

Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

Jacinto Luis García

Vocal Revista Asfalto y Pavimentación

La compactación de una capa asfáltica es uno de los procesos más importantes de su ejecución, siendo fundamental para que aquélla alcance una calidad alta y uniforme que asegure sus prestaciones y durabilidad.

Sin embargo, ejecutar correctamente un plan de compactación, con el número de pasadas previstas en él, en el rango de temperatura adecuado y repartidas de modo uniforme por toda la capa, es muy difícil y se consigue en pocos casos.

Los métodos habituales suelen dar lugar a reparto irregular de las pasadas de los compactadores en la capa; una de las causas es el gran número de maniobras repetitivas, que induce a sus operadores a perder la concentración y funcionar de manera inconsistente. Además, esa rutina puede llevar a que la combinación de frecuencia, amplitud y velocidad no sea siempre la adecuada. La consecuencia será una falta de uniformidad en la densidad de la capa.

Numerosos estudios en que los se aplicó la referenciación con GPS de esas pasadas han confirmado este problema. Por ejemplo, uno de la Universidad de Twente [1] visualizó de modo gráfico esa falta de uniformidad, mostrando áreas con un número de pasadas muy alto y mientras que en otras era muy escaso. (Fig.1).

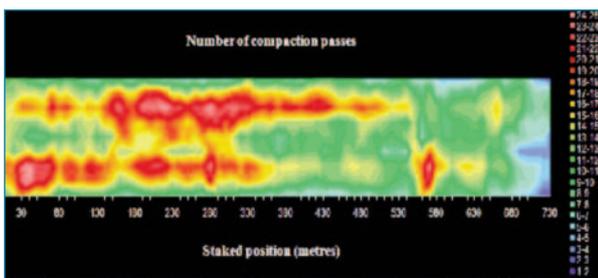


Figura 1. Distribución de pasadas de compactador en un tramo [1].

Cuando hay que compactar una gran superficie que es visualmente homogénea, negra, monótona y con pocas referencias, ¿es posible confiar en que, con el método tradicional, todos y cada uno de sus puntos tengan el número de pasadas necesarias, dadas en el intervalo adecuado de temperatura y/o con la velocidad adecuada? Se debería ser muy escéptico.

Por ello, con el objetivo de lograr más eficiencia, mejor y más uniformidad en la densidad de la capa y mayor durabilidad de ésta, en los últimos años se han incorporado tecnologías de posicionamiento y sensorización para la monitorización y control del proceso.

Inicialmente, se concibieron como un simple sistema de ayuda al operador, registrando con GPS las pasadas y su situación en la capa, para visualizarle en una pantalla en cabina las zonas ya compactadas, con el número de pasadas dadas en cada una, las zonas aún no compactadas, etc, de modo que le facilitasen el trabajo.

Desarrollos sucesivos fueron incluyendo sensores, como los de infrarrojos para medir la temperatura superficial de la capa, o acelerómetros para indicar la respuesta de la capa a su progresiva densificación.

En su estado actual estos desarrollos son una alternativa mucho más eficiente que la de métodos tradicionales basados en esquemas de compactación fijos o estáticos, pues consisten en una adaptación dinámica al estado de densificación de la capa, controlando, mediante referencia posicional y su registro, no sólo el número y distribución de pasadas, sino también las mediciones, en cada punto, de la temperatura y de la respuesta de la capa, siendo capaces de adaptar, en tiempo real, el esfuerzo de compactación a aplicar.

Como resultado, el proceso es mucho más eficiente y se obtiene más uniformidad en la densidad de la ca-

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

pa. Es la llamada "Compactación Inteligente" (CI)

La CI supone un enorme salto tecnológico en todo el proceso de compactación, probablemente el mayor producido desde la introducción de los rodillos vibrantes en los años 70; salto que afecta tanto a su ejecución como al control de calidad asociado.

1. CONCEPTO Y PRINCIPIOS DE LA COMPACTACIÓN INTELIGENTE

La Compactación Inteligente es un enfoque moderno, del siglo XXI, que utiliza tecnologías avanzadas para monitorear y controlar el proceso de compactación, con el objetivo de optimizar su eficiencia, a la vez que se obtiene mejor y más uniforme densidad en la capa y, consecuentemente, mayor durabilidad.

Implica el uso de sensores y sistemas de medición instalados en los rodillos para recopilar, con referencia de posición, datos en tiempo real durante el proceso de compactación. Estos sensores pueden medir parámetros como la temperatura superficial, la velocidad, la frecuencia y amplitud de vibración de los rodillos, la energía de compactación aplicada y la respuesta o resistencia de la capa.

A partir de los datos de la capa (espesor, tipo de mezcla) y de la medición continua de su temperatura superficial y de su respuesta al esfuerzo de compactación aplicado (función de su rigidez y relacionada con su densidad y temperatura) el software del sistema, tras procesar y analizar esos datos, no sólo informa al operador presentándole en pantalla, en tiempo real y en distintos colores, la información procesada, sino que puede llegar a automatizar totalmente los parámetros del esfuerzo de compactación a aplicar en cada punto.

Las funciones básicas del sistema son las siguientes:

- Medir continuamente, mediante acelerómetros, la respuesta de la capa ante el esfuerzo de compactación aplicado, monitorizarla junto con amplitudes y frecuencias de vibración y temperatura de la capa, y procesar los datos calculando un indicador que se asocia al estado de su compactación.
- Adecuar el esfuerzo de compactación a la respuesta que se obtiene de la rigidez de la capa.

- Georreferenciación de datos mediante GPS o GNSS, lo que permite mostrar mapas del estado de compactación en tiempo real
- Procesado y análisis en tiempo real, por un ordenador embarcado en el rodillo, de los datos recogidos por los sensores, mostrando al operador los valores del indicador, junto con otros parámetros de compactación. Ayuda gráfica mediante pantallas de mapas en colores con número de pasadas, temperaturas de la capa e indicador de compactación.
- Registro de todos los datos y resultados de la compactación y transmisión de los mismos con sistemas de comunicación inalámbrica a dispositivos de control y análisis

El parámetro clave es el de la respuesta de la capa frente al esfuerzo de compactación aplicado por el rodillo. Se mide mediante acelerómetros, basándose en que el tambor del rodillo experimenta movimientos de "rebote", que varían conforme aumenta la rigidez de la capa, generando aceleraciones, cuya vibración tiene diversos componentes de frecuencias específicas.

Cada fabricante ha desarrollado una distinta forma de filtrar y procesar los datos y de calcular el indicador que se relaciona con la densidad de la capa. La dificultad de definición de un indicador en capas asfálticas reside tanto en la influencia de las capas inferiores ante las fuerzas de compactación, ya que el bulbo de las tensiones transmitidas por el rodillo alcanza profundidades muy por debajo de la capa asfáltica en ejecución, como en la influencia de la temperatura en el módulo y la respuesta de dicha capa, variables con aquella. Por eso, han aparecido diversos indicadores impulsados por cada fabricante de rodillos, buscando una correlación precisa con la densidad real de la capa.

Se mantiene un registro continuo de los datos medidos, como pasadas, temperatura superficial, valores del parámetro relativo a la rigidez de la capa, frecuencias de vibración/amplitud y velocidades del rodillo. Estos datos completan o, incluso, sustituyen, el control de calidad tradicional de muestreo puntual, con la gran ventaja de abarcar la totalidad de la capa ejecutada.

En la compactación convencional, al operador del compactador no le llega información acerca de cómo

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

se está densificando la capa, ha de seguir un esquema de compactación prefijado y, en todo caso, habría que usar equipos ligeros de medición (nucleares o de resistencia) para muestreo puntual de cómo evoluciona la compactación.

Sin embargo, la Compactación Inteligente da al operador información, en tiempo real, tanto de la densificación que se está obteniendo en cada pasada, mostrando en forma gráfica la de las zonas ya compactadas, como el número de pasadas, temperatura superficial de capa y demás datos asociados a los parámetros de la compactación. Le permite visualizar el estado real de la capa, asegurar un reparto uniforme y eficiente de las pasadas de compactador y hacer, justo a tiempo o automáticamente, las correcciones necesarias en los parámetros del proceso de compactación para alcanzar la densidad prevista.

Las ventajas que ofrecen los sistemas de Compactación Inteligente son:

- Mejora y optimización de la compactación, obteniendo una densidad más uniforme en toda la superficie de la capa, sin requerir una gran experiencia en el operador.
- Ajuste automático de los parámetros de compactación, en función de la respuesta de la capa.
- Evita errores en áreas ya frías (vibración o amplitud alta) o compactadas.
- Mejora del comportamiento a largo plazo de la capa, al evitar zonas débilmente compactadas.
- Aumenta la productividad: Optimiza el proceso y reduce el número de pasadas, con los consiguientes ahorros en combustible y tiempo del proceso.
- Grabación continua de valores de rigidez del material, referenciados con su localización.
- Mejor control de calidad: contempla la totalidad de la capa y la homogeneidad de la densidad obtenida.
- Identificación de deficiencias en la superficie soporte con una pasada previa en la misma.

La CI nació del impulso e iniciativa de algunos fabricantes europeos de compactadores, que desarrollaron sistemas propietarios incorporados a sus equipos.

El interés suscitado y su potencial empleo como control de calidad final hizo que el sistema se fuese extendiendo y perfeccionando, llegando a establecerse unos principios comunes, para facilitar su empleo y el tratamiento de los datos por organizaciones de control y Administraciones.

Así, por ejemplo, la Administración Federal de Carreteras estadounidense (FHWA) ha impulsado el desarrollo y el estudio de la tecnología CI, [2], hasta llegar a fijar unas especificaciones, [3], a efectos de considerarla integrable en el Control de Calidad y de modo que los datos fuesen intercambiables.

La Compactación Inteligente es una tendencia de creciente implantación dadas las mejoras que conlleva, tanto en eficiencia y productividad en su ejecución como en la calidad final de la capa y su durabilidad.

1.1. Descripción del sistema de Compactación Inteligente

Los componentes fundamentales de un sistema de CI son:

GPS o GNSS Fija la posición del compactador en cada momento. La precisión debe ser centimétrica, para georeferenciación de datos, resultados del proceso y su mapeo,

Acelerómetro. Es el componente clave, se monta en el bastidor del rodillo, próximo al tambor vibrador, y registra las aceleraciones verticales debidas al esfuerzo de compactación transmitido y respuesta de la capa y de su apoyo.

Sensor térmico de infrarrojos. Mide, registra e informa de la temperatura superficial de la capa.

Ordenador de a bordo, capaz de procesar en tiempo real los datos registrados y analizar las aceleraciones verticales en relación con los parámetros de compactación (frecuencia, amplitud, y orientación en su caso, y velocidad) y calcular el valor del indicador que caracteriza la respuesta de la capa que se está compactando. En su caso, actúa sobre esos parámetros regulándolos automáticamente en función de la temperatura y respuesta de la capa. Genera un mapa continuo del nivel de compactación alcanzado, situación de pasadas y estado térmico superficial.

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

Salida gráfica. Una pantalla ubicada en la cabina muestra información de la compactación en tiempo real, tanto en formato numérico como gráfico en forma de mapas de la capa (de pasadas, de temperatura, del indicador de compactación) para ayuda a la actuación del operador del rodillo y que pueda, en su caso, hacer correcciones o ajustes.

La información que se muestra incluye la amplitud y frecuencia de vibración, la velocidad y la posición GPS. Los efectos de una pasada de rodillo se muestran en los mapas con colores diferentes (o tonos de color), de modo que el operador pueda realizar un fácil seguimiento de su ubicación a lo largo del tramo, decidir las siguientes pasadas, controlar el aumento de rigidez de la capa y asegurar una compactación uniforme.

Registro de datos. El sistema registra todos los datos del proceso de compactación, que pueden descargarse en cualquier momento para su análisis e incorporación a la documentación de control de calidad. Asimismo, pueden ser recibidos en tiempo real en dispositivos como smartphones o tabletas en el propio trabajo o en oficinas de control.

2. EQUIPOS DE COMPACTACIÓN INTELIGENTE

Prácticamente todos los fabricantes de compactadores ofrecen hoy día equipamientos con CI en equipos nuevos. También existe la posibilidad de actualizar y dotar de esas capacidades a equipos que no la tienen.

Se podrían establecer dos escalones en tecnologías disponibles, uno con una CI parcial, muy básica, sin análisis de la respuesta de la capa y un segundo con todas sus capacidades.

2.1. Sistemas con aspectos parciales de Compactación Inteligente

Como ya se indicó, un primer escalón fue el de registro de las pasadas mediante GPS y su visualización, en tiempo real, en una pantalla en el compactador; se podía complementar con una medición de temperatura superficial. Ello supone ya una ayuda para control del número de pasadas en la superficie e informar de

la temperatura en la capa, aunque sin medidores de la respuesta de la misma.

Si bien algunos fabricantes ofrecieron inicialmente estos equipamientos, la falta de medidores de la respuesta de la capa, que es ya un requisito imprescindible para hablar de CI, ha hecho que migrasen a ofrecer equipos con indicadores relacionables con la densidad de la capa.

No obstante, un pionero de la CI como **BOMAG**, ofrece actualmente un simple y primer escalón de acceso a la trazabilidad de pasadas y su registro: el sistema **BOMAP**, disponible en una app sin coste, para smartphones y tablets Android. Es aplicable a cualquier equipo de compactación de cualquier marca y se gestiona con una tableta en el compactador, utilizando bien el GPS de aquella ó, para mayor precisión (20 cm), un GPS colocado sobre el mismo.

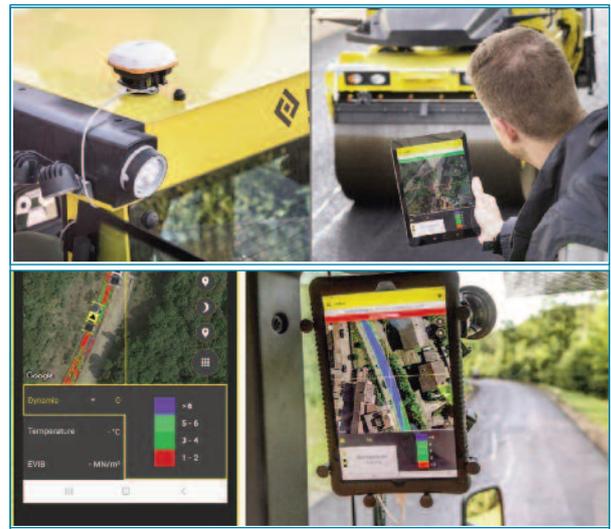


Figura 2. Pantallas de la aplicación BOMAP

Registra, si el compactador dispone de ellos, también los datos de temperatura y respuesta de la capa y los muestra en mapas sobre la cartografía de la obra, en la tableta en el compactador o en la del equipo del supervisor.

Todos los datos se registran en un pdf, que puede verse en cualquier momento en la propia tableta o grabado, vía USB, para el control de calidad externo en oficina.

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

2.1. Equipos con CI total

Integran todos los elementos de la CI descritos en el apdo.1 y pueden ofrecer todas sus capacidades y automatizaciones en el proceso de compactación.

Según fabricantes, difieren en el modo de medir y calcular el indicador de compactación; algún fabricante llega a relacionarlo directamente con la densidad de capa, sin precisar más que un calibrado de correlación del indicador con la misma.

Todos ellos muestran mapas similares en tiempo real de la superficie que se está compactando, con la posición del rodillo, las pasadas aplicadas, temperaturas e indicador de compactación, diferenciando los distintos rangos con diversos colores.

El operador vigila esa pantalla y ve las pasadas dadas en cada punto y las que quedan por hacer y dónde y, según el caso, la recomendación de los parámetros aplicar, aunque, en muchos de los casos, el sistema los aplica automáticamente.

2.2.1. AMMAN

Dispone del sistema ACE (Ammann Compaction Expert) que, en su versión **ACEpro**, ajusta automáticamente la amplitud y la frecuencia en función de las características detectadas en la capa sobre la que rueda, adecuando la energía de compactación aplicada según sea la respuesta que detecta de la capa, de modo que reduce automáticamente la amplitud del compactador en zonas con mayor rigidez o ya compactadas y la aumenta en los casos opuestos. En la pantalla indica al operador cuál es la velocidad óptima e indica la temperatura superficial de la capa.

El software incorporado analiza en tiempo real los parámetros medidos, a la vez que se registran todos los datos del proceso. (Fig. 3).

Incluye software de documentación ADS (Amman Documentation System) con función de análisis de oficina.



Figura 3. AMMAN

2.2.2. BOMAG

Fue una pionera en el desarrollo de la CI para capas bituminosas en caliente, presentando ya en 2001 el sistema Asphalt Manager (AM), que dotado de acelerómetros en el tambor mide el rebote de éste y calcula un valor, que denominan módulo de rigidez de la capa (EVIB) y que se correlaciona con la densidad, teniendo en cuenta la temperatura. (Fig. 4).

En la versión actual, Asphalt Manager 2 (AM2), se dispone de amplitud infinitamente variable y vibración orientada. Con ello, el operador sólo tiene que elegir el espesor de la capa, ya que el AM2 ajusta en modo automático los parámetros de la vibración, que puede variar entre vibración vertical y oscilación horizontal, optimizando el empleo de la máxima amplitud sin rebotes del tambor, irregularidades superficiales o rotura de los materiales.

El AM2 adapta la dirección de vibración automáticamente al sentido de marcha, evitando la formación de ondulaciones al no generar la habitual «onda frontal». Cuando el rodillo se detiene, AM2 cambia automáticamente a la vibración horizontal. Todos los pará-

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

metros, amplitud, temperatura, valor de EVIB están a la vista del operador.

Limita automáticamente la amplitud en capas finas y la reduce cuando la resistencia a la compactación es alta, como cuando se está llegando al final de la compactación o el material está demasiado frío.

La precisión de GPS o GNSS está entre 5 y 22 cm, sin necesitar estación total de apoyo.



Figura 4. Bomag Asphalt Manager- Pantallas del sistema, la de control y con mapas de compactación

Con la serie de programas BCM, Bomag Compaction Management, se documentan para el control de calidad los datos registrados, mediante comunicación con una tableta in situ o, descargados vía USB, para análisis en oficina.

Asimismo BOMAG ofrece BCM net, un sistema con el que se pueden enlazar los diversos compactadores del tajo mediante una red inalámbrica local, de modo que cada operador puede visualizar en su pantalla los mapas del estado global de la capa, pasadas, temperaturas, etc. (Fig.5)



Figura 5. Varios compactadores en red (BCM net)].

2.2.3. DYNAPAC

Dispone de dos niveles en su CI, el más sencillo sin GPS sólo muestra en la pantalla de cabina los parámetros de compactación, las mediciones de temperatura delante y detrás y el valor de la respuesta de la capa, Compaction Meter, mostrando su EVIB. Para correlacionar con la densidad real de la capa se precisa hacer una calibración.

El sistema propiamente de CI es el Dyn@lyzer, que incorpora un GNSS que registra los datos georeferenciados, mostrando en la pantalla, Fig.6, los mapas de pasadas, temperatura o valores de compactación (EVIB), a la vez que registra y genera la documentación de los mismos.



Figura 6. Pantalla con las pasadas y temperaturas superficiales

2.2.4. HAMM

Dispuso del sistema HCQ Navigator que calcula un indicador que HAMM denomina HMV (Hamm Meter Value), correlacionable con la densidad de la capa.

El sistema muestra las pantallas habituales de la CI (Fig.7) y las áreas donde el operador debe dar las pasadas siguientes y tiene la capacidad de aplicarse a varios rodillos, siendo capaz de integrar en tiempo real los datos de los demás compactadores que actúan en la capa, conectados vía wi-fi. Es aplicable a todos los rodillos del tren de compactación.

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

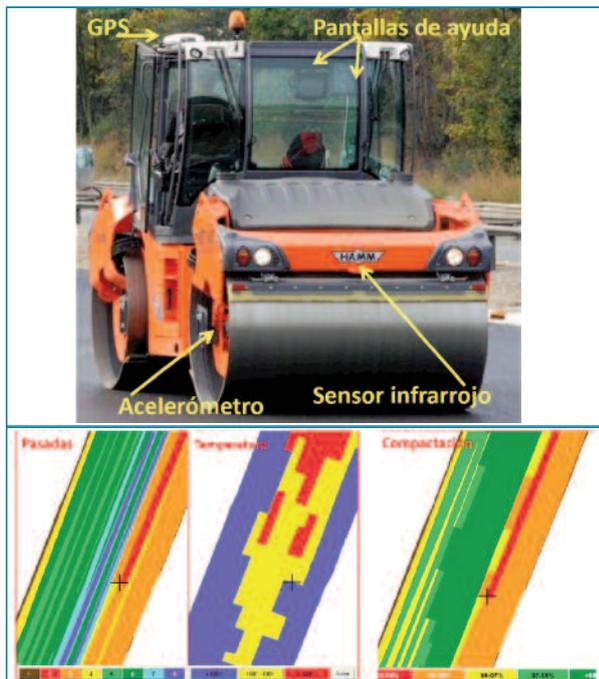


Figura 7. Sistema HCQ Navigator de Hamm y pantallas de ayuda al operador

Actualmente oferta, para una serie de sus rodillos tándem, el sistema Smart Compact, un asistente con mayor control y automatización del proceso. Además de los componentes habituales de la CI, incluye datos meteorológicos locales, con lo que puede evaluar la velocidad de enfriamiento de la capa en función de las temperaturas del aire, del asiento y del viento. Es aplicable en smartphones, tabletas y PC. (Fig.8)



Figura 8. HAMM Smart Compact

El operador puede limitarse a introducir los datos de la capa a compactar (tipo y espesor) y el sistema automatiza todos los parámetros de compactación (vibra-

ción orientada o estática, amplitud), en función del tipo de capa, datos del entorno y respuesta de la capa para cada uno de los dos tambores por separado.

2.2.5. VOLVO

Inició el desarrollo en 2008 de un sistema de CI con la Universidad de Oklahoma y Trimble, denominado IACA, Intelligent Asphalt Compaction Analyzer. Se validó en un proyecto del programa Highways for LIFE Technology Partnerships Program de la FHWA [4 y 5], siendo capaz de estimar la densidad teórica máxima con un error medio de 0,1 % y una desviación estándar de 0,8, resultando una herramienta adecuada de control de calidad durante la construcción de pavimentos bituminosos.

Actualmente VOLVO ofrece en su gama de rodillos el sistema de CI Compact Assist, cuyo indicador CMV (Compaction Measurement Value) de respuesta de la capa es correlacionable con su densidad. Así, con una calibración de la misma con testigos o medidores nucleares, mediante el paquete Intelligent Compaction con Density Direct, se muestran las densidades por áreas coloreadas de un metro cuadrado, y con el valor numérico que se está midiendo en una esquina de la pantalla, que Volvo indica lo son con una precisión del +/-1.5%



Figura 9. Volvo Compact Assist

Los datos, además de visibles en el tajo, son extraíbles a la web y totalmente compatibles con VETA (ver apdo. 4).

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

2.2.6. OTROS

Otros fabricantes, como ATLAS COPCO, CATERPILLAR, SAKAI, también disponen de sistemas similares de CI a los descritos.

3. PUESTA AL DÍA DE COMPACTADORES, ACTUALIZACIONES A CI

También existen kits para actualizar rodillos vibrantes que no disponen de CI y dotarlos de esas capacidades. Además de algunos fabricantes de rodillos, empresas especialistas en medición y automatización de equipos, como MOBA, TRIMBLE o TOPCON, proporcionan esos kits y el software de explotación correspondiente, que permiten disponer de Compactación Inteligente en rodillos vibrantes convencionales

3.1. MOBA

El Moba Compaction Assistant, MCA-3000, es un kit con los elementos típicos de un sistema de CI (GPS, Acelerómetro, pantalla y software).



Figura 10. Kit MOBA MCA-3000

Además del registro y visualización in situ permite el tratamiento sencillo de datos vía web.

3.2. TOPCON

C63 INTELLIGENT COMPACTION SYSTEM, es el kit que suministra TOPCON, similar al de MOBA.

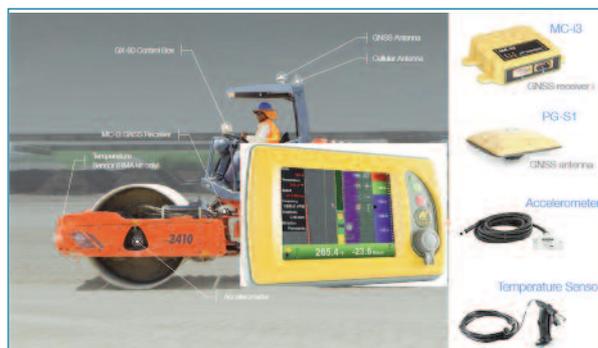


Figura 11. TOPCON C63

Con la aplicación Sitelink3D-v2, una plataforma con base en la web, se pueden visualizar y tratar los datos de modo remoto, en tiempo real.

3.3. TRIMBLE

Asimismo, Trimble ha desarrollado el sistema CCS900 adaptable a cualquier compactador que controla, registra y muestra en pantalla los mapas de pasadas, de temperatura superficial de la capa (Fig. 12). También procesa, en su caso, el parámetro asociado al sensor de compactación, que no forma parte del sistema estándar de Trimble. Es un sistema adoptado por algunos fabricantes de rodillos que incorporan al mismo su sensor e indicador de compactación.

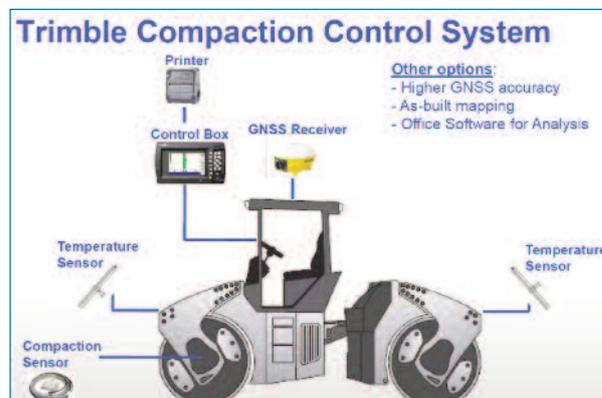


Figura 12. Esquema del sistema de IC de Trimble.

Novedades en la maquinaria de obra: Compactación Inteligente de las mezclas asfálticas en caliente. Equipamientos

4. SOFTWARE UNIVERSAL PARA TRATAR E INTERCAMBIAR DATOS DE SISTEMAS DE COMPACTACIÓN INTELIGENTE

Como fruto de los estudios sobre CI impulsados en USA por la FHWA y con el objetivo de uniformar los resultados de estudios se ha desarrollado el software VETA, [6], capaz de importar datos de varios equipos de CI y del sistema de control termográfico PAVE-IR (tanto el basado en barras de sensores como el de escáner) para su edición y análisis, incluyendo su representación gráfica o en mapas.

Ya se incluye su exigencia en las especificaciones genéricas de la FHWA. La exportación de datos de los sistemas de IC, la hace el software propietario de cada equipo.

5. CONCLUSIONES

En una capa de mezcla asfáltica de un firme tanto su densidad como la uniformidad de ésta son dos factores clave para sus prestaciones y durabilidad.

Frente a métodos tradicionales de compactación el empleo de rodillos dotados de sistemas de Compactación Inteligente aprovecha la tecnología para optimizar el proceso de compactación, ayudando a reducir pasadas, tiempo y costos de construcción, y mejora la calidad de las capas asfálticas y prolonga su vida útil al garantizar una compactación adecuada y uniforme del

asfalto.

Por ello, la Compactación Inteligente es una tendencia de creciente implantación, que permiten a los operadores tomar decisiones basadas en datos, lo que resulta en una mejor compactación, productividad, calidad final y durabilidad de las superficies asfálticas.

6. REFERENCIAS

- [1] AsphaltOpen – an interactive visualization tool for asphalt concrete paving operations [Miller et al. Twente Univ.).
- [2] Accelerated Implementation of Intelligent Compaction Technology for Embankment Subgrade Soils, Aggregate Base, and Asphalt Pavement Materials Final Report - Publication No. FHWA-IF-12-002 - July 2011.
- [3] FHWA. Generic-IC Specifications for Asphalt Materials.
- [4] FHWA- Intelligent Asphalt Compaction Analyzer [FHWA-HIF-12-019] .
- [5] Intelligent Asphalt Compaction Analyzer: Final Report (FHWA-HIF-11-028) 2010.
- [6] Veta Data Management and Analysis Software [<http://www.intelligentcompaction.com>]

#85

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas asfálticas posibilitan actuaciones de conservación del firme muy rápidas, minimizando la afección al tráfico y a los usuarios frente a otro tipo de soluciones.” (Noticias- Operación Asfalto Ayuntamiento de Madrid)

#CONFORT_Y_SEGURIDAD