PAVIMENTOS ADOQUINADOS

Prof. Ing. Samuel Mora Q.

1.0 INTRODUCCION

1.1 Generalidades

La avanzada tecnológica del concreto, nos permite ahora, obtener altas resistencia, variadas formas y bellísima pigmentaciones que dan atractivos colores en los Concretos, éstas características, evidentemente, hacen que nuevamente se tornen interesantes, dentro de las alternativas de solución, en los PAVIMENTOS(Pavimentum), las aplicaciones del Adoquín de CONCRETO HIDRAULICO.

1.2 Historia del Adoquín

Los adoquines (Adoq-Kan), como tal (origen) se usaron desde épocas muy remotas, probablemente desde las primigenias civilizaciones asentadas entre el EUFRATES y el TIGRIS, alcanzando su desarrollo y esplendor, con el Gran Imperio Romano, dejando un legado histórico como la VIA APIA (capas de suelo mejorado con puzolana, cubiertas con lajas o piedras planas) y los Caminos de JESUS (Mosaico ornamentales de losetas), entre otras.

En el siglo XII, aquí en el PERU, sin tener conocimientos de la existencia del Viejo Mundo, con el Esplendor del Gran Imperio INKA, se desarrollo la mejor técnica vial sur americana, que unió los Cuatro Suyos, formando lo que se llamó el GRAN TAHUANTINSUYO, con PAVIMENTOS ADOQUINADOS, realmente como su origen, LITICOS, actualmente se conoce este legado Histórico como "LOS CAMINOS DEL INKA" y otras como las Bellas Plazas Mayores de AREQUIPA y CUZCO.

Se traslada esta técnica con la influencia Hispana (Siglo XV), y se comienza en Lima la capital del PERU, los PAVIMENTOS de CANTOS RODADOS (EMPEDRADOS).
A inicios de siglo XVII, los Europeos retoman los sistemas ADOQUINADOS, usando un adoquín de roca natural no muy bien cortado, de 12 cm. x 12 cm., con muy buenos resultados.

A inicios del Siglo XIX, con el descubrimiento del AUTOMOVIL, se comenzó a buscar nuevas tecnologías para resolver el transito vehicular motriz, dando como resultados los Pavimentos Asfálticos y los Pavimentos de Concreto Hidráulico.

En el Siglo XX, estas soluciones logran un alto desarrollo tecnológico permitiendo mejorar eficientemente y eficazmente, su aplicación en los sistemas viales, este desarrollo evidentemente desplazó a los adoquines (adok kan), pero a mediados del presente siglo, tal como lo hemos mencionado al inicio, con la avanzada tecnológica del Concreto, se reinventa el ADOQUIN, como piezas prefabricadas, tomando diversas formas y colores.

Las ventajas tanto Técnicas, Económicas, Sociales, Estéticas y Ambientales, han logrado hacer que sus aplicaciones, aumenten día a día de manera exponencial.

Este fenómeno ha llevado a estudiar también, nuevas formas geométricas, su resistencia a la flexo compresión, su deslizamiento, el desgaste en su superficie, y el Diseño Estructural de Pavimento Adoquinado en relación al Tráfico, al Terreno de Fundación, su Meteorología y las Condiciones de los Recursos Locales.

1.2.1 En el año de 1960 en Alemania y Holanda se inventaron y desarrollaron equipos de alta tecnología, para la Producción de ADOQUINES de CONCRETO.
1.2.2 En el año de 1970, este sistema tecnológico de producción, se propago a Australia, Europa, Inglaterra, Japón, Nueva Zelanda y Sudáfrica.
1.2.3 En el Año de 1973, La tecnología es transferida de Alemania a Canadá y luego a Estados Unidos, donde alcanza su desarrollo, pero con ciertas limitaciones probablemente, por la mano de obra que es calificada y bien remunerada.
1.2.4 En el año de 1976 en Inglaterra, el profesor **J. Knapton**, investigó las propiedades mecánicas adicionales de estos pavimentos íntertrabados.
Esta experiencia realizada con varias formas y aparejos de adoquines, demostró que las presiones en las celdas aumentaban en menor proporción porcentual que las presiones aplicadas en la superficie.
Comparando resultados en pavimentos bituminosos, concluyó que una capa combinada de adoquín (80 mm) y arena (50 mm) es equivalente a una capa de 1.60 mm de material bituminoso.

1.2.5 En el año de 1978 en Australia, la Concrete Masony Association y la Cement and Concrete Association, patrocinaron un exhaustivo programa de ensayos de pavimentos a escala natural sometidos a cargas móviles dirigido por el profesor **B. Schackel**, **fue ratificado** en el National Institute of Tansport and Road Research de **Pretoria, Sudáfrica**, empleando un simulador de vehículos pesados.

Estas experiencias mostraron que los pavimentos de adoquines se van rigidizando con él tráfico, aumentando con ello su capacidad de disipación de carga y que las deformaciones permanentes se acumulen, fundamentalmente, al principio de la vida del pavimento. Hasta que se alcanza un estado de trabazón total, más allá del cual la deformación del pavimento es muy pequeña.

También se apreció, en estos ensayos, que el comportamiento de los pavimentos depende fuertemente de la forma de los adoquines.
La forma de los adoquines tiene una influencia significativa en la velocidad con que el pavimento alcanza el estado de trabazón total y determina la magnitud de carga por rueda que el pavimento puede resistir sin fallar.

1.2.6 En el año 2003 en USA, se fabricaron e instalaron 60 millones de m2 de Adoquines de Concreto, representando un 10 % de la Producción Anual Mundial.

Dato Importante, actualmente Alemania produce mas de 100 millones de m2 por año de Adoquines de Concreto Intertrabado.

2.0 PAVIMENTOS ADOQUINADOS:PAVERS – HEX MACH

2.1 Definiciones

De este estudio se ha desprendido que podemos formular dos tipos fundamentales de adoquín: el íntertrabado de caras verticales, llamado comúnmente el PAVERS y el íntertrabado Machihembrado, con una natural optimización estructural (panal de abejas) de su figura geométrica Hexagonal, que se ha bautizado como HEX MACH.

2.2 Clasificación

En Resumen, se tienen dos tipos de Adoquines en nuestro medio:
1. Pavimento Adoquinado Intertrabado no machihembrado…….....PAVERS
2. Pavimento Adoquinado Hexagonal Machihembrado …… PAVADOQ HEX MACH

Ambos pavimentos se encuentran en auge, construyéndose millones de m2 en diferentes partes del mundo, en el caso del PAVADO HEX Mach, el diseño de la ***machihembra*** y el peso del mismo, varia de acuerdo al país que desarrolla esta técnica, aquí en el Perú, el diseño ha sido concebido de acuerdo a nuestra idiosincrasia socio, económica

Social: peso limitado por hábitos del estibador máx. 16.5.
Económicos: alto desempleo poblacional, mano de obra barata.

En General, los pavimentos de adoquín tienen las siguientes ventajas:

- Altamente estéticos
- Fáciles de construir
- Fáciles de reparar
- Refrescan más el ambiente
- Se abren al tránsito inmediatamente
- Poco mantenimiento
- De costo igual o menor que otros pavimentos
- De uso versátil
- Su construcción sólo requiere equipo sencillo y personal no especializado.

3.0 FABRICACION

3.1 Norma Técnica Peruana

Se fabrican cumpliendo las prescripciones nacionales determinadas por la Norma Técnica Peruana NTP 339 611 2003 que establece los requisitos que deben cumplir los adoquines de concreto para la construcción de los PAVIMENTOS.

3.2 Moldes

Los moldes deben ser metálicos, rígidos, rectos, sin torceduras, con bordes formando ángulos rectos y de altura igual al espesor del Adoquín, para el caso de Hex Mach, estas condiciones son para base del Molde, y el collarín adicional, excepto la altura de este que tiene una relación 1/3 (L12) y 1/4,5(L17), para la **VIBROCOMPRESION.**

La cantidad de moldes debe ser adecuada para el avance diario programado.

3.3 Taller de Fabricación

El Taller de Fabricación de los adoquines requiere de un espacio mínimo de superficie aprox. 300 m2 para una **Producción Artesanal** (aprox. 1500 unid/día Máq.) y de 10 000 m2 para una **Producción Automatizada** (Aprox. 30 000 unid/día Máq.).

Existen diferentes variedades de Maquinarias para la Producción de adoquines en muchos de Países del Mundo, desde las Artesanales Vibro compresoras para ADOQ HEX MACH especialidad de MORA´s DEPOT (PERU) hasta las Automatizadas para ADOQ PAVERS especialidad de la COLUMBIA MACHINE, Inc. (CANADA).

4 MATERIALES: El ARIDO Y EL CEMENTO

Los materiales usados en su fabricación son los **Áridos** limpios y como **Aglomerante** se usa el Cemento Pórtland.

4.1 El Árido

Materiales no aglomerantes, tales como la arena, la gravilla y la piedra triturada, totalmente limpios libres de impureza orgánica y salitrosas.

El Diseño de la Mezcla de Áridos, son consecuencia de las diferentes Metodologías existentes Analítica: Matriz de Interrelación Matemática (Programas) y Gráficas Geométricas: Triangulo y Cuadrado, análogas a la forma de Diseño de Mezclas Estabilizadas Mecánicamente, de tal manera que cumplan con los requerimientos de las Normas Técnicas Peruanas.

4.2 El Cemento

Material Aglomerante que cumple con las Especificaciones Técnicas Internacionales ASTM , ACI y Las Normas Técnicas Peruanas , en el caso especifico de ADOQ HEX MACH, por los resultados experimentales realizados en COSTA, SIERRA y SELVA del PERU el Cemento que nos dado excelentes resultados (Plus de Resistencia Cilíndrica a los 40 días) es el TIPO IPM : ASTM – C-595 – 03, NTP 334-090.2001 que contiene no mas de 15 % de ***Puzolona*** en la masa de Cemento, de uso especifico para construcciones generales de concreto y para el caso de zonas de suelos salitrosos(de 1500 – 10000 p.p.m. de sulfatos) el TIPO V:ASTM – C-150, NTP 334.009.

En general todos ellos deberán cumplir la Norma Técnica correspondiente, para cada condición de uso.

4 .3 Producto

Estas piezas de pavimento prefabricados, con los materiales anteriormente descritos dan como PRODUCTO los **ADOQUINES DE CONCRETO** que deben cumplir con

varios requisitos geométricos y de resistencia, como: muestreo, forma, dimensiones, color, textura y resistencia a varios esfuerzos.

5.0 ADOQUINES DE CONCRETO

5.1 Muestreo. Una " Muestra Normal" de una **Producción Automatizada**, consistirá en 10 adoquines enteros, por cada 15000 adoquines o fracción de esa cantidad, muestreados al azar preferentemente, en la Planta que los fabricó, y ensayándolos antes de su embarque a la obra. En el caso de la **Producción Artesanal**, la "Muestra Normal "será" de 3 adoquines enteros, por cada 3000 unidades.

5.2 Forma. Los adoquines pueden ser de cualquier forma, pero conviene que su figura no tenga cambios bruscos. La formas más usuales son las **RECTANGULARES**, las cuadradas, las tipo paletas, las tipo delta (Trihexagono), las tipo Londres(Hoja de Sierra),las tipo Hueso (Mancuerna),las tipo Cruz y en los Machihembrados los **HEXAGONALES.**

5.3 Dimensiones. Las dimensiones del adoquín varían de acuerdo a su figura geométrica, pero la figura más representativa es la del **RECTANGULO** cuyos valores que proporcionamos son valores sólo indicativos de uso normal:

Espesor de 40 a 100 mm (+-2 mm)
Ancho 60 a 125 mm (+-2 mm)
Largo máximo 220 mm (+-2 mm)

En el caso de los ADOQ HEX MACH:

Espesor de 75 a 100 mm (+-2 mm)
Lado 60 a 180 mm (+-2 mm)
Lado máximo 210 mm (+-2 mm)

5.4 Color. Los colores de los adoquines son muy variables, de múltiples pigmentaciones y combinaciones, todas ellas pueden usarse, siempre y cuando el aditivo colorante no altere las propiedades del concreto. Es conveniente señalar que, en calles con mucho tránsito, el adoquín termina en un color negruzco por el frotamiento de los neumáticos. Existen tesis que sostienen que el color del adoquín debe ser neutro, es decir, un color gris oscuro. En nuestro medio son tres los colores más usuales GRIS, OCRE ROJIZO y NEGRO.

5.5 Textura. La textura de los adoquines debe ser fina, para ser impermeables. El agregado usado en los Adoq. Tipo Paver´s, debe ser fino, con algo de material retenido en la malla Núm. 4. Generalmente las arenas, con algo de gravilla, son el agregado adecuado. En el caso de ADOQ HEX MACH, el agregado es de piedra Chancada de diámetro de ½ y Arena Gruesa , de tal manera que permitan resistencias mayores de 35 Mp y cuya Superficie debe ser tratada con arena fina, esta arena debe cumplir con las normas de agregado fino para concreto, sobre todo su resistencia al desgaste.

5.6 Resistencias:

5.6.1 Resistencia al desgaste. Los adoquines deberán tener una adecuada resistencia al desgaste, la cual se logra al usar un agregado adecuado y una dosificación con cemento Portland en buena cantidad. El resultado de cualquier prueba mecanizada, práctica y confiable, no debe desgastar el adoquín más de 3 mm.

5.6.2 Resistencia a la flexión. En los adoquines, igual que en las losas de concreto de pavimentos, el esfuerzo crítico es el de flexión. Por lo tanto, lo más conveniente es especificar una resistencia a la flexión, o módulo de ruptura.
El valor de módulo de ruptura mínimo, determinado en un adoquín entero, rectangular o **cortado** con disco de diamante, es de 45 kg/cm2.
Este MR es aproximadamente un 15% de la resistencia a la comprensión determinada como sigue:

5.6.3 Resistencia a la comprensión. La resistencia a la comprensión de los adoquines debe ser de 300 kg/cm2, determinada en probetas cúbicas, obtenidas cortando las mitades de la prueba de flexión, o de un adoquín entero. Las dimensiones del cubo (o probeta sensiblemente cúbica) deben ser de un espesor igual al del adoquín, a través del cual se aplicará la carga de compresión, y un ancho y largo que no difiera mucho de ese espesor.
En el caso de los ADOQ HEX MACH, se ha adoptado determinar su resistencia a la compresión, utilizando las mini probetas cilíndricas de ensayo de 3”x 6”, de tal manera que permitan su **VIBROCOMPRESION,** en condiciones similares de fabricación del ADOQUIN.

6.0 DISEÑO DE PAVIMENTOS ADOQUINADOS

6.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Estudios realizados por diferentes investigadores han demostrado que los pavimentos de adoquines se comportan de forma similar a los pavimentos asfálticos, fundamentalmente en lo que se refiere a las propiedades de distribución de tensiones y desarrollo de deformaciones.
El modo de falla típico de estos pavimentos es la acumulación de deformaciones permanentes (ahuellamiento), provocadas por la repetición de cargas que sobrepasan la capacidad elástica de las capas del pavimento.

6.1.1 Transmisión de esfuerzos

La capacidad estructural de la superficie de rodado se da por la transmisión de esfuerzos entre elementos vecinos.
Los ensayos de Knapton y otros investigadores, han mostrado que por efecto de la transmisión de esfuerzos verticales entre adoquines, las presiones aplicadas sobre la superficie del pavimento pueden llegar a reducirse en un 40% a nivel de cimiento, haciendo evidente la capacidad estructural de esta capa.

El mecanismo de la transmisión de esfuerzos entre adoquines se denomina "trabazón" y se le define como la capacidad de estos elementos para resistir un desplazamiento relativo con respecto a sus vecinos.

Buena trabazón a los adoquines la capacidad de transmitir las cargas superficiales aplicadas en áreas pequeñas, ampliándolas a áreas más extensas de la capa de cimiento manteniendo las presiones en el terreno de fundación dentro de los límites admisibles.

Propiedad de distribución de cargas progresivamente un estado de trabazón total llamado **"hermeticidad"**, la capa de rodadura va adquiriendo mayor rigidez y los adoquines dejan de constituir una mera capa de desgaste para transformarse en una capa estructural.
Una vez lograda esta **"hermeticidad"**, el pavimento adquiere una condición de equilibrio que no es afectada, significativamente, ni por el volumen de tránsito ni por la magnitud de las cargas por rueda, dentro de un rango de 2.4 a 7 ton.

Mecanismos de Transmisión de Esfuerzos entre Adoquines o "Trabazón":

a) Vertical:

Se consigue mediante las transferencias de las cargas a las unidades circundantes, por Cortante, ha través de la arena que se rellena en las juntas entre adoquines. Asciende durante la vibración 25 mm rellenando el perímetro inferior, material de sello esparcido y compactado.
La carga de un adoquín puede transmitirse por esfuerzos de corte a su vecino.

b) Rotacional:

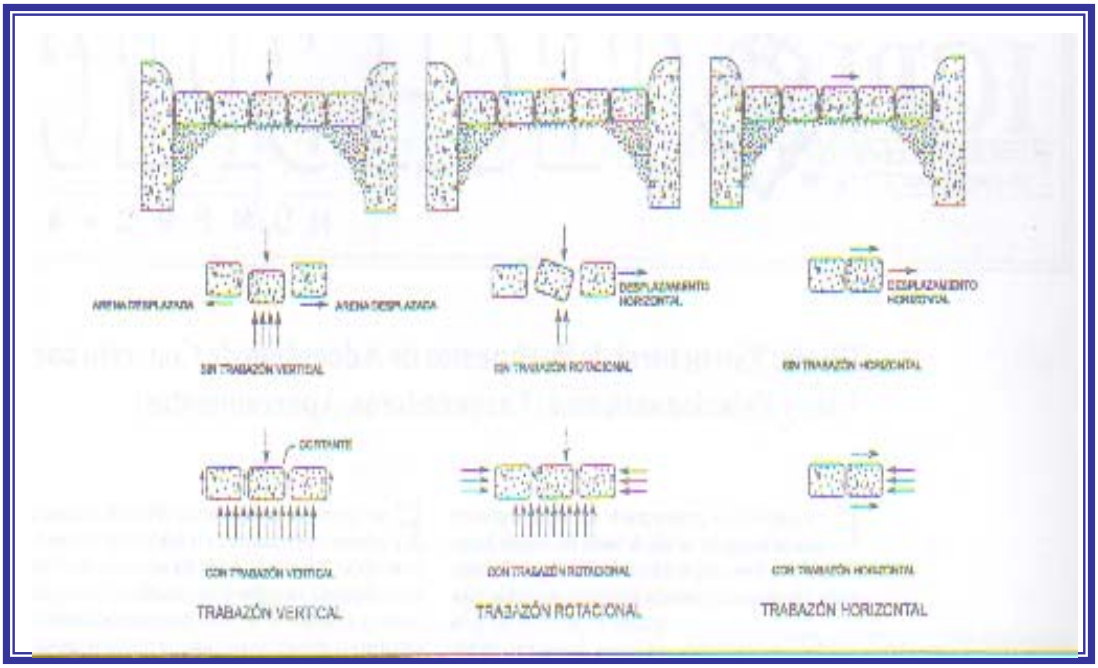
Se mantiene, si las unidades tienen un espesor suficiente y están separados y restringidos por un bordillo, que evite, cualquier desplazamiento lateral debido a las fuerzas de las llantas de los vehículos. Las cargas verticales asimétricamente, tienden a hacerlo rotar, para que ello suceda, es necesario que dicho bloque desplace lateralmente a sus vecinos.
Se mejora este mecanismo si, el Pavimento esta construido con CORONA (a dos aguas), que además de facilitar el Drenaje, permiten que las unidades se ajusten mas, por influencia de las cargas y sus pequeños asentamientos, de tal manera que Incrementa, su capacidad estructural.
El establecimiento del proceso de rigidación progresiva, se conoce con el nombre de "lockup" (Cerradura).

c) Horizontal

Las fuerzas horizontales de frenado, giro y aceleración, pueden producir un lento desplazamiento horizontal de los adoquines a lo largo de la huella principal de la vía y presiones generadas, pueden llegar a romper las esquinas de los adoquines. Este fenómeno puede reducirse en gran medida aparejando los adoquines en "espina de pescado" y más aún si se emplean adoquines de caras dentadas o **MACHIHEMBRADAS.**

Los ensayos han demostrado que estos patrones brindan una mayor capacidad estructural y una mejor resistencia al movimiento, por eso su recomendación preferentemente para TRANSITO VEHICULAR y en especial en los SISTEMAS AEROPORTUARIOS.

El "corrimiento" no puede ser eliminado totalmente en sectores de frenaje severo pero las medidas propuestas minimizan sus efectos evitando la rotura de adoquines y una mala impresión visual.



6.1.2 Capa de Asiento

Tal como se ha descrito anteriormente, se consideran los pavimentos adoquinados como el de tipo Asfáltico, por su similitud en el comportamiento Estructural Flexible.

La capa de adoquines y su capa de asiento, al recibir la carga de los vehículos, la transmiten prácticamente igual a la capa siguiente, que es la base de pavimento.
Se tendría que hacer una investigación de campo y de laboratorio para determinar cuánta carga absorben las capas adoquín - asiento. Cualquiera que fuera el resultado, tendría que ser de poca magnitud. Por lo tanto, se considera que el "adoquín - asiento" funciona como una carpeta especial **(REVESTIMIENTO).** Los valores siguientes de capas para este pavimento, son muy semejantes a las de pavimentos de asfalto.

Tanto los adoquines, como la capa del Firme (base) y/o capa de cimiento (sub base) y/o Terreno de Fundación (sub rasante), tienen pequeñas **irregularidades**. Además, para compactar la capa adoquinada, se requiere una **capa no rígida que la sostenga**. Para estos dos motivos, un pavimento de adoquín, incluye una capa de asiento que está debajo de los adoquines y sobre la rasante de cualquiera de las capas estructurales del Pavimento.

Conviene que esta capa sea de arena de río limpia, sin nada de arcilla ni cemento o cal. **Su espesor debe ser un tercio del espesor del adoquín**. Si la superficie de la base es muy irregular, quizá sea necesario hacer la capa de asiento de 5 cm. no conviene hacerla de mayor espesor porque esto puede causar asentamientos en el adoquín, por la consolidación de la arena, a menos que esté bien compactada.

6.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Los parámetros o variables que se utilizan en el Diseño Estructural del PAVADOQ, son los mismos que empleamos para cualquier Diseño del Pavimento Asfáltico y las metodologías para la obtención de los resultados son generalmente de tipo experimental, donde cada país opta por sus propios resultados.

6.2.1 Práctica Inglesa

El Diseño Estructural se obtiene usando los CATALOGOS A y B, relacionando las variables del TRAFICO con las del TERRENO DE FUNDACION (sub rasante) y sus diferentes posibilidades de cambio o conversiones de espesores, para luego con adecuado CRITERIO ,analizar las diferentes alternativas de SOLUCION y adoptar la mas eficiente u OPTIMA.

PRACTICA INGLESA: CATALOGO A

TRÁFICO: Ejes Estándar (8,2 t) acumulados durante el periodo de diseño											
Desde	1	101	1.001	10.001	50.001	100.001	500.001	1.000.001	1.500.001	4.000.001	8.000.001
Hasta	100	1.000	10.000	50.000	100.000	500.000	1.000.000	1.500.000	4.000.000	8.000.000	12.000.000
SUELO (CBR%)	BASE: Espesor de concreto asfáltico compactado en caliente – CACC, (mm)										
1	114	122	137	151	185	285	315	333	375	405	423
2	90	98	113	127	133	174	207	220	252	275	289
3	80	88	103	117	123	145	160	176	195	214	226
4	70	78	93	107	113	135	150	166	178	196	209
5	65	73	88	102	108	130	145	161	173	191	204
6	63	71	86	100	106	128	143	159	171	189	202
7	60	68	83	97	103	125	140	156	168	186	199
8	59	67	82	96	102	124	139	155	167	185	198
9	57	65	80	94	100	122	137	153	165	183	196
10	55	63	78	92	98	120	135	151	163	181	194
15	54	62	77	91	97	119	134	150	162	180	193
20	52	60	75	89	95	117	132	148	160	178	191
30	50	58	73	87	93	115	130	146	158	176	189
CAPA DE ARENA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ADOQUINES	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80

Tabla 11. Espesores (mm) para los Adoquines, la Capa de Arena y la Base (expresados como una capa de concreto asfáltico compactado en caliente - CACC), en función del tráfico (en ejes equivalentes de 8,2 t).

Se reitera que solo el FIRME (Base) esta expresado en m.m. de CACC (Concreto Asfáltico Compactado en Caliente), sujeto al cambio por el **CATALOGO B**, al **dividir** el Factor de Equivalencia correspondiente. Ejemplo, si el Valor de CACC a convertir es de 100 mm y se quiere convertir en **"material granular para base (Firme) sobre material con CBR mayor que 5 %"**, el Factor de Conversión de este material es 0,45 por lo tanto, el espesor equivalente en material granular es 100/0,45=222 mm.

CATALOGO B:

Material	Factor de equivalencia Sugerido	Rango
Rodadura de adoquines (espesor de adoquín + capa de arena)	1,10 *	1,00 a 1,25
Concreto asfáltico compactado en caliente - CACC	1,00 *	0,90 a 1,10
Subrasante mejorada (material con un CBR > 5 %)	0,15 *	0,05 a 0,15
Material granular para subbase sobre material con CBR ≤ 5%	0,25 *	0,05 a 0,30
Material granular para subbase sobre material con CBR>5%	0,30 *	0,10 a 0,35
Material granular para base sobre material con CBR≤5%	0,40 *	0,10 a 0,45
Material granular para base sobre material con CBR>5%	0,45 *	0,15 a 0,50
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 1 MPa	0,25 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 2 MPa	0,40 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 3 MPa	0,50 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 4 MPa	0,60 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 5 MPa	0,65 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 6 MPa	0,70 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 7 MPa	0,75 **	
Relleno fluido* Rc 28d (cilindros) = 8 MPa	0,80 **	
Concreto Rc 28 d (cilindros) = 30 MPa	1,70 *	1,50 a 1,90
Suelo-cemento Rc 28 d (cilindros) = 5 MPa	0,40 *	0,20 a 0,60
Suelo-cemento Rc 28 d (cilindros) = 8 MPa	0,50 *	0,30 a 0,70
(*) Tomados de [17,18] (**) Adaptados de [2,7,8,9]		

Tabla 8. Factores de conversión para los diversos materiales de base y subbase, tomando el CACC como la unidad.

Los asteriscos son los indicativos de la Fuente de Información:

* Pave Israel´96 International Conference: "Concrete Block Paving" / Burtwell Atkinson-Hawker UK footway design guidance (17).
* Concrete in the service of Mankind: University of Dundee Londres 96/Brewer (18).

** Adaptaciones del ICPC -ASOCEM del original: British Standard Institution Guide for Structural Design of Pavements PAVERS (2) y los trabajos del Prof. Cook y Knapton (7,8,9).

6.2.2 Práctica Peruana

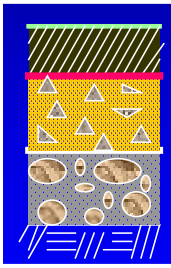
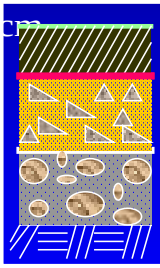
El Diseño Estructural se obtiene usando el CATALOGO UNI, especialmente preparado como resultado de las EXPERIENCIAS de Fabricación e Instalación en Costa, sierra y Selva Peruana, de la Aplicación del SISTEMA PAVADOQ HEX MACH y la analogía que tiene el Sistema con los PAVIMENTOS Asfálticos.
Las variables de Ingreso son:

- Tipo de Trafico,
- Características del Terreno de Fundación (sub rasante)
- Condiciones del Clima para un Estudio Especifico de DRENAJE

Los resultados se dan **preliminarmente** en forma directa en el Catalogo UNI, el Diseño Final será consecuencia, de la misma manera, como se determina en la Práctica Inglesa, analizando sus diferentes posibilidades de cambio o conversiones de espesores, para luego con adecuado CRITERIO, analizar las diferentes alternativas de SOLUCION y adoptar la más eficiente u OPTIMA.

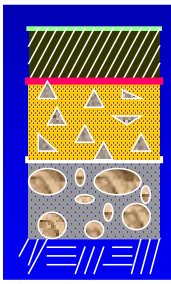
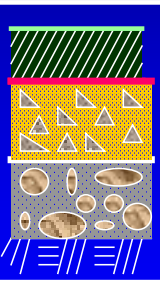
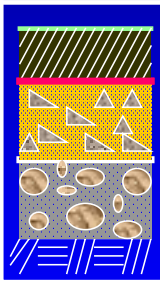
CATALOGO UNI

CATALOGO UNI PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVADOQ PAVERS - HEX MACH

Valores de C.B.R.	TIPO DE TRAFICO		
	Liviano	Mediano	Pesado
<3	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA		
4 – 7	 7,5+3 cm 10 15	7,5+3 cm 12,5 17,5	 10+3 15 20

Autor: Prof. Ing. Samuel Mora Q. **Van \\\...**

Viene///...

Valores de C.B.R.	TIPO DE TRAFICO		
	Liviano	Mediano	Pesado
<3	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA		
8 -12	 10.5 cm 15 ---	 10.5 cm 17.5 ---	 13 cm 20 ---

Autor: Prof. Ing. Samuel Mora Q. **Van \\\...**

Viene///...

Valores de C.B.R.	TIPO DE TRAFICO		
	Liviano	Mediano	Pesado
<3	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA		
13 -17	10.5 cm. 12.5 ---	10.5 cm 15.0 ---	13 cm 17.5 ---

Autor: Prof. Ing. Samuel Mora Q. **Van \\\...**

Viene///...

Valores de C.B.R.	TIPO DE TRAFICO		
	Liviano	Mediano	Pesado
<3	DISEÑO ESPECIFICO DE LA ZONA		
18 -21	10.5 cm. 10.0 ---	10.5 cm 12.5 ---	13 cm 15.0 ---

NOTAS: AUTOR: Prof. Ing. Samuel Mora Q.
!.-EQUIVALENCIAS ADOPTADAS: 2.5 cm.de FIRME(BASE) <> 6.75 cm. de CIMIENTO(SUB BASE)
2.-RESISTENCIA MIN.: f´c 35 Mpa. ADOQ L12 de e=7.5 para TL/TM y L17 de e=10 para TP
3.-CAPA DE ASIENTO Min. 3 cm + 1 cm para COMPACTACION
4.-CBR MIN: FIRME(BASE) 80 % / CIMIENTO(SUB BASE) 40%
5.-No es incompatible el USO de las Equivalencias de la PRACTICA INGLESA del PAVERS.
6.-El espesor del ADOQ HEX MACH L!2/L17 <> al espesor 8/10 cm del PAVERS respectivamente.

NOTAS:
1.-Equivalencias Adoptadas: 2.5 cm.de Firme (BASE) <> 6.75 cm. de Cimiento(SUB BASE) .
2.-Resistencia Min.: f´c 35 Mpa. ADOQ L12 de e=7.5 para TL/TM y ADOQ L17 de e=10 para TP.
3.-Capa de Asiento Min.: 3 cm + 1 cm para COMPACTACION.
4.-CBR Min: Firme (BASE) 80 % / Cimiento(SUB BASE) 40%.
5.-No es incompatible el USO de las Equivalencias de la PRACTICA INGLESA del PAVERS.,para este Catalogo.
6.-El espesor del ADOQ HEX MACH L!2/L17 <> al espesor 8/10 cm del PAVERS respectivamente.

7.0 CONSTRUCCION DE LOS PAVADOQ

7.1 Etapas de Construcción

7.1.1 Etapa BASE de Construcción Vial

La construcción de Terreno de Fundación (sub rasante), el Cimiento (sub base) y el Firme (base), en los Sistemas de Pavimentos Adoquinados, no difiere en nada de la empleada en pavimentos de asfalto.
El tipo de capa, su calidad, inspección y control de calidad, son los mismos.

7.1.2 Etapa ESPECIAL de Construcción Vial

La construcción del REVESTIMIENTO o CAPA DE RODADURA, que esta dada por la capa adoquinada y la capa asiento, sí tienen su técnica especial de construcción. Son esencialmente artesanales, manuales. La delgada capa de asiento, tiene la función de proporcionar un medio para corregir las irregularidades de la base y de los adoquines, así como servir de colchón para compactar la capa adoquinada, el material debe ser una arena bien graduada y limpia, sin nada de arcilla. Esta arena se coloca sobre la base, con su humedad de absorción. No debe mezclársele cemento ni cal. No debe ser rígida. Esto es para que no se quiebre y cuando se tengan que levantar algunos adoquines, no se dificulte esta operación.

7.2 Proceso Constructivo

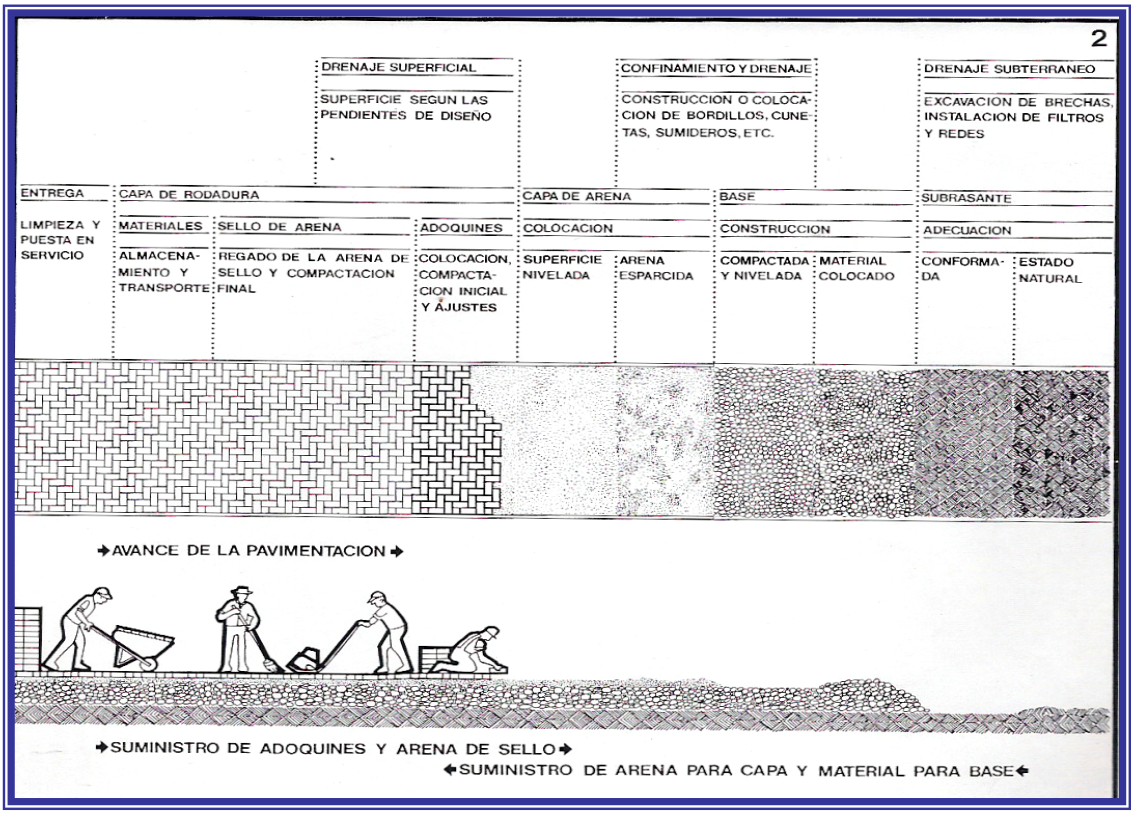
El Proceso Constructivo de estas dos etapas, requiere de la aplicación de CONCEPTOS, muy importante en la GESTION VIAL, tales como la OPTIMIZACION de los recursos disponibles, que cumplan con los requerimientos establecidos en la Normas Nacionales é Internacionales (EFICIENCIA) y se logren los Objetivos propuestos en la PLANIFICACION VIAL (EFICACIA), Así también una muy buena, Organización del Trabajo a través de un Programa Optimizado de Actividades **(2)**.

ACTIVIDADES:

1. Construcción de Obras de DRENAJE
2. Transporte de Materiales PROGRAMADO
3. Adecuación del Terreno de Fundación (Sub rasante)
4. Construcción del Cimiento (Sub base)
5. Construcción del Firme(Base)
6. Construcción del CONFINAMIENTO
7. Construcción del Revestimiento o Capa de Rodadura (Capa Funcional: Adoquín + Capa de Asiento):

7.1 Colocación, nivelación y Compactación de la Capa de Asiento (Practica Holandesa, de muy buenos resultados en los ADOQ HEX MACH, en otros países esta capa no la Compactan)

7.2 Sellado de Juntas y Compactación (1ºro. Plancha Vibrocompactadora, luego al final Compactadora de Rodillo Cilíndrica o de llantas Neumáticas.



Fuente de Información (Extractos):

1. ICPC Notas Tecnicas 04-21-241 Pavimentos de Adoquines de Concreto
2. ICHCH Diseño y Construcción de PAVADOQ de Hormigón
3. ASOCEM Publicaciones

8.0 COLOCACION o INSTALACION DE ADOQUINES

La colocación o instalación de adoquines requiere mucho cuidado, para alinear y nivelar perfectamente las hileras de adoquines, sobre la CAPA DE ASIENTO.

8.1 Capa de Asiento

La capa de asiento esta constituida por una capa de arena limpia, de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias objetables; tendrá una granulometría continua, y que la totalidad de la arena pase por el Tamiz de 9,5 mm (3/8”) y no más del 5 % pase por el Tamiz de 74 u (Nº 200).

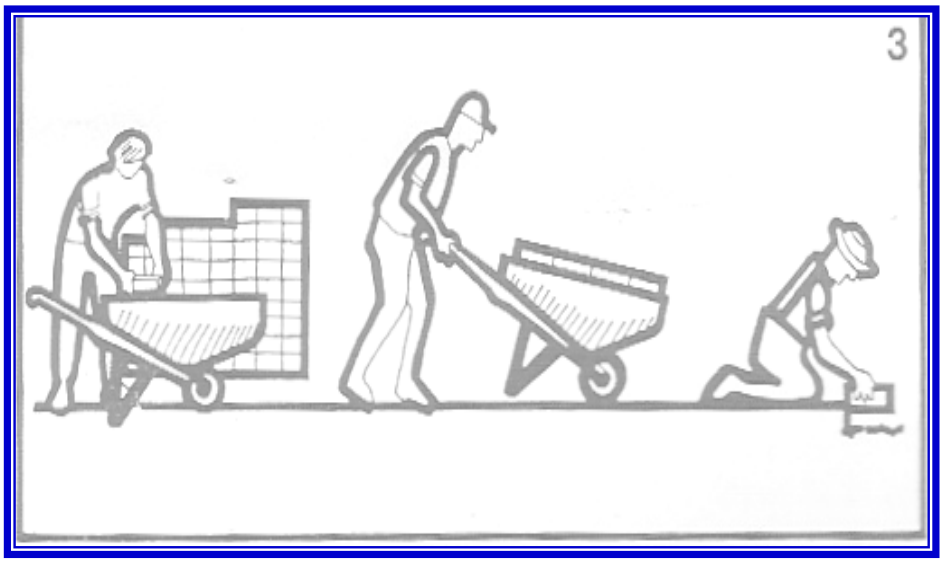
8.1.1 Las Especificaciones Generales de MTC 2000 Sección 505, recomienda la siguiente granulometría:

TAMIZ		% QUE PASA (EN PESO)	
Norma	**DESIGNACION ALTERNA**	**MINIMO**	**MAXIMO**
9.51 mm	3/8”	100	100
4.25 mm	Nº 4	90	100
2.36 mm	Nº 8	75	100
1.18 mm	Nº 16	50	95
600 um	Nº 30	25	60
300 um	Nº 50	10	30
150 um	Nº 100	0	15
75 um	Nº 200	0	5

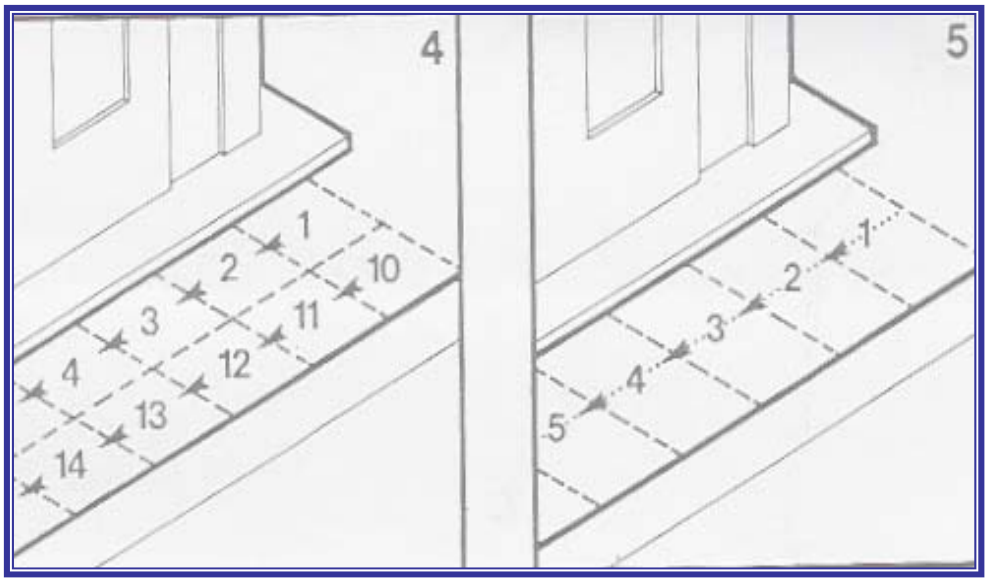
El equivalente de arena, medido según la Norma MTC E 114, deberá ser cuando menos de 60 %. La arena se almacenará de tal manera, que se pueda manipular, sin contaminarse, protegiéndola de la lluvia para que su contenido de humedad sea lo más uniforme posible.

La prohibición de circular sobre la capa de arena, una vez extendida, divide la obra en dos **áreas de trabajo** que deben tener **suministro de materiales y equipo** desde **direcciones opuestas.** Puesto que el proceso constructivo deberá avanzar siempre en una misma dirección, **por un lado** se traerán los materiales para la base y la capa de arena y **por el otro** la arena para sello, los adoquines y el equipo de compactación.
Se puede tener un tren de obra que se vaya desplazando, con diferentes cuadrillas trabajando en cada una de las etapas o una sola cuadrilla que construya cada tramo en su totalidad.

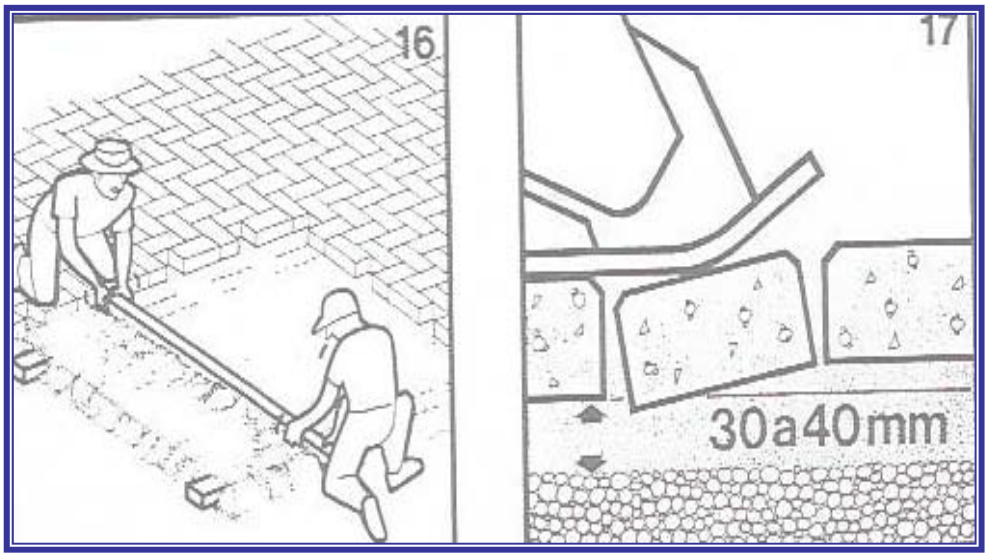
La cuadrilla mínima de trabajo será de tres obreros, quienes llevarán a cabo, conjuntamente, todas las labores, rotándose para no sobrecargar a uno u otro con la actividad que implica el mayor esfuerzo físico, que por lo general es la colocación de adoquines, (3).



Antes de comenzar la obra, y conociendo la disponibilidad de mano de obra y de equipo, se debe planificar la secuencia de construcción, el transporte de los materiales y su distribución. Se definirá por ejemplo si se pavimenta en franjas continuas en la dirección del avance de la obra (por carriles) (4) o completando franjas en sentido transversal, (5).

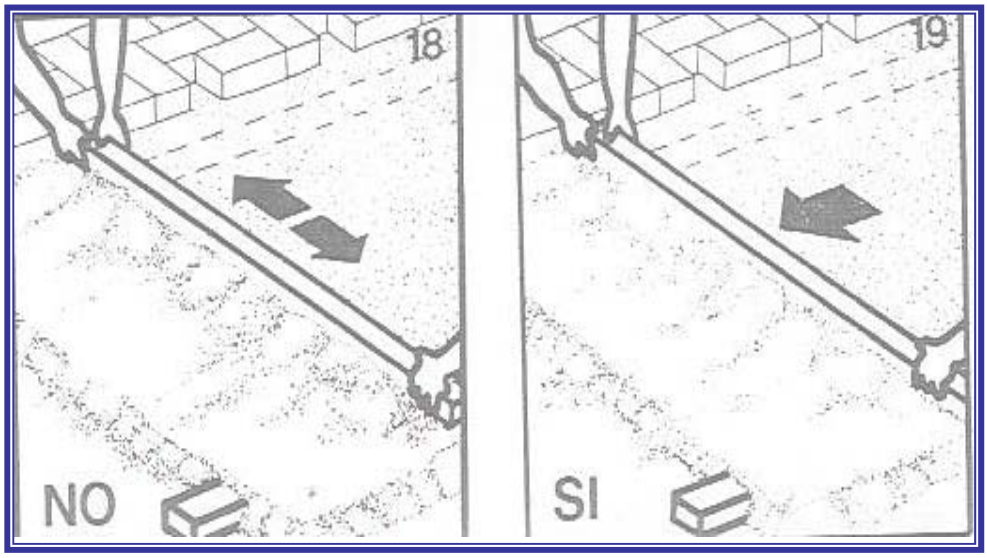


8.1.2 Colocación de la Capa de Arena. La capa de arena se colocará con un espesor uniforme en toda el área del pavimento, por el cual no se podrá utilizar para compensar irregularidades o deficiencias en el nivel de la base.
Se deberá extender por tramos cortos a medida que se vaya avanzando con la capa de adoquines.
Para colocar la capa de arena se recomienda utilizar tres reglas , dos o modo de rieles, puestos directamente sobre la base, y otra como enrasadora de la arena distribuida previamente entre los rieles, (16).
El **espesor** suelto de la capa de la arena, y por lo tanto la altura de loas rieles será tal que una vez compactado el pavimento, la capa de arena **quede** con un espesor entre 30 y 40 mm (3 y 4 cm.) esto se puede verificar en un pequeño trazo de ensayo. Por lo general un espesor suelto de 40 mm (4 cm.) resulta adecuado, (17).

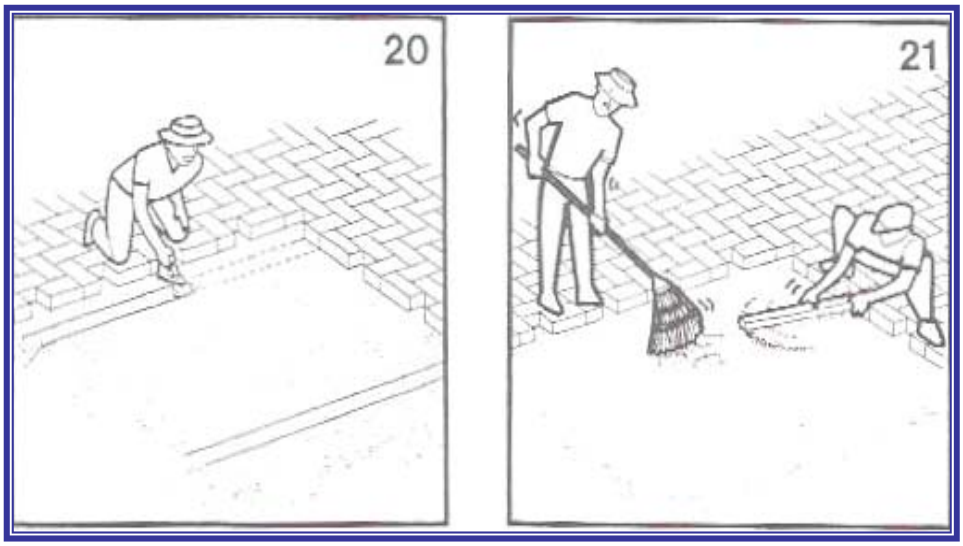


Es aconsejable manejar reglas de tres metros que proporcionen una zona de trabajo suficientemente amplia, y que a la vez sirvan para verificar las tolerancias del nivel de la subrasante, de la base y del pavimento ya terminado. Comúnmente se utilizan secciones de madera o perfiles huecos de aluminio.

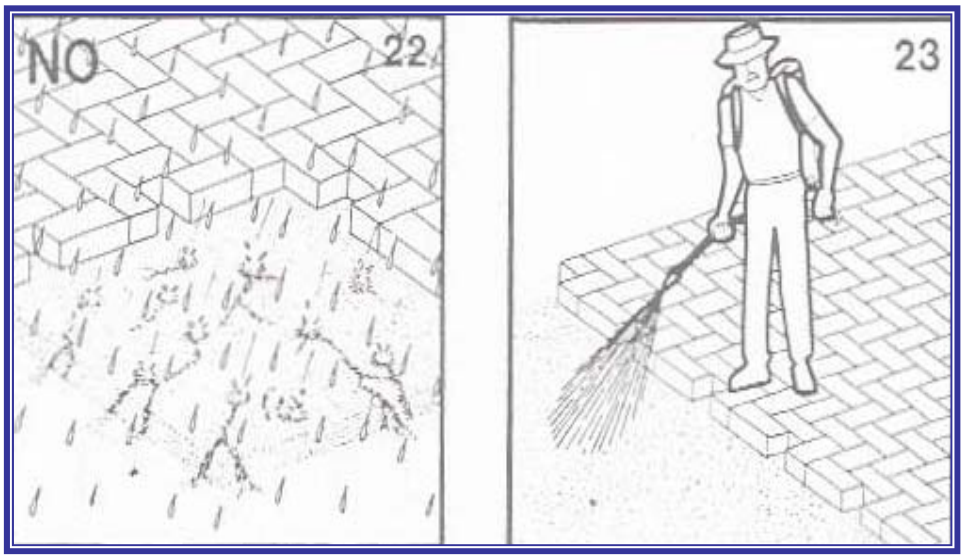
El desplazamiento de la enrasadora se deberá efectuar siguiendo siempre la dirección de los rieles, sin movimiento a lado y lado, y arrastrando un sobreespesor de arena que garantice que toda la capa quedará completa. Es conveniente que la enrasadora sea manejada por dos personas, (18-19).



Una vez enrasada la capa de arena se podrán retirar los rieles; la huella dejada por estos se deberá llenar, por métodos manuales, con arena suelta hasta alcanzar el nivel del resto de la capa.
Si la arena ya colocada sufre algún tipo de compactación se le dará varias pasadas con un rastrillo para devolverlo la soltura y se enrasará de nuevo, (21).
No se permitirá colocar adoquines sobre una capa de arena que haya soportado lluvia o escorrentía lo que implicará tener que levantarla, devolverla a la zona de almacenamiento y reemplazarla por arena uniforme y suelta, (22).



En las zonas donde el tráfico sobre el pavimento de adoquines vaya a ser escaso, para evitar la proliferación de hierba en las juntas, se podrá aplicar por aspersión, un herbicida sobre la capa de arena ya nivelada, antes de colocarle los adoquines, (23).

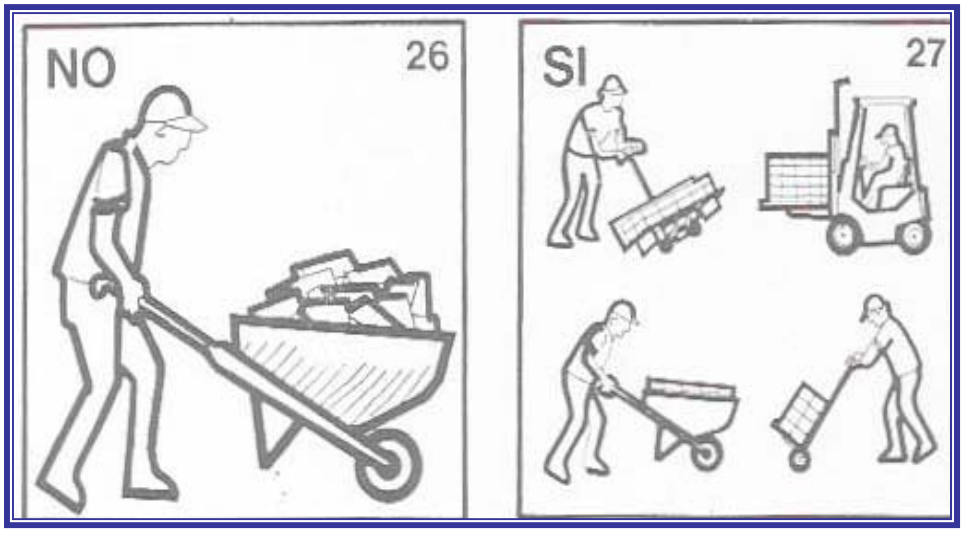


8.2 Adoquines

La calidad de los Adoquines, se fabrican cumpliendo las prescripciones nacionales determinadas por la Norma Técnica Peruana NTP 339 611 2003, que establece los requisitos que deben cumplir los adoquines de concreto para la construcción de los PAVIMENTOS.

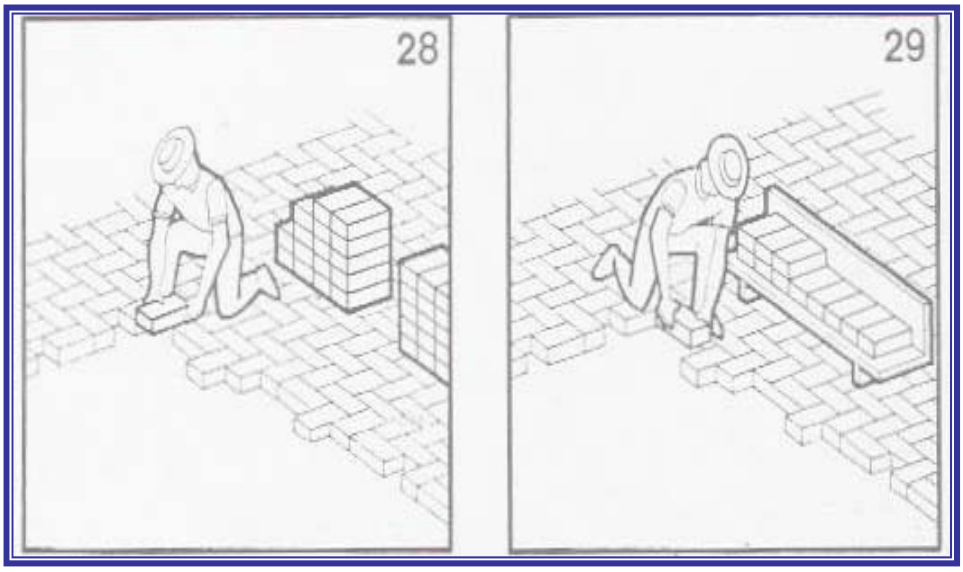
8.2.1 Transporte de los adoquines

El transporte y manejo de los adoquines desde la planta prefabricación hasta la obra se hará de manera ordenada, por métodos manuales o mecánicos que no alteren el acabado de las piezas.
Así mismo, el transporte de los adoquines dentro de la obra se hará utilizando sistemas que sean eficientes y que tampoco alteren la calidad de las piezas, (26-27).



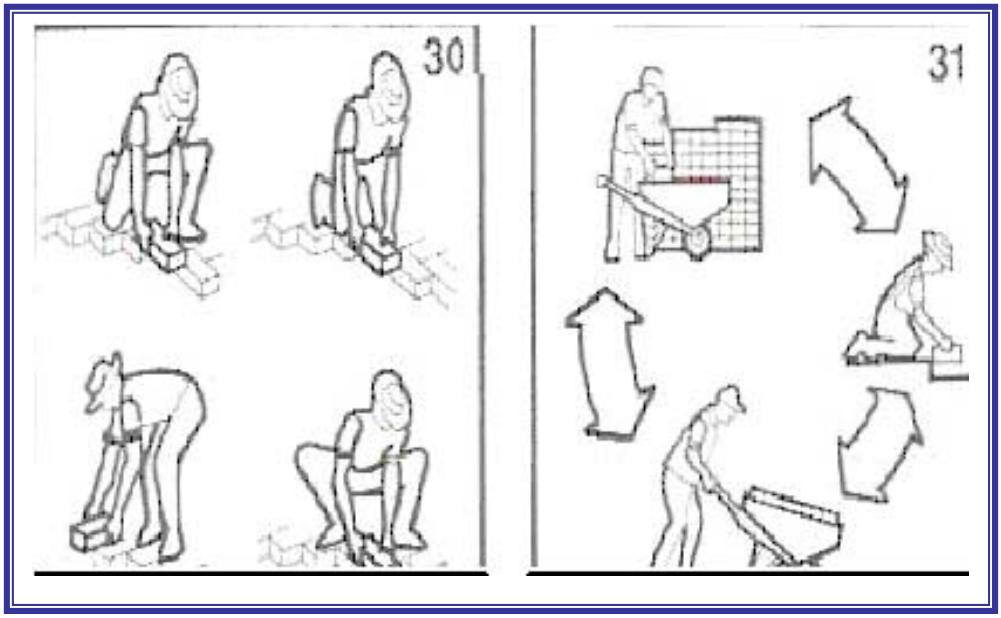
Los adoquines se podrán al alcance de la mano de los colocadores para lograr un mayor rendimiento en esta actividad. Una manera efectiva de hacerlo es mediante la disposición de pequeñas rumas a los largo del borde de avance de la colocación de

adoquines,(28) o utilizando camas largas que contengan adoquines suficientes para varias hileras.(29)



8.2.2 Colocación de los Adoquines

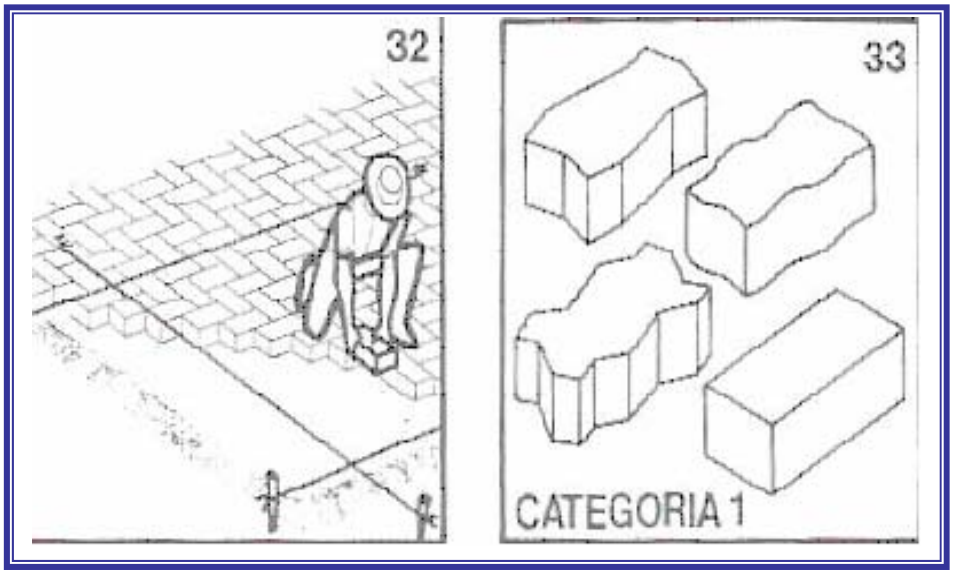
El colocador adoptará la posición que le resulte más cómoda y que le de mejor rendimiento, (30).
Los integrantes de la cuadrilla ejecutarán alternadamente, las diferentes labores para evitar la fatiga excesiva de unos u otros, (31).



La colocación de los adoquines seguirá un patrón uniforme, que se controlará seguirá un patrón, uniformes, que se controlará con hilos para asegurar su alineamiento transversal y/o longitudinal, (32).

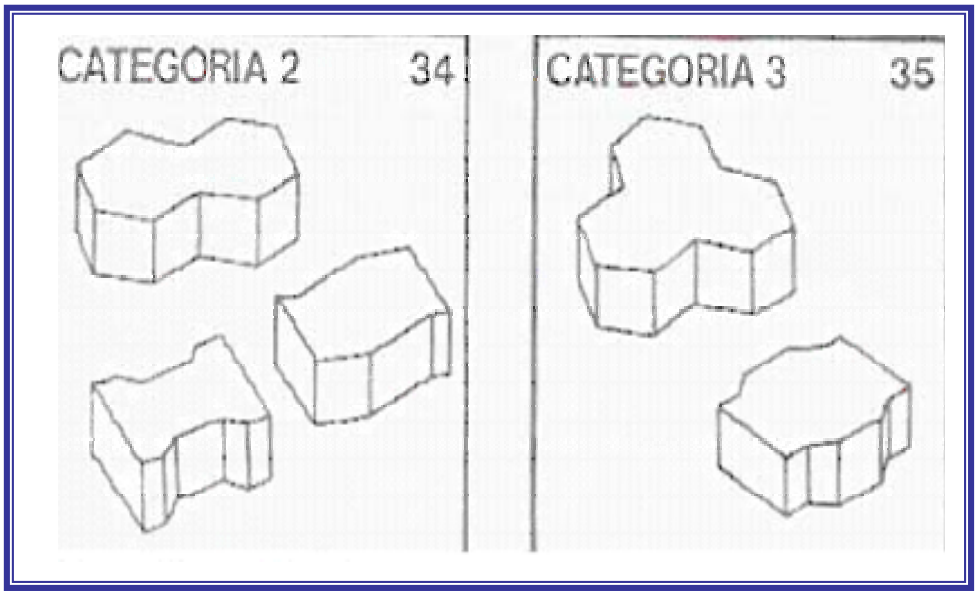
El patrón de colocación está regido por la forma de los adoquines, que se puede clasificar en tres categorías principales.

Categoría 1. Adoquines rectangulares (modulares), con una relación largo / ancho igual a dos; con un ancho de 100 + 15 mm (10+ 1,5 cm.), para que se puedan coger con nunca sola mano, con bordes rectos, dentados o ondulados y que se pueden colocar en hilera o siguiendo el patrón "espina de pescado", (33).

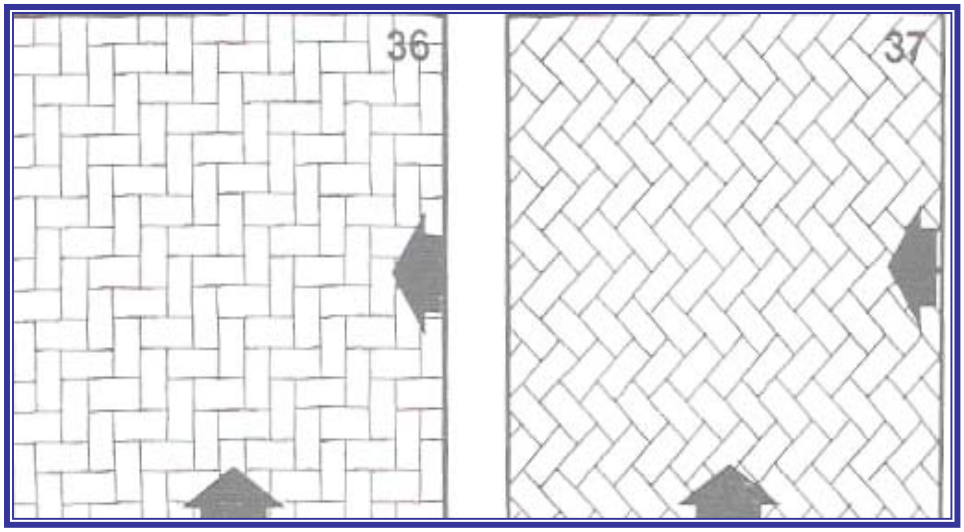


Categoría 2. Adoquines con tamaño y proporciones similares a los de la categoría 1 pero que sólo se pueden colocar en hileras, (34).

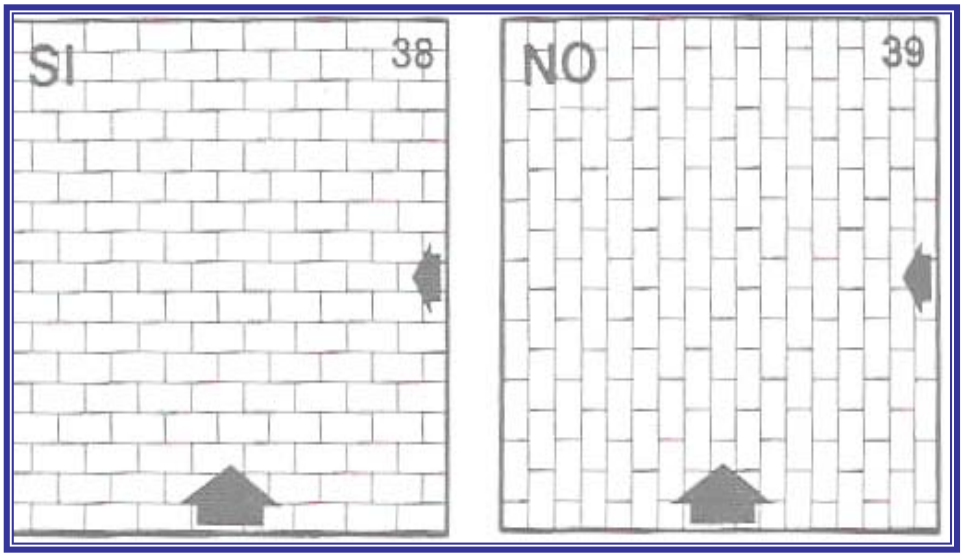
Categoría 3. Adoquines con un tamaño mayor que el de los anteriores con formas características y que sólo se pueden colocar siguiendo un sólo patrón que no siempre conforma hileras fácilmente identificables, (35).



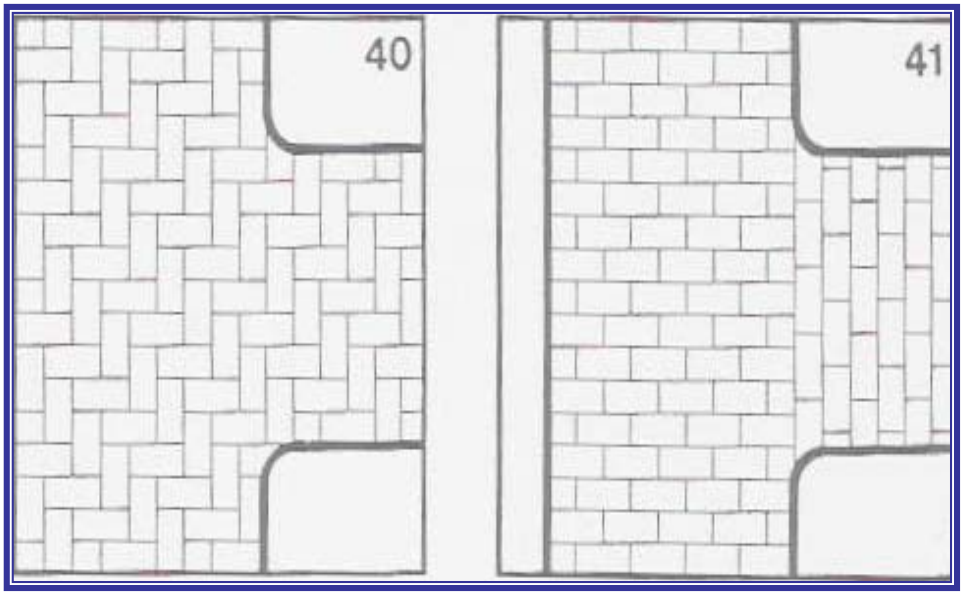
Para la categoría 1 se preferirá el patrón "espina de pescado", dispuesto en cualquier ángulo sobre la superficie pues no se tiene un sentido preferencial de circulación, (36, 37).



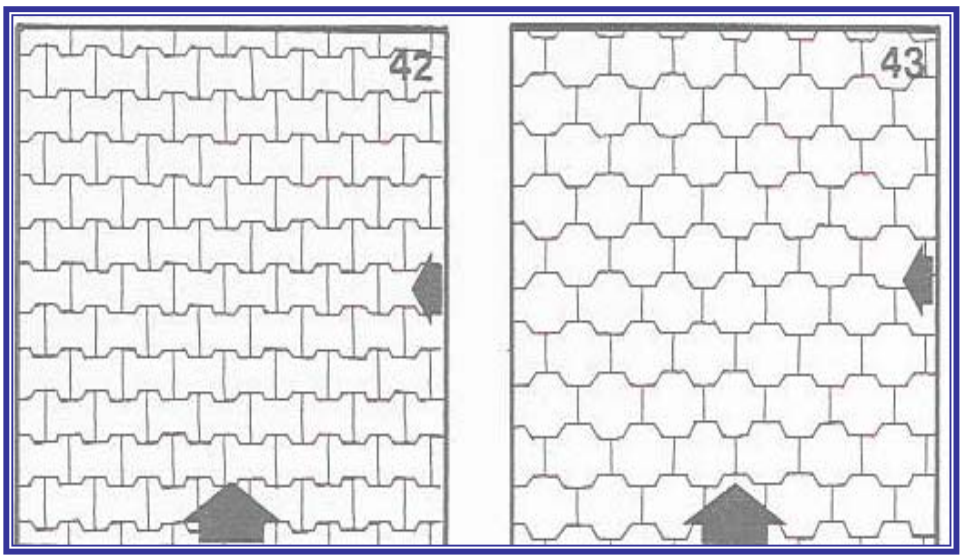
En vías con sentido de circulación definido y adoquines de la categoría, se podrán colocar en hileras, siempre y cuando estas sean perpendiculares a dicho sentido de circulación, (38, 39).



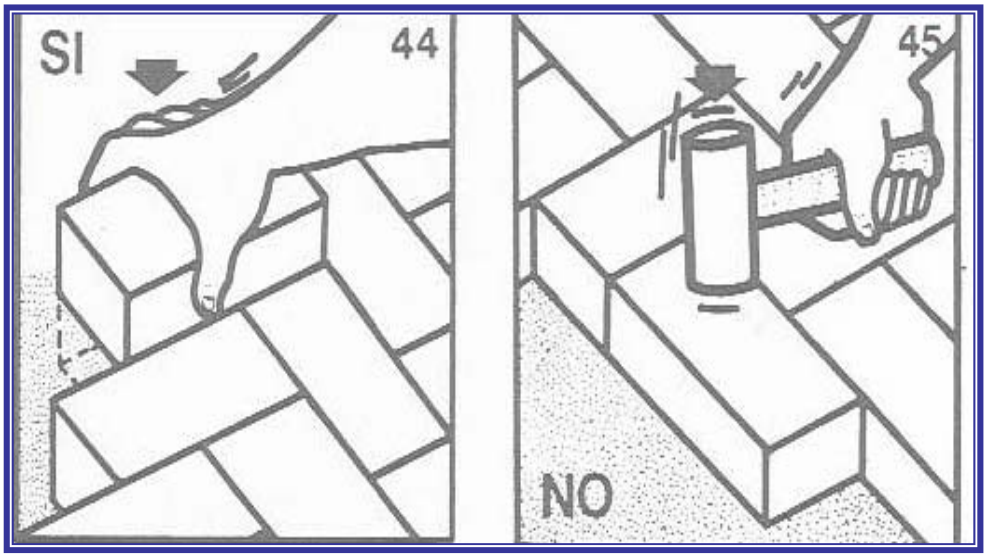
Para la categoría 1 el patrón de colocación “espina de pescado se podrá seguir de manera continua sin necesidad de alterar su rubro al doblar esquinas o seguir trazados curvos. (40) si los adoquines se colocan en hileras estas deberán cambiar de orientación para respetar siempre la perpendicularidad al sentido preferencial de circulación, (41).



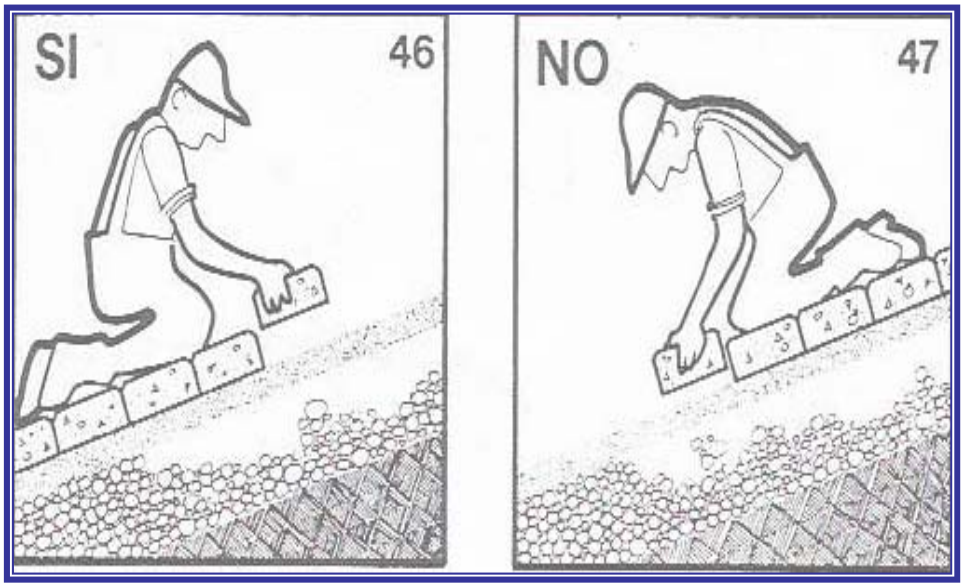
Para la categoría 2 los adoquines se colocarán preferiblemente en hileras perpendiculares al sentido preferencial de circulación (42).
Si se tiene adoquines de la categoría 3 que se puedan colocar en hileras, estas quedarán de ser posible, perpendiculares a la dirección preferencial del tráfico. Los otros diseños de esta categoría no tendrán ninguna restricción (43).



Los adoquines se colocarán directamente sobre la capa de arena ya enrasada. Se colocarán al tope de manera que las caras laterales generen juntas que no exceden los 5mm (44) No se nivelarán individualmente, (45).



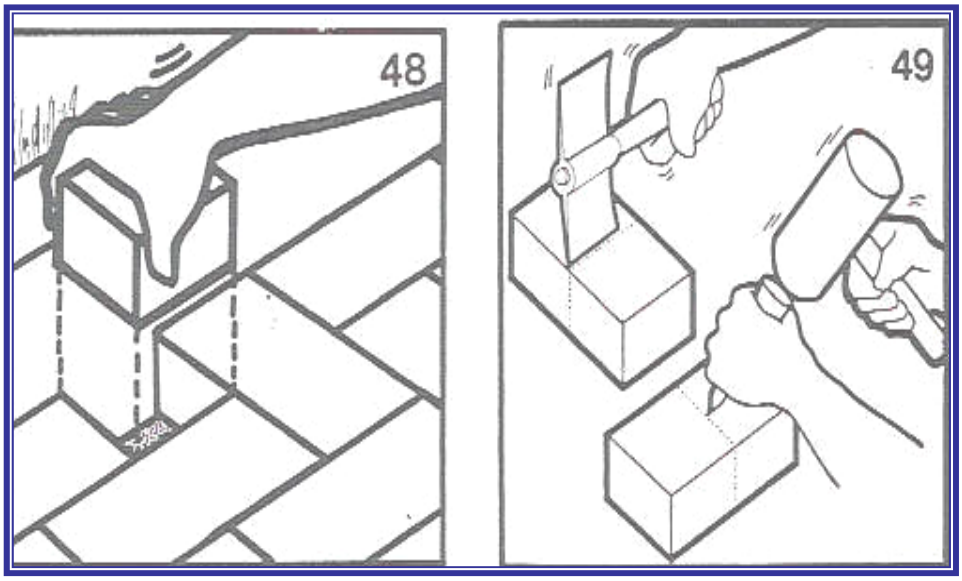
En zonas o vías con pendiente bien definidas, la construcción del pavimento y de manera especial la colocación de los adoquines se hará preferiblemente de abajo hacia arriba, (46 -47).



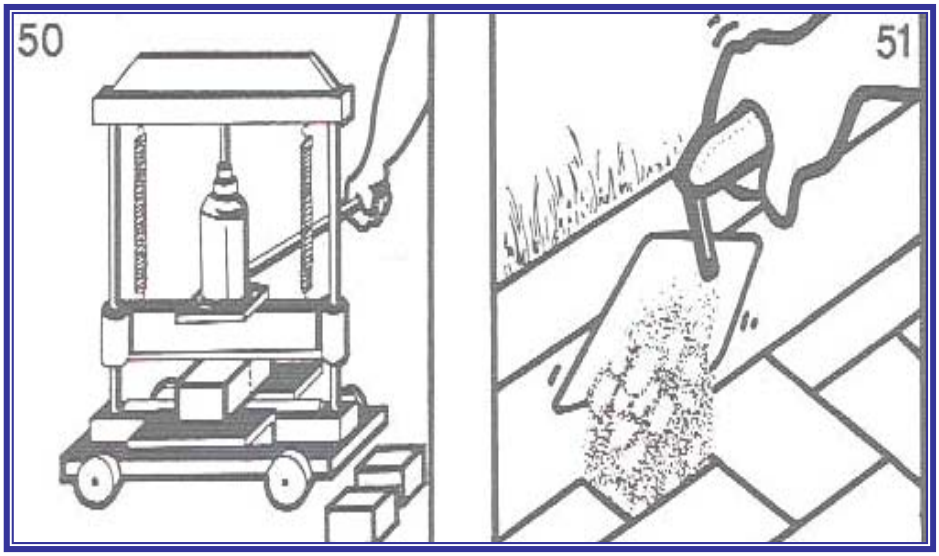
En el Sistema Pavadoq Hex Mach,se recomienda colocarlo en forma diagonal, al sentido de la vía (1,2,3,4 carriles).

8.2.3 Ajustes del Confinamiento

Una vez se haya terminado de colocar los adoquines que quepan enteros dentro de la zona de trabajo, se colocarán ajustes en los espacios que hayan quedado libre contra las estructuras de drenaje o de confinamiento.
Dichos ajustes se harán preferiblemente, partiendo adoquines en piezas con la forma necesaria en cada caso (48).



Para partir los adoquines se pueden utilizar herramientas manuales (cincel, mazo, hachas, etc.), (49) o máquinas diseñadas para este propósito (mecánicas o hidráulicas), (50).
Los ajustes de espacios, con un área equivalente a ¼ o menos de la de un adoquín, se harán, después de la compactación inicial e inmediatamente antes de comenzar el sellado de las juntas llenándolos con un mortero constituido por una parte de cemento, cuatro de arena y poco agua, (51).



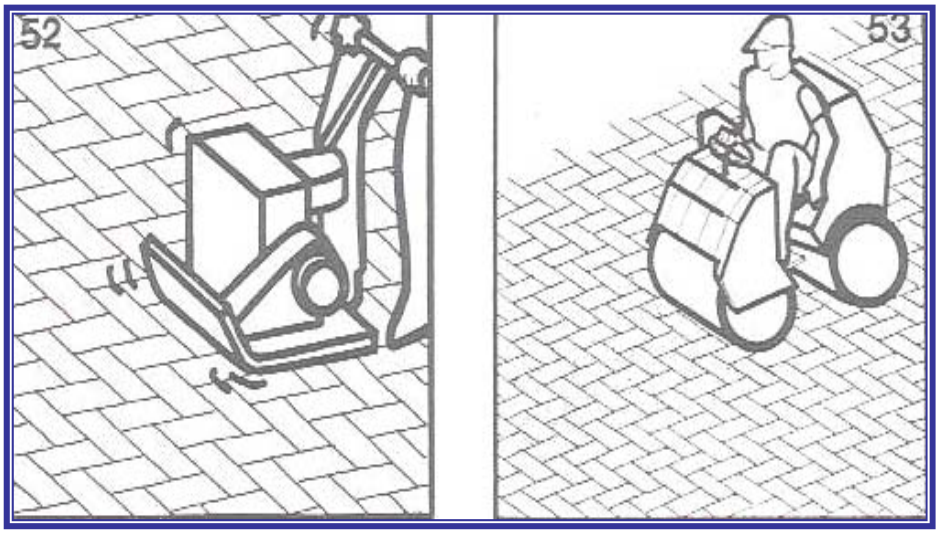
9.0 COMPACTACION DE LA CAPA ADOQUINADA

Cuando se tenga un área adecuada de adoquines, se procede a compactarlos, usando una aplanadora ligera, de unos 1000 Kg. de peso total. Esta compactación se hace de acuerdo al buen criterio del ingeniero.
Algunas recomendaciones al respecto:

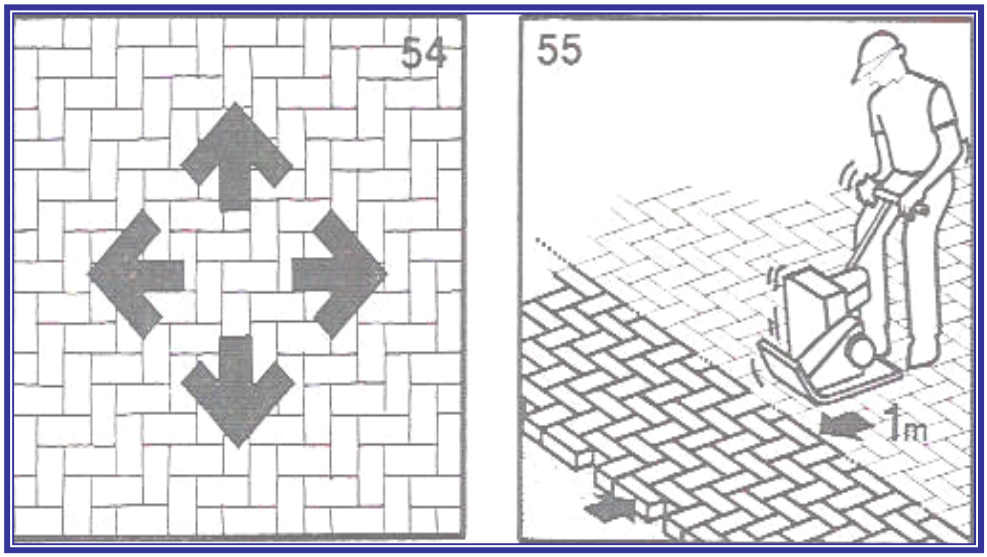
9.1 Equipo de compactación

Para la compactación de la capa de adoquines se utilizará una máquina vibrocompactadora de placa.
Para adoquines de 60 mm de espesor se recomienda que el equipo tenga una placa con un área entre 0,2 y 0,4 m2, una fuerza centrifuga entre 7 y 16 kN y una frecuencia de vibración entre 75 y 100 hz. Para adoquín de 80 mm o más el área deberá estar entre 0.25 y 0.5 m2 la fuerza centrifuga entre 15 y 20 kN y la frecuencia entre 75 y 100 hz. (52)

Una vez terminada la compactación final y el sellado del pavimento, se podrá llevar a cabo una compactación adicional con una compactación con llantas neumáticas. Esto ayudará a que las deformaciones posteriores en el pavimento sean menores, (53).

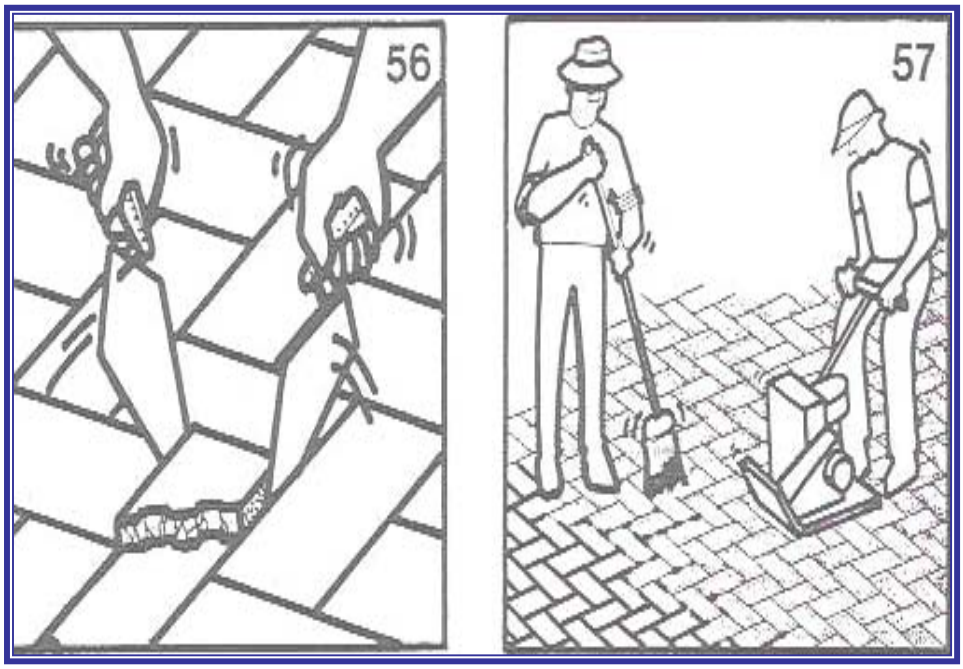


Cuando se terminan los ajustes con piezas partidas, se procederá de inmediato a la compactación inicial de la capa de adoquines mediante, al menos, dos pasadas, desde diferentes direcciones, de una maquina vibrocompactadora de placa. Si no se dispone de este equipo se podrá utilizar rodillos manuales, duplicándose el número de pasadas. (54)
El área adoquinada se compactará hasta un metro de borde de avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al terminar la jornada de trabajo los adoquines habrán recibido, al menos, la compactación inicial, excepto la franja de un metro ya descrita. (55).

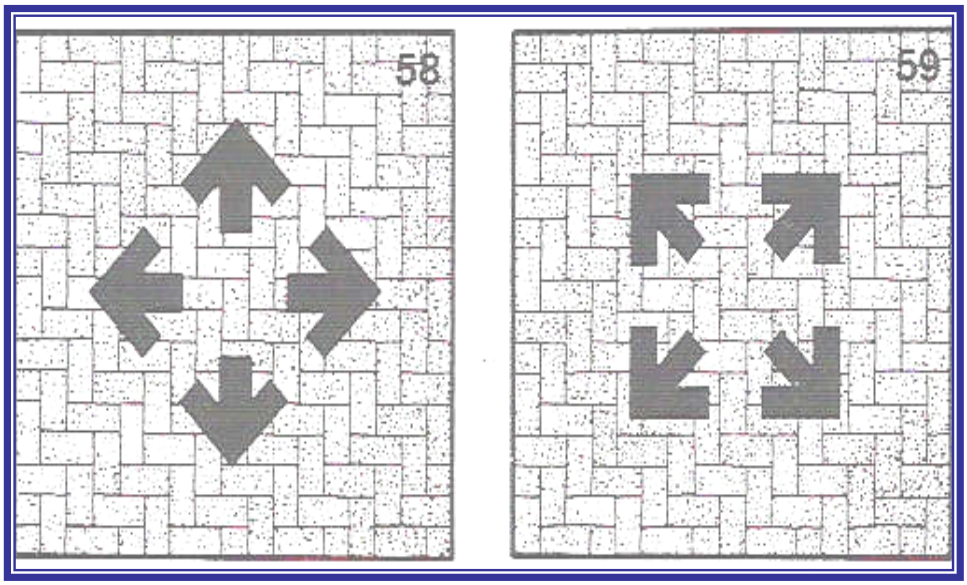


Después de la compactación inicial pueden resultar algunos adoquines partidos, los cuales todavía son fáciles de extraer en esta etapa de la construcción y que deben ser reemplazados. En el pavimento terminado solamente se admitirá un 1% de adoquines partidos y ninguno exhibirá fractura múltiple, (56).

Inmediatamente después de la compactación inicial se procederá al sellado de las juntas entre adoquines y la compactación final, previa ejecución de los ajustes con mortero, (57).



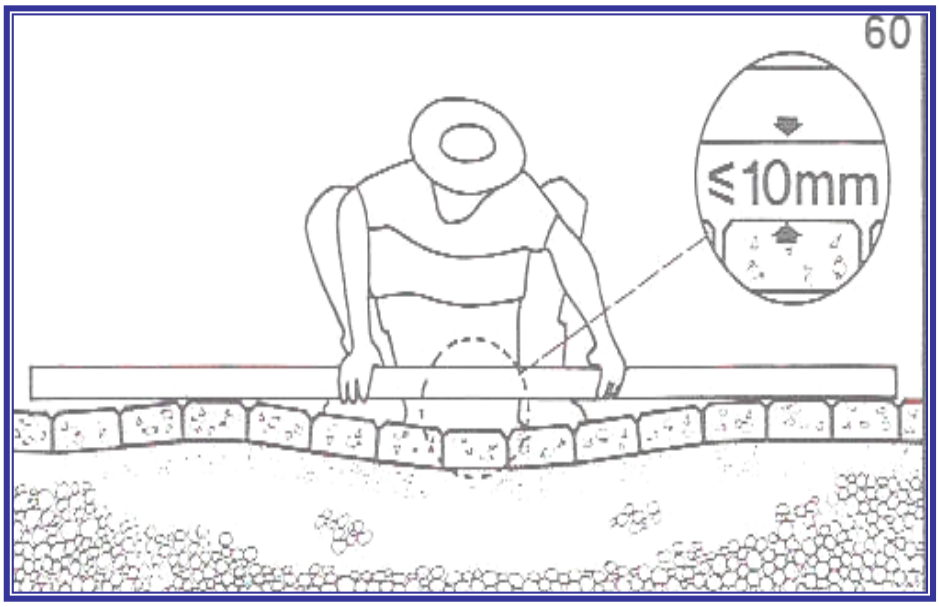
Durante la compactación final, cada punto del pavimento recibirá al menos 4 pasadas del equipo recomendado, preferiblemente desde distintas direcciones. En casa pasada se cubrirá toda el área en cuestión antes de repetir el proceso, (58-59).



Se recomienda acometer la compactación, tanto inicial como final, en áreas mayores que 20 m2 para que se justifique la puesta en marcha del equipo motorizado.

9.2 Tolerancias

La superficie del pavimentos de adoquines ya terminada, evaluada con una regla de tres metro sobre la línea que no esté afectada por cambios en las pendientes de la vía, no se separará de la regla más de 10 mm (1 cm), dicha medición sobre la superficie de los adoquines , nunca sobre los biseles ni las juntas, (60).



10.0 SELLADO DE JUNTAS

Las Juntas entre adoquines es muy importante y deben estar separadas entre 2 y 5 mm. por que menores a 2 mm, la transferencia de carga es pobre (MALA) y si el ancho de junta sobrepasa los 5 mm, se elimina el efecto de borde que confiere una mayor rigidez al material de junta y también la transferencia de carga decrece.

La humedad de la arena de sello también influye en la capacidad de transmitir esfuerzos de los adoquines, recomendándose que durante la colocación esta no sea superior a un 2%.

Cuando la capa adoquinada esté compactada en forma adecuada, se procede a sellar las juntas de los adoquines, usando arena limpia cribada en una malla Núm. 10, depositando este material y simultáneamente compactando los adoquines, para llenar por completo las juntas.

10.1 Sello de Arena

Cuando la capa adoquinada esté compactada en forma adecuada, se procede a sellar las juntas de los adoquines, usando arena limpia cribada en una malla Núm. 10, depositando este material y simultáneamente compactando los adoquines, para llenar por completo las juntas.

La humedad de la arena de sello también influye en la capacidad de transmitir esfuerzos de los adoquines, recomendándose que durante la colocación esta no sea superior a un 2%.
La arena que se utilice para sellar las juntas entre adoquines estará tan libre de materia orgánica y contaminantes como se pueda, y tendrá una granulometría continua tal que la totalidad de la arena pase por el Tamiz (Nº 200).

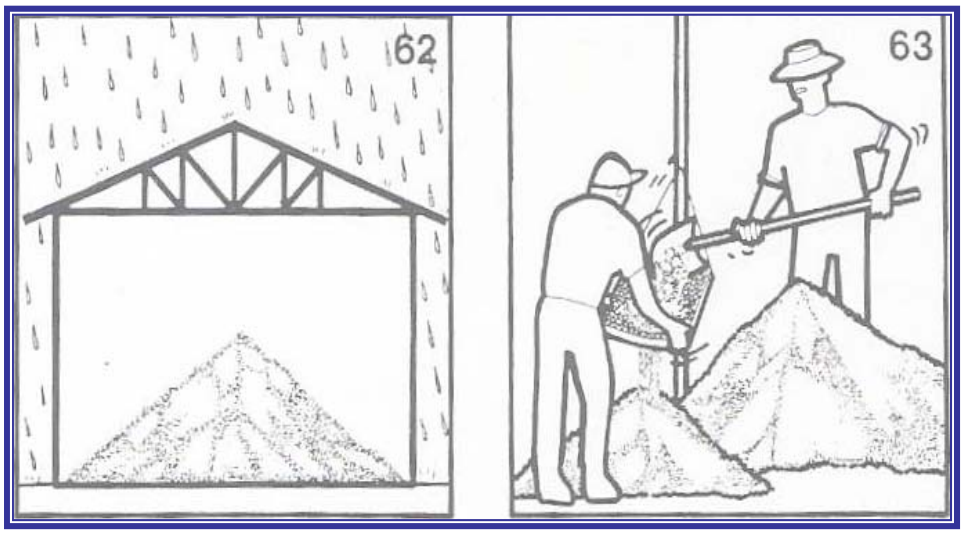
10.1.1 Las Especificaciones Generales de MTC 2000 Sección 505, recomienda la siguiente granulometría:

TAMIZ		% QUE PASA (en peso)	
NORMA	**DESIGNACION ALTERNA**	**MINIMO**	**MAXIMO**
2,38 mm	Nº 8	100	100
1,19 mm	Nº 16	90	100
595	Nº 30	60	90
297	Nº 50	30	60
149	Nº 100	5	30
74	Nº 200	0	15

Las arenas finas que comúnmente se utilizan para elaborara morteros para revoques pañeteados, son por lo general adecuadas por ser utilizadas con material para sello de arena.

10.1.2 Colocación de la Arena de Sello

En el momento de su utilización, la arena para el sellado de las juntas estará lo suficientemente seca y suelta como para que pueda penetrar, por barrido, dentro de las juntas.
Se recomienda dejarla secar bajo techo (62) y luego pasarla por un tamiz o zaranda de 5 mm, para que quede suelta y al mismo tiempo eliminarle los sobretamaños. (63)



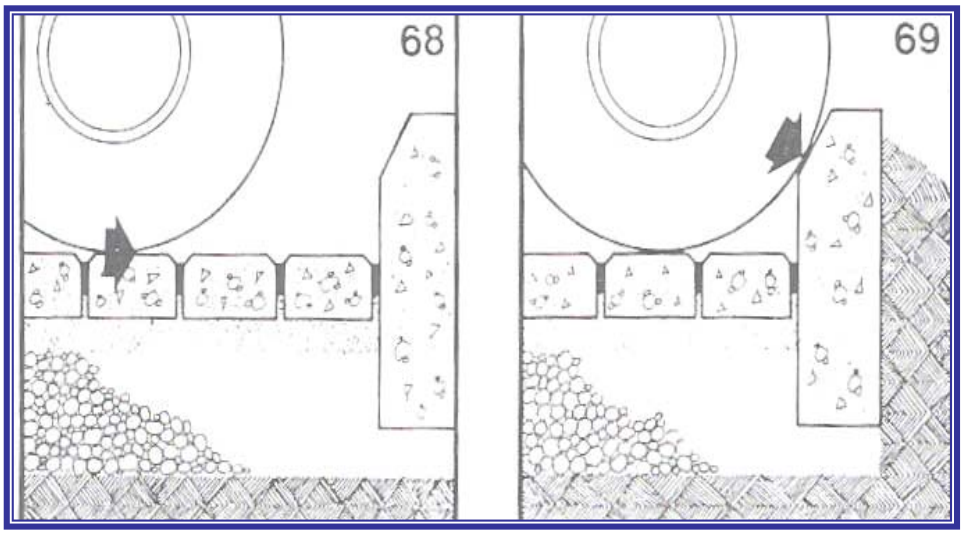
Para que la arena penetre dentro de las juntas se le ayudará con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras barriendo, repetidamente y en distintas direcciones, una cantidad moderada de la misma. 864). Dicho barrido se repetirá antes de, o simultáneamente con cada pasada del equipo vibrocompactador y al final de la operación, de manera que la juntas queden totalmente llenas. Si se pasa la vibrocompactación de placa sobre cantidades exageradas de arena distribuida irregularmente sobre los adoquines se puede alterara la nivelación de los mismos, (65).

Se dejará, durante al menos dos semanas, un sobrante de arena esparcida sobre toda la superficie del pavimento de adoquines ya terminado, de manera que el tráfico y las probables lluvias ayuden a acomodar la arena y con esto a que el sello se consolide. Si esto no es posible y la **SUPERVISION** exige que el pavimento quede limpio al terminado, el constructor regresará a las dos semanas y efectuará un barrido de más arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por acomodación de la arena dentro de las juntas.

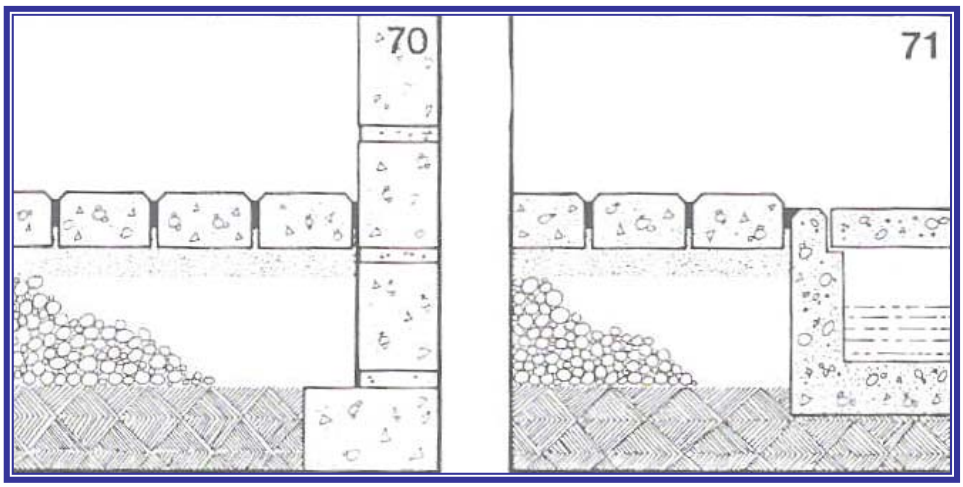
No se permitirá el lavado del pavimento con chorro de agua a presión, ni inmediatamente después de su terminación, ni a edades posteriores; (66) dicho método puede desalojar material de dentro de las juntas, con el consiguiente perjuicio. Se aconseja la limpieza por barrido o cepillado. (67). La utilización de manguera, como para el lavado de automóviles o regado de plantas, no es perjudicial siempre y cuando no se trate de lavar las juntas con el choro de agua.

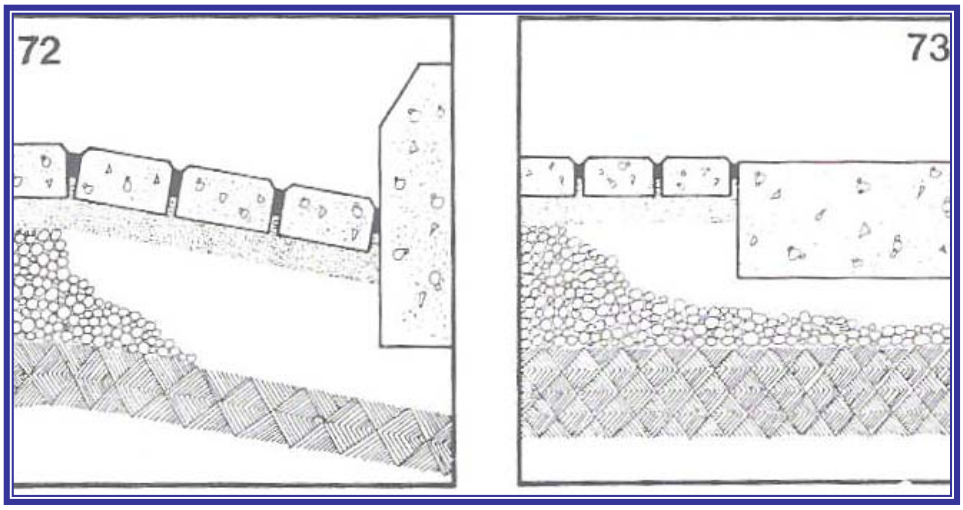
10.1.3 Confinamiento

El confinamiento será una estructura capaz de impedir el desplazamiento lateral de la capa de adoquines debido al empuje del tráfico vehicular (68), y además deberá resistir directamente dicho empuje. (69).

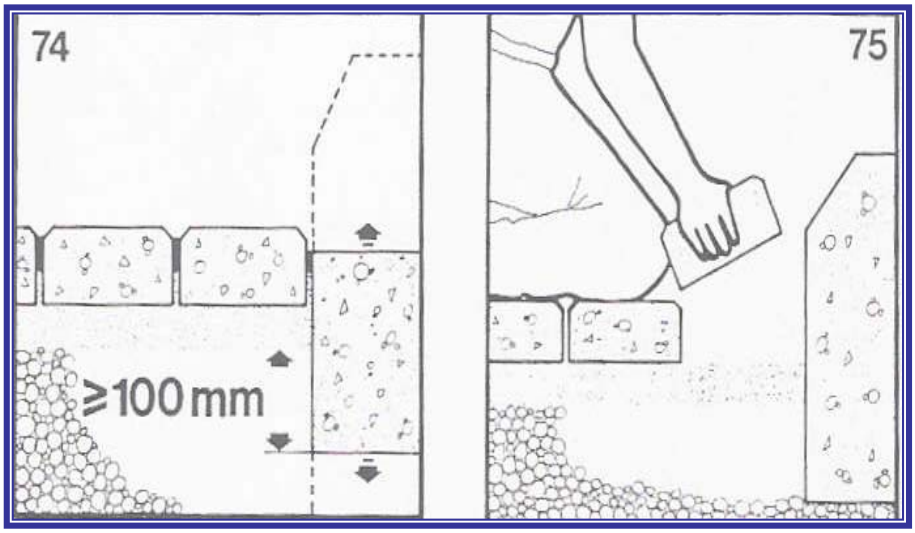


El Confinamiento rodeara completamente el área del pavimento de adoquines, bajo una o varias de las siguientes formas: muros, (70) andenes, estructuras de drenaje, (71) bordillos, (72) la estructura completa de otro pavimentos, o similares, (73).

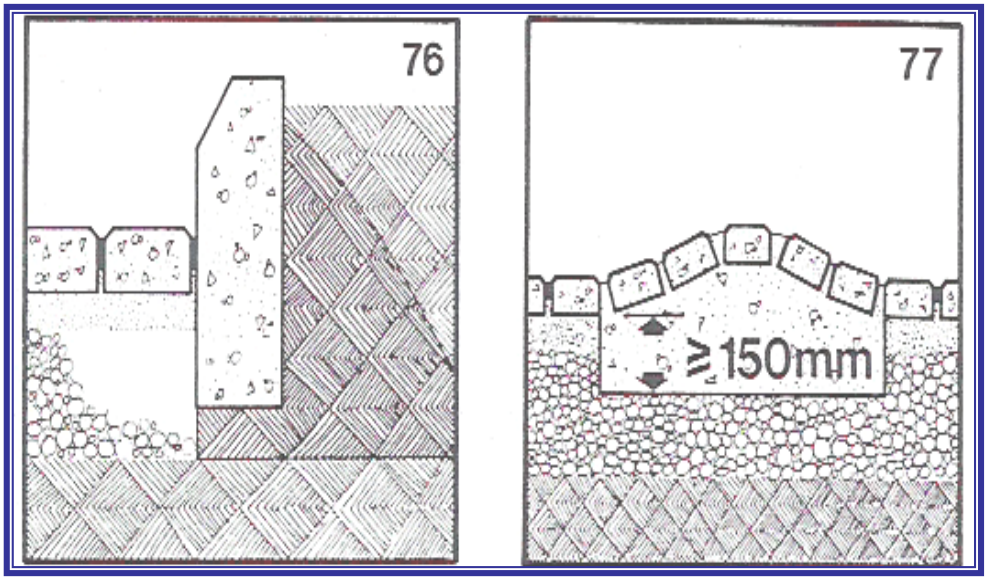




La parte superior de la estructura de confinamiento podrá sobresalir o estar o no más de 30 mm (3 cm) por debajo de la superficie del pavimento, la parte inferior llegará hasta por los menos 100 mm (10 cm) por debajo de la capa de arena, (74).
La estructura de confinamiento se construirá antes de colocar la capa de rodadura. De no ser así se tendrá un cuidado especial para no perturbar los adoquines del borde, ni antes de, ni durante dicha actividad, (75).



Cuando se construyan cordones o bordillos, vaciados o prefabricados, y no vayan a tener ninguna estructura de soporte al lado contrario del pavimento, se le construirá una contrafuerte de concreto pobre que le ayude a contrarrestar el posible empuje y evitar su volcamiento, (76).
Los resaltos tendrán una base en concreto al menos 150 mm (15 cm) de espesor, a la cual irán incorporados los adoquines, como un recubrimiento, firmemente adheridos. (71). Se construirá primero la superficie completa sin el resalto y luego se levantará con cuidado los adoquines correspondientes y se excavará lo necesario para construir la base de concreto. Se tomarán las medidas necesarias para que los resaltos no obstaculicen el flujo del agua por la superficie del pavimento.



11.0 APERTURA AL TRANSITO

Estando el pavimento de adoquines compactado y sellado, se barre perfectamente la arena sobrante y se abre el pavimento al tránsito.

12.0 CONSERVACION y EVALUACION del PAVIMENTO DE ADOQUIN

El diseño, construcción y **conservación** de pavimentos forman los pasos iniciales del ciclo de diseño de un pavimento, que como cualquier estructura, producidas por la ingeniería, tienen una vida determinada, después de la cual hay que sustituirlas por otra estructura, mejorando la nueva, en base a las observaciones, datos y experiencias obtenidas durante la vida útil de la anterior. El ciclo de diseño, en ingeniería, se cierra con la etapa de **evaluación.**

12.1 CONSERVACION

Los pavimentos adoquinados son un sistema múltiple de capas, igual que los pavimentos de asfalto. En ambos pavimentos la falla puede producirse en cualquier capa del sistema o en varias capas a la vez.

12.1.1 Fallas en la Capa Adoquinada

Se presentan cuando el adoquín no es de buena calidad. Es difícil que un adoquín se fracture. Cuando esto sucede la calidad del adoquín es muy por abajo de la mínima especificada. La falla puede ser por desgaste si el agregado usado en la fabricación de esas piezas no tiene la suficiente resistencia. Cuando un adoquín falla estructuralmente, por lo general es a la flexión. Por esa razón, la resistencia a la flexión debe ser la base de diseño de esas piezas.

12.1.2 Fallas en la Capa de Asiento

Esta sencilla capa, generalmente de unos cuantos centímetros, es la fuente de muchos pavimentos adoquinados dañados. Las causas son dos:

12.1.2.1 Demasiado espesor de la capa.- se debe a descuido en el nivel del Firme (base) y para corregirlo, se coloca una capa de asiento muy gruesa, que se comprime o consolida con el peso de los vehículos, provocando irregularidades en la superficie adoquinada.

12.1.2.2 Demasiada Rigidez.- se debe a una errónea concepción del tipo de pavimentos que forman los adoquines, que normalmente son flexibles, con lo cual la capa rígida (arena con cemento o cal) se fractura y desintegra, con un "bombeo" de las líneas en tiempo de lluvias, provocando serias deformaciones de la capa adoquinada. El caso de la mayoría de los pavimentos adoquinados del centro de la ciudad de México, es típico de esta falla por rigidez de esta capa.

Las fallas en el Firme (base), Cimiento (subbase) y en el Terreno de Fundación (subrasante), son las mismas que las de los pavimentos de asfalto.

La gran ventaja del pavimento adoquinado, es la facilidad para retirar la capa de adoquines dañados y colocar los adoquines nuevos.

12.2 EVALUACION

12.2.1 Evaluación Superficial

Los Procedimientos Técnicos para la Evaluación Superficial de los Pavimentos Adoquinados, son los mismos que para los Pavimentos Asfáltico y/o Pavimentos de Concreto Hidráulico, utilizando los mismos dispositivos de Evaluación:

a) Perfilógrafo de California para pavimentos de concreto nuevos.
b) Rugosímetro del BPR. Este dispositivo se usa para pavimentos nuevos, así como para pavimentos usados.
c) Perfilómetro CHLOE. Este equipo, aunque es muy valioso para medir la variancia de las pendientes, electrónicamente, su baja velocidad de operación (8km/hr) lo hace inadecuado para evaluar grandes tramos de carreteras.
d) Rugosímetro de la PCA. Como este aparato mide la rugosidad de los pavimentos a una velocidad normal de carretera, cada vez es más usado por lo ingenieros de carreteras. Es un dispositivo barato y fácil de usar. Se puede instalar en cualquier automóvil.

12.2.2 Evaluacion Estructural

Los Procedimientos Técnicos para la Evaluación Estructural de los Pavimentos Adoquinados, son también los mismos que para los Pavimentos Asfáltico y/o Pavimentos de Concreto Hidráulico.

Los equipos para hacer la evaluación estructural son:

a) Prueba de Soporte de Placa. Esta prueba tiene por objeto medir la deflexión de la capa o capas ensayadas (terreno de fundación, cimiento, firme o carpeta asfáltica, junto con las capas firme y cimiento). La prueba consiste en aplicar cargas específicas sobre placas circulares que varían desde 15 cm. hasta 76 cm., colocadas todas una sobre otra. Con los resultados de esta prueba, llamada "módulo de reacción K", puede determinarse, en el caso de terreno de fundación, con el CBR, pero si se trata de una estructura de carpeta y firme, tendría que determinarse directamente.
b) Viga Benkelman. Este dispositivo, inventado en la carretera de prueba WASHO, en 1950, actualmente es utilizado con mucha frecuencia para medir la deflexión de pavimentos bajo cargas con ruedas móviles. Es una prueba rápida, simple y barata. En muchos países se usa esta viga Benkelman para evaluar la condición estructural de sus pavimentos asfálticos.
c) Dynaflect. Este es un moderno aparato para medir la deflexión de la superficie de un pavimento en una forma económica y rápida, sus valores se han correlacionado con la deflexión de rebote medida con la viga Benkelman, se monta en un pequeño remolque jalado por un vehículo ordinario.
d) Vibrador Shell. Este equipo holandés es usado para evaluar pavimentos, induciendo y midiendo vibraciones en la estructura del pavimento.

e) Calificador de Caminos. Este aparato también sirve para evaluar la condición estructural de un pavimento y medir su habilidad para soportar futuras cargas de tránsito.

12.2.3 Algunas consideraciones especiales en la Evaluación

TIPO DE DEFECTO	CAUSA PROBABLE	PREVENCION Y CORRECCION
Espesor Deficiente	- Mala terminación de cimiento - Moldes inadecuados o mal colocados - Cercha deformada	- Verificar y corregir al recibir canchas previo al concreto hidráulico - El problema no tiene solución cuando el Pavimento está terminado.*
Resistencia Insuficiente	- Áridos de mala calidad - Dosificación inadecuada - Exceso de agua de amasado	- Control sistemático y corrección oportuna. - El problema no tiene corrección cuando el concreto hidráulico ha endurecido.
Regularidad Superficial	- Moldes mal afianzados o desnivelados. - Procedimientos inadecuados; operaciones de terminación defectuosas.	- Verificación con regla en el concreto hidráulico: rectificación con platacho - Verificación con regla o equipo High-Low en el concreto hidráulico endurecido: desbastar con disco abrasivo, de preferencia antes de 24 horas.
Agrietamientos a) En el concreto hidráulico fresco	- Retracción de fraguado: • Dosificación inadecuada • Agua en exceso • Viento, aire seco o temperatura ambiente elevada.	- Refrotachar el concreto hidráulico fresco
b) En el concreto hidráulico endurecido	- Retracción de fraguado: • Curado tardío o inadecuado • Viento, aire seco o temperatura ambiente elevada. • Exceso de Agua • Dosificación inadecuada - Atraso de corte: • Atraso en la ejecución de las juntas cuando éstas se hacen por aserrado.	- Mejorar el procedimiento de curado. - Fisuras (<0,5 mm): impregnación con lechada de cemento. - Grietas (>0,5 mm): impregnación o inyección de resinas antes de Puesta en Servicio. - Modificar procedimientos de confección de juntas. - Dejar las grietas sin tratar para que operen como juntas. - Reparar mediante Inyección epóxica

- A menos de incurrir en sobrecostos excesivos.

13.0 MISCELANEAS DE APLICACIÓN DEL PAVADOQ

13.1 Pavers

LATINOAMERICA:

PAIS	CIUDAD, PUERTO	AREA M2	AÑO
Argentina	Buenos Aires, Terminales Río de la Plata	70 000	1995
	Buenos Aires, Doc Sud, Exolgan	30 000	1999-2000
	Chubut, Caleta Paula, Puerto	20 000	
	Formosa, ADG Administración Nacional de Puertos	30 000	1984-1985
Brasil	Santos, Puertos de Contenedores	60 000	1999
	Río de Janeiro, Puerto de Santos	200 000	1999
Colombia	Cartagena, Sociedad Portuaria Regional de Cartagena, Reconstrucción 1ª etapa	20 000	1987
Costa Rica	Limón muelle Japdeva (ampliación)	20 000	1999-2000
	Limón ampliaciones varias	10 000	1995-2000
	Limón Patios de contenedores de la Standard Fruit Co.	22 000	1991 y 1999
	Limón Muelle Alemán	45 000	1989
	Limón Muelle Moín	25 000	1982
	Puerto Caldera, Puerto	25 000	1975
Panamá	Manzanilla, Puerto de Manzanillo	57 000	2000
Uruguay	Montevideo, Puerto Montevideo	130 000	1981-1982
	Piriapolí, Puerto de Piriápolis	10 000	
	Patio de contenedores	5 000	

OTROS PAISES:
Francia, Alemania, Australia, Suecia, Canadá, EE.UU, Reino Unido, Japón y PERU

13.1 Hex Mach

PERU: Costa, Sierra y Selva + 60 000 1992-1996
Latinoamérica: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Panamá, Costa Rica

OTROS PAISES:
Holanda, Francia, Alemania, Suecia, Reino Unido, Japón y China

Experiencias en el Perú:

Ansíela – Santa Clara – Costa
Condorcocha – Sierra
Yarinococha – Selva

14.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

14.1 Conclusiones

Por las experiencias de muchos Países, que han aplicado exitosamente el PAVADOQ, estos dan como resultado las siguientes **VENTAJAS:**

14.1.1 Fabricación y Colocación

- Los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto su calidad se controla en fábrica.
- El pavimento de adoquines es de muy fácil terminado, no intervienen procesos térmicos ni químicos, ni periodos de espera.
- Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día.
- Los procesos que intervienen en la construcción son sencillos y requieren de la utilización de poca maquinaria.
- La colocación de las piezas es fundamentalmente artesanal, se utiliza apreciable mano de obra, que, se puede multiplicar al crear varios frentes de trabajo simultáneamente.
- Como los adoquines son piezas pequeñas, que no están unidas rígidamente unas con otras, el pavimento de adoquines se adapta a cualquier variación en el alineamiento horizontal o vertical de la vía.

14.1.2 Gestión de Mantenimiento

- En un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar ordenadamente para reutilizarlos luego, en el mismo o en otro lugar, para la construcción de un nuevo pavimento.
- El mantenimiento de los pavimentos de adoquines es muy simple. No requieren de sobrecapas para mantener un buen nivel de servicio.

14.1.3 Impacto Visual

- Los adoquines se pueden fabricar de diferentes colores, adicionando colorantes minerales la mezcla.
- Se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como este.

14.1.4 Aporte al Frenado

- Los pavimentos de adoquines, por su rugosidad, tienen una distancia de frenado menor que otros tipos de pavimentos.

14.1.5 Durabilidad

- La calidad que se le exige a los adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites.
- Aún si la estructura del pavimento puede sufrir deterioro después de estar en servicio por 20 o más años, con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una vida útil de 40 años y los adoquines están todavía en condiciones de servir por muchos más.

14.2 Recomendaciones Finales

1. **En nuestro territorio Peruano ,durante muchos años se viene utilizando tecnologías de avanzada en nuestro sistema vial, que evidentemente resuelven el problema de nuestra precaria red vial nacional, regional y distrital, a muy alto costo, que por las limitaciones económicas, imposibilitan extender la red, para cubrir todas las necesidades que el Sistema requiere, por lo que considero oportuno Recomendar, como una alternativa de solución a esta PROBLEMÁTICA, los PAVADOQ, específicamente para la red vial distrital y no para la red vial Nacional o Regional, que por las soluciones que se están planteando, creo que están por buen camino, utilizando las TECNICAS DE PAVIMENTACION de Tecnología Avanzada en Asfalto (SUPERPAVE) y en Concreto Hidráulico (Pavimentadoras de Alto Rendimiento).**

2. **El Alto porcentaje de las Comunas Municipales, tiene el Problema continuo de Reparaciones de pistas y veredas, ya sea por los aniegos, vejez y/o instalaciones de servicios SEDAPAL, TELEFONICA, ENERGIA ELECTRICA, GAS y OTROS) posteriores a la Pavimentación (lo más frecuente), lo que me permite RECOMENDAR, como alternativa de solución OPTIMAlos PAVADOQ: PAVERS- HEX MACH.**
   BELLEZA RESISTENCIA DURACION GENERA EMPLEO ECOLOGICO

15.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.-Presentadas en las Guías y Notas Técnicas de los Institutos del Cemento y Hormigón de MEXICO. CHILE Y COLOMBIA:

1. **CEMENT AND ASSOCIATION**, Concrete block paving; model specification clauses for roads subjetc to adoption, Slough, C.C.A, 1981. 12 p
2. **CLIFFORD, J. M.** Structural desing of segmental block pavements for Southern Africa. 2ED. Pretoria, National Institute for transport and Road Research, 1984. 62 p (Report Nº RP/ 9 /84).
3. **COLOMBIA. DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS**. Normas de construcción para carreteras. 2 ed. Bogotá, M.O.P.T, 1980. 270 P.
4. **CONCRETE MASONRY ASSOCIATION**. Gudelines to concrete block paving construction. 4 ed Johannesburg, C.M.A. 1984, 6p.
5. Precast segmental concrete block paving; laying manual. 3ed. Johannesburg, C.M.A. 1984. 39 p.

6. **CONCRETE SOCIETY. A GUIDE GOOD PRACTICE FOR ROAD EDGE DETAILS**. London. C.S. 1974, 36 p (Concrete Society Technical Report N º 10).

7. **CURSO SOBRE DIEÑOS Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS SUELO – CEMENTO** (11º - 1981: Bogotá). Memorias. Bogotá, ICPC, 1981. P.V.

8. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS.** Adoquines de hormigón. Bogotá, ICONTEC, 1983. 4p (Norma Colombiana ICONTEC 2 017). Publicada por el ICPC dentro de la Serie Notas Técnicas.

9. **INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.** Diseño de espesores para pavimentaos de adoquines de concreto. Medellín. ICPC, 1986. 8p (Serie Notas Técnicas , 04-19).

10. **LILLEY, A.A. and CLARK, A. J.** Concrete block paving for lightly trafficked roads and paved areas. 2ED. Slough, Cement and Concrete Association, 1980, 16 p.

11. **MEDELLIN, SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS.** Normas generales para construcción de pavimentaos: área metropolitana del valle del Asburrá. Medellín, Camcol, 1980. 16 p.

12. **NEW ZEALAND PORTLAND CEMENT ASSOCIATION**. Interlocking concrete block paving seminars. New Zealand Concrete Construction (Wellington) 25:25-30, Otc, 1981.

13. **O'GRADY**, Michael. Structural behaviour of concrete block paving. Concrete (Londres), 17 (8): 17-18, Ago. 1983.

14. **STARNDARDS ASSOCIATION OF NEW ZEALANS,** Interlocking concrete block paving. Ewllington, SANZ, 1981. 15 p (NZS 3116:1981).

15. **BRIAN SCHACKEL** "Evaluation, Design and Application of Concrete Block Pavements". Concrete Pavement Design and Rehabilitation. Third International Conference, Indiana, 1985.
"A Pilot Study of the Performance of Block Paving Under Traffic Using a Heavy Vehicle Simulator" Symposium on Precast Concrete Paving Block, Johannesburg, 1979.

16. **NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION** "Concrete Blocks Pavements - Structural design" NCMA TEK - 115, 1980

17. **YUJI MIURA; MASAYUKI TAKAURA; TOKIHIRO TSUDA** "Structural Design of Concrete Block Pavements by CBR Method and its Evaluation" Concrete Block Paving, Second International Conference, Delft, 1984.

18: **A. J. CLARK** "Further Investigations into the Load - Spreading of Concrete Block Paving" Cement and Concrete Association, Technical Report, 1981.

ING. SAMUEL MORA QUIÑONES

RESUMEN CURRICULAR

- Ing. Civil de la UNI, Profesor Principal (desde 1970 a la fecha).
- Ex profesor de la URP y PUCP.
- Especialista en Pavimentos Viales y Aeroportuarios.
- Ex funcionario de la DGTA – MTC.
- Estudios de Postgrado en Francia, México, Brasil y Cuba.
- Cursos: Ingeniería de Pavimentos En Chile, Colombia, EE.UU, Argentina, España.
- Ex consultor de la organización Internacional del Trabajo – OIT.
- Conferencista Internacional SYMPOSIUMS y Congresos.
- Ex Jefe del Dpto. Académico de Vialidad y Geomática FIC – UNI.
- Actual Miembro Principal de la Asamblea Universitaria de la UNI.
- Ex Director Ejecutivo del IPC PIH Centro UNI.
- Director Gerente de M y Compañía S.A.
- Asesor Vial de Cemento Andino S.A. y Ferrovías S.A.
- Actual Secretario Académico de ALACPA (Asociación Latinoamericana y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios) y Presidente de la Asociación del Perú.

San Borja, 11 de julio del 2006.