de la construcción bastante resistente a los esfuerzos de compresión, pero presenta una deficiente resistencia a la tracción, es decir es un material con poca capacidad para deformarse, cuasi frágil. El estudio asegura que los esfuerzos de tracción en el concreto se generan por: sollicitaciones mecánicas, reacciones perjudiciales, también el medio ambiente. Estos esfuerzos de tracción producen fisuras en el concreto que originan su mal comportamiento frente a cargas.

Pese a ello se puede disminuir el fenómeno de fisuración con las debidas precauciones en las etapas de diseño, uso de adecuados materiales y también en los procesos constructivos del pavimento rígido. Se identificaron las fallas, sus causas, se clasificaron según severidad, y presenta métodos de reparación.

Se concluyó que son diversos que actúan simultáneamente o puede ser solo uno factores que originan la gran mayoría de los deterioros o fallas en el pavimento rígido. Debe seguirse una lista de calificación de fallas para que el diagnostico sea exacto o lo más certero posible, y muestre la realidad de la superficie del pavimento. Y esto lleva a plantear que los procesos o actividades de mantenimiento son parte importante si es que se desea evitar que se deteriore a niveles altos, si esto ocurre, se debe realizar una reparación total del pavimento rígido. Si la severidad es alta, entonces se puede afirmar que los costos se elevan en un proceso de mantenimiento o reparación, si las fallas se presentaran con un nivel de severidad media o baja. Las investigaciones respecto a la determinación de las fallas, su incidencia y su severidad permiten prevenir la incomodidad e inseguridad del tránsito, además, se puede tomar medidas correctivas a tiempo.

En el presente estudio se realizaron visitas a obras de pavimentaciones rígidas y se pudo comprobar que no se aplican los controles de calidad en los procesos de construcción, motivo por el cual se deja de lado ciertos parámetros de control en la manipulación del concreto en estado fresco y al inicio del proceso de endurecimiento, lo cual incide directamente en la vida útil de pavimento rígido en su conjunto. Los materiales utilizados en obras de pavimentación no reciben un control adecuado, no se toma en cuenta las condiciones atmosféricas y las temperaturas al momento del vaciado del concreto, los procesos de curado no son los adecuados, las juntas o cortes de juntas se realizan en tiempos incorrectos, además del uso inapropiado de los equipos y maquinarias.

Ruiz C. (2011) en su trabajo de investigación sobre factores que se producen en los pavimentos rígidos, realizado en el vecino país de Ecuador, da a conocer un diagnóstico de varios proyectos de pavimentación rígida sobre las patologías que sufren. Estos proyectos están ubicados principalmente en la zona norte de Manabí, mediante una labor y seguimiento riguroso se logró verificar las distintas causas que las originaron, en primer lugar se realizó un diagnóstico detallado en las vías en estado crítico en la zona de Chone – Canuto – Calceta – Junin – Pimpiguasi, en ellas se encontraron daños estructurales muy severos, lo que justificó la realización de ensayos de laboratorio para verificar la calidad de los agregados y materiales utilizados en la estructura del pavimento rígido. En las visitas a obras realizadas como parte de la investigación se obtuvo información valiosa de los consultores y responsables de las constructoras de los diferentes proyectos visitados, acerca de procesos de reparación exitosos y consideraciones técnicas que podrán ser aplicadas en futuros proyectos de este tipo para evitar la aparición de estas patologías causantes del deterioro de las vías.

Se concluyó que: en primero lugar señala que la implementación de las vías de transporte terrestre con pavimentación rígida es relativamente nueva, motivo por el cual existe carencia de experiencia en la construcción de este tipo de pavimentos, esta inexperiencia directamente incide como factor primordial para que se produzcan deterioros severos en las estructuras de las vías rígidas. Es entonces que, se necesita en esta etapa inicial de estos proyectos en el país ceñirse a las normas de diseño y

rehabilitación o reparación existentes para no tener la aparición o disminuir los eventos de deterioro tales como los observados en el presente estudio.

Espinoza T. (2010). En su investigación acerca del nivel de incidencia de las patologías en el concreto aplicado en pavimentos rígidos, de la provincia de Huancabamba – Piura, concluye los pavimentos rígidos de esta provincia presentan elevado deterioro en su superficie y estructura debido a la mala ejecución o proceso constructivo y a la inadecuada calidad de los materiales: agregados de la zona, además indica que otro parámetro de incidencia: la temperatura en sus niveles muy elevados, además del suelo.

De acuerdo a lo revisado en los antecedentes se **justifica** la presente investigación en los aspectos social y del conocimiento.

La insuficiencia de carreteras en nuestro país, el mal estado de las pocas que existen y la situación similar de déficit y descuido, con respecto a las vías urbanas, son un motivo suficiente para insistir en el desarrollo del tema antes mencionado.

Las vías de comunicación terrestre son la columna vertebral de la economía nacional, es la labor del estado y de los profesionales de la ingeniería brindar soluciones que permitan la eficiencia de la red vial y por ende el normal traslado de personas y bienes a lo largo del país, que contribuya al nuestro desarrollo.

La importancia de conocer la situación actual de la condición del pavimento rígido de la ciudad de Caraz, específicamente la carretera central, es porque nos permitirá tener una herramienta para tomar las medidas correctivas o de prevención respecto a esta vía tan importante para el flujo de personas y bienes en la ciudad de Caraz.

Las patologías del concreto que se presentan en la carretera central de la ciudad de Caraz tienen diversos tipos y condición que de ser baja o inexistentes, permitirá tomar medidas a tiempo para las acciones de mantenimiento y reparación, permitiendo así la eficiencia de la vía.

Bajo este contexto de necesidad y problemática planteo el siguiente problema:

**¿Cuál es la situación actual de la estructura del pavimento rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz, Provincia de Huaylas, departamento de Áncash?**

### **Pavimento**

**MTC (2008).**

Según la definición del ente rector en el país el pavimento viene a ser la estructura conformada por capas que se construyen sobre la subrasante (terreno natural) del trazado de la vía, esta estructura debe resistir las sollicitaciones de esfuerzos que se originan por el paso de los vehículos o tránsito, además, el pavimento debe proporcionar condiciones de seguridad y comodidad a este. Generalmente se compone de: Sub rasante, sub Base, Base y carpeta de rodadura.

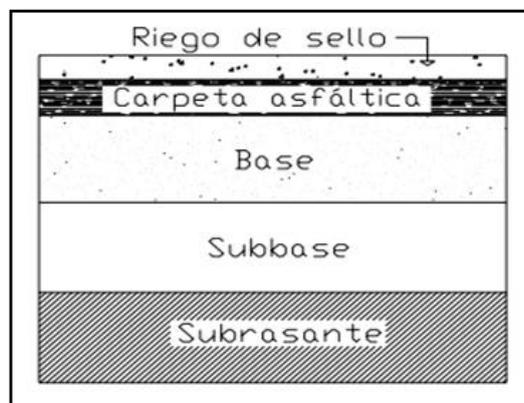
### **Pavimento rígido**

Es aquel cuya capa de rodadura está constituida por concreto hidráulico: cemento portland, agua, grava y arena, y de ser necesario, aditivos.

### **Clasificación de los Pavimentos:**

#### **Pavimentos Flexibles:**

**Barrantes (2009).** Es un tipo de pavimento cuya estructura está conformada por capas una sobre otra, las cuales distribuyen las cargas hacia el terreno, ver figura 03.



**Figura 03:** Pavimento Flexible

**Fuente:** Barrantes (2009)

**Características:**

- Resistir y transmitir las cargas vivas generadas por el tránsito que circula sobre ella.
- La estructura debe ser impermeable.
- Resistir el desgaste producto de la abrasión o intemperismo (clima).
- Su superficie debe ser cómoda y segura (superficie antideslizante) para los vehículos
- Contar con un grado de flexibilidad capaz de absorber los asentamientos que presente la capa inferior (la base y la sub base)

**Pavimentos Rígido:**

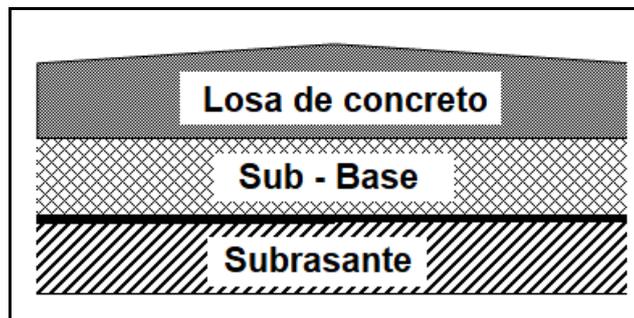
Morales, (2005). Son aquellos pavimentos cuya capa superior está conformada por una superficie o losa de concreto hidráulico, que se apoya en un estrato o capa de afirmado u material con condiciones de compactación idóneas, llamado Sub Base o en algunos casos base. La capa de concreto distribuye las cargas a las losas inferiores y a las adyacentes, además, al ser un elemento rígido, tiene la capacidad de distribuir las cargas verticales a grandes áreas, y es allí donde radica su ventaja respecto a una pavimentación flexible. Este pavimento rígido está sujeto a deflexiones, deformaciones elásticas las cuales son normalmente imperceptibles.

El pavimento rígido presentará fallas en su estructura debido a que no puede plegarse a las deformaciones de sus capas inferiores. Es este aspecto, el que incide y dificulta la determinación del espesor de la losa y de la resistencia adecuada en los procesos de diseño junto con las condiciones del suelo y las cargas de tránsito a que estará sometida la vía.

También se debe considerar que este tipo de losas están sometidos al intemperismo y a los cambios de temperatura constante, por lo tanto, debe de resistir los esfuerzos de flexión y compresión que son provocados al contraerse y expandirse debido a la variación de la temperatura y condiciones del medioambiente.

El diseño de los pavimentos rígidos toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen y cargas de vehículos
- El módulo de la reacción en la subrasante,
- La propiedad mecánica del concreto: resistencia a la compresión
- Clima de la zona



**Figura 4:** Pavimento rígido: sección transversal típica.

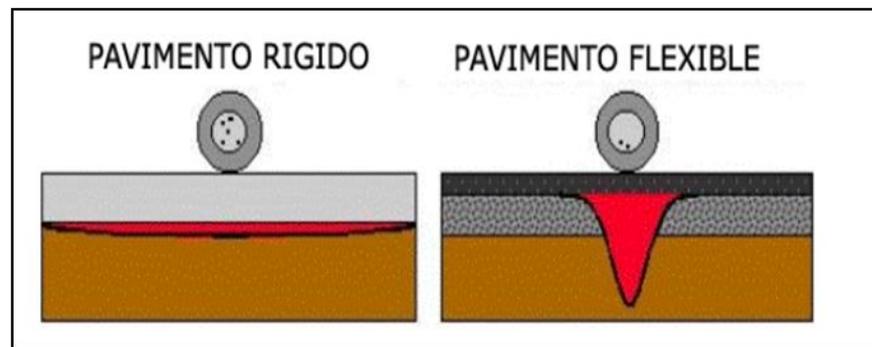
#### **Clase de superficie o capa de rodadura:**

La clase de superficie o capa de rodadura influye directamente en el tránsito, es así que, un vehículo que circula por una vía rural cuya superficie de rodadura es material conglomerado (trocha carrozable) se desplazará con una velocidad inferior a la que se desplazaría por una vía nacional asfaltada.

#### **Pavimentación rígida**

La estructura del pavimento rígido está constituida entonces por capas sucesivas, la capa superficial que está en contacto directo con las ruedas de los vehículos que transitan sobre ella, son las losas o paños de concreto hidráulico, que se encargan de transmitir y distribuir las cargas hacia las otras capas de la estructura: sub base y subrasante, esta distribución se realiza por la totalidad del área de la losa o paño y también de las losas adyacentes, las cuales trabajan en forma conjunta con las losas que reciben las cargas directamente.

Al distribuirse las cargas verticales sobre un área relativamente grande las presiones que se ejercen sobre el terreno son muy reducidas. (Fig. 5)



**Figura 05:** distribución de cargas según tipo de pavimento

**Fuente:** UNP

En este caso los costos para la construcción inicial de este tipo de pavimento, resultan ser mayores respecto al pavimento flexible, el período de vida útil varía entre 20 y 40 años, como característica positiva o ventaja, es que este tipo de pavimento necesita actividades de mantenimiento mínimas que permitan mantener su operatividad y por ende su vida útil proyectada.

### **Tipos de pavimento rígido**

De acuerdo al tipo de concreto y sus componentes:

1. Losas de concreto simple
2. Losas de concreto simple con barras de transferencia de cargas
3. Losas de concreto armado y con refuerzo continuo
4. Losa de concreto presforzado
5. Losas de concreto fibroso

### **Elementos del pavimento rígido**

#### **a) Sub rasante:**

Es la capa que constituye el soporte natural de la estructura, este debe ser preparado, nivelado, escarificado, humedecido y compactado. Su función principal es la de otorgar un soporte o apoyo uniforme, eso se logra si su capacidad de soporte es común en toda la extensión de su área, pero diríamos

también y no menos importante es que la subrasante debe dar estabilidad a la estructura, que se logra con el debido control en el tratamiento de los suelos y su expansión.

#### **b) Sub Base**

Este elemento constituyente de la estructura de un pavimento rígido es muy importante, y se ubica entre la losa de concreto rígida y la subrasante, se conforma de una o más capas de material granular (afirmado) el cual previamente a su compactación ha de ser estabilizado. Esta capa tiene como objetivo primordial prevenir el fenómeno de bombeo que ocasionan los finos. La colocación de la subbase es de carácter obligatorio en todo tipo de pavimento rígido.

Otras consideraciones de la sub base son:

- Capacidad de soporte estabilidad uniforme
- Aumentar el módulo de reacción de la capa inferior (K)
- Condiciones de drenaje
- Sirve como área de trabajos en equipos de construcción. (vaciado de losas).

#### **c) Losa de concreto**

Se elabora de concreto de cemento portland, por tanto, se considera un concreto hidráulico, los ensayos de laboratorio deben determinar los factores mínimos de cemento en las mezclas, para que estas presenten condiciones óptimas de durabilidad y resistencia. Se usará aire incorporado según los usos del concreto: específicamente cuando se necesite un concreto con resistencia al deterioro superficial que pueda ocasionar el hielo o deshielo, las sales, o también para mejorar la trabajabilidad,

### **Pavimentos Rígidos según el concreto que conforma:**

#### **1. Pavimento rígido de concreto simple**

Estos pavimentos están conformados por losas de concreto el cual no tiene refuerzo de acero, tampoco tiene ningún elemento de transmisión de o barras

de transferencia. La transferencia en este caso se logra obtener por la adherencia de los agregados, es decir la trabazón se da entre las dos caras contiguas de las losas. Para tener una transferencia de cargas efectiva se debe considerar losas cortas o áreas pequeñas. Este tipo de pavimento es recomendado por lo general para la construcción de vías con volumen de tránsito mediano o bajo. (Miranda, Ricardo, 2010).

## **2. Pavimento rígido de concreto simple con barras de transferencia de cargas**

Estos pavimentos se construyen de concreto simple también, al igual que los anteriores, solo que en ellos se incorporan barras lisas de acero en cada una de las juntas de contracción de las losas, estas barras actúan como los elementos que transmiten o transfieren las cargas, también al igual que la pavimentación anterior se debe considerar losas cortas en su diseño.

## **3. Pavimento rígido de concreto armado y con refuerzo continuo**

Estos pavimentos contienen acero de refuerzo y también elementos llamados “pasa juntas” en las juntas de contracción de las losas. En este tipo de pavimentos las juntas de contracción se consideran a distancias mayores que las que se colocan en concretos convencionales. Este distanciamiento de las juntas, puede producir fisuras transversales, pero las juntas prácticamente están cerradas por la presencia del acero, lo cual permite una excelente transferencia de las cargas, (Miranda, Ricardo, 2010).

## **4. Pavimento rígido de concreto con refuerzo continuo**

Estos pavimentos no presentan en su construcción juntas de contracción. El refuerzo de acero presente en este concreto, es continuo en la dirección longitudinal, se presentan en ocasiones fisuras transversales a distancias relativamente cortas. Cabe resaltar que el contenido del acero de refuerzo permite a este pavimento tener un gran desarrollo de la transferencia de cargas en las caras de las fisuras transversales.

Pavimento de concreto simple y pavimento de concreto simple normalmente consideran un espaciamiento de juntas de 4.50 m, el espaciamiento no mayor a 6.00 m en el pavimento de concreto simple con barras de transferencia de cargas (pasa juntas).

En los pavimentos con concreto armado el espaciamiento de juntas no debe exceder de los a12.0 m. Se puede utilizar mayores espaciamientos, pero se corre el riesgo de deterioros prematuros en las juntas y también en las fisuras transversales intermedias de las losas.

## **5. Pavimento rígido de concreto presforzado**

En este tipo de pavimento, las losas de concreto han sido previamente esforzadas con grandes cargas, razón por la cual no es necesario en uso de las juntas de construcción. Existen estudios realizados sobre los sistemas de postensado y pretensado de las losas de concreto con la finalidad de disminuir su espesor, gran elasticidad, reducción de juntas, y sobre todo aumentar su capacidad de soporte. Es así, que gracias a la aplicación de sistemas de pretensado se ha podido ejecutar losas de una longitud mayor a los 120 m y una disminución de su espesor a la mitad del q necesitaría otro sistema. Su uso se ha extendido sobre todo en la construcción de losas para aeropuertos, en las cuales presenta un comportamiento estructural excelente, tanto en las zonas de plataforma como en las pistas de aterrizaje. (Miranda, Ricardo, 2010).

## **6. Pavimento rígido de concreto fibroso**

Esta pavimentación rígida se compone de losas cuyo armado o refuerzo consiste en fibras de acero, fibras de vidrio, incluso fibras de materiales plásticos; estas fibras se adicionan a la mezcla de concreto hidráulico de tal manera que su distribución sea uniforme y homogénea en la totalidad de la masa. Estos elementos le proporcionan mayor adherencia y aumenta su resistencia a la tensión, así como a la fatiga, aumenta también la fisuración de controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. Con una proporción de aproximadamente 40 kg/m<sup>3</sup> de concreto. Se logra reducir aproximadamente

30% el ancho de la losa y se incrementa el espaciamiento de las juntas, lo que permite considerarlo una opción atractiva pese a su incremento en el costo respecto a una pavimentación de concreto simple.

### **Ventajas y desventajas del pavimento rígido.**

Según Reolledo, V. (2010) se menciona las siguientes ventajas:

#### **Ventajas:**

- El concreto refleja la luz, esto permite la luminosidad sobre la superficie de la vía, esto permite reducir el número de luminarias, consumo de energía, en porcentaje de disminución es de casi el 30% de los costos respecto al pavimento flexible.
- Es muy fácil proporcionar rugosidad en la superficie del concreto que permita mejor adherencia de los vehículos motores y el pavimento.
- Soporta cargas elevadas sin presentar ahuellamientos, o deformaciones.
- La dureza de la superficie permite la facilidad del rodamiento de los neumáticos, lo que reduce el consumo de combustible en los vehículos.
- El concreto tiene un periodo de vida útil de 20 a 40 años, se considera de forma general un promedio de 30 años.
- Los concretos al tener una alta durabilidad no tienen la necesidad de realizar reparaciones y/o actividades de mantenimiento anuales.
- Los pavimentos rígidos con frecuencia sobrepasan su vida útil y las cargas de tráfico con las que han sido diseñada.

#### **Desventajas**

- El costo inicial de construcción es mayor que el pavimento flexible
- El análisis y diseño deben considerar muchos más parámetros y exactitud.

### **Materiales Necesarios para la Elaboración de un pavimento rígido de Concreto Hidráulico**

#### **a) Cemento:**

Es el aglomerante principal de la mezcla de concreto y este debe ser cemento Portland, respecto a la marca, debe ser una marca que sea reconocida y cuente con la certificación de sus productos, puede ser otro tipo, si está señalado en los documentos del proyecto o las especificaciones técnicas respectivas. Pudiendo ser CPO y CPP, cemento portland ordinario y cemento portland puzolanico.

Este material al ser el más importante en la mezcla, debe de cumplir todos los requisitos físicos y químicos que se especifican en las normas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) las cuales son de carácter obligatorio.

Respecto al almacenamiento del cemento se ha de considerar espacios secos y las bolsas deben de estar a una altura superior a los 20 cm del suelo, se deben apilar considerando una altura máxima de 7.00 m. Si el suministro de cemento a obra es a granel, debe de considerarse un almacenamiento en lugar seco y ventilado. Los cementos deben de ser inspeccionados y autorizados por la supervisión, realizar el control de la fecha de producción del lote.

#### **b) Agua**

Es el material que inicia la reacción del cemento produciendo la hidratación del mismo, debe de ser potable y cumplir con los requisitos establecidos en la norma técnica peruana, así como la E=60.

El agua no debe contener restos perjudiciales tales como aceites, materiales orgánicos, etc. No debe contener cantidades mayores de sustancias químicas que perjudiquen la durabilidad del concreto (Tabla 01). Como corolario diríamos que el agua para consumo humano es el adecuado para el uso en la fabricación del concreto para los pavimentos rígidos.

Las aguas para las mezclas de concreto deben tener un ph (potencial hidrogeno) neutro, no deben ser inferior a cinco. El contenido de SO<sub>4</sub> (sulfatos) no debe ser mayor a 1 gr/. Se debe aplicar la norma ASTM D-516 y su contenido de ion cloro no excederá de 6 gr/l

**Tabla 01:** Sustancias Perjudiciales en el Agua N.T.P 339.008

<b>Descripción</b>	<b>Limite permisible</b>
Cloruros	300ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio	150ppm.
Sales solubles totales	1500ppm.
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.

**Fuente:** Cemex

### c) Materiales pétreos

Los materiales pétreos también llamados agregados corresponden según SUCS a los agregados grueso: gravas y arenas, los cuales antes de ser utilizados en la elaboración del concreto deben someterse a exhaustivos tratamientos, necesarios que le permitan cumplir con los requisitos de calidad que indica las normas. Deben ser almacenados de forma adecuada en lugares que no permitan su contaminación o combinación con otros materiales perjudiciales orgánicos. Los materiales pétreos deben mantener su humedad natural y uniforme al momento de ser mezclado.

#### **Grava:**

Es el material grueso que deberá ser triturado mecánicamente con un tamaño máximo de 38mm, y debe cumplir con su porcentaje máximo de desgaste de 40% comprobado mediante ensayo de abrasión en máquina de los Ángeles. Además, debe cumplir las siguientes condiciones de gradación secuencial recomendada por la norma técnica peruana, con valores como se aprecian en la tabla siguiente:

**Tabla 02:** Granulometría de la Grava

<b>Malla</b>		<b>% QUE PASA</b>
2"	50.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95 - 100
¾"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
Número 4	4.75 mm	0 - 5

**Fuente:** Cemex

El material pétreo, específicamente las gravas, debe contener como máximo ciertos porcentajes de sustancias que perjudican las propiedades mecánicas de los concretos en su estado endurecido. Estos porcentajes máximos se presentan a continuación:

**Tabla 03:** Sustancias Perjudiciales en la Grava

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>%</b>
Partículas deleznable	0.25
Partículas suaves	5.00
impurezas	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

**Fuente:** Cemex

Siempre que los agregados gruesos en obra presenten una heterogeneidad en sus partículas, el supervisor o inspector de la obra debe ordenar que se realice la prueba de desgaste de los Ángeles, previa separación del material sano o inalterado, además de solicitar las pruebas del mismo proveedor. Siendo el límite de desgaste en todos los casos el 40% del ensayo de abrasión.

También a solicitud del supervisor o inspector de obra, podrá solicitar la determinación de la pérdida del intemperismo acelerado del agregado grueso, el cual no debe sobrepasar el 12%, siendo esta prueba no excluyente de las anteriores mencionadas.

**Arena:**

Es el material fino o arena es aquel material granular que según SUCS comprende desde todo el material pasante por la Malla N° 4 y retenido en la malla #200. Es decir, la arena deberá tener partículas con un tamaño máximo de 4.75 mm seguida de la secuencia de gradación como se aprecian en la tabla siguiente:

**Tabla 04:** Granulometría de la Grava

Malla		% QUE PASA
3/8"	9.5 mm	100
Número 4	4.75 mm	95 - 100
Número 8	2.36 mm	80 - 100
Número 16	1.18 mm	50 - 85
Número 30	600 µm	25 - 60
Número 50	300 µm	10 - 30
Número 100	150 µm	2 - 10
Número 200	75 µm	4 máximo

Fuente: Cemex

**Patología del Pavimento Rígido**

Castillo, C Y Romero, G (2009). El concreto de cemento portland es el material que en el mundo de la construcción se usa por excelencia, por sus comportamientos mecánicos de resistencia y durabilidad óptimos, pero el concreto es susceptible de tener patologías que disminuyan sus bondades, estas evalúan la durabilidad y resistencia de compresión, mediante el diagnóstico de las distintas fallas presentes, las causas, sus consecuencias y sus posibles soluciones o actividades de refacción, reparación o reconstrucción.

La determinación de las patologías del concreto es el estudio sistemático del origen, características de los daños, fallas o “enfermedades” que presenta en concreto en su estado endurecido.

En esta investigación relaciona la durabilidad con los signos, posibles causas y describe el deterioro que sufren los elementos de concreto en los pavimentos.

El concreto es susceptible de sufrir fallas o patologías que durante su periodo de vida útil que modifican su estructura interna y comportamiento mecánico, estas fallas o patologías están presentes desde su elaboración y/o construcción mientras que otros pueden ser resultado del ataque de factores externos al concreto. Cuando el concreto presenta manchas, cambios del color, grietas, fisuras, hinchamientos, pérdidas de masa, etc., son síntomas que indican que se está produciendo una falla o desarrollando una patología.

Para determinar el origen de ellas se estudia la estructura en su totalidad, este estudio debe incluir:

- Reconocimiento del historial del elemento: su edad, las cargas para que fue diseñada y las cual es la carga y uso que soporta al momento del estudio, los antecedentes, los ambientes y microclimas al que está sometido, la vida útil de diseño, el proceso constructivo en su elaboración, y sobretodo tener en cuenta la cronología de los daños, etc.
- Inspección visual para tener un diagnóstico exacto de las condiciones reales de la estructura.
- Verificación de parámetros del diseño de mezcla son importantes en el diagnóstico inicial, conocer la consistencia considerada y que afecta a la relación agua cemento de la mezcla. Otro parámetro es el tamaño máximo del agregado grueso “real” que se utilizó, mediante una prueba intrusiva o no intrusiva como el escaneo por rayos “x”.
- Se debe tener la verificación de las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, flexión y tracción, o algunas propiedades especiales adicionales que haya sido requerido en su diseño.
- Conocimiento de todo el diseño y cálculo del número estructural, del proceso de la construcción, de los materiales empleados, del proceso de curado, de las actividades de mantenimiento, todos estos parámetros

intervienen en el comportamiento de la estructura de concreto a lo largo del tiempo.

### **Causas de las patologías del concreto**

Las patologías del concreto se pueden deber a distintos orígenes o causas, entre ellas podemos mencionar:

- El fenómeno llamado retracción plástica, asiento plástico o retracción hidráulica.
- La fluencia.
- variaciones térmicas
- pretensado del concreto
- asentamientos en el terreno de fundación
- cambios de color, manchas.
- Erosión
- Congelación
- Ataque biológico: agua de alcantarillado e invernaderos
- Ataque químico: ácidos, sales,
- Corrosión por aguas de pantano, agua de mar, por sulfatos, anhídrido carbónico, etc.

### **Mecanismos que afectan al concreto**

El concreto sufre varios mecanismos que lo degradan o destruyen en forma rápida o lenta pero de forma progresiva, puede ser por uno o la combinación de mecanismos, que actúan con acciones físicas, químicas o biológicas. Entre ellos podemos mencionar:

#### **a) Meteorización**

Es un proceso es la modificación química, física o mecánica que padece el concreto por las condiciones de la intemperie o condiciones medioambientales que son: viento, lluvia, sol, hielo u otros. La alteración del concreto se ocasiona por la variación de la temperatura, la presión(viento) y humedad en el aire. La polución en las grandes ciudades

contribuye a este fenómeno debido a la creciente tasa de migración a las ciudades y centros urbanos.

**b) Decoloración y manchado**

Viene a definirse como la acción de quitar o disminuir o variar el color de la superficie del elemento de concreto, producto de la meteorización, o por la aparición de la eflorescencia, asolamiento, humedecimiento y secado en ciclos, escurrimiento de aguas o lluvias ácidas.

**c) Lixiviación**

Las aguas blandas, esas que contengan poca cantidad de impurezas como aguas sin contener sales, las aguas residuales industriales, el agua de la fusión de los glaciares, aguas de deshielo de las nieves, de las precipitaciones, también las aguas de los pantanos, producen la disolución de los principales compuestos cálcicos del concreto, así también como los ácidos, como resultado de esta afectación inicia la descomposición y lixiviación de la pasta de cemento endurecida.

**d) Aumento del volumen del concreto o masa del concreto**

Los aumentos de masa del concreto se ocasionan por la reacción que forman nuevos productos que contribuyen a acrecentar la masa, entre las reacciones tenemos aquella producida en la pasta de cemento endurecida por el ataque de los sulfatos, o también la reacción álcali – agregados, la cual se produce entre algunos agregados reactivos y otros compuestos alcalinos del concreto.

Cuando la masa del concreto presenta fisuración o microfisuración superficial, es posible que sufra del ataque de sulfatos, pero también presentan otros signos como descascaramiento, disminución de resistencia, ablandamiento de la masa y pérdida de la rigidez.

La reacción álcali – agregados produce el aumento del volumen del concreto y sus síntomas son grietas superficiales, profundas y aleatorias cuando son elementos masivos, las grietas no son aleatorias sino ordenadas cuando los elementos son delgados.

## **Concreto armado y recubrimiento**

El refuerzo de acero necesita una distancia hasta la superficie del elemento de concreto, y funciona como una capa protectora o también llamada “pasivadora”, proporciona protección al acero de la acción agresiva de algunas sustancias y principalmente la humedad que puede originar la corrosión de su superficie del acero. Cuando esta distancia o capa espasivadora deja de ser compacta, densa, y se reduce su dimensión o espesor se dice que el acero de refuerzo esta despasivado.

Este fenómeno llamado despasivación es causado principalmente por la carbonatación del recubrimiento, que acepta el paso del agua, y el oxígeno contenido en él, y otras sustancias que al contacto con el acero de refuerzo van a reaccionar.

## **Evaluación de los pavimentos**

Higuera, (2015). La evaluación de pavimentos es una de las más importantes labores del ingeniero de pavimentos, y del ingeniero civil, es el que debe otorgar la validación de los criterios de diseño y para determinar los procesos de mantenimiento de un pavimento se debe previamente tener un claro conocimiento de la condición de un pavimento. Para el desarrollo de esta actividad se debe:

- Identificar la suficiencia de la estructura del pavimento.
- Determina las causas que originan el estado real del pavimento al momento de realizar la evaluación.

Para realizar una adecuada evaluación de un pavimento se debe distinguir dos fases:

- Evaluación funcional
- Evaluación estructural.

### **A. Evaluación funcional:**

Comprende el nivel de incidencia y el estado de la vía debido a los deterioros presentes en la superficie, la capa de rodadura de una carretera se diseña con criterios de optimizar los costos y proporcionar niveles aceptables de comodidad, seguridad y sobre todo la calidad de rodadura para los vehículos

que transitan en la carretera, esta calidad se ve reflejada en la reducción de consumo de combustible en los vehículos.

Las observaciones de una evaluación funcional son de carácter no destructivas y de carácter superficial, se puede distinguir en ella:

- Regularidad de la superficie la superficie, tanto longitudinal como transversal.
- Resistencia al deslizamiento.
- Resistencia a la rodadura
- Sonido del contacto neumático-pavimento
- Bombeo y peralte para evacuar aguas superficiales.
- Propiedad de permeabilidad y capacidad de drenaje.
- Los tiempos de congestión vehicular.
- Capacidad de resistir ataques de aceites y combustibles.
- La limpieza de la superficie de vía.

La evaluación funcional determina con estas técnicas la seguridad, gastos de explotación, comodidad, contaminación ambiental, entre otras.

#### **B. Evaluación estructural:**

La evaluación estructural se encarga de reconocer la capacidad que tiene la vía para soportar las cargas. Cuando el tránsito actúa sobre la vía, sobre todo los vehículos más pesados ocasionan que lentamente y de forma progresiva disminuya la capacidad inicial de resistir dichas cargas. Para determinar la capacidad estructural de una vía se establece con una carga normalizada como referencia.

Esta deflexión diríamos es un valor evolutivo o cambiante, y representa el estado estructural de la vía, referenciado con un valor inicial de deflexión mínima. La deflexión permite cuantificar las acciones de rehabilitación o para reforzamiento del firme, y debe estar también en función del espesor del pavimento.

La función estructural está supeditada a la capacidad resistente: materiales y espesores, como también del tiempo de vida o de servicio con que cuenta la

vía, es por esa razón que la evaluación estructural se debe medir las deflexiones acompañadas de una observación minuciosa de la vía.

Los resultados al que podemos llegar luego de aplicar la evaluación estructural pueden ser los siguientes:

- La evaluación de transferencia de cargas.
- La evaluación integral de su capacidad de soporte.
- El diseño de las reparaciones y/o rehabilitaciones.
- Retro cálculo de parámetros para sus resistencias de cada capa.
- Seguimiento de la variación de las propiedades.
- Detección y fijación de la pérdida de soporte en todas las esquinas.
- Determinación del periodo de vida útil remanente.

## **Deterioro de Pavimentos**

### **Fallas en los pavimentos rígidos**

#### **a) Estallidos**

Estas fallas suceden en climas calurosos por lo general, comúnmente en correspondencia con fisuramiento transversal o con juntas, las cuales no son suficientemente anchas para que las losas de concreto se expandan.

Los anchos de las vías, comúnmente se ven reducidos en sus dimensiones debido a la infiltración de material en las juntas que se podría evitar con un mantenimiento periódico. Cuando la expansión de las losas se produce y no existe espacio suficiente para absorber estos cambios volumétricos, sucede que los bordes de las losas de concreto se pandean, generalmente hacia arriba, en otras ocasiones se produce la fragmentación de la losa en las zonas cercanas a las juntas. También los estallidos aparecen en las estructuras de drenaje. Esa patología se debe reparar de forma inmediata ya que tiene una gran potencialidad de causar un daño severo sino es corregido a tiempo, y eso implica el gran peligro para los usuarios.

### **b) Fractura o Rotura en esquinas**

Estas fallas se manifiestan con la fisuración que intersecta las juntas a una longitud que es igual a la mitad de la longitud de la losa. Estas fallas son causadas por la repetición de las cargas, es decir un sobre tráfico vehicular en la vía. Además, se considera que también lo originan la pérdida de soporte y las tensiones debido al alabeo de las losas. La rotura en esquina difiere del desprendimiento en esquina, porque presenta una fisura que se expande verticalmente a través de todo el espesor del paño de concreto, mientras que el desprendimiento intercepta un ángulo con la junta.



**Figura 06:** Rotura de Esquina

Fuente: Manual de diseño de vías de superficie de concreto - PCI

### **c) Fisuras: Transversales. Longitudinales y diagonales.**

Este tipo de fallas se dividen en dos partes en algunos casos tres partes, son causadas por los requerimientos que provocan los fenómenos de expansión y contracción y arqueado del pavimento (tal como parece en losas divididas en cuatro partes o más), el fenómeno del alabeo o fricción se relacionan normalmente generan las fisuras de severidad baja, esto significa que no le proporciona fallas estructurales al elemento de concreto, en cambio cuando la severidad es mediana o elevada, estas se deben a que se han realizado trabajos en el pavimento y son consideradas patologías estructurales.



**Figura 07:** Fisuras Longitudinales

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto. Pavement Condition Index

#### **d) Fisuras de Durabilidad – fisura “D”**

Esta falla generalmente tiene un patrón de fisuramiento parecida o próxima a la junta o fisura lineal. Su causa es la poca capacidad del concreto que tiene para soportar las condiciones ambientales como son el congelamiento o deshielo (ciclo). En estas fallas con frecuencia se observan oscurecimientos en las zonas próximas a la fisura. Las consecuencias de estas fallas son muy devastadoras para el concreto, pues causa en él, su desintegración a una distancia de 0.3 m a 0.6 m (1 a 2 pies).



**Figura 08:** Fisuras de Durabilidad

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto. Pavement Condition Index

#### **e) Daño en el sellado de las Juntas**

Este mal procedimiento constructivo en la elaboración de la losa de concreto ocasiona que las partículas de rocas o suelos se concentren y acumulen en las juntas, disminuyendo su capacidad de absorción de deformación de las losas,

además permite la infiltración del agua entre ellas. Al acumularse material que no es posible comprimirlo, la losa presenta alabeo, desprendimiento de material, y fragmentación. Pero lo más perjudicial es el proceso de infiltración del agua a través del daño en el sellado de las juntas, ya que esto, causará mayormente el ablandamiento y deterioro de la capa inferior de la estructura del pavimento rígido: la sub base. Para dar solución a este tipo de falla se debe tomar medidas de prevención o reparación inmediatamente se hayan detectado, incorporando elladores flexibles relacionados a los bordes de la losa de concreto. La falla de daño en el sellado de juntas presenta algunas condiciones típicas como:

- Extrusión del material para sellado
- Desprendimiento del material de sellado
- Crecimiento de material orgánico.
- Oxidación del sellador (endurecimiento)
- Disminución de la adherencia en bordes de la losa.
- Inexistencia de sellador en junta



**Figura 09:** Daño del Sellado de Juntas

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

**f) Bacheo Menor (área menor a 0.50 m<sup>2</sup>)**

Esta falla se produce en una superficie de la losa que ha sido sustituida por otro material de relleno como un resane, para los efectos de evaluación esta falla se divide en bacheo menor a las áreas que tengan una superficie menor a 0.50 m<sup>2</sup> y porque si superan el 0.50 m<sup>2</sup> la falla se le denomina ya bacheo mayor. A continuación, se parecía un bacheo menor:



**Figura 10:** Bacheo Menor

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

**g) Bacheo Mayor (área mayor a 0.50 m<sup>2</sup>)**

Esta falla se es la misma en definición que el bacheo menor, solo que la extensión de la misma difiere. Este tipo de fallas comúnmente resulta de los cortes que se realiza al pavimento rígido para las instalaciones de los sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado, el material que se usa para rellenar las zonas corresponderá a este tipo de bacheo, porque generalmente no se encuentra al mismo nivel o tiene la misma textura que de la losa de concreto.



**Figura 11:** Falla: Bacheo Mayor

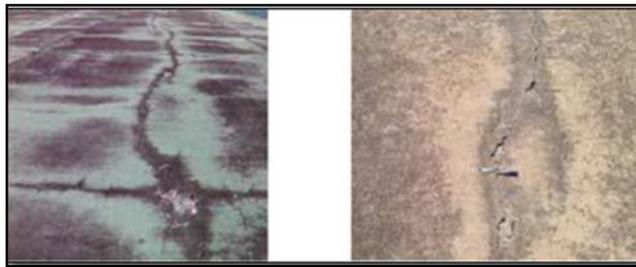
**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

#### **h) Pérdidas Repentinas**

El desprendimiento de una pequeña parte del pavimento rígido viene a ser considerada como “falla por pérdida repentina” la cual se debe al congelamiento y deshielo (ciclo del hielo) y a los agregados expansivos utilizados para la elaboración del concreto. Estas pérdidas repentinas pueden variar entre 2.5 cm a 10 cm de diámetro aproximadamente y entre 1.3 cm a 5.1 cm de profundidad

#### **i) Bombeo**

Esta falla se caracteriza por la eliminación de agua y material desde el subsuelo (en algunos casos desde la sub base) a través de las juntas y también a través de las fisuras, es causada por la deflexión del paño de concreto por las cargas de tránsito. Mientras el agua es expulsada se transportan partículas de las gravas , arenas , arcillas o limos, ocasionando que el soporte del pavimento una pérdida de su masa. Cuando en la superficie cercana a las juntas o fisuras se aprecian manchas o presencia de material del sub suelo o sub base es evidencia del “bombeo”. Esta expulsión de agua el bombeo se produce por las juntas y por las fisuras.



**Figura 12:** Bombeo

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

#### **j) Desprendimiento superficial, fisuras erráticas, mapa de fisuras.**

Esta falla se manifiesta como una red de fisuras que tienen poca profundidad y que se encuentran distribuidas en la parte superficial de la losa de concreto. Respecto a la forma de dichas fisuras, estas se intersectan formando ángulos de 120° mientras que las fisuras erráticas se producen debido a un mal proceso de curado del concreto el cual afecta el proceso de obtención de la resistencia de la

losa, también se debe en ocasiones por un mal procedimiento constructivo en el terminado de las superficies del concreto, ambas causas se manifiestan con el desprendimiento o desgranamiento de la superficie.

Este desprendimiento sufrido por la superficie del concreto puede llegar a tener una profundidad desde 0.6 cm a 1.3 cm aproximadamente y puede ser causado también por la presencia de sales en el deshielo, o una construcción con mal procedimiento de construcción o la mala calidad de los agregados.



**Figura 13:** Desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

#### **k) Asentamiento o fallas.**

Son las diferencias de nivel o de elevación respecto a las juntas o fisuras que han sido originadas por los deslizamientos relativos (hacia arriba) de la losa de concreto o también dicho la consolidación uniforme del subsuelo o sub base de la estructura del pavimento.



**Figura 14:** Asentamiento o Fallas

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

**l) Losa cuarteada o losas dividida.**

Esta falla es aquella donde las grietas o fisuras que se intersectan generan la división de la losa en cuatro o más partes. Este fenómeno se presenta por el exceso de cargas de tránsito y también porque la estructura tiene un soporte inadecuado en el suelo de fundación del pavimento. Si la losa al dividirse presenta estas partes en una zona de esquina, la patología debe considerarse rotura en esquina severa.



**Figura 15:** Losa Cuarteada

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

**m)Falla de contracción o fisuras de contracción.**

Esta falla o fisura por contracción es con frecuencia delgada y tiene una longitud de algunos centímetros, nunca la longitud de la losa. Estas patologías se originan normalmente durante el acabado de la superficie de la losa, y en el proceso de curado.



**Figura 16:** Fisuras por Contracción

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

#### **n) Desprendimiento**

Esta falla puede presentarse de dos formas distintas: desprendimiento en juntas longitudinales y desprendimiento en juntas transversales, se definen como la fractura de los bordes de las losas que aparecen a una distancia menor a 60 cm desde la junta. Generalmente, esta patología no se extiende perpendicularmente a lo largo de la losa, la fisura llega a la junta o la intersecciona formando un ángulo.

Los esfuerzos excesivos y repetitivos en las juntas de contracción o en las fisuras que se desarrollaron por la infiltración de materiales incompresibles, produce el desprendimiento en las losas. Cuando se combina un concreto de baja resistencia a la compresión (por fatiga) y una sobrecarga de tráfico, es también otra de las causas que originan el desprendimiento.



**Figura 17:** Desprendimiento (en juntas Longitudinales y Transversales)

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

#### **o) Desprendimiento en esquina**

Esta falla en el pavimento rígido se define como el resquebrajamiento o la ondulación de la losa que se ubica a una distancia no mayor a los 60 cm desde las esquinas de la losa. Para diferenciar esta patología con la rotura en esquina, se considera que esta falla se extiende con un ángulo cuando cruza o llega a la junta, mientras que la rotura en esquina se extiende verticalmente a lo largo de la losa.



**Figura 18:** Desprendimiento en la Esquina

**Fuente:** Manual de Diseño de Vías de superficie de concreto.  
Pavement Condition Index

**p) Falla de contracción o fisuras de contracción.**

Esta falla o fisura por contracción es con frecuencia delgada y tiene una longitud de algunos centímetros, nunca la longitud de la losa. Estas patologías se originan normalmente durante el acabado de la superficie de la losa, y en el proceso de curado.

**Parámetros para considerar en los pavimentos rígidos.**

Dentro de los parámetros o factores que se consideran en los pavimentos podemos clasificarlos de acuerdo al tráfico, clima, geometría del proyecto, posición de la estructura y construcción y mantenimiento de la vía.

Según tráfico:

- Propiedades del terreno de fundacion
- Cargas y presión de neumáticos
- Repetición de las cargas
- Radio de influencia de cargas
- Velocidad a eje
- Configuración de neumáticos

Según el clima:

- Precipitaciones
- Expansión por congelamiento
- Contracción y expansión.

- Congelamiento/deshielo(húmedo y seco)

Según la geometría del proyecto:

- Distribución del tráfico en el diseño vial

Según la posición de la estructura.

- Sección de corte y relleno
- Nivel freático
- Deslizamientos
- Taludes
- Depósitos poco profundo

Según construcción y mantenimiento:

- Mala compactación de sub rasante
- Fallas en juntas y su mantenimiento
- Colocación inadecuada de las guías de niveles
- Mayor escarificación y eliminación de materiales.

### **Evaluación de las Patologías**

Es el proceso para determinar el tipo, severidad y densidad de fallas que presenta un pavimento rígido y puede ser observados en su superficie, este daño ocasiona un deterioro a la estructura del pavimento en su conjunto.

Para ello se debe conocer un índice que debiera tomar en consideración los 3 aspectos antes mencionados los cuales deben de relacionarse y en lo posible varias las condiciones del análisis. Siendo difíciles interrelacionar: tipo, severidad y densidad, se han desarrollado metodologías que obtienen “valores deducidos”, que actúan como un factor de ponderación, para poder indicar el grado que afecta el pavimento por cada una de las combinaciones de tipo de daño, del nivel de severidad, y de la cantidad o densidad sobre la totalidad del área muestral.

En método PCI (Pavement Condition Index) o en castellano “**Índice de condición del pavimento**”, es uno de los métodos o modelos más importantes y sobre todo exacto de los que existen, que se utiliza para realizar las evaluaciones más exhaustivas de una vía, y que permite calificarla de manera objetiva.

Con el PCI se logra determinar un valor porcentual que va desde cero, este porcentaje inferior se otorga a un pavimento fallado o en muy mal estado, por el contrario, un porcentaje alto de 100 indica que el pavimento evaluado está en perfecto estado (buena funcionalidad y servicio).

El método del PCI como resultado final proporciona la condición superficial que tiene un pavimento flexible o rígido, en la tabla 5 se presentan los intervalos de valores para un determinado estado de las vías.

**Tabla 05:** Cuadro de calificación del PCI

Rango PCI %	Estado
<b>0 - 10</b>	Falla
<b>11 - 25</b>	Muy Malo
<b>26 - 40</b>	Malo
<b>41 - 55</b>	Regular
<b>56 - 70</b>	Bueno
<b>71 - 85</b>	Muy Bueno
<b>86 - 100</b>	Excelente

**Fuente:** PCI (Pavement Condition Index)

El método del PCI está fundamentado por los resultados de una auditoría observacional de la condición de la pavimentación donde establecerá en este orden:

- Clase
- Severidad
- Cantidad

Para estos criterios el PCI luego el método aplica un desarrollo con la finalidad de obtener un valor denominado “índice” de la magnitud estructural y de la operabilidad que presenta la superficie al momento de la evaluación.

Con la aplicación de fichas de recolección de datos, se obtiene información que complementa un inventario preciso de los daños o síntomas que presenta la vía y los relaciona con las causas que lo origina que pueden ser en algunos casos externos como el clima, intemperismo, tráfico, etc, como interno, materiales de mala calidad, procesos constructivos, etc.

La elaboración del inventario en el método del PCI diferencia los siguientes conceptos:

**Mallas o red:**

Es el conjunto de las superficies que serán tomadas en cuenta para la evaluación del pavimento.

**Sección:**

Es la menor unidad o área que presenta características homogéneas (pendientes, anchos, historia de construcción, condición actual visual, etc)

**Tabla 06:** Intervención / acción según rango PCI

PCI	ESTADO	INTERVENCIÓN
0 – 30	Malo	construcción
31 – 70	Regular	rehabilitación
71 – 100	Bueno	mantenimiento

**Fuente:** Elaboración Propia

**Procedimiento para determinar las unidades de muestra del PCI**

Medina, P (2015). Para poder realizar el muestreo del pavimento a evaluar se aplica el siguiente procedimiento:

1. Definir tramos o zonas en la pavimentación que tienen usos específicos, como caminos, estacionamientos, zona de emergencia, paraderos, etc.
2. Dividir en secciones teniendo el diseño del pavimento, el tráfico y la historia de construcción como criterios básicos de separación.
3. Separar cada sección establecida en “unidades de muestreo”
4. Definir unidades de muestra que serán evaluadas, las cuales deben ser de fácil localización por parte de los inspectores.
5. Escoger las unidades de muestra que serán inspeccionadas. La cantidad de unidades muestrales a inspeccionar variara de acuerdo a: todas las unidades de muestra de una sección. Considerar una cantidad de unidades muestrales de 70, que pueda garantizar una confiabilidad del 95%. Esta confiabilidad debe de ser conseguida aun con un número menor de unidades de muestra

- a. La totalidad de unidades de muestra de una sección podrán inspeccionarse para determinar el valor promedio de PCI en toda la sección. Cuando se analiza el total de unidades de muestras es la opción ideal para poder tener una estimación de las acciones de mantenimiento y/o reparación que se necesite para su solución.
- b. Para determinar una cantidad inferior o mínima de muestras “n” a ser inspeccionadas en una sección determinada, debe conseguir una valoración estadística de confiabilidad del 95%, se debe calcular con la ecuación que se presenta a continuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

e = Error admisible en el cálculo del PCI de la sección (e= +/- 5 puntos del PCI)

σ = Desviación estándar del PCI de una muestra a otra en la misma sección.

N = Número total de unidades de muestra en la sección.

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

**Figura 19:** Número Mínimo a Unidades a Evaluar

**Fuente:** Medina, P (2015)

- c. La inspección realizada asume una desviación estándar de 10. Esta suposición de desviación debe de comprobarse, según formula, después de que ha determinado los valores de PCI. Cuando se inspeccionan posteriormente esta desviación estándar debe considerar la desviación de la inspección anterior y determinar su propia desviación estándar para determinar el valor de “n”
- Si las unidades a evaluar es una cantidad menor a 5, es recomendable que se evalúen la totalidad de ellas.
- Es conveniente que la cantidad de unidades a inspeccionar se verifique para alcanzar una confiabilidad del 95% ya que valores inferiores sería críticos en la evaluación final.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{n - 1}}$$

Dónde:  
 PCI<sub>i</sub> = PCI de la unidad de muestra i.  
 PCI<sub>f</sub> = PCI promedio de las unidades de muestra analizadas.  
 n = Número total de unidades de muestra analizadas.  
 s = Desviación estándar.

**Figura 20:** Desviación Estándar

**Fuente:** Medina, P (2015).

**d. Criterios de selección de unidades de muestra para la inspección.**

La cantidad de unidades de muestreo a inspeccionar se calcula con un intervalo de espaciamiento de las unidades iniciando su conteo de forma sistemática al azar. Las unidades de muestra a ser inspeccionadas tendrán entre si un espaciamiento similar, siendo la primera unidad de muestra elegida al azar. Para determinar el valor del espaciamiento se debe utilizar la fórmula que se presenta en el grafico siguiente, el resultado debe de ser redondeado al número entero menor más próximo.

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:  
 N = número total de unidades de muestra en la sección.  
 n = número de unidades de muestra a ser inspeccionadas.

**Figura 21:** Inérvalo de Espaciamiento

**Fuente:** Medina, P (2015).

## **Evaluación de la Condición**

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable. La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

### **Equipos**

- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

### **Procedimientos**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el manual de daños, y se registrar la información en el formato correspondientes.

Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en formatos cada reglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

### **Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo**

Culminada la inspección de campo y con la información recolectada sobre las fallas existentes, se procede a calcular el PCI, el cual se basa en el término de “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas. El proceso de cálculo se divide en tres etapas, las cuales se detallan a continuación:

### **Cálculo del PCI para Pavimentos con Capa de Rodadura en Concreto Aplicando la Norma ASTM D5340**

#### **Etapas 1. Cálculo de los valores Deducidos (DV)**

- Sumar la cantidad total de cada tipo de daño para cada nivel de severidad. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

- Dividir la cantidad total de cada tipo de daño según el nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestra y multiplicar el resultado por 100 para obtener la densidad porcentual para cada tipo y severidad de daño.
- Determine el valor reducidos para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” para asfalto, las cuales se muestran en los anexos.

### **Etapa 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)**

Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que 2%, el valor reducido total es usado en lugar del máximo valor reducido corregido (CDV) para determinar el PCI; caso contrario, el máximo CDV debe ser determinado usando los pasos e y f.

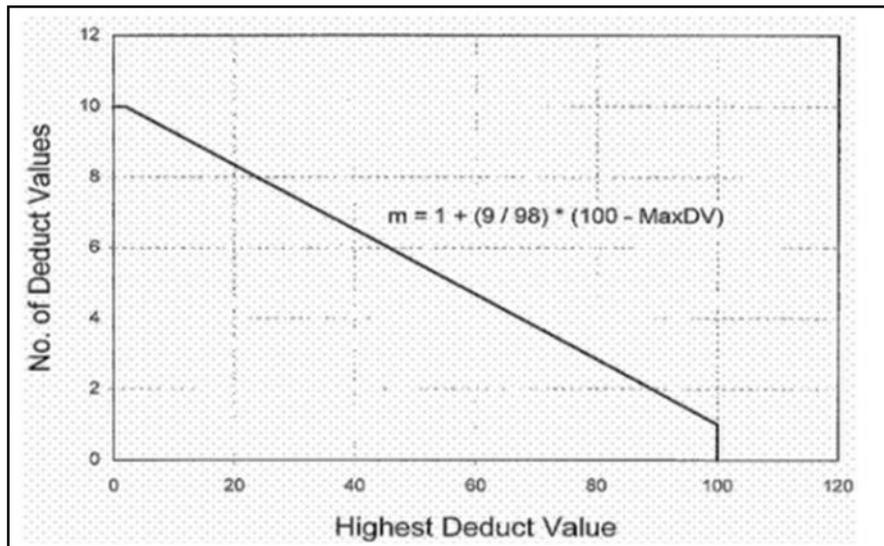
- Crear una lista de los valores Deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- Se determina el número máximo admisible de valores Reducidos (m) utilizando la gráfica de ajuste del número de valores reducidos o la siguiente fórmula:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100.00 - HDV_i)$$

Dónde:  
 HDV<sub>i</sub> = mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.  
 m = Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo.

**Figura 22:** El máximo Número Permisibles

**Fuente:** Medina, P (2015).



**Figura 23:** Ajuste de números de valores deducibles

**Fuente:** Vásquez (2002)

El número de valores individuales deducidos se reduce al valor  $m$ , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que  $m$  se utilizan todos los que se tengan.

### **Etapas 3. Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido (CDV)**

Luego de determinar el número máximo admisible de valores deducidos ( $m$ ), se debe seguir un proceso de iteración para hallar el máximo valor deducido corregido. Primero se determina el valor deducido total, sumando todos los valores deducidos individuales.

- Determinar el CDV con  $q$  (En la primera iteración  $q=m$ ) y el valor deducido total en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

la siguiente iteración, se cambia el menor valor deducido por 2% para luego sumar y hallar un nuevo valor deducido total, en este caso el valor  $q$  es igual a " $m - 1$ ". Se repite el mismo procedimiento hasta logra que  $q= 1$ .

- El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso, valor que nos permitirá hallar el PCI haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - \text{máx. } CDV$$

Dónde:  
Máx. CDV = Máximo valor deducido corregido  
PCI = Índice de condición de pavimento

**Figura 24:** Índice de condición de pavimento

**Fuente:** Medina, P (2015).

### **Cálculo del PCI de una Sección de Pavimento**

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección, será promediado de los PCI calculado en las unidades de muestreo.

Se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistematizada o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

Donde:

PCIs: PCI de la sección del pavimento

PCIr: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorio

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

N: Número total de unidades de muestreo en la sección

A: Numero adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

### **Manual de Daños**

#### **Calidad de Tránsito (ride quality)**

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones, para la presente investigación. A continuación, se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L: (Low: Bajo): se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad. Para el caso de la presente investigación esta será recorrida a pie y se observa el grado de abultamiento o hundimientos.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requieren alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad-, o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad. Para el caso de presente investigación esta será recorrida a pie y se observara el grado de abultamiento o hundimientos.

H: (High: Alto): Las vibraciones en el vehículo son una excesivas que reducirse la velocidad de forma considerables en aras de la comodidad y la seguridad; o los de abultamiento o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo. Para el caso de presente investigación esta será recorrida a pie y se observara el grado de abultamiento o hundimientos.

La calidad de transito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanos a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximadamente a la señal. Siendo la presente investigación para plataformas deportivas, no se analizarán patologías cuya causa es debido al tránsito.

### **Ensayos de Laboratorio:**

Los ensayos de laboratorio que se efectuaron a las muestras obtenidas del campo están referidos a las Normas ASTM o en su equivalencia las Normas Técnicas Peruanas (NTP), según los requerimientos del estudio de las canteras y que permitan resumirse de la siguiente manera:

Análisis granulométrico por tamizado	(ASTM D-422) o (NTP 400.012)
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	(ASTMD-423)
Contenido de humedad	(ASTMD-2216) o (NTP 339.127)
Próctor modificado	(NTP 339.141)
California Bearing Ratio (CBR)	ASTM D- 1883) o (NTP 339.145)

**Figura 25:** Ensayos de Laboratorio

**Fuente:** NTP

### **Granulometría:**

La granulométrica, la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica (Berry, 2007).

### **Método de determinación granulometría:**

El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices.

Para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó (Berry, 2007).

**Contenido de Humedad:**

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

La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco (Berry, 2007).

**Próctor Modificado:**

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente, el primer método, respecto a la técnica que se utiliza actualmente, es el debido al Próctor y que es conocido como prueba Próctor estándar. El más empleado, actualmente, es el denominado prueba Próctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo. También para algunas condiciones se utiliza el que se conoce como Próctor de 56 golpes (Berry, 2007).

**Limite Plástico:**

Es la humedad a partir de la cual un suelo deja de tener un comportamiento frágil para pasar a tenerlo plástico, es decir, la humedad límite entre el estado sólido y el plástico. A partir de esta humedad, el suelo puede sufrir cambios de forma irreversibles sin llegar a fracturar, y por debajo de esta el suelo no presenta plasticidad (Berry, 2007).

**Capacidad de Soporte (CBR):**

El Ensayo CBR (Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los

estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Próctor y los análisis granulométricos del terreno (Berry, 2007).

### **Testigo**

EM (2000). Es una muestra cilíndrica de concreto endurecido, de mezcla bituminosa compactada y endurecido usualmente obtenida por medio de una broca diamantina de una maquina extractora

### **Ensayo con Esclerómetro.**

Norma de Referencia: ASTM C 805. El instrumento empleado para medir la resistencia del concreto de los elementos estructurales es el esclerómetro, ensayo no destructivo, que tiene la ventaja de permitir el control de toda la estructura y sin causar daños durante el proceso de medición o ensayo.

Inicialmente fue propuesto como un método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto, en la actualidad se emplea para:

- Evaluar la uniformidad del concreto.
- Delimitar zonas de baja resistencia en las estructuras.
- Informar sobre la oportunidad para desencofrar elementos de concreto.
- Determinar la evolución de la resistencia del concreto.
- Determinar niveles de calidad resistente cuando no se cuente con información al respecto.
- Contribuir conjuntamente con otros métodos no destructivos a la evaluación de las estructuras.

El instrumento está constituido por una masa móvil, con una cierta energía cinética inicial que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Parte de la energía es absorbida como fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de deformación plástica del concreto. La parte restante es restituida a la masa móvil en proporción a la energía disponible. Para tal distribución de energía es condición básica que la

masa del concreto sea prácticamente infinita con relación a la masa del percutor del instrumento, lo que se da en la mayoría de las estructuras. En conclusión, el rebote del esclerómetro es un indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez.

El procedimiento seguido para el ensayo con esclerómetro es el siguiente:

- El elemento de concreto sometido a prueba debe estar fijo, teniendo una dimensión mínima de 10cm de espesor.
- El área en la cual se efectuó la prueba, debe comprender una circunferencia de un diámetro mínimo de 5pulg. O un cuadrado de 2.5pulg.
- Se efectuó el picado y pulido superficial de la zona de prueba, hasta una profundidad del recubrimiento.
- Se utilizó una piedra abrasiva de carburo de silicio, con textura de grano medio. Aditamento que forma parte del equipo provisor por el fabricante.
- La posición del aparato en cada prueba fue normal al elemento estructural, tanto para elementos verticales como para elementos horizontales.
- Para efectuar el ensayo, se apoyó firmemente el instrumento, con el émbolo perpendicular a la superficie, incrementando gradualmente la presión hasta que el martillo impacte y se tome la lectura.
- Se tomó 10 lecturas en el instrumento para obtener el promedio.

Esclerómetro utilizado en la determinación de la resistencia del concreto.



**Figura 26:** Ensayo de Esclerómetro

**Fuente:** Internet

## Operacionalización de Variable

**Tabla N° 07** Operacionalización de las Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
La evaluación de las fallas en los pavimentos rígidos aplicando el método PCI	Es la determinación o establecimiento de las patologías que tienes los pavimentos rígidos.	Es la determinación o establecimiento de las patologías que tienes los pavimentos rígidos de la carretera central de Caraz, usando la técnica de la observación.	Tipo de patologías que se presentan en los pavimentos rígidos en mención  Como: agrietamiento lineal o en esquina	Tipo, forma de falla.  Clase de falla  Nivel de severidad

**Fuente:** Elaboración Propia

**La Hipótesis** se plantea como: La estructura del pavimento de la carretera central de la ciudad de Caraz – Ancash, no Cumple con las normas técnicas debido a las patologías existentes.

**El Objetivo General** del presente estudio es: Evaluar las fallas de pavimento rígido aplicando el Método Índice de Condición del Pavimento de la carretera central de la ciudad de Caraz.

**Los Objetivo Específico** del presente estudio son:

- ✓ Determinar el Índice de condición del pavimento rígido (PCI).
- ✓ Determinar el nivel de calidad de resistencia de la estructura, utilizando el ensayo del Esclerómetro.
- ✓ Determinar las causas que originan las patologías.

## II. METODOLOGÍA

### Tipo del estudio

El presente estudio fue del Tipo aplicado descriptivo, es también analítico de carácter no experimental y de corte transversal.

Es descriptivo por describe una realidad, sin alterarla.

Analítica por que estudia a detalle de cada patología y establece las posibles causas.

Es no experimental porque se estudia el problema y se analiza sin manipular o modificar la variable.

Es de corte transversal porque los datos han sido tomados en un momento dado, en un periodo exclusivo.

### Diseño de Investigación

De acuerdo a la investigación el trabajo se efectuó siguiendo el método PCI (índice de condición de pavimento).

### Esquema del diseño:



### Dónde:

**M:** Muestra

**O:** Observación

**A:** Análisis

**O:** Evaluación

### Población y Muestra

Para la presente investigación la población está dada por todo el pavimento a evaluar.

## Técnicas e Instrumentos de Investigación

**Tabla 08:** Técnicas e Instrumentos de Investigación

TÉCNICA	INSTRUMENTO
	Guía de observación Resumen.
<b>Observación</b>	Fichas técnicas de observación.

**Fuente:** Elaboración Propia

La evaluación de la condición incluye lo siguiente

- ✓ Regla y cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones, así como para medir las longitudes de los paños
- ✓ Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidades suficientes para el desarrollo de la actividad

### Procesamiento y Análisis de la Información

Para el presente proyecto de investigación el procesamiento de datos se realizaron los ensayos respectivos apoyados en una hoja de cálculo Excel y con el SPSS.

En donde se realizó en los siguientes:

- ✓ Los datos fueron procesados en el programa de Excel y AutoCAD.
- ✓ El análisis se realizó con tablas y gráficos, considerando los rangos de calificación de PCI.

De la evaluación superficial de pavimentos de la red vial, se consideraron, 3 pasos importantes por lo que se identificó los defectos y fallas del pavimento, que fueron materia de evaluación específicamente en relación a las características físicas de la calzada y la superficie de rodadura.

La evaluación se realizó considerando la toma de datos como la base de la metodología principal, desarrollando la inspección visual del pavimento, se anotaron las observaciones en planillas preparadas, mientras se recorría vía del pavimento.

## **Pasos de la Evaluación de Patologías del Pavimento Rígido**

A continuación, se describen en forma resumida los pasos realizados de la evaluación superficial de los pavimentos de la red vial de materia de estudio, mediante la inspección visual de las vías

### **Paso 1:**

**Inspecciones visuales de la vía:** para tal efecto se efectuó el recorrido de la vía a estudiar, con la finalidad de obtener información sistematizada, para lo cual fue necesario seleccionar tramos de características y condiciones homogéneas. Para efectos de ayudar en el manejo de la información y obtener una imagen completa de la vía entre dos puntos. Los tramos cortados a través de los carriles en el mismo punto. Así, si en una dirección el tramo empieza en un punto diferente de otro, en la otra dirección, este deberá también ser artificialmente dividido en dicho punto, aun pensando que no se requería hacerlo, constituyéndose en tramos apropiados de lo evaluado.

### **Paso 2:**

**Observaciones de falla:** determinar las condiciones del pavimento recorriendo la vía lentamente para observar manifestaciones de fallas. Se deben hacer dos o tres paradas por tramo para examinar las fallas en función de tipo, severidad y extensión de la manifestación y ocurrencia de dichas fallas.

### **Paso 3:**

**Registro en planilla de evaluación:** se efectuaron registros de todo lo observado en el recorrido de la inspección visual, anotando todas las manifestaciones de fallas, en las unidades de medida correspondientes que permitan determinar los tratamientos de mantenimiento posibles de aplicar. De esta manera se obtuvo definida la condición del pavimento de determinada vía y/o red vial, que permitió definir la política de ejecución inmediata de los programas de conservación vial urbana.

## Descripción de daños en pavimento rígido observada en la ciudad de Caraz

### 1. Grieta Transversal o Diagonal



**Figura 27:** Imagen de grieta transversal y diagonal

**Fuente:** Propia

#### **Descripción:**

Fractura mientro o grietas de la losa que ocurre predominante perpendicular al eje de la calzada, o en forma oblicua a esta, dividiendo la misma en dos planos.

#### **Niveles de Severidad:**

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

**L. (Bajo)** Existen algunas de las condiciones siguientes:

- ✓ Fisuras finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm, sin saltaduras y escalamiento imperceptibles.
- ✓ Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello en condición satisfactoria; no hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

**M. (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:

- ✓ Fisuras activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm, con despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm y saltaduras de ancho menores a 50 mm.
- ✓ Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

**H. (Alto)** Existen algunas de las condiciones:

- ✓ Fisuras activas de ancho promedio mayor de 10 mm y fisuras selladas, con despostillamiento severos y/o dislocamiento mayor de 10 mm., y saltaduras de ancho mayor a 50 mm. O escalamiento mayor a 6 mm.

### **Medición**

Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede medirse:

- ✓ Registrándola por losa, totalizada el número de losas afectadas por fisura transversal y/o longitudinales.
- ✓ Determinar en número y la longitud de grietas para cada nivel de severidad
- ✓ Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.
- ✓ Determinar la longitud total de grietas agrupadas por nivel de severidad, que tenga el sello en buenas condiciones.

### **2. Grieta Longitudinal**



**Figura 28:** Imagen de grieta Longitudinal

**Fuente:** Propia

### **Descripción:**

Fractura miento o grietas de la losa que ocurre predominante paralela al eje de calzada o que extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, dividiendo la misma en dos planos.

### **Niveles de Severidad:**

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo al ancho de la fisura, condición y estado de los bordes, según la siguiente guía:

#### **L. (Bajo)** Existen algunas condiciones siguientes:

- ✓ Fisura fina, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm., sin saltaduras y escalonamiento imperceptibles.
- ✓ Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria, no hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento.

#### **M. (Mediano)** Existen algunas de las condiciones siguientes:

- ✓ Fisuras activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm., con saltadura de ancho menor a 50 mm. O escalamiento menor a 15 mm.
- ✓ Fisuras de hasta 10mm. De ancho acompañados de despostillamiento y/o dislocamiento de hasta 10 mm.
- ✓ Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

#### **H. (Alto)** Existen algunas de las condiciones:

- ✓ Fisuras de ancho mayor de 10 mm., saltaduras de ancho mayor a 50 mm. O escalamiento mayor a 15m.
- ✓ Fisuras selladas o no, de cualquier ancho, con despostillamiento severos y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

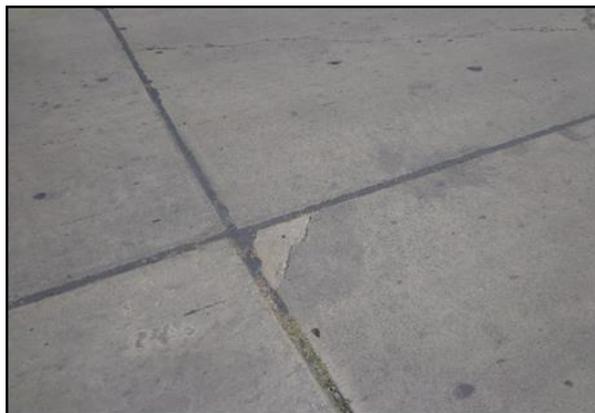
### **Medición:**

Una vez identificada la severidad de la fisura, esta pueda ser medida:

- ✓ Determinar la longitud y número de grietas longitudinales para cada nivel de severidad
- ✓ En metros lineales, totalizando metros lineales en sección o muestra.
- ✓ En términos de números de losas afectadas, totalizando el número de estas que evidencien fisuras longitudinales.

- ✓ Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.
- ✓ Determinar separadamente también la longitud de grietas longitudinales selladas, clasificándolas según nivel de severidad.

### 3. Grieta de Esquina



**Figura 29:** Imagen de grieta de esquina

**Fuente:** Propia

#### **Descripción:**

Es una fisura o grieta q o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Origina un trozo de losa de forma triangular al interceptar las juntas transversal y longitudinal, formando un ángulo de 50 grados con dirección al tránsito. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

#### **Niveles de Severidad:**

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) considerando la severidad misma de la fisura que origina, como el estado del pavimento comprendido por la misma y los bordes de la losa, de acuerdo con la siguiente guía

**L. (Bajo)** Longitud con saltaduras menores al 10% de su longitud, el fracturamiento es definido por una fisura de severidad baja y el área entre esta y las juntas no se encuentran fisurado o bien hay alguna pequeña fisura. Escalamiento imperceptible y el trozo de esquina está completo.

**M. (Mediano)** Saltaduras de severidad media o alta en más del 10% de longitud, el fracturamiento es definido por una fisura de severidad moderada y el área y las juntas se encuentran medianamente fisurada. Saltadura de la grieta o junta menor a 15 mm. Y el trozo de esquina está completo.

**H. (Alto)** Saltaduras de severidad media o alta en más del 10% de longitud, el fracturamiento es definido por una fisura de severidad alta y el área entre esta y las juntas se encuentra muy fisurado o presenta hundimiento. Saltadura de la grieta o junta es mayor o igual a 15 mm. O el trozo de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.

**Medición:**

La fisura de esquina son medidas contando el número total que existe en una sección o muestra, generalmente en términos de número de losas afectadas por una o más fisuras de esquina está quebrando en dos o más pedazos.

- ✓ Establecer el número de grietas de esquina para cada nivel de severidad
- ✓ Clasificarlos con el más alto nivel de severidad presenta en al menos el 10% de la longitud.
- ✓ Contiene una única fisura de esquina.
- ✓ Contiene más de una fisura del mismo nivel de severidad.
- ✓ Contiene dos o más fisuras de diferentes niveles de severidad. En este caso se registra el nivel de severidad correspondiente a las más desfavorables.

También puede medirse en metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra evaluada.

#### 4. Losas Divididas



**Figura 30:** Imagen de Losa dividida

**Fuente:** Propia

##### **Descripción:**

Fracturamiento o grietas de la losa de concreto conformado un mapa de fisuras, combinando fisuras longitudinales, transversales y /o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos.

##### **Niveles de Severidad:**

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) considerando la severidad misma de la fisura que detienen la malla y el número de paños en que queda dividida la losa, de acuerdo la siguiente tabla.

**Tabla 09:** Niveles de Severidad de Losas Subdivididas

	<b>Nivel de Severidad</b>	<b>N°. de Paños en que se divide la losa</b>
<b>L</b>	Bajo	4 ó 5
<b>M</b>	Mediano	De 6 a 8
<b>H</b>	Alto	Más de 8

**Fuente:** Elaboración Propia

##### **Medición:**

Se miden contando la cantidad total que existe en una sección muestra, en términos del número de losas afectadas según su severidad. Si se registró como de severidad mediana a alta, no se cuenta otros daños que pudieran evidenciar la losa. El registro se lleva separadamente para cada nivel de severidad.

## 5. Fisuras en Bloque



**Figura 31:** Imagen de Fisuras en bloques

**Fuente:** Propia

### **Descripción:**

Fracturamiento o grietas que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloques pequeños de área inferior a 1 m cuadrado.

### **Niveles de Severidad:**

Se establece tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) en base a la severidad de las fisuras que detienen la malla, de acuerdo con la siguiente guía:

**L. (Bajo)** Bloque definidos por fisuras de severidad baja; los planos relativamente amplios y se mantienen ligados.

**M. (Mediano)** Bloque definidos por fisuras de severidad moderada; los planos son más pequeños evidenciándose un moderado despostillamiento de los bordes de la fisura.

**H. (Alto)** Bloque definidos por fisuras de severidad alta; evidenciándose un severo despostillamiento de los bordes de la fisura, con tendencia a formar bache.

### **Medición:**

Una vez identificada la severidad de la falla, esta puede ser medida:

- ✓ En metros cuadrados, totalizando metros cuadrados en la sección o muestra.

En términos de cantidad de losas afectadas, totalizando el número en la sección o muestra; de existir en una misma losa dos manifestaciones se adoptan el nivel de severidad de la fisura predominante.

## 6. Parchados



**Figura 32:** Imagen de parchados

**Fuente:** Propia

### **Descripción:**

Un parche es un área superior a 0.1 m<sup>2</sup> donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, por un material que puede ser hormigón o asfalto, para reparar el pavimento existen, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permita la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

### **Niveles de Severidad:**

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con lo siguiente guía:

**L (Bajo)** El parche se compara satisfactoriamente, con muy poco deterioro y con una percepción al movimiento vehicular leve.

**M (Mediano)** El parche se encuentra moderadamente deteriorado: se evidencia un moderado deterioro o descascaramiento alrededor de sus bordes y/o existen un pequeño desnivel con el pavimento continuo; si se presentan daños en su interior, estos afectan su superficie y se detiene una percepción al movimiento vehicular moderada.

**H (ALTO)** El parche está severamente dañado. La extensión o importancia de estos daños indican una condición de falla, siendo el reemplazo del parche necesario, asentamiento del perímetro es mayor de 5 mm.

**Medición:**

Se miden contando soperamente según el nivel de severidad, el número de losas afectadas en una determinada sección o muestra, de acuerdo a las siguientes premisas:

- ✓ Si unas losas tienen una o más parches con el mismo nivel de severidad, se encuentra como una losa conteniendo esa falla.
- ✓ Si una losa tiene parches con más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad observado.
- ✓ Indicar por separado los parches de asfalto y los de hormigón.

**7. Descascaramiento de junta**



**Figura 33:** Imagen de descascaramiento de juntas

**Fuente:** Propia

**Descripción:**

Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta, generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa si no que intercepta la junta en ángulos. Se origina por:

- ✓ Esfuerzo excesivo en las juntas causadas por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incomprensibles.

Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

**Niveles de Severidad:**

**Tabla 10:** Niveles de Severidad de Descascaramiento de Juntas

Fragmento del descascaramiento	Ancho de descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0.6 m	> 0.6 m
Duros.	< 102 mm	L	L
No pueden removerse fácilmente (pueden fallar algunos pocos fragmentos).	> 102 mm	L	M
Sueltos.	< 102 mm	L	M
Pueden moverse y algunos fragmentos puedan faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25 mm	< 102 mm	L	M
Desapercibido.	< 102 mm	L	M
La mayoría o todos los fragmentos han sido removidos.	> 102 mm	M	H

**Fuente:** Elaboración Propia

**Proceso:**

El proceso que se realizó en el campo fue manera visual, para el cual se inspecciono muestra al cual se midieron el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el manual de daños del PCI, registrándose en la hoja de inspección.

**Tipos de deterioros observados en la vía**

Es pertinente aclarar, que, para el diagnóstico de las patologías observadas, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

La severidad se clasifico en: Alta, Media, Baja y no aplicada.

### **Análisis**

El análisis se desarrolló siguiendo el método de evaluación normalizado para obtener al PCI, (cálculo de los valores deducidos, densidad y severidad), utilizando hojas de cálculos (Excel) para procedimientos de datos. La evaluación finalmente se realizó del estudio de diagnóstico de todas las patologías existentes en los pavimentos rígidos de las vías principales, siguiendo el método ASTM D 5340, calculándose el PCI restando de 100 el máximo CDV (valor deducido corregido) y ubicándolo en el rango de calificación del PCI, para finalmente determinar el PCI y su rango calificación promedio.

### III. RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación, para las unidades de muestreo de la Carretera en estudio, de acuerdo al manual del PCI se tuvo en consideración lo siguiente:

- Cálculo del PCI para cada una de las vías principales seleccionadas para el estudio de la ciudad de Caraz, provincia de Huaylas, departamento de Áncash, para esto se observó cuidadosamente, identificando las fallas y clasificándolas alfanuméricamente.
- Resultados de los cálculos del valor de reducción individual (VR), ordenados en forma descendente obtenido mediante el uso de las densidades de cada patología en sus respectivos ábacos para cada una de las vías principales de la ciudad de Caraz, provincia de Caraz, departamento de Áncash.
- Resultados del cálculo del valor de reducción total, en su respectivo ábaco y la determinación del PCI de las vías seleccionadas, siguiendo el procedimiento del manual del PCI.
- Se encontró 6 fallas patológicas más frecuentes en la carretera central de la ciudad de Caraz del siguiente porcentaje que se detalla en el siguiente cuadro:

**Tabla 11:** Tipos de fallas y daños

TIPO DE FALLAS	DAÑOS	%DENSIDAD
28	GRIETA LINEAL (transversal, diagonal y longitudinal)	41.69%
22	GRIETA DE ESQUINA	10.42%
23	LOSA DIVIDIDA	9.45%
31	PULIMERO DE AGREGADOS	23.45%
39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA	8.14%
29	PARCHEO GRANDE (servicios utilitarios)	4.56%

**Fuente:** elaboración propia

**HOJA DE INSPECCIÓN:** Carretera central de Caraz

**Tabla 12:** hoja de inspección

<b>HOJA DE INSPECCIÓN DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA</b>				
<b>ZONA</b>	Carretera Central de Caraz			<b>NÚMERO DE LOSAS</b>
<b>PROVINCIA</b>	Huaylas			307
<b>DEPARTAMENTO</b>	Ancash			
<b>ÁREA</b>	1000 M2			
<b>EVALUADO POR:</b>	OMAR YOVANI MILLA DE LA CRUZ			
<b>N°</b>	<b>DAÑO</b>			
28	GRIETA LINEAL (transversal, diagonal y longitudinal)			
22	GRIETA DE ESQUINA			
23	LOSA DIVIDIDA			
31	PULIMERO DE AGREGADOS			
39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA			
29	PARCHEO GRANDE (servicios utilitarios)			
<b>SEVERIDAD DE FALLA</b>				
<b>L: Low</b>	Bajo			
<b>M: Medium</b>	Medio			
<b>H: High</b>	Alto			
<b>TIPO DE FALLAS</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>NÚMERO DE LOSAS</b>	<b>%DENSIDAD</b>	<b>VALOR DE REDUCCIÓN</b>
28	H	128	41.69%	42
22	M	32	10.42%	16
23	H	29	9.45%	30
31	L	72	23.45%	4
39	H	25	8.14%	11
29	M	14	4.56%	3

**Fuente:** elaboración propia

**NOTA:** El Valor de reducción se trabaja con los ábacos, dependiendo del Tipo de Falla, Severidad y % Densidad.

### Valor de Reducción Corregido VRC y PCI

Tabla 13: VRC y PCI

DETERMINACIÓN DE NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS																														
$m=1.00+(9/98) *(100-HDV)$ $m=1.00+(9/98) *(100-42)$ <b>m=</b> 6.3 <b>m=</b> 6																														
TENEMOS m= 6 ENTONCES USAMOS LAS 6 FALLAS																														
Se empieza a iterar y se suman las "m" fallas																														
N°	VALOR DE REDUCCIÓN						TOTAL	q	VRC																					
1	42	16	30	4	11	3	106	6	54																					
2	42	16	30	4	11	2	105	5	55																					
3	42	16	30	2	11	2	103	4	59																					
4	42	16	30	2	2	2	94	3	58																					
5	42	2	30	2	2	2	80	2	56																					
6	42	2	2	2	2	2	52	1	52																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><b>PCI =</b></td> <td style="width: 30%;"><b>100-VRC</b></td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td><b>PCI=</b></td> <td>41</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>CALIFICACIÓN =</b></td> <td><b>MALO</b></td> <td></td> </tr> </table>											<b>PCI =</b>	<b>100-VRC</b>		<b>PCI=</b>	41		<b>CALIFICACIÓN =</b>	<b>MALO</b>												
<b>PCI =</b>	<b>100-VRC</b>																													
<b>PCI=</b>	41																													
<b>CALIFICACIÓN =</b>	<b>MALO</b>																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Tabla 05: Cuadro de calificación del PCI</th> </tr> <tr> <th>Rango PCI %</th> <th>Estado</th> </tr> <tr> <td>0 - 10</td> <td>Falla</td> </tr> <tr> <td>11 - 25</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>26 - 40</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>41 - 55</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>56 - 70</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>71 - 85</td> <td>Muy Bueno</td> </tr> <tr> <td>86 - 100</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fuente: Elaboración Propia</td> </tr> </table>											Tabla 05: Cuadro de calificación del PCI		Rango PCI %	Estado	0 - 10	Falla	11 - 25	Muy Malo	26 - 40	Malo	41 - 55	Regular	56 - 70	Bueno	71 - 85	Muy Bueno	86 - 100	Excelente	Fuente: Elaboración Propia	
Tabla 05: Cuadro de calificación del PCI																														
Rango PCI %	Estado																													
0 - 10	Falla																													
11 - 25	Muy Malo																													
26 - 40	Malo																													
41 - 55	Regular																													
56 - 70	Bueno																													
71 - 85	Muy Bueno																													
86 - 100	Excelente																													
Fuente: Elaboración Propia																														

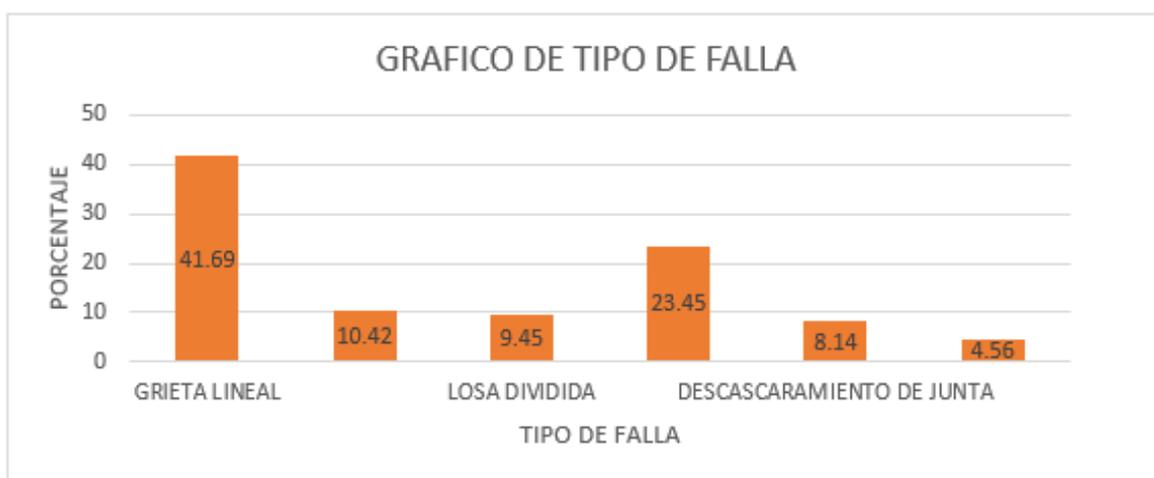
Fuente: elaboración propia

## Gráfico de Tipo de Falla

**Tabla 14:** Gráficos de tipo de fallas

TIPO DE FALLA	PORCENTAJE
GRIETA LINEAL	41.69
GRIETA DE ESQUINA	10.42
LOSA DIVIDIDA	9.45
PULIMERO DE AGREGADOS	23.45
DESCASCAMIENTO DE JUNTA	8.14
PARCHEO GRANDE	4.56

**Fuente:** elaboración propia



**Fuente:** elaboración propia

## Calculo General del PCI

**Tabla 15:** Calculo general del PCI

PCI Y ESTADO DE LA CARRETERA CENTRAL DE CARAZ DE LA PROVINCIA DE HUAYLAS DEPARTAMENTO DE ANCASH				
PROVINCIA	VÍA	NÚMERO DE LOSAS	PCI	ESTADO
HUAYLAS	CARRETERA CENTRAL DE CARAZ	307	40	MALO

**Fuente:** elaboración propia

**Ensayo de la Resistencia a la compresión del Concreto, utilizando el método de esclerómetro**

**Concreto F'c=210 kg/cm<sup>2</sup>**

**Tabla 16:** Ensayo de Esclerómetro

<b>ELEMENTO</b>	<b>F'c</b>	<b>F'c</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>(promedio)</b> <b>Kg. /Cm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
1	Pavimento rígido punto N° 01	214.2	102	En ensayo se realizó en el pavimento rígido carretera central Caraz
2	Pavimento rígido punto N° 02	221	105	En ensayo se realizó en el pavimento rígido carretera central Caraz

**ESPECIFICACIONES:** el ensayo corresponde a la norma de diseño AST-C – 805 cada punto consta de 10 rebotes con instrumento esclerómetro

---

**Fuente:** elaboración propia

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Al haber culminado el diseño de la investigación y evaluación por el método del PCI en la carretera central de la ciudad de Caraz - Provincia de Huaylas, Departamento de Áncash.

Encontramos diferentes deterioros en la carretera central de la ciudad de Caraz podemos definir que son 128 losas con daño debido a grietas lineales, 32 losas con daño debido a grietas de esquina, 29 losas con daño debido a losas divididas, 72 losas con daño debido a pulimero de agregados, 25 losas con daño debido a Descascaramiento de juntas, 14 losas con daño debido a parcheo grande y con un PCI de 40% de un estado malo, a comparación de los autores como; **Cote, S y Villalba, O. (2017)**, obtuvieron un PCI de promedio de 44.4%, equivalente a un estado “Regular”, al igual que **Quiñonez (2014)**, en su estudio concluyo en un estado bueno, con un PCI ponderado a 45.42 y que las fallas encontradas fueron de tipo funcional, por otra parte **Espinoza T. (2010)** concluyo que los pavimentos sufren grandes desperfectos por la mala ejecución y la calidad de los agregados de la zona y la inclemencia del tiempo y que el suelo tiene bastante responsabilidad en dichas grietas.

A comparación de estos autores se pudo observar en este estudio que en su gran mayoría una gran variedad de patologías en cada una de las vías principales, con una severidad de baja, media y alta.

A demás en el estudio de la carretera central de Caraz se encontraron 6 patologías y el porcentaje mayor obtenido fue la patología de grietas lineales con 41,69 %.

Finalizando la investigación, se puede apreciar según la hoja de inspección de condiciones para la unidad de muestra de vía principales, la existencia de diferentes tipos de fallas, siendo las patologías con mayor presencia las que se ordenan en orden decreciente: grietas lineales, puliremos de agregados, descascaramiento de junta, losas divididas, grietas de esquina, parcheo y fisuras de bloques.

## V. CONCLUSIONES

**En la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:**

- De acuerdo a la evaluación realizado mediante el recorrido de la vía, se tomaron los datos de las fallas por lo cual se procedió a realizar los cálculos por método del PCI, en donde se obtuvo un resultado de 40 % y que el pavimento rígido de la carretera central de la ciudad de Caraz se encuentra en un estado malo.
- De los dos puntos realizados el ensayo del método del esclerómetro, se procedió a calcular las resistencias de concreto, en donde el primero tiene una resistencia de 214.2 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de 102 %, el segundo se encuentra con una resistencia de 221 kg/cm<sup>2</sup>, con un porcentaje de 105 %, por lo que se determina que el concreto del pavimento cumple la norma.
- De los resultados del estudio de mecánica de suelos se obtuvo un resultado bueno, por lo que los daños son superficiales debido a que sufren deterioros por la mala ejecución y mantenimiento de las mismas por parte de la entidad, así mismo el Intemperismo, las condiciones climáticas y la constante Transitabilidad de vehículos pesados.

## VI. RECOMENDACIONES

**Se considera las siguientes recomendaciones:**

- Se recomienda realizar una rehabilitación de la carretera central de la ciudad de Caraz ya que tiene un PCI 40 es decir se encuentra en una calificación de **estado malo**. La rehabilitación es la actividad necesaria para devolver a la estructura de pavimento las condiciones que inicialmente tuvo, para el cual se puede realizar los siguientes trabajos reemplazo de losa, reparación del espesor total de la losa, resellado de juntas, sobre capa de concreto adherido, mejoramiento del su drenaje etc.
- Las evaluaciones de las vías deben ser aplicadas en tiempos de aproximadamente 4 o 5 años, y así conocer su comportamiento y eficiencia, el grado de operatividad y tomar las medidas correctivas si es necesario.
- Se recomienda a realizar mantenimiento y limpieza de las juntas para su posterior sellado con materiales compresibles para evitar las filtraciones de agua y materiales incompresibles como suelos y rocas.
- Se recomienda a realizar pruebas de laboratorio de mecánica de suelos que se encuentran en el lugar del al rededor del pavimento, de tal manera que se verifique que si son apropiados para la cimentación de las estructuras o que si se requiere mejorar los resultados.

## **VII. AGRADECIMIENTO**

Agradezco al ser supremo que me da siempre las fuerzas necesarias para salir adelante ante cualquier adversidad, gracias a él por otorgarme amor, humildad, nobleza para también saber reconocer mis errores, por brindarme a mis Padres con vida que junto con él son lo más sagrado que tengo, por la oportunidad de darme las herramientas necesarias para alcanzar el éxito personal y laboral. Gracias eternas Mi Dios.

A la Universidad San Pedro por haberme aceptado ser parte de ella y por sus enseñanzas con los mejores Docentes.

A toda mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron, por sus consejos y por no dejarme rendir nunca.

Al personal del Laboratorio de Suelos de la Universidad San Pedro por su paciencia y años de conocimientos dándome las orientaciones necesarias para llevar a cabo este trabajo de investigación, por prestarnos su apoyo y facilitarnos sus instalaciones para llevar a cabo esta investigación.

A todos mis compañeros y amigos de clase durante todos los niveles de universidad ya que gracias a su amistad y competitividad he tenido más ganas de no quedarme atrás.

Y a todos los que de alguna manera me apoyaron en la realización mi trabajo muchas gracias.

## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Barrantes, S. (2009). *Pavimentos*.
- Berry, P. (2007). *Mecánica de Suelos*. México: México D.F.
- Castillo, C Y Romero, G (2009). *Rehabilitación de pavimentos rígidos en base al estudio de la carretera Tarija - potosí*.
- Córdova E., Guerrero M., Mautino A. (2013) “*determinación y evaluación de bs patologías del pavimento de concreto rígido en el barrio de Villón Alto - Distrito de Huaraz, Provincia de Huaraz- Región Ancash*”.
- Cote, S y Villalba, O. (2017). *Con sus tesis tituladas: “índice de condición del pavimento rígido en la ciudad de Cartagena de indias y medidas de conservación. Caso de estudio: carrera del barrio Bocagrande”*.
- Espinoza T. (2010) “*Determinación y evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos de la provincia de Huanca bamba- Departamento de Piura*”.
- Godoy A., Ramírez R. (2006). “*Patología de pavimentos rígidos de la ciudad de Asunción*”.
- Higuera V. (2015). *El estado de las vías de pavimento rígido y su incidencia en la circulación de tránsito pesado de la planta Holcim Latacunga del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi*.
- Miranda, J. (2010). *Deterioros en pavimentos Flexibles Y rígidos, Chile 2010*. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Marchan, M. (2005). *Métodos de Rehabilitación en pavimentos, México 2005*. Recuperado [http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/1483/1/168\\_2005\\_ESIA-ZAC\\_SUPERIOR\\_marchan\\_moreno.pdf](http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/1483/1/168_2005_ESIA-ZAC_SUPERIOR_marchan_moreno.pdf)
- Morales, O (2005). *Técnicas de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo*. Recuperado de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI\\_129.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf)

Medina Palacios (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. Recuperado de [http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/581505/1/Medina\\_PA.pdf](http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/581505/1/Medina_PA.pdf)

Norma CE.010 *Pavimento Urbano*.

Norma de Referencia: ASTM C 805.

Norma MTC 012-2008-*Ministerio de Transporte y Comunicación- Perú*

Prunell, S. (2011). *Estudio de las patologías en pavimentos de hormigón*. La Plata, Argentina.

Ruíz C. (2011) “*Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos*”. Sangolquí, Ecuador.

Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras*.

## IX. ANEXOS

### ANEXO 1 PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 34: Ensayo de esclerómetro



Figura 35: Calicata, obtención de la muestra para sus respectivos ensayos



**Figura 36:** Tamizado del material



**Figura 37:** Ensayo del Proctor Modificado y CBR



**Figura 38:** Secado de muestras en horno eléctrico



**Figura 39:** Ensayo de penetración para los resultados de Proctor y CBR

## ANEXO 2 ENSAYO DE ESCLERÓMETRO



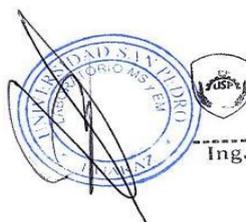
### ESCLEROMETRIA

**SOLICITA :** Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani  
**PROYECTO:** "Evaluacion de las Fallas de Pavimento Rigido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"  
**LUGAR:** CARAZ  
**FECHA:** 16/11/2019

F'C= 210 Kg/Cm2

ELEMENTO		F'C (Promedio)	F'C	OBSERVACIONES
Nº	DESCRIPCION	Kg./Cm2	%	CARACTERISTICAS
1	PAVIMENTO RIGIDO PUNTO Nº 01	214,2	102	El ensayo se realizo en el pavimento rigido carretera central caraz
2	PAVIMENTO RIGIDO PUNTO Nº 02	221	105	El ensayo se realizo en el pavimento rigido carretera central caraz

**ESPECIFICACIONES:** El ensayo corresponde a la norma de diseño ASTM-C - 805 cada punto consta de 12 rebotes con instrumento esclerometro

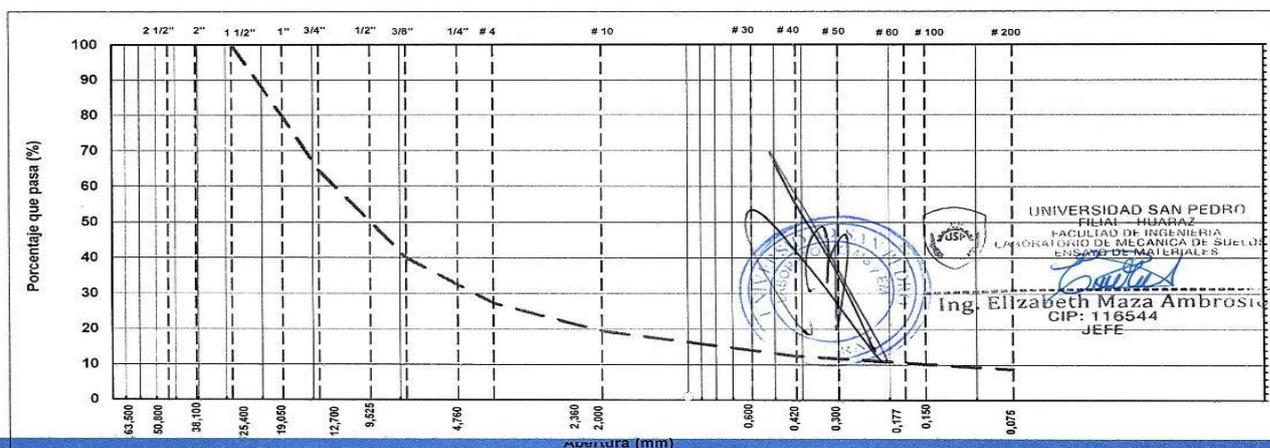

  
 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 ENSAYO DE MATERIALES  
  
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 116544  
 JEFE

**ANEXO 3**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (muestra 01)**



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO								
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422, MTC E 204)								
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
TESIS :	"Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"							
SOLICITA :	Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani							
ELEMENTO :	Suelos	HECHO POR :		LAB. USP				
CANTERA :		ING. RESP. :		E.M.A				
PROG. (KM.) :		FECHA :		27-nov-19				
DATOS DE LA MUESTRA								
CALICATA :	1,0	TAMAÑO MÁXIMO :		1 1/2"				
MUESTRA :	01	PESO INICIAL :		58.413,0 g				
KM. :		FRACCIÓN LAVADA SECA :		15.938,0				
PROFUND. :	1.5 mt							
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE % QUE PASA	ESPECIFICACIONES HUSO B	FORMULA DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3 1/2"	80,89							
3"	76,200							
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0			%Peso Piedra: 72,7%
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0			% Peso arena: 27,3%
1 1/2"	38,100	0,0	0,0	0,0	100,0			Límite Líquido (LL): 24,49
1"	25,400	11870,0	20,3	20,3	79,7			Límite Plástico (LP): 20,19
3/4"	19,050	8854,0	15,2	35,5	64,5			Índice Plástico (IP): 4,30
1/2"	12,700	9618,0	16,5	51,9	48,1			Clasificación(SUCS): GP-GC
3/8"	9,525	4680,0	8,0	60,0	40,0			Clasific. (AASHTO): A-1-a (0)
1/4"	6,325	5297,0	9,1	69,0	31,0			% Humedad: 6,2%
# 4	4,760	2156,0	3,7	72,7	27,3			
# 10	2,000	4560,0	7,8	80,5	19,5			
# 16	1,190	1817,0	3,1	83,6	16,4			
# 20	0,840	826,0	1,4	85,0	15,0			
# 30	0,600	820,0	1,4	86,4	13,6			OBSERVACIONES :
# 40	0,420	645,0	1,1	87,6	12,4			GRAVA POBRE GRADUADA -
# 50	0,300	529,0	0,9	88,5	11,5			GRAVA COMPONENTE ARCILLOSO
# 60	0,177	355,0	0,6	89,1	10,9			
# 100	0,150	470,0	0,8	89,9	10,1			
# 200	0,075	826,0	1,4	91,3	8,7			
< N° 200	FONDO	5.090,0	8,7	100				
FRACCIÓN		15.938,0						
TOTAL		58.413,0						

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
**Nuevo Chimbote** Av. Pacífico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
**OFICINA DE ADMISIÓN:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (muestra 02)

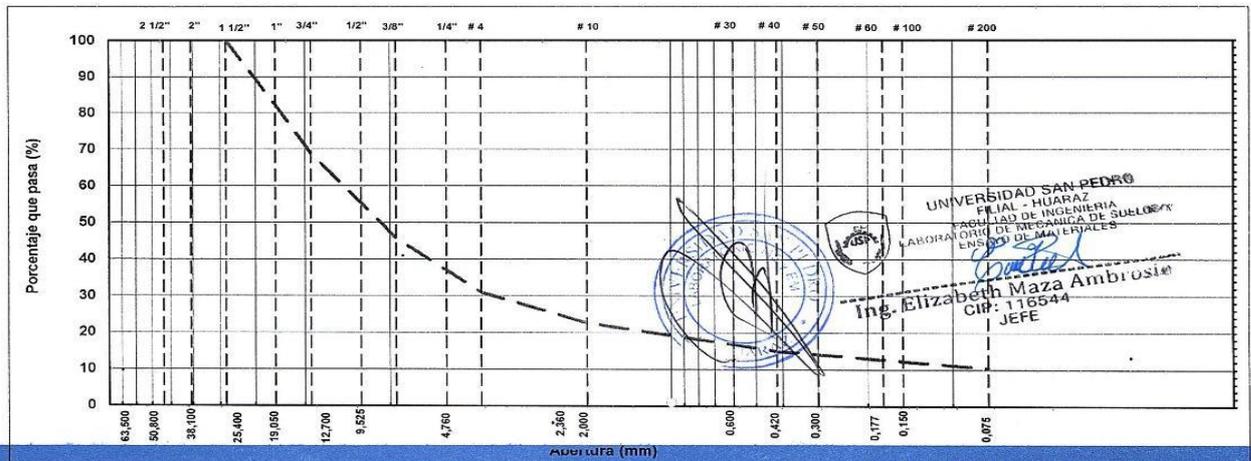


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA AASHTO T-27, ASTM D422, MTC E 204)			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
TESIS :	"Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"		
SOLICITA :	Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani		
ELEMENTO :	Suelos	HECHO POR :	LAB. USP
CANTERA :		ING. RESP. :	E.M.A
PROG (KM.) :		FECHA :	27-nov-19

DATOS DE LA MUESTRA			
CALICATA :	1,0	TAMAÑO MÁXIMO :	1 1/2"
MUESTRA :	02	PESO INICIAL :	26.053,0 g
KM. :		FRACCIÓN LAVADA SECA :	8.071,0
PROFUND. :	1.5 ml		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE % QUE PASA	ESPECIFICACIONES HUSO B	FORMULA DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3 1/2"	80,89							
3"	76,200							
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0			%Peso Piedra: 69,0%
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0			% Peso arena: 31,0%
1 1/2"	38,100	0,0	0,0	0,0	100,0			Limite Liquido (LL): 22,16
1"	25,400	4641,0	17,8	17,8	82,2			Limite Plástico (LP): 19,09
3/4"	19,050	3470,0	13,3	31,1	68,9			Indice Plástico (IP): 3,07
1/2"	12,700	4140,0	15,9	47,0	53,0			Clasificación(SUCS): GP-GM
3/8"	9,525	1890,0	7,3	54,3	45,7			Clasific. (AASHTO): A-1-a (0)
1/4"	6,325	2721,0	10,4	64,7	35,3			% Humedad: 6,2%
# 4	4,760	1120,0	4,3	69,0	31,0			
# 10	2,000	2160,0	8,3	77,3	22,7			
# 16	1,190	870,0	3,3	80,7	19,3			
# 20	0,840	450,0	1,7	82,4	17,6			
# 30	0,600	345,0	1,3	83,7	16,3			
# 40	0,420	341,0	1,3	85,0	15,0			OBSERVACIONES :
# 50	0,300	292,0	1,1	86,1	13,9			GRAVA POBRE GRADUADA -
# 60	0,177	160,0	0,6	86,7	13,3			GRAVA COMPONENTE LIMOSO
# 100	0,150	315,0	1,2	88,0	12,0			
# 200	0,075	423,0	1,6	89,6	10,4			
< N° 200	FONDO	2.715,0	10,4	100				
FRACCIÓN TOTAL		8.071,0						
TOTAL		26.053,0						

CURVA GRANULOMETRICA



**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Peru - Telf.: (043) 483320  
**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
**Nuevo Chimbote** Av. Pacifico y Anchoqueta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
**OFICINA DE ADMISION:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ANEXO 4**  
**LIMITES DE CONSISTENCIA (muestra 01)**



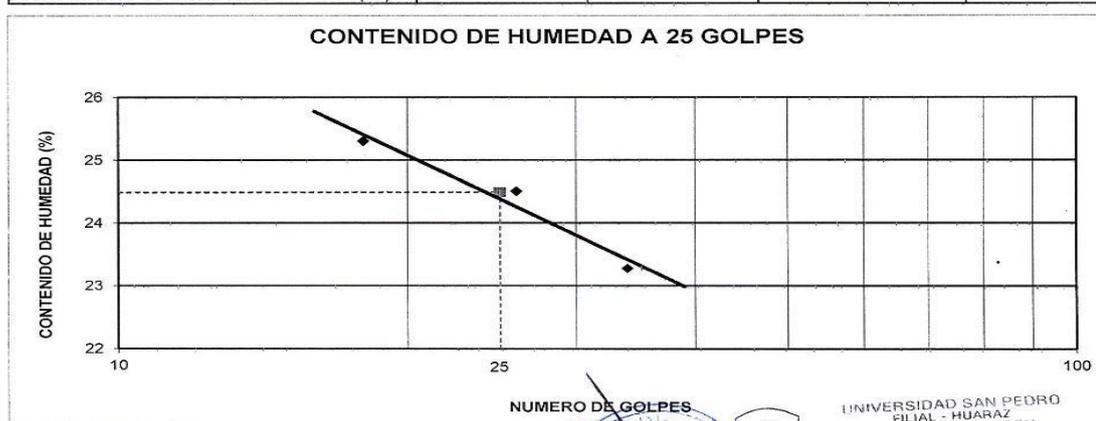
**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
TESIS:	"Evaluacion de las Fallas de Pavimento Rigido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"		
SOLICITA:	Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani		
DISTRITO:	HUARAZ	HECHO	USP
PROVINCIA:	HUARAZ	FECHA	27/11/2019
		FORMATO	-

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N° 01
MUESTRA	: N° 01 SUELOS
PROF. (m)	: 1,50

LIMITE LIQUIDO				
N° TARRO		14	23	15
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		66,60	66,18	67,17
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		58,64	58,33	59,56
PESO DE AGUA (g)		7,96	7,85	7,61
PESO DEL TARRO (g)		27,18	26,29	26,86
PESO DEL SUELO SECO (g)		31,46	32,04	32,70
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		25,30	24,50	23,27
NUMERO DE GOLPES		18	26	34

LIMITE PLASTICO				
N° TARRO		30	22	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		33,06	34,28	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		31,91	33,03	
PESO DE AGUA (g)		1,15	1,25	
PESO DEL TARRO (g)		26,24	26,81	
PESO DEL SUELO SECO (g)		5,67	6,22	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		20,28	20,10	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	24,49
LIMITE PLASTICO	20,19
INDICE DE PLASTICIDAD	4,30


 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 116544  
 JEFE

## LIMITES DE CONSISTENCIA (muestra 02)



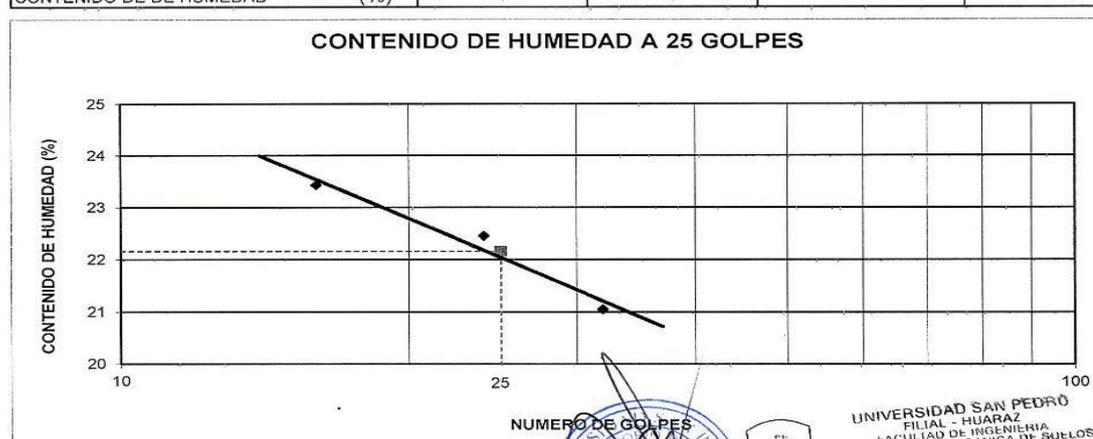
### LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40 (NORMA AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
TESIS:	"Evaluacion de las Fallas de Pavimento Rigido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"		
SOLICITA:	Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani		
DISTRITO:	HUARAZ	HECHO	USP
PROVINCIA:	HUARAZ	FECHA	27/11/2019
		FORMATO	-

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: N° 02
MUESTRA	: N° 01 SUELOS
PROF. (m)	: 1,50

LIMITE LIQUIDO					
N° TARRO		7	11	6	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	64,70	65,61	67,86	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	57,38	58,55	60,81	
PESO DE AGUA	(g)	7,32	7,06	7,05	
PESO DEL TARRO	(g)	26,13	27,10	27,31	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	31,25	31,45	33,50	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	23,42	22,45	21,04	
NUMERO DE GOLPES		16	24	32	

LIMITE PLASTICO					
N° TARRO		9	12		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	38,65	34,47		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	37,45	33,25		
PESO DE AGUA	(g)	1,20	1,22		
PESO DEL TARRO	(g)	31,24	26,78		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	6,21	6,47		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	19,32	18,86		



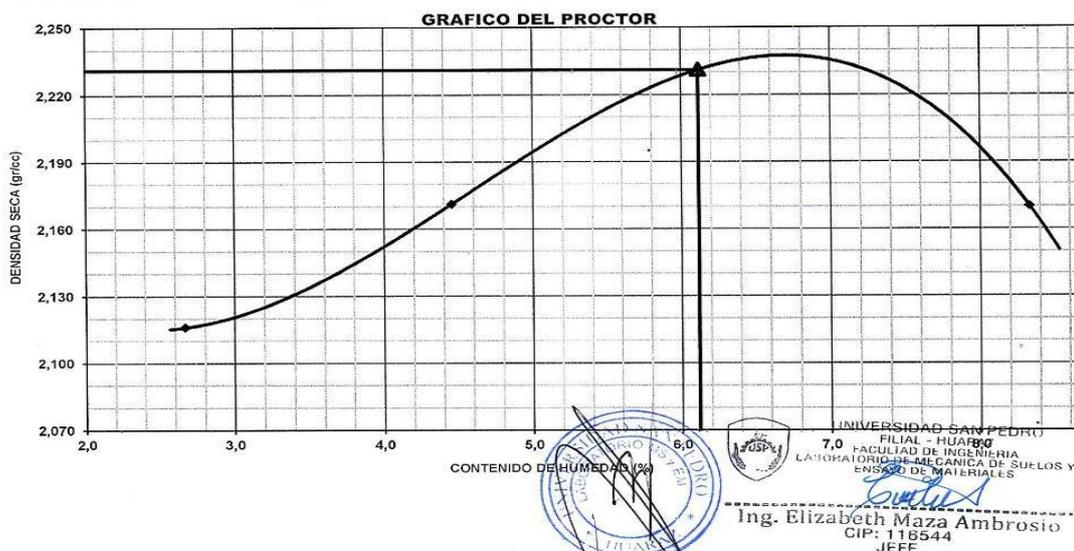
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	22,16
LIMITE PLASTICO	19,09
INDICE DE PLASTICIDAD	3,07


  
 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 ENSAYOS DE MATERIALES  
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 116544  
 JEFE

## ANEXO 5 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (muestra 01)



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO AASHTO - T-180-D					
PROYECTO		: "Evaluacion de las Fallas de Pavimento Rigido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"			Informe N° : LAB-NOV-2019
SOLICITA		: Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani			Fecha : 27/11/2019
MATERIAL		: SUELOS			Realizado por :
CALICATA		: N° 01			Revisado por :
UBICACIÓN		: 0			Certificado N° : USP LAB.
Golpes / Capas:	56	Peso de martillo:	4,54	Altura de Molde (cm):	11,70
Numero de Capas:	5	Diametro de Molde (cm):	15,2	Volumen de molde (cm2):	2105,00
<b>METODO : "A"</b>					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2105,00		PESO DEL MOLDE (gr.) :		6486
NUMERO DE ENSAYOS			1		2
PESO SUELO + MOLDE (gr)	11060,00		11260,00		11470,00
PESO DEL MOLDE (gr)	6486,00		6486,00		6486,00
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)	4574,00		4774,00		4984,00
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2,173		2,268		2,368
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2,116		2,171		2,231
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE Nro.	27		1		3
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	1224,60		1191,80		1060,70
PESO SUELOS SECO + TARA (gr)	1197,20		1147,90		1009,30
PESO DE LA TARA (gr)	170,00		161,70		169,00
PESO DE AGUA (gr)	27,40		43,90		51,40
PESO DE SUELO SECO (gr)	1027,20		986,20		840,30
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2,67		4,45		6,12
PESO VOLUMETRICÓ SECO	2,116		2,171		2,231
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>		2,231		<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	
		gr/cc		6,1	



**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
**Nuevo Chimbote** Av. Pacifico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
**OFICINA DE ADMISIÓN:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

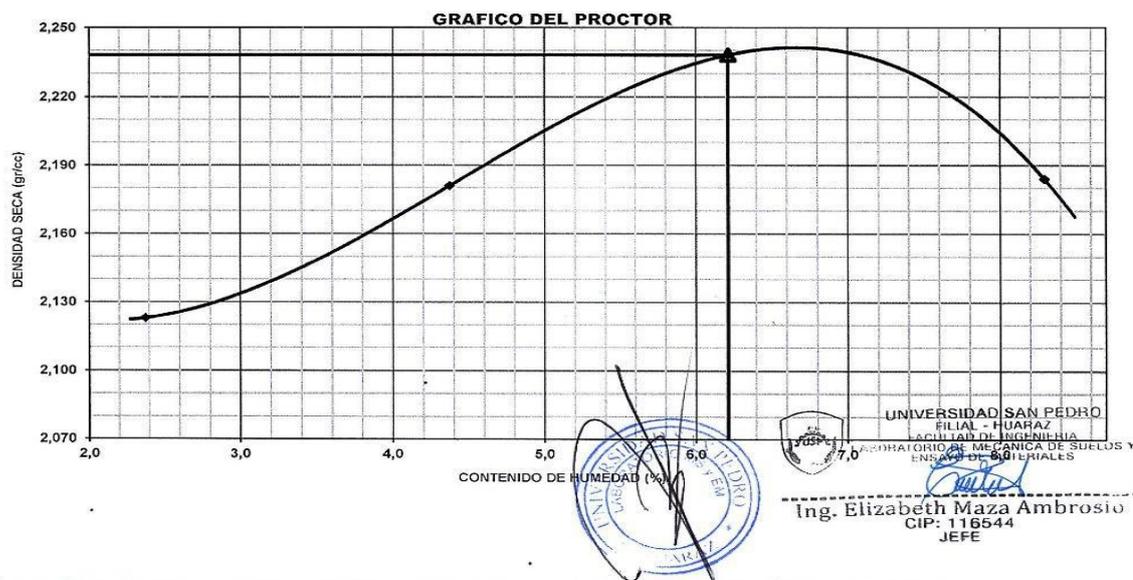
## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (muestra 02)



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO AASHTO - T-180-D			
PROYECTO	: "Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"	Informe N°:	LAB-NOV-2019
SOLICITA	: Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani	Fecha:	27/11/2019
MATERIAL	: SUELOS	Realizado por:	
CALICATA	: N° 02	Revisado por:	
UBICACIÓN	: 0	Certificado N°:	USP LAB.

Golpes / Capas:	56	Peso de martillo:	4,54	Altura de Molde (cm):	11,70
Numero de Capas:	5	Diametro de Molde (cm):	15,2	Volumen de molde (cm2):	2105,00

METODO : "A"					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2105,00	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6486	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (gr)		11062,00	11277,00	11490,00	11465,00
PESO DEL MOLDE (gr)		6486,00	6486,00	6486,00	6486,00
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)		4576,00	4791,00	5004,00	4979,00
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)		2,174	2,276	2,377	2,365
DENSIDAD SECA (gr/cm3)		2,123	2,181	2,238	2,184
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.		12	15	17	9
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)		1121,00	1124,00	986,00	1093,00
PESO SUELOS SECO + TARA (gr)		1099,00	1084,00	938,00	1022,00
PESO DE LA TARA (gr)		172,60	169,40	165,50	166,10
PESO DE AGUA (gr)		22,00	40,00	48,00	71,00
PESO DE SUELO SECO (gr)		926,40	914,60	772,50	855,90
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		2,37	4,37	6,21	8,30
PESO VOLUMETRICO SECO		2,123	2,181	2,238	2,184
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2,238	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 6,2	



**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320

**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810

**Nuevo Chimbote** Av. Pacifico y Anchoqueta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826

**OFICINA DE ADMISION:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

**ANEXO 6**  
**ENSAYO DE CBR (muestra 01)**



**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
NORMA ASTM D 1983, AASHTO T-193

PROYECTO "Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018" Informe N° : LAB-NOV-2019  
 SOLICITA **Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani** Fecha : 27/11/2019  
 MATERIAL : SUELOS Realizado por :  
 CALICATA : N° 01 Revisado por :  
 UBICACIÓN : 0 Certificado N° : USP LAB.

Molde N°	10		12		11	
	5		5		5	
N° Capa	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12835	12890	12710	12766	12605	12666
Peso de molde (gr)	7971	7971	7972	7972	7961	7961
Peso del suelo húmedo (gr)	4864	4919	4738	4794	4644	4705
Volumen del molde (cm3)	2041	2041	2015	2015	2037	2037
Densidad húmeda (gr/cm3)	2,383	2,410	2,351	2,379	2,280	2,310
Humedad (%)	6,54	7,20	6,60	7,30	6,69	7,40
Densidad seca (gr/cm3)	2,237	2,248	2,205	2,217	2,137	2,151
Tarro N°	45	12	33	15	32	17
Tarro + Suelo húmedo (gr)	1081,0	1022,0	1086,0	1061,0	1042,0	934,9
Tarro + Suelo seco (gr)	1025,0	984,0	1029,0	1000,0	987,0	881,9
Peso del Agua (gr)	56,00	58,00	57,00	61,00	55,00	53,00
Peso del tarro (gr)	168,70	158,20	164,80	164,10	165,00	165,70
Peso del suelo seco (gr)	856,3	805,8	864,2	835,9	822,0	716,2
Humedad (%)	6,54	7,20	6,60	7,30	6,69	7,40
Promedio de Humedad (%)	6,54	7,20	6,60	7,30	6,69	7,40

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 11644  
 JEFE

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 10			MOLDE N° 12			MOLDE N° 11		
		Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg	CBR %	Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg/cm2	CBR %	Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg/cm2	CBR %
		0,000		0	0,0	0,00	0	0,0	0,00	0
0,252		125	571,4	29,58	112	512,5	26,48	97	444,6	22,97
0,500		152	693,6	35,83	136	621,2	32,09	120	548,8	28,35
0,752		193	879,2	45,42	172	784,1	40,51	163	743,4	38,41
1,000	70,50	223	1014,9	52,44	190	865,6	44,72	170	775,1	40,04
1,500		305	1386,0	71,60	250	1137,1	58,75	245	1114,5	57,58
2,000	105,5	350	1589,5	82,12	310	1408,6	72,77	270	1227,6	63,42
2,500		415	1883,5	97,31	375	1702,6	87,96	350	1589,5	82,12
3,000		470	2132,1	110,15	420	1906,1	98,47	370	1680,0	86,79
3,937		600	2719,7	140,51	540	2448,5	126,50	495	2245,1	115,99
5,000		710	3216,6	166,18	660	2990,7	154,51	600	2719,7	140,51

**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
**Nuevo Chimbote** Av. Pacífico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
**OFICINA DE ADMISIÓN:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

## ENSAYO DE CBR AASHTO T-193

PROYECTO "Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"

Informe N° : LAB-NOV-2019

SOLICITA **Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani**

Fecha : 27-nov-19

MATERIAL : SUELOS

Realizado por :

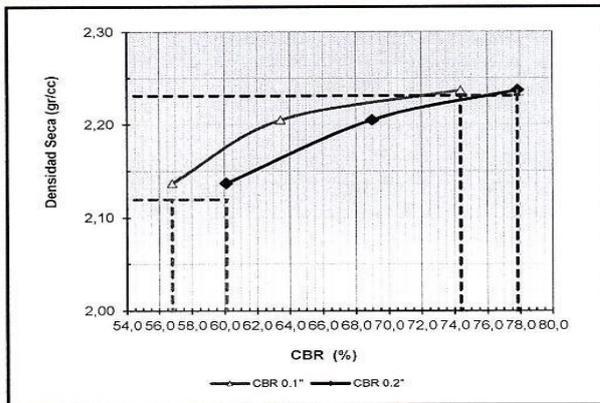
CALICATA : N° 01

Revisado por :

UBICACIÓN 0

Certificado N° : USP LAB.

### GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	74,4	0.2":	77,8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	56,8	0.2":	60,1

Datos del Proctor	
Densidad Seca	2,231 gr/cc
Optimo Humedad	6,12 %

**OBSERVACIONES:**



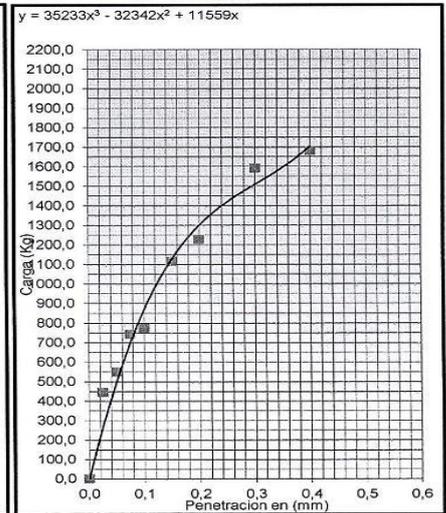
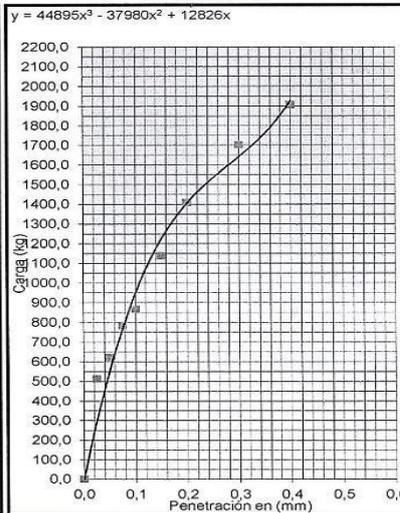
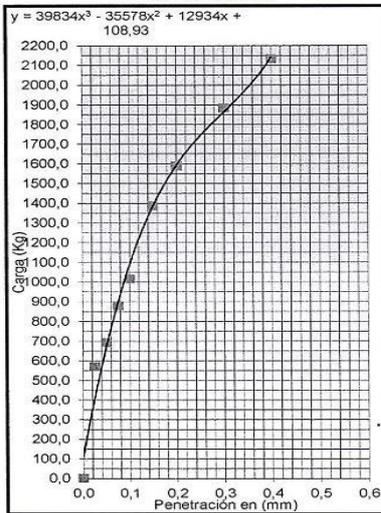
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL - HUATZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
ENSAJES DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116644  
JEFE

EC = 56 GOLPES

EC = 25 GOLPES

EC = 12 GOLPES



## ENSAYO DE CBR (muestra 02)



### ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR NORMA ASTM D 1983, AASHTO T-193

PROYECTO	"Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"	Informe N° : LAB-NOV-2019
SOLICITA	Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani	Fecha : 27/11/2019
MATERIAL	: SUELOS	Realizado por :
CALICATA	: N° 02	Revisado por :
UBICACIÓN	0	Certificado N° : USP LAB.

	12		10		11	
	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12980	13063	12706	12747	12567	12629
Peso de molde (gr)	7972	7972	7971	7971	7975	7975
Peso del suelo húmedo (gr)	5008	5091	4735	4776	4592	4654
Volumen del molde (cm3)	2115	2115	2041	2041	2050	2050
Densidad húmeda (gr/cm3)	2,368	2,407	2,320	2,340	2,240	2,270
Humedad (%)	6,41	7,30	6,69	7,39	6,70	7,71
Densidad seca (gr/cm3)	2,225	2,243	2,175	2,179	2,099	2,108
Tarro N°	16		27		21	
Tarro + Suelo húmedo (gr)	1195,0	1094,0	1190,0	1110,0	1185,0	1102,0
Tarro + Suelo seco (gr)	1133,0	1031,0	1126,0	1045,0	1121,0	1035,0
Peso del Agua (gr)	62,00	63,00	64,00	65,00	64,00	67,00
Peso del tarro (gr)	165,50	167,40	170,00	165,40	165,40	166,50
Peso del suelo seco (gr)	967,5	868,6	956,0	879,6	955,6	868,5
Humedad (%)	6,41	7,30	6,69	7,39	6,70	7,71
Promedio de Humedad (%)	6,41	7,30	6,69	7,39	6,70	7,71

#### EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544

#### PENETRACION

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 12				MOLDE N° 10				MOLDE N° 11			
		Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg	Carga Ensayo kg/cm2	CBR %	Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg	Carga Ensayo kg/cm2	CBR %	Lectura Dial (div)	Carga Ensayo kg	Carga Ensayo kg/cm2	CBR %
0,000		0	0,0	0,00		0	0,0	0,00		0	0,0	0,00	
0,252		127	580,4	30,04		115	526,1	27,18		95	435,6	22,50	
0,500		146	666,5	34,43		133	607,6	31,39		118	539,7	27,88	
0,752		189	861,1	44,49		167	761,5	39,34		158	720,8	37,24	
1,000	70,50	210	956,1	49,40	70,07	180	820,3	42,38	60,12	167	761,5	39,34	55,80
1,500		286	1300,0	67,16		210	956,1	49,40		226	1028,5	53,14	
2,000	105,5	336	1526,2	78,85	74,74	306	1390,5	71,84	68,09	274	1245,7	64,36	61,00
2,500		390	1770,4	91,47		360	1634,7	84,46		335	1521,7	78,81	
3,000		445	2019,1	104,31		417	1892,5	97,77		372	1689,0	87,26	
3,937		606	2746,8	141,91		539	2444,0	126,27		491	2227,1	115,06	
5,000		721	3266,3	168,75		662	2999,8	154,98		601	2724,2	140,74	

**RECTORADO:** Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
**CAMPUS UNIVERSITARIA:** Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
**Nuevo Chimbote** Av. Pacifico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
**OFICINA DE ADMISIÓN:** Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

## ENSAYO DE CBR AASHTO T-193

PROYECTO "Evaluación de las Fallas de Pavimento Rígido en la Carretera Central de la Ciudad de Caraz - Ancash - 2018"

SOLICITA **Bach. Milla de la Cruz, Omar Yovani**

MATERIAL : SUELOS

CALICATA : N° 02

UBICACIÓN 0

Informe N° : LAB-NOV-2019

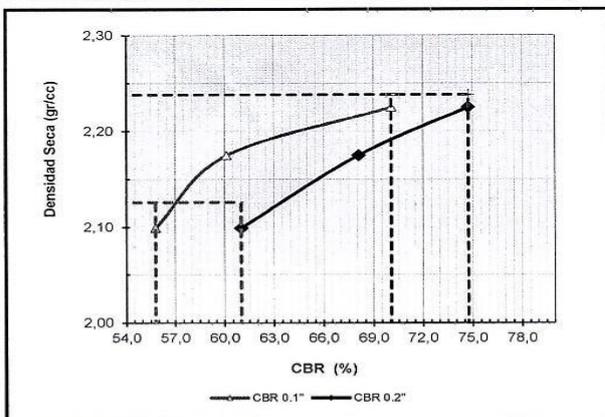
Fecha : 27-nov-19

Realizado por :

Revisado por :

Certificado N° : USP LAB.

### GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 70,1	0.2": 74,7
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 55,8	0.2": 61,0

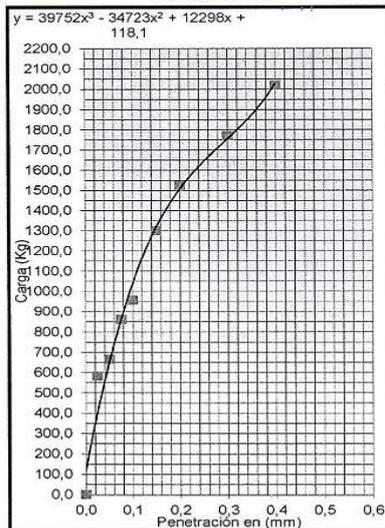
Datos del Proctor		
Densidad Seca	2,238	gr/cc
Optimo Humedad	6,21	%

OBSERVACIONES:

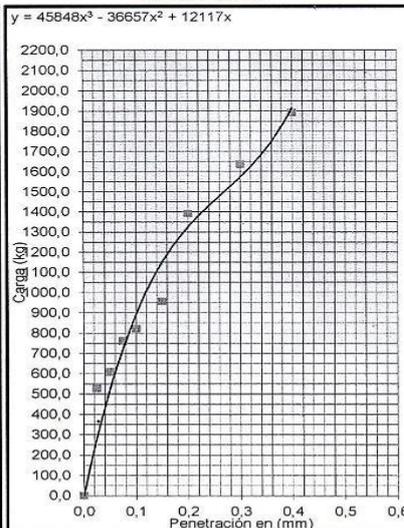
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL - HUARAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
ENSAJO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544  
JEFE

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

