

Universidad Nacional de Huancavelica

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UNA PAVIMENTACIÓN
CON CONCRETO HIDRÁULICO Y UNA PAVIMENTACIÓN
CON PIEDRA LAJA EMBOQUILLADO CON CONCRETO
EN LA ZONA URBANA DE LIRCAY**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
CIENCIA DE LA INGENIERIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. PILLPA ESCOBAR, Ullses

ASESOR:

Ing. MEDINA CHAMPE, Dedicación Miguel

HUANCVELICA - PERU

2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien en todo momento está cerca de nosotros, la luz que guía nuestros pasos y nos ayuda a superar las pruebas que encontramos en nuestro camino.

A mis padres, por el apoyo incondicional, por todos los ánimos que nos dieron, para que en ningún momento dejáramos de luchar, nuestra familia alegría y motivo a superarnos.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, nuestra alma mater, quien nos brindó en sus aulas la luz del conocimiento y nos encauzó en el camino de la investigación.

A nuestro asesor Ing. Miguel Dedicación Medina Champe, por brindarnos la orientación y enseñanza, fortaleciendo los conocimientos que adquirimos en la universidad. Y sobre todo por sus valiosos consejos en la realización del presente trabajo.

Al Ing. Uriel Neira Calsin nuestro maestro quien nos instruyó y formo brindándonos sus sabias enseñanzas.

A la Municipalidad Provincial de Angaraes que nos apoyó con la búsqueda de datos para la realización de este humilde trabajo de investigación.

ÍNDICE

- PORTADA
- DEDICATORIA
- AGRADECIMIENTO
- ÍNDICE
- GLOSARIO
- RESUMEN
- INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

PROBLEMA

- 1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA 21
 - 1.1.1. Descripción de la situación actual
 - 1.1.2. Delimitación de la investigación
- 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 27
 - 1.2.1. Problema de investigación
 - 1.2.2. Problema de investigación
 - 1.2.3. Problemas específicos
- 1.3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS 28
 - 1.3.1. Objetivo general:
 - 1.3.2. Objetivos específicos:
- 1.4. JUSTIFICACIÓN 29

CAPITULO II

MARCO TEORICO

- 2.1. ANTECEDENTES 30
- 2.2. BASE TEORICAS 31
- 2.3. HIPÓTESIS 172

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO.....	173
--------------------------------	-----

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. AMBITO DE ESTUDIO.....	174
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	176
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	176
3.4. METODO DE INVESTIGACIÓN.....	177
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	177
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA , MUESTREO.....	178
3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	179
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	182
3.9. TECNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	183

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	184
4.2. DISCUSIÓN.....	220

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS.



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

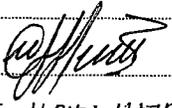
EN EL PARANINFO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MINAS - CIVIL DE LA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL CIVIL - LIRCAY, A LOS SEIS DIAS DEL MES DE MAYO DEL AÑO DOS MIL CATORCE, SIENDO LAS CUATRO PASADO MERIDIANO, SE INSTALO LOS MIEMBROS DEL JURADO, EN BASE A LA RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N° 067-2014 - FIMC - UNH, DE FECHA VEINTIOCHO DE ABRIL DEL DOS MIL CATORCE, EN EL CUAL SE RESUELVE:

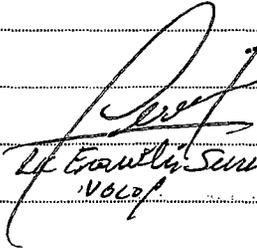
ARTICULO PRIMERO.- APROBAR LA HORA Y FECHA PARA LA SUSTENTACION DE TESIS DE TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL A DESARROLLARSE EL DIA SEIS DE MAYO DEL DOS MIL CATORCE, A HORAS CUATRO PASADO MERIDIANO DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES: TITULO DEL PROYECTO "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y UNA PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA EMBOQUILLADO CON CONCRETO EN LA ZONA URBANA DE LIRCA RESPONSABLE DEL PROYECTO: BACH. ULISES PILLPA ESCOBAR; ASESOR: ING. DEDICACION MIGUEL MEDINA CHAMPE; JURADOS: ING. URIEL NEIRA CALSIN (PRESIDENTE) ARG. HUGO CAMILO SALAS TOCASCA (SECRETARIO); LIC. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ (VOCAL); CON LA FINALIDAD DE EVALUAR LA SUSTENTACION DE TESIS REFERIDA INMEDIATAMENTE SE PROCEDE CON LA INTERVENCION DEL PRESIDENTE, QUIEN DIO LAS INSTRUCCIONES CORRESPONDIENTES, DANDO A CONOCER AL TESISISTA EL TIEMPO DE DURACION DE TREINTA MINUTOS DE SUSTENTACION Y AUTORIZANDO EL INICIO DE LA MISMA. TERMINADO LA SUSTENTACION SE PROCEDE CON LA FORMULACION DE LAS PREGUNTAS PERTINENTES, LAS CUALES FUERON ABSUELTAS Y SUSTENTADAS.

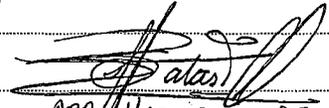
SEGUIDAMENTE LOS MIEMBROS DEL JURADO DESPUES DE UN DEBATE AMPLIO SE RESUELVE: APROBAR POR MAYORIA LA TESIS MATERIA DE LA PRESENTE SUSTENTACION, SIENDO HORAS SEIS PASADO MERIDIANO DEL DIA SEIS DE MAYO DEL AÑO DOS MIL CATORCE, Y EN SEÑAL DE CONFORMACION DE LA MISMA POR PARTE DE LOS MIEMBROS DEL JURADO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
CERTIFICO QUE LA PRESENTE ES COPIA FIEL DE LA ORIGINAL QUE SE ENCUENTRA EN LA VENTA

ING. JOSÉ ANTONIO CASTELLANO
(e) SECRETARIO


ING. MIGUEL MEDINA CHAMPE
PRESIDENTE


ARG. HUGO CAMILO SALAS TOCASCA
SECRETARIO


LIC. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ
VOCAL

DEDICATORIA

Con todo lo que soy y he logrado ser, dedico este trabajo a mi madre y hermanos porque están presentes en mi vida en todo momento y circunstancia dándome ánimos para seguir adelante y cumplir mis metas.

Ulises Pillpa.

LISTA DE SIMBOLOS

- ACI** : Asociación americana del concreto.
- AASHTO**: Asociación americana de los funcionarios de la carretera y del transporte del estado.
- ASTM** : Asociación americana para las pruebas de los materiales.
- ISRM** : Sociedad internacional para roca mecánica
- W18** : Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.
- Zr** : Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.
- So** : Desviación estándar de todas las variables.
- PSI** : Pérdida de serviciabilidad.
- Mr** : Módulo de resiliencia de la subrasante.
- SN** : Número estructural.
- W82** : Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño.
- Pt** : Índice de serviciabilidad.
- Mr** : Resistencia media del concreto (en MPa) a flexo-tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).
- Cd** : Coeficiente de drenaje.
- J** : Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.
- Ec** : Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.
- K** : Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub_base o ... subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.
- MR** : Módulo de rotura.
- TPD** : Tránsito promedio diario en ambas direcciones todos los vehículos.
- TPDC** : Tránsito promedio diario de camiones en ambas direcciones.
- TPDA** : Tránsito promedio diario anual.
- FSC** : Factor de seguridad de carga.
- ESAL** : Ejes equivalentes a 18,000 lbs.

- D** : Espesor de losa.
- ϵ_t1** : Esfuerzo horizontal de tensión.
- ϵ_c1** : Esfuerzo de compresión vertical.
- R** : Valor de rebote, del martillo de Smith.
- $\alpha = + 90^\circ$** : Angulo de impacto del martillo de Smith.
- f'_c** : Resistencia a la compresión kg/cm².
- H-H** : Horas hombre.
- H-M** : Horas máquina.
- MKS** : Sistema MKS (metro, kilogramo, segundo)

GLOSARIO

RED VIAL: Se considera red vial, a toda superficie terrestre, pública o privada, por donde circulan peatones y vehículos, que está señalizada y bajo jurisdicción de las autoridades nacionales y/o provinciales, responsables de la aplicación de las leyes de tránsito. Conjunto de vías debidamente clasificadas.

EMPEDRADOS: Son pavimentos construidos con piedras.

PAVIMENTO: Superestructura de una vía, construida sobre la superficie subrasante y compuesta normalmente por la sub base, la base y la capa de rodadura, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito.

PAVIMENTO RÍGIDO: Constituido por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y, de ser el caso, aditivos.

PIEDRA LAJA: Es una roca plana, lisa y poco gruesa. Rocas características de la Cordillera de Los Andes.

SUB BASE: Capa debajo de la base, de menor calidad, que sirve de soporte ante una mala subrasante; sobre la cual se coloca.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura.

RASANTE: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

SUBRASANTE: Es la cota de la vía, después de haber realizado cortes y rellenos, por lo tanto, es la que determina el movimiento de tierras.

SUPERFICIE DE RODADURA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma o bien la capa sobre la cual se aplican directamente las cargas del tránsito.

RODADURA: Es el ancho útil de camino.

SURCO: Hendidura que se hace en la tierra al ararla.

TERRAPLÉN: Macizo de tierra con que se rellena un vacío para llegar al nivel de la subrasante.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL: Riego sobre la calzada de un ligante en estado líquido, seguido de un recubrimiento de grava en una o varias operaciones sucesivas.

RIEGO DE SELLO: Recubrimiento de una superficie, con un ligante en estado líquido, seguido usualmente de la aplicación uniforme de un agregado fino.

PROMONTORIO: Altura muy considerable del terreno.

ADITIVO: Sustancia que se incorpora en pequeñas cantidades a un ingrediente básico, antes de la mezcla, para conferirle ciertas características.

AGREGADO: Arena, grava, piedra o cualquier otro material inerte, que se mezcla con cal o cemento para la confección de morteros y hormigones.

ANÁLISIS DE COSTOS: Evaluación de los renglones de trabajo, comparándolos con los resultados obtenidos con la finalidad de rectificar los procedimientos de construcción empleados y así escoger la mejor alternativa.

DOWELLS: El acero liso se refiere a las barras de conexión existentes entre losa y losa, las mismas que como función tienen la transmisión de esfuerzo en los bordes de las mismas.

ESTABILIZACIÓN: Tratamiento de un suelo con el fin de aumentar su capacidad para soportar un pavimento, bajo la acción de cargas determinadas.

FALLA: Movimientos diferenciales en sentido vertical de las losas rígidas, en las juntas o grietas.

HOMBRO: La parte del camino contigua a la superficie de rodadura, destinada a la detención de vehículos en emergencia y como protección de los efectos de la erosión.

IMPRIMACIÓN: Aplicación de un material bituminoso, de baja viscosidad, para recubrir y aglutinar partículas minerales, previamente a la colocación de una base o capa superficial.

JUNTA: Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de temperaturas ambientales.

ESCORIA: Residuo resultante de la fundición del hierro en altos hornos.

ESCARIFICACIÓN: Proceso mediante el cual se realizan incisiones poco profundas para facilitar la salida de ciertos humores.

DESPORTILLAMIENTO: Deterioro que se manifiesta en el borde de una estructura.

CURADO: Procedimiento que asegura la temperatura y humedad necesarias para que se cumplan los procesos de fraguado y endurecimiento en condiciones óptimas.

COSTO: Conjunto de reparticiones que se efectúan en la ejecución de un proyecto, de acuerdo a los renglones que los componen; los costos pueden ser directos o indirectos.

CONSOLIDACIÓN: Reducción de los índices de vacíos de un suelo, a consecuencia de la reducción del agua y aire intersticiales, mediante la aplicación de cargas durante un determinado tiempo.

NIVELACIÓN: Emparejamiento de una superficie a un nivel.

MANTENIMIENTO: Es conservar el pavimento en una condición similar.

COMPACTACIÓN: Operación mecanizada para dar a los suelos y agregados, la densidad conveniente.

CAPA PERMEABLE: Capa de material pétreo provista de abundante cantidad de vacíos no capilares.

BOMBEO: Fenómeno que produce la eyección forzada por las juntas y bordes del pavimento, de una suspensión en agua de los suelos finos de la subrasante, debido al paso frecuente de cargas pesadas.

BERMA: Espacio estrecho entre el pie de un desmonte y la cuneta, destinado a recibir los derrumbes del talud.

AHUELLAMIENTO: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada.

CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO: Es la resistencia admisible del suelo de cimentación considerando factores de seguridad apropiados al análisis que se efectúa.

CEMENTO PORTLAND: Es un producto obtenido por la pulverización del Clinker Portland con la adición eventual de yeso natural.

CALIDAD: Es aquella que dice que aquel producto o servicio que nosotros adquiramos satisfaga nuestras expectativas sobradamente.

DURABILIDAD: Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

MARTILLO DE SMITH: Estima de forma aproximada la resistencia a compresión simple mediante una correlación con tablas.

OPTIMIZACIÓN: Se basa en la óptima utilización de recursos limitados para usos múltiples e ilimitados.

PERMEABILIDAD: Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

TERRAPLÉN: Parte de la explanación situada sobre el terreno original. También se le conoce como relleno.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía. Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc.

DERECHO DE VÍA: El área de terreno que el gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.

TRANSITABILIDAD: Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

VEHÍCULO LIVIANO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

VEHÍCULO PESADO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t.

VÍA URBANA: Arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no integran el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

VIDA ÚTIL: Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

RESISTENCIA: Es una medida de la cantidad de esfuerzo requerido para hacer fallar un material. Habilidad para resistir esfuerzos sin fallar.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la zona urbana del Distrito de Lircay ubicada en el Jr. Sicra y Jr. Maravillas entre el año 2013 y 2014; comprende el estudio comparativo entre una pavimentación con concreto hidráulico y una pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto.

Su propósito consistió en determinar la influencia de la pavimentación con concreto hidráulico y pavimentación con piedra laja en la resistencia a la compresión al tránsito vehicular y la incidencia en la optimización del presupuesto del proyecto.

El trabajo se justificó por no existir investigaciones anteriores respecto al tema, por su valor teórico, utilidad práctica y por su conveniencia que se tiene al tomar en cuenta los alcances técnicos y económicos para poder elegir el tipo de pavimentación a emplear a nivel de superficie de rodadura (concreto hidráulico o con piedra laja emboquillado con concreto).

El estudio se sustenta en las teorías de pavimentos, pavimentos rígidos con concreto hidráulico, pavimentos con piedra laja emboquillado con concreto, resistencia a la compresión y ensayos esclerométricos.

La investigación se abordó de acuerdo al tipo de estudio descriptivo-longitudinal, se utilizó el método cuantitativo para describir y analizar la resistencia a la compresión obtenida del ensayo del esclerómetro y el presupuesto obtenido de las pavimentaciones estudiadas y el método cualitativo porque nos permitió interpretar los resultados obtenidos. Los resultados fueron: la resistencia a la compresión de la pavimentación con piedra laja es mayor en 199.333 kg/cm² con respecto a la resistencia a la compresión de la pavimentación con concreto hidráulico, de igual manera se verificó que el costo del pavimento con piedra laja es más alto en 286,260.92 con respecto al costo del pavimento con concreto hidráulico.

Concluyéndose, que la alternativa más conveniente con respecto a optimización de costos es el pavimento con concreto hidráulico; con respecto a la resistencia a la compresión el

más conveniente es el pavimento con piedra laja, pero requiere mayor costo y tiempo de ejecución, además estéticamente embellece la ciudad.

Descriptores: Influencia de las pavimentaciones, Resistencia a la compresión, Optimización del presupuesto, Ensayo del esclerómetro.

INTRODUCCIÓN

De la calidad y capacidad del sistema de transporte depende el logro de un crecimiento equilibrado y sostenido de la economía, por lo que en el presente trabajo de investigación se consideran dos tipos de pavimentaciones: las pavimentaciones con concreto rígido y pavimentaciones con piedra laja emboquillado con concreto, dentro de la zona urbana de Lircay, se tomó como muestra aleatoriamente a dos calles construidas desde hace una década; siendo para la pavimentación con concreto hidráulico el Jr. Sicra construida el año 2001 y para la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto la Jr. Maravillas construida el año 2000, ambas pavimentaciones se encuentran conformadas por las capas de subrasante, sub base, base y superficie de rodadura, siendo la última capa compuesto de materiales distintos y cumpliendo cada capa una función específica, como es el de resistir las cargas ocasionadas por los vehículos que transitan, generando un comportamiento de modo plástico y siendo algunas deterioradas más que otras.

Se observó que estos tipos de pavimentaciones generalmente son aplicadas dentro de la zona de Lircay, por lo que se consideró de mucha importancia realizar un análisis comparativo, tanto técnico como económico; considerando dentro del técnico la influencia de las pavimentaciones a nivel de superficie de rodadura en la resistencia a compresión; mientras en lo económico, la incidencia en la optimización del presupuesto para la ejecución del proyecto, analizando los costos unitarios de cada partida, deduciéndose de dicha comparación la conveniencia de la realización de un proyecto determinado a futuro, optimizando los recursos y cumpliendo su vida útil para el cual fue diseñado siendo generalmente para 20 años.

Inicialmente se realiza una breve introducción sobre el pavimento en general considerando su función, consideraciones para determinar el tipo de pavimento, análisis de tránsito; dentro del pavimento rígido sus tipos, su estructura, diseño y ejecución (tomándose en cuenta a nivel de la superficie de rodadura); seguidamente la resistencia a compresión, los ensayos esclerómetros y costos en obra. Toda esta teoría nos permitió finalizar el trabajo

de investigación realizando un análisis comparativo técnico y económico para ambas pavimentaciones tomadas como muestra, dentro de la zona de Lircay.

Existen diversos métodos por verificación de las resistencias de estructuras, en este caso de las pavimentaciones, considerándose los ensayos destructivos y no destructivos, por lo que se optó por realizar el ensayo esclerométrico hallándose dentro del no destructivo, además es empleado por el mayor número de países por ser económico y requerir menor tiempo. Se realizó el ensayo mediante el uso del Martillo de Smith sobre las pavimentaciones mencionadas para estimar la resistencia a compresión simple a partir de la resistencia al rebote de la superficie ensayada.

De igual manera se realiza el análisis de costos de cada tipo de pavimentación, considerando las partidas más significativas en los costos de ejecución en cada proyecto, para finalmente obtener los costos totales; para ello se toma como base los datos de los expedientes brindados por la Municipalidad Provincial de Angaraes.

Finalmente se hace uso del método estadístico la prueba de Z, para validar las hipótesis planteadas en el trabajo de investigación,

El pavimento se degrada por efecto del tránsito vehicular principalmente, por lo que deben recibir una atención adecuada para que continúen prestando un buen servicio, para lo cual se realizó el conteo de tráfico de cada pavimento tomado como muestra, obteniendo el índice promedio diario IMD para verificar el tipo de tráfico vehicular en la actualidad.

Finalmente, se llegó a las conclusiones respecto a la conveniencia del uso de cada tipo de pavimento a nivel de superficie de rodadura, dependiendo de las condiciones del proyecto y los costos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Las redes viales del Perú, Bolivia y Ecuador, especialmente de tercer orden y de caminos vecinales, poseen un elevado número de caminos empedrados, estimándose que en estos 3 países existen 4865 Km de vías con esta clase de capa de rodadura. Ecuador es el país que tiene más empedrados, llegando a un total de 3415 Km aproximadamente el 8% de la red vial, siguiéndole Bolivia con 1250 Km y Perú con 200 Km. La durabilidad de estos caminos es mucho mayor que otras superficies de rodadura. Existen empedrados que sin mantenimiento alguno, y con niveles de tráfico bajos, han resistido más de 30 años. Las características de los empedrados, permiten que con bajos niveles de mantenimiento, o dicho de otra forma, con un mantenimiento rutinario estrictamente necesario, se garantice la durabilidad del camino y la provisión de fuentes permanentes de trabajo. Muchos gobiernos regionales y municipales de los países andinos priorizan en sus planes de inversión para el desarrollo de la infraestructura vial los caminos empedrados.¹
- La provincia de Angaraes viene creciendo a nivel demográfico, económico y social, ello implica la mejora del ornato de la ciudad y la optimización del transporte en nuestra localidad. A su vez la pavimentación de las vías de comunicación nace de la necesidad de mejorar la infraestructura vial, siendo un

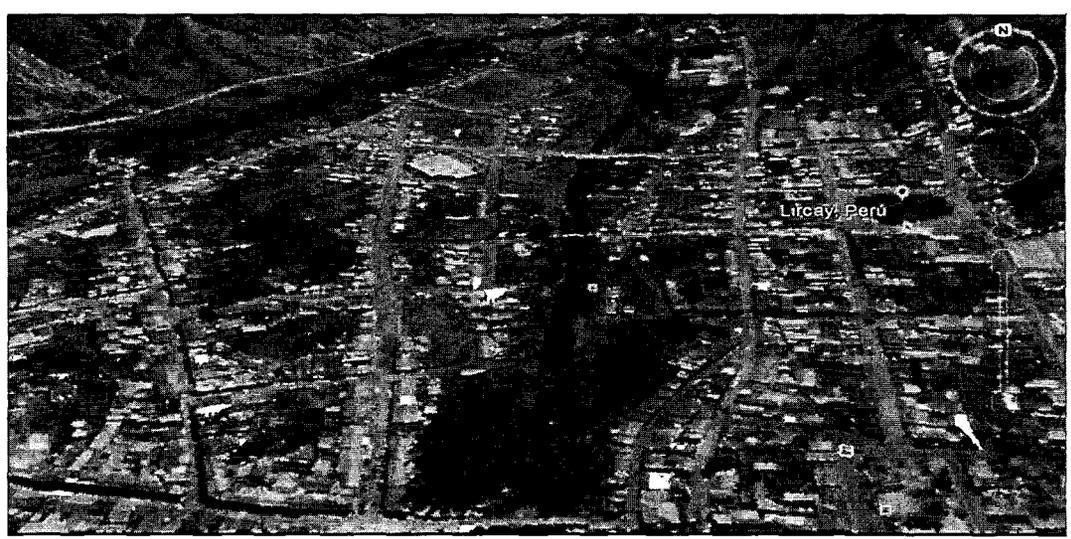
¹ ARGÜELLO GODOY, Julio. Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados. 2004.

factor importante para el crecimiento de la producción, actividades, la economía de los países y el desarrollo social.

1.1.1 Descripción de la situación actual

Actualmente está conformado por 05 sectores urbanos que poseen un sistema de vías que ocupan 8.70 hectáreas; de estos los sectores de Pueblo Nuevo y Bellavista; son los que tienen mayor área ocupada por vías públicas (30.2% - 40.6%); de las tres categorías de estado de conservación de las vías urbanas el mayor porcentaje (40.7%) se encuentra pavimentado, convirtiéndose este en un potencial que favorece la fluidez del transporte dentro del distrito de Lircay; la mayor concentración de las vías pavimentadas se ubican en la zona central, donde se concentra el mayor flujo de transporte urbano.

Figura N° 01: Vista Panorámica de la zona urbana del distrito de Lircay. Fuente: Google Earth.



- Existen algunas zonas dentro del radio urbano del distrito de Lircay, pavimentos con **materiales propios de la región**, como las piedras lajas, canto rodado y otros materiales, estos se caracterizan por embellecer la ciudad.

Fotografía N° 01:



En la vista fotográfica se observa el embellecimiento a través del empedrado del Jr. Maravillas.

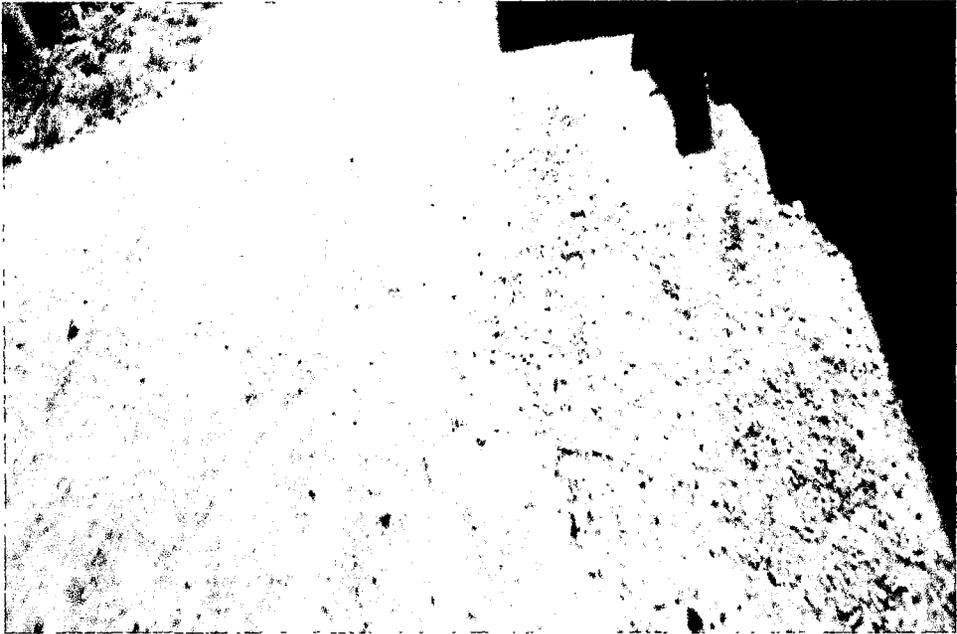
- En el sector de Pueblo Viejo se encuentran todavía vías sin pavimentar, el mayor porcentaje 30% se encuentra afirmada, de estas vías el 100% son peatonales.

Fotografía N° 02:



Se muestra una de las vías no pavimentadas en el sector de Pueblo Viejo.

Fotografía N° 03:



**Se muestra una de las vías no pavimentadas en el sector de Pueblo Viejo
- Vía de Evitamiento.**

- El sistema vial integral es la consolidación de una propuesta de renovación urbana, que logra articular toda una ciudad a través de la infraestructura construida y dotar de los requisitos mínimos para que pueda desarrollarse de manera competitiva. Para ello se han planteado tres niveles de intervención y son:
 - Nivel macro (que va a contener las vías arteriales en las que van a transitar vehículos de carga pesada y transporte masivo).
 - Nivel meso (contiene a las vías colectoras por donde van a transitar los vehículos particulares y de carga liviana).
 - Nivel micro (que contiene a las vías peatonales que une el circuito turístico de la zona monumental del centro histórico).

Tabla N° 01: Monitoreo de las construcciones de las vías pavimentadas en funcionamiento y su estado físico actual en la zona urbana del distrito de Lircay.

CALLE	TIPO DE PAVIMENTO (de acuerdo al material en la superficie de rodadura)	TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE DETERIORO	ANTIGÜEDAD
Jr. Maravillas	Piedra laja emboquillado con concreto	Presenta fisuras inducidas	Mediano	2000
Av. Ancara	Piedra laja emboquillado con concreto	Presenta descascaramiento y fisuras capilares.	Alto	2006
Jr. Sicra	Concreto hidráulico	Presenta losas sub divididas y hundimiento de una de las esquinas.	Alto	2001
Jr. Libertad	Concreto hidráulico	Presentan hundimientos y fisuras transversales.	Alto	2005
Av. 9 de Octubre	Concreto hidráulico	Presentan principalmente baches de grandes dimensiones a lo largo de 02 años de concreto.	Alto	2002

Fuente: Visita a campo.

- Del cuadro se puede concluir que las pavimentaciones urbanas con superficie de rodadura de concreto hidráulico y piedra laja emboquillado con concreto de la zona urbana del distrito de Lircay; muestran diferentes tipos de deterioros y/o

fallas de acuerdo a la inspección ocular realizada, debido a que es una de las causas principales a la pérdida de soporte en los pavimentos.

- El problema principal es definir qué tipo de material se ha de emplear en las pavimentaciones urbanas dentro del distrito de Lircay, siendo los materiales predominantes de los pavimentos existentes, a nivel de superficie de rodadura, el concreto hidráulico y la piedra laja, las cuales influyen en la resistencia al tránsito vehicular mediano y liviano de los pavimentos y en la optimización del presupuesto de los proyectos. Actualmente no se cuenta con parámetros técnicos y económicos para la correcta elección del tipo de material a emplear en una pavimentación urbana. Por ello se pretende realizar el estudio comparativo entre una pavimentación con concreto hidráulico y una pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto a nivel de superficie de rodadura.

1.1.2 Delimitación de la investigación

En el presente trabajo de investigación se consideró proyectos de pavimentación ejecutados y que actualmente se hallan en funcionamiento dentro del ámbito de la zona urbana del Distrito de Lircay, ciudad que se encuentra en la Región de Huancavelica a 3278 m.s.n.m.

Está referida al estudio comparativo entre las pavimentaciones con concreto hidráulico y las pavimentaciones con piedra laja emboquillado con concreto.

Pretende dar a conocer la alternativa más conveniente respecto a la resistencia a la compresión y el costo para la ejecución del proyecto. Se limitó a establecer la alternativa del tipo de pavimentación a emplear, mediante estimación de costos y comparación de resultados con procedimientos comunes como el ensayo en campo empleando el esclerómetro (martillo de Smith).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema de investigación

¿Cómo influye la pavimentación con concreto hidráulico y pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto, en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular y cuál será su incidencia en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito del Lircay?

1.2.2 Problemas específicos

- ❖ ¿Cómo influye la pavimentación con concreto hidráulico en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular en la zona urbana del Distrito de Lircay?
- ❖ ¿Cómo influye la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- ❖ ¿Cuál será su incidencia de la pavimentación con concreto hidráulico en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito de Lircay?
- ❖ ¿Cuál será su incidencia de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito de Lircay?
- ❖ ¿Cuál será la alternativa más conveniente considerando los parámetros técnicos y económicos, entre una pavimentación con concreto hidráulico y una pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la zona urbana del Distrito de Lircay?

1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO

1.3.1 Objetivo general:

Determinar la influencia de la pavimentación con concreto hidráulico y pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular y la incidencia en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito de Lircay.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar la influencia de la pavimentación con concreto hidráulico en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- Determinar la influencia de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- Determinar la incidencia de la pavimentación con concreto hidráulico en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- Determinar la *incidencia* de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la optimización del presupuesto del proyecto en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- Determinar la alternativa más conveniente considerando los parámetros técnicos y económicos, entre una pavimentación con concreto hidráulico y una pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la zona urbana del Distrito de Lircay.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Existe en la actualidad, dentro del radio urbano del Distrito de Lircay, pavimentaciones con concreto hidráulico deteriorados en mayor proporción que las pavimentaciones con piedra laja emboquillados con concreto, interrumpiendo el tránsito vehicular fluido; siendo conocedores de la zona hemos realizado el presente proyecto de investigación, para dar a conocer a los estudios posteriores los alcances técnicos y económicos que nos ayuden a elegir el tipo de pavimentación a emplear, a nivel de superficie de rodadura (concreto hidráulico o con piedra laja emboquillado con concreto) con respecto a su resistencia al tránsito vehicular y el costo que se requiere para la ejecución de cada proyecto, conociendo estos indicadores se logrará optimizar los recursos a invertir en cada tipo de proyecto, cumpliendo su vida útil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En la búsqueda de información relevante y relacionada a la presente investigación se han encontrado investigaciones previas cuyas conclusiones fundamentales son las siguientes:

- **“Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros a edades tempranas mediante el empleo del esclerómetro”.** ROJAS REYES, Remigio. 2010. El esclerómetro nos da una aproximación a la resistencia debido a que ciertos factores como humedad, porosidad, forma de especímenes, colocación de especímenes, y textura de la superficie afectan de manera directa el número de rebote obtenido mediante el esclerómetro.

Se puede concluir de acuerdo a los resultados obtenidos que el ensayo con el esclerómetro en cilindros de concreto a edades tempranas puede ser utilizado de manera confiable para conocer zonas débiles del concreto, uniformidad del concreto y una aproximación de la resistencia a compresión del concreto tomando en cuenta todas las precauciones para que el ensayo se lleve adecuadamente.²

² ROJAS REYES, Remigio. 2010. “Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros a edades tempranas mediante el empleo del Esclerómetro”.

- **Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido.** TORRES SIRION, Rafael Alejandro. 2006. "Para obtener un análisis completo del estudio comparativo de costos, deberá tomarse en cuenta, además de los costos de ejecución, los costos de mantenimiento para ambos pavimentos".³
- **Análisis comparativo de costos en la rehabilitación de pavimentos para carreteras.** MALTEZ ROMILLO, Juan Carlos. 2006. "El análisis de costo de ciclo de vida, ACCV, es una metodología que sirve para comparar diseños alternativos de pavimento. Es un proceso económico usado para establecer qué alternativa tiene el mejor valor mediante el estudio de los diferentes costos en que se incurre a lo largo de la vida útil de una carretera".⁴

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PAVIMENTOS

2.2.1.1 **Definición.-** Conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad para tener una operación rápida y cómoda.⁵

2.2.1.2 **Función.-** Es de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiado, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a la subrasante los esfuerzos producidos por las cargas de tráfico. ⁶

³TORRES SIRION, Rafael Alejandro. 2007. "Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento Rígido". 2007.

⁴ MALTEZ ROMILLO, Juan Carlos. 2006. "Análisis Comparativo de Costos en la Rehabilitación de Pavimentos para Carreteras".

⁵ ROMERO ORDOÑEZ, Ramiro y ZAGACETA GUTIERRES. Iván D. 2008. "El Pavimento de Concreto Hidráulico Premezclado en la Modernización y Rehabilitación de la Av. Arboledas".

⁶JOSÉ CÉSPED, Abanto. 2002. "Los Pavimentos en las Vías Terrestres".

2.2.1.3 Elección del tipo de pavimento

- Formular diferentes alternativas equivalentes de diseño para las mismas condiciones de tráfico y de resistencia del suelo.
- Estrategia adoptada para el mantenimiento y/o reforzamiento.
- Evaluar el costo inicial de construcción, de mantenimiento y/o reforzamiento, el valor residual de la estructura al término de la vida útil calculada, los costos del usuario (consumo de combustible, gastos de mantenimiento del vehículo, llantas, confort, etc.) de tal manera que se obtengan los costos totales de cada uno de las diversas alternativas de diseño.
- El tipo de pavimento será el de menor costo total, que incluye el costo social del impacto ambiental.⁷

2.2.1.4 Consideraciones para su determinación

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que este se incrementa conforme el desarrollo tecnológico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas.

Por ello es necesaria la selección de apropiados factores para el diseño estructural de los diferentes tipos de pavimentos, por lo que deberá tomarse en cuenta la clasificación de la carretera dentro de la red vial, la selección de los diferentes tipos de materiales a utilizarse, el tránsito y los procesos de construcción.

⁷ MORA Q, Samuel. FIC – UNI. ASOCCEM. "Pavimentos de Concreto Hidráulico" 2006. III Seminario Nacional de Gestión y Normatividad Vial.

2.2.1.4.1 Clasificación de calles y carreteras

La clasificación es el proceso por medio del cual las calles y carreteras son organizadas dentro de un sistema funcional, de acuerdo con el carácter de servicio que prestan y que ayude a seleccionar los factores apropiados de tránsito y otras variables que sean necesarias, según se muestran en la tabla:

Tabla N° 02: Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodadura.

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000–3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR – Autopistas Regionales	6 – 8	Pav.	4 – 6	Pav.				
TS – Troncales Suburbanas	4	Pav.	2 - 4	Pav.	2	Pav.		
TR – Troncales Rurales	4	Pav.	2 – 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras Suburbanas			2 - 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

TPDA = Tránsito promedio diario anual; C= Número de carriles; S= Superficie de rodadura; Pav. = pavimentadas

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2,001

2.2.1.4.2 Selección de variables y diseño

Las propiedades de la subrasante, características de los materiales, importancia del tránsito, factores de medio ambiente y otro tipo de variables, son las que intervienen en el diseño de estructuras de pavimento. Muchas veces, para caminos y calles de menor importancia, la información no está disponible o actualizada, por lo que es necesario recabarla.

Algunos valores de diseño están especificados y pueden variar con el tipo de carretera o nivel de tránsito. Para tránsito pesado se han

seleccionado valores más conservadores con resultado de espesores mayores.

2.2.1.4.3 Criterios de diseño

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio módulo de elasticidad.

La evaluación de tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80 kN (18,000 lbs) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles. Para propósitos de análisis estas dobles llantas equivalen a dos platos circulares con un radio de 115 mm ó 4.52'' espaciados 345 mm ó 13.57'' centro a centro, correspondiéndole 80 kN ó 18,000 lbs de carga al eje y 483 KPa ó 70 PSI de presión de contacto sobre la superficie.

Este procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y sub bases. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

Las cargas colocadas sobre la superficie de un pavimento producen dos esfuerzos que son críticos para los propósitos de diseño; un esfuerzo horizontal de tensión E_t1 en la parte de abajo de la capa de superficie y el esfuerzo de compresión vertical E_c1 actuando sobre la superficie de la subrasante.

Si el esfuerzo de tensión horizontal es excesivo, pueden resultar grietas en la capa de rodadura. Si la fuerza vertical de compresión es excesiva, resultarán deformaciones permanentes en la estructura de pavimento debido a la sobre carga en la subrasante. Una excesiva deformación de las capas solamente puede ser controlada por las limitaciones de las propiedades de los materiales.

2.2.1.4.4 **Características de los Materiales**

Todos los materiales están caracterizados por el módulo de elasticidad, llamado módulo dinámico en mezclas asfálticas, módulo de resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos. Para simular los efectos de temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas.

El módulo dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un período de seis meses es el utilizado para la elaboración de las tablas de diseño, ya que períodos de fraguado arriba de los 24 meses no tienen ninguna influencia significativa sobre el espesor que se muestra en las tablas de diseño.

En el caso de suelos estabilizados, las características mecánicas de los materiales cambian sustancialmente con la aplicación de productos estabilizadores, ya que el módulo de resistencia se incrementa en valores apreciables. Es necesario que al utilizar productos estabilizadores de suelos, se efectúen los correspondientes estudios de laboratorio, para determinar los límites

adecuados de las cantidades o porcentajes hasta los cuales puede llegar su uso.

Cuando se utiliza cemento como material estabilizador, es conveniente saber la cantidad máxima a utilizar, en función de los cambios físicos que experimentan los suelos, ya que una cantidad alta de cemento, hace que los materiales obtengan valores altos de resistencia mecánica, pero también contracciones fuertes que se traducen en agrietamientos, nada deseables para la estructura de pavimento, por el hecho de que estas grietas se reflejarán posteriormente en la superficie de rodadura.

Al utilizar otro tipo de estabilizadores, tales como: cal, bitúmenes, puzolanas, químicos, etc. también es necesario efectuar pruebas de laboratorio para analizar cuáles son las limitantes de uso de cada producto.

Otras ventajas que se obtienen con los productos estabilizadores, es que pueden utilizar más de uno a la vez, lo que redunda en beneficio del material estabilizado, por el hecho de obtener en la mezcla mejores características de comportamiento, como son: resistencia en poco tiempo, impermeabilidad, reducción en los límites de consistencia, grietas muy pequeñas, etc.

2.2.1.4.5 Efectos de la temperatura en la Estructura de Pavimento

En adición a los efectos de cambio de temperatura a través del año, en el módulo dinámico de las mezclas asfálticas, las curvas de diseño también resultan afectadas con respecto a los efectos de temperatura sobre el módulo de resistencia de la subrasante y los materiales granulares de la sub base y base. Para la Subrasante esto

se realiza al incrementarse el módulo de resistencia de la misma en el período de enfriamiento y se reduce cuando se produce calentamiento.

2.2.1.4.6 Costos de ciclo de vida

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio de costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimentos diseñados, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimentos más convenientes a construir, tomando también en consideración las políticas de mantenimiento.⁸

2.2.1.5 Análisis de tránsito

El método o técnica más utilizada para el diseño de estructuras de pavimento de rodadura tanto asfálticas como de concreto hidráulico, siempre se refiere a la AASHTO; en este método la información requerida en las ecuaciones de diseño incluye la carga por eje, la configuración del mismo, así como el número de aplicaciones o paso de este eje sobre la superficie de pavimento.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 kN o 18 kips (Kip= 1000 kgs.= 10 KN), por lo que se les denominará "Equivalent simple axial load" o ESAL (ejes equivalentes).

⁸ CORONADO ITURBIDE, Jorge. 2002. Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos. Cap.2.

2.2.1.5.1 Volúmenes de tránsito

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- ✓ Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- ✓ Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan dentro de ella.
- ✓ Evaluar índices de accidentes.
- ✓ Servir de base para la clasificación de caminos.
- ✓ Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- ✓ Proyectar sistemas de control de tránsito.
- ✓ Elaborar sistemas de mantenimiento.
- ✓ Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- ✓ Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos:

- ❖ El tránsito medio diario general.
- ❖ El tránsito medio diario de camiones.

Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos.

Es necesario que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta, hasta donde sea posible, los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán más adelante con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectada.

El tránsito cambia según el día de la semana, cambia según la semana del mes, cambia según la estación o época del año, cambia según los días de descanso o asueto, etc.

Por lo que es necesario, hasta donde sea posible, contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

Dentro de estas consideraciones también es necesario conocer las tasas de crecimiento o incremento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

2.2.1.5.2 Consideraciones para cálculo de ejes equivalentes de diseño

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen, a su vez, diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos.

Esta carga uniformizada según AASHTO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga LEF (Load Equivalent Factor). El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de ESAL's de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHTO.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad (PSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index).

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

- Índice de serviciabilidad inicial:
Po= 4.5 para pavimentos rígidos.
Po= 4.2 para pavimentos flexibles.

- Índice de serviciabilidad final:
 Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes.
 Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index).

Para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (plg/milla).

Para correlacionar el Índice de serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)}$$

En donde:

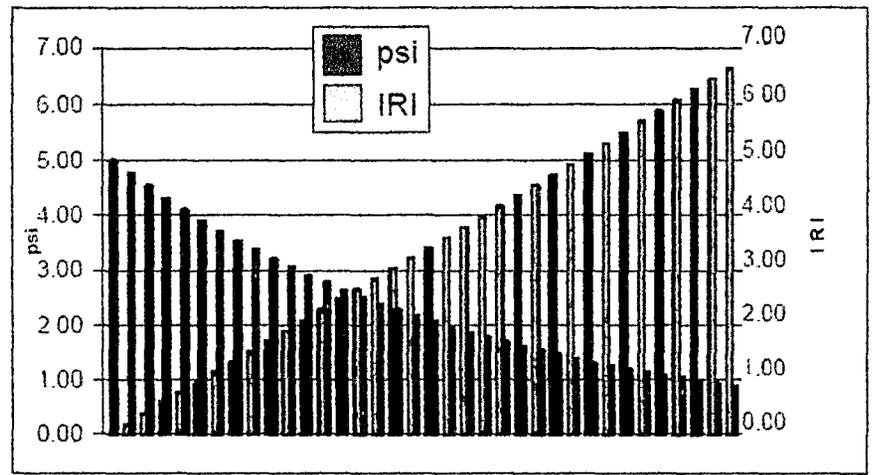
PSI = Índice de serviciabilidad

IRI = Índice internacional de rugosidad

E = 2.71828183 (base de los logaritmos neperianos)

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es en pulgadas por milla.

Figura N° 02: Correlación PSI – IRI.



El factor equivalente de carga (LEF), es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

$$LEF = (\text{N}^\circ \text{ de ESAL's de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad} / \text{N}^\circ \text{ de ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}).$$

Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEFs y que también cambia según el SN (Structural Number, número estructural) en pavimentos flexibles y según el espesor de la losa en pavimentos rígidos, además que también cambia según el valor del índice de serviciabilidad asumido para el diseño.

Entonces, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se van a imponer; también

se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera.

Las siguientes tablas indican los diferentes LEFs para distintos tipos de cargas por eje, para distintos tipos de pavimentos y distintos índices de serviciabilidad finales.

Tabla N°03: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt = 2.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.48	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Tabla N° 04: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt = 2.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.028	0.028	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.210	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.318	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.448	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439	0.439
28	0.829	0.826	0.822	0.820	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818
30	0.952	0.951	0.950	0.950	0.950	0.949	0.949	0.949	0.949
32	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
34	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
36	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
38	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
40	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
42	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
44	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
46	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
48	6.94	6.78	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
50	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.89	8.93	8.95
52	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
54	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
56	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
58	16.5	15.9	15.9	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
60	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
62	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
64	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
66	29.9	28.8	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
68	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
70	39.2	37.5	36.9	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
72	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
74	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
76	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
78	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
80	72.5	69.3	67.9	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.6
82	81.3	77.8	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
84	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
86	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
88	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
90	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
92	138.	132.	129.	129.	129.	131.	134.	137.	141.

Tabla N° 05: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt = 2.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.270	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.261
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.600	0.598	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.06	5.08	5.09	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.76	9.46	9.49	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.8	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.8	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.9	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

Tabla N° 06: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, Pt = 2.5

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
16	0.634	0.623	0.610	0.604	0.601	0.599	0.599	0.599	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
34	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
36	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
38	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

Tabla N°07: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt = 2.5

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
10	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.031	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.057	0.052	0.049	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
18	0.155	0.143	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.234	0.220	0.211	0.208	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.340	0.325	0.313	0.308	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303
24	0.475	0.462	0.450	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439
26	0.644	0.637	0.627	0.622	0.620	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.855	0.854	0.852	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.98	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.90	2.91	3.03	3.12	3.18	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.98
44	5.26	5.01	5.18	5.48	5.75	5.92	6.01	6.08	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.36	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.96	8.92
50	9.11	8.50	8.65	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.8	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.6	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.9	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.9	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.8	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	59.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.8	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	68.0	72.3
90	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
92	82.0	73.9	70.2	69.8	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
94	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	92.0	96.1
96	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
98	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	118.
99	125.	112.	106.	105.	108.	110.	115.	123.	130.

Tabla N° 08: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt = 2.5

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.020	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.053	0.048	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.080	0.073	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.118	0.107	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.163	0.151	0.144	0.141	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139
26	0.222	0.209	0.200	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192
28	0.295	0.281	0.271	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262
30	0.384	0.371	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349
32	0.490	0.480	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458
34	0.616	0.609	0.601	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592
36	0.765	0.762	0.759	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.939	0.941	0.948	0.948	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.14	1.15	1.18	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.38	1.38	1.41	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.65	1.65	1.70	1.74	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
46	1.97	1.96	2.03	2.09	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16
48	2.34	2.31	2.40	2.49	2.55	2.59	2.59	2.60	2.60
50	2.76	2.71	2.81	2.94	3.02	3.07	3.09	3.10	3.11
52	3.24	3.15	3.27	3.44	3.56	3.62	3.66	3.69	3.69
54	3.79	3.66	3.79	4.00	4.16	4.26	4.30	4.33	4.34
56	4.41	4.23	4.37	4.63	4.84	4.97	5.03	5.07	5.09
58	5.12	4.87	5.00	5.32	5.59	5.76	5.85	5.90	5.93
60	5.91	5.59	5.71	6.08	6.42	6.64	6.77	6.84	6.87
62	6.80	6.39	6.50	6.91	7.33	7.62	7.79	7.88	7.93
64	7.79	7.29	7.37	7.82	8.33	8.70	8.92	9.04	9.11
66	8.90	8.28	8.33	8.83	9.42	9.89	10.17	10.33	10.42
68	10.1	9.4	9.4	9.9	10.6	11.2	11.5	11.7	11.9
70	11.5	10.6	10.6	11.1	11.9	12.6	13.0	13.3	13.5
72	13.0	12.0	11.8	12.4	13.3	14.1	14.7	15.0	15.2
74	14.6	13.5	13.2	13.8	14.8	15.8	16.5	16.9	17.1
76	16.5	15.1	14.8	15.4	16.5	17.6	18.4	18.9	19.2
78	18.5	16.9	16.5	17.1	18.2	19.5	20.5	21.1	21.5
80	20.6	18.8	18.3	18.9	20.2	21.6	22.7	23.5	24.0
82	23.0	21.0	20.3	20.9	22.2	23.8	25.2	26.1	26.7
84	25.6	23.3	22.5	23.1	24.5	26.2	27.8	28.9	29.6
86	28.4	25.8	24.9	25.4	26.9	28.9	30.5	31.9	32.8
88	31.5	28.6	27.5	27.9	29.4	31.5	33.5	35.1	36.1
90	34.8	31.5	30.7	30.7	32.2	34.4	36.7	38.5	39.9

Tabla N° 09: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simple, Pt =3.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.045	0.038	0.034	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
12	0.228	0.202	0.186	0.179	0.176	0.174	0.174	0.174	0.173
14	0.408	0.378	0.355	0.344	0.340	0.337	0.337	0.337	0.337
16	0.660	0.640	0.619	0.608	0.603	0.600	0.599	0.599	0.599
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.46	1.47	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
22	2.07	2.06	2.18	2.29	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41
24	2.90	2.81	3.00	3.23	3.38	3.47	3.51	2.53	3.54
26	4.00	3.77	4.01	4.40	4.70	4.87	4.96	5.01	5.04
28	5.43	4.99	5.23	5.80	6.31	6.65	6.83	6.93	6.98
30	7.27	6.53	6.72	7.46	8.25	8.83	9.17	9.36	9.46
32	9.59	8.47	8.53	9.42	10.54	11.44	12.03	12.37	12.56
34	12.5	10.9	10.7	11.7	13.2	14.5	15.5	16.0	16.4
36	16.0	13.8	13.4	14.4	16.2	18.1	19.5	20.4	21.0
38	20.4	17.4	16.7	17.7	19.8	22.2	24.2	25.6	26.4
40	25.6	21.8	20.6	21.5	23.8	26.8	29.5	31.5	32.9
42	31.8	26.9	25.3	26.0	28.5	32.0	35.5	38.4	40.3
44	39.2	33.1	30.8	31.3	33.9	37.9	42.3	46.1	48.8
46	47.8	40.3	37.2	37.5	40.1	44.5	49.8	54.7	58.5
48	57.9	48.6	44.8	44.7	47.3	52.1	48.2	64.3	69.4
50	69.6	58.4	53.6	53.1	55.6	60.6	67.6	75.0	81.4

Tabla N° 10: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem, Pt =3.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0007	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
10	0.018	0.015	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.036	0.030	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.066	0.056	0.050	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.081	0.081	0.080
18	0.174	0.153	0.140	0.135	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.260	0.234	0.217	0.209	0.205	0.204	0.203	0.203	0.203
22	0.368	0.341	0.321	0.311	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303
24	0.502	0.479	0.458	0.447	0.443	0.440	0.440	0.439	0.439
26	0.664	0.651	0.634	0.625	0.621	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.859	0.857	0.853	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849
30	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.38	1.38	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51
34	1.72	1.71	1.80	1.88	1.93	1.95	1.98	1.97	1.97
36	2.13	2.10	2.23	2.36	2.45	2.49	2.51	2.52	2.52
38	2.62	2.54	2.71	2.92	3.06	3.13	3.17	3.19	3.20
40	3.21	3.05	3.26	3.55	3.76	3.89	3.95	3.99	4.00
42	3.90	3.65	3.87	4.28	4.58	4.77	4.87	4.92	4.95
44	4.72	4.35	4.57	5.08	5.50	5.78	5.94	6.02	6.08
46	5.68	5.16	5.38	5.95	6.54	6.94	7.17	7.29	7.36
48	6.80	6.10	6.25	6.93	7.69	8.24	8.57	8.76	8.86
50	8.09	7.17	7.28	8.03	8.96	9.70	10.17	10.43	10.58
52	9.57	8.41	8.40	9.24	10.38	11.32	11.86	12.33	12.54
54	11.3	9.8	9.7	10.6	11.9	13.1	14.0	14.5	14.8
56	13.2	11.4	11.2	12.1	13.6	15.1	16.2	16.9	17.3
58	15.4	13.2	12.9	13.7	15.4	17.2	18.6	19.5	20.1
60	17.9	15.3	14.7	15.6	17.4	19.5	21.3	22.5	23.2
62	20.8	17.6	16.9	17.6	19.6	22.0	24.1	25.7	26.6
64	23.7	20.2	19.1	19.9	22.0	24.7	27.3	29.2	30.4
66	27.2	23.1	21.7	22.4	24.6	27.6	30.6	33.0	34.6
68	31.1	26.3	24.6	25.2	27.4	30.8	34.3	37.1	39.2
70	35.4	29.8	27.8	28.2	30.6	34.2	39.2	41.6	44.1
72	40.1	33.8	31.3	31.6	34.0	37.9	42.3	46.4	49.4
74	45.3	38.1	35.2	35.4	37.7	41.8	46.8	51.5	55.2
76	51.1	42.9	39.5	39.5	41.8	46.1	51.5	56.9	61.3
78	57.4	48.2	44.3	44.0	46.3	50.7	56.5	62.7	67.9
80	64.3	53.9	49.4	48.9	51.1	55.8	62.1	68.9	74.9
82	71.8	60.2	55.1	54.3	56.5	61.2	67.9	75.5	82.4
84	80.0	67.0	61.2	60.2	62.2	67.0	74.2	82.4	90.3
86	89.0	74.5	67.9	66.5	68.5	73.4	80.9	89.8	98.7
88	98.7	82.5	75.2	73.5	75.3	80.2	88.0	97.7	107.5
90	109.	91.	83.	81.	83.	89.	96.	106.	117.

Tabla N° 11: Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem, Pt =3.0

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.007	0.008	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.013	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.023	0.02	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.039	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.061	0.052	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043
20	0.091	0.078	0.071	0.068	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.132	0.114	0.104	0.100	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.183	0.161	0.149	0.143	0.140	0.139	0.139	0.138	0.138
26	0.248	0.221	0.205	0.198	0.195	0.193	0.193	0.192	0.192
28	0.322	0.298	0.277	0.268	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262
30	0.411	0.387	0.367	0.357	0.353	0.351	0.350	0.349	0.349
32	0.515	0.485	0.476	0.466	0.462	0.460	0.459	0.458	0.458
34	0.634	0.622	0.607	0.599	0.595	0.594	0.593	0.592	0.592
36	0.772	0.768	0.762	0.759	0.756	0.756	0.755	0.755	0.755
38	0.930	0.934	0.942	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951
40	1.11	1.12	1.15	1.17	1.18	1.18	1.18	1.19	1.18
42	1.32	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46
44	1.56	1.56	1.64	1.71	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78
46	1.84	1.83	1.94	2.04	2.10	2.14	2.15	2.16	2.16
48	2.16	2.12	2.26	2.41	2.51	2.56	2.58	2.59	2.60
50	2.53	2.45	2.61	2.82	2.96	3.03	3.07	3.09	3.10
52	2.95	2.82	3.01	3.27	3.47	3.58	3.63	3.66	3.68
54	3.43	3.23	3.43	3.77	4.03	4.18	4.27	4.31	4.33
56	3.98	3.70	3.90	4.31	4.65	4.86	4.98	5.04	5.07
58	4.59	4.22	4.42	4.90	5.34	5.62	5.78	5.86	5.90
60	5.28	4.80	4.99	5.54	6.03	6.45	6.66	6.78	6.84
62	6.06	5.45	5.61	6.23	6.89	7.36	7.64	7.80	7.88
64	6.92	6.18	6.29	6.93	7.76	8.38	8.72	8.93	9.04
66	7.89	6.98	7.05	7.78	8.70	9.44	9.91	10.18	10.33
68	8.96	7.89	7.87	8.66	9.71	10.61	11.20	11.55	11.75
70	10.2	9.0	8.8	9.6	10.8	11.9	12.6	13.1	13.3
72	11.5	10.0	9.8	10.6	12.0	13.2	14.1	14.7	15.0
74	12.9	11.2	10.9	11.7	13.2	14.7	15.8	16.5	16.9
76	14.5	12.5	12.1	12.9	14.5	16.2	17.5	18.4	18.9
78	16.2	13.9	13.4	14.2	15.9	17.8	19.4	20.5	21.1
80	18.2	15.5	14.9	15.6	17.4	19.6	21.4	22.7	23.5
82	20.2	17.2	16.4	17.2	19.1	21.4	23.5	25.1	26.1
84	22.5	19.1	18.1	18.8	20.8	23.4	25.8	27.6	28.6
86	25.0	21.2	19.9	20.6	22.6	25.5	28.2	30.4	31.6
88	27.6	23.4	21.9	22.5	24.6	27.7	30.7	33.2	35.0
90	30.5	25.8	24.1	24.6	26.8	30.0	33.4	36.3	38.3

2.2.1.5.3 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo conforme se establece en la tabla N° 12.

Tabla N° 12: Límite de peso por eje.

Tipo de Vehículo	Tipo de eje del tractor			Tipo de eje del semiremolque			Total Toneladas	
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje Simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje Simple	Doble rueda		Triple rueda
C2	5.00	10.00					15.00	
C3	5.00		16.50				21.50	
C4	5.00			20.00			25.00	
T2-S1	5.00	9.00			9.00		23.00	
T2-S2	5.00	9.00				16.00	30.00	
T2-S3	5.00	9.00				20.00	34.00	
T3-S1	5.00		16.00		9.00		30.00	
T3-S2	5.00		16.00			16.00	37.00	
T3-S3	5.00		16.00			20.00	41.00	
Otros	---	---	---	---	---	---	Variable	

Fuente: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, SIECA, 2000.
Resolución 02-01 COMITRAN XXIII.

Seguidamente en la tabla N° 13, se tiene el porcentaje de la tasa anual de crecimiento vehicular, que se usará y el período de diseño de la estructura de pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito. Hay que tener presente que el porcentaje de la tasa anual de crecimiento de vehículos se puede cambiar utilizando diferentes porcentajes, dependiendo del tipo de vehículo que se considere que va a aumentar o disminuir más que los otros.

Es importante tener un buen conteo del tránsito de la carretera en estudio.

Tabla N° 13: Factores de crecimiento de tránsito.

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Tabla D-20 AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1,993

2.2.1.5.4 Factor de distribución por dirección

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado.

Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc. Ver tabla N° 14.

Tabla N° 14 Factor de distribución por dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

2.2.1.5.5 Factor de distribución por carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, porque los vehículos pesados van en ese carril, ver tabla N° 15.

Tabla N° 15: Factor de distribución por carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

En las tablas N° 14 y N° 15, de existir un estudio específico para el proyecto, deberá usar los valores obtenidos en el mismo.

En la tabla N° 16 se dan valores de equivalencia entre las cargas sobre un eje, entre kN y lbs.⁹

⁹ CORONADO ITU

RBIDE, Jorge. 2002. Manual centroamericano para el diseño de pavimentos. Capítulo 3.

Tabla N° 16: Valores equivalentes en kN y lb.

Eje de carga bruta							
kN	lb	kN	lb	kN	lb	kN	lb
4.5	1000	63.4	14250	122.4	27500	161.3	40750
5.6	1250	64.5	14500	123.5	27750	162.5	41000
6.7	1500	65.6	14750	124.6	28000	163.6	41250
7.8	1750	66.8	15000	125.7	28250	164.7	41500
8.9	2000	67.9	15250	126.8	28500	165.8	41750
10.0	2250	69.0	15500	127.9	28750	166.9	42000
11.1	2500	70.1	15750	129.1	29000	168.0	42250
12.2	2750	71.2	16000	130.2	29250	169.1	42500
13.4	3000	72.3	16250	131.3	29500	170.2	42750
14.5	3250	73.4	16500	132.4	29750	171.4	43000
15.6	3500	74.5	16750	133.5	30000	172.5	43250
16.7	3750	75.7	17000	134.6	30250	173.6	43500
17.8	4000	76.8	17250	135.7	30500	174.7	43750
18.9	4250	77.9	17500	136.8	30750	175.8	44000
20.0	4500	79.0	17750	138.0	31000	176.9	44250
21.1	4750	80.1	18000	139.1	31250	178.0	44500
22.3	5000	81.2	18250	140.2	31500	179.1	44750
23.4	5250	82.3	18500	141.3	31750	180.3	45000
24.5	5500	83.4	18750	142.4	32000	181.4	45250
25.6	5750	84.5	19000	143.5	32250	182.5	45500
26.7	6000	85.7	19250	144.6	32500	183.6	45750
27.8	6250	86.8	19500	145.7	32750	184.7	46000
28.9	6500	87.9	19750	146.9	33000	185.8	46250
30.0	6750	89.0	20000	148.0	33250	186.9	46500
31.2	7000	90.1	20250	149.1	33500	188.0	46750
32.3	7250	91.2	20500	150.2	33750	189.2	47000
33.4	7500	92.3	20750	151.3	34000	190.3	47250
34.5	7750	93.5	21000	152.4	34250	191.4	47500
35.6	8000	94.6	21250	153.5	34500	192.5	47750
36.7	8250	95.7	21500	154.6	34750	193.6	48000
37.8	8500	96.8	21750	155.8	35000	194.7	48250
38.9	8750	97.9	22000	156.9	35250	195.8	48500
40.1	9000	99.0	22250	158.0	35500	196.9	48750
41.2	9250	100.1	22500	159.1	35750	198.0	49000
42.3	9500	101.2	22750	160.2	36000	199.2	49250
43.4	9750	102.4	23000	161.3	36250	200.3	49500
44.5	10000	103.5	23250	162.4	36500	201.4	49750
45.6	10250	104.6	23500	163.5	36750	202.5	50000
46.7	10500	105.7	23750	164.7	37000	203.6	50250
47.8	10750	106.8	24000	165.8	37250	204.7	50500
48.9	11000	107.9	24250	166.9	37500	205.8	50750
50.1	11250	109.0	24500	168.0	37750	207.0	51000
51.2	11500	110.1	24750	169.1	38000	208.1	51250
52.3	11750	111.3	25000	170.2	38250	209.2	51500
53.4	12000	112.4	25250	171.3	38500	210.3	51750
54.5	12250	113.5	25500	172.4	38750	211.4	52000
55.6	12500	114.6	25750	173.5	39000	212.5	52250
56.7	12750	115.7	26000	174.7	39250	213.6	52500
57.8	13000	116.8	26250	175.8	39500	214.7	52750
59.0	13250	117.9	26500	176.9	39750	215.8	53000
60.1	13500	119.0	26750	178.0	40000	217.0	53250
61.2	13750	120.2	27000	179.1	40250	218.1	53500
62.3	14000	121.3	27250	180.2	40500	219.2	53750

Eje de carga bruta		Eje de carga bruta		Eje de carga bruta		Eje de carga bruta	
kN	lb	kN	lb	kN	lb	kN	lb
240.3	54000	299.3	67250	358.2	80500	417.2	93750
241.4	54250	300.4	67500	359.3	80750	418.3	94000
242.5	54500	301.5	67750	360.5	81000	419.4	94250
243.6	54750	302.6	68000	361.6	81250	420.5	94500
244.8	55000	303.7	68250	362.7	81500	421.6	94750
245.9	55250	304.8	68500	363.8	81750	422.8	95000
247.0	55500	305.9	68750	364.9	82000	423.9	95250
248.1	55750	307.1	69000	366.0	82250	425.0	95500
249.2	56000	308.2	69250	367.1	82500	426.1	95750
250.3	56250	309.3	69500	368.2	82750	427.2	96000
251.4	56500	310.4	69750	369.4	83000	428.3	96250
252.5	56750	311.5	70000	370.5	83250	429.4	96500
253.7	57000	312.6	70250	371.6	83500	430.5	96750
254.8	57250	313.7	70500	372.7	83750	431.7	97000
255.9	57500	314.8	70750	373.8	84000	432.8	97250
257.0	57750	316.0	71000	374.9	84250	433.9	97500
258.1	58000	317.1	71250	376.0	84500	435.0	97750
259.2	58250	318.2	71500	377.1	84750	436.1	98000
260.3	58500	319.3	71750	378.3	85000	437.2	98250
261.4	58750	320.4	72000	379.4	85250	438.3	98500
262.6	59000	321.5	72250	380.5	85500	439.4	98750
263.7	59250	322.6	72500	381.6	85750	440.6	99000
264.8	59500	323.7	72750	382.7	86000	441.7	99250
265.9	59750	324.9	73000	383.8	86250	442.8	99500
267.0	60000	326.0	73250	384.9	86500	443.9	99750
268.1	60250	327.1	73500	386.0	86750	445.0	100000
269.2	60500	328.2	73750	387.2	87000	446.1	100250
270.3	60750	329.3	74000	388.3	87250	447.2	100500
271.5	61000	330.4	74250	389.4	87500	448.3	100750
272.6	61250	331.5	74500	390.5	87750	449.5	101000
273.7	61500	332.6	74750	391.6	88000	450.6	101250
274.8	61750	333.8	75000	392.7	88250	451.7	101500
275.9	62000	334.9	75250	393.8	88500	452.8	101750
277.0	62250	336.0	75500	394.9	88750	453.9	102000
278.1	62500	337.1	75750	396.1	89000	455.0	102250
279.2	62750	338.2	76000	397.2	89250	456.1	102500
280.4	63000	339.3	76250	398.3	89500	457.2	102750
281.5	63250	340.4	76500	399.4	89750	458.4	103000
282.6	63500	341.5	76750	400.5	90000	459.5	103250
283.7	63750	342.7	77000	401.6	90250	460.6	103500
284.8	64000	343.8	77250	402.7	90500	461.7	103750
285.9	64250	344.9	77500	403.8	90750	462.8	104000
287.0	64500	346.0	77750	405.0	91000	463.9	104250
288.1	64750	347.1	78000	406.1	91250	465.0	104500
289.3	65000	348.2	78250	407.2	91500	466.1	104750
290.4	65250	349.3	78500	408.3	91750	467.3	105000
291.5	65500	350.4	78750	409.4	92000	468.4	105250
292.6	65750	351.6	79000	410.5	92250	469.5	105500
293.7	66000	352.7	79250	411.6	92500	470.6	105750
294.8	66250	353.8	79500	412.7	92750	471.7	106000
295.9	66500	354.9	79750	413.9	93000	472.8	106250
297.0	66750	356.0	80000	415.0	93250	473.9	106500
298.2	67000	357.1	80250	416.1	93500	475.0	106750

Fuente: Generada por el Consultor

2.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO

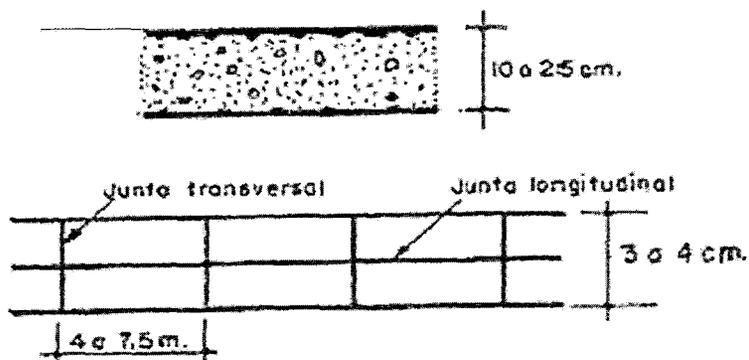
2.2.2.1 **Definición.**- Los pavimentos rígidos constan de un pavimento formado por una losa de concreto (cemento, arena gruesa, piedra chancada y agua) tendido en una sola capa, apoyada sobre diversas capas, algunas de ellas estabilizadas.

Está construida con concreto hidráulico, por lo que la rigidez y el módulo de elasticidad se basan en la capacidad de soporte de la losa, más que en la de la subrasante, por lo que en general, distribuye mejor las cargas hacia la estructura del pavimento.¹⁰

2.2.2.2 Tipos de pavimentos con concreto hidráulico

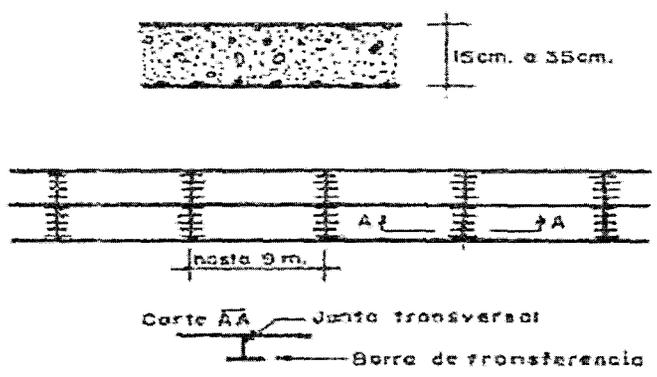
2.2.2.2.1 **Pavimentos de concreto hidráulico simple.**- El concreto asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad.

- a) *Sin elementos de transferencia de carga:* tráfico ligero, clima templado y se apoya sobre la subrasante, en condiciones severas requiere del cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga.



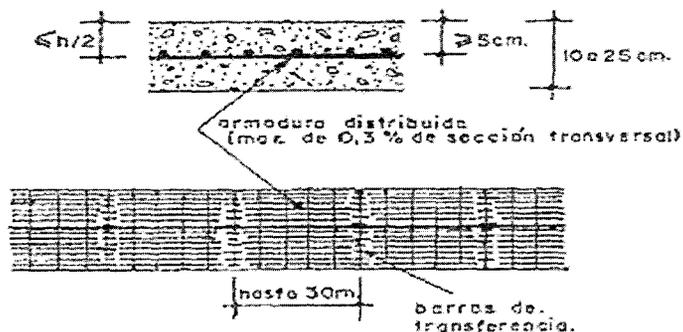
¹⁰ REVISTA CONSTRUIR AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE. 2008. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

b) *Con elementos de transferencia de carga o pasadores:* pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando las condiciones de deformación en las juntas, evitando los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento). Para tráfico mayor de 500 Ejes Eq. de 18 Kips.

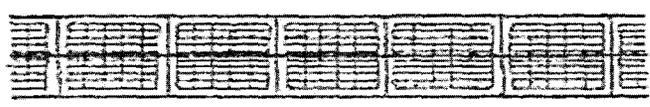
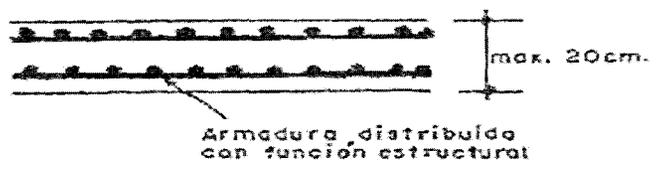


2.2.2.2.2 Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero

a) *No estructural.*- El refuerzo no cumple función estructural, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos. Tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5cm bajo la superficie. La sección máx. de acero es de 0.3% de la sección transversal del pavimento. Es restringida, mayormente a pisos industriales.



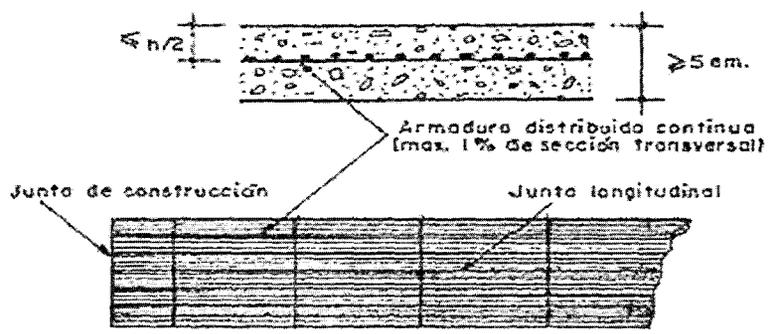
b) *Estructural*.- El refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión, por lo que es factible reducir el espesor de la losa hasta 10 o 12 cm. Se construyen en pisos industriales, las losas resisten cargas de gran magnitud.



2.2.2.2.3 Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo

El refuerzo asume todas las deformaciones, en especial las de temperatura, eliminando las juntas de contracción, quedando solo las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte. La fisura es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento de la estructura del pavimento.

Se han aplicado en la Parkway USA, zonas de clima frío, recubrimientos en pavimentos deteriorados.



2.2.2.4 Pavimentos de concreto hidráulico pre o postensado

Su desarrollo es limitado, la primera experiencia es en el Aeropuerto de Orly (Paris-1948) y posteriormente en el Aeropuerto de Galeao (Río de Janeiro).

El diseño trata de compensar su costo vs disminución del espesor, presenta problemas en su ejecución y mantenimiento.

2.2.2.5 Pavimentos de concreto reforzado con fibras

Incorpora fibras metálicas de propileno, carbón, etc. con excelentes resultados en aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo.

El diseño es más estructural y de buen comportamiento mecánico, pero sus costos y los cuidados requeridos en su ejecución, dificultan su desarrollo.¹¹

2.2.2.3 Estructura de pavimento

2.2.2.3.1 Suelo de fundación o subrasante

De su capacidad de soporte depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento.

- a. Si el terreno de fundación es pésimo debe desecharse y sustituirse por otro de mejor calidad.
- b. Si el terreno de fundación es malo habrá de colocarse una sub base de material seleccionado antes de poner la base.
- c. Si el terreno de fundación es bueno podrá prescindirse de la sub base.
- d. Si el terreno es excelente podrá prescindirse de la sub base y de la base¹²

¹¹ ING. SAMUEL MORA Q. FIC-UNI. ASOCEM. "Pavimentos de Concreto Hidráulico" 2006. III Seminario Nacional de Gestión y Normatividad Vial.

2.2.2.3.2 **Sub base.**- El material debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera. Si la función principal de la sub base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz No. 200 no será mayor del 8%.

- a. Servir de drenaje al pavimento.
- b. Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- c. Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas frías cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos, donde la ascensión del agua capilar es grande.

2.2.2.3.3 **Base.**- Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub base y por medio de esta a la subrasante. Las bases pueden ser granulares, o bien estar constituidas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro ligante. El material pétreo que se emplea en la base debe tener los siguientes requisitos:

- a. Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- b. No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.

¹² INGENIERIA CIVIL (APUNTES). Setiembre 2008.

- c. El porcentaje de desgaste, según el ensayo de " Los Ángeles " debe ser inferior a 50.
- d. La fracción del material que pase el tamiz N° 40, ha de tener un límite líquido del 25 %, y un índice de plasticidad inferior a 6.
- e. La fracción que pasa el tamiz N° 200, no podrá exceder de 1/2 y en ningún caso los 2/3 de la fracción que pasa el tamiz N° 40.
- f. La graduación del material de la base, es necesario que se halle dentro de los límites establecido en las normas o en el pliego de especificaciones técnicas.
- g. El C.B.R. de diseño debe ser superior al 50 %. Por lo general en la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava o mezclas estabilizadas, etc.

2.2.2.3.4 **Capa de rodadura.**- Su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores. Además evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos. ¹³

2.2.2.4 **Diseño del pavimento rígido**

Abarca el conocimiento de diferentes variables que intervienen directamente con el pavimento rígido, complementándose con un buen diseño de juntas, derivándose diversas metodologías, las cuales son:

- Teóricas: Son las que presentan la estructura del pavimento en función del estudio elástico de sistemas multicapas, sometidos a cargas estáticas.
- Empíricas: Se apartan de la mecánica y se limitan a la clasificación de suelos y tipos de pavimentos más usualmente experimentales.

¹³ INGENIERIA CIVIL (APUNTES). Febrero 2008.

- Semiempíricas o diseños mecanicistas-empíricos: Combinan los resultados anteriores, llevándose a cabo ensayos en laboratorio o vías de servicio.

Como resultado de estas metodologías, se han desarrollado técnicas que permiten diseñar las estructuras del pavimento en forma práctica y racional, por medio de los nomogramas de diseño. Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, se describen dos tipos de métodos:

- Método AASHTO
- Método PCA

2.2.2.4.1 Método AASHTO

Éste método se basa en el uso de una ecuación empírica, desarrollada por la observación de algunos pavimentos de concreto estudiados durante ensayos de la AASHTO sobre carreteras. Para este método, la fórmula de diseño a emplear, haciendo uso de los nomogramas, es la siguiente:

$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \text{Log}_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{10}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_i) \times \text{Log}_{10} \left[\frac{M_r C_{dr} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right]$$

Donde:

W_{82} = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño.

Z_r = Desviación normal estándar.

S_o = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

PSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = Índice de serviciabilidad.

M_r = Resistencia media del concreto (en MPa) a flexo-tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

C_d = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.

k = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

A. Variables a considerar

- a) *Ejes simples equivalentes de 82 kN a lo largo del período de diseño:*

En este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 82 kN (8.0 toneladas métricas ó 18,000 lbs.) los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento, durante su período de diseño.

Para el período de diseño, por el tipo de construcción que es, se necesita que este no sea menor a 20 años, considerando diferentes alternativas en el plazo que se decida, e incluso es recomendable que durante el período de análisis, se incluya por lo menos una rehabilitación.

- Conforme el número de carriles en ambas direcciones

No. de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 ó más	40

- Conforme el número de carriles en cada dirección

No. de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 kN en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

b) *Desviación normal estándar Z_r*

Esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño, sigue una ley de distribución normal con una media M_t y una desviación típica S_o y por medio de la siguiente tabla con dicha distribución se obtiene el valor de Z_r en función de un nivel de confiabilidad R , de manera que exista una posibilidad de que $1-R/100$ del tránsito realmente soportado sea inferior a $Z_r \times S_o$.

Tabla N° 17: Valores de Z_r en función de la confiabilidad R .

Confiabilidad R , %	Desviación normal estándar Z_r
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

c) *Error estándar combinado S_o*

Este valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento; es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_t .

- Para pavimentos rígidos: 0.30 – 0.40
- En construcción nueva: 0.35
- En sobre capas: 0.40

Tabla N° 18: Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

El producto de $Z_r \times S_o$ es un factor de seguridad que se aplica a la estimación del tránsito de una carretera. En la fórmula de diseño de la AASHTO se recomienda que el factor de seguridad esté en función del tránsito que circula sobre el carril de diseño.

Tabla N° 19: Tasas anuales de crecimiento con sus correspondientes factores de proyección.

Tasas de crecimiento anual de trafico, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.20
1.5	1.2	1.30
2	1.2	1.50
2.5	1.3	1.60
3	1.3	1.80
3.5	1.4	2.00
4	1.5	2.20
4.5	1.6	2.40
5	1.6	2.70
5.5	1.7	2.90
6	1.8	3.20

d) Variación del índice de serviciabilidad "ΔPSI"

Al escoger el índice de serviciabilidad final Pt se hace una selección del valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción del pavimento. Debido a que el índice de serviciabilidad final de un pavimento, es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para carreteras menos importantes sea de 2.0. Para escoger el valor del índice de serviciabilidad inicial (Po), es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de eso depende la calidad del pavimento. En los ensayos de pavimentos de la AASHTO, Po llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto. La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (Po) y el índice de serviciabilidad final (Pt) es $\Delta PSI = Po - Pt$.

e) Coeficiente de drenaje "Cd"

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad bastante altos. Depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, definiendo sus calidades:

Tabla N° 20: Calidad de drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Combinando todas las variables que intervienen para llegar a determinar el coeficiente C_d se llega a los siguientes valores:

Tabla N° 21: Valores de coeficiente de drenaje "Cd".

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

f) *Coefficiente de transmisión de carga (J)*

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas). Su valor depende de varios factores, tales como:

- Tipo de pavimento (en masa reforzado en las juntas, de armadura continua, etc.)
- Tipo de borde u hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal).
- La colocación de elementos de transmisión de carga (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados continuos, etc.). En función de estos parámetros, se indican los valores del coeficiente J.

Tabla N° 22: Valores de coeficiente de transmisión de carga (J).

Tipo de pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9 - 3.2		2.3 - 2.9	

Dentro de cada intervalo de variación que se ve en la tabla, se recomienda utilizar el valor más alto cuando menor sea el módulo de reacción de la subrasante k , también cuando sea elevado el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

g) *Módulo de elasticidad del concreto "E_c"*

Se puede determinar conforme al procedimiento descrito en la norma ASTM C-469 ó correlacionarlo con otras características del material, como lo es la resistencia a la compresión.

En algunos códigos se indica que para cargas instantáneas, el valor del módulo de elasticidad (E_c) se puede calcular conforme las ecuaciones siguientes:

Tabla N° 23: Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad "E_c".

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E _c (Mpa)	Módulo de Elasticidad E _c (kg/cm ²)
Grueso - Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

En donde:

F_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días en MPa o kg/cm² para obtener E_c en MPa o kg/cm²

h) *Factor de pérdida de soporte L_s"*

Es el valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la sub base, por corrientes de agua o por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto;

pero sí está en forma indirecta a través de la reducción del módulo de reacción efectivo de la superficie (subrasante) en que se apoyan las losas.

Tabla N° 24: Valores del factor de pérdida de soporte L_s por tipo de sub base o base.

Tipos de sub base o base	Factor de pérdida de soporte
Sub bases granulares tratadas con cemento (Mr. de 7,000 a 14,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Sub bases tratadas con cemento (Mr. de 3,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Bases asfálticas (Mr. de 2,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Sub bases estabilizadas con asfalto (Mr. de 300 a 2,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Estabilización con cal (Mr. de 150 a 1,000 Mpa)	1.00 a 3.00
Materiales granulares sin tratar (Mr. de 100 a 300 Mpa)	1.00 a 3.00
Suelos finos y sub rasantes naturales (Mr. de 20 a 300 Mpa)	2.00 a 3.00

En caso de utilizarse sub bases no erosionables, se llegara a producir en la subrasante asentamientos diferenciales, por el hecho de la existencia de arcillas higroscópicas o por la excesiva expansión durante las épocas de heladas, deben adoptarse valores de L_s entre 2.0 y 3.0.

i) Módulo de reacción "K"

El módulo de reacción (K) de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto o módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del módulo de resiliencia de la subrasante y sub base, así como el módulo de elasticidad de la sub base. Para determinar este, es factible la correlación con el uso de otros parámetros, tales como: CBR y valor R. Es recomendable que el módulo de elasticidad de la sub base no sea mayor de 4 veces el valor de la subrasante.

Debido a que el valor del módulo de resistencia (M_r) de la subrasante, cambia a lo largo del año debido a ciclos de enfriamiento y calentamiento, para determinar el valor efectivo del módulo de reacción de la subrasante (k), es necesario calcularlo para cada mes del año.¹⁴

2.2.2.4.2 Método PCA (*Portland cement association*)

Es un procedimiento empírico-mecanicista basado en respuestas de pavimentos matemáticamente calculado, calibrado en ensayo de campo y rutas de servicio, lanzado originalmente en 1966 y revisado en 1984.

Limita las tensiones desarrollada en el pavimento (criterio de verificación por fatiga) limitante para bajo tránsito pesado. Limita las deflexiones desarrolladas en bordes y esquinas (criterio de verificación por erosión) limitante para elevado tránsito pesado.¹⁵

Se aplica a diferentes tipos de pavimentos rígidos, tales como:

- Los pavimentos de concreto simple, se construyen sin acero de refuerzo y sin varillas de transferencia (dovelas) de carga en las juntas, pues la transferencia se logra a través del esfuerzo de corte proporcionado por los agregados situados en las caras agrietadas, que se forman por el corte de la junta entre losas contiguas; para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que la longitud de las losas sean cortas.

¹⁴ Coronado Iturbide, Jorge. 2002. Manual Centro Americano Para Diseño de Pavimentos.

¹⁵ H. CALO, Diego. 2008. Diseño de Pavimentos Rígidos.

- Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de carga (dovelas), se construyen sin acero de refuerzo, pero en las juntas de contracción se colocan varillas lisas, que tienen la función de transmitir cargas a las otras losas; para este caso, es necesario que las losas también sean cortas, con el objeto de tener mejor control sobre los agrietamientos.
- Los pavimentos de concreto reforzado tienen acero de refuerzo dentro de la losa, así como varillas de transferencia de carga (dovelas) en las juntas de contracción. Las separaciones en las juntas son mayores a las que se utilizan en pavimentos convencionales, por lo que es posible que se produzcan más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas debido al refuerzo de acero.
- Los pavimentos de refuerzo continuo, se construyen sin juntas de contracción por tener una alta y continua cantidad de acero de refuerzo en dirección longitudinal, desarrollando fisuras transversales en intervalos cortos; pero debido al acero de refuerzo producen un alto grado de transferencia de cargas en las caras de las fisuras.

A. Elementos Básicos

En pavimentos de concreto simple, el espaciamiento entre juntas no debe exceder de 4.50 metros, para que las losas tengan buen comportamiento. En pavimentos con dovelas, las losas no deben ser mayores de 6 metros y en pavimentos reforzados las losas no deben ser mayores de 12 metros, lo cual permite un buen comportamiento, pues espaciamientos mayores a estos producen problemas tanto en las juntas como en las fisuras transversales.

El procedimiento de diseño desarrollado por la PCA, establece varias condiciones, tales como:

- La transferencia de cargas, dependiendo del tipo de pavimento que se considere.
- El uso de hombros de concreto o asfalto adheridos al pavimento, permite reducir los esfuerzos de flexión y deflexiones, producidos por las cargas de los vehículos en los bordes de las losas.
- Para reducir los esfuerzos que se producen al paso de las ruedas sobre las juntas, es necesario el uso de sub bases estabilizadas, ya que estas proporcionan superficies de soporte de mejor calidad y resistencia a la erosión a causa de las deflexiones de las losas de pavimento.
- Se adicionan dos criterios básicos en el diseño y son:
 - FATIGA: Sirve para mantener los esfuerzos que se producen dentro de los límites de seguridad, ya que el paso de cargas sobre las losas del pavimento, producen esfuerzos que se convierten en agrietamientos.
 - EROSIÓN: Sirve para limitar los efectos de deflexión que se producen en los bordes de las losas, juntas y esquinas del pavimento; también para tener control sobre la erosión que se produce en la sub base o subrasante de los materiales que conforman los hombros.

- Este criterio es necesario, ya que evita fallas en el pavimento, como succión de finos de la capa de apoyo que producen a su vez desnivel entre losas y destrucción de hombros, siendo situaciones independientes de la fatiga.
- Los camiones con ejes trídem se consideran dentro del diseño, a pesar de que los sencillos y los tándem son los más utilizados en las carreteras; los ejes trídem pueden llegar a producir más daño por efecto de erosión que por fatiga.

B. Factores de diseño

Para desarrollar el diseño de un pavimento rígido es necesario conocer las condiciones del lugar para escoger el tipo de pavimento que se va a construir; así como las características de la sub base y tipo de hombros a utilizar. El procedimiento se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores:

a) Resistencia a la flexión del concreto (módulo de rotura, MR)

Este valor se utiliza en el diseño bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados que tienden a producir agrietamiento en el pavimento.

La deformación que se produce en el pavimento de concreto por efecto de las cargas hace que las losas estén sometidas a esfuerzos de tensión y compresión. La relación existente entre las deformaciones, debido a las cargas y los esfuerzos de compresión, es muy baja como para incidir en el diseño

del espesor de la losa. La relación entre la tensión y la flexión son mayores, situación que afecta el espesor de la losa.

b) Capacidad soporte de la subrasante o de la sub base (k)

Es el valor del módulo de reacción (k) de la capa de apoyo de un pavimento de concreto. Este valor se puede estimar por correlación con el CBR, ya que no es necesario tener un valor exacto de k, variaciones mayores de valor no afectan los espesores de diseño. Las sub bases son necesarias con el objeto de prevenir el efecto de succión y porque además incrementan la capacidad soporte del pavimento.

Tabla N° 25: Efectos de la sub base granular sobre los valores de k.

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

c) Período de diseño

Algunos diseñadores consideran que la vida útil de un pavimento de concreto termina cuando el primer re capeó es colocado.

La vida de un pavimento de concreto varía menor a 20 años, en proyectos en que se tenga una carga de tráfico mayor a la asumida en el diseño.

El término de período de diseño suele considerarse algunas veces como sinónimo de "período de análisis de tráfico", debido a que el tráfico probablemente no puede ser predicho con mucha certeza para un período de diseño de 20 años, para el diseño de pavimentos.

La selección del período de diseño está en función del tipo de carretera, nivel de tránsito, análisis económico, costo el pavimento y el servicio que preste.

d) *Tráfico y cargas de diseño*

Tráfico: Determinación del número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente, evaluado durante el periodo de diseño de proyecto.

- ✓ Si el número de aplicaciones es menor de 104 ESALs se considera *tráfico ligero*.
- ✓ Si el número de aplicaciones es mayor o igual a 104 ESALs y menor de 106 ESALs se considera como *tráfico medio*.
- ✓ Si el número de aplicaciones es mayor a 106 ESALs se considera *tráfico alto*.¹⁶

El número y peso de las cargas de ejes mayores esperados durante el periodo de diseño, son las que definen los esfuerzos a los que va estar sometido el pavimento. Para el tráfico vehicular se considera:

- TPD (Tráfico promedio diario en ambas direcciones).

¹⁶ Norma Técnica CE. 010. 2010. Pavimentos Urbanos.

- TPDC (Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones).
- Carga de eje de camiones.

El dato necesario para obtener el tráfico de diseño, consiste en asumir tasas de crecimiento anual que relacionen factores de proyección. En la tabla se presenta la relación entre las tasas de crecimiento anual y los factores de proyección para periodos de 20 y 40 años.

Tabla N° 26: Tasas anuales de crecimiento con k, con sus factores correspondientes de proyección.

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

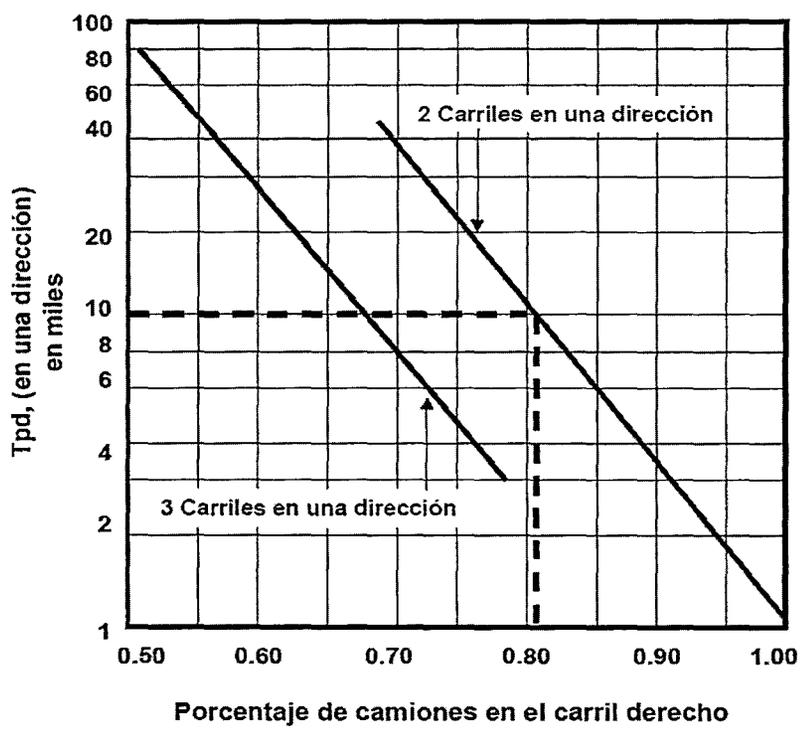
El TPDC es un dato muy importante en el diseño de pavimentos, ya que incluye buses y camiones con 6 ruedas o más y excluye los vehículos que tienen hasta 4 ruedas.

Se recomienda, para propósitos de diseño, calcular el número total de vehículos pesados esperados durante el período de diseño.

Con frecuencia, se asume que las cargas y volúmenes de tráfico se distribuyen en partes iguales en las dos

direcciones, pero esto no es completamente cierto, ya que puede suceder que la mayor parte de camiones viajen a plena carga en una dirección y regresen vacíos en la otra.

Figura N° 03: Porcentaje de camiones en el carril de diseño en una carretera de varios carriles.



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

e) Factor de seguridad de carga

Este método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (Fsc).

Para lo cual se recomienda lo siguiente:

- Para proyectos interurbanos y otros de autopistas, en donde hay un tráfico interrumpido y alto volumen de camiones, (FSC = 1.2).
- Para autopistas o calles arterias en donde hay un moderado volumen de tráfico de camiones, (FSC = 1.2).
- Para carreteras, calles residenciales y otras calles que soportan un volumen pequeño de tráfico de camiones, (FSC = 1.0).

Aparte de los factores de seguridad de carga, se adopta un grado de seguridad en el procedimiento de diseño para compensar ciertos casos, como camiones sobrecargados no previstos y variaciones normales en las propiedades de los materiales de construcción y en capas del espesor.

En los rangos de nivel de carga de 1.1 o 1.2 dan una mayor tolerancia para la posibilidad de camiones sobrecargados no previstos, para altos niveles de servicio del pavimento y para pavimentos de servicio pesado.

En casos especiales, la utilización de un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3, puede estar justificado para mantener un nivel de servicio más alto que el normal, a través del período de diseño. Un ejemplo sería una autopista muy transitada que no tenga otra alternativa para el tráfico.

C. Diseño de espesores

Existen formatos para el desarrollo del diseño del pavimento rígido, para los cuales se necesita el empleo de datos como:

- ✓ Tipo de hombros y juntas.
- ✓ Resistencia a la flexión del concreto (módulo de rotura).
- ✓ Módulo de reacción de la subrasante (k).
- ✓ Factor de seguridad de carga (Fsc).
- ✓ Distribución de cargas por eje.
- ✓ Número de repeticiones esperadas de las diversas cargas por eje, en el carril de diseño, durante el período de diseño.

D. Diseño de juntas

El objetivo principal es el control de la figuración y agrietamiento natural que sufre el concreto durante el proceso constructivo y de uso. Tiene las siguientes funciones:

- Controla el agrietamiento transversal y longitudinal.
- Divide el pavimento en secciones para el proceso constructivo.
- Permite el movimiento y alabeo de las losas por efecto de las cargas de tránsito.
- Permite transferencia de cargas entre losas.

El sistema de juntas se diseña teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Condiciones ambientales.
- Espesor de la losa.
- Sistema de transferencia de carga.
- Tránsito.
- Características de los materiales.
- Tipo de sub base.
- Características del material sellante.

➤ Diseño del hombro.

Existen diversos tipos de juntas; entre las más comunes:

- Juntas transversales de construcción.
- Juntas transversales de expansión.
- Juntas transversales de contracción.
- Juntas longitudinales de contracción.
- Juntas longitudinales de construcción.

a) *Juntas transversales de construcción.*

Conocidas también como juntas principales. Es necesario que esté dotada de hierros para cocerla, evitando con ellos los movimientos relativos y eliminando la posibilidad de que se realicen fisuras en la losa adyacente.

El método más común para finalizar las labores de construcción es rematando la obra contra una formaleta de madera que genera una cara lisa, por lo cual es necesario dotar esta junta de pasadores de carga.

Así en el resto del pavimento la transferencia de cargas se realiza a través de la trabazón de agregados, y por ende la formaleta tiene que estar dotada de agujeros que permitan insertar las dovelas. La formaleta se deja en su sitio hasta el momento de reiniciar las obras, cuando se remueve.

También se puede hacer una junta de construcción cortando el concreto, en cuyo caso se extiende el concreto pasando por el sitio en que debe quedar la junta, y luego mediante el uso de sierras, se corta y se remueve el concreto que esté

más allá del sitio de la junta de construcción. Para alcanzar un buen resultado con el corte del concreto, es necesario que las últimas tandas de concreto desarrollen más rápida la resistencia inicial.

Al igual que con las juntas de construcción con formaleta, es necesario poner dovelas, siendo necesario perforar agujeros para instalarlas. Las juntas transversales de construcción no necesitan el corte inicial, solo es necesario el corte secundario para conformar la caja en la que se aloja el material de sello.

b) Juntas transversales de expansión.

En las juntas transversales de expansión, a uno de los extremos de las dovelas, se les monta una cápsula de 50 milímetros de longitud, que permita absorber los movimientos de expansión de las losas; dicha cápsula se debe dotar de un sistema que impida que se caiga o se salga de la dovela, durante la colocación.

❖ Juntas con dovelas

Las condiciones que se requieren para las dovelas, en las juntas de expansión, en cuanto a alineamiento y lubricación se refiere, son las mismas que las solicitadas en las juntas transversales de contracción. Debido a que las juntas de expansión son más anchas que las de contracción, a la canastilla en la que se van a fijar las dovelas de estas juntas, se le dota de un material de sello preformado y compresible, con una altura igual a la losa de concreto.

❖ Juntas sin dovelas

La característica de las juntas de expansión sin dovelas, es que el espesor de la losa se incrementa para reducir los esfuerzos de borde.

El incremento del espesor es del orden de un 20% y la transición se desarrolla suavemente, en una longitud de 6 a 10 veces el espesor de la losa.

c) *Juntas transversales de contracción.*

Son las que se generan al final del día o cuando se suspende la colocación del concreto. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado, siempre que sea necesario.

Se harán coincidir las juntas de construcción con una de contracción, si no se hará en el tercio medio de la placa. Siempre se deben construir perpendicularmente al centro de la vía.

d) *Juntas longitudinales de contracción.*

Cuando el pavimento se construye con un ancho de dos o más carriles, las juntas longitudinales se cortan de manera similar a las juntas transversales de contracción.

Como en el momento del corte no es tan crítico, se deben cortar rápidamente si la sub base es estabilizada, apenas se corten las juntas transversales.

En cuanto a las barras de anclaje, los equipos de formaletas deslizantes tienen dispositivos para insertarlas. Por el poco

movimiento que tienen estas juntas, no se necesita de una caja para el sello, basta hacer un corte de 3 a 6 milímetros de ancho, con una profundidad igual a la tercera parte del espesor de la losa.

Sin embargo, si se pide la caja para el sello, esta se puede hacer con un equipo multidisco, que corta a la profundidad y anchos deseados.

e) *Juntas longitudinales de construcción.*

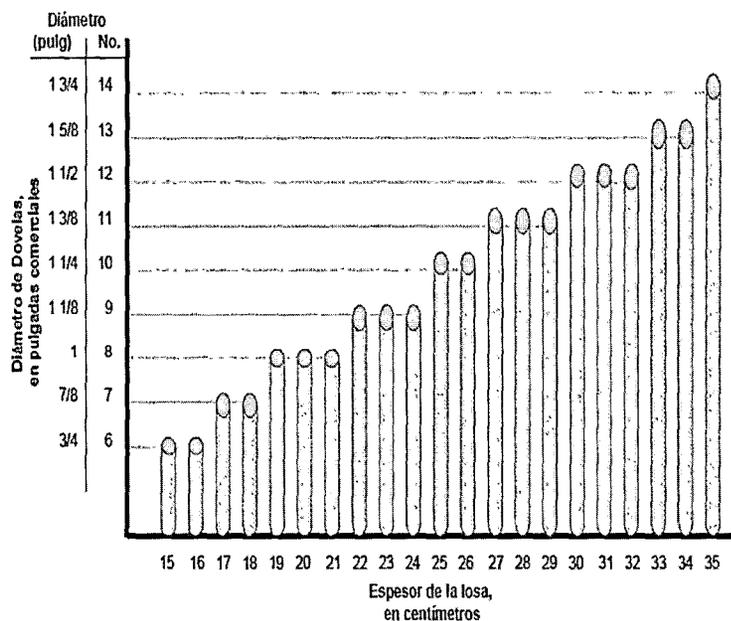
En este tipo de juntas hay dos aspectos a tomar en cuenta: la inserción de las barras de anclaje y el sellado de las juntas.

Respecto a la inserción de las barras de anclaje, se puede hacer introduciendo, en el concreto fresco, las barras dobladas en un ángulo de 90°, perforando agujeros en las losas e introduciendo las barras en ellos y asegurarlas con un mortero epóxico, para que puedan cumplir con su función, que es anclar las losas.

Cuando se opta por insertar las barras dobladas en un ángulo de 90°, es preferible usar acero de 40,000 PSI al de 60,000 ya que toleran mejor las deformaciones.

Las juntas longitudinales de construcción necesitan una caja para el sello, esta debe ser muy ancha para poder acomodar las variaciones longitudinales en el borde de las losas, generadas por el proceso constructivo; pero el corte y el sellado son similares al de las juntas longitudinales de contracción.

Figura N° 04: Detalle de diámetros comerciales de dovelas respecto al espesor.



E. Selladores de juntas

Utilizados con el propósito de minimizar la filtración de agua superficial dentro de las juntas y las capas subyacentes, así como la entrada de materiales incompresibles, que pueden ocasionar despostillamientos y daños mayores.

Este proceso consiste en el aserrado de la losa, entre 2 y 4 horas después de su colocación, en los diámetros que se especifiquen; posteriormente se coloca el cordón de respaldo y sobre el mismo el material sellador.

Los materiales de relleno y selladores para juntas deben ajustarse a las normas AASHTO.¹⁷

¹⁷ Coronado Iturbide, Jorge. 2002. Manual Centro Americano Para Diseño de Pavimentos.

Tabla N° 27: Materiales más comunes para el sellado de juntas.

Tipo de Sellador	Especificación
Selladores aplicados en caliente	
Asfalto polimérico	AASHTO M-173
Sellador polimérico	AASHTO M-301
Sellador elastomérico	AASHTO M-282
Sellos premoldeados	
Sellos de compresión	AASHTO M-220
Material de relleno	
Material de relleno premoldeado de fibra	AASHTO M-213
Material de relleno hule-espuma	AASHTO M-213
Material de relleno bituminoso	AASHTO M-33

Fuente: Diseño, Construcción y Mantenimiento de pavimentos de concreto, Londoño, Cipriano 2,001

2.2.2.5 Ejecución del pavimento rígido

2.2.2.5.1 Construcción

Antes de iniciar la construcción de la losa ya sea reforzada o sin refuerzo, es necesario realizar ciertos trabajos previos, tales como:

- Construcción de bordillo (zonas costeras).
- Instalaciones subterráneas tales como drenajes, electricidad, teléfonos, tuberías de agua, etc.
- Movimiento de tierras.

Realizados estos trabajos, se afina y compacta la sub rasante, mediante motoniveladora y compactadora. En la mayoría de los casos, la base es necesaria y la clase de materiales a emplearse depende del CBR de la subrasante, que consiste en regar el material selecto por medio de una motoniveladora, dejándolo a la altura

necesaria, extendiendo el trabajo por lo menos más allá de cada orilla del pavimento de concreto.

A. Materiales de construcción aptos

Se debe contar con información precisa de la localización de bancos de materiales y la información necesaria acerca de los materiales aprobados para la construcción de pavimentos de concreto.

a) Evaluación de agregados locales.

Según la norma ASTM C 33, todos los agregados deben cumplir:

- ✓ El tamaño máximo no debe exceder de $\frac{1}{4}$ del espesor del pavimento o los 6.4 cm ($2\frac{1}{2}$ "); lo que sea menor.
- ✓ Los agregados no deben contener porcentajes mayores que lo especificado de los materiales nocivos, enumerados en la ASTM C 33.
- ✓ En aquellas áreas donde se sabe que las grietas por fallas en la durabilidad en los pavimentos constituyen un problema, debería usarse un tamaño menor. La mayoría de piedras asociadas con grietas por fallas en la durabilidad, son de origen sedimentario.

b) Disponibilidad y certificación de materiales cementantes.

Los cementos deben ajustarse a las siguientes normas ASTM:

- ASTM C 150 (cemento Pórtland)
- ASTM C 595 (cemento mezclado)
- ASTM C 1157 (cemento hidráulico)

La norma ASTM C 150 especifica cinco tipos de cemento:

- Tipo I, el más fácil de conseguir, se usa cuando no se requieren las propiedades esenciales de los demás tipos.
- Tipo II, se destina a uso general, en particular cuando se requiere resistencia moderada a los sulfatos o calor moderado de hidratación. Se conocen también algunos cementos que reúnen los requisitos de ambos tipos y se denominan Tipo I/II.
- Tipo III se usa para obtener alta resistencia temprana.
- Tipo IV se usa cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- Tipo V se usa para obtener alta resistencia a los sulfatos.

La ASTM C 150 también especifica requisitos químicos opcionales, como límites en el contenido máximo de álcalis, y requisitos físicos opcionales, como el calor de hidratación.

La norma ASTM C 595 especifica los cementos mezclados de la siguiente manera:

- Cemento Tipo IS, contiene 25 a 70% de escoria de alto horno.

- Cementos Tipos IP y P, contienen entre 15 y 40% de puzolana. El cemento Tipo P se usa cuando no se requieren resistencias más altas en edades tempranas.
- Cemento Tipo I (PM) contiene menos del 15% de puzolana.
- Cemento Tipo I (SM) contiene menos del 25% de escoria.
- Cemento Tipo S contiene al menos un 70% de escoria, y no produciría las resistencias requeridas para pavimentos a menos que se combine con cemento Pórtland.

c) *Disponibilidad y certificación de aditivos y compuestos de curado.*

❖ Aditivos

Los aditivos químicos son ingredientes que se usan comúnmente en concretos de pavimentación y su uso ya está establecido. Se usan para obtener o mejorar las propiedades específicas del concreto. Es importante observar los siguientes usos y prácticas relacionados con los aditivos químicos:

- Para concretos con múltiples aditivos, se deben comprar todos los aditivos al mismo fabricante, por que ensayan sus propios aditivos para detectar incompatibilidades y otras interacciones.

- No todos los aditivos funcionan bien en todas las aplicaciones.
- Se recomienda al contratista solicitar el asesoramiento del fabricante, sobre el modo de aplicación y uso de aditivos.
- Los aditivos químicos deben reunir los requisitos de las normas ASTM C 260 o ASTM C 494. La norma ASTM C 260 especifica los requisitos para los aditivos para aire ocluido. Los tipos de aditivos especificados por la ASTM C 494 incluyen:

TIPOS DE ADITIVOS
TIPO A, aditivos reductores de agua
TIPO B, aditivos retardantes
TIPO C, aditivos acelerantes
TIPO D, aditivos reductores de agua y retardantes
TIPO E, aditivos reductores de agua y acelerantes
TIPO F, aditivos reductores de agua, de alto rango

- Los aditivos deben añadirse al concreto por separado. No deben incorporarse directamente sobre el agregado seco o en el cemento seco, ya que pueden ser absorbidos y no estar disponibles para mezclarse fácilmente con el concreto.
- Algunos reductores de agua pueden retardar el fraguado o la ganancia en resistencia, cuando se utilizan en dosis mayores.

❖ **Compuestos de curado:**

Los compuestos de curado (compuestos líquidos formadores de membrana), deben ajustarse a los requisitos de las normas ASTM 309 y ASTM C 1315; según corresponda. Los compuestos de curado deben tener las siguientes propiedades:

- Mantener la humedad relativa de la superficie de concreto por encima del 80%, durante 7 días.
- Ser uniformes y mantenerse fácilmente en una solución mezclada completamente.
- No deben escurrirse ni acumularse en las estrías.
- No deben formar una película dura para soportar el tránsito temprano de construcción.

2.2.2.5.2 Preparación de la subrasante

La uniformidad y estabilidad de la subrasante afectan tanto el desempeño prolongado del pavimento como al proceso constructivo.

La estabilidad de la subrasante es necesaria para proveer el soporte adecuado de la sección de pavimento y una plataforma constructiva aceptable.

El diseño del pavimento comienza con la identificación de su fundación, mientras la construcción comienza con la preparación de dicha fundación. Entre los elementos importantes de la preparación de la subrasante se incluyen:

- Evaluación de la estabilidad de la subrasante
- Modificación de la subrasante para mejorar la estabilidad

- Evaluación de las tolerancias superficiales

A. Nivelación y compactación de la subrasante

a) *Actividades previas a la nivelación*

La **primera fase** de la preparación de la subrasante es su nivelación gruesa. Consiste en el corte de los puntos elevados y el relleno de las áreas bajas, para conseguir la cota de terminación deseada. Los puntos importantes a tener en cuenta son:

- El material de relleno se obtiene generalmente de las operaciones de corte (perfilado). Se debe utilizar el informe geotécnico para evaluar el uso posible de este material como relleno.
- Si el material in situ no alcanza, o sus propiedades son inadecuadas para un buen desempeño del pavimento, se deben identificar áreas de préstamo de donde extraer material de relleno apropiado.
- El ejecutor debe conocer las condiciones de la subrasante local, en lo referente al nivelado previo y otras actividades constructivas.

La **segunda fase** de la nivelación consiste en el proceso de estaqueo (replanteo) de obra. Es una buena práctica que el ingeniero verifique en forma independiente la precisión de las estacas. Comúnmente se usan equipos de nivelación automática con posicionamiento global para nivelar.

Si se utilizan estos sistemas, se recomienda verificar periódicamente los resultados mediante métodos topográficos convencionales.

b) Extracción de materiales no aptos de la subrasante

Los materiales tales como turba, sedimentos orgánicos, lodo y suelo con alto contenido orgánico están clasificados como no aptos. Con dichos materiales se pueden tomar las siguientes medidas:

- Extraerlos y reemplazarlos por suelo similar al de la subrasante circundante.
- Extraerlos y reemplazarlos por material granular.
- Alterar sus propiedades mediante su compactación o estabilización.

c) Protección de la rasante

Durante las operaciones de nivelado, debe protegerse la rasante:

- Proporcionar un drenaje temporal: zanjas, drenes o cunetas necesarias para desviar el agua superficial. Si el agua aflora sobre la subrasante, el material se ablandará y puede dañarse debido al tránsito de la obra.
- Implementar procedimientos para dirigir el tránsito sobre la rasante, asegurándose de que el tránsito se distribuya uniformemente sobre toda la rasante.

d) Operaciones de construcción de la rasante

La construcción de la rasante puede incluir la construcción de un terraplén:

- El terraplén se construye colocando material en capas sucesivas en todo el ancho de la sección transversal.
- En la construcción del terraplén, la construcción de capas debe comenzar en la parte más profunda del relleno. A medida que avanza la colocación de las capas, estas deben construirse aproximadamente paralelas a la rasante terminada.
- Durante la construcción del terraplén, el equipo de acarreo debe moverse uniformemente sobre todo el ancho del mismo. Si el tránsito de este se encuentra canalizado puede ocurrir una deformación permanente o una falla por esfuerzo de corte.

e) *Requisitos para la compactación*

La compactación de la subrasante es esencial para construir una plataforma de trabajo estable; deben cumplirse los siguientes requisitos:

-
- Para pavimentos transitados por vehículos pesados, es necesario utilizar el procedimiento proctor modificado (ASTM D 1557) para la determinación de la densidad máxima. El procedimiento proctor estándar (ASTM D 698) puede usarse para pavimentos destinados a vehículos livianos.

- Suelos cohesivos usados en secciones de relleno o terraplén: la totalidad del relleno debe compactarse al 90% de la densidad máxima.

- Suelos cohesivos en secciones de excavación o desmonte: los 15 cm (6") superiores deben compactarse al 90% de la densidad máxima.

- Suelo no cohesivo usado en secciones de relleno o terraplén: los 15 cm (6") superiores se compactan al 100% de la densidad máxima, el resto del relleno al 95%.

- Suelo no cohesivo usado en secciones de excavación o desmonte: los 15 centímetros (6") superiores compactados al 100% de la densidad máxima y los siguientes 45 centímetros (18") al 95%.

El control de la humedad es esencial para obtener una subrasante estable, tomando en cuenta lo siguiente:

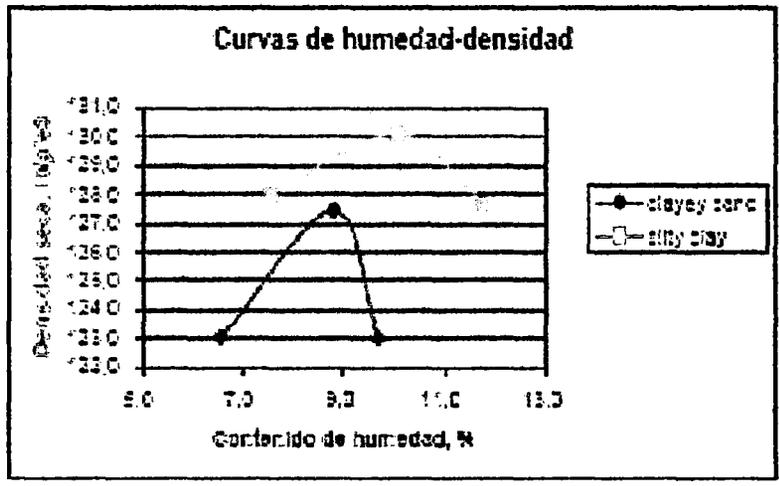
- Las especificaciones de compactación normalmente requieren que el contenido de humedad de la subrasante esté dentro del $\pm 2\%$ de la humedad óptima antes de apisonar, para obtener la densidad requerida.

- Para los suelos expansivos el contenido de humedad debe estar entre 1 al 3% por encima del nivel óptimo antes de su compactación, con el fin de reducir el potencial de hinchamiento.

- Para suelos finos, que no muestran signos de hinchamiento, es mejor mantener la humedad entre el 1 y 2% por debajo del nivel óptimo.
- Los suelos cohesivos compactados con exceso de humedad, se pueden tornar inestables bajo el tránsito de obra, aun habiendo alcanzado la densidad especificada.

Las curvas de humedad-densidad de los suelos tipificados, pueden dar una idea de su desempeño en el campo.

Figura N° 05: Curvas de humedad – densidad típica, que muestra el efecto del contenido de humedad en la densidad.



B. Estabilización de la subrasante

Es necesario estabilizar las subrasantes debido a diversas causas; las razones principales son:

- Mejorar los suelos de baja resistencia.
- Reducir el potencial de hinchamiento.
- Mejorar las condiciones constructivas.

Los estados de subrasante no aptos pueden retrasar la obra, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para tratar dichas áreas. Una subrasante estabilizada ayuda a cumplir con los plazos de la obra. Puede ser de suma importancia en obras que requieren aperturas del pavimento al tránsito.

a) *Estabilización con cal*

La estabilización con cal se usa frecuentemente para estabilizar subrasantes cohesivas (suelos arcillosos) con alto contenido de humedad. Se debe diseñar una mezcla a fin de determinar el contenido óptimo de cal. Para suelos arcillosos con un índice plástico (IP) mayor que 10, el rango de contenido de cal varía normalmente entre el 3% y el 5%.

El equipo necesario para llevar a cabo a la estabilización con cal incluye un distribuidor para la cal o lechada de cal, equipo de mezclado y pulverizado, equipo de riego y rodillos. Cuando se prescribe cal hidráulica hidratada como agente estabilizador, las especificaciones pueden permitir el uso, ya sea de "colocación en seco" o "colocación como lechada"

b) *Estabilización con cemento*

El cemento se puede usar para estabilizar suelo de grano grueso o suelo con alto contenido de limo. En suelos arcillosos, la estabilización con cal suele ser más económica que con cemento. Para encontrar la cantidad de cemento a agregar para la estabilización, es necesario diseñar una mezcla en laboratorio.

El desempeño de la estabilización in situ, con cemento, es similar a los procedimientos de estabilización con cal. La uniformidad de la mezcla y el porcentaje correcto de aplicación, son los pasos clave para lograr una buena capa estabilizada con cemento

La estabilización con cemento también se puede realizar usando un molino de paletas o una planta de mezclado. Se prefieren estos cuando la subrasante, estabilizada con cemento, debe cumplir la función de sub base o base.

C. Apisonado de prueba

Las especificaciones del proyecto pueden requerir un apisonado (rodillado) de prueba para verificar la preparación de la subrasante.

Es una buena práctica implementar un apisonado de prueba, ya que permite identificar áreas blandas aisladas no detectadas durante el proceso de inspección de la superficie. Se deberá efectuar siempre y cuando el pavimento de hormigón se coloque sobre una base no estabilizada.

Es una buena práctica implementar un apisonado de prueba, ya que permite identificar áreas blandas aisladas no detectadas durante el proceso de inspección de la superficie. Se deberá efectuar siempre y cuando el pavimento de hormigón se coloque sobre una base no estabilizada.

D. Recepción de la subrasante

La subrasante se aprueba en función de los siguientes criterios:

- Desviación de la superficie: generalmente 1.3 hasta 2.5 centímetros (1/2" hasta 1") (basada sobre una regla de 5 metros).
- Cota superficial: generalmente 1.5 a 3 centímetros.
- Para el caso de proyectos pequeños, las tolerancias de desviación superficial y altimétrica, pueden fijarse en 3 centímetros, especialmente cuando no se puede usar equipo de nivelación automático.

En el caso de materiales no estabilizados, se puede considerar escarificar, nivelar o rellenar áreas si se necesita ajustar la rasante. Con los materiales estabilizados, no es posible complementar el relleno mediante capas finas; por lo tanto, en este último caso, la rasante debe construirse alta para luego cortarse hasta su cota final.

E. Protección de la rasante

Una vez aprobada la rasante, se debe implementar un plan de control del tránsito. La administración del tránsito debe ser obligatoria si la logística requiere el uso de la subrasante por parte del equipo de obra. Todas las huellas y partes rugosas que se formen en una subrasante terminada, deben alinearse y recompactarse antes de construir la sub base.

F. Condiciones climáticas adversas

Se deben implementar drenajes durante cada etapa de preparación de la subrasante.

La rasante se debe mantener de forma tal que se proporcione una pendiente positiva para su drenaje. Cuando el contenido de

humedad de la subrasante sea superior a la humedad óptima, puede ser necesario pasar la rastra de discos y secar para reducirlo. Si se espera lluvia después de haber preparado la subrasante para su compactación, se deberá sellar su superficie con apisonador (rodillo) neumático o de cilindros de acero. Si no se hace a tiempo, surgirán problemas debido al exceso de humedad en la subrasante.

Si la subrasante está expuesta a heladas, deberá escarificarse su superficie hasta una profundidad mínima de 15 centímetros (6") y luego recomactarse, de la misma manera si la preparación de la subrasante se interrumpió durante el invierno.

2.2.2.5.3 Construcción de bases y sub bases

La capa que se encuentra debajo de la superficie del pavimento es la base. El término sub base se usa para designar a las capas que están debajo de la base y por encima de la subrasante.

A. Sub base

Los materiales para la sub base suelen ser materiales granulares, que pueden ser naturales o triturados. Su estabilidad, en términos de valor soporte (CBR), varían entre 20 y 100. Estos materiales se usan como capas de protección de la subrasante y proporcionando drenaje por encima de ellas.

Para la colocación de la sub base se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- La colocación debe comenzar a lo largo del eje de la calzada o el punto más elevado, para mantener el drenaje en todo momento conforme se lleva a cabo la construcción.
- La relación humedad-densidad debe establecerse en laboratorio, mediante el ensayo proctor estándar o modificado. En el caso de tenerse vehículos pesados, es recomendable utilizar el ensayo proctor modificado.
- El control de la humedad es crucial para lograr la compactación. Lo mejor es mantener la humedad dentro del 1% del nivel óptimo.
- Para materiales de sub base de drenaje libre, debe considerarse un contenido bajo de humedad, para evitar la adición excesiva de agua a la subrasante, durante la compactación del material de la sub base.
- El espesor de la capa debe ser 3 ó 4 veces el tamaño máximo del agregado. Si el espesor es similar al tamaño máximo del agregado, se verán afectas la granulometría y la lisura.
- Es importante evaluar la estabilidad de la subrasante antes de ~~comenzar a construir la sub base~~; debe repararse toda área blanda.
- Se debe implementar la administración del tránsito en el frente de construcción, para eliminar problemas potenciales.

- 12
- Los valores de la densidad se pueden verificar mediante ensayos puntuales sobre el contenido de humedad del material entregado.
 - La tolerancia de planeidad para la sub base suele ser de 12 milímetros (1/2"), si se usa una regla de 5 metros (16 pies).
 - Es necesario proteger la sub base una vez conformada.
 - El apisonado puede efectuarse mediante rodillos vibratorios. Si la compactación se torna dificultosa, pueden emplearse rodillos neumáticos, ya que la acción de amasado de las ruedas contribuye con este proceso.

B. Base estabilizada mecánicamente

Estos materiales son similares a los de la sub base, pero generalmente son de mayor calidad, en cuanto a contenido de agregados triturados, material deletéreo y granulometría.

Los elementos cruciales para su colocación son los mismos que los materiales de la sub base; considerando que:

- Debe revisarse el estrato subyacente (subrasante o sub base) antes de colocar y esparcir el material de la base. Cualquier huella y área blanda o elástica (debidas a condiciones drenantes inapropiadas, acarreo de materiales o cualquier otra causa) debe ser corregida y compactada a la densidad especificada, antes de conformar la base.
- No se debe comenzar con la colocación de la base si la capa subyacente está húmeda, enlodada o congelada.

- Se deben suspender los trabajos en la base durante temperaturas congelantes o si el material de la base contiene material congelado.
- Para la compactación del material de base se pueden usar rodillos vibratorios, neumáticos o de cilindros estáticos.
- La tolerancia de planeidad, para capas de base, es generalmente de 10 milímetros (3/8") para una regla de 5 metros (16 pies). Generalmente se usan métodos de conformación automatizados, para mantener estas tolerancias ajustadas.

C. Bases estabilizadas químicamente

Los materiales que se implementan con mayor frecuencia incluyen el suelo de cemento, bases tratadas con cemento, econocreto (concreto económico) y bases tratadas con asfalto. Estos materiales proporcionan bases excelentes sobre una subrasante o sub base preparada apropiadamente.

Una base bien diseñada y construida aumentará la vida por fatiga y mejorará la contractibilidad del pavimento.

a) Base tratada con cemento

El suelo de cemento y la base tratada con cemento, son dos materiales diferentes que se pueden usar para la capa de base.

El suelo de cemento, generalmente es de una calidad ligeramente inferior ya que emplea material de la subrasante o de relleno, mientras que la base tratada con cemento normalmente está compuesta por material procesado.

b) *Concreto económico (econocreto)*

El econocreto o concreto económico se compone de agregados y cemento, uniformemente combinados y mezclados con agua. Se le llama econocreto debido a que los materiales que lo componen son de calidad marginal. Las mezclas usan normalmente de 2 a 3 bolsas de cemento por metro cúbico (por yarda cúbica) de material.

c) *Base tratada con asfalto*

Una base tratada con asfalto consiste en agregados y material bituminoso, mezclados en una planta de mezclado central. El espesor de una capa de base tratada con asfalto se limita normalmente a 10 y 15 cm (entre 4" y 5").

D. Capas drenantes

Algunos diseños de pavimento rígidos incorporan una capa drenante. Cuando se usa dicho método, el pavimento o la base se construye directamente sobre esta. Las capas drenantes pueden ser estabilizadas o no estabilizadas.

Se usan capas drenantes estabilizadas con cemento o asfalto. La porosidad de la capa drenante debe ser en función de las necesidades anticipadas de la rápida eliminación del agua. Se considera en su diseño un equilibrio entre la necesidad de estabilidad y porosidad, teniendo más peso la porosidad. El espesor de la capa drenante suele ser entre 10 y 15 cm (4" y 6").

Las bases estabilizadas proporcionan una plataforma de pavimentación rígida y, por lo tanto, un soporte uniforme para el

pavimento. También tienen el potencial de aumentar el alabeo, curvado y las fuerzas restrictivas de fricción de las losas de concreto. Esto acota las probabilidades de aserrar juntas y aumenta la posibilidad del agrietamiento aleatorio en el pavimento.

2.2.2.5.4 Preparación para la pavimentación con concreto

Antes de comenzar con la producción del pavimento, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Revisar todo el equipo que conforme el tren de pavimentación, para garantizar las condiciones operativas.
- Verificar la disponibilidad de la longitud aceptable de rasante, para su pavimentación con concreto.
- Verificar la disponibilidad de todos los informes de ensayos aprobados para todos los materiales.
- Verificar la disponibilidad del equipo de ensayos de respaldo.
- Verificar la disponibilidad de todas las herramientas para la colocación del concreto.
- Verificar el funcionamiento de las comunicaciones telefónicas con la planta.
- Verificar la disponibilidad de un equipo de riego, si es necesario.
- Monitorear regularmente la cuerda de guía.

- 120
- Desarrollar un plan de gestión para condiciones climáticas extremas. Tener cuidado la temporada de heladas en caso de climas fríos y secos.
 - Revisar el pronóstico del clima para cada jornada de pavimentación.
 - Asegurarse de la disponibilidad de cantidad suficiente de cubierta plástica, en caso de lluvia repentina.

A. Aprobación de la Subrasante

La rasante se aprueba luego de haber colocado, cortado, nivelado y compactado la capa de base y de verificar un soporte razonablemente uniforme. Una base apropiada asegura que se alcance el espesor nominal del pavimento y que los perfiles y cotas sean conformes a la documentación contractual.

En cuanto a la rasante, se debe revisar:

✓ Normalmente se exige el cumplimiento de las tolerancias altimétricas por cada capa del pavimento.

✓ Los puntos principales a considerar antes de la pavimentación son:

-
- El efecto de la rasante sobre el volumen de concreto colocado.
 - El efecto de la rasante sobre la variabilidad de espesor del pavimento (si la rasante final es variable, afectará el espesor determinado con el muestreo por testigos).
 - La variabilidad del espesor del pavimento debe minimizarse, ya que puede afectar el pago del espesor.

- Antes de pavimentar, es necesario retirar los residuos sueltos.
- ✓ Es muy importante realizar un control apropiado de la rasante ya que afecta el drenaje durante la construcción y la vida útil del pavimento.

B. Funcionamiento de la planta de concreto

El concreto es un producto manufacturado, cuya calidad y uniformidad dependen del control ejercido sobre su elaboración. La planta debe estar en buenas condiciones, operar de forma confiable y producir concreto aceptable, en forma uniforme entre un tanda y otro.

La segregación y el contenido variable de humedad de los agregados afectan en gran medida la calidad y uniformidad del concreto. Generalmente se especifican la planta y el equipo para que cumplan la norma ASTM C 94 estándar sobre concreto amasado en planta.

Los puntos clave, que se detallan en la ASTM C 94 son:

- ✓ Silos para agregados separados para cada tamaño de agregado grueso, con la capacidad de cortar con precisión el aporte de material.
- ✓ Controles para monitorear las cantidades de agregados, durante la carga de la tolva.
- ✓ Escalas con precisión del $\pm 0.2\%$ probadas dentro de cada cuarto del total de la escala. Se dispone de pesas de prueba estándar, adecuada para controlar la exactitud de las escalas.

- 118
- ✓ Agua agregada con una precisión del 1% del total de agua requerida para la mezcla.

Se debe optimizar el flujo de tránsito en la planta, considerando los siguientes elementos:

- La entrega de materias primas.
- El despacho de concreto hacia la pavimentadora.
- Las operaciones relacionadas con el plan de gestión de calidad (QMP) y el control de calidad del contratista (CQC).
- La operación de los equipos para el manejo de los acopios de agregados.
- Los requisitos de seguridad de la planta.

a) *Manejos de los acopios de agregados.*

Se deben desarrollar e implementar los procedimientos para el manejo de acopios, manteniendo los cubos de las cargadoras lejos del suelo, la descarga de camiones, las alturas máximas de los acopios, la carga de los silos, el muestreo de control de calidad, el riego de agua, el lavado de los agregados y sus humedades.

Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones para el buen manejo de acopios de agregados:

- ✓ Es necesario manipular y almacenar los agregados de un modo tal que permita minimizar la segregación y la degradación, y prevenir la contaminación por sustancias deletéreas.

- ✓ Los acopios de agregado deben monitorearse estrechamente y deben mantenerse con un contenido de humedad. Esto es muy importante, especialmente en el caso de agregados usados en clima caluroso.
- ✓ Si la humedad de los agregados varía durante el día, deberá incrementarse la frecuencia de determinación de su contenido de humedad. Su variación aumenta cuando las palas cargadoras sacan agregados de un sector del acopio, o si su riego no es uniforme.
- ✓ Es necesario ajustar la cantidad de agua, en la mezcladora, de acuerdo con la humedad del agregado. En tiempo caluroso, se debe contemplar el uso de agua enfriada.
- ✓ Se debe limitar la altura desde la cual se deja caer el agregado al formar el acopio. Es necesario formar el acopio por capas de espesor uniforme.
- ✓ Al retirar agregados de un acopio (con una cargadora frontal), debe hacerse verticalmente desde abajo hacia arriba.
- ✓ Los acopios deben estar separados entre sí. Si no hay suficiente lugar como para mantener separadas las distintas granulometrías, se deberá usar una mampara divisoria.
- ✓ El manejo apropiado de acopios, reduce la probabilidad de la contaminación de los agregados. Esta última ocurre cuando generalmente los camiones que descargan el material, también acarrear barro y lodo. También puede producirse la contaminación si los agregados no se descargan sobre cintas transportadoras, y en su lugar se acopian mediante cargadoras frontales.

- ✓ La contaminación puede producirse cuando las cargadoras, al cargar los silos con agregados, raspan el fondo del acopio.

b) *Ensayo de uniformidad del concreto*

Se debe efectuar el ensayo de uniformidad del concreto, antes de comenzar la pavimentación, basándose en la norma ASTM C 94. Dichos ensayos también se usan para establecer los tiempos mínimos de mezclado.

Los ensayos de uniformidad, comparan las diferencias entre las muestras de concreto tomadas aproximadamente al 15 y al 85% de la descarga del tambor. Estos ensayos incluyen:

- ❖ Densidad (peso unitario).
- ❖ Contenido de aire.
- ❖ Asentamiento.
- ❖ Contenido de agregado grueso.
- ❖ Peso unitario del mortero libre de aire.
- ❖ Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.

Las diferencias entre el concreto descargado al 15% y al 85%, deben ser menores que las diferencias máximas permitidas establecidas en la ASTM C 94, para cinco de cada seis ensayos.

Los tiempos mínimos de mezclado para la producción, se establecen mediante los ensayos de uniformidad del concreto.

C. Acerca del equipo de pavimentación

Los procedimientos de control del equipo de pavimentación, son:

- Verificar la disponibilidad de las piezas necesarias del equipo. Deberá haber equipo adicional en el sitio, en caso se presentarse un desperfecto mecánico.

- Se debe asegurar que el equipo funcione correctamente.
 - El equipamiento inspeccionado debe incluir los camiones de acarreo del concreto, los colocadores de concreto, los distribuidores, las pavimentadoras con moldes deslizantes, equipos de curado texturizadores y equipos de aserrado.

- Inspeccionar las pavimentadoras de moldes deslizantes para asegurar que se puede lograr una consolidación apropiada mediante vibración. Se debe revisar la frecuencia y amplitud de los vibradores, antes de comenzar a pavimentar. Los vibradores se deben colocar a una altura tal que no interfieran con los armazones con pasadores precolocados.

- Se debe revisar el equipo de aplicación del curado, para asegurar una aplicación uniforme y apropiada del compuesto de curado.

- Las hojas de las sierras, para el aserrado de juntas, deben ser aptas para el tipo de agregado usado en la mezcla.

D. Acerca de la cuerda de guía

La precisión de cotas y las distancias de desplazamiento son importantes porque nos proporcionan la base para el establecimiento de la cuerda de guía y para los puntos de referencia de la rasante, de igual manera nos ayuda a definir el ras final de la superficie del pavimento.

Esta última se usa como referencia precisa para el control altimétrico y de alineación para el corte de la rasante, la colocación de la sub base/base y el tren de pavimentación con concreto. Cualquier error en la cuerda de guía se reflejará en el producto final.

En los alineamientos rectos, un intervalo máximo entre estacas de 7.5 m (25 pies), dará un buen producto final. Será necesario un intervalo menor en las curvas verticales, para producir pavimentos uniformes y las necesidades deben basarse en función del índice de cambio de curvatura.

2.2.2.5.5 Preparación para la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto

Antes de empezar con la preparación para el concreto y de las piedras lajas, se deberá tomar en cuenta todos los procedimientos indicados en la construcción, preparación de la subrasante y en la construcción de bases y sub bases tocados en los ítems siguientes (2.2.2.5.1 al 2.2.2.5.3).

Antes de comenzar con la producción del concreto para la cama de asiento de las piedras lajas, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos: _____

- a) Revisar todo el equipo que conforme el tren de pavimentación, para garantizar las condiciones operativas.
- b) Verificar la disponibilidad de la longitud aceptable de la rasante, para su pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto.

- c) Verificar la disponibilidad de todos los informes de ensayos aprobados para todos los materiales.
- d) Verificar la disponibilidad de todas las herramientas para la colocación del emboquillado con concreto y para la colocación de la piedra laja.
- e) Monitorear regularmente la cuerda de guía.
- f) Revisar el pronóstico del clima, para cada jornada de pavimentación en caso de lluvia repentina.

De igual manera se tendrá en cuenta lo siguiente: aprobación de la subrasante, funcionamiento de la planta de concreto, funcionamiento del equipo de pavimentación y tener en cuenta la guía de cuerda, siendo similar a la pavimentación del concreto rígido, ya que lleva este tipo de pavimentación una losa de concreto antes del emboquillado y colocado de piedras lajas.

2.2.2.5.6 Mezcla de concreto

A. Introducción

La calidad de un concreto se define normalmente en términos de trabajabilidad (docilidad), resistencia y durabilidad. Estos tres aspectos, de calidad del concreto, se deben optimizar para un proyecto dado.

a) *Requisitos para una mezcla de concreto.*

Se establecen los requisitos para los agregados (grueso y fino), los materiales cementicios, los aditivos, el diseño de la mezcla y la aprobación del concreto. Generalmente se requiere de los siguientes atributos:

- ❖ Resistencia a la flexión mínima a los 28 días de 4 MPa ó 40 Kg. /cm², (600 PSI).
- ❖ Contenido mínimo de cemento de alrededor de 300 Kg/m³.
- ❖ Relación agua-cemento (a/c) máxima de 0.50 (en áreas con ciclos intensos de congelación-deshielo, no debe superar 0.45).
- ❖ Para áreas severamente expuestas a los sulfatos, debe limitarse la relación a/c a (0.40).
- ❖ Asentamiento para concreto con moldes fijos laterales: 25 a 50 mm (1 a 2") y para concreto para moldes deslizantes: 13 a 38 mm (1/2 a 1 1/2").
- ❖ El contenido de aire se basa en la condición de exposición y el tamaño máximo de los agregados.
- ❖ Módulo de finura de los agregados finos entre 2.5 y 3.4.

b) Proceso de diseño de la mezcla en laboratorio

Ahora, se presentará un análisis sobre el procedimiento para establecer las proporciones de las mezclas de concreto, adaptado del procedimiento de diseño de mezclas de la Asociación del Cemento Pórtland de los EE.UU., PCA.

- Obtener la información requerida para los materiales a emplear.
- Identificar los requisitos del proyecto para la relación máxima a/c contenido de aire nominal, asentamiento, resistencia a los sulfatos y resistencia.
- Elegir el asentamiento; para pavimentos con moldes deslizables, debe estar comprendido entre 13 y 38 mm (1/2 a 1 1/2") para minimizar el asentamiento de los bordes.

- 111
- Escoger el tamaño máximo del agregado. Usar el tamaño máximo de agregado disponible entre las opciones económicas y que pueda ser colocado y consolidado.
 - Estimar el agua para la mezcla y el contenido de aire.
 - Seleccionar la relación agua-materiales cementicios (a/c). Determinar la relación a/c necesaria para alcanzar los requisitos de resistencia y durabilidad. Para el concreto expuesto a la congelación, la relación a/c no debe exceder de 0.45.
 - Calcular el contenido de materiales cementicios. Estimar las proporciones de los distintos materiales cementicios a usar de acuerdo con las propiedades deseadas.
 - Estimar los contenidos de agregados grueso y fino.
 - Se hace un ajuste de acuerdo a la condición de humedad del agregado.
 - Realizar pastones (amasadas) de prueba. Estos determinarán las proporciones exactas de las propiedades que se desea obtener, así como de las dosificaciones de aditivos requeridos.

B. Acerca del diseño de la mezcla de concreto

El mejor diseño de mezcla de concreto da como resultado un concreto con las siguientes características:

- ✓ Se mezcla, coloca, consolida y termina fácilmente bajo las condiciones de la obra.
- ✓ Adquiere la resistencia a la compresión o a la flexión requerida, en el tiempo deseado.

- ✓ Será durable en su ámbito de servicio. La preocupación respecto de la durabilidad a menudo supera las limitaciones impuestas por los requisitos de resistencia.

a) *Trabajabilidad*

Esta se define como la facilidad de colocación, consolidación y terminación del concreto recién colocado sin que se produzca segregación.

- Trabajabilidad del concreto formado por moldes deslizantes

El proceso de diseño de una mezcla de concreto no se debe enfocar únicamente en lograr los requisitos de resistencia y asentamiento. Los factores relacionados con la trabajabilidad son los siguientes:

- La segregación durante el transporte y la colocación.
- La facilidad de consolidación, que se traducirá en una matriz de concreto bien distribuida.
- Bordes conformados mediante moldes deslizantes bien conformados con poco o ningún asentamiento.
- Mínima terminación manual requerida detrás de la pavimentadora, manipulando la superficie para lograr lisura y solidez.

La obtención de la trabajabilidad deseada para una mezcla dada, requiere la consideración de los siguientes elementos:

- Agregados: tamaño, granulometría, forma de la partícula, demanda de agua, variabilidad.
- Cemento: contenido de cemento, demanda de agua
- Ceniza volátil (si se usa): efecto sobre el fraguado inicial, demanda de agua, efecto sobre la terminación.
- Agua: demanda total de agua.
- Aditivos: el concreto con aire incorporado exhibe una mejor trabajabilidad, los reductores de agua disminuyen la demanda de agua mientras mejoran la trabajabilidad.

b) *Resistencia.*

El requisito de resistencia puede fijarse en términos de resistencia a la flexión o a la compresión a las edades de 14, 28 ó 90 días.

Es necesario establecer la desviación normal para la resistencia, para proporcionar una orientación sobre los niveles de resistencia a alcanzar durante la fase de diseño de la mezcla.

También es justo producir el concreto de manera uniforme entre un pastón y otro, para que la desviación normal del lote se mantenga lo más pequeña posible.

Para las colocaciones en tiempos fríos o calurosos, el calor de la hidratación, es un tema de mucho interés. Los pastones de prueba necesitan verificar que las mezclas propuestas alcanzarán las resistencias deseadas.

Esto sería para colocaciones en tiempo frío y que no generarán calor excesivo cuando el concreto se coloque en tiempo caluroso.

Se necesita desarrollar los diseños de mezclas para las áreas de colocación manual (con moldes fijos). Estas mezclas tienen requisitos de trabajabilidad diferentes que las mezclas a colocar mecánicamente.

c) *Resistencia a los sulfatos.*

Si los suelos o el agua del subsuelo contienen sulfatos, los materiales cementicios deben ser lo suficientemente resistentes al ataque de los sulfatos y la relación agua/materiales cementicios deberá reducirse apropiadamente. Asimismo se debe considerar el empleo de puzolanas o escorias.

A los efectos de la resistencia a los sulfatos, la consideración principal es el contenido de C3A en el cemento; sin embargo, un material cementante adicional, con altos contenidos de CaO y Al₂O₃, se agregará al contenido de C3A del sistema, haciéndolo más vulnerable ante el ataque de los sulfatos.

Algunas cenizas volátiles del tipo C pueden reducir la resistencia del concreto al ataque de los sulfatos; sin embargo, si se incorpora la misma ceniza volátil tipo C al cemento combinado con yeso, en cantidad suficiente puede proporcionar una excelente resistencia a los sulfatos.

De igual manera se puede hacer huso del cemento Portland tipo II y V, para controlar el ataque de los sulfatos.

107

d) *Incorporación de aire*

El concreto sometido a la congelación, debe contener un sistema bien distribuido de burbujas de aire atrapado finamente divididas para protegerlo de los daños causados por las heladas. Se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- ✓ Deben hacerse pastones de prueba para determinar la dosificación correcta del aditivo, para las condiciones esperadas en el sitio de obra, incluida la temperatura.
- ✓ Los requisitos típicos de contenido de aire para pavimentos, oscilan entre el 5 y el 7%, según la exposición.
- ✓ El volumen de aire requerido para la protección contra las heladas, aumenta con la disminución en el tamaño de los agregados, debido al aumento correspondiente de cantidad de estos últimos en la pasta de concreto.
- ✓ Un incremento en el contenido de aire se traduce en una disminución de la resistencia del concreto.
- ✓ Se deben ensayar los parámetros del sistema de burbujas de aire atrapado en el concreto endurecido, de acuerdo con ASTM C 457.
- ✓ Es necesario un factor de espaciamiento de las burbujas de 0.20 mm (0.008") o menor.
- ✓ Para concretos que contienen materiales cementicios suplementarios, se requiere un factor de espaciamiento de 0.15 mm (0.006") o menor.
- ✓ Se debe permitir asentar el concreto para el pastón de prueba, por un período representativo del tiempo de acarreo y luego medirlo al final de dicho período, para

asegurarse de que el ensayo contempla la pérdida de aire.

- ✓ Cuando el concreto se despacha al sitio de colocación, en camiones que no se agitan, la pérdida de aire puede estar entre 1 y 2 puntos porcentuales.
- ✓ Las operaciones típicas de pavimentación, con moldes deslizantes, reducen el contenido de aire en un 1 a 2% durante la consolidación.

C. Materiales cementantes suplementarios y cementos combinados

El uso de materiales cementicios suplementarios, ya sea como componentes de cementos combinados o agregados en la mezcladora, puede mejorar sustancialmente las propiedades del concreto. Los siguientes, son puntos clave, referidos al empleo de materiales cementantes y cementos combinados:

- La ceniza volátil tipo C y la escoria contienen suficiente calcio para poseer algunas propiedades cementantes por sí mismas.
- La ceniza volátil clase F y las puzolanas naturales reaccionan con el agua y el hidróxido del calcio de la hidratación del cemento Pórtland, para formar hidrato de silicato de calcio.
- La reactividad de los materiales cementicios y el grado de aumento de la resistencia del concreto que los contiene, pueden variar claramente según su composición química, mineralógica y de su finura.
- La ceniza volátil puramente puzolánica clase F y las puzolanas naturales, tienden a producir menor calor de hidratación y menores resistencias a edades tempranas que el cemento Pórtland.

- La ceniza volátil clase C puede producir calor de hidratación menor o mayor, y menor o mayor resistencia a edad temprana que el cemento Pórtland.
- La escoria generalmente disminuye el calor de hidratación y la resistencia a edad temprana.
- Los materiales cementicios suplementarios apropiados pueden proporcionar los siguientes beneficios:
 - Reducen la tendencia a la fisuración por temperatura, dado que disminuyen el calor de hidratación.
 - Aumentan la resistencia (particularmente a edades avanzadas).
 - Reducen la permeabilidad y la difusividad.
 - Controlan las expansiones debidas a la reactividad álcalis-sílice (ASR) y aumentan la resistencia al ataque por parte de los sulfatos.
- Algunos materiales cementicios pueden ser mejores que otros para una aplicación determinada y otros pueden ser totalmente inapropiados
- Es necesario ensayar cada combinación de materiales cementicios, agregados y aditivos, debido a que algunos materiales cementicios suplementarios empeoran la situación en lugar de mejorarla.
- Los cementos combinados que contienen ceniza volátil clase F, arcilla calcinada (expandida) y/o humo de sílice, también se pueden usar para controlar el calor de hidratación, y la resistencia al ataque de los sulfatos.
- En caso de que el cemento combinado disponible no cumpla con los requisitos para el control de la reacción álcalis-sílice o la resistencia a los sulfatos, se deberá agregar material cementante suplementario adicional del mismo tenor o diferente, según sea necesario.

D. Incompatibilidad entre materiales

Algunos concretos exhiben características indeseables, debido a la incompatibilidad entre los distintos materiales que los componen, siendo:

- Rápida pérdida de la trabajabilidad (endurecimiento temprano).
- Fraguado retardado.
- Fisuración a edad temprana debida a la contracción autógena y de secado del concreto.
- Falta de un sistema apropiado de burbujas de aire atrapado.

Estos problemas afectan la productividad de la obra y el desempeño a largo plazo del concreto. A medida que las mezclas de concreto, con el uso de materiales cementicios suplementarios y las combinaciones de los aditivos químicos, se vuelven cada vez más complejas, la probabilidad de incompatibilidad entre los materiales cementicios y los aditivos, aumenta de acuerdo a la cantidad de ingredientes que se agregan a la mezcla. Para minimizar el problema de incompatibilidad, se debe tomar en cuenta:

- Todos los aditivos utilizados en el proyecto, deben provenir del mismo fabricante para asegurar su compatibilidad. Se recomienda no exceder las dosis recomendadas.
- Debe tenerse seguridad de que todos los materiales cementicios cumplan con las especificaciones del proyecto y/o los requisitos de las normas ASTM correspondientes. Asimismo, se recomienda contar con diseños de mezcla para tiempo frío y caluroso en zonas de amplitud térmica estacional significativa.

E. Requisitos para los agregados

a) *Granulometría de los agregados*

Las mezclas de concreto producidas con una combinación de agregados bien gradados tienden a:

- ✓ Reducir la necesidad de agua.
- ✓ Proporcionar y mantener una trabajabilidad adecuada.
- ✓ Requerir una terminación mínima.
- ✓ Consolidarse sin segregarse.
- ✓ Mejorar la resistencia y el desempeño prolongado.

Las mezclas de concreto producidas por medio de una combinación de agregados de granulometría deficiente tienden a:

- Segregarse fácilmente.
- Contener mayores cantidades de finos.
- Requerir mayor cantidad de agua.
- Incrementar la susceptibilidad de agrietamiento.
- Limitar el desempeño prolongado.

La granulometría de la fracción de agregados finos también es importante: los finos demasiado pequeños dificultan la extrusión y la terminación, además de aumentar la tendencia a la exudación (sangrado); un exceso de finos aumenta la demanda de agua por parte del concreto y la dosis requerida de aditivo incorporador de aire (aireante).

La granulometría combinada de los agregados se usa para calcular los factores de grosor y de trabajabilidad, de la siguiente manera:

$$\text{Factor de grosor} = 100 \left(\frac{\% \text{ retenido tamiz } 9,5\text{mm (3/8")}}{\% \text{ retenido tamiz } 2,36\text{mm (\#8)}} \right)$$

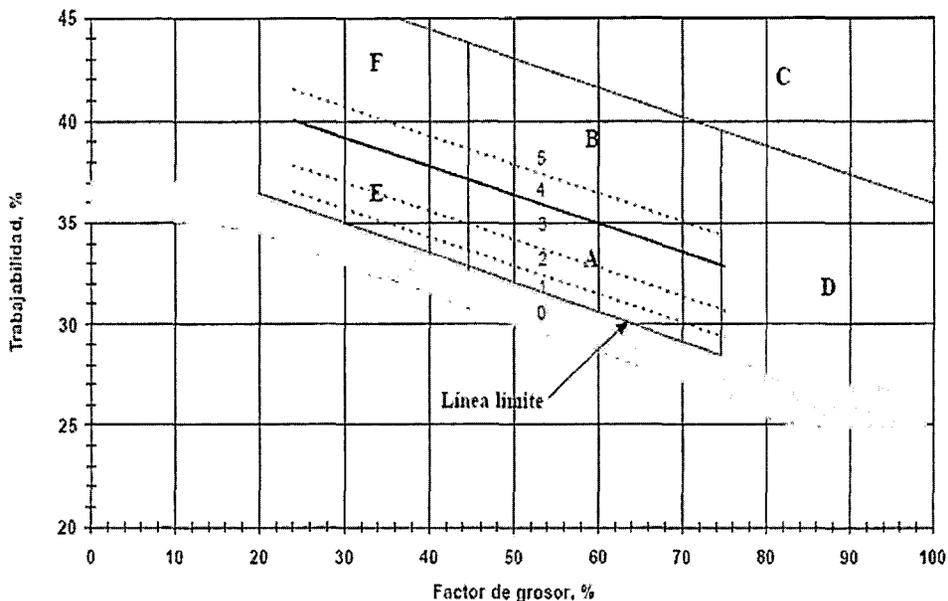
$$\text{Factor de trabajabilidad} = \% \text{ pasa tamiz } 2,36\text{mm (\#8)}$$

Es necesario aumentar el factor de trabajabilidad en un 2,5% para cada incremento de 43kg (94 lbs) de material cementante por encima de los 335 kg/m³ (564 lbs/yd³).

El factor de trabajabilidad se grafica en función del factor de grosor, tal como se muestra en la figura 6 y se evalúa de la siguiente manera:

- Las combinaciones de agregados con un punto del medio hacia arriba del cuadro A y desde la parte inferior hacia el medio del cuadro B producirán mezclas aptas para la pavimentación con moldes deslizables. Sin embargo, los agregados, basados en su textura y forma, que caen dentro de otras zonas del gráfico, también pueden ser aceptables para la pavimentación con moldes deslizables.
- Las combinaciones de agregados que caen dentro del tercio izquierdo del cuadro A producirán mezclas aptas para la pavimentación con moldes fijos.
- Las combinaciones de agregados que caen dentro de la zona media del cuadro B producirán mezclas aptas para áreas con colocación manual del pavimento.
- Las combinaciones de agregados que se muestran cerca del límite inferior pueden tender a contener una cantidad excesiva de agregado grueso.

Figura N° 06: Factor de trabajabilidad vs factor de grosor combinación de agregados.



- Las combinaciones de agregados con un punto por debajo de la línea límite inferior producirán mezclas rocosas con inadecuada cantidad de mortero.
- Las combinaciones de agregados por encima de la línea límite superior (área C) producirán mezclas arenosas con altas cantidades de finos que requieren mayores contenidos de agua y conllevan la posibilidad de disgregarse.
- Las combinaciones de agregados cerca de la parte superior del cuadro B tenderán a tomar las características de las del área C.
- Las combinaciones de agregados con factores de grosor mayor que 75 (cuadro D) producirán mezclas de granulometría deficiente, con trabajabilidad inadecuada y un alto potencial de segregación.
- Las combinaciones de agregados con un punto dentro del cuadro E o F, se relacionan respectivamente con el

cuadro A o B para tamaños de agregados menores a los 19 milímetros (3/4"). Cuando se usa el gráfico grosor/trabajabilidad, se supone que las partículas tienen forma redondeada cúbica. Estos tipos de formas de agregados normalmente mejoran las características de trabajabilidad y terminación.

b) El caso de los agregados de escorias:

Los agregados de escoria de hierro correctamente envejecida o de alto horno tienen un buen desempeño. Sin embargo, es muy importante controlar el contenido de humedad cuando se usa este tipo de agregados. Los problemas potenciales incluyen variaciones en la trabajabilidad y la consolidación. Si no se maneja bien la humedad del agregado de escoria, el concreto colocado puede presentar "nidos de abejas" y bordes de conformación deficiente.

c) El caso de los agregados de concreto reciclado:

El concreto reciclado o concreto triturado es una fuente factible de agregados siempre y cuando cumpla con los requisitos específicos de proyecto para los agregados. El concreto reciclado posee generalmente, una mayor absorción que los agregados vírgenes y posiblemente necesite más agua para alcanzar la misma trabajabilidad y asentamiento que la de un concreto agregados vírgenes. Un problema potencial que se presenta con el uso del agregado reciclado es que la variabilidad de las propiedades del concreto viejo puede afectar las propiedades del nuevo.

F. Ajustes en obra del diseño de mezcla de concreto

Durante el período constructivo puede presentarse escasez o desabastecimiento de cemento u otros ingredientes del concreto. Si es necesario cambiar el tipo, la fuente o la marca del material cementante, los aditivos o la fuente de los agregados, se deberán realizar pastones de prueba para verificar que se mantienen las condiciones requeridas.

Serán necesarios ciertos ajustes menores en las proporciones de la mezcla de concreto debido a cambios climáticos, y para mantener la trabajabilidad y el contenido de aire especificados. Si se aumenta el contenido de aire o si se agrega agua por sobre la relación a/c de diseño, puede disminuir la resistencia del concreto.

Los ajustes en las dosis de aditivos son aceptables siempre y cuando las dosis máximas no excedan los valores máximos recomendadas por el fabricante. La dosis del aditivo incorporador de aire, requerida para inyectar un volumen dado de aire, variará con la temperatura del concreto.

Si la dosis necesaria fue determinada en laboratorio a los 20 °C (70°F), puede disminuirse en aproximadamente un 30% para temperaturas de colocación entre 4 y 10 °C (40 y 50 °F) y aumentar en alrededor de un 30% para temperaturas entre 40 y 45 °C (100y 110 °F).

Si resulta necesario desarrollar un nuevo diseño de mezcla debido a los cambios en los materiales del concreto, se debe permitir que el contratista pavimente una vez que los ensayos de rotura a edad temprana indiquen que la nueva mezcla proporcionará la

9

resistencia especificada a la edad especificada. Es conveniente que el contratista use temporalmente una mezcla de mayor resistencia hasta que se disponga de los resultados de resistencia de la nueva mezcla.

Nótese que la resistencia del concreto no es el único criterio que debe cumplir la mezcla nueva. Es necesario poder mezclar, colocar, consolidar y terminar el concreto en las condiciones de trabajo.

Es necesario verificar los tiempos de fraguado. Si se espera que la construcción del pavimento se prolongue durante más de una estación o época del año, es conveniente contarse con más de un diseño de mezcla.

2.2.2.5.7 Fabricación de la mezcla

A. Almacenamiento de los agregados

Cada tipo de agregado se acopiará por pilas separadas, las cuales se deberán mantener libres de tierra o de elementos extraños y dispuestos de tal forma, que se evite al máximo la segregación de los agregados.

Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cms) inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no mayor a metro y medio (1,50 m) y no por depósitos cónicos.

Todos los materiales a utilizarse deberán estar ubicados de tal forma que no cause incomodidad a los transeúntes y/o vehículos que circulen en los alrededores. No debe permitirse el acceso de personas ajenas a la obra.

B. Suministro y almacenamiento del cemento

El cemento en bolsa se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo en rumas de no más de ocho (8) bolsas.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en silos apropiados aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento será la suficiente para el consumo de dos (2) jornadas de producción normal.

Todo cemento que tenga más de tres (3) meses de almacenamiento en sacos o seis (6) en silos, deberá ser empleado previo certificado de calidad, autorizado por el supervisor, quien verificará si aún es susceptible de utilización. Esta frecuencia disminuida en relación directa a la condición climática o de temperatura/humedad y/o condiciones de almacenamiento.

C. Almacenamiento de aditivos

Los aditivos se protegerán convenientemente de la intemperie y de toda contaminación. Los sacos de productos en polvo se almacenarán bajo cubierta y observando las mismas precauciones que en el caso del almacenamiento del cemento. Los aditivos suministrados en forma líquida se almacenarán en recipientes estancos. Estas recomendaciones no son excluyentes de las especificadas por los fabricantes.

D. Elaboración de la mezcla

Salvo indicación en contrario del supervisor, la mezcladora se cargará primero con una parte no superior a la mitad ($\frac{1}{2}$) del agua requerida para la tanda; a continuación se añadirán simultáneamente el agregado fino y el cemento y, posteriormente,

el agregado grueso, completándose luego la dosificación de agua durante un lapso que no deberá ser inferior a cinco segundos (5 s), ni superior a la tercera parte (1/3) del tiempo total de mezclado, contado a partir del instante de introducir el cemento y los agregados.

Como norma general, los aditivos se añadirán a la mezcla de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

Antes de cargar nuevamente la mezcladora, se vaciará totalmente su contenido. En ningún caso, se permitirá el remezclado de concretos que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, agregados y agua.

Cuando la mezcladora haya estado detenida por más de treinta (30) minutos, deberá ser limpiada perfectamente antes de verter materiales en ella. Así mismo, se requiere su limpieza total, antes de comenzar la fabricación de concreto con otro tipo de cemento.

Cuando la mezcla se elabore en mezcladoras al pie de la obra, el contratista, con la aprobación del supervisor, solo para resistencias $f'c$ menores a 210 Kg/cm^2 , podrá transformar las cantidades correspondientes en peso de la fórmula de trabajo a unidades volumétricas. El supervisor verificará que existan los elementos de dosificación precisos para obtener las medidas especificadas de la mezcla.

Cuando se haya autorizado la ejecución manual de la mezcla (solo para resistencias menores a $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$), esta se realizará sobre una superficie impermeable, en la que se distribuirá el cemento sobre la arena, y se verterá el agua sobre el mortero anhidro en forma de cráter.

Preparado el mortero, se añadirá el agregado grueso, revolviendo la masa hasta que adquiera un aspecto y color uniformes.

El lavado de los materiales deberá efectuarse lejos de los cursos de agua y, de ser posible, de las áreas verdes.

2.2.2.5.8 Colocación, terminación, texturizado y curado del concreto

A. Introducción

La pavimentación mecánica se usa para el pavimento principal, las pistas de rodaje de conexión y curvas de enlace amplias. Las áreas hechas a mano son aquellas demasiado pequeñas para usar la maquinaria. Para la pavimentación con máquinas se usan dos tipos de pavimentadoras: pesadas y livianas.

Las máquinas pesadas son las pavimentadoras con moldes deslizables. Las máquinas más livianas incluyen las pavimentadoras de tablero de puente, con moldes laterales y sin fin vibratorio o rodillos de cilindro.

B. Factores críticos para la pavimentación con concreto

Se deben de considerar ciertos aspectos que afectan a una pavimentación como obra civil, los mismos se proponen de la siguiente forma:

- Una buena rasante para pavimentar: cortada y pavimentada de acuerdo con las especificaciones.
- Manejo de la cuerda de guía: monitoree y mantenga la cuerda de guía en intervalos regulares.
- El suministro continuo de concreto a la pavimentadora.

- Trabajabilidad uniforme del concreto.
- Equipo de pavimentación bien mantenido.
- Operación correcta del equipo de pavimentación.
- Densidad del concreto: el nivel justo de vibración para consolidar el concreto y proporcionar la suficiente cantidad de finos para una terminación compacta.
- Una cuadrilla habilidosa y dedicada.

C. Entrega del concreto en el sitio

Antes y durante la entrega de concreto, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debe inspeccionarse la rasante para su aprobación antes de depositar concreto sobre la misma. Se retira cualquier residuo suelto y se repara cualquier daño en la base.
- Se deben verificar las cotas de la cuerda de guía.
- El concreto se debe depositar en la base dentro en el tiempo estimado tras la adición del agua. Cuando se lo coloca, se debe disponer de tiempo suficiente para su consolidación, enrasado y terminación antes del fraguado inicial.
- Cuando se avanza con las pavimentadoras con moldes deslizantes por sobre las cabeceras, se recomienda usar un concreto con mayor asentamiento, para facilitar las tareas de consolidación manual y terminación.
- Se recomienda el uso de camiones mezcladores, factor que generalmente permite una colocación más uniforme y minimiza la segregación. Una entrega uniforme del concreto posibilita minimizar las paradas y re arranques constantes de la pavimentadora.

9

Si se paran las tareas de pavimentación para esperar la recepción de concreto desde la planta, deberán usarse más camiones o será necesario reducir la velocidad de la pavimentadora.

D. Colocación del concreto

Las prácticas aceptables de colocación del concreto incluyen los siguientes aspectos:

- a) Es necesario depositar el concreto cerca y uniformemente frente a la pavimentadora o mezcladora, procurando minimizar la alteración de la base, del acero empotrado, los pasadores y los moldes laterales.
- b) Es necesario colocarlo de forma tal que ninguno de los costados de la faja de pavimentación quede sobrecargado de material.
- c) En áreas conformadas, se debe colocar el concreto lo más cerca posible a su posición final, para minimizar la posibilidad de segregación.
- d) El concreto se vuelca sobre la rasante frente a la pavimentadora o sobre colocadores a cinta transportadora y distribuidores de carga lateral.
 - o Si se le vuelca sobre la rasante, controle la velocidad de descarga regulando la apertura de la puerta trasera del camión.
 - o No se recomienda emplear una pala cargadora frontal para distribuir el concreto frente a la pavimentadora.

- e) La ventaja del volcado directamente frente a pavimentadoras o distribuidores es que permite mantener fácilmente la cantidad de carga de concreto frente al sin fin de la máquina.
- f) Las desventajas de la descarga directa son:
- ✓ Los camiones que atracan en reversa frente a la pavimentadora pueden alterar la base granulada.
 - ✓ Es necesario colocar los armazones con pasadores justo frente a la pavimentadora, hecho que no permite verificar, por falta de tiempo, el alineamiento de los pasadores o su fijación segura a la base. Es necesario tener en cuenta la seguridad de los trabajadores que se desempeñan entre la pavimentadora que avanza hacia adelante y la cola de los volquetes en reversa.
 - ✓ Se requiere la presencia de un inspector de tiempo completo para verificar la colocación y alineación de los armazones con pasadores.
 - ✓ Se debe interrumpir al menos una de las cuerdas de guía para permitir la entrada y salida de los camiones del área de pavimentación.
- g) Cuando se usa un colocador a cinta transportadora:
- Oscilar la cinta hacia adelante y hacia atrás para mantener una carga uniforme de concreto frente a la pavimentadora.
 - Si la pavimentadora tiene poco concreto, se debe llevar el colocador hacia atrás para proveer más material en las distintas zonas según sea necesario.
 - Cuando se usa un distribuidor, no se debe adelantar a más de 7,5 m (25 pies) por delante de la pavimentadora y de este modo se puede regular la cantidad de carga de concreto en esta máquina.

- 92
- El operador de la pavimentadora debe controlar el nivel de concreto en el plato, de carga elevando o bajando la hoja de enrasado en la medida de lo necesario.
- h) Cuando se usa una mezcladora se considera lo siguiente:
- El tiempo mínimo de mezclado del concreto estará en función de la cantidad de mezcla a preparar y se medirá a partir del instante en que todos los ingredientes están en la máquina, siendo el tiempo mínimo de mezcla de 1 minuto y medio (AC I- 5.8.3).
 - El contenido completo de una tanda deberá ser sacado de la mezcladora antes de empezar a introducir materiales para la tanda siguiente.
 - El volumen de una tanda no deberá exceder la capacidad establecida por el fabricante.

E. Colocación del acero empotrado y las barras de unión

Es necesario soportar mediante separadores (silletas) las barras o mallas de acero empotradas usadas normalmente en áreas de curvas de enlace y otros paneles con forma singular. Estos deben colocarse lo suficientemente cerca para que soporten el acero sin que se curve.

Las barras de unión usadas como armadura empotrada y posicionadas alrededor de las penetraciones deben soportarse por medio de separadores dentro de las tolerancias para la cota especificada. Las mallas de alambre soldadas deben ser planas y cumplir con las cotas dentro de las tolerancias

Como es común que se consolide suplementariamente con vibradores de inmersión alrededor de las mallas, los separadores

deben soportar el peso de los trabajadores durante las tareas de consolidación del concreto.

Previo a la colocación del concreto, los inspectores deben verificar y aprobar el diámetro de las barras de acero, la presencia de recubrimientos de epóxico, la ausencia de descascaramientos en el epóxico, la ubicación, cota y despeje del acero (respecto de otras barras o pasadores/barras de unión en juntas) y la distancia entre separadores.

Se pueden emplear insertadores de barras de unión auto -recargables montados sobre pavimentadoras con moldes deslizantes a lo largo de juntas longitudinales de contracción aserradas cuando se pavimentan varias fajas.

Los inyectores empujan las barras de refuerzo dentro del concreto fresco y vibran a este último por sobre las barras. Se usan distanciómetros para disparar la inserción de las barras de unión con un espaciamiento determinado. Se debe vigilar el posicionamiento longitudinal de las barras para asegurar que se mantenga la distancia mínima especificada respecto de las juntas transversales.

Se puede verificar la profundidad del acero empotrado a través de la exposición de las barras en el concreto fresco o la extracción de testigos sobre los extremos de barra, el uso de un medidor de recubrimiento de armadura magnético o la implementación de un radar penetrante de la superficie (GPR) como ensayo no destructivo.

DOWELLS

El acero liso se refiere a las barras de conexión existentes entre losa y losa, las mismas que como función tiene la transmisión de esfuerzo en los bordes de las mismas, y son colocados de manera longitudinal (juntas de contracción y dilatación), para lo cual un extremo deberá estar embebido de grasa con grasa pesada.

Todas las **barras** deben ser lisas de acuerdo a las especificaciones establecidas, y deberán respetarse las dimensiones especificadas en los planos.

F. Consolidación del concreto

El uso correcto de los vibradores internos es importante para consolidar adecuadamente el concreto sin afectar adversamente su resistencia y durabilidad. A continuación se resumen puntos importantes relacionados con la consolidación del concreto:

- a) Las pavimentadoras con moldes deslizantes consolidan el concreto en el plato de carga usando vibradores montados en serie.
- b) En las pavimentadoras más grandes, los vibradores se accionan hidráulicamente. En las más pequeñas, se pueden emplear vibradores eléctricos o hidráulicos.
- c) Una consolidación inadecuada se traduce en una menor resistencia del concreto y la formación de "nidos de abeja". La vibración inadecuada se debe a:
 - Un vibrador que funciona mal o no funciona.
 - Exceso en la velocidad de la pavimentadora.
 - Una mezcla de concreto con mala trabajabilidad.

- d) La sobre consolidación puede originar problemas en la durabilidad congelación-deshielo si el sistema de burbujas de aire atrapado es alterado en forma adversa. La sobre consolidación puede deberse a:
- Una frecuencia excesiva del vibrador.
 - La reducción de la velocidad de avance de la pavimentadora sin ajustar la frecuencia del vibrador.
 - Propiedades de mala trabajabilidad de la mezcla de concreto.
- e) Los vibradores se posicionan generalmente a no más de 10 cm (4") debajo de la superficie de pavimento terminada. El ajuste de los vibradores en una posición demasiado baja origina la acumulación de aire debajo del cabezal del plato de carga, lo que conduce a de laminaciones y a la formación de burbujas en la superficie del pavimento.
- f) Los vibradores se colocan generalmente en una inclinación de entre 5 y 10 grados. A medida que avanza la pavimentadora, los vibradores en ángulo consolidan el concreto.
- g) La distancia entre vibradores es una función del radio de acción. El radio de acción y la inyección de energía vibratoria en el concreto son una función de la velocidad de la pavimentadora, la fuerza del rotor de los vibradores y la frecuencia (fijadas por el maquinista).

Antes de comenzar cada día de trabajo, se deben verificar sin carga las frecuencias y amplitudes de los vibradores. Grandes diferencias entre los vibradores indican que los mismos están funcionando mal.

Es necesario examinar los testigos extraídos de la faja de prueba o de las etapas iniciales de pavimentación para asegurarse una consolidación aceptable en las variables de pavimentación dadas (profundidad de los vibradores, ángulo de ataque, frecuencia bajo carga, espaciado, cabezal del plato de carga y velocidad de avance).

Se deben examinar los testigos extraídos y en las trayectorias de las vibradoras evidencias de segregación de los agregados:

- Excesiva cantidad aire incorporado.
- Diferencias en la densidad del concreto endurecido.

Las grandes cavidades de aire incorporado (formación de “nidos de abeja”) y la segregación de agregados se pueden eliminar al modificar:

- La frecuencia de los vibradores.
- La velocidad de avance de la pavimentadora.
- La profundidad de los vibradores.
- La distancia entre vibradores.

Existen sistemas de vibrado inteligente que monitorean continuamente sus frecuencias durante las tareas de pavimentación. Se recomienda el uso de este tipo de sistema, dado que permite la verificación continua de la uniformidad en las frecuencias.

Una frecuencia vibratoria en el orden de 6.000 a 8.000 vibraciones por minuto (bajo carga), normalmente se traducirá en una consolidación aceptable para una mezcla correctamente diseñada.

Las mezclas de concreto que emplean control de la granulometría requieren menor frecuencia vibratoria. La respuesta de la mezcla de concreto a la vibración debe evaluarse el primer día de pavimentación o después de la construcción de la faja de prueba.

G. Terminación del concreto

La terminación del concreto es un paso crucial del proceso de pavimentación. Es la terminación manual que se aplica normalmente para obtener una superficie lisa, necesaria para corregir cualquier irregularidad detrás de la pavimentadora.

Los esfuerzos de terminación del concreto se deben mantener en un nivel mínimo. Idealmente, la mezcla de concreto correcta dará como resultado una terminación superficial aceptable detrás de la pavimentadora.

Algunos puntos importantes en cuanto a la terminación del concreto son:

- a) La necesidad de la terminación del concreto se minimiza mediante:
 - La selección de una mezcla de concreto con trabajabilidad.
 - La operación apropiada del equipo de pavimentación.

- b) La terminación manual excesiva traerá el agua a la superficie y puede afectar la lisura superficial y la durabilidad del concreto.

- c) Los problemas que surgen al cerrar la superficie detrás de la pavimentadora indican:

- Un volumen demasiado pequeño en el plato de carga y/o que el concreto está fraguando en el plato de carga.
 - Volumen de agregados finos respecto de los gruesos o volumen de pasta demasiados bajos.
 - Que el ángulo de la placa de terminación necesita ajuste.
 - Exceso de velocidad de la pavimentadora.
 - Que los vibradores necesitan un ajuste.
- d) Si se usa agua para ayudar a la terminación es necesario pulverizarla, no rociarla, sobre la superficie.

H. Texturizado del concreto

Los pavimentos de concreto deben tener una textura superficial que proporcionará el nivel deseado de resistencia al deslizamiento.

Las funciones principales de la textura superficial consisten en proporcionar:

- a) Vías de escape para el agua debajo de los neumáticos de los vehículos.
- b) Un grado de aspereza a la superficie, necesaria para que los neumáticos rompan la película residual luego de que escurra el agua masiva.

El texturizado del concreto es la técnica empleada con más frecuencia para dotar al pavimento de una superficie altamente resistente al deslizamiento. Sin embargo, no impedirá el hidroplaneo.

Se aplica mientras el concreto aún se encuentra en estado plástico. Los métodos para el texturizado incluyen:

a) *Terminación con cepillo o escoba*

- Aplicada apenas haya desaparecido el brillo del agua (agua exudada).
- Aplicada en forma transversal al eje del pavimento.
- Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 milímetros (1/16") de profundidad.
- La superficie texturizada no debe exhibir gotas ni ser excesivamente rugosa.

b) *Terminación con rastra de yute o carpeta de césped sintético.*

- El tipo de yute debe pesar más de 500g/m² (15 oz/yd²).
- El borde del yute que se arrastra necesita estar cargado con una pesada carga de mortero para producir el estriado longitudinal deseado sobre la superficie.
- Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 milímetros (1/16") de profundidad.

c) *Peinado con alambres (alambres rígidos de acero).*

- Usados para proporcionar una textura más profunda en el concreto fresco.
- Los alambres de acero tienen alrededor de 10 cm (4") de largo, 0,8 mm (0,03") de alto y 2 mm (0,08") de ancho.
- Las huellas continuas tienen aproximadamente 3 mm x 3 mm (1/8" por 1/8") y están espaciadas 13 mm (1/2") entre centros.
- No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al peinado con alambres.
- El peinado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.

d) *Rayado con alambres (bandas flexibles de acero).*

- Usadas para proporcionar una textura profunda en el concreto fresco.
- Las bandas flexibles de acero tienen 13 cm (5") de largo, aproximadamente 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") de ancho y están separadas 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") entre sí.
- No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al rayado con alambres.
- El rayado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.

I. Estriado del concreto

La conformación de estrías en el concreto blando o el corte de ranuras en el concreto endurecido son técnicas probadas y eficaces para minimizar la posibilidad de hidroplaneo durante tiempo lluvioso. Los factores a considerar para determinar la necesidad del estriado incluyen:

- El historial de accidentes e incidentes relacionados con el hidroplaneo en las carreteras.
- La frecuencia de las tormentas (frecuencia e intensidad de las lluvias).
- Las características de textura de la superficie del concreto y la naturaleza de pulido de los agregados del concreto.

Las estrías tienen aproximadamente 6 mm x 6 mm ($\frac{1}{8}$ " por $\frac{1}{8}$ ") y están espaciadas 38 mm ($\frac{1}{2}$ ") entre centros. Las estrías no se continúan por sobre las juntas y se las interrumpe a una distancia de 15 cm (6") de ellas. Los métodos de estriado incluyen:

- 83
- a) *Estriado mediante aserrado:*
Este método proporciona estrías bien conformadas y una profundidad uniforme de las mismas. La superficie estriada es más durable ya que las caras estriadas aportan agregado grueso a la matriz del concreto.
 - b) Se deben tomar precauciones al aserrar estrías adyacentes a las luminarias empotradas en el pavimento.
 - c) Estriado del pavimento blando con placa ranurada. La vibración permite la redistribución del agregado sobre la superficie del concreto. Este método proporciona estrías bien conformadas.
 - d) Estriado del pavimento blando con rodillo estriado. Este método no proporciona estrías bien conformadas. La profundidad del estriado puede ser irregular.

J. Curado del concreto

El curado es el mantenimiento de la humedad adecuada y las moderaciones de temperatura del concreto recién colocado por un período de tiempo inmediatamente posterior a su terminación.

El curado incorrecto puede causar graves detrimentos en las propiedades del concreto a corto plazo (fisuración por retracción plástica) y a largo plazo (superficie menos durable, alabeo excesivo del concreto endurecido). Dado lo anterior, se debe considerar:

- a) Los tiempos de aplicación del curado son cruciales, especialmente durante tiempo caluroso. Es necesario aplicar el curado tan pronto como desaparezca el agua sobre la superficie del concreto luego de su terminación y texturizado.

Puede que no se forme agua cuando usa ceniza volátil o escoria.

b) Cuando se emplean compuestos aplicados por pulverizado, la cantidad y uniformidad de la cobertura son factores cruciales:

- ❖ Aplicar el curado pulverizado con equipo montado sobre la estructura autopropulsada, y que abarque todo el ancho de la faja pavimentada.
- ❖ Limitar el pulverizado manual sólo en las áreas pavimentadas manualmente.
- ❖ Cuando se usan compuestos de curados con pigmentación blanca, su aplicación uniforme puede examinarse visualmente, pero es necesario verificar la proporción a través de la medición del volumen usado para un área dada y su posterior comparación con los requisitos especificados o recomendados por el fabricante.
- ❖ Es necesario aplicar el curado a las caras expuestas del concreto tras la colocación mediante moldes deslizantes o el retiro de los moldes.
- ❖ Es necesario aplicar el curado a las superficies de las juntas inmediatamente después de aserrarlas y limpiarlas.

c) Si se ha de usar curado por vía húmeda, debe mantenerse mojada la totalidad de la superficie del concreto durante todo el período de curado (generalmente 7 días) o durante la aplicación del compuesto de curado. ¹⁸.

¹⁸ TORRES ZIRIÓN, Rafael Alejandro. 2007. Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento.

2.2.2.5.9 Colocación, terminación y curado de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto

A. Introducción.

Se entiende por empedrado al: "Recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de cantos rodados o de piedra partida para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectuará sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos".¹⁹

Los diseños de los empedrados responde al criterio de rescatar y repotenciar la utilización de los materiales de la zona, es por ello la utilización de la piedra laja en el empedrado, permitiendo a la vez generar mayores fuentes de trabajo y reducir el costo del empedrado.

Por otro lado, el tratamiento con piedra laja responde a la necesidad de rescatar la imagen de la ciudad, manteniendo la identidad en el tratamiento de las calles.

El empedrado generalmente es considerado con capacidad para el tránsito peatonal y vehicular livianos en algunos casos.²⁰

B. Factores críticos para la pavimentación con concreto.

Se deben de considerar ciertos aspectos que afectan a una pavimentación como obra civil, los mismos se proponen de la siguiente forma:

¹⁹ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. 2004. Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados.

²⁰ Municipalidad Provincial de Huancavelica. 2005. Proyecto: Construcción y Acondicionamiento de Vías Urbanas.

- Una buena rasante para pavimentar, deberá ser cortada y pavimentada de acuerdo con las especificaciones.
- Manejo de la cuerda de guía: monitoree y mantenga la cuerda de guía en intervalos regulares.
- El suministro continuo de concreto de la mezcladora.
- Trabajabilidad uniforme del concreto.
- Operación correcta del equipo de pavimentación.
- Una cuadrilla habilidosa y dedicada.

C. Entrega del concreto en el sitio.

Antes y durante la entrega de concreto, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debe inspeccionarse la rasante para su aprobación antes de colocar el concreto sobre la misma. Se retira cualquier residuo suelto y se repara cualquier daño en la base.
- Se deben verificar las cotas de la cuerda de guía.
- El concreto se debe depositar en la base dentro del tiempo estimado tras la adición del agua. Cuando se coloca, se debe disponer de tiempo suficiente para su consolidación, enrasado y terminación antes del fraguado inicial.

D. Colocación del emboquillado y de la piedra laja:

a) Materiales (piedra laja):

Laja o piedra laja, en general, es una roca plana, lisa y poco gruesa. Los colores van desde los ocres hasta los marrones. Algunos la describen como una roca sedimentaria que se separa fácilmente en tablas planas debido a la estratificación en los yacimientos.

Explotación:

Se lleva a cabo la explotación a cielo abierto. Mediante pequeñas voladuras se extraen los planchones de piedra que se encuentran "flojos". Mientras mayor sea el tamaño de la plancha, mejor. La laja de esquisto o de caliza relativamente dura, se utiliza para algunos enlosados.

Hay algunas piedras lajas de origen volcánico que pertenecen al grupo de las andesitas, rocas características de la Cordillera de Los Andes. Algunas tienen aparición de óxidos de manganeso, fierro y otros minerales, les brindan un color azul metálico, rojo, negro y verde sobre un cuerpo generalmente gris.

Tratamiento:

Se hace una selección del material en la misma mina. Se puede cortar según la aplicación que se le quiera dar.

Aplicaciones:

En la industria de la construcción, para revestimiento de pisos y paredes principalmente.²¹

Ensayos de piedra natural como producto:

- Absorción y peso específico aparente (absorción representa el volumen total de los poros accesibles al agua, a la presión atmosférica y el peso específico aparente representa la compacidad de la piedra).
- Absorción de agua por capilaridad (representa la velocidad de absorción de agua debido a la succión capilar).

²¹ Piedra Laja. Generalidades Piedra Laja. pág. 1.

- Resistencia a la flexión (representa el esfuerzo de flexo tracción que puede soportar una piedra cuando se las somete a una carga centrada de valor P).
- Resistencia a los anclajes (resistencia al arranque de un bulón de acero colocado en el canto de placa, cuando se le somete a una fuerza perpendicular a su eje).
- Energía por rotura de impacto (determina la rotura por impacto de un asa esférica al caer desde una cierta altura).
- Resistencia a las heladas (Se evalúa por diferentes procedimientos después de realizar un cierto número de ciclos hielo/deshielo. Los criterios de evaluación son: pérdida de volumen del material en más de 1%, pérdida de la resistencia a la flexión en más de un 25% y pérdida del valor del módulo de elasticidad en más de un 30%).
- Resistencia al choque térmico (la realización de ciclos de calentamiento en estufa a 105°C y en agua a 20°C reproduce en el laboratorio el calentamiento que la actividad solar origina sobre la piedra natural, reflejándose en diferentes patologías, tales como: oxidaciones, cambios de color, hinchamientos, roturas, deformaciones, pérdidas de masa, cuyas causas tienen orígenes distintos).
- Microdureza de Knoop (es una prueba de microdureza, un examen realizado para determinar la dureza mecánica especialmente de materiales muy quebradizos o laminas finas)
- Análisis petrográfico (consiste en obtener la clasificación petrográfica correcta de la piedra; debe incluir la composición mineralógica completa, así como el porcentaje estimado de los mismos. Es importante hacer

mención a los minerales que puedan ser susceptibles a la alteración así como a la presencia de fisuras, microgrietas, rellenos y venas).²²

Consideraciones:

- ✓ Las piedras a utilizar en el emboquillado deberán tener forma y texturas que nos favorezcan una buena adherencia con el concreto.
- ✓ Las piedras que se utilicen deberán estar limpias y exentas de costras. Si sus superficies tienen cualquier materia extraña que reduzca la adherencia, se limpiarán o lavarán, y serán rechazadas si tienen grasas, aceites y/o si las materias extrañas no son removidas.
- ✓ No se debe usar lajas redondeadas, intemperizadas, frágiles o con grietas.
- ✓ Las piedras a emplearse pueden ser seleccionadas de la fuente de cantera. ²³
- ✓ El espesor deberá estar entre 4" y 5" extraída de cantera previa selección, los mismos pueden ser utilizados en las aceras, calzada del empedrado, las dimensiones pueden variar de acuerdo al diseño del empedrado, serán contruidos por piedras de roca ígnea, sin adiciones de tizas, pizarras u otro material débil, concreto para la cama

de asiento, consistente en suelo cemento.

b) Preparación de la superficie antes del asentado de piedras lajas.

²² Ensayos de piedra natural como producto. pág. 1.

²³ Institución Pública Descentralizada del Sector Transportes y Comunicaciones. 2000. Proyecto: Rehabilitación Integral del Ferrocarril Huancayo-Huancavelica – Componente I: Rehabilitación de la Infraestructura Ferroviaria.

La superficie de asiento llevará una losa de concreto recientemente colocada sobre la base, en capas no mayores de 4" o de acuerdo a la especificación técnica, lista para el asentado de las piedras lajas y emboquillada con concreto.

La superficie de la base se presentará limpia y debidamente humedecida.

c) *Normas y procedimiento que regirán en la colocación de piedras lajas emboquillado con concreto*

Úsese una mezcla de concreto de acuerdo a la resistencia requerida, el mismo deberá ser seco y obedecerá tomarse en cuenta las normas establecidas, se recomienda la utilización de los agregados limpia de impurezas.

d) *Colocación de piedras.*

Sobre el concreto fresco de la cama de asiento, serán colocadas presionándolas hasta que ocupen su nivel definitivo.

Las piedras lajas se colocarán mojadas, por medio de cordeles se controlarán la nivelación y manteniendo las juntas entre piedra y piedra no mayor a 1"-1/2".

e) *Fraguado de piedras lajas.*

Pasta de arena limpia y zarandeada más cemento con proporción 1:5, la misma que se deberá curar durante 72 horas consecutivas después de las 9:00 a.m. y antes de las 2:30 p.m.

E. Entrega del piso.

Antes de la entrega del piso, previa revisión de las partes con deficiencias, se procederá al cambio y/o resane de los mismos, para finalmente ser lavadas con escobillón de acero y poner expedito para la entrega de la obra.²⁴

F. Terminación del concreto.

Es la terminación manual que se aplica normalmente para obtener una superficie lisa, necesaria para corregir cualquier irregularidad idealmente; la mezcla de concreto correcta dará como resultado una terminación superficial aceptable.

G. Texturizado del concreto.

Deben tener una textura superficial que proporcionará el nivel deseado de resistencia al deslizamiento.

H. Curado del concreto.

El curado es el mantenimiento de la humedad adecuada y los de temperatura del concreto recién colocado por un período de tiempo inmediatamente posterior a su terminación.

El curado incorrecto puede causar graves detrimentos en las propiedades del concreto a corto plazo (fisuración por retracción plástica) y a largo plazo (superficie menos durable, alabeo excesivo del concreto endurecido). Dado lo anterior, se debe considerar:

- ❖ Si se ha de usar curado por vía húmeda, debe mantenerse mojada la totalidad de la superficie del concreto durante todo el

²⁴ Municipalidad Provincial de Angaraes. Proyecto: Construcción y Acondicionamiento de Vías Urbanas. 2000.

período, generalmente 7 días o durante la aplicación del compuesto de curado.²⁵

2.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo f_c . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas especímenes de mortero o de concreto.

2.2.3.1 Prueba de resistencia a la compresión del concreto

El ensayo con el cual se mide la resistencia a la compresión del concreto, está establecido en las normas NTC 550 y 673.

Se emplean moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud. Para cada edad se debe ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con el valor promedio.

A. Se debe aceitar las paredes del molde; al llenar este se debe lograr una buena compactación, la cual puede realizarse con varilla (método apisonado) si el asentamiento es mayor a 7,5 cm o con vibrador (método vibrado) si el asentamiento es menor a 2,5 cm, para asentamientos entre 2,5 y 7,5 cm puede usarse varilla o vibrador.

La varilla compactadora debe ser de acero estructural, cilíndrica, lisa, de 16 mm de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm; la punta debe ser redondeada.

²⁵ Torres Ziri6n, Rafael Alejandro. 2007. An6lisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento R6gido.

B. Los cilindros se llenan con concreto en capas de igual volumen aproximadamente, el número de capas depende del método de compactación escogido, así:

- Varillado 3 capas
- Vibrado 2 capas

a) En el método apisonado (varillado) cada capa se debe compactar con 25 golpes, los cuales se distribuyen uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad; al compactar las capas superior e intermedia la varilla debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediatamente inferior. Si al retirar la varilla quedan huecos en el cilindro, estos deben cerrarse golpeando suavemente en las paredes del molde.

b) En el método por vibración se debe transmitir al cilindro el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en dos capas aproximadamente iguales, todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar su vibrado.

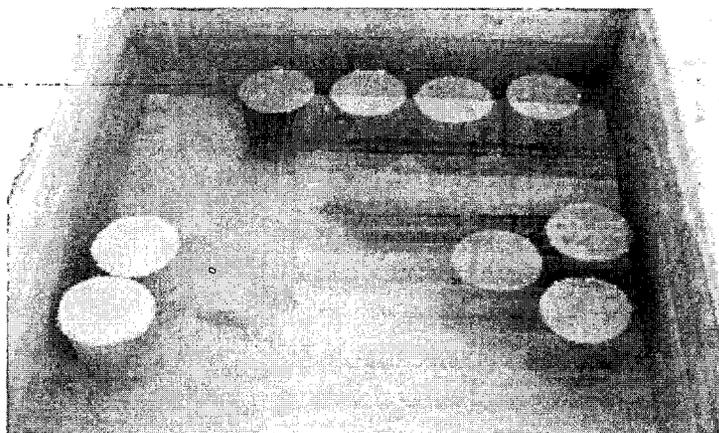
La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador, se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa. En la vibración interna en cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes; al compactar, el vibrador no debe tocar el fondo o las paredes del molde y debe penetrar 25 mm aproximadamente en la capa inferior.

El vibrador se debe retirar suavemente de modo que no se formen bolsas de aire. En la vibración externa debe tenerse el cuidado de que el molde esté rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

Los cilindros deben referenciarse. Los moldes con el concreto se deben colocar durante las primeras 16 horas como mínimo y máximo 24 horas, sobre una superficie rígida, libre de vibración u otras perturbaciones. Los cilindros se deben almacenar en condiciones tales que se mantenga la temperatura entre 16 °C y 27 °C y se prevenga la pérdida de humedad de los mismos.

Los cilindros, para verificar el diseño o para control de calidad, deben removerse de los moldes después de 20 + 4 horas de haber sido moldeados y deben almacenarse en condiciones de humedad tales que siempre se mantenga agua libre en todas sus superficies, a temperatura permanente de 23 + 2 °C hasta el momento del ensayo. Los cilindros no deben estar expuestos a goteras o corrientes de agua, si se desea almacenamiento bajo agua esta debe estar saturada de cal.

Figura N° 07: Almacenamiento del concreto bajo agua saturada con cal.



73

Los cilindros que se toman para conocer el tiempo mínimo de desencofrado, el tiempo para dar al servicio una estructura o para hacer el control de curado en las obras, se deben almacenar dentro o sobre la estructura, tan cerca como sea posible al sitio donde se está usando el concreto y deben recibir la misma protección que la dada a las partes de la estructura que representan, y los moldes deben removerse simultáneamente con el retiro de los encofrados no portantes.

Para el ensayo de compresión deben sumergirse en agua los cilindros por 24 + 4 horas inmediatamente antes de la rotura para asegurar una condición uniforme de humedad.

Los cilindros se deben probar a la edad especificada por el calculista, aunque se recomienda probar parejas de cilindros antes y después de la edad especificada con el fin de determinar cómo ha sido el desarrollo de resistencia.

Antes de probar los cilindros se debe comprobar que sus bases sean planas, las bases de los cilindros que no sean planas dentro de 0,005 mm deben refrentarse.

El refrentado se puede hacer con mortero de azufre o yeso de acuerdo con la norma NTC-504. Los cilindros deben ensayarse tan pronto como sea posible, en estado húmedo; se llevan a la máquina de ensayo y se aplica carga a una velocidad constante (1,4 a 3,5 kg/cm²/s) hasta que el cilindro falle.

Figura N° 08: Refrentado de cilindros de concreto (mortero de azufre y almohadillas de neopreno).



La resistencia a la compresión se calcula así:

$$RC = P/A$$

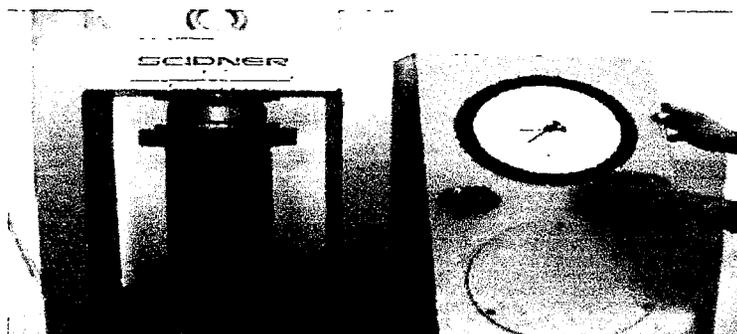
Dónde:

P = Carga máxima aplicada en kg.

A = Área de la sección transversal

RC = Resistencia a la compresión del cilindro en kg/cm², con aproximación a 1kg/cm²; 10kg/cm² ~1Mpa; también representado por f'c.

Figura N° 09: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.



Adicional al valor de la resistencia a la compresión se debe reportar el número de identificación o referencia del cilindro, su edad, tipo de fractura y defectos tanto del cilindro como del refrentado.²⁶

2.2.3.2 Edad para la rotura de las probetas

La edad normal para ensayos de los cilindros de prueba será de veintiocho (28) días, pero para anticipar información que permitirá la marcha de la obra sin demoras extremas, dos de los cilindros de cada ensayo serán probados a la edad de siete (7) días, calculándose la resistencia correlativa que tendrá a los veintiocho (28) días.

En casos especiales, cuando se trate de concreto de alta resistencia y ejecución rápida, es aceptable la prueba de cilindros a las 24 horas, sin abandonar el control con pruebas a 7 y 28 días.

Durante el avance de la obra, se podrá tomar las muestras al azar que considere necesarios para controlar la calidad del concreto.

Se hará una prueba de rotura por cada diez metros cúbicos de mezcla a colocar para cada tipo de concreto. Cuando el volumen de concreto a vaciar en un (1) día para cada tipo de concreto sea menor de diez metros cúbicos, se sacará una prueba de rotura por cada tipo de concreto o elemento estructural.

La resistencia promedio de todos los cilindros será igual o mayor a las resistencias especificadas, y por lo menos el 90% de todos los ensayos indicarán una resistencia igual o mayor a esa resistencia.

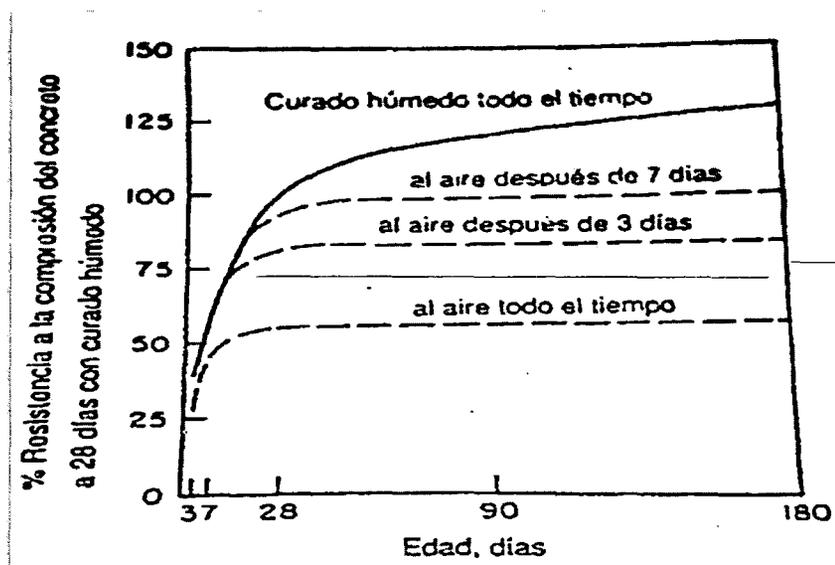
²⁶ Mora Q, Samuel. 2006. "Pavimentos de Concreto Hidráulico". III Seminario Nacional de Gestión y Normatividad Vial".

En los casos en que la resistencia de los cilindros de ensayo para cualquier parte de la obra esté por debajo de los requerimientos anotados en las especificaciones, el Interventor, de acuerdo con dichos ensayos y dada la ubicación o urgencia de la obra, podrá ordenar o no que tal concreto sea removido, o reemplazado con otro adecuado, dicha operación será por cuenta del contratista en caso de ser imputable a él la responsabilidad.

Cuando los ensayos efectuados a los siete (7) días estén por debajo de las tolerancias admitidas, se prolongará el curado de las estructuras hasta que se cumplan tres (3) semanas después de vaciados los concretos.²⁷

El siguiente gráfico muestra la influencia de las condiciones de curado en la resistencia.²⁸

Figura N° 10: Influencia de las condiciones de curado en la resistencia (de concrete Manual, 8va edición, U. S. Bureau of Reclamation, 1981)



²⁷ "Pruebas de Lab Concreto"- 2013.

²⁸ kumar Mehta, P y J. M. Monteiro, Paulo. 1998. Concreto. Estructuras, Propiedades y Materiales.

2.2.3.3 ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión?

- Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada del proyecto ($f'c$).
- Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.
- Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 "Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo".²⁹

2.2.4 ENSAYOS ESCLEROMÉTRICOS

La evaluación de las estructuras de concreto en sitio, además de los métodos de extracción de testigos y pruebas de carga, se pueden realizar mediante ensayos no destructivos, que tienen la ventaja de permitir el control de toda la estructura y sin afectarla en forma rápida dentro de los métodos no destructivos, los de dureza superficial son los más generalizados, por su economía y facilidad de ejecución, entre ellos el método del esclerómetro es empleado por el mayor número de países.

²⁹ IMCYC. 2006. "Pruebas de Resistencia a la Compresión del Concreto". Editado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

60

El esclerómetro fue diseñado por el Ing. Suizo Ernest Schmidh en 1948, constituyendo una versión tecnológicamente más desarrollada que los iniciales métodos de dureza superficial generados en la década del veinte.³⁰

2.2.4.1 Campo de aplicación

El campo de aplicación, originalmente, fue propuesto como un método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto estableciendo curvas de correlación en laboratorio; sin embargo por los diferentes factores que afectan los resultados y la dispersión que se encuentra, en la actualidad, se le emplea mayormente en los siguientes campos:

- Evaluar la uniformidad del concreto en una obra.
- Delimitar zonas de baja resistencia en las estructuras.
- Informar sobre la oportunidad para desencofrar elementos de concreto; apreciar cuando se cuenta con antecedentes.
- La evolución de la resistencia de estructuras.
- Determinar niveles de calidad resistentes, cuando no se cuenta con información al respecto.
- Conjuntamente con otros métodos no destructivos a la evaluación de las estructuras.
- Determinar la resistencia del concreto.

2.2.4.2 Factores que inciden en la prueba

Además de los factores intrínsecos, los resultados de los ensayos reciben la influencia de los siguientes parámetros:

- Textura superficial del concreto.

³⁰ "Determinación de la resistencia del hormigón con Martillo Smith"

- Medida, forma y rigidez del elemento constructivo.
- Edad del concreto.
- Condiciones de humedad interna.
- Tipo de agregado.
- Tipo de cemento.
- Tipo de encofrado.
- Grado de carbonatación de la superficie.
- Acabado.
- Temperatura superficial del concreto y la temperatura del instrumento.

2.2.4.3 Tipos de esclerómetros

En la actualidad se encuentra en el mercado varios tipos como son:

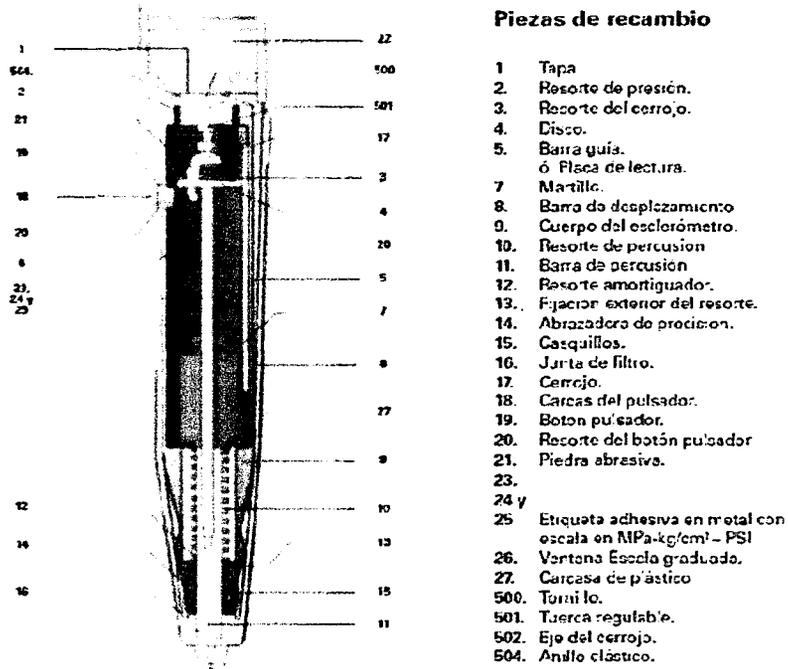
- a. **El martillo Smith.-** Es un dispositivo mecánico usado para realizar ensayos no destructivos en materiales como el concreto o roca para estimar la resistencia a compresión simple a partir de la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada, el procedimiento de utilización del martillo Smith es en base a la norma ASTM D5873-05.³¹

Es el más utilizado por su sencillez y bajo costo, mide la dureza superficial del concreto en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya.

Útil para determinar la evolución de la resistencia del endurecimiento del concreto, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra. Figura (11).

³¹ Antonio Lozano. GEOINSTRUMENTS, S.A.C. MARTILLO SCHMIDT (ESCLERÓMETRO).

Figura N° 11: Martillo Smith.



De igual manera con los valores obtenidos de resistencia a compresión de las rocas se puede clasificar la roca por su resistencia de acuerdo a la tabla (N° 28).

Tabla N° 28: Clasificación de la resistencia según la ISRM (Sociedad Internacional para Roca Mecánica)

Descripción	Resistencia a compresión
Extremadamente blanda	< 1 MPa
Muy blanda	1-5 MPa
Blanda	5-25 MPa
Moderadamente blanda	25-50 MPa
Dura	50-100 MPa
Muy dura	100-250 MPa
Extremadamente dura	> 250 MPa

La siguiente tabla (N° 29) muestra valores típicos medidos en diferentes tipos de roca con un martillo Smith tipo L. ³²

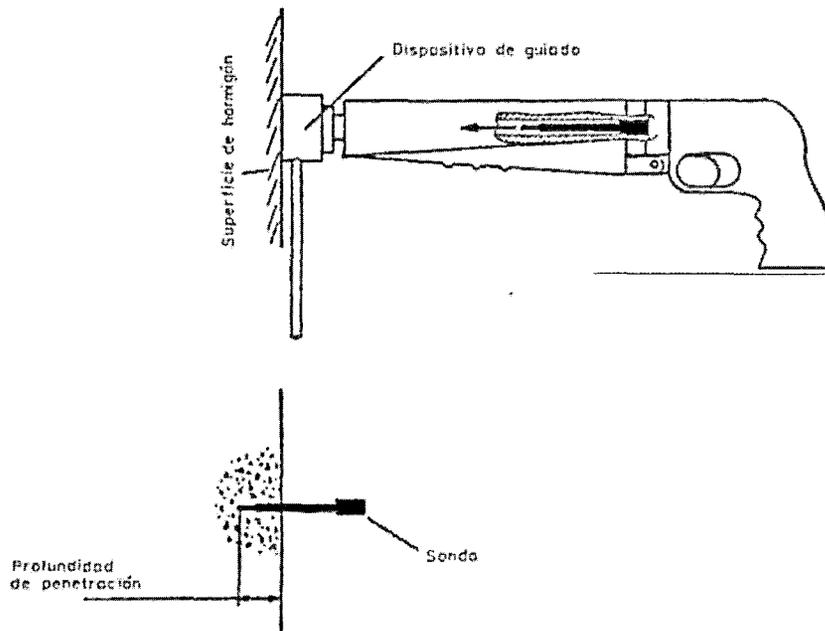
³² Antonio Lozano. GEOINSTRUMENTS, S.A.C. MARTILLO SCHMIDT (ESCLERÓMETRO).

Tabla N° 29: Valores típicos de número de rebotes medidos con martillo tipo L para diferentes rocas

Tipo de roca	R _L
Andesita	28-52
Arenisca	30-47
Basalto	35-58
Caliza	16-59
Creta	10-29
Cuarcita	39
Diabasa	36-59
Dolomía	40-60
Esquisto	29-41
Gabro	49
Gneiss	48
Granito	45-56
Limolita	47
Lutita	15
Marga	18-39
Mármol	31-47
Peridotita	45
Prasinita	41
Sal	23
Serpentinita	45
Toba	13-40
Yeso	30-44

- b. **El martillo Frank.**- Mide la dureza superficial del concreto por el diámetro de la huella que deja impresa una bola de acero sobre la que se da un golpe. Figura (12).

Figura N° 12: Ensayo pistola de Windsor.



- c. **Esclerómetro digital modelo W-D-2000.**- El esclerómetro digital de James NDT es un sistema avanzado y completamente automático para la estimación de la resistencia a compresión del concreto. Figura (13).

Es un equipo esclerómetro que calcula automáticamente la media, mediana, el valor del rebote (R), y la resistencia a la compresión del concreto.

La capacidad de cálculo, memoria y capacidad de grabar datos permiten resultados rápidos, fáciles de obtener y precisos, además el sistema descarta valores erráticos para que se puedan realizar análisis más precisos.

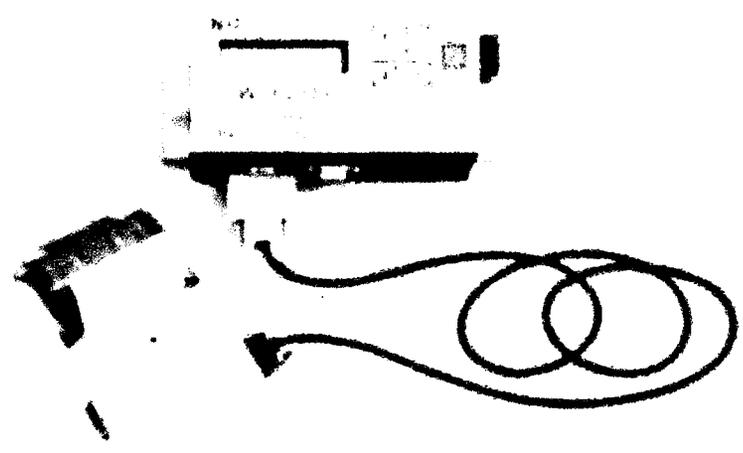
La incorporación de un software interno permite almacenar datos, imprimirlos y transferir información a un PC para su análisis posterior o inclusión en informes.³³

❖ *Especificaciones*

- Pantalla: 2 x 16 Trans - reflectiva.
- Construcción: fabricado a base de aluminio para resistir el agresivo ambiente de la construcción.
- Temperatura de operación: de 0°C a 50°C.
- Tamaño: 100mm x 100mm x 270 mm.
- Peso: 1.6 kg.

³³ ROJAS REYES, Remigio. 2010. "Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros a Edades Tempranas Mediante el Empleo del Esclerómetro".

Figura N° 13: Esclerómetro digital modelo W-D 2000.

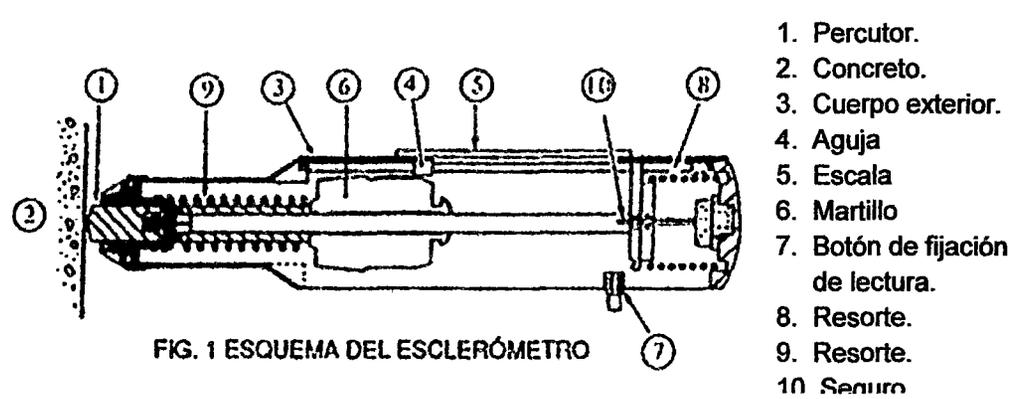


2.2.4.4 Ensayo del esclerómetro con el martillo de Smith (Usado para la obtención de los resultados del trabajo de investigación).

2.2.4.4.1 Descripción del aparato

La descripción del aparato muestra el esquema y está dado por la información del fabricante, en el que se singulariza los siguientes elementos:

Figura N° 14: Esquema del esclerómetro.



2.2.4.4.2 Alcances para realizar el ensayo

- Para efectuar el ensayo se apoya firmemente el instrumento, con el émbolo perpendicular a la superficie, incrementando gradualmente la presión hasta que el martillo impacte y se tome la lectura.
- Los impactos deben efectuarse a por lo menos 2.5 cm de distancia.
- Se debe de tomar 8 lecturas como mínimo para obtener el promedio.
- En el caso que una o dos lecturas difieran en más de 7 unidades del promedio, serán descartadas. Si fueran más las que difieren se anulará la prueba.
- Los ensayos son influenciados por la característica del concreto en la zona de impacto, los vacíos o la presencia de agregado grueso disminuyen o incrementan los valores. Esto ocurre a menudo en concretos con agregado mayor de 2" o con menor a 140 kg/cm² de resistencia, en los cuales el método no es apropiado.
- Después de cada disparo se examina el lugar del impacto y si se nota trituración o daño superficial se descarta la medida.
- El coeficiente de variación del número de rebote crece con el incremento de la resistencia del concreto.

2.2.4.4.3 Procedimiento del ensayo del esclerómetro (martillo de Smith)

El martillo únicamente se debe usar en las superficies de los materiales a ensayar y en el yunque de prueba.

En el caso de ensayos in situ, el desarrollo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada así mismo dejando la superficie del concreto libre de residuos, esta superficie deberá estar fresca y limpia, sin ningún signo de alteración ni fracturas.

Para alisar la superficie de ensayo se utiliza una piedra de amolar (Fig. 15).

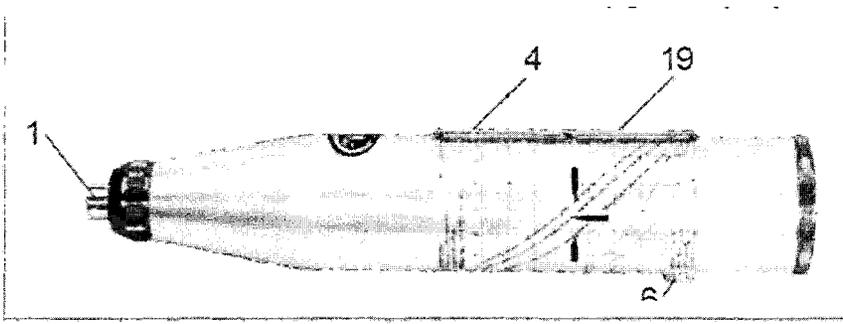
Figura N° 15: Preparación de la superficie de ensayo.



Para la ejecución del ensayo, se realizan los siguientes pasos:

- Posicionar el martillo perpendicularmente a la superficie de la roca ensayada.
- Disparar el vástago o punzón de impacto [1] empujando el martillo hacia la superficie de ensayo hasta que el botón [6] salte hacia fuera (Fig. 16).
- Pulsar el botón para bloquear el vástago de impacto después de cada impacto.
- A continuación, leer y anotar el valor de rebote (R) indicado por el puntero [4] en la escala [19].³⁴

Figura N° 16: Ejecución del ensayo.



³⁴ Antonio Lozano. GEOINSTRUMENTS, S.A.C. MARTILLO SCHMIDT (ESCLERÓMETRO).

2.2.4.4 Información adicional al análisis de resultados

Los resultados de ensayo deberán ser registrados y ser sujetos al análisis estadístico, cuando fuera el caso, incluyéndose en el informe lo siguiente:

- Identificación de la estructura.
- Localización.
Ejemplo: columna 2, nivel 3,2 m de altura, cara este.
- Descripción del área de ensayo.
Ejemplo: superficie seca, esmerilada, con textura del encofrado de madera.
- Descripción del concreto.
- Composición: si se conoce agregados, contenido de cemento a/c, aditivo usado, etc.
- Resistencia del diseño.
- Edad.
- Condiciones de curado o condiciones inusuales relativas al área de ensayo.
- Tipo de encofrado.
- Promedio de rebote de cada área de ensayo.
- Valores y localizaciones de rebotes descartados.
- Tipo y número de serie del martillo.

2.2.5 COSTOS Y PRESUPUESTO DE OBRA

Determinación del presupuesto:

En esta investigación se utilizara como factores, la mano de obra, materiales, equipos y herramientas para determinar el presupuesto de los proyectos a evaluar, seguidamente se realizará la comparación entre las dos alternativas para la pavimentación urbana, se tomará en cuenta los costos iniciales con el que fue ejecutado para un periodo de vida útil

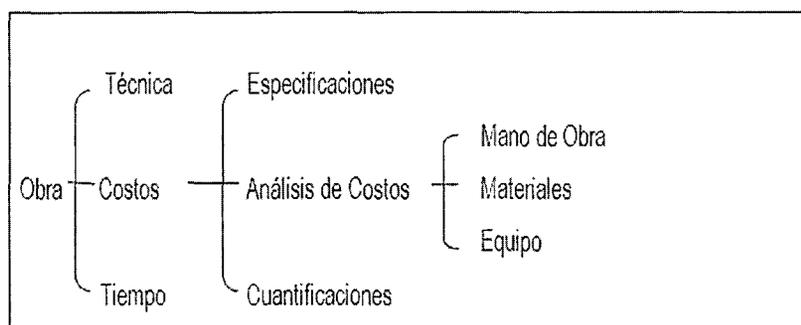
de 20 años, finalmente se actualizarán los presupuestos de cada proyecto.³⁵

Para lo cual es muy importante conocer las siguientes definiciones:

Costo y presupuesto.- Son dos términos estrechamente relacionados dado que no puede haber presupuesto sin costos y un costo por sí solo, aplicado a una cantidad o metrado, de determinada unidad, constituye ya un presupuesto.

Para el caso de una obra se puede plantear el siguiente esquema:

Figura N° 17: Esquema del presupuesto.



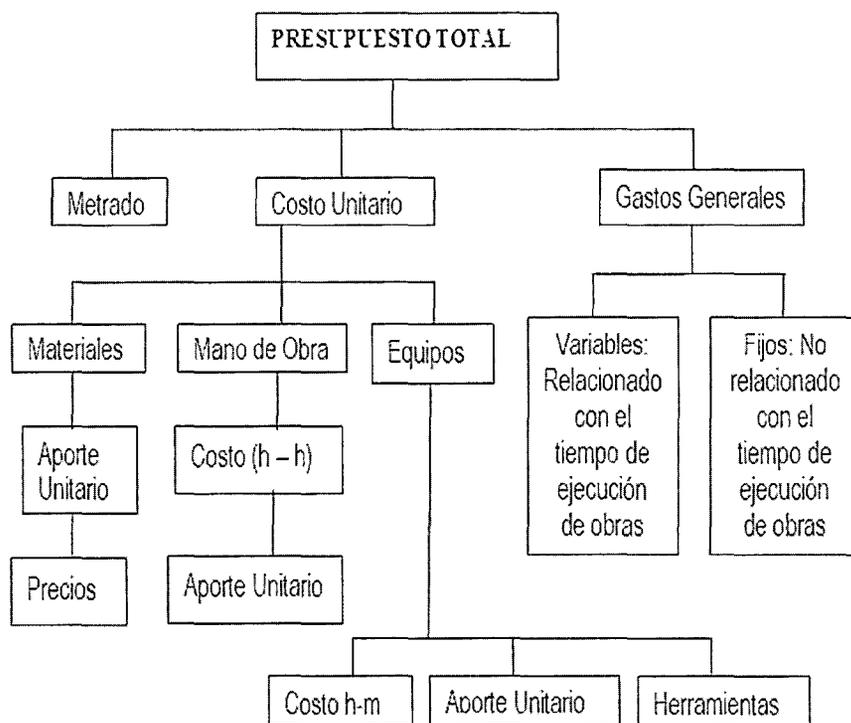
Fuente: Costos y Presupuestos de Obra. 2010

Tipos de costos.- Existen dos tipos de costos:

- a) **Costos directos:** conformado por la mano de obra, materiales y equipo y herramientas
- b) **Costos indirectos:** Conformado por los gastos generales y la utilidad.

³⁵ Miguel Salinas Seminario. 2010. "Costos y Presupuestos de Obra".

Figura N° 18: Esquema del presupuesto total.



Fuente. Costos y Presupuestos de Obra. 2010

2.3 HIPÓTESIS:

En nuestro trabajo de investigación formulamos las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula (Ho):** No existe diferencias entre la pavimentación con concreto hidráulico y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto respecto a la resistencia a compresión a nivel de superficie de rodadura en la zona urbana del Distrito de Lircay.
- **Hipótesis alterna (Ha):** Existe diferencias entre la pavimentación con concreto hidráulico y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto respecto a la resistencia a compresión a nivel de superficie de rodadura en la zona urbana del Distrito de Lircay.

2.4 VARIABLES DE ESTUDIO

- VARIABLES INDEPENDIENTES "X":
 - X1: Pavimentación con concreto hidráulico.
 - X2: Pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto.

- VARIABLES DEPENDIENTES "Y":
 - Resistencia del pavimento al tránsito vehicular mediano y liviano
 - Presupuesto del proyecto.

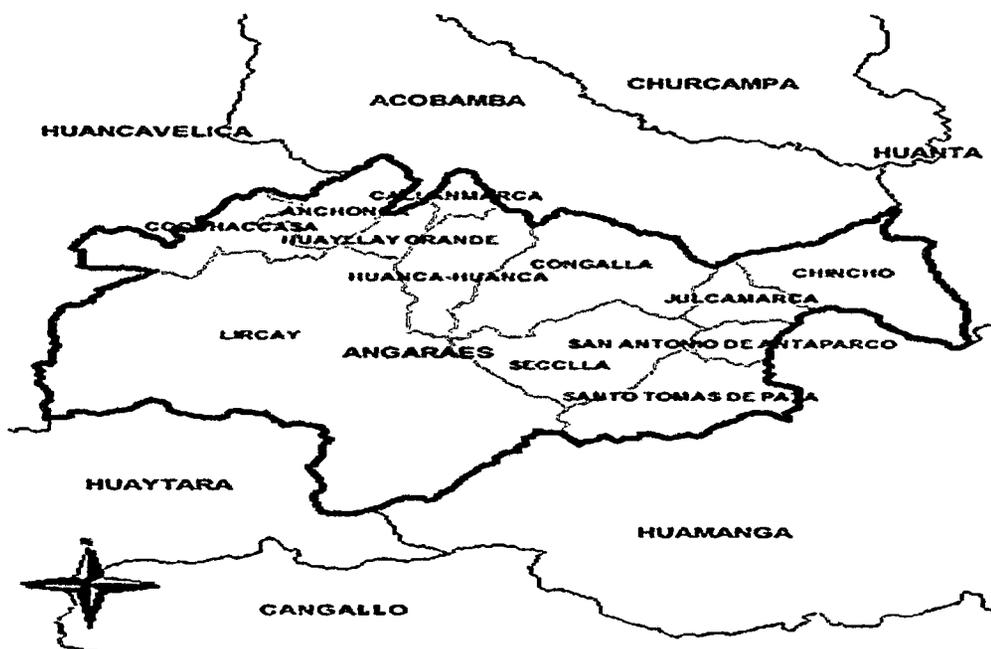
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO:

La investigación se ha desarrollado en la zona urbana del Distrito de Lircay y los ensayos de campo se han realizado en la pavimentación del Jr. Sicra, ejecutada el año 2001 y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la Jr. Maravillas, ejecutada el año 2000. Los cuales se encuentran en inmediaciones del radio urbano.

Figura N° 19: Fuente de la oficina de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial de Angaraes.



a) UBICACIÓN POLITICA:

El presente trabajo de investigación se realizó en:

- País : Perú
- Departamento : Huancavelica.
- Provincia : Angaraes.
- Distrito : Lircay.
- Lugar : Radio Urbano de Lircay (Jr. Sicra y Jr. Maravillas).

b) UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

Geográficamente está ubicado en:

- Latitud Sur : 12°47'06".
- Longitud Oeste : 74° 58'17".
- Altitud : 3278 msnm.

Coordenadas UTM:

❖ Jr. La Sicra

- Norte : 8564502.90-N
- Este : 530431.29-E
- Altitud : 3275 msnm.

❖ Jr. Maravillas

- Norte : 8564028.93-N
- Este : 530298.01-E
- Altitud : 3278

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Con la investigación desarrollada no se ha pretendido encontrar o determinar nuevas teorías sino, se ha empleado las teorías ya existentes que nos ha permitido cumplir con los objetivos y demostrar las hipótesis planteada a través del análisis de información disponible sobre el tema de investigación, comprender la descripción, registro, análisis e interpretación de los datos obtenidos en el campo y la presentación de la alternativa más conveniente para la elección del tipo de pavimentación a elegir para una zona urbana, tomando en cuenta el f'c del pavimento y el presupuesto mínimo a invertir en el proyecto. Por todo ello la investigación que hemos realizado ha sido un tipo de INVESTIGACIÓN APLICADA – DESCRIPTIVA.

La investigación aplicada es una actividad que tiene por finalidad la búsqueda y consolidación del saber, y la aplicación de los conocimientos para el enriquecimiento del acervo cultural y científico, así como la producción de tecnología al servicio del desarrollo integral del país. ³⁶

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

De acuerdo a la naturaleza de la investigación realizada, reúne por su nivel las características de un estudio EXPERIMENTAL y CORRELACIONAL, ya que CONCYTEC en su manual de investigación, los definen de la siguiente manera: ³⁷

Investigación a nivel experimental.- Se encuentra dirigida a la validación de hipótesis que expliquen las causas de un fenómeno específico.

Investigación a nivel correlacional.- Cuando se pretende hacer ver o determinar el grado de relación que pueden tener dos o más variables en una investigación.

³⁶ "Investigación Pura y Aplicada". pág. 2.

³⁷ CONCYTEC 2008. "Pautas para la investigación científica". Lima – Perú.

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:

En general, por la naturaleza y las características de la investigación hemos empleado el método cuantitativo, para describir la resistencia a la compresión obtenida del ensayo del esclerómetro y el presupuesto obtenido de las pavimentaciones estudiadas a nivel de superficie de rodadura. Y el método cualitativo porque permitirá interpretar los resultados obtenidos.

El mismo que tiene las siguientes características que se ajustan a nuestra investigación:³⁸

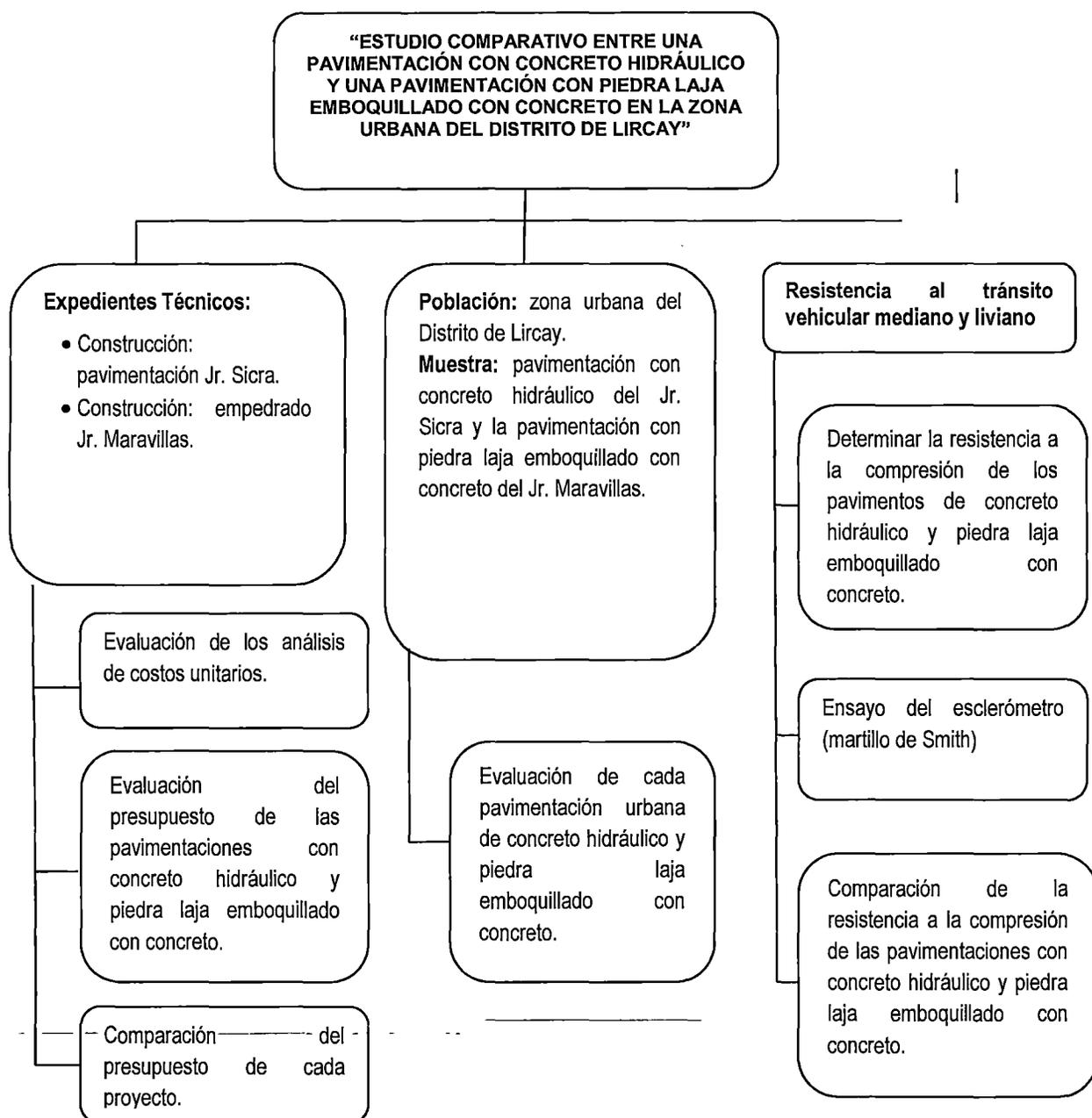
La investigación cuantitativa recoge información (elementos que se pueden contar o medir) objetiva y que por su naturaleza siempre arroja números como resultado. Se caracteriza porque su diseño incluye la formulación de hipótesis que se traducen en variables, las que a su vez se traducen en indicadores cuantificables. Esta clase de investigación termina con datos numéricos.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

El diseño utilizado en el presente trabajo de investigación es descriptivo.

³⁸ BELTRAN NEIRA, Roberto. 2005. "Metodología de la investigación". Facultad de Estomatología – Universidad Cayetano Heredia. Lima – Perú.

Tabla N° 30: “Diseño de investigación”. 2013



3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO:

- **Población:** zona urbana del Distrito de Lircay.
- **Muestra:** pavimentación con concreto hidráulico del Jr. Sicra y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto de la Jr. Maravillas.

- **Muestreo:** se utilizó el tipo de *muestreo libre*, fue realizado en toda el área de estudio, para identificar la resistencia al tráfico vehicular de las calles pavimentadas con concreto hidráulico y piedra laja emboquillado con concreto y el *muestreo anidado* en pavimentaciones con vida útil mayor a diez años.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

a) Técnicas de recolección de datos:

La recolección de datos se realizó haciendo uso de las herramientas, tales como:

- Inspección y evaluación de las pavimentaciones in situ.
- Revisión bibliográfica.
- Revisión documentaria (expedientes técnicos de las pavimentaciones estudiadas y ejecutadas).
- Conteo de tráfico vehicular para la obtención del IMD.
- Ensayo de resistencia a la compresión mediante el ensayo del esclerómetro.

La información se basa en datos (situación actual de cada pavimentación a nivel de superficie de rodadura, planos de ubicación, topográficos, detalles de la estructura del pavimento de las pavimentaciones estudiadas, resistencia a la compresión con el que fueron diseñadas, el índice medio diario para cada tipo de pavimentación, el presupuesto con el que fueron ejecutadas, resistencia a la compresión del concreto y piedra laja para cada tipo de pavimentación a nivel de superficie de rodadura, obtenida de los resultados del ensayo esclerómetro (martillo de Smith), obtención del IMD actual.

b) Materiales, instrumentos y equipos utilizados

Tabla N° 31: Materiales e insumos.

CONCEPTO	Und.	Cant.
Materiales de escritorio y papelería		
Papel Bond A-4 80 gr.	Millar	4
Papel Bond A-3	Millar	1/4
Papel para plotter	Rollo	2
Cuaderno empastado de 100 hojas A5	Und	2
Sobre manila	Und	40
Folder manila	Und	20
Portaminas metálicas 5mm	Und	2
Lapicero Faber Castell 035	Und	6
Minas 5mm HB	Caja	2
Tablero acrílico de campo ARTESCO	Und	2
Resaltador	Und	4
Caja de clips	Und	1
Engrapador	Und	1
Perforador	Und	1
Regla de 30 cm	Und	1
Grapas	Caja	1
Archivador de palanca	Und	2
Escalímetro Rotring	Und	1
CD Regrabable	docena	2
Insumos		
Thoner para impresora HP Láser Jet 1020	Cartucho	1
Tinta para impresora (negro)	Und	1
Tinta para impresora (color)	Und	1
Servicio de laboratorio		
Ensayo del esclerómetro (martillo de Smith)	Und	32

Tabla N° 32: Equipos e instrumentos empleados.

CONCEPTO	Und.	Cant.
Equipos e instrumentos auxiliares		
Cámara fotográfica digital	Und	1
Equipos de cómputo y accesorios		
Computadora Corei5	Und	1
Impresora HP Laser JET 1020	Und	1
Lap Top TOSHIBA -7B28587Q	Und	1
Memoria USB de 8GB.	Und	2
Otros		
Cinta métrica de lona de 50 mt.	Und	1

Flexómetro de 5 m.	Und	1
Cronometro	Und	1

Tabla N° 33: Software y sistemas informáticos.

CONCEPTO	Und.	Cant.
Software, sistemas y utilitarios informáticos		
Autocad 2014	Und	1
S10 – 2005	Und	1
Google Earth Plus y Utilitarios	Und	1
Microsoft Office 2013 (Word, Excel, Power Point, Access)	Und	1
Software de navegación en Internet y utilitarios en línea	Gbl	1

Tabla N° 34: Servicios.

CONCEPTO	Und	Cant.
Servicio de telefonía e Internet	Tarif/Mens.	4
Servicio de fotocopias	Millar	4
Servicio de anillados, espiralados y empastado	Und	25
Ploteos de planos formato A-2	Und	06

c) Características técnicas del equipo empleado para la realización del ensayo del esclerómetro (martillo de Smith).

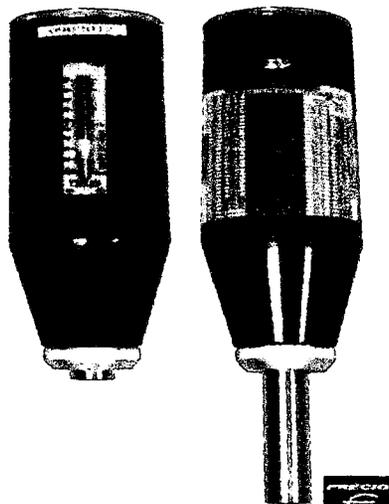
➤ **Especificaciones técnicas (martillo Smith).³⁹**

- *Modelo* PCE-HT-225A.
- *Rangos de medición* : 100...600 Kg/cm² (~ 9,81... 58,9 N/mm²).
- *Precisión* : ±18 Kg/cm² (~ ±1,8 N/mm²).
- *Energía percutora* : 2207 J.
- *Indicador de medición en la escala frontal*: 0...100 (sin dimensiones).
- *Escala para la resistencia a la* : Para convertir los valores del indicador *Presión en la parte posterior* sin dimensiones a Kg/cm² (con introducción del ángulo de impacto).
- *Tabla correctora de los valores de medición*: En las instrucciones de uso

³⁹ PCE Inst. ESCLERÓMETRO PCE-HT-225A.

- *Espesor máximo del concreto (del material):* 70 cm
- *Dimensiones* : Diámetro de 66 x 280 mm
- *Peso* : 1 kg.

Figura N° 20: Esclerómetro (martillo de Smith) modelo PCE-HT-225A.



3.8 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

a) Recopilación y análisis de información existente:

La base de datos utilizada en este estudio fueron obtenidas de:

- Revisión documentaria (expedientes técnicos de las pavimentaciones del Jr. Sicra y Jr. Maravillas). Facilitados por la Municipalidad Provincial de Angaraes.
- Inspección y evaluación de las pavimentaciones urbanas de concreto hidráulico y piedra laja emboquillado con concreto.
- Conteo de tráfico vehicular en las pavimentaciones tomadas como muestra para hallar el índice medio diario.
- Medición de la resistencia a la a compresión mediante el ensayo del esclerómetro (martillo de Smith).

3.9 TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las técnicas de procesamiento de datos han sido peculiares para cada análisis de información.

En el caso del ensayo del esclerómetro (martillo de Smith), las lecturas leídas con el equipo han sido transferidos hacia la computadora, allí fueron diseñadas las tablas con las formulas en hojas de cálculo del Excel, para la obtención de las resistencias a la compresión (f_c) en cada punto de ensayo de las pavimentaciones; de igual manera el conteo de tráfico se procesó a través de fórmulas en hojas de cálculo del Excel obteniendo el índice medio diario (IMD), así mismo se actualizó el análisis de costos unitarios para la obtención del presupuesto de cada expediente ejecutado en los tramos estudiados.

Se utilizó los siguientes programas: Excel 2013, Word 2013, Autocad 2014, S10 2005.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para un mejor análisis se ha dividido los resultados en lo referente a la parte técnica y económica.

ANÁLISIS COMPARATIVO

4.1.1 Resultados del ensayo esclerométrico:

Se realizó el ensayo en las pavimentaciones tomadas como muestra, esto con el fin de comparar los resultados obtenidos y lograr nuestras conclusiones.

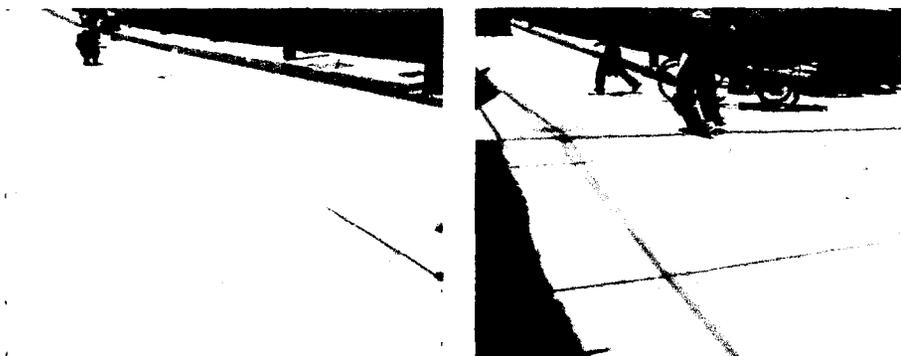
Las pruebas esclerométricas se realizaron insitu con un esclerómetro manual modelo PCE-HT-225A, cuyo rebote se registra automáticamente en la pantalla del aparato y la resistencia corregida es obtenida mediante hojas de cálculo en Excel.

Para la obtención de los resultados se procedió a realizar el ensayo esclerómetro (martillo de Smith), donde se ubicó a cada cierta distancia los puntos a ensayar en cada una de las pavimentaciones estudiadas, estas distancias difieren de acuerdo a la longitud de los tramos.

Para el pavimento con concreto hidráulico del Jr. Sicra (L= 180 m), ubicado entre Av. Ricardo Fernández y Jr. 27 de Noviembre, se ensayó 10 puntos en cada carril dándonos un total de 20 puntos entre los dos carriles, tomados a una distancia de separación aproximada de 3m. Estos puntos se detallan en el plano PG-01B, PD-01B.

Para el pavimento con piedra laja emboquillado con concreto del Jr. Maravillas (L=315 m), ubicado entre el Jr. Ica y Av. La Esmeralda, se ensayó 15 puntos en cada carril dándonos un total de 30 puntos entre los dos carriles, tomados a una distancia de separación aproximada de 8m. Estos puntos se detallan en el plano PG- 01A, PG-02A.

Fotografía N° 04:



Se observa la ubicación de puntos de acuerdo a la longitud de cada muestra; en el tramo I: Jr. Maravillas, en el tramo II: Jr. Sicra.

Seguidamente se eliminó las partículas sólidas, para alisar la superficie de ensayo, se utilizó piedra de amolar y se limpió con franela la superficie a golpear. De igual manera se procedió con la piedra laja, eliminando la pátina de roca meteorizada antes del ensayo respectivo.

Fotografía N° 05:



Se observa la limpieza de la superficie de rodadura en cada tipo de pavimento.

El ensayo se efectuó apretando el percutor del martillo de Smith contra la superficie a examinar, formando un ángulo de impacto $\alpha=+90^\circ$ entre el equipo y el pavimento, hasta que el martillo impulsado por un resorte se descargue sobre el percutor después del golpe.

Fotografía N° 06:



Se observa la colocación del martillo de Smith sobre la superficie a examinar, el cual es ubicado de manera perpendicular.

El martillo rebotó a una a cierta distancia, la cual se indicó por una aguja en una escala graduada.

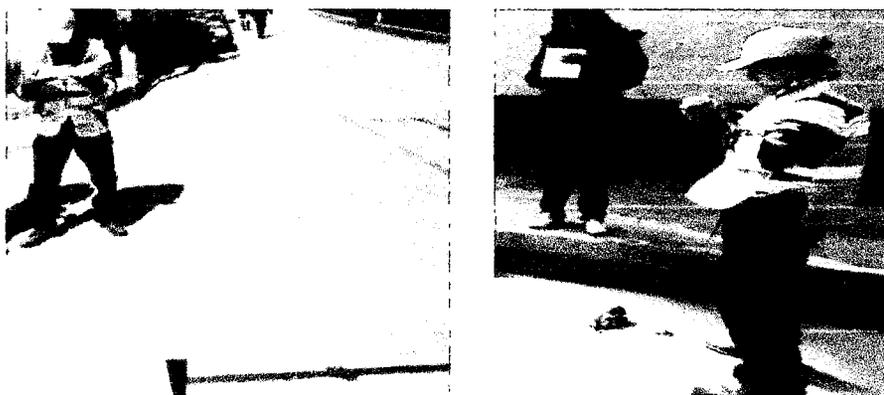
Fotografía N° 07:



Se observa el rebote del martillo de Smith en cada punto ensayado.

Se procedió a realizar la lectura de la posición de la aguja que representa la medida del retroceso en porcentaje del avance del martillo, para cada punto de ensayo, esta lectura representa el valor del rebote (R).

Fotografía N° 08:



Se observa la lectura del valor de rebote del martillo de Smith en cada punto ensayado.

Se realizó 8 lecturas en cada punto seleccionado del pavimento para obtener el promedio del valor de rebote (R).

Una vez obtenido el promedio del valor de rebote (R) para cada punto ensayado de cada tramo, se procedió a hallar el valor de la *resistencia a la*

compresión (F) en Kg/cm², ingresando a la **tabla N° 35** utilizamos los datos siguientes:

- Valor de rebote (R)
- Ángulo impacto ($\alpha=+90$), ángulo de posición del martillo respecto a la horizontal.

Tabla N° 35: Tabla de conversión de los valores de medición.

IMPACT ANGLE α					
VALOR DE REBOTE (R)	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	over600	over600	580	550	530
55	over600	over600	600	570	550

REBOUND VALUE

CYLINDER COMPRESSIVE STRENGTH F(kg/cm²)

Finalmente se realiza las correcciones de la resistencia a la comprensión - $f'c$ (Kg/cm²) para cada tipo de pavimento a nivel de superficie de rodadura, donde el valor de $f'c$ se corrigió haciendo uso de la siguiente ecuación de calibración.

$$f'c = F * 0.65 - 20$$

Tabla N° 36: Tabla de resistencia a compresión de la pavimentación con concreto hidráulico del Jr. Sicra.

PUNTO	CALLE	LECTURAS EN CAMPO								PROMEDIO (R)	DESCRIPCIÓN	RESIST. COMPRES. DEL CILINDRO F(Kg/cm ²)	RESIST. COMPRES. CORREGIDO Zm(Kg/cm ²)
		1	2	3	4	5	6	7	8				
P1	JR. SICRA	44	42	41	39	55	45	44	56	46	Concreto Hidrau	390	234
P2	JR. SICRA	51	48	50	42	47	44	48	51	48	Concreto Hidrau	430	260
P3	JR. SICRA	49	42	40	39	50	45	42	50	45	Concreto Hidrau	375	224
P4	JR. SICRA	42	42	47	45	42	42	45	44	44	Concreto Hidrau	360	214
P5	JR. SICRA	52	43	47	43	48	44	46	48	46	Concreto Hidrau	390	234
P6	JR. SICRA	45	50	44	48	50	46	44	49	47	Concreto Hidrau	410	247
P7	JR. SICRA	44	46	44	42	51	49	48	47	46	Concreto Hidrau	390	234
P8	JR. SICRA	50	51	49	53	47	49	45	50	49	Concreto Hidrau	445	269
P9	JR. SICRA	49	44	50	44	46	50	46	43	47	Concreto Hidrau	410	247
P10	JR. SICRA	52	49	45	51	47	48	47	41	48	Concreto Hidrau	430	260
P11	JR. SICRA	46	40	48	43	41	48	45	42	44	Concreto Hidrau	360	214
P12	JR. SICRA	43	41	45	42	44	45	42	46	44	Concreto Hidrau	360	214
P13	JR. SICRA	43	45	41	47	40	44	42	48	44	Concreto Hidrau	360	214
P14	JR. SICRA	43	44	46	44	47	47	48	44	45	Concreto Hidrau	375	224
P15	JR. SICRA	48	44	47	48	43	50	53	45	47	Concreto Hidrau	410	247
P16	JR. SICRA	41	40	44	45	52	47	48	45	45	Concreto Hidrau	375	224
P17	JR. SICRA	42	45	48	51	42	43	46	43	45	Concreto Hidrau	375	224
P18	JR. SICRA	46	41	45	43	42	45	44	46	44	Concreto Hidrau	360	214
P19	JR. SICRA	49	57	53	55	41	43	46	49	49	Concreto Hidrau	445	269
P20	JR. SICRA	50	42	42	46	53	52	53	46	48	Concreto Hidrau	430	260

En la **tabla N° 36** se aprecia las resistencias a compresión $f'c$ del concreto a partir de la resistencia al rebote de la superficie de rodadura, mediante el ensayo esclerométrico (martillo de Smith), realizado en la pavimentación con concreto hidráulico a nivel de superficie de rodadura del Jr. Sicra, mostrándonos el rango de los valores obtenidos de la resistencia a compresión es 191kg/cm² - 260 kg/cm², según el expediente técnico la resistencia con el que se ejecutó el año 2001 fue de 210 Kg/cm².

A la vez se ve un aumento de su resistencia de 50 kg/cm² del f'c obtenido con respecto al f'c de diseño (210 Kg/cm²) debido al desarrollo de la resistencia en el tiempo, mostrando una resistencia moderada.

Tabla N° 37: Tabla de resistencia a compresión de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto del Jr. Maravillas.

PTO	CALLE	LECTURAS EN CAMPO								PROMEDIO	DESCRIPCIÓN	RESIST. COMPRES. DEL CILINDRO	RESIST. COMPRES. CORREGIDO
		1	2	3	4	5	6	7	8			F(Kg/cm ²)	Zm(Kg/cm ²)
P1	JR. MARAVILLAS	59	58	60	60	61	61	56	61	60	Piedra laja	650	403
P2	JR. MARAVILLAS	64	64	63	66	68	66	62	68	65	Piedra laja	750	468
P3	JR. MARAVILLAS	65	63	64	65	63	64	66	65	64	Piedra laja	730	455
P4	JR. MARAVILLAS	62	64	62	63	65	65	61	60	63	Piedra laja	710	442
P5	JR. MARAVILLAS	61	62	63	63	61	63	64	58	62	Piedra laja	690	429
P6	JR. MARAVILLAS	60	63	64	65	64	65	63	64	64	Piedra laja	730	455
P7	JR. MARAVILLAS	65	64	66	62	63	62	61	64	63	Piedra laja	710	442
P8	JR. MARAVILLAS	62	63	65	64	60	59	60	58	61	Piedra laja	670	416
P9	JR. MARAVILLAS	62	64	60	62	63	62	63	63	62	Piedra laja	690	429
P10	JR. MARAVILLAS	66	62	65	62	59	60	58	67	62	Piedra laja	690	429
P11	JR. MARAVILLAS	64	65	62	62	63	62	64	61	63	Piedra laja	710	442
P12	JR. MARAVILLAS	60	63	62	63	64	62	61	61	62	Piedra laja	690	429
P13	JR. MARAVILLAS	66	67	52	58	68	65	63	63	63	Piedra laja	710	442
P14	JR. MARAVILLAS	68	67	69	65	69	68	67	66	67	Piedra laja	790	494
P15	JR. MARAVILLAS	66	65	65	64	63	64	66	63	65	Piedra laja	750	468
P16	JR. MARAVILLAS	58	60	63	61	62	62	60	64	61	Piedra laja	670	416
P17	JR. MARAVILLAS	60	61	61	60	60	61	59	62	61	Piedra laja	670	416
P18	JR. MARAVILLAS	63	64	61	62	62	61	64	63	63	Piedra laja	710	442
P19	JR. MARAVILLAS	64	62	63	61	61	60	63	60	62	Piedra laja	690	429
P20	JR. MARAVILLAS	63	66	65	62	60	66	67	60	64	Piedra laja	730	455
P21	JR. MARAVILLAS	60	62	63	63	59	64	59	60	61	Piedra laja	670	416
P22	JR. MARAVILLAS	65	59	67	60	65	63	55	60	62	Piedra laja	690	429
P23	JR. MARAVILLAS	64	60	64	61	64	65	66	62	63	Piedra laja	710	442
P24	JR. MARAVILLAS	65	61	60	63	61	60	61	62	62	Piedra laja	690	429
P25	JR. MARAVILLAS	66	59	61	64	67	64	65	59	63	Piedra laja	710	442
P26	JR. MARAVILLAS	62	61	59	59	60	59	60	63	60	Piedra laja	650	403
P27	JR. MARAVILLAS	59	63	62	60	62	60	63	60	61	Piedra laja	670	416
P28	JR. MARAVILLAS	60	61	66	62	63	60	61	62	62	Piedra laja	690	429
P29	JR. MARAVILLAS	62	62	61	61	62	66	65	63	63	Piedra laja	710	442
P30	JR. MARAVILLAS	65	60	63	62	60	59	63	64	62	Piedra laja	690	429

Observación : Los puntos fueron tomados a cada 8 m aprox.

Para el proceso estadístico se necesita como mínimo valores de 16 puntos en cada muestra (tipo de pavimentación)

La ecuación de calibración del equipo es: $Zm = F \cdot 0.65 - 20$

La **tabla N° 37** muestra las resistencia a compresión $f'c$ de la piedra laja a partir de la resistencia al rebote de la superficie de piedra ensayada, mediante el ensayo esclerométrico (martillo de Smith), realizado en la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto a nivel de superficie de rodadura del Jr. Maravillas, donde se puede observar el rango de los valores de la resistencia a la compresión de la pavimentación a nivel de superficie de rodadura es 403 kg/cm² - 494 kg/cm², mostrando un alta resistencia con respecto al concreto.

De igual manera, de acuerdo al promedio de las resistencia a la compresión (435 kg/cm² = 43 MPa), se puede decir que está dentro de la clasificación de rocas moderadamente blanda (25 – 50 MPa) acercándose a rocas duras (50 – 100 MPa) según la tabla N° 28. También con el promedio del valor de rebote obtenido del ensayo (R=63) según la tabla N° 29 la roca es de tipo dolomía.

Para la apreciación de los resultados de los ensayo esclerométricos, se realizó una comparación de las resistencias a compresión según las **tablas N° 36 y N° 37**; la resistencia a compresión obtenida en la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto del Jr. Maravillas, el valor máximo fue 494 Kg/cm² y el mínimo 403 Kg/cm², el cual es mayor con respecto a la resistencia a compresión de la pavimentación con concreto hidráulico del Jr. Sicra, siendo el valor máximo 260 Kg/cm² y el mínimo 191 Kg/cm².

Figura N° 21: Promedio del número de rebote VS f'c de la pavimentación con concreto.

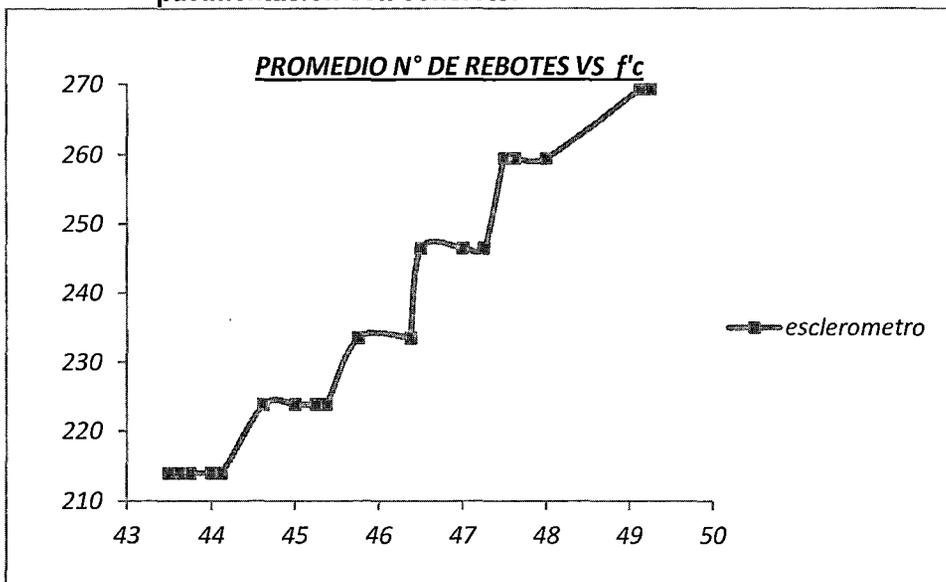
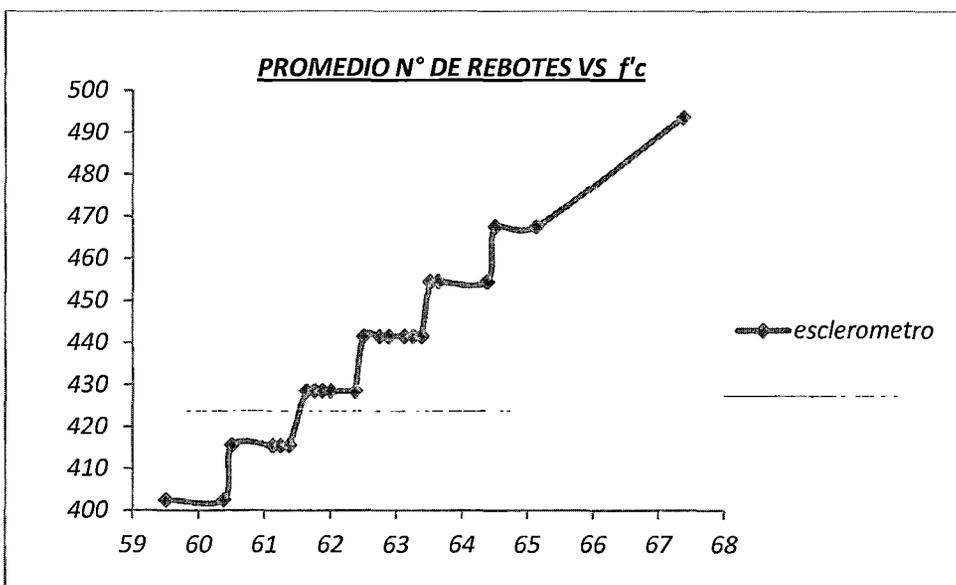


Figura N° 22: Promedio del número de rebote vs f'c de la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto.



Las figuras N° 21 y N° 22, muestran el promedio del número de rebote relacionado con la resistencia a compresión obtenida mediante el esclerómetro en las superficies de rodaduras de la pavimentación con concreto y la

pavimentación con piedra laja. El eje X representa el número de rebote obtenido mediante el esclerómetro y el eje Y representa la resistencia corregida en Kg/cm². Dado el número de rebote obtenido por medio del esclerómetro se da a conocer a su vez la resistencia a compresión en unidades MKS.

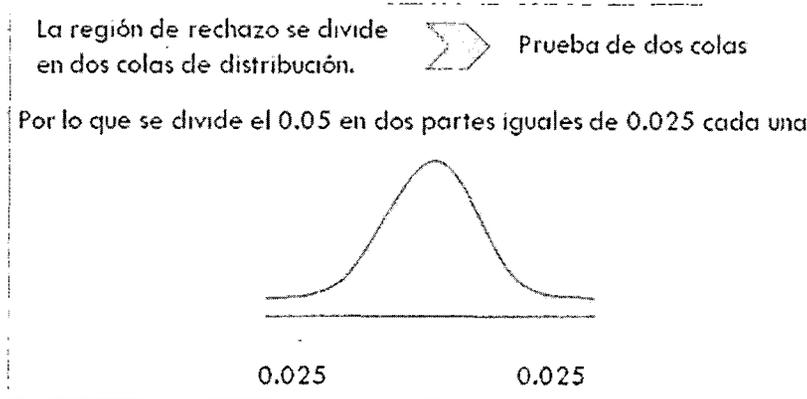
4.1.2 Resultados del método estadístico:

Para la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas en nuestro trabajo de investigación se tomó el método estadístico de la prueba de Z, que tiene como finalidad obtener el valor crítico para la prueba de Z de hipótesis.

Para lo cual se siguió los siguientes pasos:

- Paso N° 01: Se seleccionó las muestras aleatorias de 30 puntos de ensayo de la pavimentación del Jr. Maravillas y 20 puntos de ensayo de la pavimentación con concreto del Jr. Sicra; de igual manera se calcularon la media poblacional 1 y 2, la media muestral 1 y 2, el tamaño de la muestra para cada tipo de pavimentación.
- Paso N° 02: Se tomó el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, mostrándose en la figura N° 23.

Figura N° 23: Campana de Gauss (Prueba de dos colas).



- Paso N° 03: Determinamos el valor estadístico de prueba y la distribución muestral apropiada, utilizando la tabla de distribución Z, con el nivel de significancia igual a 0.05, que se divide en dos colas cada una a 0.025.
- Para hallar el valor estandarizado en la tabla Z hallamos primero el valor de 0.025 y para el valor crítico del estadístico de prueba en la columna inferior es de -1.96, se muestra en la siguiente tabla N° 38.

Tabla N° 38: De distribución Z (cola inferior).

z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
-3	0.0013	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0012
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154
-2	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485

Y en la cola superior se ingresa a la tabla con el valor de $0.975 = 1 - 0.025$, donde se muestra en la siguiente tabla N° 39. Obteniéndose el valor crítico del estadístico de prueba en la cola superior = +1.96

Tabla N° 39: De distribución Z (cola superior).

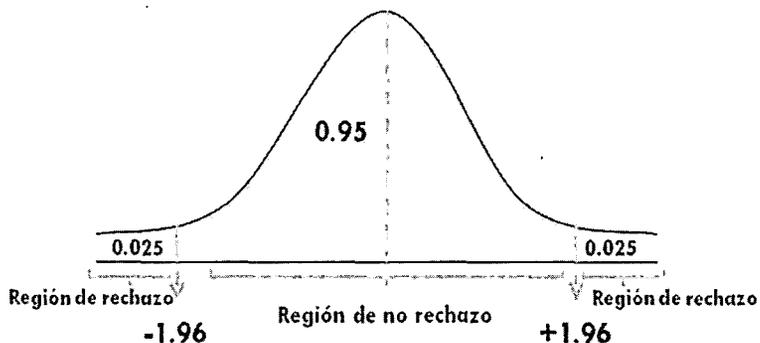
z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315
1	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9685
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750
2	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803

1 - 0.975

 0.025

- Paso N° 04: Determinamos el valor crítico que dividen la zona de rechazo y no rechazo, para ello utilizamos la campana de Gauss, como se obtuvo de acuerdo al nivel de significancia que se divide en dos colas, mostrándose en la siguiente figura N° 24.

Figura N° 24: Campana de Gauss (valores críticos).



La región de no rechazo es 0.95, ubicado entre la cola superior e inferior, de igual manera se tiene los intervalos siguientes:

* La Región de rechazo es $Z < -1.96$ o $Z > +1.96$

* La Región de no rechazo es $-1.96 < Z < +1.96$

➤ Paso N° 05: Se calculó el valor estadístico de prueba (Z_c), con el programa Excel y con el método de la prueba Z, para lo cual se tomó los siguientes datos:

- $n_1 = 30$
- $n_2 = 20$
- $\sigma_1 = 393.168$
- $\sigma_2 = 388.339$
- $X_1 = 435.433$
- $X_2 = 235.613$
- $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (diferencia hipotética de las medias = 0)

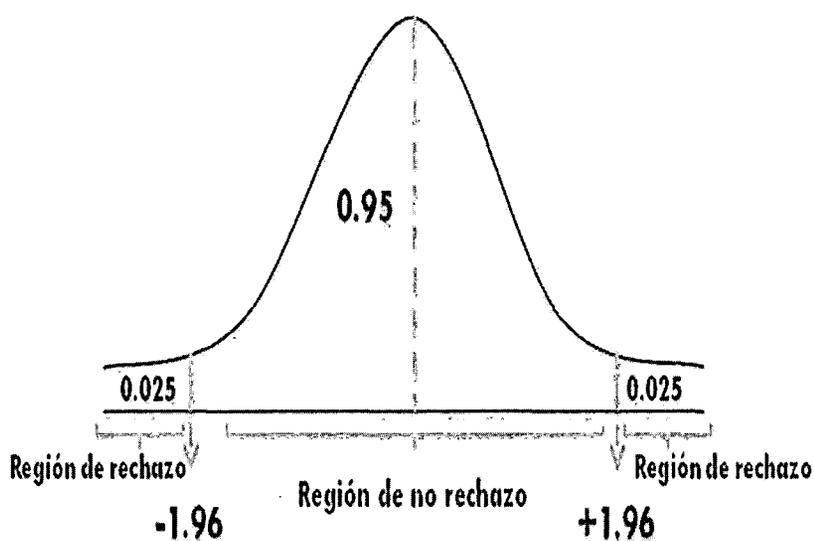
Obteniéndose los siguientes resultados mostradas en la tabla N° 40.

Tabla N° 40: Prueba de Z para medias de dos muestras.

DESCRIPCIÓN	Piedra Laja	Concreto
Media	435.4333333	236.1000
Varianza (conocida)	393.168	380.917
Observaciones	30	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z_c	35.15439654	
P_c (una cola)	0	
Valor crítico de z (una cola) = Z_t	1.644853627	
P_c (dos colas)	0	
Valor crítico de z (dos colas) = Z_t	1.959963985	

De la tabla N° 40, se muestra que el **Z calculado = 35.15 > Z tabulado = 1.96** que es el valor crítico (dos colas), entonces el **Zc** se encuentra fuera del intervalo del rango de no rechazo; por lo tanto se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula, ya que es altamente significativa, y se acepta la hipótesis alterna, tal como se muestra en la siguiente figura N° 25.

Figura N° 25: Ubicación del Z calculado en la campana de Gauss (dos colas).



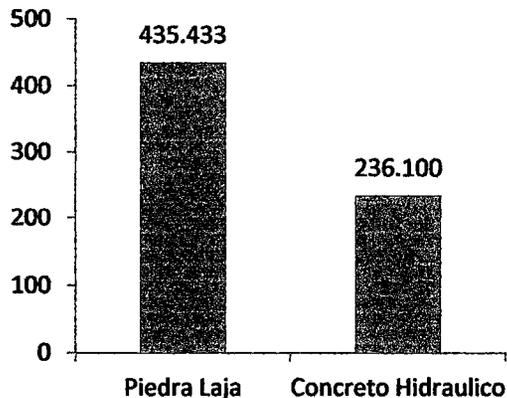
La region de rechazo es $Z_c = 35.15 > Z_t = +1.96$

En conclusión:

Para nuestro trabajo de investigación se valida la hipótesis alterna **(Ha)**, debido al rechazo de la hipótesis nula **(Ho)**

Se define que existe diferencias altamente significativa ($\alpha = 0.05$) entre la pavimentación con concreto hidráulico y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto respecto a la resistencia a compresión a nivel de superficie de rodadura en la zona urbana del Distrito de Lircay.

Figura N° 26: Media de las resistencias a compresión de las pavimentaciones.



**Material a Nivel de
Superficie de Rodadura**

En la figura N° 26, se aprecia la diferencia de las medias de la resistencia a la compresión entre la piedra laja y el concreto de las pavimentaciones a nivel de superficie de rodadura; por lo tanto la piedra laja tiene mayor resistencia a la compresión = 435.33 Kg/cm² con respecto a la resistencia del concreto = 236.10 Kg/cm².

4.1.3 Resultados del análisis de costos

En este capítulo, se realizará un análisis comparativo de costos entre los proyectos:

- Proyecto pavimentación con concreto hidráulico del Jr. Sicra.
- Proyecto pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto de la Jr. Maravillas.

Los cuales se encuentran ejecutados actualmente. Para llevar a cabo el estudio comparativo de costo entre el pavimento con concreto y el pavimento con piedra laja, se tomaron en cuenta únicamente los costos de los proyectos ejecutados, mencionados anteriormente.

Es así como se analizará el costo de los proyectos ejecutados, con cada pavimento determinado; obteniéndose el análisis de costos unitarios y por consiguiente el costo total de ejecución de cada proyecto, concluyendo con la mejor alternativa.

4.1.3.1 Especificaciones

4.1.3.1.1 Proyecto pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto del Jr. Maravillas.

Características del pavimento:

- Longitud del proyecto: 315 metros.
- Ancho de calzada es variable.
- Bombeo de la calzada 3%
- Espesor de capa sub base de 0.20 metros.
- Espesor de capa de base de 0.20 metros.
- Espesor de losa de 0.075 metros con $f'c = 210\text{kg/cm}^2$.
- Capa de rodadura de piedra laja $e = 4"$.
- Juntas de contracción $e =$ de $\frac{1}{2}"$ a $1"$
- Juntas de construcción $e =$ de $\frac{1}{2}"$ a $1"$
- Período de diseño de 20 años
- Serviciabilidad inicial = 4.5
- Serviciabilidad final = 2.0
- Fecha de ejecución: 2000

4.1.3.1.2 Proyecto pavimentación con concreto hidráulico del Jr.

Sicra

Características del pavimento:

- Longitud del proyecto: 180 metros.
- Ancho de calzada varía entre 5.00 a 5.80 metros lineales.
- Bombeo de la calzada 2.5 %
- Espesor de capa sub base de 0.20 metros.
- Espesor de capa de base de 0.20 metros.
- Capa de rodadura de concreto hidráulico e = 0.20m con $f'c = 210\text{kg/cm}^2$.
- Juntas de contracción e = 1"
- Juntas de construcción e = 1"
- Período de diseño de 20 años.
- Serviciabilidad inicial = 4.5
- Serviciabilidad final = 2.0
- Fecha de ejecución: 2001

4.1.3.1.3 Renglones de costos unitarios

4.1.3.1.4 Integración de costos unitarios para un pavimento con piedra laja emboquillado con concreto

La integración de costos unitarios para un pavimento con piedra laja emboquillado con concreto, se resume de la siguiente manera:

Tabla N° 41: SUB BASE GRANULAR (E = 20 CM)

Rendimiento:	1200.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.06
6.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.29
			TOTAL	S/. 0.35
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.2400	Material Clasificado para Base	m3	S/. 40.00	S/. 9.60
0.1200	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.60
			TOTAL	S/. 10.20
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.5000	Camión Cisterna de 2000 GAL	8.00	S/. 90.00	S/. 0.30
1.0000	Rodillo Liso VIBR AUTOP 70-100 HP 7-9 T.	8.00	S/. 240.00	S/. 1.61
1.0000	Motoniveladora de 125 HP	8.00	S/. 240.00	S/. 1.61
			TOTAL	S/. 3.52
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.02
Costo unitario directo por :			m2	14.09

Tabla N° 42: BASE GRANULAR (E = 20 CM)

Rendimiento:	800.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
2.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.18
6.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.44
			TOTAL	S/. 0.62
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.2400	Material Clasificado para Base	m3	S/. 40.00	S/. 9.60
0.1200	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.60
			TOTAL	S/. 10.20
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Camión Cisterna de 2000 GAL	8.00	S/. 90.00	S/. 0.90
1.0000	Compactador VIBR. TIPO PLANCHA 4 HP	8.00	S/. 20.00	S/. 0.20
1.0000	Rodillo Liso VIBR AUTOP 70-100 HP 7-9 T.	8.00	S/. 240.00	S/. 2.40
1.0000	Motoniveladora de 125 HP	8.00	S/. 240.00	S/. 2.40
			TOTAL	S/. 5.90
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			m2	16.75

Tabla N° 43: CONCRETO f'c=210 kg/cm2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Rendimiento:	14.00	m3/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
2.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 10.56
3.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 13.89
14.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 58.16
			TOTAL	S/. 82.61
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.7420	Piedra chancada de 3/4"	m3	S/. 80.00	S/. 59.36
0.5110	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 40.88
9.5000	Cemento Portland Tipo I (42.5KG)	BOL	S/. 21.40	S/. 203.30
0.2010	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 1.01
			TOTAL	S/. 304.55
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Mezcladora 11 P3	8.00	S/. 30.00	S/. 17.14
0.5000	Vibrador de concreto 4 HP - 1.50"	8.00	S/. 15.00	S/. 4.29
			TOTAL	S/. 21.43
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 4.13
Costo unitario directo por :			m3	412.72

Tabla N° 44: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA

Rendimiento:	48.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 1.54
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 1.35
0.5000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.61
			TOTAL	S/. 3.50
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.4000	Alambre negro N°8	kg	S/. 4.50	S/. 1.80
0.4500	Clavos	kg	S/. 4.50	S/. 2.03
0.5000	Acero de Refuerzo fy=4200 Kg/cm2, Ø 1/2"	kg	S/. 3.65	S/. 1.83
6.7000	Madera para Encofrado	p2	S/. 2.40	S/. 16.08
0.2500	Petroleo	gln	S/. 14.80	S/. 3.70
			TOTAL	S/. 25.44
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.18
Costo unitario directo por :			m2	29.12

Tabla N° 45: DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - TRANSVERSAL

Rendimiento:	250.00 Kg/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.30
0.5000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.13
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.23
			TOTAL	S/. 0.66
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0600	Alambre negro N°16	kg	S/. 4.50	S/. 0.27
1.0000	Acero liso de 1/2"	kg	S/. 3.70	S/. 3.70
0.0150	Grasa gruesa	kg	S/. 13.00	S/. 0.20
1.0000	Tubería PVC SAP 1 1/4"	und	S/. 2.00	S/. 2.00
			TOTAL	S/. 6.17
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			Kg	6.86

Tabla N° 46: DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - LONGITUDINAL

Rendimiento:	250.00 Kg/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.30
0.5000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.13
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.23
			TOTAL	S/. 0.66
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0600	Alambre negro N°16	kg	S/. 4.50	S/. 0.27
1.0000	Acero liso de 1/2"	kg	S/. 3.70	S/. 3.70
0.0100	Grasa gruesa	kg	S/. 13.00	S/. 0.13
1.0000	Tubería PVC SAP 1 1/4"	und	S/. 2.00	S/. 2.00
			TOTAL	S/. 6.10
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			Kg	6.79

Tabla N° 47: ENCHAPADO DE PIEDRA LAJA NATURAL

Rendimiento:	12.00 m2/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 6.16
0.5000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 2.42
			TOTAL	S/. 8.58
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.2000	Piedra Laja E = 4"	m2	S/. 35.00	S/. 42.00
0.1000	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 8.00
0.5300	Cemento PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL	S/. 21.40	S/. 11.34
			TOTAL	S/. 61.34
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.43
Costo unitario directo por :			m2	70.35

Tabla N° 48: CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO CON PIEDRA LAJA NATURAL

Rendimiento:	120.00 m2/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.1000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.06
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.48
			TOTAL	S/. 0.54
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	—UNIDAD—	— COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0100	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.05
			TOTAL	S/. 0.05
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			m2	0.62

Tabla N° 49: SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"

Rendimiento:	120.00 m/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.54
2.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.97
			TOTAL	S/. 1.51
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0080	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 0.64
1.0000	Madera (leña)	p2	S/. 1.80	S/. 1.80
0.1100	Asfalto RC-250	gln	S/. 16.78	S/. 1.85
			TOTAL	S/. 4.29
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.08
Costo unitario directo por :			m	5.88

Tabla N° 50: SELLADO DE JUNTAS LONGITUDINALES E = 1"

Rendimiento:	120.00 m/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.54
2.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.97
			TOTAL	S/. 1.51
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0030	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 0.24
1.0000	Madera (leña)	p2	S/. 1.80	S/. 1.80
0.1100	Asfalto RC-250	gln	S/. 16.78	S/. 1.85
			TOTAL	S/. 3.89
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.08
Costo unitario directo por :			m	5.48

4.1.3.1.5 Integración de costos unitarios para el pavimento con concreto hidráulico

La integración de costos unitarios para un pavimento con concreto, se resume de la siguiente manera:

Tabla N° 51: SUB BASE GRANULAR (E = 25 CM)

Rendimiento:	1200.00		m2/DIA	
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.06
6.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.29
			TOTAL	S/. 0.35
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.3000	Material Clasificado para Base	m3	S/. 40.00	S/. 12.00
0.1200	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.60
			TOTAL	S/. 12.60
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.5000	Camión Cisterna de 2000 GAL	8.00	S/. 90.00	S/. 0.30
1.0000	Rodillo Liso VIBR AUTOP 70-100 HP 7-9 T.	8.00	S/. 240.00	S/. 1.61
1.0000	Motoniveladora de 125 HP	8.00	S/. 240.00	S/. 1.61
			TOTAL	S/. 3.52
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.02
Costo unitario directo por :			m2	16.49

Tabla N° 52: BASE GRANULAR (E = 20 CM)

Rendimiento:	800.00		m2/DIA	
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
2.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.18
6.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.44
			TOTAL	S/. 0.62
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.2400	Material Clasificado para Base	m3	S/. 40.00	S/. 9.60
0.1200	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.60
			TOTAL	S/. 10.20
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Camión Cisterna de 2000 GAL	8.00	S/. 90.00	S/. 0.90
1.0000	Compactador VIBR. TIPO PLANCHA 4 HP	8.00	S/. 20.00	S/. 0.20
1.0000	Rodillo Liso VIBR AUTOP 70-100 HP 7-9 T.	8.00	S/. 240.00	S/. 2.40
1.0000	Motoniveladora de 125 HP	8.00	S/. 240.00	S/. 2.40
			TOTAL	S/. 5.90
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			m2	16.75

Tabla N° 53: CONCRETO f'c=210 kg/cm2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Rendimiento:	14.00	m3/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
2.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 10.56
3.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 13.89
14.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 58.16
			TOTAL	S/. 82.61
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.7420	Piedra chancada de 3/4"	m3	S/. 80.00	S/. 59.36
0.5110	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 40.88
9.5000	Cemento Portland Tipo I (42.5KG)	BOL	S/. 21.40	S/. 203.30
0.2010	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 1.01
			TOTAL	S/. 304.55
EQUIPOS				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Mezcladora 11 P3	8.00	S/. 30.00	S/. 17.14
0.5000	Vibrador de concreto 4 HP - 1.50"	8.00	S/. 15.00	S/. 4.29
			TOTAL	S/. 21.43
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 4.13
Costo unitario directo por :			m3	412.72

Tabla N° 54: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA

Rendimiento:	48.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 1.54
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 1.35
0.5000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.61
			TOTAL	S/. 3.50
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.4000	Alambre negro N°8	kg	S/. 4.50	S/. 1.80
0.4500	Clavos	kg	S/. 4.50	S/. 2.03
0.5000	Acero de Refuerzo fy=4200 Kg/cm2, Ø 1/2°	kg	S/. 3.65	S/. 1.83
6.7000	Madera para Encofrado	p2	S/. 2.40	S/. 16.08
0.2500	Petroleo	gln	S/. 14.80	S/. 3.70
			TOTAL	S/. 25.44
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.18
Costo unitario directo por :			m2	29.12

Tabla N° 55: DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - TRANSVERSAL

Rendimiento:	250.00 Kg/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.30
0.5000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.13
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.23
			TOTAL	S/. 0.66
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0600	Alambre negro N°16	kg	S/. 4.50	S/. 0.27
1.0000	Acero liso de 1/2"	kg	S/. 3.70	S/. 3.70
0.0150	Grasa gruesa	kg	S/. 13.00	S/. 0.20
1.0000	Tubería PVC SAP 1 1/4"	und	S/. 2.00	S/. 2.00
			TOTAL	S/. 6.17
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			Kg	6.86

Tabla N° 56: DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - LONGITUDINAL

Rendimiento:	250.00 Kg/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.30
0.5000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.13
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.23
			TOTAL	S/. 0.66
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0600	Alambre negro N°16	kg	S/. 4.50	S/. 0.27
1.0000	Acero liso de 1/2"	kg	S/. 3.70	S/. 3.70
0.0100	Grasa gruesa	kg	S/. 13.00	S/. 0.13
1.0000	Tubería PVC SAP 1 1/4"	und	S/. 2.00	S/. 2.00
			TOTAL	S/. 6.10
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			Kg	6.79

Tabla N° 57: TARRAJEO DE LOSAS DE PAVIMENTO

Rendimiento:	32.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 2.31
0.5000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.91
			TOTAL	S/. 3.22
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0700	Cemento PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL	S/. 21.40	S/. 1.50
0.0100	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.05
0.0020	Regla metalica de 1"x3"x6M	und	S/. 120.00	S/. 0.24
			TOTAL	S/. 1.79
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.16
Costo unitario directo por :			m2	5.17

Tabla N° 58: CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

Rendimiento:	120.00	m2/DIA		
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.1000	Operario	8.00	S/. 9.24	S/. 0.06
1.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.48
			TOTAL	S/. 0.54
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0100	Agua	m3	S/. 5.00	S/. 0.05
			TOTAL	S/. 0.05
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.03
Costo unitario directo por :			m2	0.62

Tabla N° 59: SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"

Rendimiento:	120.00 m/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.54
2.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.97
			TOTAL	S/. 1.51
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0080	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 0.64
1.0000	Madera (leña)	p2	S/. 1.80	S/. 1.80
0.1100	Asfalto RC-250	gln	S/. 16.78	S/. 1.85
			TOTAL	S/. 4.29
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.08
Costo unitario directo por :			m	5.88

Tabla N° 60: SELLADO DE JUNTAS LONGITUDINALES E = 1"

Rendimiento:	120.00 m/DIA			
MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB TOTAL
1.0000	Oficial	8.00	S/. 8.10	S/. 0.54
2.0000	Peón	8.00	S/. 7.27	S/. 0.97
			TOTAL	S/. 1.51
MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO HR.	SUB TOTAL
0.0030	Arena gruesa	m3	S/. 80.00	S/. 0.24
1.0000	Madera (leña)	p2	S/. 1.80	S/. 1.80
0.1100	Asfalto RC-250	gln	S/. 16.78	S/. 1.85
			TOTAL	S/. 3.89
HERRAMIENTAS (5% de mano de obra)				S/. 0.08
Costo unitario directo por :			m	5.48

Tabla N° 61: RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE LOS DOS TIPOS DE PAVIMENTACIONES A NIVEL DE SUPERFICIE DE RODADURA

ACTIVIDAD	UNID MEDIDA	COSTO UNITARIO	
		PAV. PIEDRA LAJA	PAV. CONCRETO
SUB BASE GRÁNULAR (E = 20 CM)	m2	14.09	0.00
SUB BASE GRANULAR (E = 25 CM)	m2	0.00	16.49
BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m2	16.75	16.75
CONCRETO f'c=210 kg/cm2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO	m3	412.72	412.72
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSA	m2	29.12	29.12
DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - TRANSVERSAL	Kg	6.86	6.86
DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - LONGITUDINAL	Kg	6.79	6.79
ENCHAPADO DE PIEDRA LAJA NATURAL	m2	70.35	0.00
TARRAJEO DE LOSAS DE PAVIMENTO	m2	0.00	5.17
CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO CON PIEDRA LAJA NA	m2	0.62	0.00
CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO	m2	0.00	0.62
SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"	m	5.88	5.88

4.1.3.2 Costos totales

Los costos totales para los dos diferentes tipos de pavimentaciones estudiados a nivel de superficie de rodadura en el Distrito de Lircay, nos permitió comparar, siendo los resultados.

Tabla N° 62: RESUMEN DE COSTOS TOTALES DE LA PAVIMENTACIÓN CON PIEDRA LAJA EMBOQUILLADO CON CONCRETO DE LA JR. MARAVILLAS

ACTIVIDAD	UNIDAD MEDIDA	METRADO	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
SUB BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m2	2,154.75	S/. 14.09	S/. 30,360.43
BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m2	2,154.75	S/. 16.75	S/. 36,092.06
CONCRETO f'c=210 kg/cm2 PARA PAVIMENTO RIGIDO	m3	114.00	S/. 412.72	S/. 47,050.08
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSA	m2	105.21	S/. 29.12	S/. 3,063.72
DOWELLS EN LOSAS RIGIDAS - TRANSVERSAL	kg	968.00	S/. 6.86	S/. 6,640.48
DOWELLS EN LOSAS RIGIDAS - LONGITUDINAL	kg	978.00	S/. 6.79	S/. 6,640.62
ENCHAPADO DE PIEDRA LAJA NATURAL	m2	2,154.75	S/. 70.35	S/. 151,586.66
CURADO DE LOSAS DE PAV. CON PIEDRA LAJA NAT	m2	2,154.75	S/. 0.62	S/. 1,335.95
SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"	m	490.74	S/. 5.88	S/. 2,885.55
SELLADO DE JUNTAS LONGITUDINALES E = 1"	m	110.48	S/. 5.48	S/. 605.43
TOTAL				S/. 286,260.97

Tabla N° 63: RESUMEN DE COSTOS TOTALES DE LA PAVIMENTACIÓN CON CONCRETO HIDRÁULICO DEL JR. SICRA

ACTIVIDAD	UNIDAD MEDIDA	METRADO	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
SUB BASE GRANULAR (E = 25 CM)	m2	1,753.35	16.49	28,912.74
BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m2	1,753.35	16.75	29,368.61
CONCRETO $f_c=210$ kg/cm ² PARA PAVIMENTO RIGIDO	m3	77.17	412.72	31,849.60
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA	m2	92.40	29.12	2,690.69
DOWELLS EN LOSAS RIGIDAS - TRANSVERSAL	kg	879.00	6.86	6,029.94
DOWELLS EN LOSAS RIGIDAS - LONGITUDINAL	kg	879.00	6.79	5,968.41
TARRAJEO DE LOSAS DE PAVIMENTO	m2	1,753.35	5.17	9,064.82
CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO RIGIDO	m2	1,753.35	0.62	1,087.08
SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"	m	897.00	5.88	5,274.36
SELLADO DE JUNTAS LONGITUDINALES E = 1"	m	90.00	5.48	493.20
TOTAL				S/. 120,739.45

Puede verse en el análisis realizado, que el costo del pavimento con piedra laja emboquillado con concreto es mayor que el pavimento con concreto hidráulico, debido a que la piedra pasa por una serie de procesos para ubicarse en obra, siendo los cuales: selección y acopio, extracción, habilitado (labrado), carguío y transporte desde la cantera hasta la obra.

4.1.4 Resultados del conteo de tráfico:

Demanda porcentual de tráfico:

Se realizó el conteo de tráfico para la Jr. Maravillas realizados del 28 de febrero al 06 de marzo del 2013 a horas 05:00 am a 19: 00pm, el cual se observa en la tabla N° 64.

Tabla N° 64: Coteo de tráfico del Jr. Maravillas.

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA ENBOQUILLADO CON CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"																
TRAMO II: Jr. Ica - Av. La Esmeralda										ESTACION: Jr. Ica						
UBICACION: Jr. MARAVILLAS										CODIGO: EC-01						
FECHA	SENTIDO	AUTO	CAMONETAS		MICRO	BUS		CAMION			TOTAL	OTRO TIPO DE TRAFICO				
			PICK UP	COMBI RURAL		2E	3E	2E	3E	4E		MOTOS	MOTO-TAXI	ASEHILAS	PEATONES	TOTAL
JUEVES 28/02/2013	E	15	16	3	-	-	-	3	-	-	37	13	7	-	25	12
	S	17	13	4	-	-	-	5	-	-	39	8	7	6	28	12
	AMBOS SENTIDOS	32	29	7	-	-	-	8	-	-	76	21	14	6	53	24
VIERNES 01/03/2013	E	15	1	-	-	-	3	-	-	-	19	18	1	6	17	15
	S	14	2	-	-	-	2	-	-	-	18	23	1	-	9	15
	AMBOS SENTIDOS	29	3	-	-	-	5	-	-	-	37	41	2	6	26	30
SABADO 02/03/2013	E	15	6	-	-	-	-	3	-	-	24	23	2	-	27	17
	S	12	8	-	-	-	-	4	-	-	24	16	4	-	30	17
	AMBOS SENTIDOS	27	14	-	-	-	-	7	-	-	48	39	6	-	57	34
DOMINGO 03/03/2013	E	13	12	1	-	1	-	3	-	-	30	19	5	-	25	21
	S	17	12	-	-	1	-	2	-	-	32	24	5	-	23	21
	AMBOS SENTIDOS	30	24	1	-	2	-	5	-	-	62	43	10	-	48	42
LUNES 04/03/2013	E	13	15	1	-	-	-	4	-	-	33	16	1	6	35	14
	S	14	8	3	-	-	-	1	-	-	26	17	1	-	25	14
	AMBOS SENTIDOS	27	23	4	-	-	-	5	-	-	59	33	2	6	60	28
MARTES 05/03/2013	E	13	10	2	-	-	-	4	-	-	29	20	5	-	45	7
	S	17	11	-	-	-	-	5	-	-	33	21	3	2	42	6
	AMBOS SENTIDOS	30	21	2	-	-	-	9	-	-	62	41	8	2	87	13
MIERCOLES 06/03/2013	E	17	12	-	-	1	-	1	-	-	31	24	6	-	22	8
	S	16	13	1	-	1	-	7	-	-	38	21	6	-	20	4
	AMBOS SENTIDOS	33	25	1	-	2	-	8	-	-	69	45	12	-	42	12
TOTAL	E	101	72	7	-	2	3	18	-	-	203	133	27	12	196	94
	S	107	67	8	-	2	2	24	-	-	210	130	27	8	177	89
	AMBOS SENTIDOS	208	139	15	-	4	5	42	-	-	413	263	54	20	373	183

Fuente: Coteo Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - Ulises Pillpa Escobar

Tabla N° 65: Conteo de tráfico del Jr. Maravillas; Resumen.

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR											
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA ENBOQUILLADO CON CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"											
TRAMO II: Jr. Ica - Av. La Esmeralda						ESTACION: Jr. Ica					
UBICACIÓN: Jr. MARAVILLAS						CODIGO: EC-01					
RESUMEN DEL CONTEO VEHICULAR POR DIA											
FECHA	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TOTAL	
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION				
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E		
JUEVES 28/02/2013	32	29	7	-	-	-	8	-	-	-	76
VIERNES 01/03/2013	29	3	-	-	-	5	-	-	-	-	37
SABADO 02/03/2013	27	14	-	-	-	-	7	-	-	-	48
DOMINGO 03/03/2013	30	24	1	-	2	-	5	-	-	-	62
LUNES 04/03/2013	27	23	4	-	-	-	5	-	-	-	59
MARTES 05/03/2013	30	21	2	-	-	-	9	-	-	-	62
MIERCOLES 06/03/2013	33	25	1	-	2	-	8	-	-	-	69
TOTAL	208	139	15	-	4	5	42	-	-	-	413

Fuente: Conteo Volumétrico de Vehículos, Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

Tabla N°66: Conteo de tráfico del Jr. Maravillas; Cantidades totales de vehículo por día de la sem

CANTIDADES TOTALES DE VEHICULO POR DIA DE LA SEMANA										
DIA	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	
JUEVES	32	29	7	-	-	-	8	-	-	76
VIERNES	29	3	-	-	-	5	-	-	-	37
SABADO	27	14	-	-	-	-	7	-	-	48
DOMINGO	30	24	1	-	2	-	5	-	-	62
LUNES	27	23	4	-	-	-	5	-	-	59
MARTES	30	21	2	-	-	-	9	-	-	62
MIERCOLES	33	25	1	-	2	-	8	-	-	69

Fuente: Conteo Volumétrico de Vehículos, Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

Tabla N° 67: Conteo de tráfico del Jr. Maravillas; Volúmenes de tránsito por día de la semana

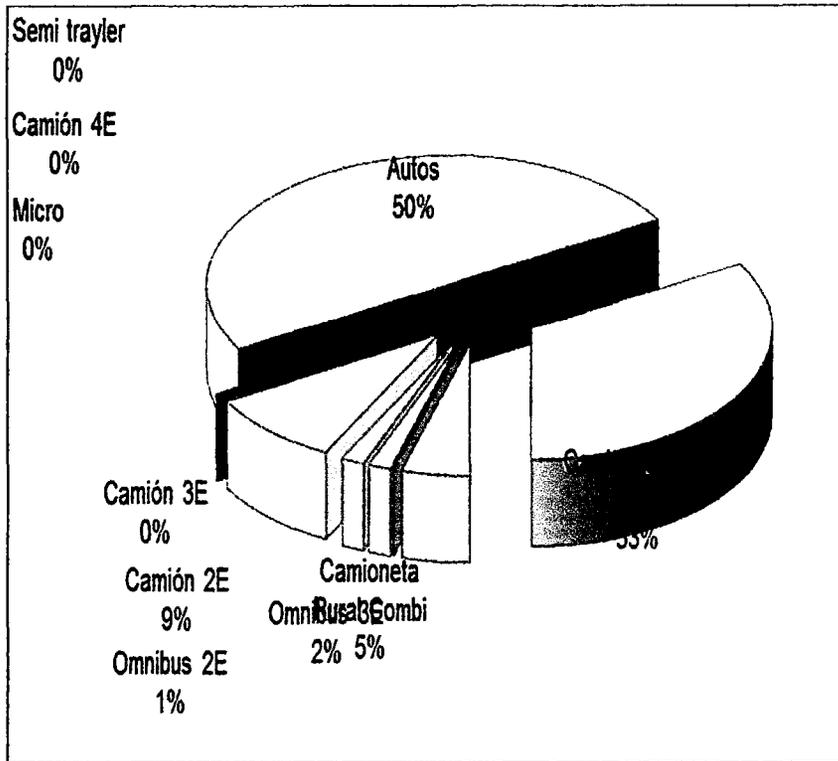
ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA ENBOQUILLADO CON CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"													
TRAMO II:	Jr. Ica - Av. La Esmeralda					ESTACION:	Jr. Ica						
UBICACIÓN:	Jr. MARAVILLAS					CODIGO:	EC-01						
VOLUMENES DE TRNSITO POR DIA DE LA SEMANA													
DIA	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TOTAL	IMD = $\frac{(5 PL + S + D) \times FC}{7}$		
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION				7	Fc Liv. = 1.102719	Fc Pes. = 0.989811
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E				
J	32	29	7	-	-	-	8	-	-	76	J: Volumen de tránsito del jueves		
V	29	3	-	-	-	5	-	-	-	37	V: Volumen de tránsito del viernes		
S	27	14	-	-	-	-	7	-	-	48	S: Volumen de tránsito del sábado		
D	30	24	1	-	2	-	5	-	-	62	D: Volumen de tránsito del domingo		
L	27	23	4	-	-	-	5	-	-	59	L: Volumen de tránsito del lunes		
M	30	21	2	-	-	-	9	-	-	62	M: Volumen de tránsito del martes		
M	33	25	1	-	2	-	8	-	-	69	MI: Volumen de tránsito del miércoles		
PL	30	20	3	-	-	1	6	-	-	60	PL: Promedio de volumen de tránsito de días laborales		
IMD	33	22	3	-	1	1	6	-	-	66			
		87.88%			12.12%								
Fuente: Conteo Volumétrico de Vehículos, Marzo 2013 - Ulises Pillpa Escobar													
		VEHICULO	LIGERO	PESADO									
		TASAS DE CRECIMIENTO	1.20%	10.70%									

Tabla N° 68: Conteo de tráfico del Jr. Maravillas; Proyecciones de Trafico.

PROYECCIONES DE TRAFICO												
AÑO	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TRAFICO NORMAL	TRAFICO GENERADO	IMD TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION					
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E			
2013	33	22	3	-	1	1	6	-	-	66	10	76
2014	33	22	3	-	1	1	7	-	-	67	11	78
2015	34	23	3	-	1	1	7	-	-	69	11	80
2016	34	23	3	-	1	1	8	-	-	70	11	81
2017	35	23	3	-	2	2	9	-	-	74	12	86
2018	35	23	3	-	2	2	10	-	-	75	12	87
2019	35	24	3	-	2	2	11	-	-	77	12	89
2020	36	24	3	-	2	2	12	-	-	79	12	91
2021	36	24	3	-	2	2	14	-	-	81	13	94
2022	37	24	3	-	2	2	15	-	-	83	13	96
2023	37	25	3	-	3	3	17	-	-	88	14	102

Fuente: Conteo Volumétrico de Vehículos, Marzo 2013 - Ulises Pillpa Escobar

Figura N° 27: Conteo de tráfico del Jr. Sicra



Se observa que el índice medio diario promedio es de 418, este tramo cuenta con un tráfico vehicular alto de ejes simples y tándem, según el expediente técnico este tramo fue diseñado y ejecutado para la circulación de tránsito vehicular ligero, el cual no se cumple a la actualidad, ya que los vehículos que transitan por estos lugares son, autos colectivos de pasajeros, camioneta pickup, camioneta doble cabina, combis, buses de dos ejes, camión y otros tipos de transporte como Mototaxis, acémilas y peatones.

Tabla N° 69: Cuento de tráfico del Jr. Sicra.

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																		
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA CON ENBOQUILLADO DE CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"																		
TRAMO II: Av Ricardo Fernandez - Jr. 27 de Noviembre										ESTACION: Av. Ricardo Fernandez								
UBICACION: SICRA										CODIGO: EC-01								
FECHA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			TOTAL	OTRO TIPO DE TRAFICO				
			PICK UP	COMBI	RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	MOTOS		MOTO-TAXI	ASEMILAS	PEATONES	TOTAL	
JUEVES 28/02/2013	E	21	16	3	-	-	-	3	2	-	-	45	13	7	-	25	12	
	S	18	13	4	-	-	-	4	3	-	-	42	8	7	6	28	12	
	AMBOS SENTIDOS	39	29	7	-	-	-	7	5	-	-	87	21	14	6	53	24	
VIERNES 01/03/2013	E	21	1	-	-	-	3	1	-	-	-	26	18	1	6	17	15	
	S	14	2	-	-	-	2	1	-	-	-	19	23	1	-	9	15	
	AMBOS SENTIDOS	35	3	-	-	-	5	2	-	-	-	45	41	2	6	26	30	
SABADO 02/03/2013	E	15	7	-	-	-	-	3	1	-	-	26	23	2	-	27	17	
	S	12	10	-	-	-	-	4	1	-	-	27	16	4	-	30	17	
	AMBOS SENTIDOS	27	17	-	-	-	-	7	2	-	-	53	39	6	-	57	34	
DOMINGO 03/03/2013	E	15	12	1	-	1	-	4	-	-	-	33	25	5	-	25	21	
	S	19	12	-	-	1	-	2	-	-	-	34	30	5	-	23	21	
	AMBOS SENTIDOS	34	24	1	-	2	-	6	-	-	-	67	55	10	-	48	42	
LUNES 04/03/2013	E	13	15	1	-	-	-	3	1	-	-	33	16	1	6	35	14	
	S	14	8	3	-	-	-	1	-	-	-	26	26	1	-	25	14	
	AMBOS SENTIDOS	27	23	4	-	-	-	4	1	-	-	59	42	2	6	60	28	
MARTES 05/03/2013	E	13	10	2	-	-	-	4	2	-	-	31	28	5	-	45	7	
	S	17	11	-	-	-	-	5	-	-	-	33	21	3	2	42	6	
	AMBOS SENTIDOS	30	21	2	-	-	-	9	2	-	-	64	49	8	2	87	13	
MIERCOLES 06/03/2013	E	17	12	-	-	1	-	1	-	-	-	31	24	6	-	22	8	
	S	16	13	1	-	1	-	7	-	-	-	38	30	6	-	20	4	
	AMBOS SENTIDOS	33	25	1	-	2	-	8	-	-	-	69	54	12	-	42	12	
TOTAL	E	115	73	7	-	2	3	19	6	-	-	225	147	27	12	196	94	
	S	110	69	8	-	2	2	24	4	-	-	219	154	27	8	177	89	
	AMBOS SENTIDOS	225	142	15	-	4	5	43	10	-	-	444	301	54	20	373	183	

Fuente: Cuento Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

Tabla N° 70: Cuento de tráfico del Jr. Sicra; Resumen

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR											
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA CON ENBOQUILLADO DE CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"											
TRAMO II: Av Ricardo Fernandez - Jr. 27 de Noviembre							ESTACION: Av. Ricardo Fernandez				
UBICACION: SICRA							CODIGO: EC-01				
RESUMEN DEL CUNTO VEHICULAR POR DIA											
FECHA	VEHICULO LIGERO					VEHICULO PESADO					TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			
		PICK UP	RURAL	COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	
JUEVES 28/02/2013	39	29	7	-	-	-	7	5	-	-	87
VIERNES 01/03/2013	35	3	-	-	-	5	2	-	-	-	45
SABADO 02/03/2013	27	17	-	-	-	-	7	2	-	-	53
DOMINGO 03/03/2013	34	24	1	-	2	-	6	-	-	-	67
LUNES 04/03/2013	27	23	4	-	-	-	4	1	-	-	59
MARTES 05/03/2013	30	21	2	-	-	-	9	2	-	-	64
MIERCOLES 06/03/2013	33	25	1	-	2	-	8	-	-	-	69
TOTAL	225	142	15	-	4	5	43	10	-	-	444

Fuente: Cuento Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

Tabla N° 71: Censo de tráfico del Jr. Sicra; Cantidades totales de Vehículo por día de la semana.

CANTIDADES TOTALES DE VEHICULO POR DIA DE LA SEMANA										
DIA	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	
JUEVES	39	29	7	-	-	-	7	5	-	87
VIERNES	35	3	-	-	-	5	2	-	-	45
SABADO	27	17	-	-	-	-	7	2	-	53
DOMINGO	34	24	1	-	2	-	6	-	-	67
LUNES	27	23	4	-	-	-	4	1	-	59
MARTES	30	21	2	-	-	-	9	2	-	64
MIERCOLES	33	25	1	-	2	-	8	-	-	69

Fuente: Censo Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

Tabla N° 72: Censo de tráfico del Jr. Sicra; Volúmenes de tránsito por día de la semana.

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR										
TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PAVIMENTACION CON CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTACION CON PIEDRA LAJA CON ENBOQUILLADO DE CONCRETO EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE LIRCAY"										
TRAMO II:	Av Ricardo Fernandez - Jr. 27 de Noviembre					ESTACION:	Av. Ricardo Fernandez			
UBICACIÓN:	SICRA					CODIGO:	EC-01			
VOLUMENES DE TRANSITO POR DIA DE LA SEMANA										
DIA	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E	
J	39	29	7	-	-	-	7	5	-	87
V	35	3	-	-	-	5	2	-	-	45
S	27	17	-	-	-	-	7	2	-	53
D	34	24	1	-	2	-	6	-	-	67
L	27	23	4	-	-	-	4	1	-	59
M	30	21	2	-	-	-	9	2	-	64
M	33	25	1	-	2	-	8	-	-	69
PL	33	20	3	-	-	1	6	2	-	65
IMD	36	23	3	-	1	1	7	2	-	73
				84.93%		15.07%				

$IMD = \frac{(5 PL + S + D) \times FC}{7}$

Fc Liv. = 1.102719 Fc Pes. = 0.989811

J: Volumen de tránsito del jueves
V: Volumen de tránsito del viernes
S: Volumen de tránsito del sábado
D: Volumen de tránsito del domingo
L: Volumen de tránsito del lunes
M: Volumen de tránsito del martes
MI: Volumen de tránsito del miércoles
PL: Promedio de volumen de tránsito de días laborales

Fuente: Censo Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - ULises Pillpa Escobar

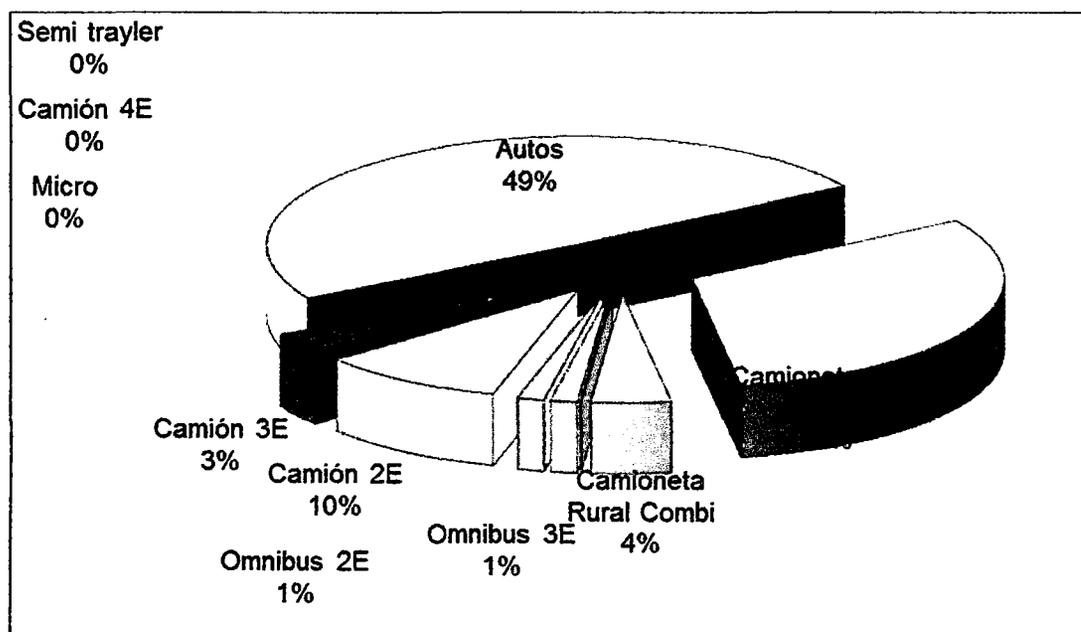
VEHICULO	LIGERO	PESADO
TASAS DE CRECIMIENTO	1.20%	10.70%

Tabla N° 73: Cuento de tráfico del Jr. Sicra; Proyecciones de Trafico

PROYECCIONES DE TRAFICO												
AÑO	VEHICULO LIGERO				VEHICULO PESADO					TRAFICO NORMAL	TRAFICO GENERADO	IMD TOTAL
	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION					
		PICK UP	RURAL COMBI		2E	3E	2E	3E	4E			
2013	36	23	3	-	1	1	7	2	-	73	11	84
2014	36	23	3	-	1	1	8	2	-	74	12	86
2015	37	24	3	-	1	1	9	2	-	77	12	89
2016	37	24	3	-	1	1	9	3	-	78	12	90
2017	38	24	3	-	2	2	11	3	-	83	13	96
2018	38	24	3	-	2	2	12	3	-	84	13	97
2019	39	25	3	-	2	2	13	4	-	88	14	102
2020	39	25	3	-	2	2	14	4	-	89	14	103
2021	40	25	3	-	2	2	16	5	-	93	14	107
2022	40	26	3	-	2	2	17	5	-	95	15	110
2023	41	26	3	-	3	3	19	6	-	101	16	117

Fuente: Cuento Volumétrico de Vehículos. Marzo 2013 - Ulises Pápa Escobar

Figura N° 28: Cuento de tráfico del Jr. Sicra



El índice medio diario promedio IMDP actual es de 413, de igual manera este tramo cuenta con un tráfico vehicular alto de ejes simples, ya que los vehículos que transitan por estos lugares son: autos, combi rural, camioneta pickup, Bus de 2 y 3 ejes, camión de 2 ejes y entre otro tipo de grafico que está considerado las mototaxis, acémilas y peatones.

4.2 DISCUSIÓN

Se realizará la discusión según los objetivos planteados para la presente investigación

4.2.1 Para la determinación de la influencia de la pavimentación con concreto hidráulico y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la resistencia a la compresión debido al tránsito vehicular, hemos usado el método del ensayo del esclerómetro (martillo de Smith), el cual se ha planteado en el apartado 2.2.4 de este informe.

Los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla N° 74 corresponden al promedio de la medición de la resistencia a la compresión realizadas en la pavimentación del Jr. Maravillas y la pavimentación del Jr. Sicra.

Tabla N° 74: Influencia de la pavimentación con piedra laja y de pavimentación con concreto hidráulico en la resistencia a la compresión a nivel de superficie de rodadura.

Piedra laja $f'c=Kg/cm^2$	Concreto hidráulico $f'c=Kg/cm^2$
435.433	236.100

De la comparación de resultados de la resistencia a la compresión ($f'c$) mostrado en las Tabla N° 75, se puede verificar que la resistencia a la

compresión de la pavimentación con piedra laja es mayor en 199.333 Kg/cm² con respecto a la resistencia a la compresión de la pavimentación con concreto hidráulico a nivel de superficie de rodadura.

Estos resultados son aproximaciones a la resistencia a la compresión debido a que ciertos factores como la uniformidad y textura de la superficie a ensayar y la vida útil con el que cuentan, afectan de manera directa el valor del rebote obtenido mediante el esclerómetro, por ello se deberá tomar todas las precauciones para que el ensayo se lleve adecuadamente.

De acuerdo a la investigación de trabajo realizado por el autor **ROJAS REYES, Remigio. 2010**. Su análisis se asemeja al nuestro, ya que concluye que el esclerómetro nos da una aproximación a la resistencia debido a que ciertos factores como humedad, porosidad, forma de especímenes, colocación de especímenes, y textura de la superficie afectan de manera directa el número de rebote obtenido mediante el esclerómetro y que el ensayo esclerométrico en cilindros de concreto a edades tempranas puede ser utilizado de manera confiable, para conocer las zonas débiles del concreto y para obtener una aproximación de la resistencia a compresión del concreto.⁴⁰

“Se ha logrado cumplir con el primer y segundo objetivo planteado”.

4.2.2 Determinación de la incidencia de la pavimentación con concreto hidráulico y la pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la optimización del presupuesto.

Para determinar la incidencia de la pavimentación con concreto del Jr. Sicra y la pavimentación con piedra laja de la Jr. Maravillas, en la optimización del presupuesto; se tomó en cuenta los datos de los expediente técnicos

⁴⁰ **ROJAS REYES, Remigio.** “Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros a edades tempranas mediante el empleo del esclerómetro”. Tesis 2010.

ejecutados así como: características técnicas del pavimento, metrados, etc.; siendo algunos datos tomados de las mediciones en campo, para posteriormente realizar el análisis de costos unitarios de las partidas que tienen incidencia en cada proyecto y finalmente obtener el presupuesto en cada tipo de pavimentación a nivel de superficie de rodadura estudiado.

Tabla N° 75: Análisis de costos de la pavimentación con piedra laja y la pavimentación con concreto hidráulico.

ACTIVIDAD	UNID MEDIDA	COSTO UNITARIO	
		PAV. PIEDRA LAJA	PAV. CONCRETO
SUB BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m ²	14.09	0.00
SUB BASE GRANULAR (E = 25 CM)	m ²	0.00	16.49
BASE GRANULAR (E = 20 CM)	m ²	16.75	16.75
CONCRETO f'c=210 kg/cm ² PARA PAVIMENTO RÍGIDO	m ³	412.72	412.72
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSA	m ²	29.12	29.12
DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - TRANSVERSAL	Kg	6.86	6.86
DOWELLS EN LOSAS RÍGIDAS - LONGITUDINAL	Kg	6.79	6.79
ENCHAPADO DE PIEDRA LAJA NATURAL	m ²	70.35	0.00
TARRAJEO DE LOSAS DE PAVIMENTO	m ²	0.00	5.17
CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO CON PIEDRA LAJA NA	m ²	0.62	0.00
CURADO DE LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO	m ²	0.00	0.62
SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES E = 1"	m	5.88	5.88

En la tabla N° 75 se observa que algunas partidas son consideradas de acuerdo al tipo de material que compone la superficie de rodadura; así tenemos el enchapado con piedra laja natural, considerada en uno de los tipos de pavimentos estudiados, esta partida a su vez es uno de los que tiene mayor

incidencia en el costo total del proyecto; de igual manera el tarrajeo de losas de pavimento y otras partidas.

Tabla N° 76: Costos totales para la pavimentación con piedra laja y la pavimentación con concreto hidráulico.

TRAMO ESTUDIADO	COSTO TOTAL \$/.
Jr. Sicra.	120,739.45
Jr. Maravillas.	286,260.97

En la tabla N° 76 se puede apreciar que el costo del pavimento con piedra laja emboquillado con concreto es más alto que el del pavimento con concreto hidráulico, en cuanto a ejecución se refiere. Estos costos son aproximaciones, a esto se deberá considerar el costo de mantenimiento el cual determinará el costo real para ambos pavimentos.

En cuanto al mantenimiento el costo del pavimento rígido es más costoso con respecto al pavimento con piedra laja.

De acuerdo a la investigación de trabajo realizado por el autor **TORRES SIRION, Rafael Alejandro. 2006**. Su análisis se asemeja al nuestro, ya que considera que para obtener un análisis completo del estudio comparativo de costos, deberá tomarse en cuenta, además de los costos de ejecución, los costos de mantenimiento para ambos pavimentos".⁴¹

En cuanto al trabajo de investigación de **MALTEZ ROMILLO, Juan Carlos. 2006**. Su análisis del autor es muy diferente al nuestro debido a que en nuestro trabajo no se hizo el análisis de costos de ciclo de vida de cada tipo de pavimento estudiado.⁴²

⁴¹ **TORRES SIRION, Rafael Alejandro.** "Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento Rígido". 2007.

⁴² **MALTEZ ROMILLO, Juan Carlos.** "Análisis Comparativo de Costos en la Rehabilitación de

“Se ha logrado cumplir con el tercero y cuarto objetivo planteado”.

4.2.3 Determinar la alternativa más conveniente considerando los parámetros técnicos y económicos, entre una pavimentación con concreto hidráulico y una pavimentación con piedra laja emboquillado con concreto en la zona urbana del Distrito de Lircay.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que la alternativa más conveniente con respecto a optimización de costos es el pavimento con concreto hidráulico, de igual manera este tipo de pavimento requiere menor tiempo de ejecución y mano de obra.

Sin embargo, el pavimento con piedra laja emboquillado con concreto, presenta una mayor resistencia a la compresión, según los resultados obtenidos del ensayo del esclerómetro; además requiere mayor costo y tiempo de ejecución, sumándose a ello embellecer la ciudad estéticamente.

“Se ha logrado cumplir con el quinto objetivo planteado”.

CONCLUSIONES

- Los ensayos esclerométricos permiten conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo, además de conocer la homogeneidad y calidad del concreto sin deteriorar la estructura, lo cual trae ciertas ventajas con respecto a los ensayos que se usan normalmente para conocer la resistencia a compresión del concreto; de igual manera el esclerómetro se puede usar en otros componentes estructurales, ya que el impacto se realiza hasta un espesor de 70 cm.
- El martillo Schmidt es el más utilizado por su sencillez y bajo costo, mide la dureza superficial del concreto y piedra laja en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Útil para determinar la evolución de la resistencia del endurecimiento del concreto, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra.
- Con el ensayo del esclerómetro martillo de Smith se puede obtener el tipo de roca de acuerdo al valor de rebote obtenido, de igual manera se puede clasificar la roca según su resistencia obtenida en Mpa.
- El uso del esclerómetro es una herramienta no destructiva para conocer la evolución de la resistencia del concreto. Este método no es sustituto de los métodos destructivos empleados para determinar la resistencia a la compresión del concreto endurecido.
- Los agregados tienen una importante influencia sobre la dosificación de las mezclas de concreto, porque afectan la trabajabilidad y la durabilidad proporcionalidad del concreto.

- Hablando en sentido constructivo, ambos pavimentos cumplen con todos los requisitos para brindar un buen servicio a través de su vida útil, tomando en consideración que la ejecución de ambos conlleva un estricto control de calidad que garantiza durabilidad y buen funcionamiento. Siendo indispensable, para que esto se cumpla, un apropiado programa de mantenimiento que garantice su conservación.
- Para demostrar los resultados, según el uso del método estadístico se aplicó la estadística descriptiva. De la misma manera para obtener los resultados se realizó la Prueba de Z, que consiste en determinar si la media de las dos pavimentaciones difiere notoriamente en los valores que indican la resistencia.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo, además de conocer la homogeneidad y calidad del concreto sin deteriorar la estructura, el esclerómetro digital de James NDT, es un sistema avanzado y completamente automático para la estimación de la resistencia a compresión del concreto. Este equipo esclerométrico calcula automáticamente la media, mediana, el valor del rebote (R) y la resistencia a la compresión del concreto. Además tiene la capacidad de grabar datos que permite dar resultados rápidos, fáciles de obtener y precisos.
- ❖ El tránsito cambia según el día de la semana, según la semana del mes, según la estación o época del año, según los días de descanso, etc. Por lo que es necesario, hasta donde sea posible, contar con estadísticas de periodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.
- ❖ Para próximas investigaciones se debe tomar en cuenta la adherencia entre la piedra laja y swel concreto, siendo un factor que influye en la resistencia al tráfico vehicular a nivel de superficie de rodadura.
- ❖ Debido a la demanda del material de la zona, se recomienda el estudio y exploración de nuevas canteras de piedra laja para el uso en las diversas estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

1. **JOSÉ CÉSPED, Abanto. 2002.** "Los Pavimentos en las Vías Terrestres". Editorial Universitaria de la UNC. 320 p.
2. **KUMAR MEHTA, P y J. M. MONTEIRO, Paulo. 1998.** Concreto. Estructuras, Propiedades y Materiales. Editorial Arq. Heraquio Esqueda Huidobro, Ing. Raúl Huerta Martínez. 381 p. Primera Edición 1998.
3. **MALTEZ ROMILLO, Juan Carlos. 2006.** "Análisis Comparativo de Costos en la Rehabilitación de Pavimentos para Carreteras". Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Pág.10. Guatemala julio 2006.
4. **MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ANGARAES. 2000.** Proyecto: Construcción y Acondicionamiento de Vías Urbanas. "Construcción Empedrado Jr. Victoria Garma y Av. Sebastián Barranca. Pág. 8, 9,23, 24. Abril, 2000.
5. **ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. 2004.** Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados. 2004. Pág. 11.
6. **ROMERO ORDOÑEZ, Ramiro y ZAGACETA GUTIERRES. Iván D. 2008.** "El Pavimento de Concreto Hidráulico Premezclado en la Modernización y Rehabilitación de la Arboledas ". Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura "Unidad Zacatenco". Capítulo 1, pág. 16 México D.F. 2008.
7. **REVISTA CONSTRUIR AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE. 2008.** *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos.* 2008. pág. 1.
8. **SALINAS SEMINARIO, Miguel. 2010.** "Costos y Presupuestos de Obra". Editorial ICG. 7ma Edición - Diciembre 2010. 128p.
9. **TORRES ZIRIÓN, Rafael Alejandro. 2007.** "Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento". Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Pág. 81 -15, 8 - 209, 81-92, 95-149. Guatemala, Octubre 2007.