

## Pavimentación con Adocretos, una tecnología amistosa con el medio ambiente

Pedro Andrés Orta Amaro

Facultad de Construcciones de la Universidad Central de Las Villas-UCLV, Santa Clara, Cuba

### Resumen

En este artículo se propone una tecnología de pavimentación que se considera sustentable, para diseñar y construir pavimentos de las vías urbanas de nuevas urbanizaciones, ampliación de áreas perimetrales de las ciudades y otras vías de comunicación terrestres, factible de emplear en países de poco desarrollo tecnológico. La tecnología propuesta permite realizar tanto el diseño de la estructura del pavimento hecho con esas piezas prefabricadas de concreto denominadas: Adocretos, acorde con el tráfico imperante, así como también las técnicas a cumplir para su racional construcción, usando materiales locales, pudiendo alcanzarse bajos costos en comparación con las tecnologías usualmente empleadas, todo lo cual permite clasificar a esta tecnología como sustentable. En el trabajo se resume la experiencia de la aplicación práctica tanto del procedimiento de diseño como constructivo en varios lugares de la región central de Cuba.

### Descriptor

Pavimentación de carreteras, tecnología de pavimentación de carreteras con Adocretos.

### Abstract

*This paper have one propose of technology for design and construction pavement with adocretos for repairing urban ways, new ways in urban areas and other many type of ways. The application this technology is possible by personal not qualification, not use of special machines and using local materials and very much economical than traditional technologies, because this reason could be considerate as sustainable and propose your utilization in countries with low development.*

### Descriptors

*Roads pavement, technology of pavement with Adocretos.*

La mayor parte de la red de carreteras y vías urbanas del mundo ha sido construida empleando pavimentos flexibles para aprovechar los cementos asfálticos que se generan como subproductos en el proceso de refinamiento del petróleo y en mucha menor medida usando los pavimentos rígidos, hechos con hormigón hidráulico.

Generalmente la aplicación de estas tecnologías de pavimentación requieren del empleo de cuantiosos y costosos recursos (plantas de asfalto, centrales de producción de concreto, equipos de transportación, pavimentadoras asfálticas, pavimentadoras de encofrados deslizantes (*slip form pavers*) para la fabricación de estos pavimentos, el empleo de materiales de alto consumo energético como el cemento Portland (The World Watch Institute, 2007, p.190), áridos (piedras, arenas, polvo de piedras) para su elaboración y la contratación de empresas especializadas que rechazan la realización de estos trabajos cuando son pequeños, los que en su generalidad generan impactos ambientales negativos y de consideración, que deben ser eliminados o al menos atenuados o minimizados. Ante tal situación, es necesario la búsqueda y empleo de tecnologías alternativas que puedan ser clasificadas como amistosas con el medio ambiente, sustentables o menos impactantes, para poder pavimentar las calles de las nuevas urbanizaciones, reparar y ampliar la red vial existente en las ciudades, construir parques o estacionamientos en hoteles, puertos, fábricas, construir plazas en ciudades y otras vías de comunicación terrestres, sobre todo

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 25-III | 2009 | pp. 47-58 | Recibido el 27/11/08 | Aceptado el 29/06/09

en aquellos países de menor desarrollo tecnológico y con escasos recursos financieros.

Una de estas tecnologías es la Tecnología de Pavimentación con Adocretos, piezas de hormigón o concreto de diferentes formas, dimensiones, texturas y colores, las cuales se colocan en la capa de superficie de este tipo de pavimento semi-rígido y pueden fabricarse localmente de forma artesanal o industrialmente. Esta tecnología tiene como principal ventaja el posible empleo de materias primas y fuerza de trabajo local no especializada, el empleo para su elaboración de equipos de pequeño tamaño y costo (Máquinas Bloqueras Adoquineras), lo que permite sustituir las variantes tecnológicas mecanizadas de alto rendimiento y costo, como las antes mencionadas, la mano de obra especializada, mayor utilización de materiales locales, todo lo cual hace posible reducir los costos y minimizar el impacto ambiental, en comparación con las tecnologías de pavimentación más usualmente empleadas en la construcción de pavimentos. Por esas razones se ha experimentado un auge en el uso de la tecnología de construcción de pavimentos con adocretos en países desarrollados como Francia, Inglaterra, Estados Unidos, Alemania, Holanda, Australia, etc., aunque la misma se emplea hace decenas de años en numerosos países latinoamericanos: Argentina, Perú, Nicaragua, Colombia, Costa Rica, etc. En otros países del área no se utiliza suficientemente, como es el caso de Cuba, donde desde hace pocos años se ha empleado en la construcción de las vías interiores de obras turísticas, en hoteles, en nuevas urbanizaciones, en la ejecución de plazas, parqueos, etc., dadas las cualidades y ventajas antes mencionadas, así como por la existencia en el mercado cubano de máquinas bloqueras-adoquineras (CIDEM, 2002), las cuales permiten producir dichas piezas con la requerida calidad y con buen rendimiento.

El pavimento de Adocreto es una estructura compuesta por varias capas de diferentes materiales que se apoyan sobre la capa de coronación de la sub-rasante de los terraplenes o de las explanadas. La misma está conformada por la capa de superficie conformada a su vez por los adocretos que se asientan sobre una camada de arena gruesa; la capa de base y la de sub base, generalmente hechas con suelos locales. Como toda estructura de pavimento debe asegurar el tránsito vehicular en toda época del año. La estructura de los pavimentos de Adocreto no posee un comportamiento rígido ni tampoco flexible, por lo que se considera poseen un comportamiento semi-rígido,

lo cual hace complejo el procedimiento de diseño estructural, lo que se simplifica con la propuesta de diseño presentada en este artículo. Finalmente se proponen las técnicas de construcción a emplear tanto en zonas rurales como urbanas haciendo uso correcto de esta tecnología.

El *campo de acción* de la tecnología de pavimentación que se propone puede considerarse amplio, ya que se puede emplear tanto para la construcción como para la conservación (mantenimiento y reparación) de carreteras rurales y urbanas, de zonas de estacionamiento o parqueos, en plazas, en las vías urbanas de las ciudades, tanto en su centro histórico como en su periferia, así como en las vías de acceso o conexión a las mismas.

El problema científico a resolver consiste en la pavimentación de nuevas carreteras rurales y urbanas, de las calles de las nuevas urbanizaciones o la ampliación de las existentes, de zonas de parqueo, de plazas, de acometer reparaciones o mantenimientos a las vías existentes, etc. mediante el empleo de una tecnología menos impactante con el medio ambiente natural, en comparación con las tradicionalmente empleadas.

La *hipótesis* entonces es que si se emplea la tecnología de pavimentación con Adocretos propuesta, se pueden realizar tales trabajos de una manera más sustentable o amistosa con el medio ambiente, por el hecho de emplear materiales y mano de obra local (que no requiere alta calificación, sólo una mínima asesoría técnica), un menor consumo energético al usar equipos que pueden ser accionados por energía eléctrica e incluso manualmente, lo que representa una ventaja si se compara con los generalmente utilizados por las empresas constructoras, garantizando no obstante la requerida calidad de estos trabajos.

Los *objetivos específicos* a cumplir son los siguientes:

1. Divulgar las características, ventajas y especificaciones constructivas generales de la tecnología de pavimentación con Adocretos.
2. Argumentar que esta tecnología de pavimentación tiene menor impacto sobre el medio ambiente que las usadas generalmente por las empresas constructoras.
3. Proponer una metodología o procedimiento de diseño simplificada de la estructura de los pavimentos de adocreto.
4. Proponer procedimientos constructivos a cumplir para pavimentar vías rurales, urbanas y sub urbanas con esta tecnología de pavimentación.

## Desarrollo

La tecnología de pavimentación con Adocretos se basa en la fabricación de piezas de hormigón de diferentes formas, dimensiones, texturas y colores denominadas adocretos (ver más adelante cuadro 1), que pueden ser elaboradas tanto industrialmente como de manera artesanal empleando máquinas bloqueras-adoquineras<sup>1</sup> como la que se puede apreciar en la foto 1.

Estas máquinas, que pueden ser accionadas manualmente o con energía eléctrica, son producidas por la Industria Mecánica Cubana, específicamente en Planta Mecánica de Santa Clara, provincia de Villa Clara, desarrolladas por el Centro de Investigación y Desarrollo de los Materiales (CIDEM) de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central de Las Villas-UCLV, las cuales poseen buen rendimiento y aseguran una calidad satisfactoria, se utilizan en Cuba en varias provincias fundamentalmente para el desarrollo de nuevas urbanizaciones y han sido exportadas a varios países del mundo (Nicaragua, Ecuador, Paquistán, etc.).

Para que esta tecnología de fabricación de los adocretos sea amistosa con el medio ambiente se debe tratar de utilizar la mayor cantidad de materias primas o materiales locales (arena, piedras), así como fuerza de trabajo local que no requiere de alta calificación. La no utilización de equipos especializados como los usados generalmente por las grandes empresas para acometer estas labores, equipos generalmente caros, con alto consumo de combustible y contaminadores del medio ambiente (Centrales de Hormigón, Plantas de asfalto, Pavimentadoras, etc.) sumada al posible uso de materiales y mano de obra local antes citado, hacen que en términos comparativos se pue-

Foto 1  
Máquina Bloquera-Adoquinera de accionamiento eléctrico o manual produce 400 piezas por 8 horas



Fuente: <http://www.mundoanuncio.com>

da afirmar que esta tecnología es más amigable o amistosa con el medio ambiente.




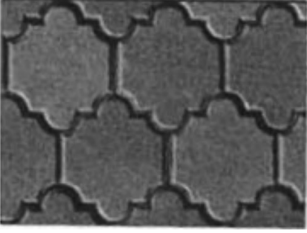

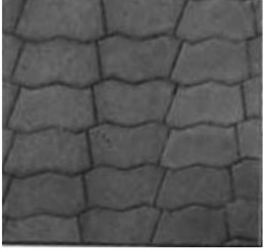




Como se aprecia en el cuadro 1, se pueden lograr piezas de diferentes formas, texturas y colores en las superficies, asegurándose la necesaria trabazón horizontal entre las mismas. En Cuba el tipo en forma de I (el primero de los mostrados) es el más utilizado en los viales interiores, vías de acceso a hoteles y otras edificaciones, la pavimentación de urbanizaciones, etc., que se ejecutan en la actualidad.

Esta tecnología puede ser usada también en la pavimentación de las vías interiores de las estaciones de servicio o gasolineras, de las terminales de ómnibus y de trenes, en las plazas públicas, en los parqueos de hoteles, en las zonas de carga y parqueo en los puertos, en los patios de las fábricas, en los denominados "taxi way" o caminos de circulación de los aeropuertos, etc., lo que demuestra sus amplias posibilidades de aplicación.

## Ventajas del empleo de los pavimentos hechos con Adocretos

- Los Adocretos son piezas prefabricadas que se producen con un equipo sencillo, la máquina bloquera-adoquinera, la cual tiene un precio asequible y muy inferior a las maquinarias usualmente empleadas, por lo que no se precisa poseer un gran capital inicial para realizar los trabajos.
- No se requiere de maquinarias especializadas como: plantas o centrales de elaboración de hormigón o concreto, plantas de asfalto, extendedoras de hormigón (*slip form pavers*), pavimentadoras asfálticas, etc. que son muy costosas y tienen un alto consumo de combustibles.
- Los adocretos se pueden elaborar de forma manual cerca de la obra reduciéndose así notablemente los costos de elaboración y de transporte, así como el impacto ambiental al elaborar y transportar el concreto y las piezas una vez fabricadas.
- Como los adocretos son piezas prefabricadas, el pavimento puede ser abierto al tránsito inmediatamente después de colocados.
- Su colocación no requiere de grandes gastos ya que puede ser realizada por una cuadrilla de hombres de la propia localidad, entrenados en la tarea de colocarlos manualmente, haciendo uso de utensilios de trabajo sencillos.

Cuadro 1  
Distintos tipos de adocreto y terminaciones que se logran con su empleo

Tipos de adocreto	Terminaciones que se logran
<p>En forma de I</p> 	
<p>Árabe</p> 	
<p>Eme</p> 	
<p>Hacha</p> 	
<p>Romano</p> 	

- En caso de tener que realizar reparaciones parciales en los servicios de agua potable, de alcantarillado, etc., se extraen los adocretos necesarios en el área o zona a intervenir, y al concluir los trabajos se pueden reponer en poco tiempo, logrando una rápida apertura al tránsito, es decir, ahorrando tiempo, dinero y molestias a los vecinos y usuarios de dichas vías de comunicación.

Es una tecnología más amistosa y menos impactante con el medio ambiente, si se compara con las demás variantes de pavimentación.

**Materiales utilizados para la producción de Adocretos**

**Para la capa superior o superficial:**

Para la de desgaste o rodadura se fabrican los adocretos con concreto hidráulico hecho manualmente de manera previa, usando cemento Pórtland, áridos (granitos, arena) y agua, empleando las máquinas bloqueras-adoquineras (mostrada más arriba), las que realizan su vibrado y prensado pudiendo llegar a alcanzar resistencias a compresión entre 20 MPa y 25 MPa (entre 200-250 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días. Es importante destacar que pueden ser usadas otras dosificaciones de mezclas que aseguren resistencias diferentes a las antes mencionadas, con miras a reducir

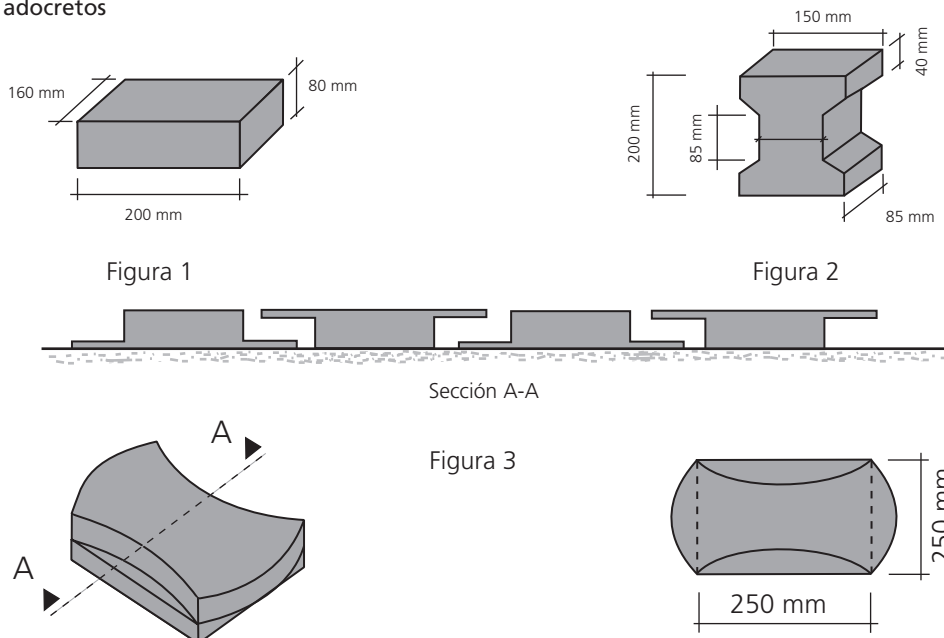
los costos de su producción en función del tipo o categoría de tránsito predominante o de las exigencias del proyecto, lo que evidentemente no se aborda en este trabajo por ser uno de los aspectos que conforman el *Know How* de esta tecnología.

Los adocretos mostrados en el cuadro 1 se pueden clasificar en tres grandes grupos que se ilustran en los gráficos 1 y 2:

- Piezas sin trabazón horizontal (paralelepípedos rectangulares como el de la figura 1 del gráfico 1).
- Piezas con trabazón horizontal, pero de varias formas y dimensiones como la de la figura 2 del gráfico 1 y otras mostradas en el cuadro 1.
- Piezas con trabazón horizontal y vertical o intertrabadas (ver figura 3 en Isométrico, en Planta y Sección A-A del gráfico 1).

Estas últimas son las más aconsejables para pavimentos con tráfico muy pesado o cargas estáticas como las de zonas de parqueo en los puertos, patios de las industrias, etc., ya que se garantiza un trabajo de conjunto de las piezas afectadas, aportando por tanto una mayor resistencia ante dichas cargas.

Gráfico 1  
Grupos de adocretos



Fuente: "Pavimentos de Bloques (Adoquines) de Hormigón: su aplicación a diferentes obras del tipo vial", en Colombo, 2000.

**Capa de Asiento:**

La capa de asiento de los adocreto debe tener un espesor uniforme entre 2 y 4 cm, y se realiza con arena gruesa que cumpla con las siguientes exigencias:

No estar contaminada con tierra vegetal u otros desechos.

Poseer una granulometría como la que se especifica en el cuadro 2.

También se requiere para esparcir arena fina sobre la superficie de los Adocreto, una vez colocados y compactados, con la finalidad de rellenar las juntas existentes entre los mismos. La arena fina debe cumplir con la granulometría que se muestra en el cuadro 3.

**Materiales granulares a usar en las capas de base, sub base y sub-rasante**

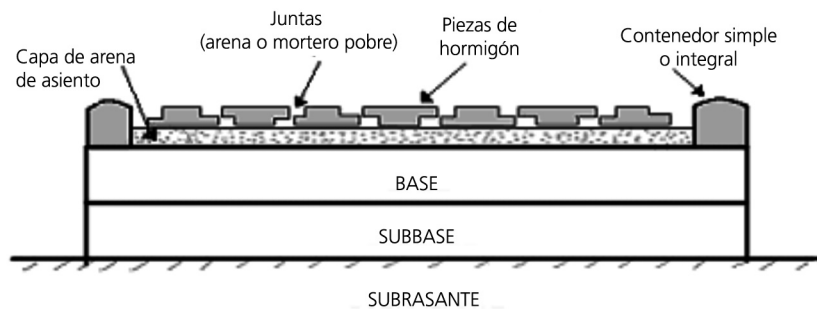
Las capas de suelo granular que deben emplearse para formar las capas antes mencionadas deben cumplir con las exigencias fundamentales que se proponen en el cuadro 4.

El consumo de materiales dependerá del tipo y de las dimensiones de la pieza de Adocreto y del diseño de la mezcla del concreto hidráulico que se haya decidido usar. No obstante, para tener una noción sobre el consumo de materiales para un caso específico, se plantea a continuación un ejemplo tomado de Orta Amaro (2004) para tener nociones preliminares de dicho consumo:

**Consumo de Materiales**

Considerando piezas o adocreto como los de la figura 3 del gráfico 1 (inter trabados) y cuadrados (de 0,25m x 0,25m), significa que se emplean 16 adocreto por cada metro cuadrado de superficie, lo que implica un consumo de materiales como el que se muestra en los cuadros 5 y 6.

Gráfico 2  
Sección Transversal Típica de la estructura de pavimento de Adocreto de una vía urbana



Fuente: "Pavimentos de Bloques (Adoquines) de Hormigón: su aplicación a diferentes obras del tipo vial", en Colombo, 2000.

Cuadro 2  
Granulometría de la arena para la capa de asiento

Tamiz	3/8	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
% pasa	100	35 - 100	80 - 100	50 - 85	25 - 60	10 - 30	5 - 15	0 - 10

Fuente: Colombo, 2000.

Cuadro 3  
Granulometría de la arena fina para esparcir sobre los Adocreto para rellenar las juntas

Tamiz	3/8	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100
% pasa	100	95 - 100	95 - 100	90 - 100	80 - 100	20 - 50	0 - 15

Fuente: Colombo, 2000.

Cuadro 4

Exigencias a cumplir por los suelos a usar en estas capas

Exigencias principales	Sub-rasante	Sub base	Base	Tipo de Ensayo
C.B.R.	2% (mínimo)	15% (mínimo)	20% (mínimo)	ASTM D 1833-73
% que Pasa el Tamiz # 200	< 35%	25% (máximo)	10% (máximo)	ASTM D1140
Límite líquido (LL)	34 (máximo)	25% (máximo)	25% (máximo)	ASTM D423
Índice Plástico(IP)	> (0.6LL - 9)	10% (máximo)	6% (máximo)	ASTM D424
Grado de Compactación	90% (Mínimo)	95% (mínimo)	98% (mínimo)	AASHTO T 180

Fuente: elaboración propia tomando como referencia las normas ASTM y AASHTO de Estados Unidos para así precisar cuales exigencias deben cumplirse por los suelos empleados en la capa de coronación de la sub-rasante, la sub base y la base, especificándose la resistencia de la sub-rasante, sub base y base o Índice de Resistencia de California (CBR), los Límites de Atterberg o de Plasticidad de los suelos, los ensayos Próctor para medir el grado de compactación y las especificaciones granulométricas referidas al % de material fino indeseable que pasa por el tamiz N° 200, parámetros esenciales que permiten asegurar la calidad de los suelos a usar en cada capa.

Cuadro 5

Consumo de materiales por adocreto inter trabado (de 0,25 x 0,25) con distintos espesores

Dimensiones del Adocreto (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Cemento Pórtland P-250 (sacos)	Arena (m <sup>3</sup> )	Gravilla (m <sup>3</sup> )
0.25. 0.25. 0.06	0,00375	0,0266	0,0018	0,00315
0.25. 0.25. 0.08	0,00500	0,0355	0,0024	0,00420
0.25. 0.25. 0.10	0,00625	0,0443	0,0030	0,00525
0.25. 0.25. 0.12	0,00750	0,0532	0,0036	0,00630

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6

Consumo de materiales por metro cuadrado de área a pavimentar, según tipo o categoría del tránsito, para los Adocreto Inter trabados

Categoría del Tránsito	Dimensiones del Adocreto (m)	Consumo por m <sup>2</sup>		
		Cemento (sacos)	Arena(m <sup>3</sup> )	Gravilla (m <sup>3</sup> )
Ligero	0.25. 0.25. 0.06	0,4256	0,0288	0,0504
Medio	0.25. 0.25. 0.08	0,5680	0,0384	0,0672
Pesado	0.25. 0.25. 0.10	0,7088	0,0480	0,0840
Muy pesado	0.25. 0.25. 0.12	0,8512	0,0576	0,1008

Fuente: elaboración propia.

### *Maquinarias e instrumentos a emplear*

El empleo de instrumentos de trabajo y de maquinarias en esta tecnología de pavimentación con adocreto se reduce esencialmente a la utilización de la Máquina Bloquera-Adoquinera para producir las piezas o adocreto de la camada superficial, ya que el concreto u hormigón se debe elaborar manualmente con utensilios simples como vagones y palas.

Para las camadas inferiores de base y sub base se usan los equipos de movimiento de tierra comunes, de manera similar a las demás variantes tecnológicas empleadas tradicionalmente. No obstante, para precisar el uso de estos medios, a continuación se especifican las maquinarias y utensilios de construcción a utilizar en esta tecnología de pavimentación, con base en las experiencias de su empleo (Orta Amaro, 2002):

- Vagones y palas para elaborar el hormigón hidráulico, previamente, de manera manual.
- Máquina Moldeadora - Prensadora Hidráulica o Máquina Bloquera-Adoquinera.
- Carretillas o vagones para el traslado de los Adocretos y los materiales para producir el concreto.
- Zarandas artesanales o criollas para tamizar los áridos requeridos para la elaboración del concreto.
- Escobillones para esparcir la arena fina sobre los adocretos y eliminar la sobrante.
- Niveles de burbuja y cordeles de nylon, para controlar los niveles y asegurar las pendientes proyectadas que hagan posible un adecuado drenaje superficial de las aguas pluviales.
- Máquinas de Movimiento de Tierra para construir las capas de subbase y base del pavimento.
- Compactadores Vibratorios de Llantas (Rodillos Lisos Vibratorios), para compactar la capa superficial del pavimento hecha con los Adocretos.

### ***Procedimiento de diseño de la estructura del pavimento con Adocretos***

Tal como se expuso anteriormente, el comportamiento de este pavimento es un caso intermedio entre el pavimento rígido y el flexible, por lo que clasifica como semi-rígido, no existiendo un modelo teórico que se ajuste y dé respuesta exacta a su real comportamiento estructural, por tal razón se propone un método empírico simplificado, que considera los siguientes parámetros de diseño (Colombo, 2000):

1. El tráfico de diseño.
2. La resistencia de la sub-rasante (CBR)
3. La resistencia de la sub base (CBR)
4. La resistencia de la base (CBR)
5. La resistencia a compresión de las piezas de Adocreto.

El *Procedimiento de Diseño* de la estructura de un pavimento de adocreto propuesto consiste en cumplir los pasos siguientes:

1. Determinación del tráfico de diseño.
2. Determinación de la resistencia de la sub-rasante, sub-base y la base (CBR).
3. Determinar el espesor de la sub base y base del pavimento.

4. Definir el espesor de las piezas de hormigón (adocretos) que forman la capa de superficie del pavimento.

La definición de los factores de diseño antes enumerados debe ser lo más exacta posible, preferiblemente basada en estudios estadísticos del tránsito y la determinación en laboratorios de la capacidad soportante de la sub-rasante (CBR) de los suelos, de sus límites de plasticidad, su granulometría, etc., según las normas oficiales vigentes en cada país. Ante la imposibilidad en muchos casos de hacer tales estudios, por diversas razones fundamentalmente económicas, se propone usar un procedimiento aproximado que se describe a continuación, basado en la experiencia de su aplicación, el cual permite obtener resultados aceptables y racionales:

1. Determinación del tráfico de diseño.

Se estimará de acuerdo con las características de la zona y la categoría de la vía, según los datos del cuadro 7.

2. Determinación del CBR de la sub-rasante.

Ante la imposibilidad en ocasiones de hacer los ensayos para determinar el CBR de la sub-rasante, se propone hacer el cálculo mediante la correlación entre la clasificación de los suelos propuesta por AASHTO (EE.UU) para los suelos de la capa de coronación de la sub-rasante, de la sub base y la base. Las magnitudes de los CBR a emplear en el diseño se determinan correlacionando los valores del cuadro 8.

Como se aprecia en el cuadro 8, los suelos granulares: A-1, A-2 y A-3 poseen como mínimo valores de CBR del 9% hasta el máximo de 100% y los suelos finos (limosos y arcillosos: A-4, A-5, A-6 y A-7) alcanzan valores pequeños de ese importante indicador de resistencia (desde menos de 2% y hasta 30%).

3. Determinación de Espesores de Sub base y Base.

Se utiliza el cuadro 9 entrando con la categoría de tránsito (Ligero, Medio o Pesado) y los Valores de CBR de la sub-rasante, tomando valores medios de cada tipo de tránsito.

4. Determinar el espesor de las piezas prefabricadas de concreto o Adocretos. Se definirá de acuerdo con la categoría del tránsito definida en el cuadro 10.

Es conveniente destacar que los espesores de adocretos obtenidos por este procedimiento simplificado y mediante el empleo de las Máquinas Bloqueras Adoquineras, como la propuesta, se aproximan a los obtenidos en otros países como Venezuela, por la empresa PRO-DECON, S.A., la cual para tráfico pesado describe en su



Cuadro 7  
Determinación del tráfico de diseño de manera estimada

Categoría del tránsito	Tipos de calles y zonas características	Tráfico acumulado (N) en el carril de diseño (para ejes de 100 KN) estimado
A (Ligero)	Calles en zonas residenciales, plazas, parqueos de vehículos ligeros, carreteras rurales secundarias, etc.	≤ 104
B (Mediano)	Calles y vías urbanas principales, avenidas colectoras (sin limitación de vehículos pesados); parqueos y accesos viales a zonas industriales y puertos, carreteras rurales de primera categoría, etc.	104 y 8.105
C (Pesado)	Carreteras interprovinciales y nacionales, autopistas y circunvalaciones de grandes ciudades; arterias principales de accesos a ciudades de importancia, áreas de estacionamientos en puertos y patios de grandes industrias, calles y avenidas colectoras, vías de circulación en aeropuertos o "taxi way", etc.	≥ 8.105

Fuente: elaboración propia tomando en cuenta lo establecido en la norma estatal cubana: NC 53-110:90 Pavimentos Flexibles. Método de Cálculo (NC 53-110, 1990) y considerando lo planteado por Colombo, 2000.

Cuadro 8  
Determinación de los CBR correlacionándolos según Clasificación de Suelos de la AASHTO

VALORES DE CBR																		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN AASHTO																		
										A - 1 - b			A - 1 - a					
							A - 2 - 7		A - 2 - 6		A - 2 - 5			A - 2 - 4				
										A - 3								
				A - 4														
A - 5																		
A - 6																		
A - 7 - 6			A - 7 - 5															

Fuente: tabla 7, en Colombo (2000).

Catálogo de Especificaciones Técnicas del año 2009 un espesor de 80mm para los adocretos producidos en plan-tas y sometidos a curado a vapor (PRODECON, 2009), los que evidentemente tienen mayor calidad de fabricación y por tanto con menor espesor resisten las cargas para ese tipo de tráfico.

**Técnicas constructivas propuestas**

Una vez construido el terraplén hasta la sub-ra-sante, compactado a máxima densidad seca y debida-mente perfilada su superficie, se procede a ejecutar la

estructura de este tipo de pavimento cumpliendo con los siguientes procedimientos o técnicas constructivas, depen-diendo de dos casos o situaciones más comunes que pue-den presentarse:

- a. En calles o carreteras de zonas rurales:
  1. Construcción de la contención lateral necesaria (separador central y los contenes laterales), así como los paseos u hombros laterales.
  2. Ejecución de la capa de sub base, compactada a máxima densidad, con suelos que cumplen las exigencias especificadas en el cuadro 4.

Cuadro 9  
Espesores de Sub base y Base del Pavimento

Categoría del tránsito	Tráfico acumulado en el carril de diseño (ejes de 100 Kn)	Espesor de capas de base y subbase, en centímetros (no incluye el espesor de la capa de superficie hecho con piezas de hormigón o adocreto y la capa de asiento de arena)										
		Valores de CBR de la sub-rasante										
		2	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10	15	20
Ligero (A)	1000	26	21	17	14.5	11.5						
	2000	29	24	20	17	14.5	10					
	4000	32.5	27	27.5	19.5	16.6	12.5					
	8000	36.5	30	25.5	22	19	14.5	10				
	10 000	37.5	31	26	22.5	19.5	15	11.5				
	20 000	40.5	34	29	27	22	17.5	13				
	40 000	44.5	37	32	28	24	19.5	15				
	80 000	48	40	34.5	30.5	25.5	21	17	10.5			
Mediano (B)	100 000	49	41	35.5	31	27.5	21.5	17.5	11			
	200 000	52.5	44.5	38.5	33.5	30	24	19	12.5			
	400 000	56	47.5	41	36	32	25.5	21	14			
Pesado (C)	800 000	59.5	50.5	44	38.5	34.5	28	22.5	15			
	1 000 000	60.5	51.5	45	39.5	35	28.5	23.5	16	10		
	2 000 000	65	54.5	47.5	42	37.5	30.5	25	17.5	11.5		
	4 000 000	67.5	57.5	50.5	44.5	40	32.5	27	18.5	13		
	8 000 000	71	61	53	47	42	34.5	29	20	14		
	10 000 000	72	67	54	48	43	35.5	29.5	20.5	14.5		

Fuente: tabla 8, en Colombo (2000).

Cuadro 10  
Espesores de Adocreto acorde a la categoría de tránsito estimada

Categoría del Tránsito	Espesores de los Adocreto (mm)
A (Ligero)	50 - 60
B (Mediano)	70 - 80
C (Pesado)	80 - 100

Fuente: elaboración propia.

Nota: para tráfico superiores a  $8 \times 10^6$  (muy pesados) y grandes cargas estáticas, se aconseja usar adocreto con espesores entre 100mm-120mm (Orta Amaro, 2004 y 2008), en el caso de que pudiese ser determinado el número de repeticiones de carga de 100 KN estadísticamente mediante estudios de tránsito.

3. Construcción de la capa de base con el suelo que cumple las exigencias planteadas en el cuadro 4, asegurando un bombeo o pendiente transversal de la vía (entre 2%-4%).
4. Fabricación de los Adocreto, traslado hacia la obra con los medios de transporte adecuados y debido almacenamiento.
5. Vertido de la capa de asiento de arena gruesa (entre 2 y 4 cm.) sobre la superficie de la capa de base, asegurando la debida uniformidad en su espesor y riego de agua que asegure su compactación.
6. Colocación manual de los Adocreto de manera correcta sobre la capa de asiento de arena gruesa húmeda y compacta.
7. Vertido de la capa de arena fina sobre la superficie de los adocreto colocados para rellenar las juntas existentes.

8. Compactación de los Adocretos con Cilindros de Llantas Lisas Vibratorio, para asegurar su debida trabazón y asentamiento.
  9. Barrido y limpieza de la arena fina sobrante de la superficie del pavimento con escobillones o barreadoras mecánicas.
  10. Señalización vertical y horizontal de la vía.
- b En calles de Zonas Urbanas y Sub Urbanas:
1. Construcción del terraplén de la calle hasta nivel de la sub-rasante, compactado a máxima densidad, asegurando el bombeo lateral adecuado y perfilado.
  2. Construcción del contén integral (contén-cuneta) o del contén simple, según el proyecto, para la contención lateral del pavimento.
  3. Construcción de las capas de sub base y base con suelos seleccionados usando las maquinarias de movimiento de tierra, cumpliendo las especificaciones del cuadro 4.
  4. Vertido de la capa de asiento de arena gruesa y riego de la misma con agua para su compactación.
  5. Colocación manual de los adocretos sobre la capa de asiento de arena gruesa húmeda y compacta.
  6. Vertido y riego de la arena fina para rellenar las juntas entre los adocretos.
  7. Compactación de la superficie del pavimento de adocretos con el Cilindro Vibratorio de Llantas Lisas.
  8. Barrido y limpieza de la arena sobrante de la superficie del pavimento con escobillones o máquinas barreadoras.
  9. Señalización horizontal y vertical de las calles pavimentadas.

Los procedimientos constructivos están basados en la experiencia de aplicación en las ciudades de Remedios y Zulueta (Orta Amaro, 2002), así como en los planteamientos de Caraballo (2000) y Villalaz (2000), y en pesquisas efectuadas en urbanizaciones en las ciudades de Managua y Estelí, Nicaragua en el año 2005, así como en la labor investigativa del autor en los últimos años para la confec-

ción de la última versión electrónica del libro *Tecnologías de Pavimentación* (Orta Amaro, 2008), que se aplica en la UCLV hace varios años como texto básico de la asignatura "Diseño y Construcción de Pavimentos", de la carrera de Ingeniería Civil.

## Conclusiones

- Una alternativa viable, menos impactante con el medio ambiente (más amistosa o amigable) que las usadas usualmente en la construcción mecanizada de pavimentos flexibles y rígidos es la Tecnología de Pavimentación con Adocretos propuesta en este artículo, lo cual queda evidenciado por la significativa reducción de las maquinarias a usar (sólo se requiere de la Máquina Bloquera-Adoquinera), en comparación con el numeroso grupo de maquinarias especializadas, con alto consumo de energía y negativo impacto sobre el medio ambiente empleadas generalmente por las empresas constructoras; por la mayor posibilidad de empleo de mano de obra y materiales locales (principalmente de suelos, áridos y agua), aunque se utilice el cemento Pórtland en la confección del concreto de las piezas o adocretos de manera similar a como se hace en la tecnología de construcción de pavimentos rígidos.
- La metodología propuesta para definir espesores y tipos de materiales de las capas componentes de la estructura de este pavimento semi rígido garantiza espesores racionales, en comparación con otros similares existentes en países como Venezuela, Cuba, Nicaragua, etc., por lo que se considera confiable, aconsejándose su mayor empleo para minimizar las afectaciones ambientales.
- Las técnicas constructivas propuestas para hacer pavimentos de adocretos, tanto en zonas urbanas como rurales, aseguran una buena calidad de los trabajos y por tanto la durabilidad de los pavimentos hechos con esta tecnología, lo que ha quedado demostrado en algunas aplicaciones hechas en distintos países del área y del mundo.

Nota:

1. Efectuando la coordinación con el CIDEM de la Facultad de Construcciones de la UCLV, se producen en Planta Mecánica de Santa Clara, Villa Clara, Cuba, equipos similares al de la foto con precios factibles, previo encargo.

## Referencias bibliográficas

- Caraballo, J. (2000) Evaluación Económica de Programas de Adoquinado Vial. Nicaragua: LA VIAL S.A.
- CIDEM-Centro de Investigación y Desarrollo de los Materiales (2002) Máquinas Bloqueras-Adoquineras. Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas-UCLV, Santa Clara, Cuba.
- Colombo, R.A. (2000) Pavimentos de Bloques (Adoquines) de Hormigón: su aplicación a diferentes obras del tipo vial. Editorial Cemento Pórtland Argentino. Argentina.
- Crespo Villalaz, C. (2000) Vías de Comunicación. Editorial Limusa, México.
- NC 53-110:90 Pavimentos Flexibles. Método de Cálculo. Cuba, 1990.
- Orta Amaro, P. A. (2008) Tecnologías de Pavimentación de Carreteras (versión electrónica) Libro de Texto, UCLV, Santa Clara, Cuba.
- Orta Amaro, P. A. (2002) Proyectos Ejecutivos de las Urbanizaciones del Reparto Capitán Orestes Acosta en Remedios y de la Zona de Desarrollo de Zulueta, Villa Clara, Cuba.
- Orta Amaro, P. A. (2000) "Metodología para Diseño y Construcción de Pavimentos de Adocreto", Ponencia en el IV Simposio Internacional de Estructuras, Geotecnia y Materiales de Construcción, Facultad de Construcciones, UCLV, Santa Clara Cuba.
- PRODECON (2009) Venezuela. Catálogo de especificaciones técnicas pavimentos con adoquines.<http://www.prodecon.com.ve/uploads/pag6.pdf>.
- The World Watch Institute (2007) La situación del mundo. Nuestro Futuro Urbano. Editorial ICARIA, Madrid, España.