

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**NOMBRE DEL SUB-EVENTO**

**12no SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS, GEOTECNIA  
Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Título**

**Polígono de vacíos para el control de las mezclas asfálticas producidas por  
la ECOING 25**

*Title*

*Polyvoids for mix asphalt control produced by ECOING 25*

**Felipe A González Cortés <sup>1</sup>, Gloria Y. Paz García.**

1-Felipe A. González Cortés. ECOING 25, Cuba. E-mail:[felipe@ecoing25.cu](mailto:felipe@ecoing25.cu)

2- Gloria Y. Paz García. ECOING 25, Cuba. E-mail:[yanelly@ecoing25.cu](mailto:yanelly@ecoing25.cu)

**Resumen:**

Recientemente, los tópicos de diseño de mezclas asfálticas tales como el betún asfáltico, los agregados, y las propiedades de la mezcla han recibido la máxima atención por los investigadores y especialistas de esta materia. Sin embargo, el control de la compactación en campo ha permanecido sin cambios; el criterio de control se basa en garantizar un mínimo nivel de densidad comparada con una referencia de laboratorio.

El procedimiento de diseño de mezclas resulta en el establecimiento de un contenido de asfalto óptimo (CAop), también llamado “fórmula de trabajo”, con la que se produce en planta, y sirve como parámetro de referencia y de control. Los rangos típicos de variación aceptables para CAop han sido establecidos en  $\pm 0.30\%$  y  $\pm 0.45\%$ .

El criterio para el control de la calidad de la compactación es fijar el nivel de densidad mínimo permitido a un porcentaje de la densidad de laboratorio (97%).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Sin embargo, los criterios de diseño y de control de campo explicados arriba están divorciados entre sí, y esta incoherencia podría conducir a aceptar estados en la mezcla compactada en campo que no cumplen con el diseño de mezclas, lo cual podría disminuir la vida útil de la mezcla compactada y podría provocar su falla.

La metodología para el autocontrol de las mezclas producidas en la ECOING 25 pretende eliminar las diferencias entre los criterios de diseño y control de las mezclas asfálticas con el uso del polígono de vacíos.

Palabras Claves: Polígono de vacíos, mezclas asfálticas, control, densidad

Abstract.

Recently, the design topics of asphalt mixtures, such as asphalt binder, aggregates and mix properties of the mixture, have received the utmost attention from interested parties and specialists in this thematic. However, the compaction control in the work has remained the same, without change. The control criterion is based on guaranteeing a minimum density level compared to a laboratory reference.

The mixing design procedure results in the establishment of optimum asphalt content (CAop), also called "Job-formula", with which it is produced in the plant and serves as a control reference parameter. Typical values of variation acceptable for CAop have been established at  $\pm 0.30\%$  and  $\pm 0.45\%$ .

The criterion for quality control of compaction is to set a minimum density level allowed as a percentage of the laboratory density (97%).

However, the design and control works criteria explained above are separate from each other, and this inconsistency could lead to a case of compacted mixtures in the works that does not complying with the mixtures design, which may decrease asphalt pavement life, or further cause its failure.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



The methodology for the control by ECOING 25 of the mixtures produced in the aims to eliminate the differences between the criteria of design and control of the asphalt mixtures by applying the polyvoids.

Key words: Polyvoids, asphalt mixtures, control, density

### **Introducción**

El objetivo de un diseño de mezcla asfáltica, es seleccionar los agregados y granulometría a emplear en la mezcla, así como el tipo y cantidad de betún asfáltico, de acuerdo al clima y a las cargas que estarán presentes durante la vida útil del pavimento. Es requerimiento del diseño que la combinación de estos materiales logren propiedades volumétricas (vacíos en la mezcla, rellenos con asfalto, en agregado mineral) adecuadas, ya que de esto depende, en gran medida el desempeño satisfactorio de la carpetas asfálticas.

A pesar de que las especificaciones para vacíos y para parámetros mecánicos están fundamentadas en exhaustivas investigaciones sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas compactadas, la metodología tradicional de control de compactación de mezclas asfálticas, basada en la obtención de un determinado nivel de densificación y de verificar que la mezcla tenga un contenido óptimo de asfalto, no permite controlar todos los parámetros de especificación, con lo que se pueden cometer errores de aceptación de lotes defectuosos, o el rechazo de lotes buenos. La contravención de las especificaciones de vacíos puede acarrear problemas a la mezcla de ahuellamientos, envejecimiento prematuro, fragilidad, exudación. La trasgresión de las especificaciones de parámetros mecánicos puede conseguir deformaciones excesivas en el pavimento y falta de resistencia.

Incorporar el polígono de vacíos al control de la calidad de las mezclas colocadas en obra, permite considerar todas las especificaciones del diseño al control de la calidad. Mediante la representación de los estados en el espacio CA-Da (Contenido de asfalto- Densidad de la probeta), primero, se incorporan las especificaciones de vacíos por medio de una construcción

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

gráfica (polígono de vacíos) que se elabora intersectando las líneas de iso-valores de vacíos que son trazadas según las ecuaciones de sus definiciones físicas. Luego se incorporan los contornos para estabilidad y flujo, para los valores de especificación, trazados a partir del mapeo de resultados de ensayos a compresión realizados en familias de especímenes elaborados con energía de compactación variable, en un amplio rango de contenidos de asfalto. La combinación de todos estos trazos genera un área de aceptación definida como la región más grande de posibles combinaciones de CA y Da donde se cumplen todas las especificaciones.

#### Desarrollo.

La NC 253:2005.”Carreteras-materiales, bituminosos-hormigón asfáltico caliente-especificaciones”, clasifica las mezclas de acuerdo a su tipo en:

Mezcla densa (D). Cuyo % de vacíos es igual o mayor de 3 y menor de 5.

Mezcla Semi – Densa (SD). Cuyo % de vacíos mayor o igual a 5 y menor de 8.

Mezcla Poco– Densa (PD). Cuyo % de vacíos igual o mayor de 8% y menor de 13%.

Mezcla Abierta (A). Presenta vacíos superior al 13%.

Mezcla Permeable (P). Presenta vacíos entre el 20% y 30%

Esta misma norma define como % de vacíos en el agregado mineral (VAM) mínimo, según el tipo de mezcla. Tabla 1. Valores mínimos de vacíos en el agregado mineral para capas de superficie y de unión.

Tipos de Mezclas	% Vacíos
Abiertas	16 – 20
Poco Densas	15 – 18
Semi-densas	14 – 16
Densas	13 - 15

Tabla 1. Valores mínimos de vacíos en el agregado mineral para capas de superficie y de unión.

(Tomado de NC 253:2005.)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Además define, en la tabla “Especificaciones a cumplir por las mezclas asfálticas diseñadas por el Método Marshall de la NC 253:2005, que para mezclas densa en tráfico pesado el VM se incrementa en un 1% en espera de una reducción futura por el efecto de sobre compactación del tráfico.

Como parámetros mecánicos las mezclas diseñadas para tráfico pesado deben cumplir con la Tabla 2. Parámetros mecánicos las mezclas diseñadas para tráfico pesado.

Características	Unidad	Min.	Máx.
Estabilidad	Kq	800	1300
Fluencia	mm	2,0	3,5

Tabla 2. Parámetros mecánicos las mezclas diseñadas para tráfico pesado. (Tomado de NC 253:2005).

Los requisitos de control según NC 253:2005 es que la mezcla se compactará para obtener una densidad no menor del 97% de la obtenida para la misma que ha sido ensayada en el laboratorio según el método Marshall.

### Construcción del polígono de vacíos.

Para una mezcla tipo densa, capaz de soportar el tráfico pesado en concordancia con las especificaciones de la norma NC 253: 2005, las especificaciones a cumplir serán las de la Tabla 3. Especificaciones a cumplir para una mezcla densa con tráfico pesado.

Características	U.M	Min	Max
Estabilidad	Kg	800	1300
fluencia	mm	2.5	3.5
VM	%	4	6
VAM	%	13	

Tabla 3. Especificaciones a cumplir para una mezcla densa con tráfico pesado. (Tomado de NC 253:2005).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

La NC 261:2005. “Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto empleando el Equipo Marshall”, calcula los VM y VAM según las expresiones siguientes respectivamente:

$$VM = 100 - \frac{100 * Da}{DMT}$$

$$VAM = 100 - \frac{100 * Da}{PEcom}$$

Donde:

DMT: Densidad Máxima Teórica

PEcom: Peso específico de los áridos combinados.

Representando Da como una función de CA. Según la ecuación VM se obtiene:

$$Da = \left( \frac{100}{\frac{100-CA}{PEE} + \frac{CA}{PEb}} \right) * \left( 1 - \frac{VM}{100} \right)$$

Según VMA se obtiene:

$$Da = \frac{100 - VAM}{100 - CA} * PEcom$$

Donde:

PEE: Peso específico efectivo

PEb: Peso específico del betún asfáltico.

Para las mezclas elaboradas por la ECOIN 25.

$$PEE = 2.625 \text{ g/cm}^3$$

$$PEb = 1.018 \text{ g/cm}^3$$

$$PEcom = 2.539 \text{ g/cm}^3$$

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Representando gráficamente las ecuaciones anteriores en los límites que establece la NC 253 para cada una de ellas, al variar CA se obtienen las líneas que representan cada una de estas funciones. Figura 1. Iso- líneas de VM y VAM.

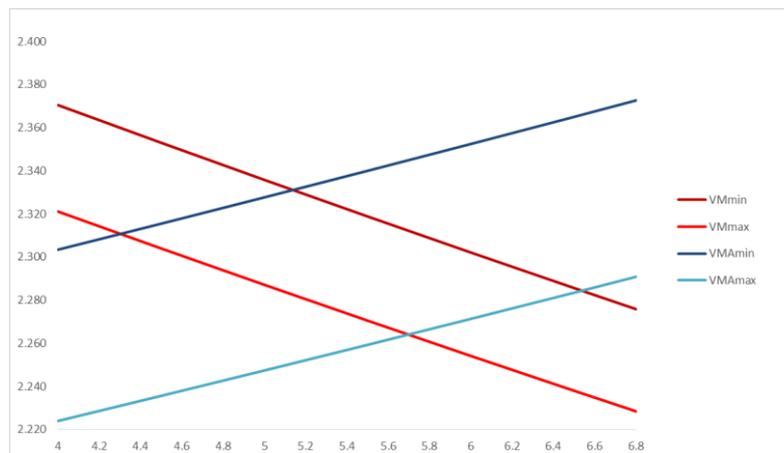


Figura 1. Iso- líneas de VM y VAM. (Fuente Propia)

El polígono de vacíos es el área delimitada por estas líneas y se representa en la Figura 2. Polígono de vacíos.

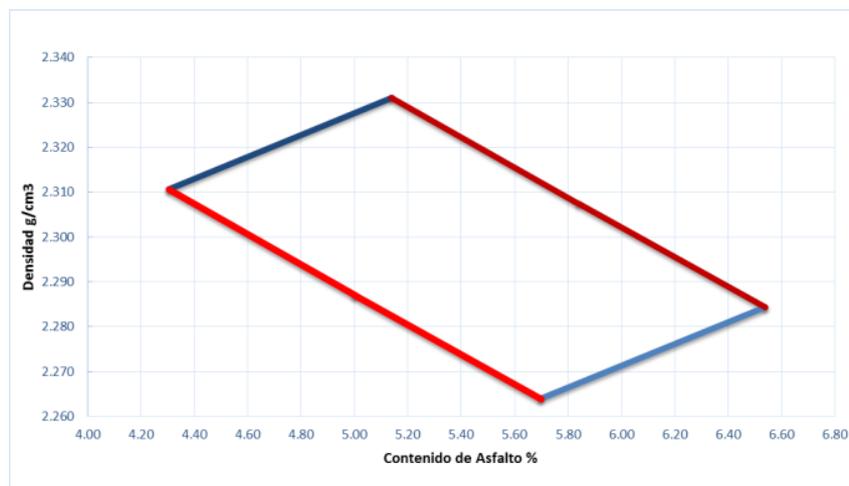


Figura 2. Polígono de vacíos. (Fuente Propia)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Según los resultados del diseño para cualquier CA en el rango del polígono de vacíos se cumplen con el rango normado para la estabilidad y la fluencia. Por tanto no se incluirán los mapas que representan estos parámetros mecánicos.

### Diferencias entre criterios de diseño y control

Según la NC 253: 2005. Las densidades a lograr en la mezcla para asegurar la calidad serán del orden del 97% de la MNT como mínimo y las tolerancias para el Asfalto es de  $\pm 0.3\%$ .

Superponiendo estos criterios de control en el polígono de vacíos se pueden observar las diferencias entre los criterios de diseño y control de calidad de la carpeta colocada.

El método clásico se grafica como el trapecio definido en la vertical por los criterios de densidad mínima 97% de la densidad de laboratorio y la función DMT, y por la horizontal, el rango tolerable para CA, en este caso  $\pm 0.3\%$  de  $CA_{opt}=5.10\%$ . En la Figura 3 se superponen el polígono de vacíos y el método tradicional de control de mezclas asfálticas. Figura 3. Superposición del polígono de vacíos y el método tradicional de control.

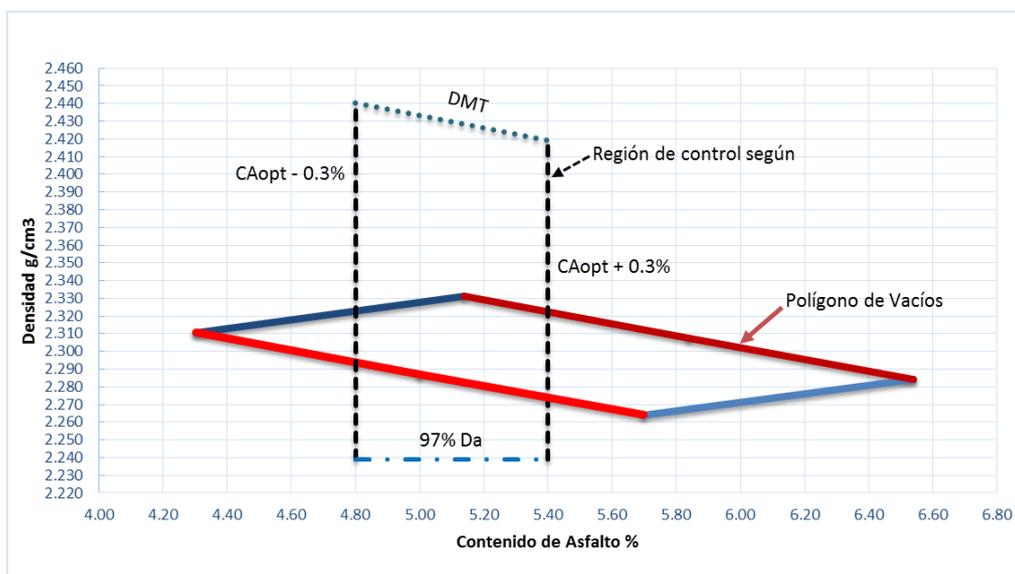


Figura 3. Superposición del polígono de vacíos y el método tradicional de control. (Fuente Propia)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Lo primero que resalta de este contraste es que la región de control de campo permite, con amplio margen, estados que violan las especificaciones de diseño. Se evidencia el total divorcio de los criterios tradicionales de diseño y control de campo.

Además, es criterio general entre los especialistas en esta materia que las mezcla diseñadas con un CA superior al que produce el mínimo en la curva VAM, producto de la sobre compactación, presentan tendencias a la exudación convirtiéndose en pavimentos resbaladizos y deformables. Figura 4. Grafica CA- VAM.

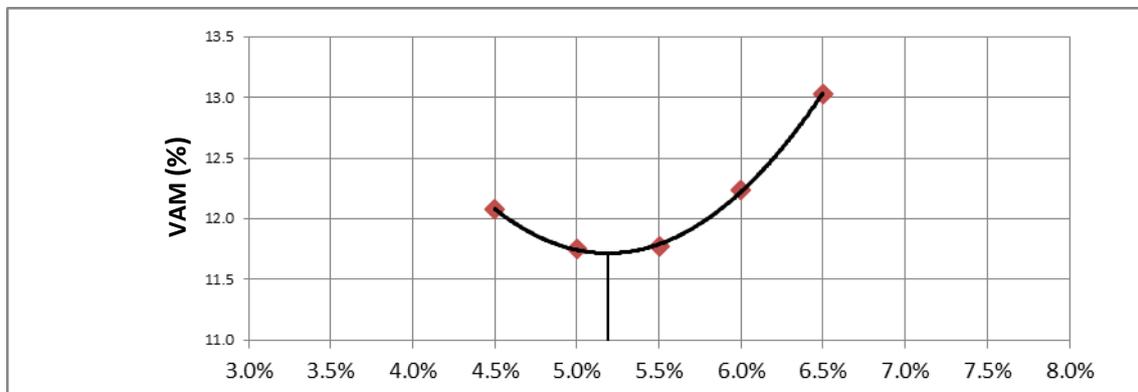


Figura 4. Grafica CA- VAM. (Fuente Propia)

Incluyendo este criterio al polígono de vacíos, como la línea vertical que parte del CA que produce el mínimo en la curva de VMA se obtiene la Figura 5: Polígono de vacíos más línea de mínimo VAM.

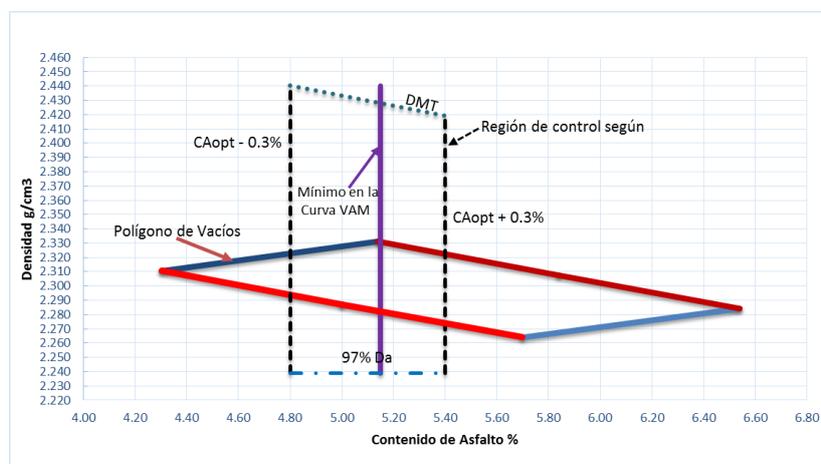


Figura 5: Polígono de vacíos más línea de mínimo VAM.(Fuente Propia)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

En la Figura 5 se limita el área del polígono de vacíos al CA que produce el mínimo de VMA se puede observar que la diferencia entre los criterios de diseño y control es aun mayor. Figura 6. Limitación del polígono de vacíos al mínimo de VMA.

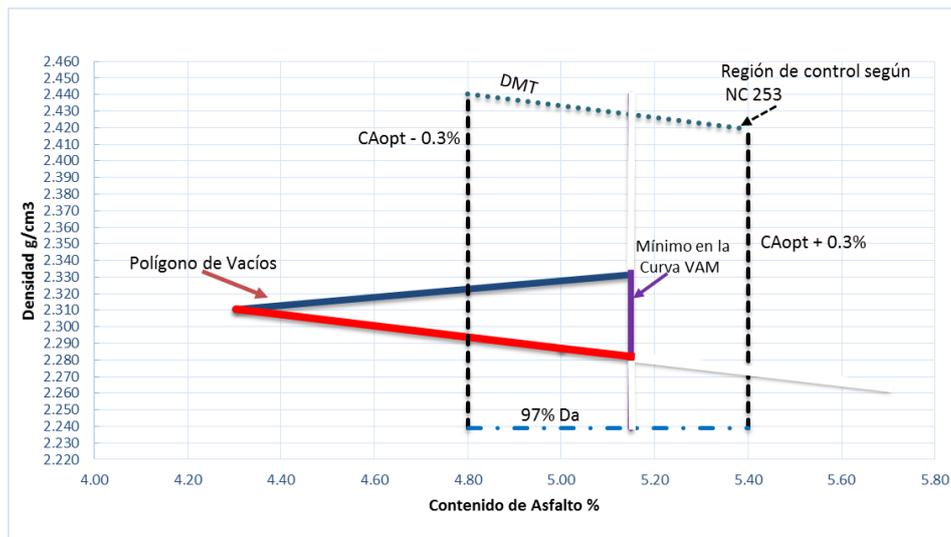


Figura 6. Limitación del polígono de vacíos al mínimo de VMA. (Fuente Propia)

En la Figura 7. Se grafica el control de 10 lotes de mezclas producidas por la ECOING 25 donde se puede apreciar las diferencias de criterios entre el diseño y el control. Figura 7. Representación de lotes controlados.

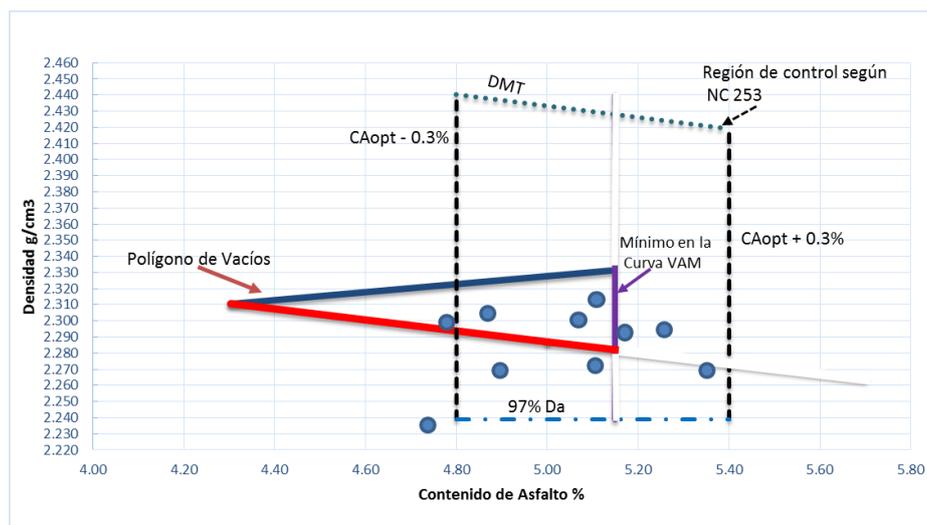


Figura 7. Representación de lotes controlados. (Fuente Propia)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



**Conclusiones**

- A pesar de que las especificaciones para vacíos y para parámetros mecánicos están fundamentadas en exhaustivas investigaciones sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas compactadas, la metodología de control de compactación normada para las mezclas asfálticas, basada en la obtención de un determinado nivel de densificación y de verificar que la mezcla tenga un contenido óptimo de asfalto, no permite controlar todos los parámetros de especificación y criterios del diseño de la mezcla.
- La aplicación del control normado para las mezclas puede introducir errores de aceptación de lotes defectuosos, o el rechazo de lotes buenos. La contravención de las especificaciones de vacíos puede acarrear problemas a la mezcla de ahuellamientos, envejecimiento prematuro, fragilidad, exudación.
- Aplicar el polígono de vacíos y la restricción de máximo contenido de CA como el contenido que produce el mínimo valor de VAM, al control de calidad de las mezclas asfálticas colocadas, garantiza la uniformidad de criterios entre el diseño y el control de las mezclas asfálticas.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Referencias bibliográficas

1. NC 253:2005. Carreteras-materiales bituminosos-hormigón asfáltico caliente— especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana. Cuba.
2. NC 261:2005. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto empleando el Equipo Marshall. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana. Cuba.
3. NC 160:2002. Carreteras. Hormigón Asfáltico Caliente. Colocación en Obra. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana. Cuba.
4. Sánchez Leal. F et al. (2002). RAMCODES: Metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Publicación técnica No. 200. Instituto mexicano del transporte, México.
5. Amoedo Fernández, W. (2005). Propuesta de alternativa para el diseño de mezclas de hormigón asfáltico. Empresa de investigaciones aplicadas, Cuba.
6. Delgado Alamilla H, Garnica Anguas P, Villatoro Méndez G, Rodríguez Oropeza G, 2006. Influencia de la Granulometría en las propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas. Publicación Técnica 299. Instituto mexicano del transporte, México.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)