



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# COMPARACIÓN EN CAMPO CON DEFLECTÓMETRO LIVIANO EN LA EVALUACIÓN DE RIGIDEZ IN SITU USADO EN EL CONTROL DE COMPACTACIÓN

Milton Jiménez

Lima, agosto de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Jiménez, M. (2017). Comparación en campo con deflectómetro liviano en la evaluación de rigidez in situ usado en el control de compactación. En E. Carrera (Dir.), *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET*, (pp. 63-73). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.



Esta obra está bajo una licencia  
[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE  
PROYECTOS  
III CONGRESO IPMA-LATNET

**COMPARACIÓN EN CAMPO CON DEFLECTÓMETRO LIVIANO EN LA  
EVALUACIÓN DE RIGIDEZ IN SITU USADO EN EL CONTROL DE  
COMPACTACIÓN**

Milton Jiménez

Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Calle Mártir Olaya 162 – Miraflores, Lima, Perú.

Autor en correspondencia: Jiménez, Milton  
*Correo electrónico: miltonejl@hotmail.com*

---

**Palabras clave:** Deflectómetro, Rigidez, Compactación

## RESUMEN

Actualmente en el Perú, se utiliza de manera tradicional la Viga Benkelman y los Deflectómetros de impacto (FWD y HWD). El objetivo de utilizar estos dispositivos es calcular la rigidez del pavimento para proceder posteriormente a evaluar su estado actual, diseñar una rehabilitación y controlar la calidad dentro del proceso constructivo correspondiente. Sin embargo, al realizar el control de calidad de las capas no ligadas estos equipos generan una gran cantidad de data, acumulando muchos más datos de los que son necesarios para el control. Debido a esto, se han desarrollado dispositivos de fácil uso, económicos y que brindan resultados confiables en el área de ingeniería, los cuales, difieren de las prácticas empíricas. Además, cabe resaltar que una propuesta importante para el control de calidad de pavimentos en el Perú es realizar un control rápido y de bajo costo, de la rigidez obtenida en las labores de compactación en la construcción de un firme. En base a lo anterior, el presente estudio realiza una comparación entre el procedimiento propuesto por Marradi et al para el uso del deflectómetro de peso liviano (LWD) como dispositivo de control de compactación, y el resultado obtenido con densímetro nuclear (DN).

**Keywords:** Deflectometer, Estiffness, Compaction

## ABSTRACT

Nowadays in Peru, Benkelman Beam and Impact Deflectometers (FWD and HWD) are traditionally used. The aim of using these devices is to calculate pavement rigidity to proceed subsequently to evaluate in construction process its current state, rehabilitation design and quality control, respectively. Nevertheless, when quality control of non-bound layers is performed, these devices generate significant amount of data, accumulating much more data than that necessary for the control. Due to this, easy-to-use and economical devices have developed given reliable results in the engineering area, which differ from empirical practices. Furthermore, it should be noticed that an important proposal for quality control of pavements in Peru is to perform a quick and low cost rigidity control obtained in compaction work in pavement constructions. Consequently, this study performs a comparison between the procedure proposed by Marradi et al, which is to use lightweight deflectometer (LWD) as a compaction control device, and the result obtained with a nuclear densimeter (NDM).

## **1. CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Teniendo en cuenta que la mayoría de caminos en el Perú están conformados por capas no ligadas, la calidad en el control de compactación viene hacer esencial si se pretende alcanzar la rigidez de diseño bajo una variabilidad controlada. Para ello se pretende comparar el comportamiento del deflectómetro de peso liviano - LWD marca Dynatest y el densímetro nuclear marca Troxler 3440 Plus.

### **1.2 Descripción del Proyecto Evaluado**

El Distrito de La Molina, dispone de una red vial muy limitada debido a una inapropiada planificación urbana, generando la necesidad de mejorar la capacidad de la infraestructura de las principales arterias de interconexión. La finalidad del proyecto es mejorar las condiciones operacionales de La Av. Melgarejo en un tramo de 500 mts., mediante la adecuación de la vía en una primera etapa con respecto a las dimensiones de su sección vial normativa y así proceder con el mejoramiento de la infraestructura.

El estudio contempla la evaluación y análisis del tráfico, como también, los factores que afectan la operatividad de la Av. Melgarejo entre el tramo de la Calle Aruba y la Av. Universidad, considerando aspectos como que el transporte es un medio prioritario para la población y con la intención de mejorar la movilidad en el distrito, dentro del cual predomina la evaluación de la capacidad y de los principales agentes que permitan otorgar ordenamiento, fluidez y seguridad en el tránsito.

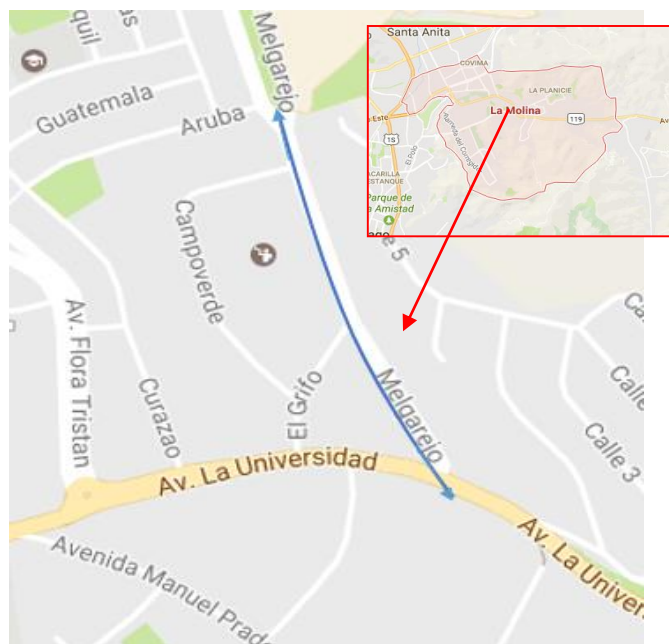
### **Ubicación del Proyecto**

El distrito de la Molina se ubica en la parte central de la costa peruana, tiene una superficie de 65.75 Km<sup>2</sup>., una altitud de 255 m.s.n.m. y limita con los siguientes distritos:

- Por el norte: Ate Vitarte.
- Por el este: Pachacámac.
- Por el oeste: Santiago de Surco.
- Por el sur: Pachacámac y Villa María del triunfo.

El tramo del proyecto tiene una extensión aproximada de 500 mts., desde la Calle Aruba hasta la Av. Universidad y se detalla a continuación en la Figura 21.

**Figura 21. Ubicación del proyecto en estudio**



### **Clasificación Vial**

La Av. Melgarejo está clasificada como vía arterial, lo cual, significa que lleva un apreciable volumen de tránsito entre áreas principales de generación y a velocidades medias de circulación.

### **1.3 Estado del Arte**

#### **Estudio comparativo de dispositivos de ensayos de campo no destructivos en material estabilizado con bitumen (BSM-emulsión)**

Comparativo realizado por estudiantes de la universidad de Pretoria – Sudáfrica, donde se utilizó el equipo CIST, RCCD, LWD, FWD y PSPA en el monitoreo del proceso de curado del suelo tratado con emulsión, entendiéndose que en el pasado no se hizo correlaciones entre estos dispositivos, reportándose sólo correlaciones con el CBR. El hallazgo de este estudio fue que existe una correlación razonablemente buena entre los valores de CIV que es la medida de CIST y la penetración de RCCD aunque el RCCD mide las características de resistencia de cizallamiento in situ mientras que el CIV mide las propiedades elásticas de los materiales. Se encontraron favorables a buenas correlaciones entre los parámetros del equipo LWD y FWD de naturaleza similar. Las correlaciones entre el PSPA con otros dispositivos fueron en general pobres.

Se concluyó que el estudio es específico para emulsión BSM, donde no se llevó a cabo el control de la humedad durante la prueba que limita el uso más amplio de las correlaciones desarrolladas (Guiamba 2010).

#### **Deflectómetro de Impacto Liviano – ASTM E 2583 - 07**

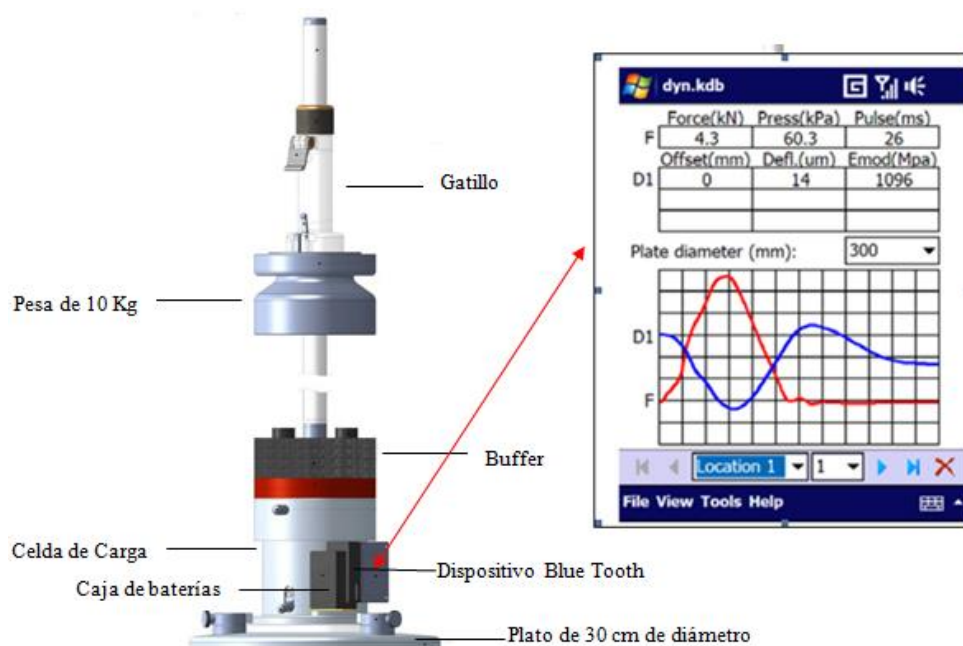
A principios de los años 1970, a medida que los métodos mecanicistas (o analíticos) en ingeniería de pavimentos empezaban a recibir más apoyo internacional, Dynatest introdujo el primer deflectómetro liviano LWD portátil del mundo, como un nuevo método para determinar el módulo elástico de materiales no-ligados en pavimentos.

El deflectómetro liviano es un dispositivo de medición deflectométrico no destructivo utilizado para evaluar la rigidez del suelo. Gracias a su movilidad y rapidez de medición, los LWD están siendo más utilizados a lo largo del mundo para control de calidad a gran escala y evaluación en nuevas zonas de construcción, y para la evaluación de pavimentos en sitios existentes (Ortiz 2017).

El equipo dispone de tres niveles de carga, 10, 15 y 20 Kg respectivamente, con ello es posible simular el nivel de esfuerzo ejercido por el paso de una rueda de eje equivalente a 80 km/hora con una duración del pulso de hasta 30ms, determinando así el módulo E bajo los niveles de tensión al que se expondrá el material cuando la construcción esté terminada. Considerando niveles de 10 a 50 kPa para la sub rasante, 50 a 150 kPa para la capa de drenaje, y 100 a 200 kPa para la subbase o base. Se recomienda siempre realizar ensayos a diferentes alturas de caída que implicaría diferentes niveles de esfuerzo bajo el plato y de esta manera es posible interpolar o extrapolar datos hasta el nivel de esfuerzo deseado.

En la Figura 22 se describe el equipo y además, se detalla el cuenco de deflexión en azul, cuyas unidades son en micrones ( $\times 10^{-3}$  mm) y en rojo el nivel de fuerza en kN alcanzado en cada caída con su respectivo tiempo de duración en milésimas de segundo y el esfuerzo en kPa ejercido bajo el plato.

**Figura 22. Deflectómetro de peso liviano - Dynatest**



### Densímetro Nuclear – ASTM D - 6938

También conocido como medidor de densidad nuclear (NDM) y está diseñado específicamente para determinar la densidad aparente de campo y el contenido de humedad del suelo y de los materiales granulares de construcción. La densidad seca puede luego ser calculada para ayudar en la evaluación del grado de compactación. El NDM es utilizado comúnmente como un dispositivo de control de calidad en la construcción del pavimento, considerando según tipo de suelo un factor de compensación k para ajustar las lecturas y puede ser utilizado en modo de prueba de retro dispersión o transmisión directa. Ya que, el dispositivo utiliza bajos niveles de radiación, hay muchas consideraciones de seguridad y trámites asociados a su operación debido a la posibilidad latente de peligro si es usada incorrectamente, por

ello, todo operador del instrumento debe estar capacitado sobre protección contra la radiación. El densímetro Troxler 3440 Plus utilizado en este ensayo se muestra en la Figura 23.

**Figura 23. Densímetro nuclear Marca Troxler 3440 Plus**



#### **1.4 Modelo para Determinar Esfuerzo y Deformación**

##### **Modelo de Boussinesq**

Con este modelo es posible determinar el desplazamiento o deflexión de un punto debido a cargas distribuidas verticales sobre el pavimento, generadas por dos llantas cuya área de contacto son dos circunferencias de radio "a". El software 3031 LWD tiene implementado dicho modelo y conjuntamente con los desplazamientos verticales medidos con el geófono incorporado, llega a determinar el módulo de superficie del pavimento (Deol 2016).

$$E_o = [f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_o \cdot a] / \delta_o \quad (1)$$

$E_o$  = Módulo de superficie

$\nu$  = Ratio de Poisson

$f$  = Distribución de presión

$\sigma_o$  = Presión bajo el plato de carga

$a$  = Radio del plato de carga

$\delta_o$  = Deflexión de superficie en el centro del plato

#### **1.5 Justificación**

El uso del LWD en las pruebas de compactación de capas no ligadas, es una opción ideal para el control de calidad a gran escala, bajo costo y alto rendimiento.

#### **1.6 Objetivo General**

Se tiene como objetivo hacer una comparación entre el procedimiento propuesto por Marradi et al.,(2011) para el uso del deflectómetro de peso liviano (LWD) como dispositivo de control de compactación, y el resultado obtenido con densímetro nuclear (DN).

## 1.7 Hipótesis

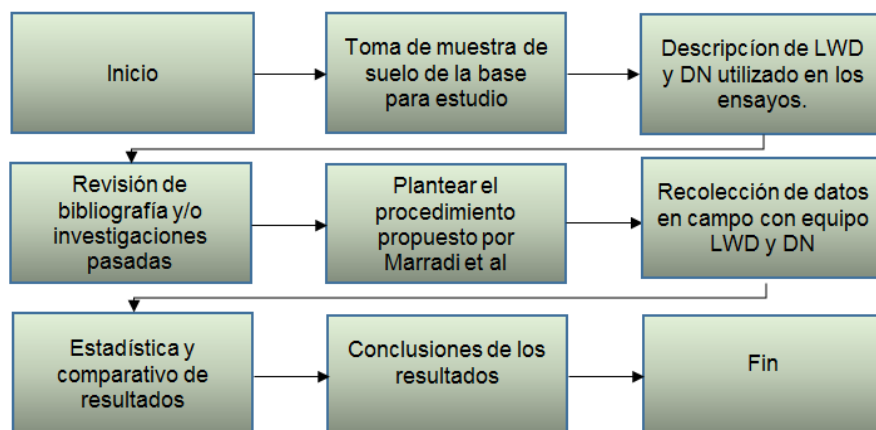
¿El dispositivo LWD será adecuado para el control de la compactación de bases no ligadas compuestas de grava limosa con arena de 20 cm de espesor?

## 1.8 Metodología

Para la obtención de resultados se procede según la Figura 24 que va desde la toma de muestras de suelo para su respectivo análisis en laboratorio, recolección de datos en campo con los equipos de medición, la depuración de los mismos en gabinete, aplicación del procedimiento indicado por Marradi et al.,(2011), y posterior comparación con los resultados arrojados por el densímetro nuclear con su respectiva curva de correlación y error asociado.

- Inicialmente se tomarán muestras de material de base para determinar la granulometría, índice plástico, tipo de suelo, densidad máxima seca y humedad óptima.
- Posterior a ello, se recolecta datos en campo bajo el procedimiento propuesto utilizando equipo de deflexión liviano LWD y densímetro nuclear.
- Recopilación de documentos de investigación y pruebas realizadas años anteriores donde se plasmen correlaciones que respalden o sirvan como experiencias pasadas para afinar el trabajo en gabinete.
- Adaptar el procedimiento propuesto por Marradi et al., y determinar la curva de correlación con su respectivo error.
- Concluir según los resultados obtenidos.

Figura 24. Metodología propuesta en la siguiente tesis



## 2. Capítulo II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Grado de Compactación

Al compactar un suelo se persigue como objetivo el mejorar las propiedades de ingeniería del suelo. Probablemente se realizaron suficientes ensayos de clasificación de tal manera que ahora se toma una decisión y se resuelve que el grado de compactación se define como:



$$G.C: (D_s/D_{ms}) \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

GC : Grado de compactación

D<sub>s</sub> : Densidad seca

D<sub>ms</sub> : Densidad máxima seca

## 2.2 Deflexión como parámetro de evaluación estructural

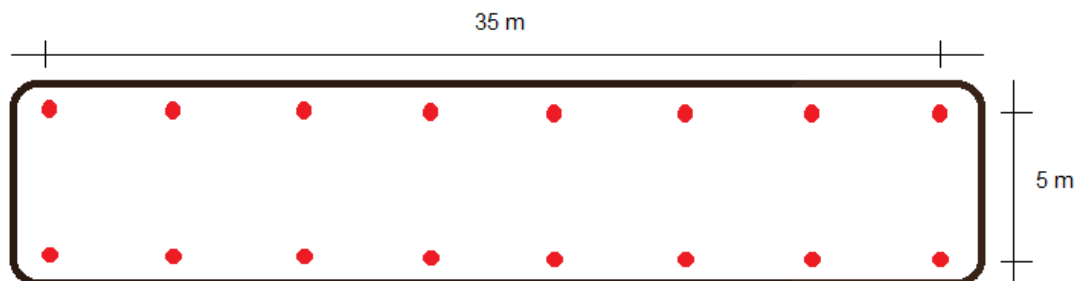
Deflexión es la medida de deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga, y es función no sólo del tipo y estado del pavimento, sino también del método y equipo de medida. Generalmente, se realiza en forma no destructiva y se utiliza para relacionarla con la capacidad estructural del pavimento (Jiménez 2014).

## 3. CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO AL TRAMO 00+000 KM – 00+040 KM DEL MEJORAMIENTO EN LA AVENIDA MELGAREJO – LA MOLINA

### 3.1 Recolección de datos en campo durante las mediciones

La medición se realizó en un tramo a nivel de base con un área de 175 m<sup>2</sup>, debidamente terminado y compactado. Se marcaron 8 filas en sentido vehicular con 2 puntos cada una y espaciadas a 5m, se obtuvieron 16 puntos de medición. En la Figura 25 se muestra un bosquejo de la configuración adoptada.

Figura 25. Configuración de los puntos a evaluar en campo



El procedimiento adoptado es el siguiente:

- i. Previamente se tomaron muestras aleatorias en campo del material utilizado como base para realizar ensayos en laboratorio y determinar la máxima densidad seca y humedad óptima, así, como la granulometría y tipo de suelo.
- ii. Se procedió inicialmente a evaluar con el densímetro nuclear en cada uno de los puntos marcados en modo retrodispersión.
- iii. Luego se ensayó con LWD a un nivel de carga de 7kN para obtener 100kPa de esfuerzo bajo el plato. El módulo de superficie resultante se nombra como M1.
- iv. Después, se evaluó en el mismo punto con LWD pero a un nivel de carga de 12 kN, llevando para ello la misma pesa al máximo nivel y obteniendo un esfuerzo de 170kPa.

v. Finalmente se repitió el ensayo con LWD a un nivel de carga de 7kN. El módulo de superficie resultante se nombrará como M2. En la Figura 26 se aprecia los ensayos realizados en campo con ambos equipos.

**Figura 26. Toma de datos en campo – Proyecto Av. Melgarejo – La Molina**



### 3.2 Datos obtenidos

Después de procesar los módulos determinados en campo del primer y tercer ensayo resultantes de las mediciones con el LWD, y corregir por humedad las densidades secas que se leyeron con densímetro nuclear, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en el Tabla 6 a continuación:

**Tabla 6. Resultado de los ensayos de campo**

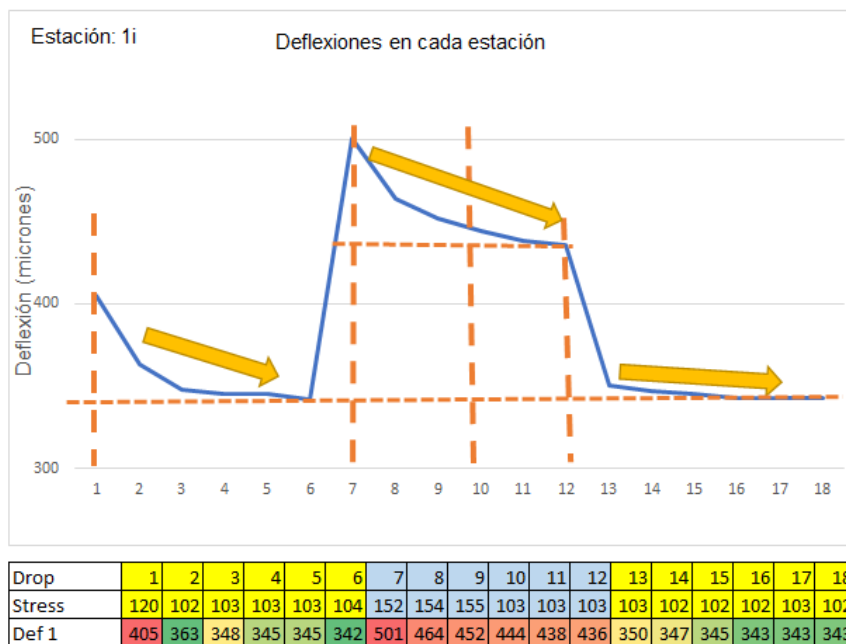
N° Prueba	Densímetro Nuclear	LWD Dynatest
	GC %	$E_2/E_1$
1i	97.50	0.90
1d	98.00	0.92
2i	95.70	0.96
2d	93.90	0.97
3i	94.40	0.93
3d	95.00	0.98
4i	94.80	0.97
4d	95.10	0.94
5i	93.90	0.98

N° Prueba	Densímetro Nuclear	LWD Dynatest
	GC %	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
5d	95.00	0.97
6i	95.00	0.97
6d	94.00	0.95
7i	99.50	0.92
7d	98.60	0.92
8i	95.10	0.95
8d	98.60	0.93

### 3.3 Interpretación de Resultados

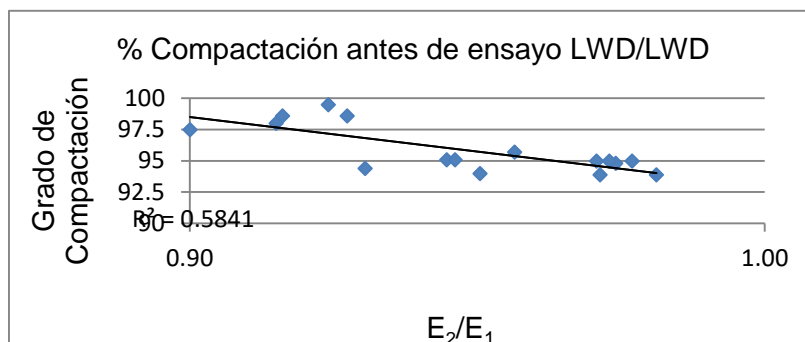
El planteamiento propuesto en el presente estudio establece que las deflexiones medidas y los esfuerzos resultantes de los ensayos realizados a 7kN se deben comparar y si los datos de ambos indicadores no varían mucho en su valor, se podría afirmar que el suelo en ese punto está correctamente compactado, en consecuencia el grado de compactación obtenido con el densímetro nuclear debería estar sobre el 95% o mayor en la estación. En la Figura 27 se detalla la interpretación.

Figura 27. Comparación de deflexiones por estación



El grado de compactación obtenido de ensayos de densidad de campo utilizando el densímetro nuclear y el ratio de módulos  $E_2/E_1$  obtenido con el LWD resulta la siguiente correlación y se aprecia en la Figura 28.

**Figura 28. Se compara ensayos DN y LWD antes de compactar con el LWD**



Marradi et al. (2011) encontraron que, mientras el ratio  $E_2/E_1$  se incrementa el grado de compactación disminuye. Aunque la tendencia es la esperada, los resultados indican una correlación relativamente pobre  $R^2$  de 0.58 ente el LWD y el NDM.

## Conclusión

- Bajo regresión lineal se determinó que un incremento o disminución de una unidad del módulo  $M_2$  ocasiona una variación del 7.50% y 8.50% en el valor de  $R^2$  respectivamente.
- Bajo regresión lineal se determinó que un incremento o disminución de una unidad del % de compactación obtenido con el DN ocasiona una variación del 10.30% y 12.34% en el valor de  $R^2$  respectivamente.
- La importancia de implementar el presente procedimiento como una opción ideal para el control de compactación con LWD dentro del manual de ensayos de materiales del MTC.
- Una de las razones probables para tener poca correlación, es el mal posicionamiento del plato del LWD, que genera distorsión y deflexiones erróneas.
- Dependiendo del material es indispensable utilizar una compensación de humedad  $K$  para ajustar las lecturas y así, obtener un grado de compactación acorde a las condiciones reales de medición.
- El LWD posee buen rendimiento y a diferencia del densímetro nuclear es menos riesgoso y no necesita de tantos papeles para su utilización.
- Debido a los riesgos que conlleva la utilización del densímetro nuclear en algunos países como Italia está prohibida su utilización y por ello el LWD es una opción práctica y económica.
- El uso de LWD a diferencia del densímetro nuclear no requiere de permisos y capacitaciones especiales para el operador, haciéndolo más accesible en su operación.
- Como todo equipo de medición es indispensable tener su ficha de calibración actualizada según requerimiento del fabricante (Fleming 2000).
- Los ensayos georeferenciados con LWD son fáciles de ubicar en campo para una verificación de las zonas mal compactadas.

- El LWD no requiere valores de referencia para determinar un adecuado ratio de compactación.

## Referencias Bibliográficas

- Deol, S., Kumar, V., & Kumar, R. (2016). *Comparative studies of Light Weight Deflectometer and Benkelman beam deflectometer in low volume roads. Journal Of Traffic And Transportation Engineering*, 3(5), 438-447
- Fleming, P., Frost, M., & Rogers, C. (2000). A comparison of devices for measuring stiffness in situ. In: Proc. Of Fifth Int. Conf. On Unbound Aggregates in Roads, Nottingham, UK, Balkema, Rotterdam, pp. 193-200.
- Guiamba, D., Horak, E., & Visser, A., T. (2010). *Comparative study of non-destructive field testing devices on BSM-Emulsion. Proceedings of the 29<sup>th</sup> Southern African Transport Conference, SATC 2010*, 16-19.
- Horak, E., Maina, J., Guiamba, D., & Hartman, A. (2008). *Correlation study with the Light Weight Deflectometer in South Africa. Proceedings Of The 27<sup>th</sup> Southern African Transport Conference, SATC*, 7-11.
- Jiménez, M., (2014). *Diagnostico estructural de afirmado estabilizado con Cloruro de Magnesio mediante el modelo matematico de Hogg y viga Benkelman*. (Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2014). Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/325860>
- Marradi, A. (2011). *Dynamic Field Assessment of short term bearing capacity for cold recycled layer, The International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology (PEAT)*, Volume 12, 1464-8164.
- Marradi, A., Costello, S., Salt, G., Frobels, T., & Wormad, S. (2012). A field comparison of in situ stiffness measuring devices for use in compaction control. Seventh International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control. Issue 00131, 9p.
- Ortiz, J. (2017). Descripción y manual de operación de equipos no-destructivos. Mensaje publicado en [https://dynatest.sharepoint.com/\\_layouts/15/sharepoint.aspx](https://dynatest.sharepoint.com/_layouts/15/sharepoint.aspx)