

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCESOS
CONSTRUCTIVOS DEL ADOQUINADO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA EN
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

MARÍA INÉS CABEZAS FIERRO

mari_ines.c@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JUAN FRANCISCO NIETO CISNEROS

jfnieto@yahoo.com

Quito, febrero 2014

DECLARACIÓN

Yo, María Inés Cabezas Fierro declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

María Inés Cabezas Fierro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Inés Cabezas Fierro, bajo mi supervisión.

Ing. Juan Francisco Nieto Cisneros

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir mis metas, a mis padres y hermano que con gran sacrificio, comprensión y dedicación supieron apoyarme en cada decisión y sueño planteado, y a pesar de la distancia nunca me dejaron sola.

A los profesores de la Escuela de Formación de Tecnólogos, en especial al Ingeniero Juan Francisco Nieto por su colaboración activa en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente agradezco a mis amigos y familiares que siempre tuvieron una mano extendida para apoyarme cuando más lo necesitaba.

DEDICATORIA

Con todo cariño dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mi abuelita, de quien siempre recibí cariño, apoyo y consejos de superación, gracias a su ejemplo me he propuesto salir adelante y culminar mis metas.

A todos mis seres queridos que confiaron en mí y desde que inicie mis estudios estuvieron brindándome su apoyo incondicional.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
1.1 ADOQUINES	1
1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.2 HISTORIA DEL ADOQUÍN	2
1.1.3 FABRICACIÓN DE ADOQUINES.....	3
1.1.3.1 Materia Prima.....	3
1.1.4 PROCESO DE ELABORACIÓN.....	8
1.1.4.1 Dosificado	9
1.1.4.2 Mezclado.....	10
1.1.4.3 Moldeado	11
1.1.4.4 Secado.....	11
1.1.4.5 Curado	12
1.1.4.6 Almacenamiento y Transporte	13
1.1.4.7 Recepción de adoquines en obra.....	14
1.1.5 MÉTODOS DE FABRICACIÓN	14
1.1.5.1 Manual	14
1.1.5.2 Semi – manual	15
1.1.5.3 Automático	16
1.1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES.....	17
1.1.7 NORMAS DE CALIDAD	19
1.1.7.1 Aspectos visuales	19
1.1.7.1.1 Requisitos dimensionales	19
1.1.7.1.2 Acabado.....	20

1.1.7.1.3	Color	21
1.1.7.1.4	Peso.....	21
1.1.7.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS	21
1.1.7.2.1	Absorción de agua	22
1.1.7.2.2	Esfuerzo de rotura	22
1.1.7.2.3	Resistencia al desgaste por abrasión	23
1.1.7.2.4	Resistencia al deslizamiento / resbalamiento	23
1.1.8	MUESTREO	24
1.1.8.1	PROCEDIMIENTO.....	25
1.1.8.2	TIPOS DE MUESTREO	25
1.1.8.3	ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS	26
1.1.8.4	RESULTADO DE LA PRUEBA	26
1.1.9	MÉTODOS DE ENSAYO DE LABORATORIO	27
1.1.9.1	ENSAYO A LA COMPRESIÓN	28
1.1.9.1.1	Procedimiento.....	28
1.1.9.1.2	Cálculos.....	29
1.1.9.2	RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN	30
1.1.9.2.1	Preparación de la muestra	30
1.1.9.2.2	Procedimiento.....	31
1.1.9.2.3	Resultados.....	32
1.1.9.3	RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN (MÉTODO ALTERNATIVO)	32
1.1.9.4	ABSORCIÓN DE AGUA.....	33
1.1.9.5	DETERMINACION DE LA PORCION SOLUBLE EN ACIDO DEL ARIDO FINO.....	34

1.1.9.5.1	Procedimiento.....	35
1.1.9.5.2	Cálculos.....	36
1.1.10	USOS DE LOS ADOQUINES.....	36
1.1.10.1	APLICACIONES ARQUITECTÓNICAS.....	37
1.1.10.2	APLICACIONES EN AREAS SOMETIDAS A TRÁFICO RODADO	39
CAPÍTULO 2	.....	41
2.1	ADOQUINADO.....	41
2.1.1	GENERALIDADES.....	41
2.1.2	TIPOS DE PAVIMENTOS.....	43
2.1.3	ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	45
2.1.3.1	Explanada o subrasante.....	45
2.1.3.2	Sub-base y base.....	46
2.1.3.3	Capa de arena.....	46
2.1.3.4	Capa de rodadura.....	46
2.1.4	MATERIALES.....	47
2.1.4.1	Sub – base.....	47
2.1.4.2	Base.....	49
2.1.4.3	Capa de arena.....	51
2.1.4.4	Adoquines.....	52
2.1.4.5	Arena de sellado.....	52
2.1.4.6	Bordes de confinamiento.....	53
2.1.5	PROCESO CONSTRUCTIVO.....	53
2.1.5.1	Adoquinado para tráfico pesado.....	55

2.1.5.1.1	Subrasante	57
2.1.5.1.2	Sub – base y base	58
2.1.5.1.3	Bordes de confinamiento	62
2.1.5.1.4	Capa de arena	63
2.1.5.1.5	Colocación del adoquín	65
2.1.5.1.6	Sellado de las juntas	69
2.1.5.1.7	Compactación final del pavimento	70
2.1.5.1.8	Limpieza final	72
2.1.5.1.9	Mantenimiento	73
2.1.5.2	Adoquinado para tráfico liviano	73
2.1.5.2.1	Proceso constructivo	73
2.1.6	TIPOS DE COLOCACIÓN	74
2.1.6.1	Colocación en hilera	75
2.1.6.2	Colocación en espina de pescado	76
2.1.6.3	Colocación en espiga	77
2.1.6.4	Colocación en bloques o parquet	77
2.1.6.5	Colocación en mosaico	78
CAPÍTULO 3	.....	81
3.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ADOQUINADO	81
3.1.1	INTRODUCCIÓN	81
3.1.2	VENTAJAS DEL ADOQUINADO	81
3.1.3	DESVENTAJAS DEL ADOQUINADO	84
CONCLUSIONES	.....	85
RECOMENDACIONES	.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	87

RESUMEN

Los adoquines son elementos prefabricados de concreto, que pueden ser elaborados en distintas formas y colores y bajo estrictos estándares de calidad. Su uso se basa principalmente en pavimentación, ya sea para tráfico vehicular (calles y avenidas) como peatonal (aceras, plazas).

Se debe tener especial cuidado en la fabricación de estos elementos, sobre todo con la materia prima (cemento, agua y áridos), ya que debe ser previamente analizada y ensayada en laboratorios de materiales para comprobar que pueden ser utilizados y así garantizar que la calidad del producto final sera la adecuada; a pesar de esto a los adoquines terminados, previo a su utilización en obra se los analiza en el laboratorio para comprobar su resistencia a:

- Compresión
- Desgaste por abrasión
- Absorción de agua, entre otras

Si los resultados obtenidos son los esperados, los adoquines pueden ser utilizados en obra sin ningún inconveniente.

Al pavimento formado por adoquines se lo conoce como “articulado”, este ofrece características similares a los y en algunos casos superiores que los otros tipos de pavimento. Está formado principalmente por las siguientes capas:

- Subrasante
- Sub – base
- Base
- Cama de arena
- Capa de rodadura (adoquines y arena de sellado)

Los materiales con los que se construyen estas capas también deben ser previamente analizados en laboratorio, es muy importante conocer sus características como: granulometría, equivalente de arena, límites de

consistencia, entre otros. De los resultados de estos ensayos se deduce si el material es apto o no para el uso en pavimentaciones.

La construcción de pavimentos articulados se vuelve sencilla si se conocen claramente los pasos a seguir; es similar a la construcción de cualquier otro tipo de pavimento, sobre todo en lo que se refiere a las capas inferiores, básicamente el adoquinado consiste en:

1. Limpieza del terreno
2. Adecuación de la subrasante (movimiento de tierras, compactado)
3. Construcción de la sub – base y base
4. Colocación de bordes de confinamiento
5. Extensión de la cama de arena
6. Colocación de los adoquines y compactado inicial
7. Relleno de juntas y compactado final
8. Limpieza del adoquinado

La ventaja que presenta este tipo de pavimento es que inmediatamente después de terminado puede entrar en funcionamiento, los costos de construcción no son elevados, presenta una vida media de más de veinticinco años¹ y el mantenimiento es sencillo.

¹ REALPE G; Artículo Control de calidad de los adoquines de hormigón; Revista Laboratorio de Materiales de Construcción; Pontificia Universidad Católica del Ecuador; Facultad de Ingeniería.

PRESENTACIÓN

El presente manual ha sido elaborado con el fin de brindar apoyo a los constructores y personas interesadas en pavimentación con unas recomendaciones y criterios tanto para la fabricación de adoquines como para el diseño y construcción del adoquinado.

Es un manual elaborado con términos sencillos para que toda persona pueda entenderlo y aplicarlo, cuenta además con imágenes explicativas del proceso constructivo del adoquinado.

Lo que se busca es estandarizar el proceso para de esta manera evitar el desperdicio de tiempo y material.

CAPÍTULO 1

1.1 ADOQUINES

1.1.1 INTRODUCCIÓN

Los adoquines son materiales compactos prefabricados, elaborados de concreto, que es un conglomerado fabricado artificialmente compuesto de agua, cemento y agregados (finos y gruesos), que resiste bastante bien las cargas de compresión debido a que todas estas materias primas son sometidas a rigurosos procesos de selección y a estrictos controles de calidad realizados por los Laboratorios de Materiales de Construcción.

En la mayoría de casos se los realiza mecánicamente lo que permite obtener un producto de gran homogeneidad; tienen un diseño tal que se ajustan bien unos con otros formando una superficie continua y dejando una pequeña junta entre ellos.

Son utilizados especialmente en la construcción de pavimentos, sin embargo en la actualidad el campo de aplicación de estos prefabricados es muy variado por las diferentes formas y colores con los que se los puede fabricar.

Cuando se producen con color los adoquines adquieren un valor arquitectónico especial con fines estéticos, para su uso en zonas peatonales, y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal.

Los adoquines pueden ser fabricados con diferentes tipos de resistencia dependiendo del uso que se le vaya a dar, es decir de las cargas que vayan a soportar, esto depende del espesor con el que sea elaborado.

Los destinados a pavimento se los puede utilizar en cualquier tipo de tráfico, ya sea en vías internas de urbanizaciones, avenidas y calles con tráfico que puede ser liviano, o en ocasiones llegar hasta un gran número de vehículos pesados.

Debido a la robustez y gran resistencia que un adoquín ofrece también se los puede dar uso en lugares de cargas muy altas, por ejemplo patios de puertos, plataformas de aeropuertos e inclusive tráfico de maquinaria montados sobre orugas.

1.1.2 HISTORIA DEL ADOQUÍN

La historia del adoquín está estrechamente relacionada con la evolución de las vías urbanas.

En las vías de la Antigua Roma se utilizaban bloques de piedra para dotar a las vías de una superficie lisa y así conseguir rapidez, duración y un transporte más cómodo.

Los primeros adoquines que se utilizaron en la pavimentación de áreas urbanas fueron los de piedra, de madera y los cerámicos.

En esta época, para la construcción de vías lo más importante eran las características superficiales, pero cuando aumentaron los vehículos y el peso, se empezó a considerar el comportamiento de la sub-estructura, es decir de la base, sub-base y explanada.

Posteriormente el desarrollo del concreto como materia prima, trajo consigo la aparición de elementos prefabricados, como los adoquines de concreto que son las piezas más antiguas usadas en la construcción, comenzaron a fabricarse a finales del siglo XIX, y se comprobó rápidamente que sus costos de fabricación eran menores a los de los adoquines de piedra, fue así que este material fue ganando gran importancia en la industria constructiva.

En la década de los 70 la elaboración de adoquines se disparó en el mercado, provocando la aparición de distintos sistemas de fabricación, modelos, y principalmente el abaratamiento de los costes de fabricación y colocación de estos elementos.

1.1.3 FABRICACIÓN DE ADOQUINES

En Ecuador los prefabricados de concreto tienen una gran importancia en la industria de la construcción, por lo que existe una gran producción de este tipo de materiales. Desde el año 2000 hasta la presente fecha la producción de adoquines ha aumentado notablemente, especialmente los adoquines decorativos ya que su uso se ha triplicado en los últimos años².

La elaboración comienza en la cantera, donde se produce el árido que posteriormente será mezclado con el cemento y el agua.

1.1.3.1 Materia Prima

En la fabricación de adoquines hay que tener muy en cuenta ciertas normas y procesos que se deben cumplir tanto para la materia prima que se utiliza (cemento, agregados, agua), como para el producto terminado.



Imagen 1.1 Materia prima del concreto

Fuente:

http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%2010.pdf

² FERNANDEZ P, SINCHIGUANO G; Diseño y construcción de una maquina bloquera adoquinera automatizada sustentada en un programa de análisis por elementos finitos; Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico; Escuela Politécnica del Ejército.

- **CEMENTO³**

Es el elemento que se obtiene quemando a altas temperaturas una mezcla compuesta de piedra, caliza, arcilla y arena ferrosa, finalmente molidas.

Este producto luego de ser calcinado se denomina Clinker, el cual es molido nuevamente mezclándolo con yeso para finalmente obtener el cemento.

Se utiliza cemento Portland que debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma *INEN 152 "Cemento Portland Requisitos"*.

Los cementos portland se llaman hidráulicos porque fraguan y endurecen al reaccionar con el agua, esta reacción se llama hidratación y es una reacción química en la que se combina el cemento y el agua para formar una masa parecida a la de piedra.

Este tipo de cemento es para uso general, es apropiado cuando no se necesitan propiedades especiales como exposición a sulfatos del suelo o del agua a elevaciones perjudiciales de temperatura debido al calor generado en la hidratación. Entre sus usos se incluyen: pavimentos y aceras, puentes, alcantarillas, mamposterías, entre otros.

El cemento debe ser rechazado si no cumple con cualquiera de los requisitos de la norma mencionada, si presenta indicios de fraguado parcial o si contiene terrones, ya que afectaría la calidad del adoquín.

Se debe tener un estricto control del cemento en obra, ya que si ha permanecido ensacado en bodegas por más de 3 meses, habrá que ensayarlo para comprobar sus propiedades.

Los sacos de cemento serán almacenados en un lugar cubierto, seco y ventilado, libre de ingerencia de calor, evitando que estén directamente sobre el piso o pegadas a la pared, se recomienda levantarlo unos 15 cm con tarimas de madera. Las rumas no deberán tener más de 10 fundas.

³Cementos; Información resumen de clases de "Morteros y hormigones".

- **ARIDOS⁴**

Deben ser áridos que cumplan con la Norma *INEN 872 “Áridos para hormigón”*.

Los áridos ocupan del 70 al 80% del volumen del concreto, por lo tanto las propiedades y características de estos materiales deben estar muy bien controladas si se quiere que el producto final sea de la mejor calidad.

Estos elementos son los más importantes, en toda mezcla se usa siempre mayor cantidad de agregados con un mínimo de cemento, esto es por ser un material mucho más barato y de fácil obtención.

Los agregados como componentes de la mezcla son los responsables de la resistencia a la aplicación de cargas, disminuir las retracciones por fraguado del hormigón y en general mejoran la durabilidad en el hormigón.

Básicamente los requisitos que deben cumplir los agregados son:

- Agregado fino:

Se utiliza arena natural o manufacturada (o una combinación de ambas) constituida de granos duros y de la mejor calidad, que esté libre de materia orgánica. Las partículas no tendrán formas alargadas sino esféricas o cúbicas.

Los granos finos procedentes de diferentes fuentes de material no deberán mezclarse.

El árido fino no debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz, y su módulo de finura no debe ser menor que 2,3 ni mayor de 3,1; esto se determina con el ensayo de granulometría de agregados basado en la norma *ASTM C 33*.

El agregado fino o arena se usa como llenante, y se debe usar la cantidad adecuada ya que si se pone muy poca cantidad la mezcla será áspera y poco manejable, y si se le pone demasiada arena eso demanda mayor cantidad de agua y por ende una mayor cantidad de cemento para conservar la relación determinada de agua-cemento.

⁴ Norma INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos

Para el bodegaje del material se recomienda un lugar cubierto para evitar que el agregado pueda saturarse de humedad, polvos o residuos que alteren sus características.

- Agregado grueso:

El árido grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada o una combinación de estos, conforme los requisitos de la norma mencionada.

El porcentaje de desgaste de los agregados gruesos no debe ser mayor de 40% en el ensayo de abrasión de la Máquina de los Ángeles (*Norma ASTM C131*).

Los agregados deberán almacenarse separadamente en sitios limpios, libres de residuos y materias orgánicas.

Agregados con partículas esféricas y cúbicas son los más convenientes para el concreto, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas.

En caso de que los agregados no cumplan con los requisitos de la norma INEN 152 pueden ser utilizados siempre y cuando el proveedor demuestre que el concreto elaborado con esos áridos de la misma fuente ha tenido un desempeño satisfactorio y una resistencia deseada.

El bodegaje de este material será igual que el del agregado fino antes mencionado.

- **AGUA**

El agua es utilizada tanto en el amasado como en el curado, es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues al entrar en contacto con el cemento genera el proceso de hidratación que permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante, esto desencadena en una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación.

Tiene que usarse agua dulce y limpia, se preferirá el agua potable y libre de sustancias como aceites, ácidos, álcalis, sales y materia orgánica, asimismo estará libre de arcilla, lodo y algas.

Los límites máximos permisibles de concentración de sustancias en el agua son los siguientes:

Sustancias y Ph	Límitemáximo
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	200 ppm
Sales de magnesio	125 ppm
Sales solubles	300 ppm
Sólidos en suspensión	10 ppm
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido	0.001 ppm
Ph	6 < pH < 8

Tabla 1.1 Calidad del agua para uso en el concreto

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/66212863/11/CALIDAD-DEL-AGUA-PARA-USO-CON-EL-CONCRETO>

Para asegurar la calidad del agua que se utilizara se la debe mantener en recipientes limpios y preferiblemente tapados, en lo posible el agua se recolectara el mismo día que se vayan a fabricar los adoquines.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

- **PIGMENTOS**

Cuando los adoquines van a ser elaborados con colores, el pigmento a utilizarse debe cumplir con las especificaciones de la norma *INEN BS 1014*.

Los pigmentos no afectan a la resistencia del adoquín, porque son ingredientes inorgánicos e inertes que no participan en los procesos químicos del cemento; son materiales sintéticos u óxidos naturales de hierro que proporcionan colores muy estables y de buena intensidad ante la intemperie.

Estos pigmentos no deben exceder el 10% de la masa del cemento. En los casos en los que se dé una combinación de pigmentos para producir el color y la intensidad deseada, la tasa total de dosificación de los pigmentos combinados no debe ser mayor que la dosificación individual del pigmento.

- **ADITIVOS**

Pueden usarse según el criterio del fabricante o a solicitud de los compradores aditivos, siempre y cuando no causen ningún efecto nocivo en el concreto, estos aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma *ASTM C494*.

En general los aditivos añaden ciertas características a los adoquines, por ejemplo:

- Mayor resistencia a temprana edad
- Mejora la apariencia del producto
- Aumenta la intensidad y brillo del color.
- Minimiza la apariencia de eflorescencia

1.1.4 PROCESO DE ELABORACIÓN⁵

Existen métodos diferentes para la elaboración de estos prefabricados en nuestro país; para contribuir al mejoramiento de la calidad de los adoquines existentes en el mercado ecuatoriano se debe tratar de que los materiales empleados cumplan totalmente con los requisitos de las normas técnicas, y durante su fabricación se

⁵ CORZO D; Diseño de una maquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques; Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico; Universidad Politécnica Nacional.

deben seguir correctamente cada uno de los pasos que se describen a continuación:

1.1.4.1 Dosificado

El primer paso para la elaboración de adoquines es definir la dosificación de los diferentes componentes del concreto.

Las proporciones deben seleccionarse de modo de utilizar los materiales en la forma más económica y garantizando que el producto final cumpla con las propiedades adecuadas.

Las relaciones básicas entre los componentes son establecidos previamente, pero solo son una guía para acercarse a la dosificación opima, esta se determinara según diferentes características de los materiales como son:

- Tipo de cemento
- Humedad en el ambiente
- Granulometría de los agregados
- Absorción de los agregados
- Densidad real y densidad aparente suelta del cemento
- Consistencia deseada del concreto

Por lo mencionado, queda a criterio del fabricante la proporción más adecuada de cada material, pero como referencia general e puede utilizar la dosificación 1:3:1 (cemento: arena: grava).

La cantidad de agua necesaria para el concreto no está especificada pues depende del grado de humedad de los otros materiales, por lo que se la agrega paulatinamente hasta conseguir las características deseadas del concreto.

1.1.4.2 Mezclado

Una vez determinada la dosificación más óptima para preparar el concreto, se procede a su fabricación.

Los materiales deben mezclarse mecánicamente, aunque también algunos fabricantes prefieren realizarlo de forma manual, cabe indicar que este procedimiento no es muy recomendado porque el material no resulta uniforme y podrían obtenerse resistencias hasta 50% más bajas que con el mezclado mecánico.

Se empieza colocando el cemento y los agregados en la mezcladora para que se combinen en seco hasta obtener una composición de color uniforme, se añade el agua y se continúa mezclando por aproximadamente 4 minutos.

La mezcladora consta de un motor eléctrico, un tambor circular y una hélice que es la que mezcla el material y gira a una velocidad de 20 rev/min.

La duración del mezclado debe ser la necesaria para conseguir que todo el árido este cubierto de la pasta de agua-cemento.



Imagen 1.2 Mezclado

Fuente: Propia

No debe transcurrir mucho tiempo desde que se finalizó la mezclada hasta el moldeo de los adoquines, para evitar que la mezcla de concreto se seque o presente inicios de fraguado.

1.1.4.3 Moldeado

Los moldes que se utilizaran deben estar completamente limpios y a una temperatura mayor a 0°C; se llenan los moldes con la mezcla que deberá estar por lo menos a 5°C y se los lleva a la máquina de vibro-compactación.

Bajo los moldes se coloca un tablero que es en donde se asentaran los adoquines y debe estar previamente cubierto de diésel o aceite quemado, el tiempo de vibración y compactación dependerá de la resistencia que se desee obtener del adoquín, pero generalmente se lo hace por unos 12 segundos.

El vibrado cumple un papel muy importante ya que ofrece al concreto características tales como compacidad, impermeabilidad, facilita el desmolde, resistencia a la abrasión, entre otras.

Terminando ese proceso se retira el exceso de material sobre el molde con un barredor manual y se procede con la compactación hasta conseguir la altura deseada del adoquín.

Finalmente se desmoldan los adoquines teniendo mucho cuidado de no deformarlos ni fracturarlos.

1.1.4.4 Secado

Luego de que los adoquines son desmoldados se los coloca en el área de secado, esta área debe estar protegida del sol y del viento para evitar que el agua contenida en el adoquín se evapore y detenga el fraguado, esto provoca una resistencia pobre del concreto.

El proceso de secado del concreto dura entre 4 a 8 horas, pero se recomienda levantar los adoquines del tablero al siguiente día de su fabricación.

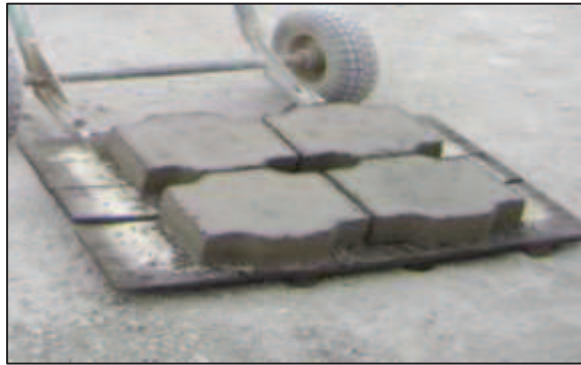


Imagen 1.3 Secado de adoquines

Fuente: Propia

1.1.4.5 Curado

El curado consiste en regar periódicamente los adoquines simulando una leve llovizna para conservar la humedad del concreto y lograr que la reacción química del cemento con el agua continúe y se logren las resistencias deseadas.

Para que este proceso se realice correctamente es necesario arrumar los elementos con una separación suficiente para que se puedan humedecer totalmente por todos los costados.

El clima es un factor muy importante durante este proceso, es preferible mantener una temperatura de 20° centígrados, para evitar pérdidas de humedad por evaporación.

Si sabemos que la reacción química del agua con el cemento desarrolla resistencia, en los primeros 7 días de edad prácticamente desarrollará cerca del 80% de la resistencia especificada para los 28 días; es decir, esto se cumplirá si se dio un curado adecuado.

Por eso, mientras más tardemos en iniciar el curado, menor potencial de resistencia disponemos; un curado inadecuado es equivalente a emplear una menor dosis de cemento, lo que provoca bajas resistencias y aparecimiento de grietas en el concreto.

El curado en verano dura alrededor de 3 días y en invierno se lo realiza durante 5 días.

1.1.4.6 Almacenamiento y Transporte

El producto debe ser almacenado en un lugar limpio y nivelado, protegido de la lluvia, viento y sol, y que permita que se sequen poco a poco.

Si no se logran estas condiciones se los puede tapar con lonas o con plástico.

Los arrumes en los que se les almacene no deben superar los 1.50 metros, para evitar volcamientos del material y facilitar la posterior manipulación.

Cuando se almacenen adoquines de diferentes colores no se los debe mezclar para evitar que se manchen.

Los adoquines no pueden ser dejados directamente sobre el suelo, en lo posible se los debe acomodar encima de un tablero de madera, para evitar que adquiera humedad por capilaridad.

Tanto para la carga como descarga de los adoquines a los vehículos de transporte se realizarán de tal manera que se evite la despica de las aristas de los adoquines, y la superficie del vehículo debe tener las condiciones apropiadas para asegurar la protección del producto, sobre todo cuando el transporte será por largas distancias.

En el caso de movimiento y almacenamiento manual, deberán ser cargados en un máximo de cuatro adoquines con las dos manos y colocados en los lugares de almacenamiento evitando al máximo su deterioro por mala práctica de manipulación.

Cuando se descargue el material se debe procurar que sea en el sitio más cercano al de su colocación, para evitar el exceso de acarreo. Para el transporte interno dentro de la obra se debe hacer empleando coches o carretillas de mano.

1.1.4.7 Recepción de adoquines en obra

Al llegar los adoquines a la obra, la persona encargada de su recepción antes de descargar debe verificar aspectos como: fecha de fabricación, adecuado transporte, aspecto y color uniforme, que no presente grietas o roturas y que esté limpio.

Solo una vez que se hayan chequeado todos estos aspectos se puede autorizar el descargue de los elementos.

1.1.5 MÉTODOS DE FABRICACIÓN³

En su mayoría son hechos artesanalmente en máquinas semi-manuales, en moldes que pueden ser de madera, metal o incluso del mismo concreto; existen también los fabricados en máquinas automáticas que de a poco están consiguiendo posicionarse en el mercado de la construcción ecuatoriana.

1.1.5.1 Manual

Actualmente este método es muy poco utilizado ya que el producto final no cumple con las especificaciones y normas de calidad necesarias.

Los procesos de fabricación de adoquines son realizados sin mayor control y con herramientas muy rudimentarias. Este método es más utilizado en zonas rurales retiradas.

En la imagen 1.4 se puede apreciar como son las maquinas manuales de fabricación de adoquines.



Imagen 1.4 Maquina manual para fabricación de adoquines

Fuente: http://servicios.corferias.com/stand_virtual/exhibicion.cfm?stand=9810

1.1.5.2 Semi – manual

Este es el método más utilizado en Ecuador, se denomina semi – manual porque muchos de los procesos deben ser realizados por los trabajadores.

El dosificado, por ejemplo, se lo realiza manualmente, se coloca posteriormente el material en la mezcladora y se espera el tiempo necesario hasta lograr la consistencia deseada.

El moldeo en muchas ocasiones también se lo realiza con la ayuda de trabajadores, ellos trasladan el material con la ayuda de palas desde la mezcladora hasta la maquina vibro-compactadora.

Finalmente el desmolde se realiza con la ayuda de palancas activadas de manera manual; el transporte del producto terminado hacia el área de secado es realizado también por los trabajadores.

La calidad de los adoquines fabricados de esta manera es buena, cumple con las normas y requisitos necesarios para su utilización, y evidentemente son de mejor calidad que los fabricados con métodos completamente manuales.

La maquinaria utilizada para este tipo de procedimiento es la mostrada a continuación:



Imagen 1.5 Maquina de adoquines semi-manual

Fuente: <http://ciudaddeguatemala.olx.com.gt/maquinas-para-block-automaticas-y-manuales-fabricamos-iid-461161200>

1.1.5.3 Automático

El método automático es más utilizado internacionalmente, en nuestro país aún no es muy conocido porque no existe la maquinaria necesaria.

Durante el proceso de fabricación no se necesita la intervención de trabajadores más que para un simple control, todos los pasos necesarios para la elaboración de adoquines están perfectamente controlados por computadoras.

Desde el dosificado hasta el traslado del producto final son realizados automáticamente, los materiales son trasladados en bandas transportadoras para primero ser mezclados, moldeados, vibro-compactados y finalmente apilados en el área de secado.

En la imagen 1.6 se muestra un ejemplo de este tipo de maquinaria.

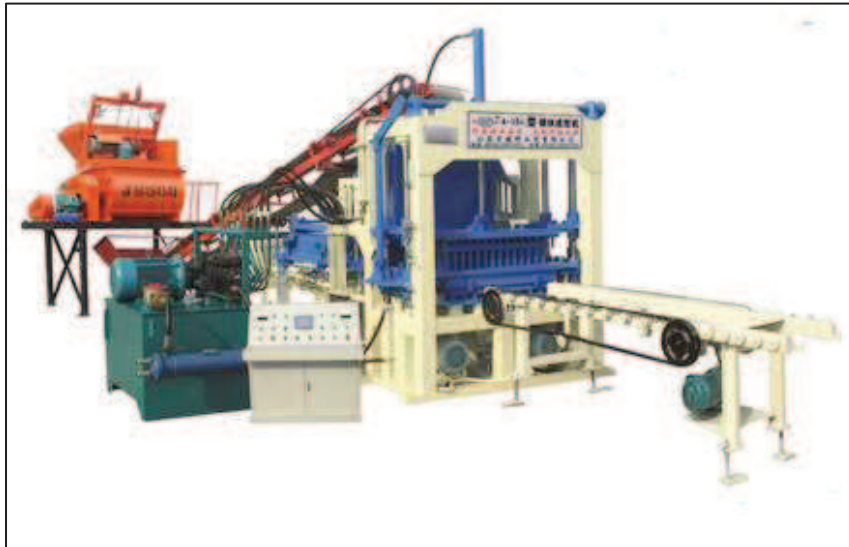


Imagen 1.6: Máquina automática para fabricación de adoquines

Fuente: http://azuay.quebarato.com.ec/gualaceo/maquina-de-bloques-bloquera-adoquinera-automatica_9635BE.html

1.1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES

Existen varios tipos de adoquines en el mercado de la construcción actual, los fabrican de diferentes formas, colores, y para distintos usos.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) los clasifica por su forma en tres tipos:⁶

- Adoquines Tipo A.- Adoquines dentados o machihembrados multidireccionalmente, que se unen entre sí por los cuatro lados, pueden colocarse en esterilla, y, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente, tanto en los ejes longitudinales como en los transversales de las unidades.
- Adoquines Tipo B.- Adoquines dentados o machihembrados unidireccionalmente, que se unen con el otro solamente en dos de sus

⁶ Norma INEN 1483

lados, que no pueden colocarse en esterilla y que, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente solo en los ejes longitudinales de los adoquines; dependen de su precisión en su colocación para que se unan con las otras caras.

- Adoquines Tipo C.- Adoquines rectangulares de perfil sencillo que no se unen y que dependen de su precisión dimensional y de la precisión en su colocación para desarrollar el punteo.

Por su uso los adoquines normalizados se clasifican en:⁷

- Peatonal.- 20 Mpa de resistencia a la compresión a los 28 días, se recomienda los adoquines de formas A, B, C.
- Estacionamiento y calles residenciales.- 30 Mpa de resistencia a la compresión a los 28 días, se recomienda los adoquines de formas A, B, C.
- Caminos secundarios y calles principales.- 40 Mpa de resistencia a la compresión a los 28 días, se recomienda los adoquines de forma A.

Podemos clasificar también a los adoquines por su elaboración; actualmente existen dos tipos:

- Adoquines monocapa

Están elaborados de una sola capa de concreto, ésta puede estar coloreada o tener simplemente el color del cemento.

Este tipo de adoquines son fabricados con el método manual y semi-manual, y son los más comunes en nuestro país.

- Adoquines bicapa

Se elaboran con dos capas de concreto de características diferentes, una de ellas es llamada capa base, ésta es elaborada de concreto sin pigmentos.

⁷ Norma INEN 1488

La otra capa será la cara vista del adoquín, está fabricada de mortero rico en cemento y pigmentos para coloración.

La calidad de este tipo de adoquines debe asegurar que durante su uso o ensayo a flexión no exista separación o desprendimiento total o parcial de las capas de los adoquines.

Estos adoquines están presentes en el mercado ecuatoriano, son fabricados por grandes empresas bajo estrictos controles de calidad.

1.1.7 NORMAS DE CALIDAD

Para que los adoquines funcionen de la manera esperada y tengan un buen rendimiento deben cumplir con ciertas características, estas deben ser controladas antes de la colocación del material en la obra.

A continuación analizaremos dichas características:

1.1.7.1 Aspectos visuales⁸

1.1.7.1.1 Requisitos dimensionales⁹

En general se debe cumplir con los requisitos de la Norma INEN 1488 en donde se explica claramente los parámetros dimensionales.

Los adoquines pueden tener dimensiones muy variadas según el modelo que se fabrique, pero se debe controlar que cada tipo cumpla con uniformidad en las dimensiones, porque variaciones apreciables perjudican el aspecto del pavimento y afectan la transferencia de cargas a través de las juntas.

Se recomienda que en los adoquines rectangulares la relación longitud/ancho en el plano no sea mayor de 2,0 y la relación espesor/largo no debe ser menor de 0,20 ni mayor de 0,50.

⁸ Capítulo 3.3: Aspecto, textura y color; Manual Euroadoquin.

⁹ Norma INEN 1488

Los espesores están comprendidos normalmente entre 60 mm y 80 mm dependiendo del uso; en casos de tránsito muy pesado pueden llegar a ser hasta de 100 mm.

La superficie de desgaste no debe ser menor del 70% del área plana total del adoquín.

Los adoquines rectangulares son los más comunes en el mercado y son de aproximadamente 20 cm de largo y 15 cm de ancho, es por esto que su manipulación se vuelve tan fácil.

Las dimensiones reales de cada pieza no deben diferir de las nominales en más de ± 3 mm en el espesor ni más de ± 2 mm en el largo o ancho.

En el caso de adoquines de diferentes formas (no rectangulares) el fabricante debe especificar las tolerancias de las dimensiones.

Para adoquines bicapa, la capa vista deberá tener un espesor mínimo de 4 mm; aunque se prefieren los que tengan 8 mm.

1.1.7.1.2 Acabado

El elemento no debe presentar fisuras, descascaramiento o algún otro defecto en su apariencia como la presencia de material deleznable.

Sus aristas deben ser regulares y lisas, la superficie será lo más sellada posible, evitando que los agregados gruesos queden expuestos, ya que estos facilitan el desplazamiento de partículas y en consecuencia el desgaste del adoquín.

Para cualquier forma de adoquín, los lados del mismo deben ser perpendiculares a la base y a la parte superior de este.

En el caso de adoquines bicapa cuando se examinen no debe existir delaminación, es decir ni una pequeña separación entre las dos capas.

No se aceptarán adoquines que presenten desbordamientos o abombamientos en sus bordes o aristas. No se admiten tampoco esquinas averiadas.

La comprobación de estos acabados se realizará sobre una muestra compuesta por 20 adoquines estando secos, de estos adoquines analizados solo se aceptará uno con fallas.

1.1.7.1.3 Color

El color en los adoquines debe permanecer inalterable con el tiempo y uso y se debe comprobar que el pigmento utilizado no altere las propiedades del concreto.

Dependiendo del fabricante el color puede colocarse solo en la capa superficial en el caso de adoquines bicapa, o en todo el elemento para el caso de adoquines monocapa.

Además no deben existir diferencias significativas en el color de todas las unidades de un lote.

Puede suceder que eventualmente se presenten eflorescencias superficiales, estas no son perjudiciales y con el tiempo y el uso desaparecerán.

Cuando existan variaciones en la consistencia del color pueden ser por las propiedades del cemento y los áridos, siendo por lo tanto admisibles.

1.1.7.1.4 Peso

El peso unitario de los adoquines secados al horno no debe ser inferior a 2200 kg/m³.

1.1.7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS¹⁰

Los adoquines deben cumplir con los siguientes requisitos para ser considerados aptos para su uso en obra:

¹⁰ Artículo 22.33.- Adoquines de hormigón para pavimentos.
http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/CondTecnPav/22_3_3.pdf

1.1.7.2.1 Absorción de agua

Para cualquier tipo de adoquín el porcentaje máximo de absorción promedio para tres muestras no debe ser mayor al 6%, y cuando se los ensaye individualmente no debe superar el 9%.

Esto se realiza para asegurar que en cambios de clima, sobretodo en heladas, los adoquines van a resistir.



Imagen 1.7: Absorción de agua

Fuente: [http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin\[1\].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%](http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin[1].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%)

1.1.7.2.2 Esfuerzo de rotura

La resistencia característica a la rotura no será inferior a 3,6 MPa y ningún valor individual debe ser inferior a 2,9 MPa, ni tener carga de rotura inferior a 250 N/mm.

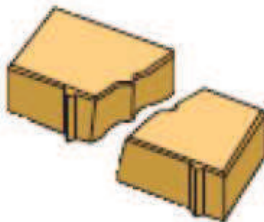


Imagen 1.8: Rotura

Fuente: [http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin\[1\].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%](http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin[1].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%)

1.1.7.2.3 Resistencia al desgaste por abrasión

La abrasión promedio deberá ser 23 mm, según la prueba de disco ancho, y el promedio de la pérdida de espesor no excederá los 3 mm.

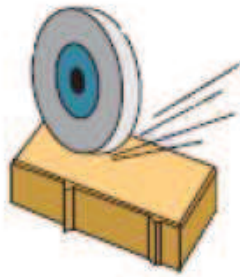


Imagen 1.9: Abrasión

Fuente: [http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin\[1\].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%](http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin[1].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%)

1.1.7.2.4 Resistencia al deslizamiento / resbalamiento

En condiciones normales de uso los adoquines deberán mantener la resistencia al deslizamiento durante toda su vida útil.

Pueden haber casos en los que ésta resistencia se verá disminuida, esto ocurre cuando se produce un pulido excesivo de la cara vista superficial del adoquín.

Si se requiere un valor de resistencia al resbalamiento, el mínimo será 45.



Imagen 1.10: Deslizamiento

Fuente: [http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin\[1\].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%](http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin[1].pdf?iframe=true&width=100%&height=100%)

1.1.8 MUESTREO¹¹

El muestreo consiste en tomar un conjunto representativo de adoquines, para analizar las diferentes características de un lote (conjunto de adoquines que son fabricados bajo condiciones similares).

Esta muestra deberá ser suficiente para la totalidad de los ensayos previstos, evitando así muestreos posteriores.

Es necesario realizar el muestreo aleatorio con propósitos de aceptación de los elementos por el comprador.

El número de piezas a ensayar se detalla a continuación:

TAMAÑO DEL LOTE	NUMERO DE PIEZAS
Hasta 10.000	10
10.001 – 25.000	2
25.001 – 50.000	30
50.001 – 100.000	40

Tabla 1.2: Muestreo

Los procedimientos que deben seguirse para la extracción de muestras sobre las cuales se realizaran los ensayos necesarios están descritos en la norma INEN 1484.

¹¹ Norma INEN 1484

1.1.8.1 PROCEDIMIENTO

Se pueden someter a prueba tanto la materia prima como el producto terminado, para esto el comprador tendrá acceso al lugar en donde se elaboran o almacenan los adoquines para revisar y realizar pruebas de los procesos.

Existen distintos tipos de muestreos que deben ser realizados para confirmar que las características de los adoquines son las adecuadas previo su colocación en obra, a continuación se describe cada uno de ellos:

1.1.8.2 TIPOS DE MUESTREO

- Muestreo en movimiento

Siempre que sea posible se tomaran muestras durante la carga o descarga de los elementos, estas muestras se tomarán al azar.

- Muestreo de un lote

El lote deberá ser dividido en diez secciones y se tomara un adoquín al azar de cada sección.

El patrón de muestreo será tal que los adoquines se tomaran de la parte alta y de los lados de las secciones que sean accesibles, si como de la parte interior.

- Muestreo por parte del comprador

Para comprobar las dimensiones establecidas en la Norma INEN 1488 y la resistencia de los elementos, el comprador puede tomar antes o inmediatamente después del envío los adoquines para ser ensayados.

- Muestreo para pruebas independientes

Cuando entre el comprador y el vendedor se decida que es necesario realizar pruebas independientes, se tomara una muestra al azar entre 10 adoquines, esta muestra debe ser bien identificada y se la llevará a ensayar en un laboratorio calificado, cuyos resultados deben aceptarse.

1.1.8.3 ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Los adoquines que se toman como muestra deben estar muy bien identificados el momento de almacenarlos.

En la identificación debe constar la fecha de producción de los elementos, y datos del fabricante.

Para el almacenamiento se deben proteger de cualquier contaminación hasta que se sometan a las pruebas.

1.1.8.4 RESULTADO DE LA PRUEBA

Si más de dos de los resultados no cumple con los requisitos de la norma, se considerara que todo o una parte del grupo tampoco cumplirán con las especificaciones.

Si máximo dos de los resultados no cumple con las especificaciones se tomaran otras diez muestras de las secciones falladas, y si alguno de los resultados no cumple con la norma se rechazara esas secciones del lote.

1.1.9 MÉTODOS DE ENSAYO DE LABORATORIO¹²

Durante más de 25 años se han mantenido vigentes en el Ecuador un grupo de normas y especificaciones INEN relacionadas con el control de calidad de los adoquines de hormigón, estas normas describen una serie de ensayos a los que los adoquines son sometidos antes de su colocación en obra para asegurar que funcionarán con las características esperadas.

Las normas INEN relacionadas con el control de los adoquines de hormigón se resumen en la siguiente tabla:

NORMA INEN	DESCRIPCION
1483	Terminología y clasificación
1484	Muestreo
1485	Determinación de la resistencia a la compresión
1486	Determinación de las dimensiones, área total, y área de superficie de desgaste
1487	Determinación de la porción soluble en ácido del árido fino
1488	Requisitos

Tabla 1.3: Normas INEN Control de Adoquines

Fuente: “Control de calidad de los adoquines de hormigón”. Laboratorio de materiales de construcción. PUCE

¹² REALPE G; Control de calidad de los adoquines de hormigón; Laboratorio de Materiales de Construcción; Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

El control de calidad es indispensable en la producción de prefabricados de concreto, porque es la única manera de comprobar si el producto cumple o no con la norma.

Se recomienda sobretodo realizar el ensayo de resistencia a los adoquines, ya que sirve tanto para corroborar la capacidad de aguantar la abrasión producida como la rotura por las cargas del tráfico normal.

Estas características deben ser analizadas aun para adoquines usados en vías peatonales, ya que el desgaste es igual de alto que el del tráfico vehicular.

A continuación se describen los ensayos de laboratorio más usuales realizados en nuestro país:

1.1.9.1 ENSAYO A LA COMPRESIÓN¹³

La muestra estará compuesta por diez adoquines enteros, éstos adoquines deben permanecer sumergidos en agua a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Luego se deben retirar del agua y se deben dejar escurrir durante un minuto para posteriormente secar el agua superficial con un paño seco y someterlos al ensayo.

1.1.9.1.1 Procedimiento

El ensayo comprende la aplicación de una carga continua sin intermitencias a una razón de 15 Mpa por minuto hasta que no se pueda soportar una carga mayor, por medio de una máquina de compresión hidráulica.

La máquina de ensayo está provista de dos soportes rígidos de acero indeformable, tendrá una escala con precisión de $\pm 3\%$ sobre el rango previsto y será capaz de incrementar la carga a la velocidad posteriormente indicada.

¹³ Norma INEN 1485

Cada adoquín se debe llevar hasta la ruptura como una viga simplemente apoyada, con la superficie de desgaste hacia arriba, de manera que los ejes longitudinales y transversales del mismo queden alineados con los ejes de las placas de la máquina.

Las piezas de compresión serán de neopreno o aglomerado de madera.

El esfuerzo a la compresión se obtiene dividiendo la carga para el área total de soporte. Según la norma INEN 1485 el valor del esfuerzo de cada adoquín debe ser corregido por el espesor y bisel, empleando los siguientes factores:

ESPESOR (cm)	FACTOR DE CORRECCION	
	Con bisel	Sin bisel
6.0	1.06	1
8.0	1.11	1.04
10.0	1.16	1.08

Tabla 1.4: Factores de corrección

Fuente: “Control de calidad de los adoquines de hormigón”. Laboratorio de materiales de construcción. PUCE

1.1.9.1.2 Cálculos

La resistencia característica se calculará tomando como base los valores propios de las diez unidades que conforman la muestra, a su vez, la desviación estándar se determinará utilizando la fórmula:

$$S = \frac{\sum (f_i - f_m)^2}{9}$$

Dónde:

S = desviación estándar

f_i = resistencia a la compresión de cada una de las muestras (Mpa)

f_m = media aritmética (promedio) de las resistencias a la compresión de todas las muestras (Mpa)

La resistencia característica (f_k) se calcula de la siguiente manera:

$$f_k = (f_m - 1.64 S)$$

Ésta resistencia característica se registrará con una precisión de 1 Mpa.

1.1.9.2 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN¹⁴

El ensayo consiste en someter un espécimen a desgaste por medio de la abrasión ejercida, bajo condiciones controladas, por un flujo de material abrasivo que pasa tangencialmente por entre dicha superficie y la cara lateral de un disco de acero, que ejerce presión contra ella.

Esto genera una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico, cuya longitud resultante es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión que posee el espécimen.

La máquina utilizada para el ensayo se compone esencialmente por el disco de acero cuyo diámetro será de 200 mm \pm 1 mm, su anchura será de 70 mm \pm 1 mm y deberá girar 75 revoluciones en 60 s \pm 1 s. Otra parte importante de la máquina es la tolva, en donde se almacena el material abrasivo que es el corindón (aluminio blanco fundido), la distribución de este material debe ser constante, con un caudal mínimo de 2.5 L/min.

La distancia de caída del abrasivo, entre el fondo del conducto de salida y el eje del disco será 100 mm \pm 5 mm y caerá a una distancia comprendida entre 1 y 5 mm por detrás de la cara de desgaste del adoquín.

1.1.9.2.1 Preparación de la muestra

¹⁴ Capítulo 3.5 Métodos de ensayo. Manual Euroadoquín

El elemento de ensayo debe ser una unidad completa, pueden ser nuevos o extraídos de un pavimento existente.

La cara superior del espécimen (cara de desgaste), que es la que se ensaya al desgaste, debe ser plana, en caso de que presente una textura rugosa se la debe pulir hasta alcanzar la textura deseada.

El elemento a ensayarse debe estar limpio y seco, antes del ensayo se debe limpiar su superficie con una brocha y cubrir la superficie a ensayar con tiza, marcador o un spray de color contrastante con el adoquín, para facilitar la lectura de la huella.

1.1.9.2.2 Procedimiento

Se llenará la tolva con abrasivo seco, la muestra debe ser colocada en el carro portaprobetas, separándolo del disco metálico, de tal manera que se produzca la huella con una distancia mínima de cualquier borde de 15 mm.

Una vez situado el adoquín en contacto con el disco de abrasión, se procederá a la abertura de la válvula de control del flujo de abrasivo y al arranque del motor, de tal manera que el disco metálico complete 75 revoluciones en 60 ± 3 s. Finalizando las 75 revoluciones del disco, se cierra el flujo del abrasivo y se para el motor. Durante el ensayo el flujo de abrasivo deberá ser regular.

Para la medida de la huella se utiliza un lápiz y una regla, se dibujan los límites longitudinales exteriores de la huella (L1 y L2). Se dibuja la línea AB, en el centro de la huella y perpendicular a su línea central. Se mide la distancia entre A y B desde los bordes interiores de los límites longitudinales (L1 y L2) con un calibre digital de precisión ± 0.1 mm.

Para verificar la calidad de la huella, se deben determinar el ancho de la huella a los $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de los extremos de la huella y registrarlas.

1.1.9.2.3 Resultados

El resultado que se debe presentar con una aproximación de 0.5 mm, debe ser la suma de la huella medida AB y la diferencia (positiva o negativa) entre 20.0 mm y el valor de calibración (Vc).

$$l_h = AB + (20.0 - V_c)$$

dónde:

l_h = longitud de la huella resultante (mm)

V_c = valor de calibración (mm)

AB = longitud de la huella medida (mm)

1.1.9.3 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN (MÉTODO ALTERNATIVO)¹⁵

Existe otra alternativa utilizada para calcular la superficie de desgaste de los adoquines, para este método se ensaya un adoquín de cada diez, su área se deberá usar en el cálculo de la resistencia a la compresión de la muestra.

Se coloca el adoquín con la superficie de desgaste hacia arriba sobre una cartulina, y se dibuja su perímetro con un lápiz.

Esta forma obtenida se debe cortar exactamente y se a pesa con una precisión de 0.01 g.

Asimismo se cortara en forma exacta un rectángulo de 20 x 10 cm de la misma cartulina, el cual se pesará con la misma precisión indicada anteriormente.

El área se calcula con la siguiente formula:

$$A_s = \frac{200 W_s}{W}$$

¹⁵ Norma INEN 1486

Siendo:

A_s = área del adoquín en cm^2

W_s = peso en g; de la cartulina con la forma del adoquín de muestra.

W = peso en g; del rectángulo de cartulina de 20 x 10 cm.

Si el adoquín tiene un bisel o radio, y es necesario determinar e, área de la superficie de desgaste, se podrá dar otro uso al rectángulo de cartulina, de la siguiente manera:

El ancho del bisel o del radio se medirá en cuatro puntos diferentes, el valor se determinará y el calibrador se ajustará a ese valor. Posteriormente se utilizará el calibrador para trazar una línea alrededor del contorno del rectángulo de cartulina. Este último se deberá cortar exactamente y se tendrá que pesar con una precisión de 0.01 g.

El cálculo anterior se repetirá usando el peso del nuevo rectángulo.

1.1.9.4 ABSORCIÓN DE AGUA¹²

La absorción de agua se determina mediante la diferencia de masa en seco y embebida en agua.

A las piezas que van a ser ensayadas previamente se les quitara el polvo y posibles irregularidades con un cepillo de púas metálicas adecuado.

Se deben secar totalmente las piezas y determinar su masa, después se las sumerge en agua a temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por un periodo de 24 horas o hasta conseguir masa constante.

Se consigue masa constante cuando en dos procesos de pesada sobre un mismo adoquín difieren en menos de 0.1 % de la masa.

Una vez terminado el periodo de sumergido se sacan los elementos y se elimina el agua superficial con un paño o esponja y se calcula inmediatamente la masa de la pieza.

La absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

En donde:

Mh = masa húmeda

Ms = masa seca

Como resultado del ensayo se encontrara el coeficiente de absorción de agua de la muestra.

1.1.9.5 DETERMINACION DE LA PORCION SOLUBLE EN ACIDO DEL ARIDO FINO¹⁶

Para determinar la porción soluble en acido del árido fino utilizado en la fabricación de los adoquines se necesitan los siguientes elementos:

1. Balanza que soporte 100 g y tenga una precisión de 0.1 g
2. Matraz cónico de boca ancha con capacidad de 500 ml
3. Papeles filtro Whatman del número 40 o su equivalente
4. Embudo de filtración y soporte
5. Frasco para lavar
6. Cilindro medidor con una capacidad de 25 ml
7. Capsula de evaporación
8. Placa calentadora eléctrica
9. Horno capaz de mantener una temperatura de 105 °C ± 5°C

¹⁶ Norma INEN 1487

Se debe preparar una solución de ácido clorhídrico tomando 300 ml de ácido clorhídrico concentrado, de una densidad de 1.18 y diluyéndolo con agua destilada hasta completar un volumen de un litro.

1.1.9.5.1 Procedimiento

La muestra representativa del árido fino debe ser de 50g, ésta muestra debe ser secada en el horno a 105 °C hasta obtener masa constante (M1), también se debe secar y posteriormente pesar un papel filtro Whatman del número 40 (M2).

Posteriormente se coloca la muestra en el matraz cónico, se añade 25 ml de ácido clorhídrico estándar y se agita. Esta operación debe ser repetida hasta que la efervescencia cese por completo.

Cuando al añadir más ácido no se produzca más efervescencia, se coloca el matraz al fuego hasta que la solución este caliente, pero no hirviendo. Si hay efervescencia al calentar el matraz, se dejará que esta termine y se probará la solución caliente, agregándole ácido clorhídrico estándar, con el propósito de ver si ocurre más efervescencia. Cuando no sucede esto, la solución caliente se decantará a través del papel filtro previamente pesado.

Al residuo no disuelto del árido que queda en el matraz, una vez decantado el ácido, se le añade 50 ml de agua destilada caliente pero no hirviendo, y se agita el matraz.

El agua se decantará a través del papel filtro, este proceso de lavado deberá repetirse cinco veces.

Por otra parte, el residuo se lavará a continuación en una capsula de evaporación junto con papel filtro, y se evaporará en un horno a fin de desecarlo, a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar masa constante.

Finalmente se deberán pesar el árido y el papel filtro seco (M3).

1.1.9.5.2 Cálculos

El porcentaje de pérdida de masa se calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{M1 - M4}{M1} * 100\%$$

$$M4 = M3 - M2$$

Siendo:

M4 = masa del residuo de la muestra seca, después del tratamiento

M1 – M4 = pérdida de masa, debido al tratamiento con ácido.

M1 = masa de la muestra original seca

M2 = masa del papel filtro seco

M3 = masa del papel filtro y la muestra seca, después del tratamiento

1.1.10 USOS DE LOS ADOQUINES

Actualmente se fabrican gran variedad de adoquines con características, modelos y colores distintos, generalmente según el uso que se les vaya a dar.

Como ya fue mencionado anteriormente los adoquines en forma general se usan para vías de tráfico peatonal, estacionamientos y calles residenciales, caminos secundarios y calles principales; soportando tráfico ligero o pesado.

Su uso en vías de tráfico liviano es muy recomendable debido a que es un material económico, de fácil transporte y colocación, su puesta en obra es relativamente fácil, y sobre todo es un elemento reutilizable que en caso de necesitar reparaciones posteriores no es necesario el reemplazo del material.



Imagen 1.11: Uso del adoquín en calles principales

Fuente: Propia

Dentro de estas posibilidades el adoquín puede ser utilizado como material estético, para crear pisos decorativos y resistentes tanto en calles como en plazas y parques.

Los adoquines con color adquieren un valor arquitectónico especial y se utilizan en lugares en donde se requiera pisos decorativos.

1.1.10.1 APLICACIONES ARQUITECTÓNICAS

Estos elementos con frecuencia se utilizan para armonizar o unificar zonas interiores de áreas residenciales o edificios como jardines, patios o zonas de recreación infantil, parqueaderos, calles de acceso, entre otras, aportando con un toque estético a las diferentes áreas de las urbanizaciones. En estos lugares se usan generalmente los adoquines de diferentes formas y colores gracias a su capacidad de combinación y a su versatilidad.

Con fines arquitectónicos se los usan también en áreas peatonales en el espacio público como son plazas y parques. Gracias a su gran variedad de modelos,

colores y texturas se pueden producir cambios en las alineaciones y conseguir zonas muy agradables a la vista del peatón.



Imagen 1.11: Uso del adoquín en plazas

Fuente: Propia

Existe también un modelo muy peculiar de adoquín denominado “adoquín jardinera”. Este puede ser utilizado para albergar zonas verdes en áreas pavimentadas y para controlar la erosión.

La principal ventaja que presenta este tipo de elemento es que elimina la formación de charcos permitiendo que el agua drene por las capas inferiores. Su uso es más recomendado en zonas peatonales¹⁷.

¹⁷ Capítulo 2 Ámbito de aplicación. Manual Euroadoquín



Imagen 1.12: Adoquín jardinera

Fuente: Propia

Se los prefiere en zonas peatonales debido a su superficie antideslizante, incluso en situaciones de lluvia; otra cualidad muy importante de los adoquines es que son impermeables, por tal motivo son resistentes a manchas ocasionadas por vertidos de sustancias agresivas.

1.1.10.2 APLICACIONES EN AREAS SOMETIDAS A TRÁFICO RODADO

Su aplicación se da en vías de todo tipo, áreas residenciales, parqueaderos, estaciones de servicio, patios de carga, ciclo vías, entre otras.

Pueden llegar a ser la mejor alternativa para vías urbanas y rurales debido a la facilidad con que se pueden instalar los servicios urbanos, los bajos costos de mantenimiento y la capacidad de soportar cargas pesadas.

Por sus características pueden ser colocados en zonas con diferentes intensidades de tráfico, debido a que resisten fácilmente cargas pesadas concentradas de ruedas y carretillas.

Generalmente se usan adoquines en vías en las que la velocidad de circulación no supere los 60 km/h. Con mayor velocidad los vehículos podrían sufrir ciertos daños por el rebote que se produciría por las juntas.

En el caso de estaciones de servicio y parqueaderos es recomendable el uso de este material debido a que no se vuelven resbaladizos si ocurren derrames de aceites.



Imagen 1.13: Uso del adoquín en estaciones de servicio

Fuente: Propia

CAPÍTULO 2

2.1 ADOQUINADO

2.1.1 GENERALIDADES

Como ya es conocido, la vialidad es el eje para el crecimiento de una zona o comunidad, debido a que brinda a sus habitantes un mejor nivel de vida y accesibilidad más fácil y cómoda a distintas zonas, esto conlleva a un desarrollo en distintas actividades, especialmente al comercio.

Un pavimento en general es una estructura constituida por una o más capas cuyo material debe ser de muy buena calidad, con alineamiento determinado, que se colocan sobre un terreno preferentemente nivelado, para de esta manera mejorar su resistencia y servir para la circulación de personas, animales o vehículos.

Los pavimentos están formados por materiales de diferentes características, pero que en conjunto deben trabajar en armonía y cumplir con los siguientes requisitos:

- Soportar las cargas impuestas por el tráfico peatonal o vehicular
- Proporcionar facilidades de circulación, con rapidez, seguridad y comodidad.
- Ser una estructura durable
- Transmitir al suelo esfuerzos y deformaciones tolerables
- Resistir la acción del medio ambiente

La pavimentación de vías y aceras soluciona varias dificultades en la zona en donde se implemente, entre los principales problemas que presenta un sector sin pavimentación están:

- Erosión de las calles y aceras de tierra debido a las lluvias y al sol
- Calles sucias y agrietadas que se convierten en un peligro para la comunidad

- Problemas de salud en los habitantes del sector por el polvo que se produce en verano y el estancamiento de agua en el invierno
- Ausencia de servicio de transporte público
- Daño a automóviles por la irregularidad del terreno

Previo a la construcción es necesario realizar un análisis técnico – económico de los tipos de pavimentos y de las características de cada uno, tomando en cuenta la participación de la población beneficiada.

Se elegirá el tipo de pavimento a utilizar según las características del proyecto y un análisis detallado del espacio urbano; hay que siempre tener en cuenta aspectos muy importantes, como el tráfico peatonal y vehicular que va a soportar, en el caso de vehículos se debe analizar la velocidad a la que van a circular, presupuesto con el que se cuenta para el desarrollo del proyecto, situación climática del sector, entre otras.

Para el correcto funcionamiento de la estructura del pavimento es necesario realizar procesos de compactación, tanto de las capas inferiores como de la capa de rodadura (adoquines); existen actualmente dos métodos de compactación: manual y mecánico.

El método manual solo podrá ser utilizado en zonas que no van a ser sometidas a cargas pesadas y de área relativamente pequeña, por ejemplo aceras, se lo realiza utilizando apisonadores generalmente elaborados por los mismos albañiles; este es un método que poco a poco va quedando olvidado por la implementación de nueva maquinaria destinada al mismo fin, y porque el grado de compactación no es el óptimo.

Por otro lado la compactación mecánica es el método más utilizado en la actualidad, ya que garantiza un compactado óptimo del suelo y agregados, existen compactadores de rodillo, minirodillo, neumáticos, y otros más pequeños que suelen ser utilizados en áreas menores como el sapo y planchas vibratorias.

A pesar del método que se emplee siempre es necesario realizar una comprobación del grado de compactación y densidad del suelo.

2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

Entre los tipos de pavimentos más utilizados en las zonas urbanas están los pavimentos rígidos (hormigón), pavimentos flexibles (mezclas asfálticas) y los pavimentos articulados (adoquines).

Dentro de las propiedades más importantes de los diferentes tipos de pavimentos están:

- Pavimento rígido:

Está constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, sostenido sobre una capa de material seleccionado.

Se caracteriza por soportar cargas pesadas gracias a su base de concreto. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente.

Su construcción resulta muy costosa pero, en cambio, el mantenimiento es bastante económico, y si la construcción se hace de manera correcta la vida útil es mucho mayor que la del pavimento flexible.

- Pavimento flexible:

Reciben este nombre ya que son maleables, tienen en la parte superior una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad.

Este tipo de pavimento tiende a deformarse y recuperarse después, transmiten la carga de forma lateral al suelo a través de sus capas.

Es utilizado en zonas en donde hay mucho tránsito, generalmente avenidas y carreteras.

Su construcción y mantenimiento resulta costoso ya que se necesita de gran maquinaria y mano de obra calificada.

- Pavimento articulado:

Este tipo de pavimento está constituido en la parte superior por un conjunto de elementos de gran rigidez individual (adoquines), apoyados sobre una capa de arena, y con capas inferiores que cumplen con las mismas características de las capas inferiores de un pavimento flexible, donde el adoquín y la capa de arena funcionan como la capa de concreto asfáltico¹⁸.

El adoquinado es el sistema de pavimento más sencillo de instalación, seguro y moderno, ya que son elementos que se adaptan a cualquier rigurosidad del suelo y a trazos complicados.

La calidad y nobleza del adoquín lo sitúan como el producto para piso de mayor durabilidad y menor costo por su bajo mantenimiento.

Además el pavimento articulado posee un sistema de construcción totalmente en seco, lo que permite liberar el tránsito inmediatamente, ya sea al colocarlos la primera vez como en futuras reparaciones (redes subterráneas), utilizando las mismas piezas, logrando el mismo acabado estético original.¹⁹

En áreas propensas a hundimientos diferenciales del terreno, como son zanjas rellenadas o terrenos recuperados, los adoquines presentan la peculiaridad de poder ser levantados, y la mayoría de ellos si se encuentran en buenas condiciones podrá volver a usarse.²⁰

Los pavimentos articulados trabajan bajo el principio de la fricción y la trabazón entre ellos en la superficie de rodadura, esta trabazón debe impedir el movimiento vertical, horizontal y rotacional de un elemento individual.

Un adoquinado para ser considerado un buen tipo de pavimento debe cumplir con las siguientes características:

- Resistencia al deslizamiento
- Desagüe superficial rápido y efectivo

¹⁸ Ing. Carlos Alberto Benavides Bastidas – Proyecto de pavimentos para carreteras

¹⁹ Pavimento articulado. <http://www.adoquinesdehormigon.com.ar/>

²⁰ Adoquines de concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Editorial Limusa

- Propiedades adecuadas de reflexión de luz; ésta característica es vital para el diseño de instalaciones luminosas
- Ruido de rodadura bajo
- Buen aspecto estético tanto para el usuario como para el entorno
- Buena calidad del material de las diferentes capas

2.1.3 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Un pavimento está conformado por capas de diferentes características, y que juntas deben cumplir con las especificaciones para las que un pavimento es diseñado.

Las mencionadas capas son las siguientes:

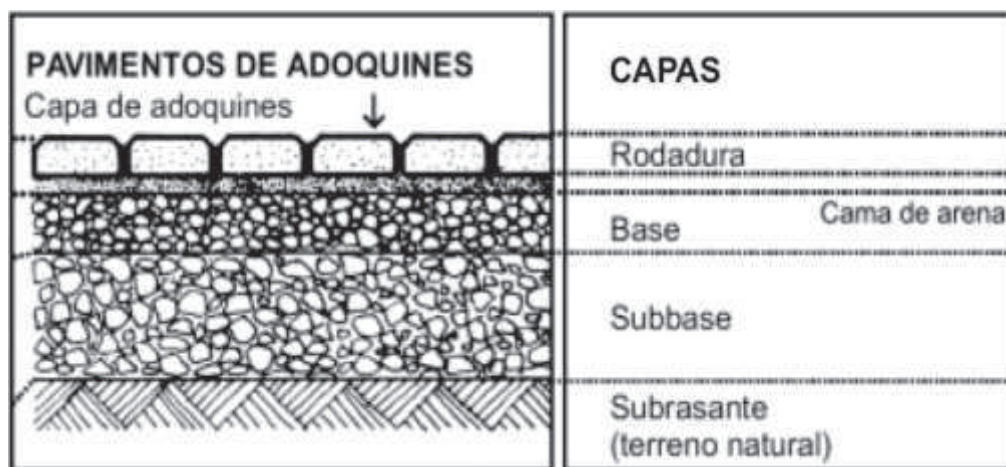


Imagen 2.1: Estructura pavimento de adoquines de concreto

Fuente: Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones NTG 41086

2.1.3.1 Explanada o subrasante

Es la parte superior del terreno natural existente, obtenido al llevar a cabo obras de nivelación de la cota de coronación de terraplenes y fondos de desmonte. Es

una capa fundamental ya que sirve como soporte de todo el paquete estructural de un pavimento, y su función principal es la absorción de cargas que le transmite el pavimento.

2.1.3.2 Sub-base y base

Son las capas intermedias de la estructura de los pavimentos, se construyen entre la subrasante y la capa de rodadura.

Su función es eminentemente resistente, constituyéndose como los principales elementos portantes de la estructura.

La función principal de la sub-base es proporcionar a la base un cimiento uniforme; también es deseable que cumpla una función drenante.

La función de la base, en cambio, es totalmente de resistencia, constituyéndose en el principal elemento portante de la estructura; absorbe la mayor parte de los esfuerzos verticales provocados por el tránsito.

2.1.3.3 Capa de arena

Sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que penetre a través de las juntas entre los adoquines.

2.1.3.4 Capa de rodadura

Constituye la parte superior de la estructura que soporta directamente el tráfico, es decir absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, transmitiendo dichos esfuerzos lo suficientemente amortiguados al resto de capas.

La capa de rodadura del adoquinado está conformada por:

- Adoquines de concreto
- Sello de arena

Esta capa debe soportar además la acción de los agentes atmosféricos y el desgaste generado por el tránsito.

2.1.4 MATERIALES

Se escogen según su costo y disponibilidad, y mientras más superficiales estén las capas, los materiales deben ser más resistentes.

Los materiales de bases y sub – bases deben cumplir con las siguientes propiedades:

- Módulos de elasticidad
- Gravedad específica
- Densidad seca máxima
- Permeabilidad

Para que las diferentes capas que conforman un pavimento articulado funcionen de la manera esperada y cumplan con la vida útil proyectada, tienen que estar construidas con material seleccionado, que debe ser controlado antes de su colocación y que cumpla con los siguientes requisitos:

2.1.4.1 Sub – base²¹

Los materiales de la sub – base normalmente son de menor calidad a los usados en la capa de base.

Los materiales adecuados deben ser pétreos, procedentes de canteras o depósitos de aluviales, compuestos por fragmentos de piedra o grava, compactos y durables, libres de terrones de arcilla y materia orgánica.

Estos materiales deberán cumplir con las siguientes propiedades:

- Desgaste

²¹ Normas y especificaciones generales de construcción. Sub-base granular. Especificación 302

Al ser ensayado el material en la máquina de Los Ángeles, el desgaste no deberá ser mayor del 50% para la fracción gruesa.

- Granulometría

Los materiales deben tener una curva granulométrica continua y ajustarse a la siguiente gradación:

TAMIZ	% PASA
3"	100
2"	65 – 100
1"	45 – 75
3/8"	30 – 60
No. 4	25 – 50
No. 10	20 – 40
No. 40	10 – 25
No. 200	3 – 15

Tabla 2.1 Granulometría para material de sub-base

Fuente: Normas y especificaciones generales de construcción. Sub-base granular.
NEGC 300. Especificación 302

- Equivalente de arena

El porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 20%.

- Valor relativo de soporte CBR

El CBR deberá ser mayor de 25% para una densidad seca, equivalente al 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado y sometidas a inmersión.

- Límites de consistencia

El porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad menor de 6% y un límite líquido menor de 25%.

2.1.4.2 Base²²

Los materiales para base deben ser pétreos de origen aluvial o de cantera, triturados o mezclados con arena de río o de peña, libre de terrones de arcilla, materia orgánica, basuras o escombros. Son de mejor calidad y especificaciones que los utilizados en la construcción de la sub-base.

Estos materiales deben cumplir con las siguientes propiedades:

- Desgaste

El material luego de ser ensayado en la máquina de Los Ángeles deberá presentar un desgaste menor del 45% para la fracción gruesa. El desgaste de las diversas fracciones granulométricas tomadas para el ensayo deberá ser homogéneo.

- Granulometría

Igual que en la sub-base el material debe tener una curva granulométrica continua, y ajustarse a la siguiente gradación:

²² Normas y especificaciones generales de construcción. Base granular. Especificación 303

TAMIZ	% PASA
1 1/2"	100
1"	77 – 94
3/4"	62 – 83
3/8"	43 – 66
No. 4	33 – 53
No. 10	22 – 39
No. 40	12 – 25
No. 200	6 – 12

Tabla 2.2 Granulometría para material de base

Fuente: Normas y especificaciones generales de construcción. Base granular.
NEGC 300. Especificación 303

- Equivalente de arena

El porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 30%.

- Valor relativo de soporte CBR

El CBR de laboratorio deberá ser mayor de 80% para una muestra remoldeada y sometida a inmersión para el 100% de compactación con relación a la densidad máxima seca del ensayo Proctor Modificado.

- Límites de consistencia

El porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad menor de 4% y un límite líquido menor de 25%.

- Solidez

El material no deberá presentar señales de desintegración ni pérdida en peso mayor del 15% al someterlo a cinco ciclos alternados en la prueba de solidez con sulfato de sodio.

- Forma

La fracción del material retenido en el tamiz No. 4 deberá presentar un índice de aplanamiento inferior a 35% y un índice de alargamiento inferior al 30%, y un 50% en peso de dicha fracción deberá presentar al menos una cara fracturada.

2.1.4.3 Capa de arena

La arena que se utilice para conformar la capa sobre la que se colocarán los adoquines será de origen aluvial, sin trituración, estará libre de materia orgánica, contaminantes y polvo.

Tendrá un equivalente de arena mayor de 70%, debe ser un material no plástico y cumplir con una granulometría continua que se ajuste al detalle siguiente:

TAMIZ		% PASA
NORMAL	ALTERNO	
9.5 mm	3/8 "	100
4.75 mm	No. 4	90 - 100
2.36 mm	No. 8	75 - 100
1.18 mm	No. 16	50 - 95
600 µm	No. 30	25 - 60

300 μm	No. 50	10 - 30
150 μm	No. 100	0 - 15
75 μm	No. 200	0 - 5

Tabla 2.3 Granulometría de la arena para soporte de los adoquines

Fuente:

ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Especificaciones/Articulo510-07.pdf

2.1.4.4 Adoquines

Como ya se detalló en el Capítulo I, los adoquines antes de ser colocados en pavimentos, tanto para tráfico vehicular como peatonal, deben ser ensayados para comprobar que cumplan con los requerimientos establecidos en la Norma INEN 1488.

Para tráfico vehicular es necesario utilizar adoquines que tengan un espesor mínimo de ocho centímetros; y para tráfico peatonal se colocarán adoquines con un mínimo de seis centímetros de espesor. No se aceptarán piezas que presenten alteraciones en la superficie, que estén rotos, mojados, entre otras.

2.1.4.5 Arena de sellado

La arena que se utilizara para sellar las juntas entre adoquines será de origen aluvial sin trituración, no deberá contener materia orgánica, polvo y contaminantes. Mantendrá una granulometría continua detallada en la siguiente tabla:

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
2.36 mm	No. 8	100
1.18 mm	No. 16	90 - 100
600 μm	No. 30	60 - 90
300 μm	No. 50	30 - 60
150 μm	No. 100	may-30
75 μm	No. 200	0 - 15

Tabla 2.4 Requisitos granulométricos para arena de sello

Fuente: Pavimento de adoquines de concreto. Artículo 510-07. PDF

Además esta arena debe estar lo suficientemente seca y suelta para que pueda penetrar fácilmente entre las juntas de los adoquines, se recomienda el uso de arenas lavadas para evitar la presencia de sales solubles dañinas.

2.1.4.6 Bordes de confinamiento

Es importante que toda el área adoquinada cuente con un confinamiento lateral, para evitar el desplazamiento de las piezas y la apertura de las juntas.

Los tipos de bordes de confinamiento usados comúnmente son los bordillos, rigolas de hormigón y piezas prefabricadas.

2.1.5 PROCESO CONSTRUCTIVO

Existen procesos diferentes para realización de adoquinados, dependiendo si el uso será para cargas pesadas (vehículos) o livianas (peatones, bicicletas), este factor determina el número de capas que tendrá el pavimento, el nivel de compactación del suelo y el tipo de material a utilizar, hay que tener en cuenta que el diseño de cualquier pavimentación urbana requiere de un análisis detallado del espacio urbano y del entorno en donde se realizara a intervención, para que al finalizar el trabajo de pavimentación no se vea como una molestia para los moradores del sector, sino como una gran ventaja.

En una vía para tráfico vehicular la estructura del pavimento articulado está compuesto por igual número de capas que en cualquier otro tipo de pavimento, lo que no ocurre con un adoquinado para uso peatonal, obviamente las cargas a soportar son totalmente diferentes, por lo que en este caso no serán necesarias tantas capas, pero si materiales de calidad.

Cualquier pavimento debe diseñarse de tal manera que resista una deformación excesiva o una falla estructural, que son el resultado de la acumulación de los efectos nocivos producidos por los vehículos que transitan por él. La influencia destructora de un vehículo depende principalmente de las cargas axiales.

Los factores más importantes que intervienen en el diseño de las capas del adoquinado son:

- Tipo de suelo de la subrasante:

Este se clasifica en tres categorías dependiendo de su estabilidad ante la humedad y de su dureza:

- Suelo categoría 1.- Suelo que en la humedad se deforma y se vuelve difícil circular sobre él.
- Suelo categoría 2.- Suelo que en la humedad permite la circulación con poca deformación.
- Suelo categoría 3.- Suelo que aun en humedad permite la circulación sin deformarse

- Tránsito

El tipo de tránsito que tiene la vía se determina sumando los vehículos pesados (seis o más llantas), que pasan por esta, en un día y en ambas direcciones.

Es necesario disponer de datos razonablemente confiables sobre las cargas que actuarán sobre las calzadas. Se debe procesar la mejor información localmente posible, a través de los conteos de tráfico, censos de carga y clasificación de vehículos.

El estudio de tráfico tiene los siguientes objetivos²³:

- Determinar el tráfico generado y el tráfico desviado
- Determinar el tráfico promedio diario anual TPDA

Gracias a estos parámetros se determinará la demanda a la que el pavimento deberá trabajar durante el tiempo de vida útil.

- Medio ambiente

Los ensayos de resistencia de la subrasante se deben realizar en condiciones de humedad y densidad de equilibrio deseadas.

2.1.5.1 Adoquinado para tráfico pesado

En general este tipo de pavimento se lo realiza en calles secundarias en donde la velocidad de circulación no supere los 60 km/h, así como en parqueaderos, estaciones de servicio, entre otras.

Conocer el tipo de suelo de la subrasante es un factor muy importante antes de realizar una estructura de pavimentación, debido a que en base a ensayos de laboratorio conocemos si la capacidad portante del suelo será la adecuada, caso contrario se deben realizar tareas de mejoramiento antes de la construcción de las diferentes capas que conformarán el adoquinado. En la construcción de la base también se debe tener especial cuidado debido a que es la capa que recibe directamente las cargas, es necesario realizar ensayos del material que va a ser colocado en esta capa para asegurarse que cumplirá con el objetivo planteado.

Al igual que en otras formas de revestimiento, en el pavimento con adoquines de concreto se necesitan instalaciones de drenaje para el agua de la superficie, así como la formación de pendientes con el objeto de prevenir la formación de charcos.

²³ <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20961/1/Paper%20Tesinafinal.pdf>

Una condición para poder iniciar con los trabajos es que las instalaciones de servicios básicos subterráneas como agua potable, alcantarillado o red eléctrica ya deben estar previamente realizadas.

Para el drenaje de la vía es necesario contar con pozos que se conecten a un colector central, que es por donde circulará el exceso de agua que ingrese por los sumideros que deben ser instalados en la calzada, preferentemente entre bajadas y en donde el agua tienda a acumularse por la topografía misma del terreno.

Los adoquines deberán colocarse a un nivel ligeramente más alto que el del sumidero (aproximadamente 0.3 cm), ya que con el tráfico tienen a asentarse y no funcionaría correctamente.

Una vez terminada la inspección de las redes subterráneas, y cuando los materiales y las instalaciones que van a constituir la estructura del pavimento han sido seleccionados e identificados se procede con la construcción, contando inicialmente con una buena planificación del trabajo, es decir que antes de comenzar con la construcción se debe analizar cuidadosamente la localización de los diferentes servicios urbanos, para de esta manera asegurar que durante el proceso constructivo no se afectará de manera significativa el desarrollo normal de las actividades de los moradores del sector.

Es absolutamente necesario realizar un correcto diseño y construcción de la subrasante, sub-base y base, si se quiere que el pavimento cumpla con la capacidad y calidad estructural deseada.

Lo que se busca es que estas capas puedan funcionar como un soporte uniforme que permanezca así durante toda la vida útil proyectada para la estructura.

También es necesario que en el borde del pavimento se coloque una pieza de contención para evitar que se desplacen tanto los adoquines como la cama de arena. La contención puede ser realizada de cualquier estructura firme como un bordillo prefabricado de hormigón, que funcionará satisfactoriamente mientras sea lo suficientemente resistente para soportar cualquier daño causado por el impacto o por el empuje de los vehículos que transiten sobre el pavimento.

Por otro lado, es importante indicar que las fuentes de materiales y los equipos que serán utilizados en la construcción del adoquinado deben estar previamente aprobados por el Contratista.

2.1.5.1.1 Subrasante

Como primer paso en la construcción de un pavimento tenemos el movimiento de tierras, necesario para conseguir una plataforma uniforme sobre la que se construirá el pavimento.

Este procedimiento se realiza siempre y cuando se quiera que el pavimento este a una cota diferente que la del terreno original, o si el perfil del terreno presenta muchas irregularidades, por lo expuesto sabemos que en la realización de los estudios para el diseño geométrico de un camino o vía es de gran importancia la topografía del terreno, siendo este un factor determinante tanto en los costos de construcción como en el trazado horizontal de la vía.

Una vez conseguida la cota deseada se realiza una limpieza en el terreno, retirando maleza, pastos y escombros, de acuerdo con las pendientes previstas en proyecto, para que las áreas que van a ser ocupadas queden aptas para el inicio de trabajos subsiguientes. Se debe tener muy en cuenta que es necesario que la subrasante se mantenga seca y bien drenada.

Posteriormente se comprueba la calidad del suelo en base al CBR, que es un ensayo que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, en base a los resultados de este ensayo se debe compactar la superficie del terreno utilizando rodillos, hasta alcanzar una área portante mínima, y luego comprobar si los valores de densidad y humedad son los correctos para continuar con la construcción, en caso negativo se deben realizar labores de mejoramiento del suelo de la subrasante, ya sea con lechadas de cemento portland, cal, o en casos un poco más difíciles se pueden emplear geomallas o geotextiles; hasta conseguir la densidad optima deseada.

Para comprobar la densidad y humedad del suelo se realizan ensayos de campo y laboratorio, los métodos más comunes para estos ensayos son:

- Densímetro nuclear
- Ensayo del cono y la arena
- Speedy



Imagen 2.2: Toma de densidades métodos nucleares

Fuente: <http://suelosypavimentos.com.ec/node/5>

Un parámetro importante a tomar en cuenta es que se debe tener muy bien identificado el nivel freático del terreno, para en lo posible construir rasantes lo más altas posibles, o si el nivel freático es muy elevado será necesario realizar un drenaje que permita mantenerlo al menos 30 cm por debajo del terreno debido a que los valores de soporte del suelo se ven afectados por la humedad.

2.1.5.1.2 *Sub – base y base*

En la construcción de estas dos capas se utilizan procesos similares, pero con materiales de diferentes características.

Para empezar la construcción de la sub – base no siempre será necesaria, depende de la calidad de suelo que tenga la subrasante, es decir en los casos en los que la capacidad de soporte de la subrasante sea elevada, la estructura del adoquinado funcionará bien sin sub – base.

Pero cuando sea necesaria su construcción, se recomienda que el espesor de esta capa no sea menor de diez ni mayor de veinte centímetros, en la base de igual manera el espesor no debe ser mayor de veinte centímetros, en los dos casos serán medidos antes de la compactación.

El espesor final con que se construyan dependerá de la calidad de los materiales que se tenga previsto utilizar y de la carga que soportará el pavimento.

La maquinaria a utilizarse será la siguiente:

- Equipo de transporte (volquetas)
- Motoniveladora con cuchilla y escarificadores en buen estado
- Tanquero de agua acondicionado para que permita un riego uniforme sobre la superficie
- Equipo de compactación vibratorio o liso

Toda la maquinaria debe estar en excelentes condiciones para garantizar el progreso favorable de la construcción.

Durante la construcción de estas capas está terminantemente prohibido el tránsito vehicular extraño a la obra. La velocidad de circulación de los equipos y maquinaria necesaria estará regulada máximo a 30 km/h, a fin de evitar la segregación y daños en la conformación del material.

La construcción de sub – bases y bases comprende los siguientes pasos, repetidos cuantas veces sean necesarios²⁴:

- Cargue y transporte de los agregados desde la fuente de material hasta la vía.
- Las volquetas vierten los agregados sobre la vía a separaciones adecuadas para optimizar el rendimiento de los equipos de extensión. En este paso se debe tener un especial cuidado para que en el momento de verter el material no se produzcan segregaciones ni daños a la subrasante o sub – base; también se debe procurar que las llantas de las volquetas estén limpias el momento de entrar a la obra para que la subrasante y el material de la sub – base no se contamine.

²⁴ Módulo 15 Construcción de capas granulares. Ingeniero Fernando Sánchez Sabogal. PDF

No deberán extenderse los agregados si la superficie presenta capas blandas o fangosas, y tampoco es recomendable movilizar demasiado al material, para evitar segregación.

- Los agregados se distribuyen sobre la superficie con la motoniveladora, ésta también los mezcla para que el material sea homogéneo y logre la granulometría exigida.
- Posteriormente, luego de distribuido todo el material, un tanquero de agua aplica los riegos necesarios para que el agregado alcance la humedad óptima para su compactación adecuada.



Imagen 2.3: Humedecimiento del material

Fuente: <http://boletinincyc.blogspot.com/>

- Se realiza un mezclado homogéneo de los agregados con el agua usando la motoniveladora, y se los extiende en el ancho y espesor previstos en el diseño.

Cuando se efectúe la mezcla y tendido del material utilizando motoniveladoras, se deberá cuidar que no se corte el material de la subrasante ni se arrastre material de los alrededores para no contaminar los agregados con suelos o materiales no aceptables²⁵.

²⁵ Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002

- Una vez homogeneizado el material y alcanzado un contenido de humedad cercano al óptimo deberá compactarse mecánicamente por medio de rodillos lisos, rodillos vibratorios u otro tipo de compactadores aprobados.

El grado de compactación de la sub – base debe ser hasta alcanzar un mínimo del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, y el de la base hasta lograr un mínimo del 98% del ensayo Proctor modificado para tráfico ligero, y 100% para tráfico pesado.

El número de pasadas del equipo de compactación dependerá de la capacidad del equipo y del material a compactar.

La compactación será uniforme para el ancho total de la sub – base y base, iniciándose en los costados de la vía y avanzando hacia el eje central.

- Al completar la compactación se procederá a efectuar ensayos de densidad apropiados para comprobar si las capas cumplen con las características necesarias para funcionar correctamente.
- Cuando las características técnicas de la sub – base y base sean las adecuadas se procederá con la colocación de los bordes de confinamiento y la cama de arena de los adoquines.

Si las condiciones del terreno o de los materiales no son los adecuados se pueden utilizar bases de suelos estabilizados o de concreto pobre.

La base luego de construida debe quedar con una superficie totalmente lisa, sin protuberancias, nivelada y ya con las pendientes del proyecto, debido a que si se coloca la arena con la superficie irregular, al momento de ser sometida a las cargas de los vehículos, se va a acomodar a la irregularidad produciéndose deformaciones en el pavimento.

La preparación de la base debe extenderse hasta los bordes de confinamiento, con un espesor compactado no menor de diez centímetros bajo dichos bordes.

Por último cabe indicar las tolerancias superficiales que pueden tener las diferentes capas que conforman la estructura:

CAPA	TOLERANCIA
Explanada	-50 mm; +15 mm
Sub – base	-50 mm; +10mm
Base	-30 mm; +10 mm

Tabla 2.4: Tolerancias superficiales

Fuente: Manual Euroadoquín. Ejecución de los pavimentos de adoquines.

2.1.5.1.3 Bordes de confinamiento

Anteriormente se indicó que el adoquinado necesita de un borde lateral (generalmente prefabricado de hormigón), cuya función es contener el empuje que se produce en el pavimento sometido a cargas, para de esta manera evitar el desplazamiento de las piezas, aperturas de las juntas, dispersión de la arena que constituye el lecho y mantener la alineación del pavimento.

Este elemento debe ser instalado antes de la colocación del lecho de arena y de los adoquines, y solo a lo largo del perímetro exterior del pavimento.

El borde de confinamiento debe apoyarse mínimo quince centímetros por debajo del nivel inferior del adoquín para garantizar la fijación deseada.

Se recomienda que los bordes sean colocados sobre una base de hormigón para asegurar su fijación; y que las juntas verticales entre los elementos sean sellados con mortero, para evitar la salida de la arena del lecho y del sellado.

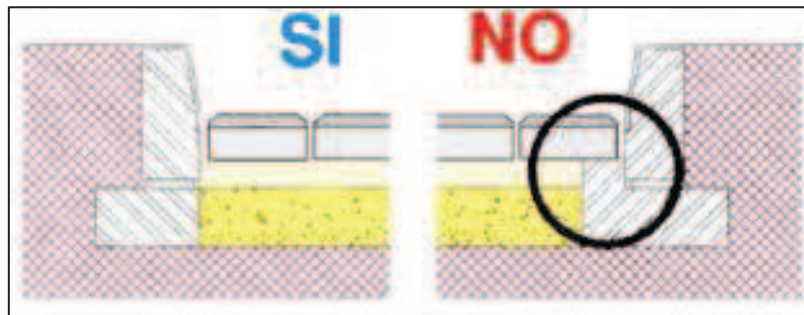


Imagen 2.4: Disposición de los bordes de confinamiento

Fuente: Manual Euroadoquín. Ejecución de los pavimentos de adoquines

2.1.5.1.4 Capa de arena

Una vez que la arena ha sido seleccionada se debe tener un especial cuidado en su almacenamiento y colocación en obra; no se la debe colocar hasta que se compruebe que la superficie de la base tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas por el Contratista.

Posterior a la comprobación de las características de la base, se empezará mezclando lo suficiente a la arena para asegurar su homogeneidad, especialmente en lo que se refiere al contenido de humedad; es aconsejable también pasarla por un tamiz o zaranda para que quede suelta y manejable.

Se empieza con el extendido de la arena (manual o mecánicamente), con un espesor uniforme, generalmente de cincuenta milímetros, para que una vez compactado el pavimento la capa tenga un espesor final entre treinta y cuarenta milímetros. La colocación en obra de la arena debe hacerse de modo que la cantidad nivelada sea cubierta con los adoquines, esto quiere decir que no podrá quedarse arena a la intemperie ni siquiera por una noche porque es un material propenso a cambios en el contenido de humedad por factores climáticos.

Se deben definir tramos de trabajo, no muy grandes, ya que el material al estar mucho tiempo al aire libre cambia sus condiciones y queda no apto para el uso,

por lo que se desperdicia; una buena longitud para trabajar es entre tres y cuatro metros.

Para lograr el espesor esperado de la superficie se utiliza una regla de nivelación con guías longitudinales, que es pasada cuidadosamente sobre la arena, teniendo especial cuidado de no pisarla.

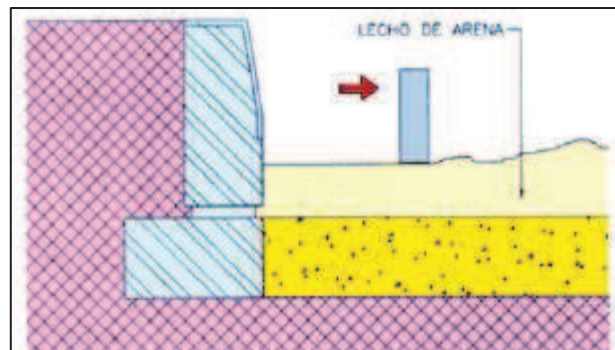


Imagen 2.5: Nivelación de la capa de arena

Fuente: Manual Euroadoquín. Ejecución de los pavimentos de adoquines.

No se puede permitir que por compensar fallas de la base unos tramos de la capa tengan un espesor más grande que otros; es importante saber que una de las causas más comunes por las que falla un pavimento de adoquines es la ejecución de la capa de arena con un espesor muy grande, justamente para corregir los errores que presenta la capa base. Dicha capa gruesa se comprime y consolida con el paso de los vehículos, provocando que el adoquinado presente en su superficie las mismas fallas que presentaba la base y se deforme; por otro lado si el espesor es insuficiente con el paso de los vehículos se produce rotura de los adoquines.

Otro punto importante dentro de la construcción de esta capa es que por ningún motivo se debe permitir la colocación de los adoquines sobre una arena húmeda, o que haya sido muy compactada o pisada; si esto ocurre es necesario retirar ese material alterado y reemplazarlo por arena uniforme, suelta y seca.

El motivo por el que no se debe compactar la arena es porque una vez terminado el pavimento, es decir colocados los adoquines, se compacta toda la estructura y es ahí cuando esta capa llega a su espesor deseado.

Si por algún error la arena ya colocada sufrió un grado de compactación leve, solo se la someterá a la acción repetida de un rastrillo, para poder devolverle su carácter suelto y se enrasará de nuevo con la regla de nivelación.

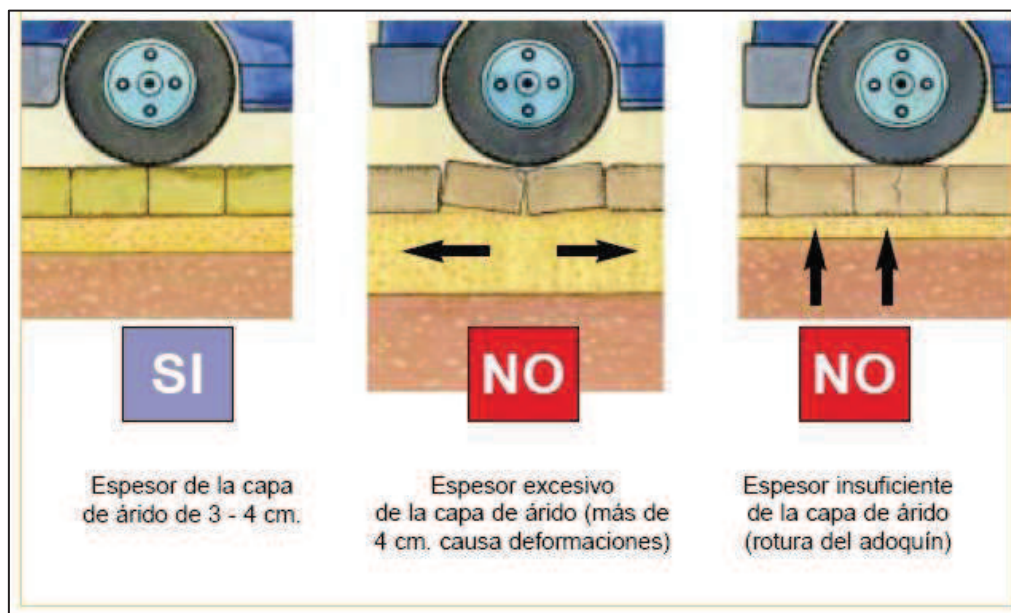


Imagen 2.6: Deformación del pavimento según el espesor de la capa de arena

Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_de_Pavimento_con_Euroadoquines

2.1.5.1.5 Colocación del adoquín

Debido a que la colocación del adoquín es la etapa más importante del proceso, se recomienda que se realice un replanteo previo, para confirmar que se cumpla con los requerimientos de la estructura del pavimento; esta colocación puede ser realizada manual o mecánicamente dependiendo de diferentes factores como son: plazo para completar el trabajo, tamaño de la obra, aspectos económicos y lugar de trabajo.

Por facilidad en la construcción se recomienda que la entrega de los adoquines sea lo más cercano al lugar de trabajo, para de esta manera evitar que sean transportados por distancias muy largas en carretillas, ya que podrían sufrir daños en la superficie por el manipuleo.

Los adoquines se colocarán directamente sobre la capa de arena ya nivelada, sin ningún tipo de aglomerante; es muy importante decidir por donde iniciar, debido a que en lugares con pendientes mayores al 5% se debe comenzar por el punto más bajo y continuar pendiente arriba.



Imagen 2.7: Colocación de adoquines en pendientes

Fuente: Manual Euroadoquín. Ejecución de los pavimentos de adoquines.

De los primeros adoquines colocados dependerá que los sucesivos elementos puedan obtener el resultado deseado, es decir que se debe tener un cuidado especial sobre todo al inicio de los trabajos con los patrones de colocación a seguir y con el ángulo exacto en el que se deben colocar los elementos. La separación máxima que se acepta entre adoquines es aproximadamente de dos a tres milímetros. La penetración o fijación preliminar de los elementos se conseguirá mediante un pisón de madera con el cual se acomodaran y nivelaran los adoquines.

Como ya fue mencionado anteriormente, no es aceptable por ningún motivo pisar la capa de arena sobre la que se colocarán los adoquines, por otro lado también se debe evitar la concentración de cargas sobre el adoquín ya colocado, provocadas por el apilamiento del material o por el exceso de operarios.

Para poder seguir un patrón uniforme de colocación tanto longitudinal como transversalmente, se pueden utilizar hilos o cordeles a lo largo y ancho de la vía, colocados mediante estacas de madera o trozos de varilla. Para la implantación de estos hilos se toma como referencia la dirección de los bordes de confinamiento.

Gracias a la colocación de estos hilos o cordeles ubicados a 90° se puede comprobar continuamente la linealidad de los elementos.

Cuando se utilizan adoquines rectangulares, generalmente se sigue el patrón de “espina de pescado”; todas las demás formas pueden colocarse con el patrón que elija el Contratista, es necesario que se instalen perpendiculares al eje de la vía y sin cambiar el sentido al doblar esquinas o seguir trazados curvos, esta es una manera de garantizar el óptimo desempeño del pavimento.

Para mejorar los rendimientos en la construcción de este tipo de pavimento es aconsejable seguir las siguientes recomendaciones:

- Para agilizar el trabajo en la colocación de adoquines a 90° , simplemente se puede dejarlos caer sobre la cama de arena con una alineación aproximada, y una vez que se avance en un tramo de dos a tres metros se corrigen las desviaciones del tramo completo colocando un tablón contra el borde libre y golpeándolo cuidadosamente con un mazo de goma hasta que las piezas lleguen a la alineación requerida.
- En la colocación de adoquines a 45° , es decir bajo el esquema de “espina de pez”, usualmente el trabajo es realizado entre dos personas, por lo que se recomienda que vayan alternando posiciones, para de esta manera poder corregir las diferencias que hayan ocurrido en la colocación.

Con la aplicación de estos métodos se logrará un adoquinado de calidad y en menor tiempo.

Durante el proceso debe comprobarse que los adoquines queden nivelados, no es aceptable que las piezas queden “cabeceadas”; cuando esto ocurre se soluciona

fácilmente golpeando suavemente con un mazo de goma en los bordes que sobresalgan de manera anormal antes de la compactación.

Una vez terminada la colocación de los adoquines que entran enteros dentro de la zona de trabajo se realizan los ajustes en las áreas que hayan quedado libres, ya sea por estar cerca de las estructuras de drenaje o a los bordes de confinamiento.

Los espacios mayores al 25% del área de un adoquín deberán ser ocupados con piezas cortadas con la forma necesaria (cortadora hidráulica o un cincel ancho y martillo), pero si el área es inferior al 25%, por la dificultad de cortar una pieza de adoquín tan pequeña, se deberá rellenar con hormigón de 300 kg/cm² como mínimo de resistencia a la rotura por compresión, y su superficie será tratada con la misma textura del adoquín de hormigón²⁶.

Al ser vaciado este hormigón es necesario cuidar los adoquines del alrededor con tiras de plástico para evitar que se ensucien, estas tiras se retirarán una vez que el hormigón haya fraguado.

Luego de terminar con los ajustes se realiza una compactación inicial (opcional), que permitirá que la cama de arena se ajuste al espesor deseado y que los adoquines tomen su posición final, se la realiza por lo menos con dos pasadas desde diferentes direcciones de una placa vibrocompactadora, es recomendable que se realice primero en sentido transversal de la pendiente y ascendente.

Esta compactación no siempre se la realiza debido a que es muy común que algunas piezas resulten rotas o despostilladas por el roce que se produce entre adoquines; si eso ocurre se las debe reemplazar antes de comenzar con el sello de juntas.

El rendimiento para la colocación de los adoquines puede variar entre los 15 m²/día/hombre y 25 m²/día/hombre, dependiendo de las características y organización de la obra.

²⁶ Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002

2.1.5.1.6 Sellado de las juntas

El sellado de las juntas ayuda al buen funcionamiento del pavimento ya que estas son impermeables, siempre y cuando se utilice el material adecuado.

La arena se aplica sobre los adoquines formando una capa fina y seca, procediendo a introducirla en las juntas mediante barrido, con escobas o cepillos de cerdas duras (manual o mecánicamente), en diferentes direcciones y las veces que sea necesario hasta que se llenen las juntas, de tal manera que el pavimento se comporte como un único bloque frente a las cargas.

En el momento de la aplicación de la arena se debe procurar que esté totalmente seca y suelta para que pueda penetrar con facilidad por las juntas; en la arena no deben existir demasiados finos porque con el uso y limpieza del adoquín se produciría un vaciado de juntas.

El barrido se realiza alternado con la compactación final, o si se dispone de personal, se lo hará simultáneo con ésta.

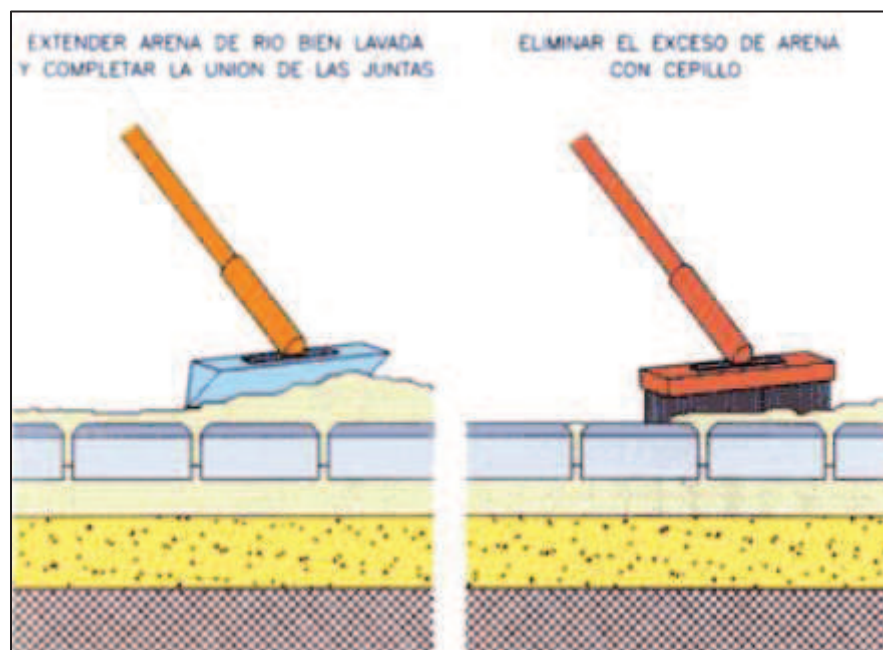


Imagen 2.8: Extendido de arena de sellado

Fuente:

[http://www.construmatica.com/construpedia/Archivo:ColocacionEuroadoquinfoto5.j](http://www.construmatica.com/construpedia/Archivo:ColocacionEuroadoquinfoto5.jpg)

[pg](#)

Se recomienda dejar un sobrante de arena esparcido sobre el pavimento terminado por lo menos durante dos semanas para que cuando ya se permita la circulación vehicular, los carros y las probables lluvias acomoden esa arena sobrante y se consolide el sellado. Sin embargo en muchos casos esto no es posible, debido a que la persona que recibe la obra exige que el pavimento terminado quede limpio; bajo estas circunstancias el constructor deberá efectuar después de dos semanas un nuevo barrido de arena, para rellenar las juntas que se hayan abierto por la circulación vehicular.

Es importante indicar que el sellado de las juntas nunca se lo realizará utilizando mortero, mezcla húmeda, o algún tipo de aglomerante, ya que lo único que se consigue es destruir el pavimento, por la falta de flexibilidad, el sello quedaría quebradizo y se saldría con el tiempo.

Se puede realizar el barrido también con escobas mecánicas, si la magnitud del proyecto lo permite, de esta forma se logrará terminar con el trabajo en menos tiempo, optimizando mano de obra y dinero.

2.1.5.1.7 Compactación final del pavimento

Se entiende que la compactación final que se realiza al pavimento es con el fin de que los adoquines se fijen, asienten y ajusten en el lecho de arena, es decir se busca que toda la estructura funcione como una única capa totalmente llana.

El equipo de compactación no deberá ser muy grande y pesado porque podrían producirse fisuras de las piezas, se utilizan diferentes tipos de equipos dependiendo de las características de las bases del pavimento y de las cargas a

las que va a estar sometido, pero normalmente se recomienda el uso de rodillos lisos tándem de seis a ocho toneladas²⁷.

Antes de empezar la compactación final hay que asegurarse que la superficie tanto del adoquinado como de los rodillos de compactación se encuentren limpios y secos.

En superficies con inclinación la compactación se realizará en sentido ascendente y transversal a la pendiente; cada área del pavimento recibirá al menos cuatro pasadas de los rodillos de compactación, preferiblemente en distintas direcciones.



Imagen 2.9: Compactación final del adoquinado

Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

En cada pasada se debe tener muy en cuenta que se debe cubrir toda el área del adoquinado, excepto los lugares muy cercanos a los bordes de confinamiento y estructuras como sumideros; ya que son áreas pequeñas de difícil acceso para maquinaria, por lo que se las compactará manualmente.

²⁷ Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002

Al terminar con la compactación se revisan las juntas debido a que la arena puede asentarse y por ende la junta quedar parcialmente vacía, en estos casos es necesario volver a realizar un barrido de arena pero limitándose al área afectada.

Después de terminada la compactación y revisadas las juntas se procede con la limpieza final del adoquinado.

2.1.5.1.8 Limpieza final

El proceso final de limpieza se realiza cuando ya se va a entregar la obra y consiste en eliminar el exceso de agregado fino que haya quedado sobre el adoquinado, esto se realiza simplemente con un barrido y tratando de evitar en lo posible el uso de agua.

Se recomienda que después de quince días de terminada la construcción del pavimento, cuando se regrese a revisar las juntas, se realice una nueva limpieza, esta vez sí se podrá usar agua, pero no se la regará a chorros sino con una cierta inclinación evitando que pueda arrastrar el material de las juntas.



Imagen 2.10: Limpieza del adoquinado con agua

Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

Terminada la limpieza el adoquinado está listo para entrar en servicio; se debe tener en cuenta que como todo tipo de pavimento para que funcione adecuadamente y llegue a su vida útil proyectada sin problemas debe tener un mantenimiento continuo.

2.1.5.1.9 Mantenimiento

El mantenimiento de este tipo de pavimentos es realmente sencillo, consiste únicamente en limpiar la vegetación que podría crecer en las juntas y rellenarlas nuevamente con arena. Este proceso se lo debe realizar con un periodo de más o menos un año, dependiendo de las características de la zona.

Por otro lado debemos indicar que el mantenimiento no solo consiste en identificar el daño que ha sufrido el pavimento, sino también en anticiparse a que éste ocurra realizando chequeos continuos de la superficie adoquinada.

Dentro del mantenimiento también podemos realizar el cambio de adoquines que se hayan roto o fisurado por el paso de vehículos.

2.1.5.2 Adoquinado para tráfico liviano

Este tipo de adoquinado se utiliza generalmente en zonas de tráfico peatonal como aceras y plazas. Actualmente también es muy común su utilización en ciclo vías, ya que la carga que soportará no es muy elevada, por este motivo su construcción es más sencilla.

2.1.5.2.1 Proceso constructivo

Se comenzará por la colocación de los bordes de confinamiento para delimitar el área a adoquinar, dependiendo de la profundidad y el estado del suelo se colocará una pequeña capa de tierra hasta que la superficie sea la apropiada; como ya se explicó anteriormente la subrasante debe estar nivelada y compactada, seguidamente se colocará la capa de arena con un espesor de cincuenta milímetros.

De igual forma que para el adoquinado vehicular solo se extenderá arena en el área que se vaya a cubrir con el adoquín en la jornada de trabajo, no se puede dejar arena a la intemperie de un día para otro. Por facilidad de trabajo se recomienda no extender la arena en áreas muy grandes, se acepta una longitud máxima de cuatro metros.

Se nivela la arena y se procede con la colocación de hilos o cordeles a lo largo y ancho del proyecto, éstos ayudan para poder seguir un patrón de colocación de los adoquines. Una vez terminado este proceso se puede empezar con la colocación de los elementos, evitando pisar la arena ya nivelada.

Se colocan los adoquines sin ningún tipo de aglomerante, siguiendo un patrón de colocación previamente definido. Finalmente se procede con el sello de juntas, compactación y limpieza del adoquinado para que pueda entrar en servicio enseguida de su terminación.

Como se puede ver el proceso de construcción de este tipo de adoquinado es el mismo que para el de tráfico pesado, con la diferencia de que éste no necesita igual número de capas, debido a que la carga a soportar es mucho menor.

El mantenimiento se lo realizará de igual manera y en caso de lugares en los que se use el adoquín como decoración se podrán también limpiar si se presentan manchas, pero teniendo especial cuidado con el producto que se utilice debido a que hay químicos que pueden alterar las características propias del hormigón.

2.1.6 TIPOS DE COLOCACIÓN²⁸

Existen diferentes patrones para la colocación en obra de los adoquines, esto se refiere a la manera de cómo van unos junto a otros siguiendo un alineamiento respecto al eje de la vía; principalmente depende del tipo o modelo de adoquín, la geometría de la zona a pavimentar y del uso que se le vaya a dar, por ejemplo para lugares de tráfico pesado se preferirá un patrón en el que la trabazón de los elementos sea óptima, y por otro lado en lugares con fines arquitectónicos se

²⁸ Manual para uso del adoquín. Rafael García Sáenz. PDF

podrá utilizar cualquier tipo de patrón que sea agradable a la vista, ya que son elementos con grandes posibilidades expresivas.

Para todos los tipos de colocación de debe tener una atención y cuidado especial en los primeros elementos que se coloquen, ya que éstos establecen el ritmo y patrón de los elementos restantes.

2.1.6.1 Colocación en hilera

Para adoquines en forma de cruz o trébol ésta es la manera más fácil y común de colocación en obra, ya que si se tiene especial cuidado en la fijación de los primeros elementos los siguientes solo deben seguir el mismo orden, teniendo siempre como referencia los hilos o cordeles colocados en los bordes. Este tipo de aparejo presenta una buena acción de ligazón entre piezas, por lo que funciona correctamente bajo tráfico rodado, pero siempre deben ser puestos transversales al eje principal de la vía.

Si se utilizan adoquines cuadrados o rectangulares se recomienda que si el tráfico que va a soportar es demasiado alto se coloquen las piezas con el modelo “media formación”, es decir que las juntas de la fila anterior coincidan en la mitad del adoquín de la fila siguiente (trabadas), con esto se logra tener un mayor nivel de ligazón.

20	21	22	23	24	25	26						
14	15	16	17	18	19							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Imagen 2.11: Patrón de colocación en hilera

Fuente: Selección y colocación de los adoquines de concreto. PDF

2.1.6.2 Colocación en espina de pescado

Este es el modelo idóneo y por ende más usado y recomendado para vías de tráfico vehicular y calles con pendientes, ya que por la colocación de las piezas a 45° y 90° respecto al eje de la vía se logra una muy buena trabazón y adherencia por lo que se vuelve un pavimento totalmente estable.

Brindan mayor resistencia a los desplazamientos horizontales producidos por el frenado, acelerado y giro de las llantas de los vehículos.

Para los ajustes de este pavimento se necesitan piezas de adaptación en los bordes de la vía, éstas generalmente se realizan cortando los adoquines según la forma deseada, o simplemente si el espacio es muy pequeño se rellena con mortero.

Existen diferentes modelos para la colocación de las piezas en espina de pescado, dependerá del material que se disponga y del gusto del Constructor.

En la imagen 2.12 podemos apreciar los patrones de colocación para este modelo de adoquinado.

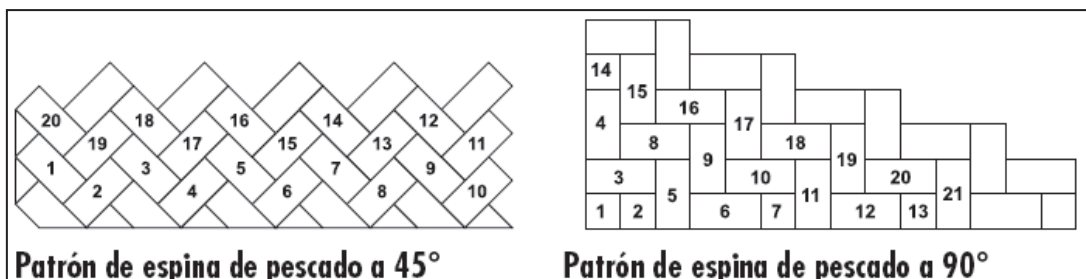


Imagen 2.12: Patrones de colocación en espina de pescado

Fuente: Selección y colocación de los adoquines de concreto. PDF

2.1.6.3 Colocación en espiga

Este patrón de colocación es similar al de espina de pescado, la única diferencia es que puede ser colocado en el mismo sentido del eje principal de la vía por lo que el nivel de trabazón es menor.

Se utiliza generalmente en zonas de tráfico ligero como ciclovías o áreas peatonales.



Imagen 2.13: Colocación en espiga

Fuente: Manual para uso del adoquín. Rafael García Sáenz. PDF

2.1.6.4 Colocación en bloques o parque

Este patrón de colocación no ofrece un nivel de trabazón alto por lo que solo debe usarse para lugares con fines ornamentales y estéticos como plazas o aceras; los adoquines pueden ser colocados en pequeños bloques, agrupando dos o tres piezas o ubicándolos alrededor de un adoquín central.

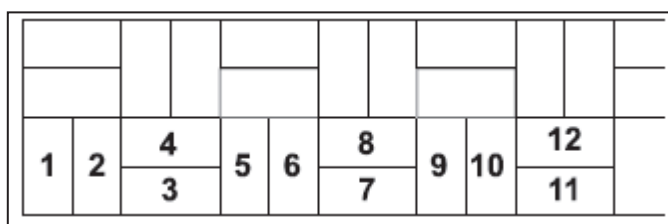


Imagen 2.14: Patrón de colocación en parque

Fuente: Selección y colocación de los adoquines de concreto. PDF

Generalmente para este tipo de colocación se utilizan adoquines de forma rectangular o cuadrada que pueden ser colocados a gusto del Constructor para formar los modelos deseados.

En caso de querer usar este patrón para tráfico vehicular será necesario primero colocar una base de mortero para asegurar que las piezas no van a levantarse o moverse por el paso de vehículos.

Los modelos más comunes de adoquinado tipo parqué son los siguientes:

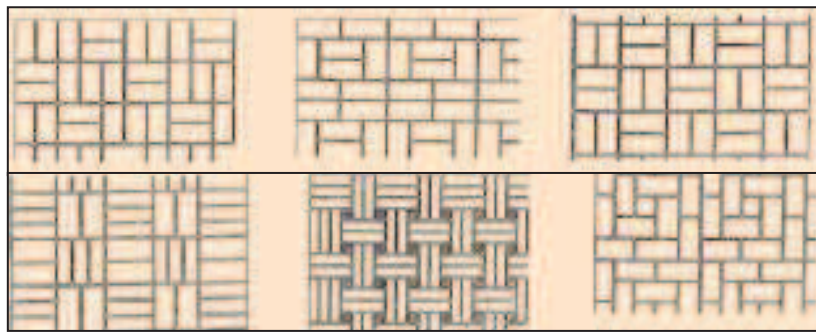


Imagen 2.15: Colocación en bloques o parqué

Fuente: Manual para uso del adoquín. Rafael García Sáenz. PDF

2.1.6.5 Colocación en mosaico

Al igual que la colocación en parqué el estilo mosaico solo se podrá utilizar en lugares con fines estéticos ya que no presentan un nivel óptimo de trabazón entre piezas y pueden sufrir severos daños cuando se los utilice para cargas pesadas y continuas.

Para este tipo de colocación se utilizarán adoquines de diferentes formas y colores para lograr el estilo deseado por el Constructor.

Dentro de este patrón podemos encontrar también el adoquinado en forma de arco y circular. Para conseguir que el acabado sea perfecto hay que tener en cuenta que las piezas empleadas sean del mismo espesor.

Para la colocación de las piezas primero se debe tener bien definido el modelo o figura que se quiere obtener, muchas veces el adoquinado tendrá que comenzar desde el centro y seguir colocando los elementos hacia los bordes, la decisión final será del Constructor.

Por la naturaleza de este pavimento es necesario tener más cuidado en el sello de las juntas; normalmente serán juntas mayores que en el adoquinado convencional por lo que la trabazón mas dependerá de cómo se las selle.

En las imágenes siguientes se indican algunos modelos de este tipo de adoquinado:

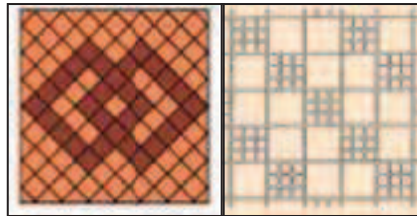


Imagen 2.16: Colocación en mosaico

Fuente: Cerámica Cuesta. Catálogo de adoquines 2011

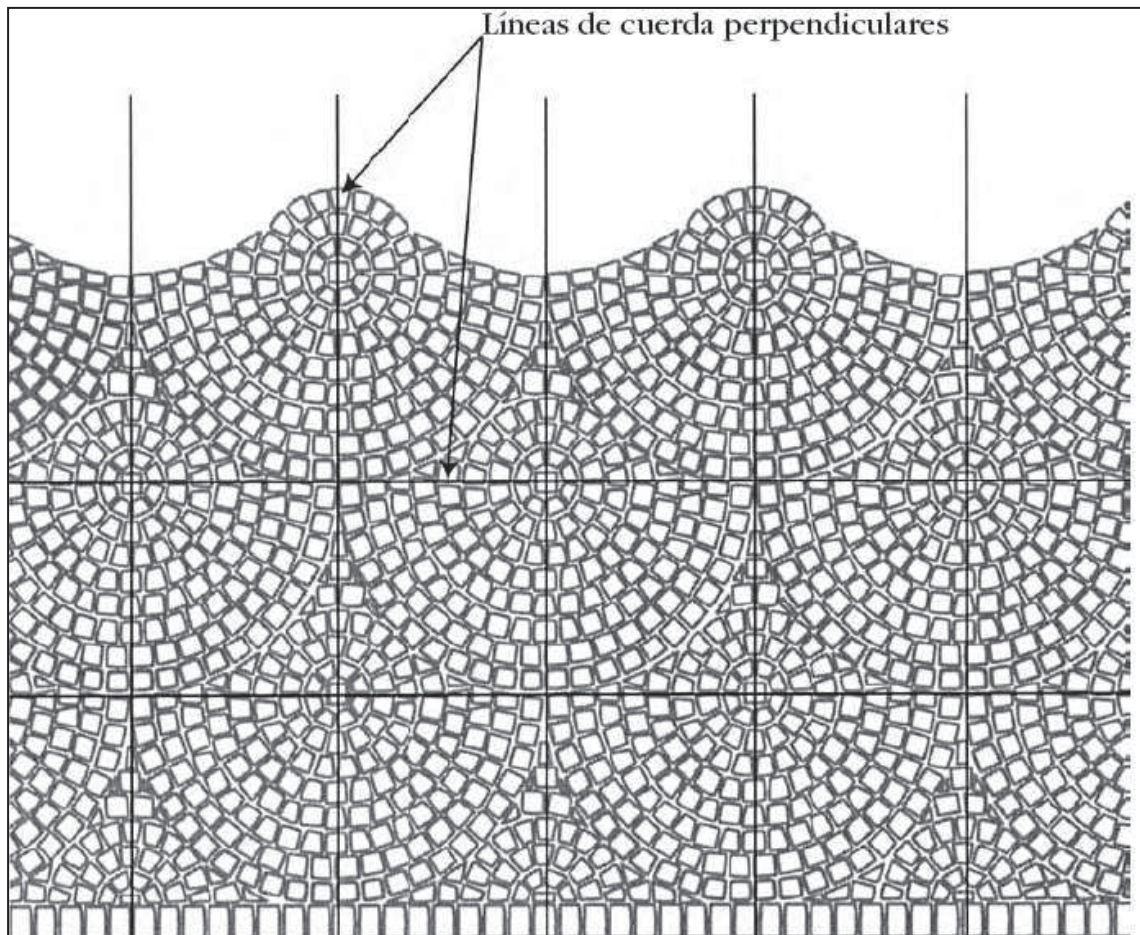


Imagen 2.17: Colocación circular

Fuente: Selección y colocación de los adoquines de concreto. PDF

En la colocación circular primero se debe colocar cuerdas perpendiculares tanto longitudinal como transversalmente con una distancia definida, en las intersecciones se fijaran las piezas que funcionan como centros de los círculos, alrededor de éstas se continua con la fijación de las demás piezas hasta conseguir el modelo deseado. Pueden emplearse tantos modelos y colores de adoquines como uno desee.

CAPÍTULO 3

3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ADOQUINADO

3.1.1 INTRODUCCIÓN

Con el propósito de conocer el funcionamiento de este tipo de pavimento debemos indicar que como toda estructura, el adoquinado presenta ventajas y desventajas, tanto en la etapa de construcción como posteriormente cuando ya se encuentra en uso; estos factores deben ser analizados cuidadosamente para definir si conviene o no la construcción de este tipo de pavimento.

3.1.2 VENTAJAS DEL ADOQUINADO

El uso de adoquines como elementos de pavimentación presenta múltiples ventajas tanto estructural como estéticamente y bajo condiciones de cargas pesadas y livianas; a continuación se indican las principales:

- Fabricación:

Para la elaboración de los adoquines solo se necesita de materiales de origen pétreo, de fácil utilización y modulación, al contrario de lo que sucede con los pavimentos flexibles en los que es necesario el uso de materiales derivados del petróleo, que además de caros son contaminantes.

Existe control en la fabricación de cada pieza y pueden ser considerados productos mucho más fiables y consistentes para pavimentos, como su fabricación es relativamente sencilla se lo considera un elemento bastante barato.

- Aspecto:

Los adoquines actualmente pueden ser fabricados con distintas texturas, tonalidades, formas y colores, agregándole un valor estético a los pavimentos.

Gracias a la variedad de formas se ofrece una perfecta combinación entre técnica y estética, ya que con la combinación de piezas podemos formar muchos tipos de tramas, además presentan la posibilidad de combinación con otros materiales de acabado.

Por ser elementos simétricos inducen la sensación de orden en la vía.

- Impacto ambiental

La construcción con adoquines genera un impacto ambiental muy bajo debido a que es un producto fácilmente reciclable y tanto para su fabricación como para su puesta en obra no ocupa mayor cantidad de energía en relación con otros tipos de pavimentos.

- Colocación en obra

La principal ventaja dentro de la obra es que para la colocación de las piezas no se necesita de maquinaria especializada, pueden ser colocadas manualmente, de manera sencilla y con pocas herramientas, no intervienen procesos térmicos ni químicos, es decir el costo final de colocación por m² será mucho más barato que en otros tipos de pavimentos.

Genera empleo para la mano de obra local tanto en la producción como en el manejo e instalación.

Al ser los adoquines elementos pequeños presentan facilidad de manejo, almacenamiento y montaje, por lo que se pueden realizar pavimentaciones dentro de áreas de difícil acceso, además de que se adaptan a cualquier variación en el alineamiento horizontal y vertical de la vía.

La instalación de los adoquines no depende de la temperatura ambiente como ocurre con el asfalto, esto implica una reducción en tiempos de construcción.

Los adoquinados pueden abrirse al tráfico inmediatamente después de su ejecución, no existen tiempos de espera para que los aglomerantes adquieran la resistencia necesaria.

No es necesario realizar juntas de dilatación por lo que se aprecia un pavimento continuo.

Si en el futuro se desea realizar algún tipo de reforma en las instalaciones subterráneas o en el mismo pavimento se logra fácilmente solo levantando los elementos y reutilizándolos posteriormente en su misma posición. Esto implica un gran ahorro económico y evita los habituales parches que se producen en otros pavimentos.

- Durabilidad

Si la calidad con la que fueron fabricados los adoquines es buena se garantiza su durabilidad y resistencia a la abrasión del tránsito y acciones de la intemperie.

Los adoquines son elementos de vida útil casi ilimitada, y la resistencia al deslizamiento se mantiene siempre por encima de otros pavimentos.

La estructura del pavimento es diseñada para una vida media de más de veinticinco años, mientras que en los pavimentos flexibles es máximo de siete años.

Son elementos resistentes al vertido de combustibles, aceites, grasas y lubricantes en general.

No sufren deformaciones a causa de las altas temperaturas del verano, ni tampoco daños por efectos de heladas.

- Mantenimiento

Generalmente en los pavimentos el mantenimiento es el proceso más costoso debido a que se debe destruir y retirar el material; en el caso de los adoquines esto no sucede debido a que todo el material es recuperable.

El mantenimiento y la limpieza son sumamente sencillos, por lo que el costo es bajo.

No requiere de sobrecapas para mantener un buen nivel de servicio como es el caso de los pavimentos asfálticos.

Facilidad para cambio de piezas que hayan sufrido daños.

- Costos

El uso de pavimentos de adoquín es significativamente más barato que cualquier otro tipo de pavimento debido a que no requiere de maquinaria ni mano de obra especializada, los materiales se los consigue fácilmente y la instalación de los elementos es sencilla.

A largo plazo también podemos notar un ahorro en lo referente a mantenimiento, ya que la vida útil de un adoquinado es mucho mayor que la de cualquier otro tipo de pavimento.

3.1.3 DESVENTAJAS DEL ADOQUINADO

La única gran limitación que presentan los adoquinados es la velocidad de circulación. No se pueden construir pavimentos de este tipo en vías en donde los vehículos transitan a más de 60 km/h, la razón es que por la gran cantidad de juntas que unen los elementos se pueden producir saltos en los vehículos por exceso de velocidad y la circulación se volvería incomoda e inestable.

Por otro lado la construcción del pavimento es un poco lenta debido a que los elementos se colocan uno por uno, pero a la larga no influye en el comportamiento ni costo de la estructura.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado comprobar que la construcción de pavimentos articulados resulta completamente beneficioso, no solo por su buena resistencia a cargas y larga durabilidad, sino también porque su costo de construcción y mantenimiento es relativamente bajo.
- Los adoquines de concreto son elementos que responden bien frente a las condiciones ambientales adversas como heladas y temperaturas altas.
- Para obtener adoquines y posteriormente adoquinados de excelente calidad y que cumplan con los requisitos de las normas de la construcción actuales, es necesario siempre realizar ensayos en laboratorios de los materiales empleados.
- Los adoquinados pueden ser construidos también con fines estéticos por la gran variedad de modelos de colocación que existen actualmente.
- Se puede construir adoquinados en lugares de difícil acceso y con pendientes pronunciadas.
- Con la utilización de este manual en la construcción de pavimentos articulados podemos ahorrar tiempo y dinero que antes perdíamos por la falta de información de los procesos que debían seguirse, o porque la mano de obra no era calificada.

RECOMENDACIONES

- La principal recomendación para la construcción de adoquinados es usar materiales de buena calidad, que cumplan con los requisitos descritos en este manual.
- De preferencia la fabricación de adoquines debe ser con métodos semi – automáticos o automáticos para conseguir elementos de mejores características.
- La estructura del pavimento debe ser construida teniendo como referencia los espesores y el grado de compactación descritos, para asegurar el buen funcionamiento en el tiempo de uso proyectado.
- Se sugiere implementar un plan de mantenimiento periódico para la estructura y para los sistemas de drenaje.
- Es necesario analizar todas las características de un adoquinado, sus posibles ventajas y desventajas de construcción, para el momento de la construcción tomar las mejores decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C; Adoquines de Concreto; Segunda reimpresión 1989; Editorial Limusa.
- REVISTA: LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN; Pontificia universidad Católica Del Ecuador; Facultad de Ingeniería.
- BRITISH STANDARDS; Concrete paving blocks – Requirements and tests methods; May 2003.
- UNIVERSIDAD DE ALICANTE; Manual Euroadoquín.
http://sirio.ua.es/cat/manual_euroadoquin.pdf
- ARTÍCULO 510-07; Pavimento de adoquines de concreto.
ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Especificaciones/Articulo510-07.pdf
- ARTÍCULO 22.33; Adoquines de hormigón para pavimentos.
http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/CondTecnPav/22_33.pdf
- PAVIMENTO ARTICULADO.
<http://www.adoquinesdehormigon.com.ar/>
- CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE HORMIGÓN.
<http://www.icpa.org.ar/publico/files/pavadoq.pdf>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1483; Adoquines. Terminología y clasificación.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1484; Adoquines. Muestreo
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1485; Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión.

- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1486; Adoquines. Determinación de las dimensiones, área total y área de la superficie de desgaste.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1487; Adoquines. Determinación de la porción soluble en ácido del árido fino.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN; Norma Técnica INEN 1488; Adoquines. Requisitos
- RESUMEN MATERIA; Morteros y Hormigones; Escuela Politécnica Nacional; Escuela de Formación de Tecnólogos; Carrera Administración de Proyectos de Construcción.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS; Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002; Quito 2002.
- MANUAL PARA EL USO DEL ADOQUÍN CERÁMICO; Rafael García Sáenz; Madrid Marzo 2004.
<http://www.hispalyt.es/Uploads/docus/MANUAL%20PARA%20USO%20ADOQUIN%20def.pdf>
- UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR; Facultad de Ingeniería; Alcázar G; Estudio de Adoquines; Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil.
- NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA; NTG 41086; Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones.
- NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA; NTG 41087 h2; Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto.