

XVII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRANSITO

Rosario, 24 al 28 Octubre 2016

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

Autores:

Ing. Pablo F. Lucchetti
LABTEC - UTN - FRGP

Av. Hipólito Yrigoyen 288, 1617 Gral. Pacheco, Buenos Aires
Tel: 11-15-4419-0407 - email: plucchetti@yahoo.com

Ing. Julio Cesar Tomas
LABTEC - UTN - FRGP

Av. Hipólito Yrigoyen 288, 1617 Gral. Pacheco, Buenos Aires
Tel: 11-15-5769-0299 - email: tomas_julio@hotmail.com

En el año 2009 la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes de Estados Unidos (AASHTO) aprobó, después de 7 años de estudio, un nuevo procedimiento para calibración ANUAL de los equipos deflectómetro de impacto (FWD), que fue denominado AASHTO R32-09. Este procedimiento simplificó los procesos introduciendo en la calibración nuevas tecnologías y el desarrollo de un software específico que permite calibrar fácilmente los deflectómetros (FWD) de todas las marcas comercializadas en la región. También permitió que en los últimos años se instalen numerosos laboratorios de calibración en América de Norte, centro América y Europa.

Hasta hace poco no existían en la Argentina y ni la región Laboratorios de calibración de estos equipos para garantizar la calidad de los resultados de los ensayos efectuados.

Este trabajo presenta los alcances del procedimiento AASHTO R32 y la implementación del primer laboratorio de calibración de deflectómetros FWD de la Argentina, que fue desarrollado por la UTN Facultad Regional Gral. Pacheco en base a dicho procedimiento y que está en proceso final de acreditación bajo norma de calidad y competencia técnica ISO 17025 por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Este es el primer laboratorio de este tipo con acreditación de calidad en América de Sur.

Introducción

El deflectómetro de impacto o falling weight deflectometer “FWD” fue creado a inicios de la década de los 60, cuando los ingenieros franceses del LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) comienzan a investigar sobre una forma alternativa a la viga Benkelman para medir

la capacidad estructural de los pavimentos mediante ensayos de con un plato de de carga, por las características de los pavimentos, estas investigaciones dan lugar a la construcción del primer prototipo de esta clase de equipos para la medida de la deflexión, cuyo principio de medida era una masa que se dejaba caer sobre un sistema amortiguado.

Los datos registrado por los Deflectómetros de impacto (FWDs) se utilizan para la evaluación estructural de pavimentos y se pueden utilizar para calcular la vida restante de pavimento, la capacidad de soporte de carga, y el espesor requerido para obras de rehabilitación. Los resultados de estos cálculos se pueden utilizar para gestionar los sistemas de pavimento a nivel de proyecto o de la red.

Varios modelos mecanicistas de pavimentos se utilizan en el análisis incluyendo la teoría elástica capa, la teoría de elementos finitos, la teoría de elemento discreto, etc. Estos métodos analíticos utilizan los módulos de elasticidad de las capas del pavimento como una entrada. Las deflexiones del pavimento, combinadas con métodos de cálculo regresivo, pueden proporcionar los módulos de capa. Sin embargo, la exactitud de las desviaciones tiene una gran influencia en la precisión de los módulos retrocalculados y los análisis posteriores. (2)

La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials, es el órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. A pesar de su nombre, la asociación representa no sólo a las carreteras, sino también al transporte por aire, ferrocarril, agua y transporte público.

AASHTO está formada por miembros del Departamento de Transporte de cada estado en los Estados Unidos, así como de Puerto Rico y del Distrito de Columbia. También son miembros externos los departamentos de transporte de las provincias canadienses y de Hong Kong.

La norma ISO 17025-2005 (o IRAM 301 en Argentina) establece todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y calibración que desean demostrar que: poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos.

Fuentes de errores en las mediciones de los equipos Deflectómetros de Impacto FWD

Los equipos FWD tienen las siguientes fuentes de error:

- Errores de asentamiento.
- Los errores aleatorios.
- Errores sistemáticos.

Y presentan la siguiente distribución de errores (errores aleatorios y sistemáticos.)

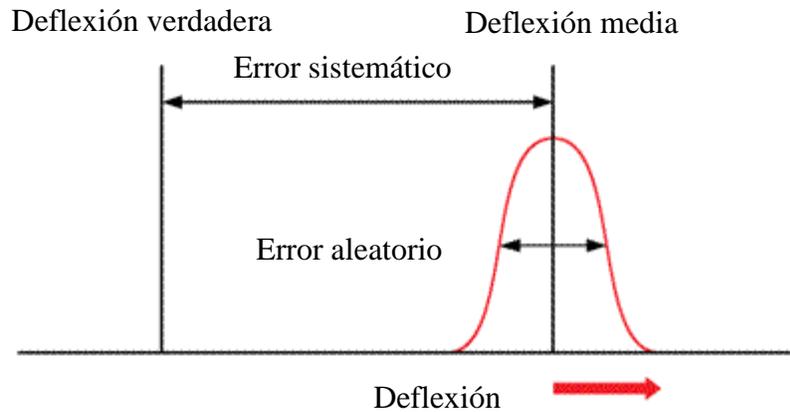


Figura 1

- Errores de asentamiento

Cuando un FWD inicia un nuevo punto de prueba, surgen errores de asentamiento de los sensores (geófonos o sismómetros) sobre el pavimento. Debido a la rugosidad y los residuos sueltos sobre la superficie de la carretera, los sensores no están siempre bien asentados. Pero este tipo de sensores se pueden sentar con bastante facilidad dejando caer la masa FWD una o dos veces antes de registrar datos para su análisis. Sin embargo, los pavimentos muy fisurados, pueden plantear un problema de estar sin importar el número de ensayos previos que se realicen.

Además de los sensores para medir deformación (geófonos o sismómetros), la celda de carga del FWD también debe estar asentada en ángulo recto en el pavimento. Para la mayoría de tipos de FWDs, todo lo que se necesita es mantener la parte giratoria del plato de carga lubricado.

- Errores aleatorios

Los errores aleatorios son atribuibles principalmente a la digitalización de la señal analógica (voltaje) de los sensores de geófonos o sismómetros. El conversor analógico-digital convierte esta señal de tensión para que pueda ser procesada por una computadora, sumando a la señal un pequeño error, por lo general uno o dos bits menos significativos, del orden de 0.04-0.08 mil (1-2 micrones) por la lectura.

Por lo tanto, cada lectura de deflexión incluye un pequeño componente de error aleatorio que se cuantifica mediante el procedimiento de calibración descrito en este trabajo.

- Errores sistemáticos

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

De los errores sistemáticos surgen de la necesidad de calibrar los sensores y son directamente proporcionales a las lecturas. Los fabricantes de los equipos FWD indican que este error esta es inferior a ± 2 por ciento de la lectura total. A diferencia de los errores aleatorios, este porcentaje de error sistemático es constante para cada sensor dado y para todos los ensayos.

La razón principal para realizar la calibración FWD es reducir el citado error.

El procedimiento de calibración utiliza un sensor de referencia (es decir, una celda de carga de referencia para la calibración de carga y un acelerómetro de referencia para la calibración de geófonos y sismómetros) que está calibrado de forma independiente a un alto grado de precisión y fiabilidad. El resultado registrado por el FWD se compara con el máximo registrado por el sensor de referencia y esa diferencia se convierte en el factor de calibración (también conocido como el factor de ganancia).

Desarrollo del protocolo de calibración en Estados Unidos de América

En 1988, el Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) comenzó a desarrollar un procedimiento de calibración para los equipos FWD con el objetivo de reducir el error sistemático lo más cercano a un 0,3 por ciento como sea posible. La reducción del error de polarización a 0,3 por ciento asegura que un error aleatorio menor a 2 micrones para deflexiones de hasta 670 micrones. Deflexiones medidos en la mayoría de las rutas que no se encuentran colapsadas rara vez son mayores.

En 1992 se crearon los primeros cuatro centros de calibración FWD regionales en USA y fueron operados por los departamentos de transporte del Estado de Pensilvania (PennDOT), Texas (TxDOT), Minnesota (Mn / DOT), y Nevada.

En agosto de 2001, la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO) Subcomité de Materiales aprobó una resolución de apoyo a la continuidad del funcionamiento de los centros de calibración.

Pero el procedimiento presentaba los siguientes problemas:

- No se adapta bien a todo tipo de FWDs.
- El proceso era lento, que requiere casi un día completo para terminar.
- El movimiento del bloque de inercia que sostiene el transductor diferencial lineal variable (LVDT) era a veces un problema.
- La introducción manual de datos era lento y propenso a errores de escritura.

En 2002, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) inició un estudio de fondo común, TPF-5 (039), con el apoyo financiero de los departamentos de transporte estatales para

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

superar los problemas mencionados anteriormente. En general, el objetivo primario del estudio era modernizar y simplificar el procedimiento de calibración en comparación con el enfoque anterior SHRP sin reducir la exactitud y precisión de los resultados.

Se desarrolló un protocolo de calibración universal. Equipos y software fueron rediseñadas para trabajar con todos los equipos disponibles en el mercado.

El proceso de calibración se aceleró. El tiempo para realizar una calibración se redujo a menos de 3 h.

El transductor lineal variable de diferencial (LVDT) fue reemplazado por un acelerómetro cuya señal era doble integrado para obtener la deflexión.

Un programa de software basado en Windows® Microsoft fue desarrollado para llevar a cabo todas las actividades de calibración FWD. Todo el procedimiento de calibración FWD está ahora controlado por WinFWDCal.

La nueva versión del equipo de calibración y software fue lanzado en mayo de 2010.

La acreditación de los laboratorios de calibración es dada por la AMRL (Figura 2), que es parte de la División de Ingeniería y Servicios Técnicos de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), organismo líder internacional en el establecimiento de normas técnicas para todas las fases del desarrollo del sistema de carreteras.



The image is a screenshot of the AMRL (AASHTO Materials Reference Laboratory) website. The header includes the AMRL logo, a search bar, and navigation links: Home, About Us, AASHTO Accreditation, Laboratory Assessments, Proficiency Samples, FWD (highlighted), Library, Resources, and 50 Years. The main content area features a section titled "FWD DOCUMENTS" with links to "Program Requirements", "Recommendations for Success", "FWD Evaluation Request Form", "FWD Evaluation Response Form", and "CALIBRATION CENTER OPERATORS' FORUM". Below this is a section titled "FWD Calibration Center Operator Certification Program" with a sub-header "FWD Calibration Center Operator Certification Program". The text describes the FWD calibration procedure, its development in the early 1990s, and the certification program initiated in 2004. It mentions the transition from Cornell University to AMRL in 2010. The text is accompanied by four images: a white van with FWD equipment, a red FWD unit, a close-up of yellow sensors, and a close-up of a circular component.

Figura 2

Implementación del protocolo de calibración en la Argentina

La tarea se puede dividir en cuatro etapas:

- 1- adquisición del nuevo equipamiento de calibración de equipos FWD y la capacitación de personal
- 2- construcción de laboratorio de calibración
- 3- validación tecnológica local, armado de procedimientos en español y calibración de patrones
- 4- puesta en funcionamiento del laboratorio y auditorias de cumplimiento de normas ISO 17025 por parte del INTI

1. La tarea comenzó en a inicios del año 2013 con la adquisición del nuevo equipamiento de calibración de equipos FWD bajo norma AASHTO R32 (Figura 3):

- Dispositivo para adquirir señales “KUSB- 3108”
- Dispositivo para adaptar señales “VISHAY”
- Celda de carga patrón
- Acelerómetro patrón
- Torre para colocar sensores deflectores
- Base para fijar al pavimento dicha torre
- Notebook con driver (Keithley) y programa “WinFWDCal”



Figura 3

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

Una vez recibido el equipamiento, especialistas venidos de USA realizaron una la capacitación de personal local:

- Fijación de sensores deflectores y acelerómetro patrón (Figura 4)



Figura 4

- Fijación de celda de carga patrón (Figura 5):



Figura 5

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

- Análisis de señal registrada por acelerómetro (Figura 6)

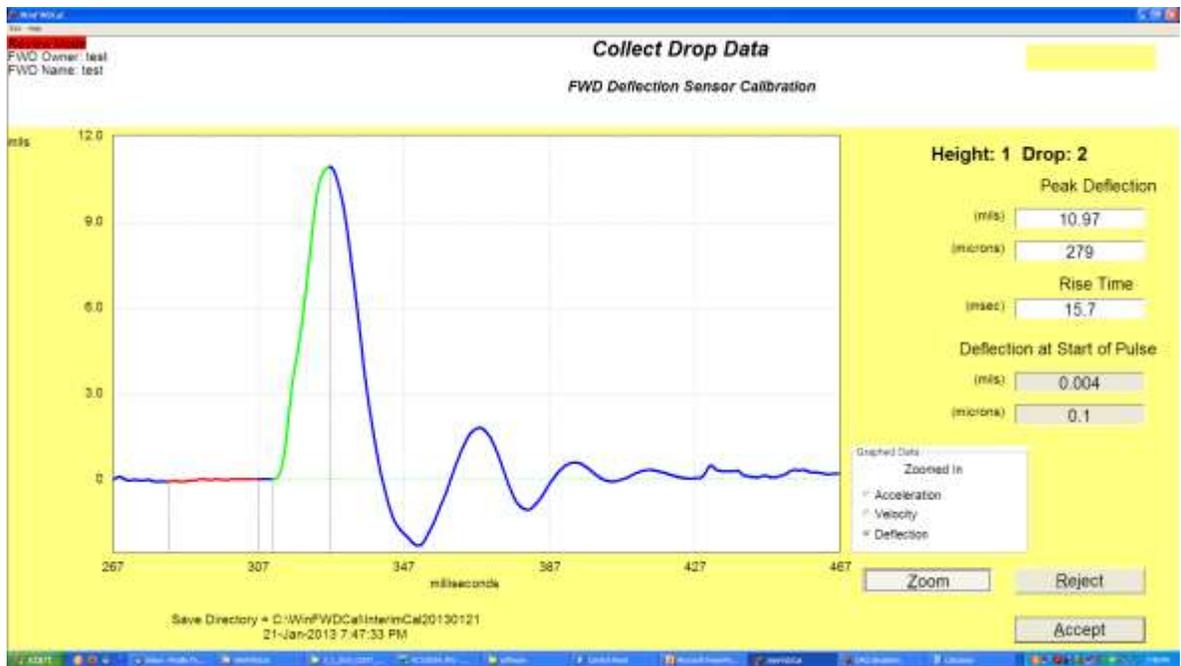


Figura 6

- Análisis de señal registrada por celda de carga patrón (Figura 7)

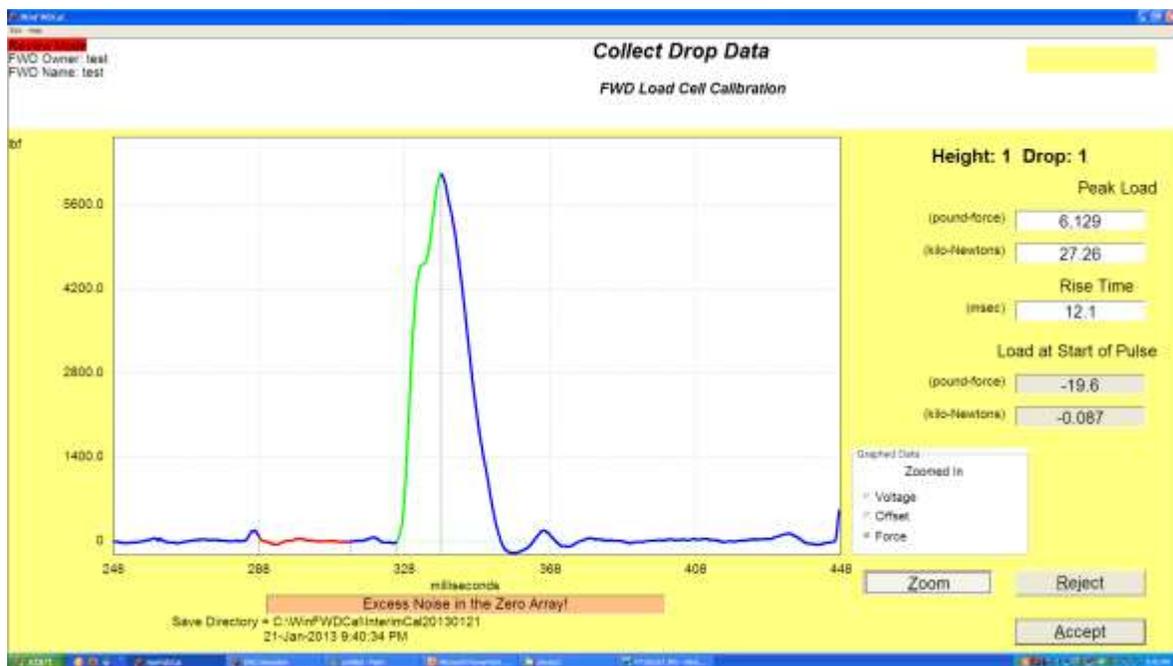


Figura 7

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

2. En el año 2012 y 2013 se diseñó y construyó un laboratorio de calibración para calibración de equipos FWD en un predio dentro de la UTN FRGP (Fotografías 1, 2 y 3)



Fotografía 1

Se realizó una excavación de 1 metro para construir una estructura patrón homogénea y durable en el tiempo, que cumpliera con los requisitos de la norma AASHTO R32, formada por una subbase de Tosca de 70 cm, una base granular de 15cm y losas de hormigón H30 de 15cm de espesor.



Fotografía 2



Fotografía 3

3- En esta etapa se debió estudiar en detalle todo el procedimiento cálculo de la norma AASHTO R32 y las rutinas del programa WINFWDCAL

Para esto se recibió colaboración de los investigadores de la Universidad Cornell, en New York, USA, que desarrollaron todo el sistema por un contrato específico con el Gobierno de USA



Cornell University

Cornell Local Roads Program

Como primera medida la norma AASHTO R32 fue traducida al español y se inicio el desarrollo el procedimiento LABTEC LT-I18 para cumplimentarla.

 UTN-FRGP LABTEC	CALIBRACIÓN DE DEFLECTOMETROS DE IMPACTO FWD / HWD	LT-I18 Rev. 01 Vigencia: 01/05/2014 Página 1 de 28
Aprobado por:		Gestión de la Calidad:

1. OBJETIVO:

Establecer la metodología para la calibración de la ganancia de la celda de carga y de los sensores deflectores del deflectómetro de impacto (FWD) y deflectómetro de impacto pesado (HWD), en base a la norma de calibración AASHTO R32 en su edición vigente (ver referencia N° 1).

Equipo Deflectómetro de impacto

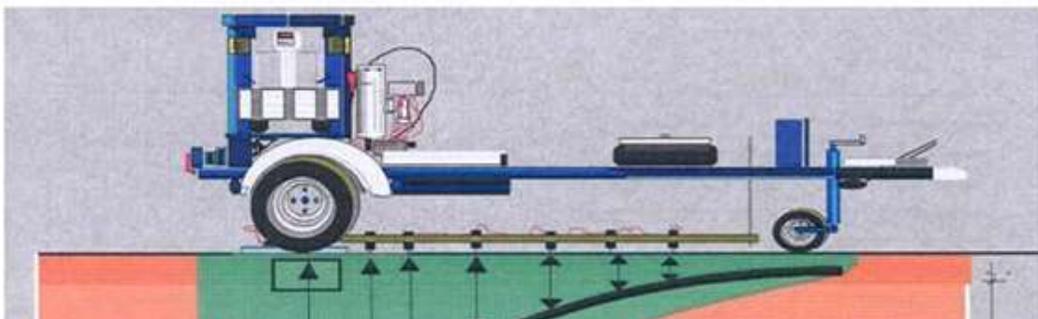


Figura 8

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

La celda de carga patrón fue calibrada en los laboratorios del INTI (Figuras 9 y Fotografía 4)



Fotografía 4



INTI

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Certificado de calibración

OTN° 102-17192 - Único
Página 1 de 7

Elemento

Objeto: Transductor de Fuerza
Fabricante/marca: Half-Space Engineering
Modelo/número de serie: -/HS-006

Determinaciones requeridas

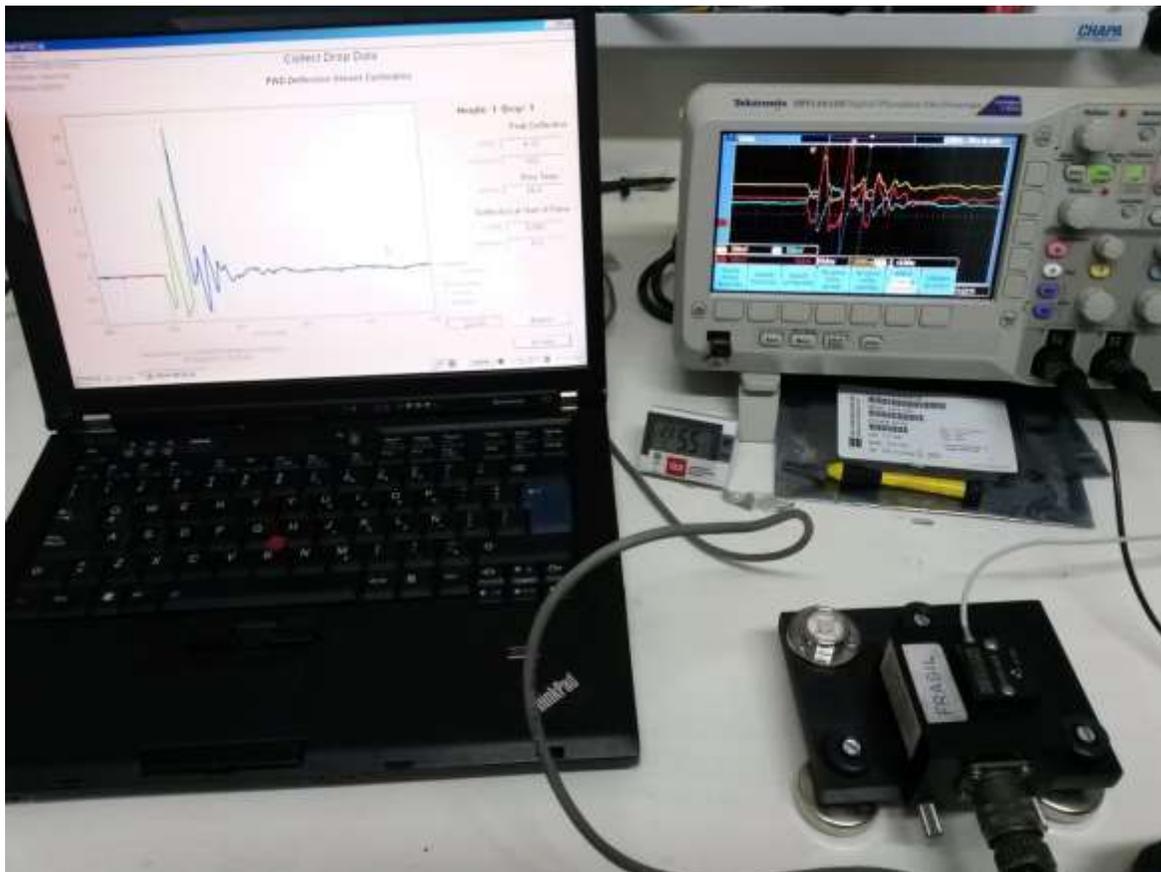
Calibración en Compresión según norma ISO 376:2011

Figura 9

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

Para la calibración del acelerómetro patrón la norma AASHTO R32 y AMRL (organismo de control de USA) no exigen más que la calibración del fabricante, pero el sistema de calidad del laboratorio exige calibración contra patrones internacionales.

Después de varios intentos infructuosos para realizar esta calibración del sistema completo de acelerómetro-electrónica-PC (Fotografía 5) en laboratorios de la Argentina, El laboratorio de la UTN FRGP, LABTEC, creó un protocolo interno, en base a la norma AASHTO R32, mediante un osciloscopio digital especialmente calibrado y un segundo acelerómetro de referencia que debió ser calibrado en un laboratorio con acreditación internacional A2LA en USA:



Fotografía 5

Finalmente, para todos los casos, se concluyo el procedimiento LABTEC LT-118 con el cálculo de incertidumbres requeridas los la norma ISO 17025.

Incertidumbre tipo A
$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Siendo
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n - 2}}$$

Incertidumbre estándar de resolución
$$u_{res} = \frac{Min_indic / 2}{\sqrt{3}}$$

Incertidumbre estándar de calibración de patrones
$$u_{calib} = \frac{U}{k}$$

Siendo:

U = incertidumbre expandida obtenida del certificado calibración de la celda de carga patrón para el valor de carga correspondiente.

K = valor de cobertura obtenida del certificado calibración de cada patrón.

Incertidumbre combinada
$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{res}^2 + u_{calibr}^2}$$

Por último la incertidumbre expandida informada es:
$$U = k \times u_c$$

Siendo K el factor de cobertura calculado según lo establecido en G.U.M en su edición vigente, por medio de la tabla de "student"

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

4. En el año 2013 se puso en funcionamiento del “Laboratorio VIAL” de LABTEC de la UTN FRGP para calibración de equipos FWD

Una de sus primeras tareas fue efectuar la calibración del equipo recientemente adquirido por la Dirección Provincial de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (Fotografía 6)



Fotografía 6

Por ser un equipo casi sin uso desde su calibración inicial en laboratorios acreditados por la AMRL en USA, esta tarea sirvió como inter-comparación con el laboratorio LABTEC



FWD Calibration

Date of Calibration: 05-Jun-2012

Calibration Center: Dynatest-Florida

Calibration Center Operator: Steven G. Vani

Calibración de Deflectómetros de Impacto en Argentina bajo norma AASHTO R32

A inicios del año 2016, el INTI efectuó la primera auditoria de supervisión de cumplimiento de normas ISO 17025 por parte del SAC del INTI.

El Servicio Argentino de Calibración y Medición del INTI, SAC, (Figura 10) es una red de laboratorios supervisados por el INTI. El INTI supervisa a los laboratorios en base a los requisitos de la Norma IRAM 301 (ISO 17025), organiza ensayos de aptitud con los laboratorios propios y ensayos inter-laboratorios.

El objetivo del SAC es brindar a la industria la posibilidad de calibrar sus instrumentos y realizar sus mediciones en laboratorios cuya competencia técnica está asegurada, los patrones de referencia utilizados sean trazables al Sistema Internacional de Unidades SI y los certificados e informes emitidos sean técnicamente válidos.



Figura 10

A la fecha de finalización del presente trabajo ya se habían finalizado las auditorias, se enviaron las documentaciones adicionales solicitadas por el INTI y se está a la espera de su aprobación final.

CONCLUSIONES FINALES

La implementación de este nuevo laboratorio permitió:

- Crear el primer centro de calibración de equipos FWD en Argentina en base a normas internacionales y con patrones calibrados anualmente con trazabilidad internacional.
- Implementar uno de los primeros laboratorios del área vial de la Argentina bajo un sistema de calidad bajo norma ISO 17025 y bajo supervisión del INTI.
- Brindar transferencia académica a estudiantes de ingeniería de la UTN FRGP.

REFERENCIAS

1- FHWA **Publicación número:** FHWA-HRT-07-040

<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/07040/001.cfm>

2- Irwin, L.H., Yang, W.S., and Stubstad, R.N. (1988). "Deflection Reading Accuracy and Layer Thickness Accuracy in Backcalculation of Pavement Layer Moduli," *Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

3- Pagina web del Servicio Argentino de Calibración y Medición , SAC, del INTI.

<http://www.inti.gob.ar/sac/>