

COLOCACIÓN MECANIZADA DE ADOQUINES DE CONCRETO EN LOS PAÍSES BAJOS

Houben, Lambert J.M.

Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering and Geosciences
P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, PAÍSES BAJOS
Tel.: +31-15-2784917, Fax.: + 31-15-2783443, l.j.m.houben@tudelft.nl

Knol, J.

National Information and Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space
CROW, P.O. Box 37, 6710 BA Ede, PAÍSES BAJOS
Tel.: +31-31-8695377, Fax.: +31-31-8621112, knol@crow.nl

Nota: La siguiente es la notación utilizada en este documento: (.) para decimales y () para miles. Las monedas se expresan como: €\$ Euros y US\$ Dólares de los Estados Unidos de América. Tasa de cambio aproximada (2009-08) = \$€ 0.7 / US\$ 1,0.

Resumen

Este documento trata de una serie de aspectos relacionados con colocación mecánica de adoquines en los Países Bajos. Desde hace décadas están disponibles equipos para la colocación mecánica de unidades nuevas y, recientemente, se han desarrollado equipos prometedores para reinstalar adoquines ya usados. Sin embargo, la participación de la pavimentación mecánica no es más del 3%; en otras palabras, el 97 % de la enorme cantidad de adoquines se instalan, se ponen manualmente.

La existencia de un mercado de pavimentos de adoquines muy dividido, se considera uno de los motivos para la baja participación de la colocación mecánica dentro de éste. Este mercado consiste en miles de clientes, un gran número de unidades diferentes para pavimentación [en adelante se designan como adoquines] (producidos por decenas de fabricantes), manejados por muchos miles de adoquinadores, empleados por algunos miles de contratistas, en su mayoría (muy) pequeños.

Por otra parte, el grupo de adoquinadores se está reduciendo y envejeciendo, por ser una actividad menos atractiva para los jóvenes, lo que está llevando a una continua pérdida de experiencia. Además, la legislación sobre las condiciones de trabajo se está volviendo cada vez más rigurosa, para reducir la carga de trabajo y las quejas físicas de los adoquinadores.

Desde el 1 de enero de 2007 rige una nueva reglamentación del Ministerio de Inspección de Trabajo, que exige colocación mecánica de adoquines en muchos casos: si un espacio único tiene más de 1 500 m² y se adoquina con adoquines nuevos, se tiene que hacer con colocación mecánica, independientemente el peso del adoquín. Si se mantiene, esta reglamentación será un estímulo importante para el crecimiento de la pavimentación mecánica.

Bajo ciertas condiciones (por ejemplo un trabajo sencillo de ejecutar, un sitio de trabajo de suficiente tamaño y ancho, y la máquina colocadora está en funcionamiento la mayoría de las horas de trabajo) la pavimentación mecánica es preferible en comparación con la colocación manual porque:

- Menos adoquinadores y ayudantes desertarán debido a la carga física.
- Los alrededores experimentan menos problemas debido a la mayor producción diaria.
- Los costos de inversión son más bajos por m².

1. INTRODUCCIÓN

En los Países Bajos, los pavimentos de adoquines se han construido a gran escala durante siglos. Incluso hoy, la gran mayoría de la colocación de adoquines se hace manualmente. La proporción de colocación mecánica se limita al 3%. Por razones diversas, como las leyes más rigurosas sobre las condiciones laborales de los adoquinadores y una creciente escasez de adoquinadores, la porción de pavimentación mecánica tendrá que aumentar en el futuro. Por lo tanto, en 2007, el Working Group of the National Information and Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space (CROW) [*Grupo de Trabajo de la Plataforma Nacional de Información y Tecnología, Infraestructura y Espacio Público (CROW)*] realizó un estudio de la información disponible con respecto a la colocación manual y mecánica, y las objeciones (subjetivas) contra las posibilidades de la colocación mecánica. Este documento es un resumen del informe del Grupo de Trabajo (CROW, 2007).

La Sección 2 contiene descripciones breves de los métodos de colocación de adoquines. Se analizan la “pavimentación manual” y la “colocación manual”, y las ayudas mecánicas. A continuación, se describen algunas máquinas para la colocación mecánica de adoquines nuevos. Por último, se describen algunas máquinas de reciente desarrollo, para la colocación de adoquines usados.

En la Sección 3 se da una reseña breve del mercado de la pavimentación. En general, se presentan datos sobre la aplicación de pavimentos de adoquines, los adoquines disponibles, el tamaño de la pavimentación, y la evolución del número y tamaño de los contratistas y de adoquinadores.

La Sección 4 se refiere a las condiciones de trabajo para los adoquinadores. Luego se discute la carga de trabajo y las quejas de los adoquinadores sobre la salud física, y la legislación sobre esto.

La Sección 5 presenta una comparación, desde el punto de vista económico, de los diversos métodos de pavimentación.

Por último, la Sección 6 contiene las conclusiones.

2. MÉTODOS DE PAVIMENTACIÓN

La colocación de adoquines se realiza en los Países Bajos de dos (2) maneras: pavimentación y colocación. La pavimentación tradicional siempre se hace manualmente; la colocación se hace tanto manualmente como mecánicamente.

2.1 Pavimentación

La pavimentación tradicional con adoquines, según el método típico holandés, se hace con una cuadrilla de colocadores que, casi siempre, se compone de un adoquinador calificado y un ayudante.

En su mayoría, los adoquinadores se arrodillan sobre la subbase de arena, la cual se ha nivelado bruscamente. Cuando se usa una base, el adoquinador se arrodilla sobre la capa de arena suelta para asentar los adoquines. El adoquinador trabaja hacia atrás y golpea con un martillo cada adoquín, para que penetre dentro de la subbase o la capa de asiento de arena (Véase la Figura 1, izquierda). Cuando se ponen adoquines de concreto, ladrillos de arcilla cocida [adoquines de arcilla] o adoquines de piedra natural [adoquines], se usa un martillo de acero, y si son tabletas o losetas de concreto o de piedra natural, se usa un martillo de caucho.

El ayudante pone los adoquines sobre la subbase o la capa de arena, de tal forma que el adoquinador siempre tenga suficiente material disponible para colocar. Por otra parte, el ayudante realiza todos los trabajos adicionales, como el suministro de la arena que falta para la subbase o la capa de arena, el corte de las unidades, cuando es necesario, el barrido de la arena de las juntas de la capa superior

y la compactación del pavimento con vibración. La reinstalación manual de adoquines usados se hace exactamente de la misma manera que la pavimentación con unidades nuevas.



Figura 1. Pavimentación manual, según de método tradicional holandés, (izquierda) y colocación manual (derecha).

2.2 Colocación

En el caso de colocación de adoquines, la subbase o la capa de arena (cuando se usa una base) se nivelan cuidadosamente. Después de esto, los adoquines se colocan sobre la subbase o la capa de arena, lo cual puede ser hecho por el adoquinador o mecánicamente por una máquina.

En comparación con la pavimentación manual, el equipo de adoquinadores es más grande para la colocación manual. Consiste en tres (3) o cuatro (4) personas, debido a las tareas adicionales que hay que hacer (como la nivelación exacta de la arena) y la mayor tasa de producción. Después de la nivelación, la subbase o la capa de arena no se deben alterar de ninguna manera.

En la colocación manual, el ayudante pone los adoquines sobre la capa de adoquines que se terminó previamente. El o los colocadores, ponen las unidades con un alto rendimiento, sobre la subbase o la capa de arena nivelada (Véase la Figura 1, derecha). El colocador permanece de pie o arrodillado.

La reinstalación de adoquines usados, se hace igual que la colocación manual de adoquines nuevos.

En caso de la colocación mecánica, su rata de producción es más alta que la de la colocación manual. Sin embargo, ese rendimiento mayor es de una cuadrilla más grande de, al menos, cuatro (4) personas. La máquina maneja entre 0,5 m² y 1 m² de adoquines al tiempo. Los adoquines se tienen que suministrar en el patrón de colocación deseado, en “capas más costosas”. La máquina coge de a una capa, con una pinza mecánica o hidráulica o por medio de un sistema de vacío. Las máquinas para la colocación mecánica de adoquines nuevos se encuentran disponibles fácilmente. Algunas máquinas se describirán brevemente en la Sección 2.4.

Recientemente se han desarrollado algunas máquinas para la colocación de adoquines nuevos, que parecen prometedoras. Los adoquines extraídos de la vía, se limpian, en primer lugar, con un palustre o en un tambor rotador, y luego se echan en la máquina. La máquina arregla las unidades en una capa, con el patrón correcto, y la máquina coloca los adoquines uno por uno en el patrón correcto. Estas máquinas se explican en Sección 2.5.

2.3 Equipos auxiliares

Existe una gran variedad de equipos auxiliares (mecánicos) para mejorar las condiciones de trabajo del adoquinador y de su ayudante, durante la pavimentación manual o la colocación de adoquines y

durante otras actividades como la colocación y localización de bordillos pesados. A continuación se presentan algunos equipos auxiliares muy utilizados.

Un *asistente mecánico* es una pequeña máquina auto guiada. Se le pueden colocar varios tipos de auxiliares (Véase la Figura 2, superior izquierda). La máquina es capaz de mover cantidades pequeñas de suelo, mover adoquines, posicionar bordillos, colocar grandes losetas de concreto, nivelar mecánicamente la subbase o la base de arena con una regla enrasadora guiada por láser, barrer la arena para la junta y limpiar el pavimento. Por lo tanto, es realmente una máquina multitarea.

La Figura 2, parte superior derecha, muestra una *regla mecánica para nivelación* de la subbase o de la capa de arena. Esta máquina, en específico, es guiada por láser.

El *levantador de losetas* (Véase la Figura 2, inferior izquierda) consta de una barra horizontal, con dos (2) agarraderas, y una barra vertical con una unidad de vacío. Con este dispositivo sencillo se puede levantar un peso máximo de 20 kg.

La Figura 2, inferior derecha, muestra un *dispositivo para posicionamiento de bordillos*. Es un auxiliar provisto de una unidad de vacío que permite coger, desplazar y poner bordillos en la posición exacta y está conectada con un mini cargador.

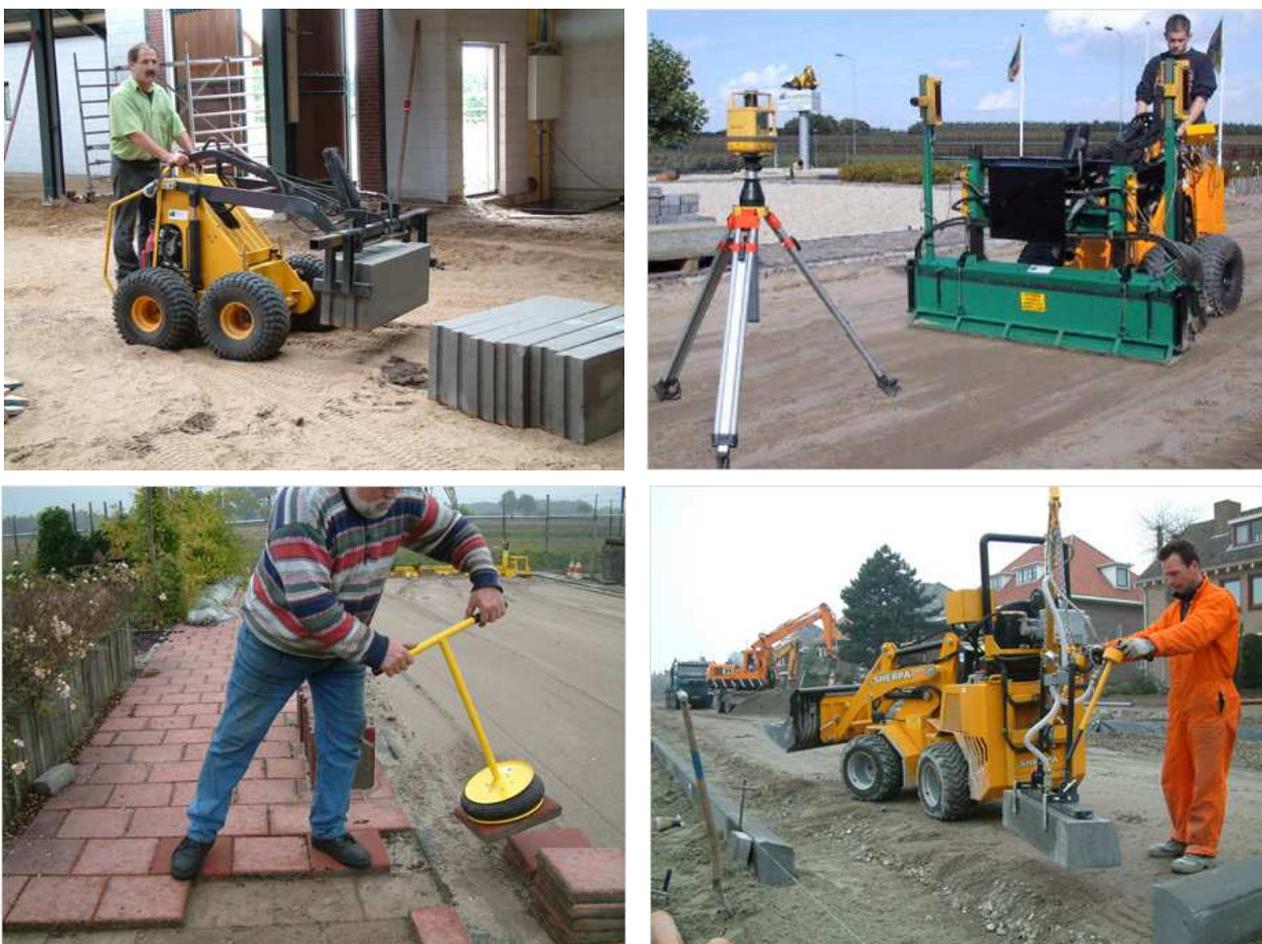


Figura 2. Algunos ejemplos de auxiliares mecánicos.

2.4 Equipos existentes para la colocación mecánica

Desde los años sesenta se hicieron intentos en los Países Bajos para mecanizar la pavimentación con adoquines. Las razones fueron:

- Consideraciones económicas.
- La fuerte disminución del número de adoquinadores.
- La legislación sobre las condiciones de trabajo para mejorar la seguridad, salud física y bienestar de los empleados.

Sólo en el principio de los años ochenta se dispuso de equipos que parecieron ser exitosos. El logro llegó en 1983 cuando se construyó el terminal de contenedores ECT, con 800 000 m² en el área del Puerto de Rotterdam. Se colocaron adoquines de concreto de 120 mm de espesor, con una máquina *Delta-S*, que posee un sistema hidráulico de pinza que opera por los cuatro (4) lados (véasela Figura 3, superior izquierda). Debido a su tamaño, esta máquina es menos adecuada para pavimentación de vías en zonas edificadas, ya que le toma mucho tiempo maniobrar en un espacio limitado, lo que da como resultado la reducción en la producción y el incremento de los costos.

También en los años ochenta se desarrolló la *Schaeff*, que es una máquina bastante grande, provista de un sistema de vacío (Véase la Figura 3, superior derecha). En primera instancia, la máquina sólo podía manejar adoquines de concreto, pero más tardes se le desarrollaron auxiliares que le permiten levantar y colocar en posición losetas y bordillos de concreto.



Figura 3. Ejemplos de máquinas para colocación mecánica de elementos para pavimentación.

Además, en la actualidad se encuentra disponible un gran número de máquinas más bien pequeñas. Éstas se suministran con una pinza mecánica o hidráulica, o una unidad de vacío. Estas máquinas auto guiadas y muy maniobrables, tienen una longitud de unos 4 m, un ancho de unos 1,4 m y una altura cercana a 2 m. Su peso está entre 1 000 kg y 1 200 kg. Los fabricantes reportan un rendi-

miento de 600 m²/d a 1 000 m²/d. En la Figura 3, inferior izquierda y derecha, se muestran ejemplos.

Todas las máquinas mencionadas tienen en común que:

- Sólo son capaces de manejar unidades nuevas. No pueden reinstalar unidades usadas.
- Cada vez se coloca una capa de 0,5 m² a 1 m² de adoquines de concreto o de arcilla cocida (con pequeñas tolerancias dimensionales), o tabletas de concreto.

2.5 Equipos para recolocación mecánica

En los Países Bajos, cada vez es mayor la porción de reinstalación que la de instalación. La de reinstalación es del 70% al 80%. Por mucho tiempo se ha intentado desarrollar máquinas que puedan desempeñar (casi) todas las actividades posteriores, relacionadas con la recolocación, que son el desarmado del adoquinado, la limpieza de los adoquines, y si es necesario, el armar una capa de adoquines en el patrón deseado, y luego colocarla. Recientemente se desarrollaron máquinas para reinstalación de adoquines. Más abajo se describen someramente dos (2) máquinas prometedoras.

La “Paving Stone Layer” es una máquina amigable con el usuario, que puede manejar tanto adoquines nuevos como usados, en espacios de trabajo más pequeños. La máquina consiste en un cajón, dos (2) bandas transportadoras y un brazo con una unidad de vacío. La máquina auto guiada, se coloca en el marco de un remolque (Véase la Figura 4, izquierda).



Figura 4. Máquinas adoquinadoras “Paving Stone Layer” (izquierda) y “Streetwiste 1200” (centro y derecha).

En caso de reinstalación, las unidades previamente limpiadas se arrojan dentro del cajón mediante un cargador pequeño, y se mueven, mediante una banda transportadora, hacia los dos (2) colocadores. Ellos acomodan las unidades en el patrón correcto. A continuación, uno de los adoquinadores pone la capa de $0,5 \text{ m}^2$ en la vía. Un tercer colocador llena el depósito, cuando es necesario, pone las mitras y ejecuta las demás actividades menores. El alcance de la máquina es de casi 4 m, a ambos lados. La producción de la máquina con tres (3) colocadores, es de 200 m^2 a 250 m^2 por día.

La gran ventaja de este equipo es que mejora las condiciones de trabajo del colocador, aunque el rendimiento de producción, en sí mismo, no es muy impresionante.

La “Streetwise 1200” es un vehículo computarizado sobre ruedas, con un brazo robotizado para la colocación y reinstalación de unidades para pavimentación (Véase la Figura 4, derecha). Todo el sistema incluye la planta diesel, la electrónica y las cámaras, que están metidas dentro de un cubículo con cuatro (4) ruedas de desplazamiento independiente, con sobrepresión con el fin de evitar que entre el polvo. Con una información muy simple, como el ancho de la calzada, el formato de los adoquines, el patrón y las tolerancias, que se pueden dar con una precisión de 0,1 mm, la máquina pasa por alto todos los obstáculos debido al sistema GPS, las tres (3) cámaras y las cuatro (4) ruedas. La máquina se detiene tan pronto golpea una persona u objeto. El brazo del robot se desplaza con una velocidad de máximo 3 km/h. La máquina automáticamente emite una señal cuando el almacenamiento de adoquines está casi vacío.

La “Streetwise 1200” es capaz de colocar, de manera completamente automática, los adoquines, uno a uno, en cualquier patrón de colocación. El adoquinador sólo opera un teclado y una *joystic*. La máquina hace el trabajo de tres (3) adoquinadores y puede operar las 24 h del día, en cualquier clima. La producción de la Streetwise 1200 es de 1 200 adoquines /h (200 m^2 a 250 m^2 por día).

Se está desarrollando la “Brickclean 201” para limpieza y arrumado de adoquines usados. Un cargador pequeño descarga los adoquines dentro de la máquina donde se limpian y se colocan, automáticamente, por el lado correcto. Una vez se colocan los adoquines sobre estibas, se le pueden suministrar a las Streetwise 1200.

Además está en desarrollo la “Sidewalk 101”, una máquina para la recogida y posicionamiento de baldosas y bordillos.

3. EL MERCADO DE LA PAVIMENTACIÓN

3.1 Introducción

En el mercado holandés de pavimentación, se tienen una gran variedad de factores. Los pavimentos con adoquines tienen aplicaciones específicas y los construyen autoridades municipales, empresas privadas o personas comunes. El pavimento se construye manualmente o mecánicamente, por parte de adoquinadores independientes o empleados de uno de los contratistas pequeños. Se puede elegir una gran cantidad de adoquines, con respecto al material (concreto, arcilla cocida, piedra), forma, dimensiones, color y precio, que se pueden poner en diferentes patrones. En este capítulo se da un vistazo corto al mercado holandés de los pavimentos, en términos cuantitativos cuando es posible.

3.2 Aplicación de pavimentos con pequeños elementos

En los Países Bajos, alrededor de un tercio del área pavimentada tiene pavimento de pequeños elementos, es decir, pavimento con una capa superior de bloques de concreto, ladrillos de arcilla cocida, tabletas de concreto o prismas de piedra natural. Dentro de las zonas edificadas, sobre todo en el oeste y el norte del país, donde el subsuelo es muy débil y compresible, la participación de los pequeños elementos es, a menudo, (muy) superior (Véase la Figura 5). También es relevante que

en los Países Bajos la infraestructura subterránea (cables y tuberías) con frecuencia se encuentra en la estructura de pavimento. En comparación con los pavimentos de asfalto y de concreto, en los pavimentos con pequeños elementos, los asentamientos se pueden reparar más fácilmente y a menor costo; además, la infraestructura subterránea es más accesible para su reparación o extensión.

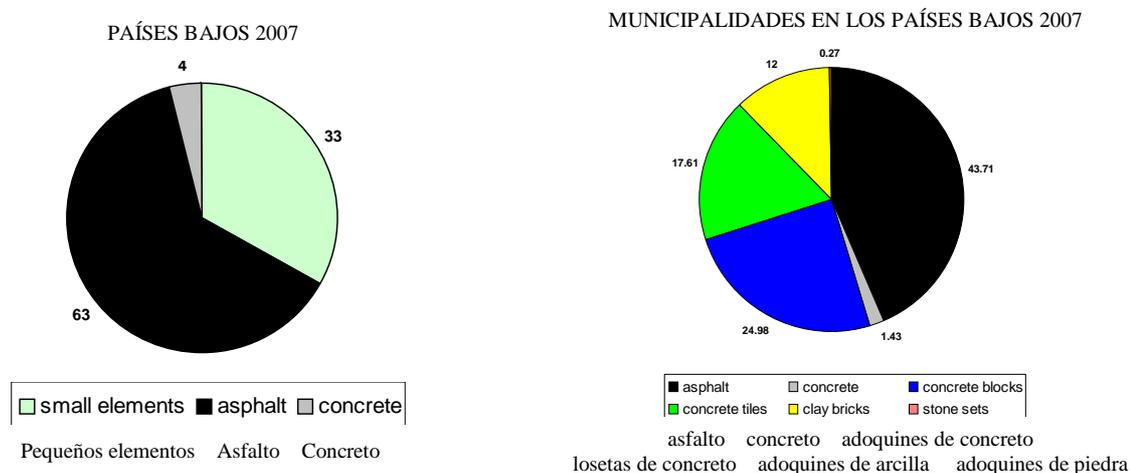


Figura 5. División (%) del área pavimentada en los Países Bajos en 2007. Izquierda: Total de área pavimentada (estimativo). Derecha: Área municipal pavimentada (datos de Oranjewoud Consultants).

Dentro de áreas construidas, los pavimentos de elementos pequeños se usan, especialmente, para:

- Vías (principalmente calles residenciales) y estacionamientos, que no tienen una carga muy alta de tráfico (de camiones); casi siempre se usan adoquines de concreto y de arcilla cocida, más bien pequeños, con dimensiones horizontales de unos 200 mm x 100 mm. Los adoquines se ponen, por lo general, en patrón de hiladas [como los ladrillos o bloques de muros], hiladas diagonales o (especialmente para pavimentos temporales) en tejido de cesta.
- Ciclo rutas y peatonales, donde la mayoría de las veces se colocan tabletas estándar de concreto de (300 mm x 300 mm) en patrón de hiladas.
- Calles comerciales, plazas y centros de ciudades históricas donde la apariencia (estética) del pavimento desempeña un papel importante. En estos pavimentos se usan principalmente, bloques de arcilla cocida (de grandes dimensiones, del orden de 400 mm a 600 mm de lado), tabletas de concreto o adoquines de piedra.
- Patios industriales con carga (muy) alta, tales como terminales de contenedores y otras importantes aplicaciones de pavimentos con pequeños elementos, con una capa base fuerte. Los adoquines de concreto son capaces de soportar los grandes esfuerzos de contacto de los vehículos para fuera de carretera y de contenedores apilados.

La cantidad anual de pavimentos segmentados en los Países Bajos es de unos 35,5 millones de m², y la de nuevos pavimentos segmentados es de dos (2) a tres (3) veces menor que la cantidad de recolocación de pavimentos existentes (que se requiere por los asentamientos, cables y tuberías o daños estructurales). Casi el 100 % de la recolocación y aproximadamente el 92% de la pavimentación nueva son hechas manualmente. Esto significa que sólo el 3% se hace mecánicamente.

3.3 Empresas pavimentadoras y adoquinadores

El número de empresas adoquinadoras se incrementó fuertemente en 1997-2006, debido a la aparición de empresas unipersonales.

La Figura 6, izquierda, ofrece un panorama del número de empresas adoquinadoras oficialmente registradas en el período 2000-2006. El número de empresas adoquinadoras unipersonales pasó de 684 a 1 638, el número de empresas adoquinadoras con uno (1) a nueve (9) empleados, de 778 a 937, y el número de grandes empresas, con 10 o más empleados, ha disminuido de 200 a 142.

El número de adoquinadores ha disminuido fuertemente durante las últimas décadas (Véase la Figura 6, derecha). El número de personas dejando esta rama de la pavimentación es considerablemente mayor que el número de jóvenes iniciando una carrera en ella. Las personas que dejan de pavimentar encuentran trabajos menos exigentes (administrativos) dentro de esa rama, encuentran empleo en otra rama económica, se quedan sin empleo o están discapacitados físicamente.

En septiembre de 2004, el 21% de la adoquinadores eran menores de 25 años, 61% tenían entre 25 años y 44 años; y un 18% tenía 45 años o más. Tal como ocurre en otras ramas de la construcción, el porcentaje del adoquinadores de mayor edad se incrementa permanentemente, de manera especial desde 1997. En 2003, el porcentaje de adoquinadores de más de 55 años había aumentado al 6,5 %.

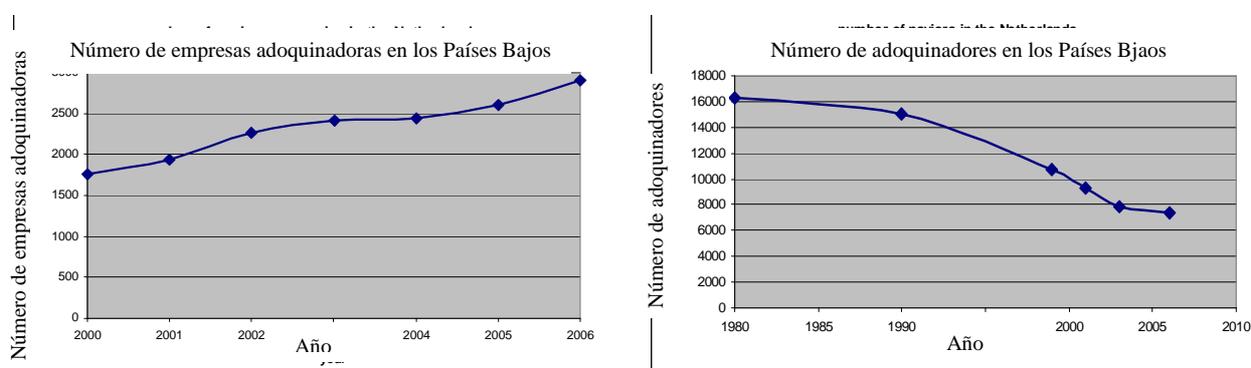


Figura 6. Número de empresas adoquinadoras en el período 2000-2006 (izquierda) y el número de adoquinadores en el período 1980 – 2006 (derecha), en los Países Bajos.

3.4 Descripción general

Parece que el mercado de pavimento en la Holanda es un mercado dividido en muchos aspectos:

- Hay muchos miles de clientes; no sólo todos los municipios (unos 430), sino también muchas empresas privadas y personas privadas.
- El número de unidades para pavimentación es diverso y muy grande, con diferencias en el material (concreto, arcilla cocida, piedra natural), formato (forma y dimensiones), color y precio.
- Los fabricantes producen elementos del mismo formato, a veces con dimensiones horizontales ligeramente diferentes, por lo cual no se pueden usar juntas unidades de diferentes productores.
- Estas unidades son producidas por docenas de fabricantes y son manejadas (manualmente para la mayoría) por miles de adoquinadores que están empleados por unos pocos miles de empresas adoquinadoras, en su mayoría (muy) pequeñas y financieramente débiles.
- La rama de la pavimentación con adoquines se encogiendo, sus empleados están envejeciendo y está siendo menos atractiva para los jóvenes, con lo cual decrece la pericia de esta rama.

4. CONDICIONES DE TRABAJO DEL ADOQUINADOR

Desde un punto de vista físico, ser adoquinador es una profesión exigente. Desde los años ochenta, se han hecho varias investigaciones sobre las condiciones de trabajo y las quejas de salud de los adoquinadores. Ambos, industria y autoridades, han prestado una gran atención para la mejora de las condiciones de trabajo de los adoquinadores. La legislación en este campo se ha vuelto cada vez más rigurosa e intensamente controlada en los sitios de obra.

Una parte considerable de los adoquinadores tienen quejas físicas. Las más frecuentes son las relacionadas con la espalda, pero también se escuchan quejas sobre los miembros superiores (hombros, codos, muñecas, y manos), los miembros inferiores (rodillas) y el cuello (Véase la Tabla 1). Más del 30 % de los adoquinadores tiene quejas físicas debido a su trabajo.

El porcentaje de adoquinadores con licencias por enfermedad ha disminuido fuertemente durante las últimas décadas. Desde el año 2000, este porcentaje es de alrededor del 6 %, que es casi igual al promedio de licencias por enfermedad de todos los trabajadores de la construcción.

Tabla 1. Clasificación de las quejas por problemas físicos de los adoquinadores en 2006.

QUEJA	PORCENTAJE (%)
Dolor o rigidez en los miembros superiores del cuerpo	42
Dolor o rigidez en los miembros inferiores del cuerpo	40
Dolor o rigidez en el cuello	21
Dolor o rigidez en la espalda	50
Quejas por el trabajo	32

En los Países Bajos, un buen número de legislaciones y directrices con respecto a las condiciones de trabajo de los adoquinadores se encuentran vigentes. En este documento sólo se explican las directrices con recomendaciones y las directrices con obligaciones más relevantes, provenientes del Departamento de Inspección del Trabajo del Ministerio Holandés de Temas Sociales.

Los artículos más relevantes de las directrices con recomendaciones del Departamento con respecto a las condiciones de trabajo del adoquinador son:

- El izado manual se debe eliminar o limitar tanto como sea razonablemente posible.
- El peso máximo que debe levantar una (1) persona con sus brazos debe ser 25 kg.
- El peso máximo que deben levantar dos (2) personas con sus brazos debe ser 50 kg, siempre y cuando hay suficiente espacio para moverse.
- Los adoquines de concreto o ladrillos de arcilla, de más de 4 kg, no se deben manejar a mano.
- Las losetas de concreto con un peso de más de 9,5 kg, no se deben manejar a mano.

Desde el 1 de enero de 2007 rige una nueva directriz de recomendaciones del Departamento, que exige que las unidades se coloquen con máquina si se adoquina un área de más de 1 500 m² con adoquines nuevos, sin importar el peso de las unidades.

Desde esa misma fecha, también rige una nueva ley sobre las condiciones de trabajo. Tener unas buenas condiciones de trabajo es responsabilidad conjunta de los clientes y los contratistas. Las autoridades estimulan el desarrollo de material impreso sobre las condiciones de trabajo para los sectores de la construcción y para los sitios de obra. El Departamento actúa, de manera especial, contra los clientes y contratistas que no reducen los riesgos asociados con el trabajo. El monto de la pena máxima se duplicó con referencia a la ley anterior.

5. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE LA COLOCACIÓN MECÁNICA Y MANUAL

El adoquinado manual se puede comparar desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, estética, comportamiento funcional, comportamiento estructural y valoración económica. A continuación se compara desde el punto de vista económico, donde se debe resaltar que en los Países Bajos, los costos laborales son bastante altos y, por lo tanto, los de materiales y equipos son relativamente bajos.

En 2003 se hizo un estudio sobre los efectos del uso de dispositivos que brindan mejores condiciones de trabajo para los adoquinadores. Se compararon los costos de la colocación manual con los

beneficios de usar una pinza hidráulica o un sistema de vacío para colocación mecánica de adoquines. Los puntos de partida para el cálculo de los costos y beneficios fueron los siguientes:

- Los proyectos nuevos se construyen con adoquines de 80 mm de espesor, de formato rectangular. En el caso de manejo mecánico de las capas de adoquines suministradas por los productores son un poco más costosas que las capas para manejo manual.
- Se distingue entre calzadas estrechas (de máximo 5 m) y anchas, porque en la práctica la producción diaria depende del ancho de la calzada, es decir, del espacio disponible para trabajo.
- Los rendimientos diarios promedios de colocación se basan en mediciones en obras.
- Con respecto a los costos laborales, se establece una distinción es entre adoquinadores, ayudantes y conductores (sólo par el sistema de vacío).
- El tamaño de la cuadrilla de colocación es:
 - Para colocación manual, un adoquinador y un ayudante.
 - Para colocación mecánica con pinza hidráulica, un adoquinador y dos ayudantes.
 - Para colocación mecánica con sistema de vacío, un adoquinador, dos asistentes y un conductor.
 - Las máquinas se operan 100 días al año.

El resultado del cálculo de costo es presentan en la Tabla 2, de la que se concluir:

Tabla 2. Costos y beneficios de la colocación manual y mecánica en 2003.

	COLOCACIÓN MA- NUAL		COLOCACIÓN ME- CÁNICA CON PIN- ZA HIDRÁULICA		COLOCACIÓN ME- CÁNICA CON SIS- TEMA DE VACÍO	
	CALLE ESTRE- CHA	CALLE ANCHA	CALLE ESTRE- CHA	CALLE ANCHA	CALLE ESTRE- CHA	CALLE ANCHA
Producción (m²/d)	80	100	195	270	260	360
<i>Costo de materiales (€\$/m²)</i>						
Adoquines de concreto	8.30	8.30	8.80	8.80	8.80	8.80
<i>Costos laborales (€\$/m²)</i>	210	210	210	210	210	210
Adoquinador	183	183	366	366	366	366
Ayudante (s)	-	-	-	-	237	237
Conductor de la máquina	3	3	4	4	5	5
Ropa industrial, etc.	13	13	13	13	13	13
Cantina móvil, etc.	35	35	35	35	35	35
Transporte						
<i>Costo de la máquina (€\$/m²)</i>						
Pinza hidráulica	-	-	124	124	-	-
Sistema de vacío	-	-	-	-	287	287
<i>Costos totales (€\$/m²)</i>	13.85	12.74	12.66	11.59	13.23	12.01
Material	8.30	8.30	8.80	8.80	8.80	8.80
Personal	5.55	4.44	3.22	2.33	3.33	2.41
Máquina	-	-	0.64	0.46	1.10	0.80
<i>Costos totales relativos (%):</i>	109	100	99	91	104	94
Material	65	65	69	69	69	69
Personal	44	35	25	18	26	19
Máquina	-	-	5	4	9	6

- Adoquinar calles estrechas es, aproximadamente, 10 % más caro que pavimentar calles anchas.

- La colocación mecánica es más barata que la colocación manual. La colocación con un sistema de vacío es aproximadamente un 5 % más barato que la colocación manual, y la colocación con una pinza hidráulica es, aproximadamente, un 10 % más barato que la colocación manual.
- Los costos de materiales constituyen la mayor proporción (60% a 76%) en los costos totales. Mientras más ancha sea la calle, mayor será la participación de los materiales en el costo total.
- Los costos laborales son entre el 20% y el 40% de los costos totales. Mientras más ancha sea la calle, menor es la proporción de los costos laborales.
- Los costos de la máquina son entre el 4% y el 8%. Mientras más ancha sea la calle, menor es la proporción de los costos de la máquina.

Parece que la colocación mecánica es algo menos costosa que la colocación manual y la pavimentación manual. Las condiciones previas para esto son: una producción diaria bastante alta, la máquina debe estar en operación durante, al menos, el 50 % del tiempo, y sólo realiza construcción nueva.

A pesar de todo esto, la colocación mecánica no se ha popularizado a gran escala durante los últimos años, en principio porque la mayoría de los contratistas tenían la idea que la colocación mecánica es más cara que la manual. Sin embargo, esta opinión no se sostiene al considerar los costos integrales (laborales, de la máquina, de materiales, por enfermedades, etc.) de la pavimentación.

6. CONCLUSIONES

En los Países Bajos la gran mayoría de las obras de pavimentación son de recolocación. Sólo una parte pequeña (alrededor del 3 %) del adoquinado se hace mecánicamente. Sin embargo, las nuevas directrices del Departamento de Inspección del Trabajo, rigen desde el 1 de enero de 2007: si se va a adoquinar un área de más de 1 500 m² con adoquines nuevos, se tiene que hacer con colocación mecánica, no importa el peso del elemento. Esta regla será, posiblemente, un estímulo importante para aumentar la proporción de pavimento mecánico que es especialmente apropiado, también desde el punto de vista económico, para mayores escalas y obras de pavimentos bastante simples. La tasa de producción grande conduce a menos obstáculos para los vecinos, tiendas y empresas.

Por otra parte, la pavimentación mecánica requiere una mejor organización y logística de las obras, en comparación con un sitio pavimentación manual. Una complicación, al menos en los Países Bajos, es que la gran mayoría de los contratistas son de tamaño (muy) pequeño y no tienen posibilidad de invertir en máquinas adoquinadoras.

Aumentar la proporción de la pavimentación mecánica es deseable porque deberán seguir mejorando las condiciones de trabajo de los adoquinadores, y disminuyen los adoquinadores capacitados.

Los equipos para pavimentación mecánica con adoquines nuevos han estado disponibles durante décadas. Recientemente algunos equipos para la reinstalación mecánica con adoquines usados han entrado en operación y, dada la situación de los Países Bajos, son un desarrollo muy relevante.

A pesar de todos los factores con respecto al adoquinado mecánico, la pavimentación manual siempre mantendrá una porción considerable de la labor de pavimentación. Los trabajos pequeños y/o complejos (diferentes tipos de adoquines, diferentes patrones), sólo se pueden hacer a través de adoquinadores cualificados.

7. REFERENCIA

CROW, 2007. Mechanical Paving (in Dutch). Publication 255, National Information and Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space (CROW), Ede, the Netherlands.