

Análisis por imágenes de mezclas asfálticas para su control expeditivo

Luis Zorzutti
zorzutti@fceia.unr.edu.ar
Regina Muzzulini
remuzzu@gmail.com

Marina C. Casaux
mccasaux@fceia.unr.edu.ar
Silvia Angelone
sangelon@fceia.unr.edu.ar

En estudios previos se procedió a caracterizar la estructura de mezclas asfálticas a través de análisis de imágenes usando los programas AphelionLab e Ipas 2D. AphelionLab permite obtener curvas granulométricas aproximadas a la real, con errores menores al 10% para tamaños de agregados mayores a 0.6 mm. Dicha curva sumada a la imagen de la probeta constituye la información de ingreso al programa Ipas 2D, que permite determinar puntos de contacto entre agregados, orientación y segregación de los mismos dentro de la mezcla asfáltica. Con ellos se valoró la influencia de los diferentes métodos de compactación utilizados en laboratorio: por impacto (Marshall), por amasado Giratorio (CGS) y por rollado de Placa (Compactador de Rodillo).

El objetivo del presente trabajo es continuar con la investigación previa y reproducir con mayor precisión los parámetros de la estructura granular interna de la mezcla asfáltica mediante el programa Ipas 2D, adquirir experiencia con testigos calados en obra, analizar la importancia de la geometría de los mismos. Se define una metodología para comparar las características físicas entre las probetas compactadas en laboratorio y los testigos calados en el campo, y de esta forma plantear un control expeditivo mediante el uso de imágenes tomadas por teléfono móvil en campaña/laboratorio para distintas mezclas asfálticas empleando así un procedimiento rápido, que permita apreciar la granulometría y/o su composición en probetas y testigos de mezclas asfálticas. Se presentan los resultados obtenidos, el análisis de los mismos y las conclusiones alcanzadas.

Palabras Clave: mezclas asfálticas, análisis por imagen, control de compactación.

In previous studies, the structure of asphalt mixtures was characterized through image analysis using the AphelionLab and Ipas 2D programs. AphelionLab allows obtaining granulometric curves that are approximate to the real one, with errors of less than 10% for aggregate sizes greater than 0.6 mm. This curve added to the image of the test specimen constitutes the input information to the Ipas 2D program, which allows determining contact points between aggregates, orientation and segregation within the asphalt mix. Then, the influence of the different compaction methods used in laboratory was evaluated: by impact (Marshall), by rotary kneading (CGS) and by plate rolling (Roller Compactor).

The objective of this work is to continue with previous investigation and to reproduce with greater precision the parameters of the internal granular structure of the asphalt mix using the Ipas 2D program, to gain experience with in situ specimens and, to analyze the importance of their geometry.

A methodology is defined to compare the physical characteristics between the laboratory test specimens and cored ones in situ, and so, to propose an expeditious control protocol by the use of images taken by a mobile phone in the field/laboratory for different asphalt mixtures, using a quick procedure, which allows to appreciate the granulometry and/or its composition in laboratory and cored specimens of asphalt mixtures. The results obtained, their analysis and the conclusions reached are presented.

Keywords: asphalt mixtures, image analysis, compaction control.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de tecnologías de la información es esencial, pues facilita el desarrollo más eficiente debido a la actualización permanente de softwares y aplicaciones, permitiendo multiplicidad de funciones acordes a las necesidades actuales. Así como el análisis por imágenes, existen diversas técnicas disponibles para el estudio de estructuras asfálticas. Tashman et al. (2002) [1] estudiaron un método no destructivo para visualizar características en el interior de objetos, permitiendo observar la distribución de vacíos de aire, por medio de la tomografía computarizada de rayos X; otras técnicas incluyen el uso de programas de procesamiento de imágenes en dos dimensiones tomadas con cámaras digitales.

En un contexto dinámico y cambiante es necesario renovar los conocimientos y acompañar dichas transformaciones desde la praxis implementando metodologías más accesibles que puedan ser efectivas y que garanticen un análisis de calidad, pero teniendo en cuenta la manera más expeditiva posible.

Este trabajo busca extender el alcance del análisis de mezclas asfálticas mediante imágenes para proveer mayor información en forma continua del trabajo en obra, comparando resultados de ensayos obtenidos en lotes de producción con resultados a partir del procesamiento de imágenes tomadas a testigos calados de mezclas asfálticas utilizados para el control de vacíos.

En estudios previos desarrollados en la Universidad Nacional de Rosario por Cassani et al. (2019) [2], se exploraron las distintas utilidades de los programas de análisis de imágenes: AphelionLab e Ipas 2D para estudiar las mezclas asfálticas compactadas; donde se pudo establecer que, si se desconoce la granulometría de la mezcla asfáltica a analizar se la puede determinar utilizando el programa AphelionLab, con un margen de error del 10% para tamaños mayores de agregados a 0.6 mm. Mientras que en el caso del Ipas 2D, si se dispone del esqueleto granular de la mezcla asfáltica a controlar o usando el resultado del programa AphelionLab, se puede realizar el estudio de las imágenes correspondientes, que posean esta granulometría, para determinar puntos de contacto entre agregados, orientación y segregación de los mismos.

En la Figura 1 se observa la curva granulométrica real, dato para poder hacer uso del programa Ipas 2D y la granulometría basada en la imagen analizada. Se puede apreciar que para los tamaños más finos de agregados la curva resultado del programa difiere de la curva real.

Continuando con la investigación mencionada anteriormente, se pretende establecer un procedimiento mediante el análisis de imágenes utilizando el programa Ipas 2D, desarrollado por el grupo MARC, Universidad de Wisconsin y liderado por el profesor Hussain Bahia [3] diseñado en MatLab. Este programa también fue empleado por otros investigadores para evaluar dis-

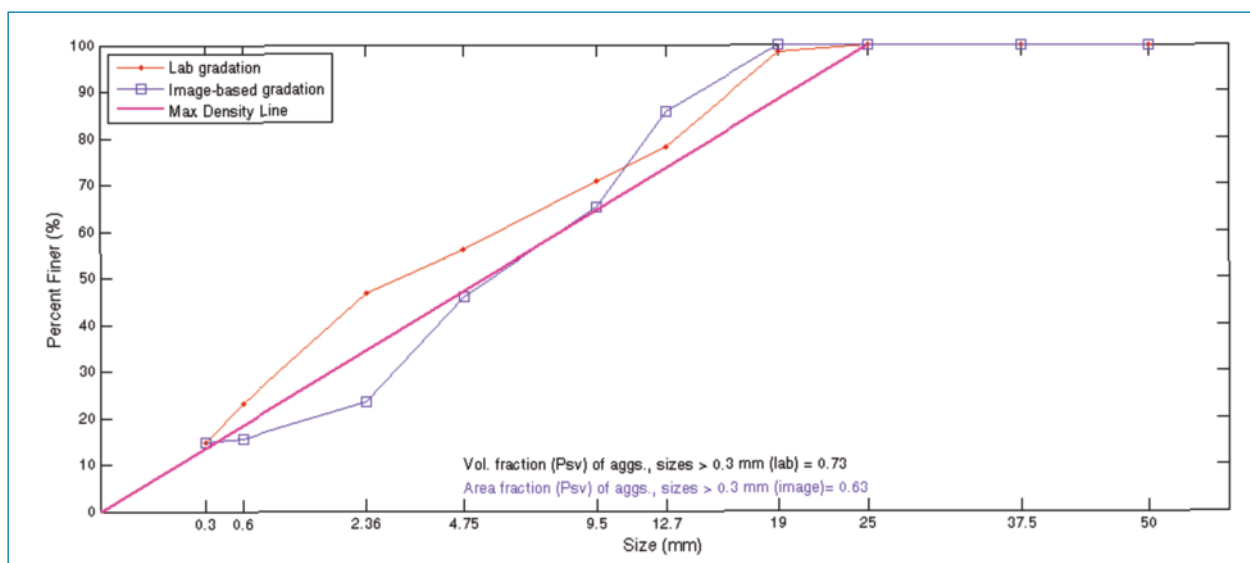


Figura 1. Granulometría real y basada en la imagen procesada, Ipas 2D

tintos comportamientos de los materiales; entre ellos Figueroa et al, (2015) [4], que analizaron la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica.

Se conoce que la compactación es un proceso que determina la orientación de los agregados y por ende la estructura que tendrá la mezcla asfáltica y esto le influye propiedades que afectan a su desempeño volumétrico y comportamiento mecánico. Además, el correcto y frecuente control de la mezcla colocada en obra, resulta necesario para constatar que posea propiedades similares a la mezcla diseñada en laboratorio, como bien explicitan en su estudio Airey y Collop (2014) [5].

Debido a esto se propone un análisis de imágenes expeditivo, partiendo de probetas caladas de mezclas asfálticas, utilizadas rutinariamente para control en obra, donde se indique, en función de los resultados del programa Ipas 2D, las características físicas de la mezcla en estudio y su comparación con la mezcla diseñada en laboratorio.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

2.1. Materiales

Se dispone de una mezcla densa elaborada con un cemento asfáltico convencional (CA30), usualmente empleada en Argentina. A continuación, se presenta su composición y granulometría dentro de los requeri-

Agregados	Piedra 6-19	Piedra 0-6	Arena silícea	Filler	Asfalto
Cantidad (%)	45	45	10	1.5	4.67

Tabla 1. Composición mezcla asfáltica CA30

mientos técnicos, que se utilizará como input para el programa Ipas 2D. Tabla 1 y Figura 2.

Se comparan resultados obtenidos de las siguientes probetas elaboradas en laboratorio, con la misma mezcla de obra, con distintas técnicas de compactación y testigos calados de una base de 9 cm de espesor:

1. Probetas elaboradas en compactador giratorio de 150 mm de diámetro por 150 mm de altura, a la cual se le realiza un calado de 100 mm en su núcleo central, quedando así con características similares a los testigos calados, según su ordenamiento a simple vista.
2. Probetas compactadas por impacto (Marshall) de 65mm de espesor de acuerdo a la norma de vialidad Nacional (VN – E9 – 86). Se realiza un aserrado vertical de la probeta para observar su estructura.
3. Testigos calados en obra de 100 mm de diámetro (Figura 3).

Las propiedades de las probetas y testigos seleccionados para el estudio se muestran en la Tabla 2. El porcentaje de compactación está referido a la densidad de referencia de mezcla asfáltica producida para el tramo de donde se obtuvieron los testigos.

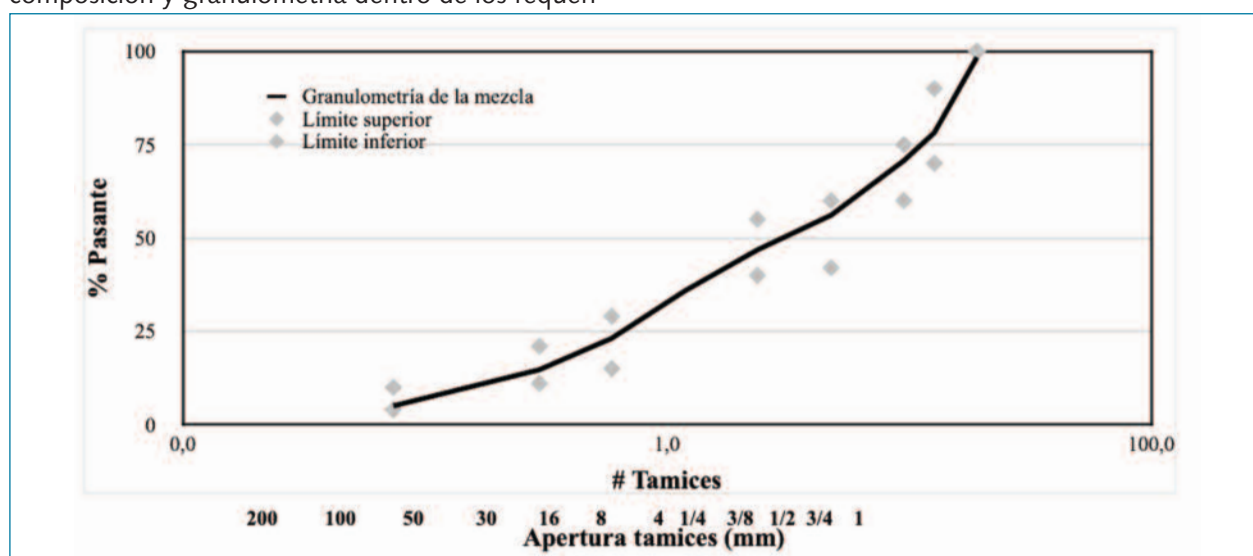


Figura 2. Composición y Granulometría mezcla asfáltica convencional CA30

Análisis por imágenes de mezclas asfálticas para su control expeditivo



Figura 3. Testigos calados

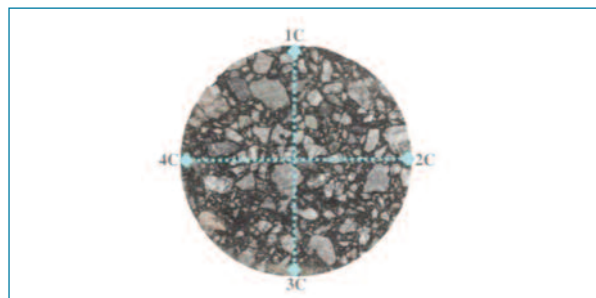


Figura 4. Trazado de 4 cuadrantes

Testigos o Probetas	Identificación	Contenido de asfalto en peso (%)	Vacíos (%)	Densidad Teórica Máxima (kg/dm ³)	Densidad Marshall (kg/dm ³)	Densidad referencia (kg/dm ³)	VAM (%)	RBV (%)	Compactación (%)
Calados	A	4.67	3.5	2.572	2.484	2.454	15.1	76.8	101.1
	B	4.67	2.8	2.572	2.501	2.454	14.5	80.7	101.9
	C	4.67	4.0	2.572	2.470	2.454	15.5	74.3	100.6
Marshall	1	4.67	6.0	2.572	2.418	2.454	17.3	65.3	98.5
	2	4.67	5.0	2.572	2.443	2.454	16.4	69.5	99.5
Giratorio	G	4.67	3.7	2.572	2.476	2.454	15.3	75.8	100.9

Tabla 2. Características de las probetas y testigos

2.2. Procedimiento

Para realizar un análisis expeditivo de testigos por imágenes se procede a limpiar los mismos eliminando todo tipo de polvo producto de su calado. Se destaca la importancia de que el testigo se encuentre seco y se tomen las fotos con muy buena iluminación, preferiblemente al sol pleno. Previo a la adquisición de las imágenes se deben marcar los cuatro cuadrantes en la cara superior del testigo; al realizar este trabajo quedan determinadas cuatro áreas laterales de análisis, Figuras 4 y 5, para luego poder promediar los resultados obtenidos, minimizando así los errores debido a la heterogeneidad en la distribución de los agregados dentro de la mezcla.

En correspondencia con cada cuadrante, identificados con la letra C, se debe capturar mediante un teléfono móvil o cámara digital, la imagen de la cara lateral del testigo. Luego se envían al laboratorio donde se podrán procesar en el momento o recopilar para ser analizadas en grupos mediante un programa de análisis de imágenes, en este caso el Ipas 2D, pero se podrían utilizar programas o aplicaciones con mayores prestaciones siguiendo el mismo procedimiento aquí indicado.

2.3. Recomendaciones

Una vez obtenidos los testigos calados a analizar se recomienda:

Que la toma de imágenes se tome con un teléfono móvil con una buena resolución de cámara, en este estudio se usa una cámara con resolución de 25 megapíxeles.

Que la iluminación empleada sea buena, de ser posible la luz solar y sin sombras.

Subir las fotos a la nube de datos desde el lugar donde se calaron los testigos, si se dispone de conexión a internet, de esta forma, se puede acelerar el procesamiento desde el laboratorio/gabinete y hacer el procesamiento de éstos casi en simultáneo.

En el momento de escoger la zona a analizar, se debe procurar no tomar en cuenta los bordes superior e inferior debido a las irregularidades de las superficies, ni en los bordes derecho e izquierdo, para evitar distorsiones de la curvatura propia del testigo y que no se debe incluir en el procesamiento de la imagen en 2 dimensiones, Figura 5.

Para el caso que las áreas analizadas no sean iguales es conveniente expresar el número de contactos por

unidad de área.

Una ventaja de esta metodología es la de utilizar directamente el testigo sin necesidad de aserrarlo para exponer la estructura de la mezcla asfáltica, como sucede en las probetas compactadas en laboratorio, es decir no se realizan cortes posteriores al calado. Si bien se puede realizar un aserrado vertical u horizontal para obtener mayor información, si fuera imprescindible, pero esto va en contra de un trabajo rápido y sencillo, que es lo que se busca en esta propuesta.



Figura 5. Zona a procesar

3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se lleva a cabo el análisis por imágenes mediante el Programa Ipas 2D de los testigos calados y de las probetas de laboratorio para poder establecer una correlación entre sus resultados. En este caso se usa como input la curva granulométrica obtenida en laboratorio de la producción de mezcla asfáltica de ese día. Luego se determinan los puntos de contacto entre agregados dentro de la mezcla, así como la orientación de los mismos. Para los testigos A, B y C se selecciona un área de estudio de 60 cm² en cada cara o cuadrante. Al igual que la probeta confeccionada en compactador giratorio, mientras que para las probetas Marshall se estudia un área de 40 cm².

3.1. Puntos de contacto

Dado que es notoria la calidad de la iluminación sobre los resultados en los puntos de contacto entre agregados, se muestra en la Figura 6 resultados obtenidos a partir de fotos tomadas con luz solar en el exterior (Figura 6 a) y con luz artificial en el interior del laboratorio (Figura 6 b). En este caso en particular (2° cuadrante del testigo "A"), se obtiene, para la imagen con iluminación adecuada 437 contactos entre agregados, mientras que en la para la imagen con escasa luz, se llega a un resultado de 305 puntos de contacto entre agregados.

Comparativamente se puede determinar una relación de 7 ptos/cm² (Figura 6 a) contra 5 ptos/cm² (Figura 6 b) en base al área analizada y los contactos entre los agregados.

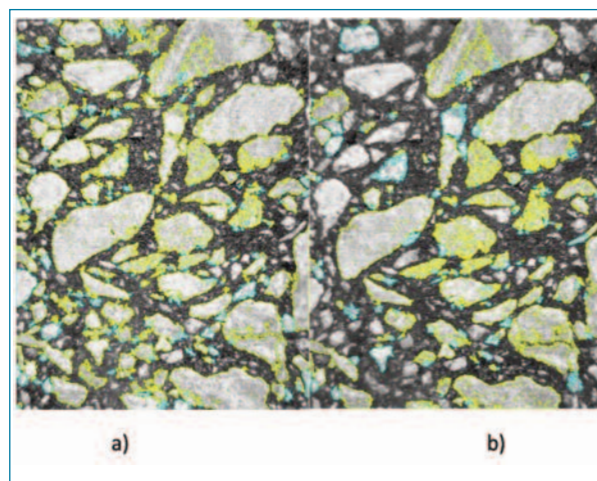


Figura 6. a) Puntos de contacto Exterior b) Puntos de contacto Interior

En la Tabla 3 se muestran los resultados comparativos a modo de ejemplo, de los cuatro cuadrantes de un testigo calado, luego de procesarlos y analizar los puntos de contacto tanto en condiciones de iluminación artificial (interior, laboratorio) como natural (exterior, luz solar).

Como se puede notar, en todos los sectores se repite la tendencia de duplicación de puntos de contacto en el caso analizados a partir de imágenes con una buena iluminación. Queda así en evidencia la impor-

Análisis por imágenes de mezclas asfálticas para su control expeditivo

tancia de tomar las imágenes preferentemente con luz solar.

Probeta	1C	2C	3C	4C	Resultado	Ptos/c m ²
A - Exterior	530	437	409	531	476	8
A - Interior	202	305	239	273	254	4

Tabla 3. Resultados puntos de contacto probeta A

Por lo tanto, para todos los análisis realizados posteriormente se usan imágenes obtenidas con luz solar.

Se determinan los puntos de contacto entre agregados mayores a 0.3mm de tamaño y con una distancia entre los mismos menor a 0.1mm. También se informó el valor correspondiente a la densidad y porcentaje de vacíos, con el objetivo de relacionar estos resultados con propiedades determinadas mediante ensayos convencionales.

En la Tabla 4 se pueden observar los puntos de contacto determinados en los testigos calados, junto con la probeta confeccionada mediante compactador giratorio en laboratorio denominada "Probeta G", y en la Tabla 5 los correspondientes a las probetas Marshall.

Se recuerda que debido a que las probetas de tipo Marshall deben ser aserradas transversalmente para

poder visualizar la estructura interna, y su posterior análisis, es que sólo se obtiene un único valor por probeta.

A partir de los resultados obtenidos de los testigos y de las probetas de laboratorio surge que las estructuras logradas in situ difieren en sus puntos de contacto con las obtenidas en laboratorio.

3.2. Orientación de los agregados

No solo es importante conocer los puntos de contacto sino también establecer la orientación de los agregados por las propiedades que puede inferirle a la mezcla, como ser la deformación permanente, problema habitual en la zona pampeana de la Argentina, por esto último es que se limita la forma de los agregados con el ensayo "Determinación de lajosidad y elongación en agregados" [6], pero no se conoce cómo es la distribución final luego de los diferentes procesos de compactación.

El programa Ipas 2D permite determinar la orientación de los agregados como se muestra en la Figura 7, donde se indica en un área de estudio; los distintos ejes y ángulos que considera el programa para definir a cada agregado, de acuerdo al área de cada uno, su ubicación y alineación con respecto a cada eje.

Testigo o Probeta	1C	2C	3C	4C	Promedio	Ptos/cm ²	Densidad (kg/dm ³)	Vacíos [%]
A	530	437	409	476	8	2.470	4.0	101.1 101.9 100.6
B	942	797	635	604	10	2.501	2.8	98.5 99.5
C	997	797	605	474	12	2.454	3.5	100.9
G	1102	1458	1296	1193	20	2.454	3.7	100.9

Tabla 4. Puntos de contacto testigos calados y probeta compactada en laboratorio

Probeta	Resultado	Ptos/cm ²	Densidad (kg/dm ³)	Vacíos [%]
1	432	10	2.418	6.0
2	641	15	2.443	5.0

Tabla 5. Puntos de contacto probetas Marshall

Siendo:

X_C – Coordenada en X del centroide del agregado.

Y_C – Coordenada en Y del centroide del agregado.

θ – Ángulo entre eje radial y eje principal del agregado.

α – Ángulo entre eje horizontal y eje principal del agregado.

Considerando al eje radial desde el centro del área en estudio hasta el centro de masa del agregado. A modo de ejemplo si observamos el agregado denominado P, podríamos indicar que los ángulos correspondientes θ y α resultan 90° y 0° respectivamente, lo cual indica que se encuentra en sentido horizontal paralelo con respecto al plano coincidente con la calzada.

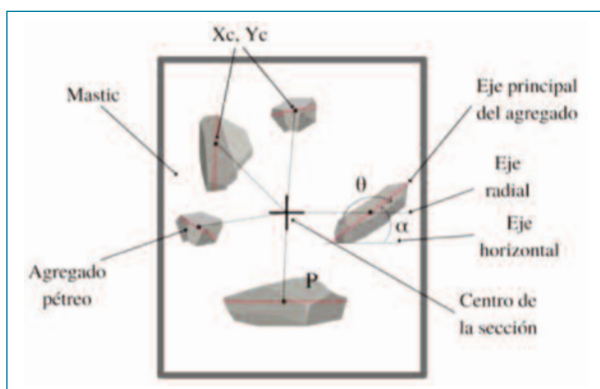


Figura 7. Esquema de orientación de los agregados

Es necesario mencionar que este programa tiene la particularidad en el procesamiento de las imágenes tomadas, siempre orienta el lado mayor del área en estudio en sentido horizontal. Entonces si como en este caso en particular, por mantener una misma resolución de 0.026mm/píxel, se toman imágenes con mayor altura que ancho, todos los ángulos que se obtengan como resultados, se deben rotar 90° respecto al eje horizontal; pero con respecto al eje radial no se modifican ya que el ángulo es relativo a este eje.

En la siguiente gráfica, Figura 8, se muestran los resultados a modo de ejemplo del Testigo calado A, evaluando la orientación de los agregados frente a 2 ejes, uno horizontal con ángulos crecientes en sentido horario, y un segundo ángulo referido a un eje radial, ya rotados 90° .

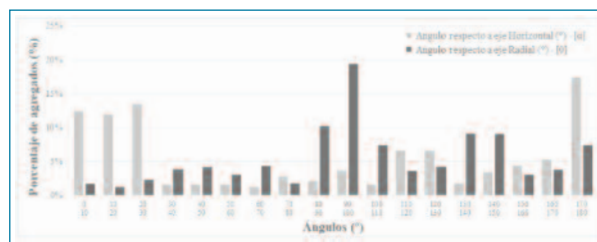


Figura 8. Resultados de la orientación de agregados, testigo A

A continuación, se calcula únicamente el porcentaje de agregados para cada testigo o probeta según la orientación respecto a la horizontal (ángulo α), Figuras 9 a 11, con la misma metodología mencionada anteriormente.

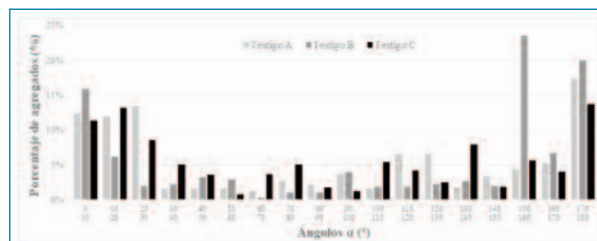


Figura 9. Resultados de la orientación de agregados testigo A, B y C

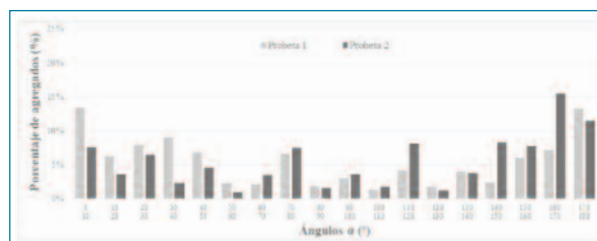


Figura 10. Resultados de la orientación de agregados, probeta 1 y 2



Figura 11. Resultados de la orientación de agregados, probeta G

Se observa que la orientación de los agregados tanto en los testigos calados como en la probeta confeccionada en el compactador giratorio, se dispone en ángulos entre 0° y 30° . En el caso de los testigos se calcula que el porcentaje de agregados orientados en este en-

torno es de 65 % en el Testigo A, 74% en el testigo B y 57% en el testigo C; para el caso de la probeta G este valor desciende a 49%.

Con respecto a las probetas tipo Marshall no se encuentra una orientación preponderante, sino una uniformidad en la orientación respecto al eje horizontal, demostrando nuevamente la diferencia que se puede generar en el comportamiento de las distintas mezclas asfálticas según su metodología de compactación.

Se advierte que para la mezcla compactada in situ, la orientación de la mayoría de los agregados, más aún los de mayor tamaño, como se puede apreciar en la Figura 12, quedan con una orientación prácticamente horizontal, lo que puede dar indicios de un ahuellamiento temprano de la mezcla colocada.

En la primera imagen (Figura 12 a) se analizaron todos los agregados de tamaño mayor a 0.3mm, y a partir de estos resultados se realizan las gráficas de distribución según el porcentaje de área (Figuras 8 a 11).

En la segunda imagen (Figura 12 b) se tuvieron en cuenta solamente aquellos agregados de tamaño nominal mayor a 5mm, deduciendo que estos son los encargados de transmitirle propiedades a la mezcla, sumado a que el corte granulométrico para realizar el ensayo correspondiente para definir su forma, se realiza para tamaños mayores a 5mm.

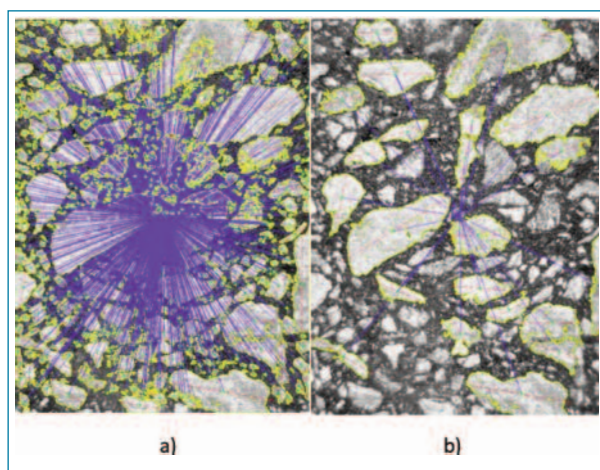


Figura 12. Orientación de agregados mayores a 5 mm

A continuación, se presentan los resultados de 2 cuadrantes, correspondientes a la probeta confeccio-

nada mediante compactador giratorio, Figura 13, en las cuales podemos corroborar la heterogeneidad en la distribución de los agregados, la cual lleva a definir el

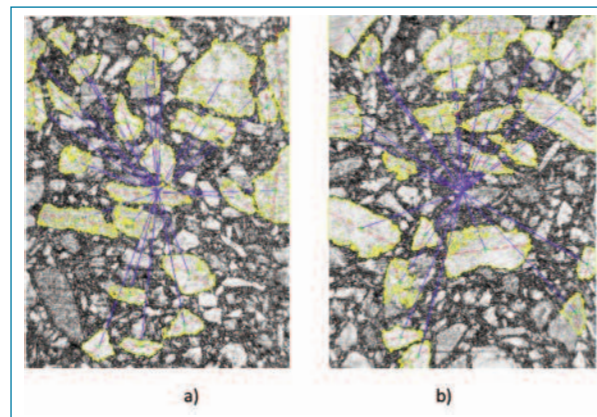


Figura 13. Orientación de agregados mayores a 6 mm compactador giratorio

procedimiento antes mencionado en este informe, de ponderar los resultados de los cuatro cuadrantes.

En general cuanto mayor sea el tamaño máximo nominal del agregado, mayor será el riesgo de segregación y compactación no uniforme. Como concluyen Partl et al. (2002) [7], los resultados de la compactación giratoria, mediante el análisis por tomografía computarizada (Rayos X), muestran claramente que los procesos de compactación con esta metodología no son capaces de producir mezclas asfálticas homogéneas.

Por inspección visual, puede observarse en la parte superior de la probeta compactada mediante compactador giratorio la segregación de agregados. Se destaca que este fenómeno puede analizarse con el programa Ipas 2D, pero excede los alcances de este estudio.

4. CONCLUSIONES

En base a las investigaciones realizadas se determina que los resultados son concluyentes respecto a la iluminación necesaria en las imágenes a procesar: los puntos de contacto medidos en los casos con buena luminosidad son casi el doble que cuando ésta no es adecuada. Esto resulta esencial ya que, la buena iluminación, sin sombras, provoca un contraste entre el mastic y los agregados, facilitando el procesamiento de las

imágenes logrando una mejor demarcación de los contornos de los agregados para su correcto análisis. También afecta a la orientación, debido a que no identifica a algunos agregados en los casos de exigua iluminación.

Este estudio ratifica y amplía las conclusiones obtenidas en el trabajo previo [2] donde se encontró que el método de compactación empleado en laboratorio proporciona estructuras granulares diferentes entre sí, por ejemplo, la compactación para el ensayo de Rueda Cargada, en forma de placa, determina que los agregados se ubiquen en su mayoría paralelos a la superficie de la probeta.

Se establece, así, que los puntos de contacto y sobre todo la posición y orientación de los agregados difieren mucho entre los testigos calados in situ y las probetas de laboratorio.

Si bien uno de los objetivos de esta investigación es buscar un control expeditivo en obra mediante distintos programas de análisis de imágenes (puntos de contacto, orientación, segregación, etc.) todavía no se ha al-

canzado una metodología aceptable. Por lo tanto, para este control rutinario resulta necesario continuar investigando, en principio en la búsqueda de correlaciones con los resultados obtenidos mediante distintos programas de análisis de imágenes (puntos de contacto, orientación, segregación, etc.) y resultados de ensayos complejos o que se realicen con poca frecuencia para control de obra (mensuales, trimestrales o semanales); esto lograría una mayor información y mejor caracterización de la mezcla asfáltica colocada in situ con una frecuencia diaria y espaciadas cada 500 metros, Figura 14, que es la distancia de control indicada en el pliego de especificaciones técnicas para lotes de obra [8].

Otro desafío a alcanzar consiste en la complementación de este control con los resultados de los vacíos de la estructura, y se conozca su disposición, orientación y número de contactos entre los agregados, conociendo si se mantienen en toda la obra con un mismo método de compactación o se producen variaciones.

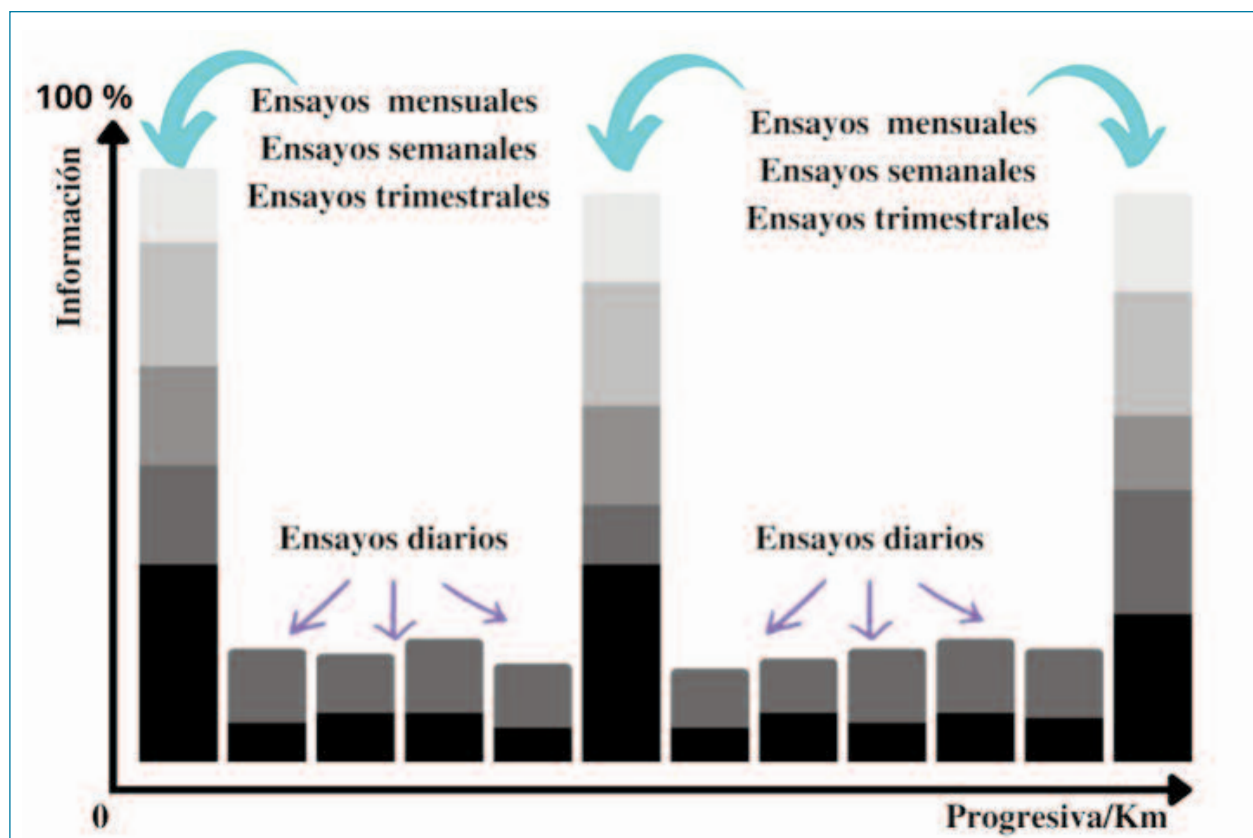


Figura 13. Orientación de agregados mayores a 6 mm compactador giratorio

Queda como proyecto a futuro, el desarrollo de un software que facilite la interpretación de los outputs del programa Ipas 2D y otro que lo reemplace permitiendo el análisis in situ de las imágenes tomadas en obra, independizándose del laboratorio. La celeridad con que se consiguen los resultados implica un ahorro de recursos, que impacta directamente en los costos y la calidad del pavimento.

<https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/licitaciones/pliegos-de-especificaciones-tecnicas>

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tashman, L., Masad, E., D'Angelo, J., Bukowski, J., & Harman, T., (2002.) X-Ray tomography to characterize air void distribution in superpave gyratory compacted specimens. *The International Journal of Pavement Engineering*, 3 (1), 19–28.
- [2] Cassani, F., Zorzutti, L., Zapata, R., C. Cassaux, M., Martinez, F., Angelone, S., (2019) Caracterización de mezclas asfálticas mediante análisis por imágenes. XX Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, México.
- [3] Recuperado el 10 de Julio de 2022, <https://uwmarc.wisc.edu/ipas-software-package.php>
- [4] Figueroa Infante, A.S y Reyes Lizcano, F.A (2015) Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica a partir del ensayo MIST y del programa iPAS2D® *Revista Infraestructura Vial*. LanammeUCR, Volumen 17 (30), pp.31 – 39.
- [5] Airey G. and Collop A. (2014) Mechanical and structural assessment of laboratory and field compacted asphalt mixtures, *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 50-63.
- [6] Normas de ensayos de la dirección nacional de vialidad (2017). Determinación de lajosidad y elongación en agregados VN - E38 - 86.
- [7] Partl, M., Flisch, A., Jönsson, M. (2002) Gyratory Compaction Analysis with Computer Tomography Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Switzerland.
- [8] Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. (2017). Recuperado el 10 de Julio de 2022, de Ministerio de obras públicas, vialidad nacional: