

Ensayos de resistencia y deformación en suelos: Buscando la curva de ajuste ideal

Ing. Naicolette Abraham Agudo Muñoz

Ingeniero Geomático

naicolette.agudo@utp.ac.pa

Laboratorio de Geotecnia (LABGEO)

Palabras clave — Ajuste, CBR, geotecnia, regresión segmentada, resistencia, suelos

I. INTRODUCCIÓN

En los ensayos de mecánica de suelos es común encontrarse con parámetros que dependen de la información proporcionada por una curva de ajuste. Sin embargo, al observar el trazo generado por un conjunto de datos, lo primero que viene a la mente es ajustarlo a una regresión polinómica, exponencial o incluso inversa.

Si a esto se le añade la necesidad de una respuesta rápida al cliente, no es posible generar un conjunto de puntos lo suficientemente amplio, llevando consigo el riesgo a problemas de sobreajuste. Lo curioso del caso es que, al generar un informe de verificación o validación de ensayos, ocurre el caso contrario: Los puntos exhiben funciones suaves que no son ajustables mediante regresiones simples, llevando a problemas de subajuste.

Peor aún si encontramos textos científicos de cuyos fundamentos teóricos surgen funciones basadas en series o funciones a trozos difíciles de implementar de manera práctica o versátil con solo una hoja electrónica o sin necesidad de utilizar macros como las que se realizan en Visual Basic de Microsoft Office Excel, ni instalar programas especializados cuyos algoritmos suelen ser difíciles de validar.

Con base en lo anterior, explicaremos la forma en que el Laboratorio de Geotecnia implementa el uso de regresiones segmentadas suavizadas. Se tomó como ejemplo el cálculo de curvas de CBR (California Bearing Ratio) en suelos.

II. IMPLEMENTACIÓN DE CURVAS DE AJUSTE MEDIANTE REGRESIÓN COMPUESTA

Tomamos las siguientes consideraciones para diseñar una curva de ajuste:

- La curva de ajuste será suave, esto es, no presentará discontinuidades ni quiebres (primera derivada continua) en sus etapas.
- En los casos que se requiera evaluar radios de curvatura, consideraremos continuidad en las variaciones de pendiente (segunda derivada).
- Los polinomios utilizados para cada etapa son de grado 2.
- La cantidad de parámetros o coeficientes a buscar será estrictamente menor a la cantidad de puntos.
- Los puntos de corte de cada etapa pertenecen al conjunto de datos registrados.
- Los puntos de corte a elegir son aquellos que generen una regresión con el mayor coeficiente de determinación. Para tales efectos, no se usarán más de dos puntos de corte.

A. Caso de estudio: Ensayos de CBR en laboratorio

Tomamos los siguientes criterios adicionales:

- Las curvas de puntos sin corregir pasan por el origen.
- Uso de un punto de corte.
- Pueden ocurrir casos extremos (el mayor coeficiente de determinación se da con punto de corte en el origen o a máxima deformación, indicando que es suficiente una regresión cuadrática simple).
- Teniendo todos los criterios anteriormente establecidos, recopilamos información histórica de ensayos de CBR, considerando la compactación a 3 niveles de energía en las fracciones de grano aplicables a este ensayo, de acuerdo con las normas ASTM D1883 y AASHTO T 193, en los siguientes materiales:

- Grava bien gradada, con arena (GW).
- Arena limosa, con grava (SM).
- Grava arcillosa, con arena (GC).
- Grava limosa, con arena (GM).
- Grava mal gradada, con limo y arena (GP-GM).
- Grava mal gradada, con arcilla y arena (GP-GC).
- Grava bien gradada (GW).
- Arena arcillosa con grava (SC).

A cada gráfico de la información recopilada le aplicamos regresión segmentada, considerando que previamente se utilizaban regresiones polinómicas de segundo grado.

B. Resultados del caso de estudio

Para los materiales citados, se encontraron los siguientes coeficientes de correlación, mostrando mejoras medias de hasta 3 puntos porcentuales en las mismas (Figura 1):

Tabla 1. Comparación de coeficientes de determinación medios en regresión cuadrática (1) y regresión cuadrática segmentada (2).

Material	Símbolo	R ² (1)	R ² (2)
grava bien gradada, con arena	GW	0,9880	0,9964
arena limosa, con grava	SM	0,9870	0,9981
grava arcillosa, con arena	GC	0,9864	0,9972
grava limosa, con arena	GM	0,9833	0,9943
grava mal gradada, con limo y arena	GP-GM	0,9820	0,9984
grava mal gradada, con arcilla y arena	GP-GC	0,9548	0,9892
grava bien gradada	GW	0,9911	0,9950
arena arcillosa, con grava	SC	0,9814	0,9951

Adicional, gobernaron tres tipos de comportamiento a lo cual, la regresión cuadrática segmentada funcionó de manera satisfactoria, como se muestra en la Figura 1:

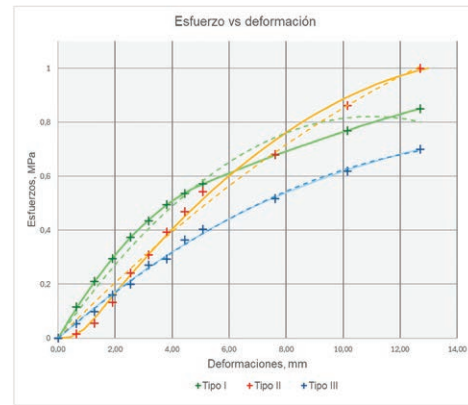


Figura 1. Muestra los tipos principales de curvas encontradas: Las líneas punteadas representan las regresiones cuadráticas simples, mientras que las líneas continuas, las regresiones cuadráticas segmentadas.

Como se aprecia en la Figura 1, las líneas punteadas representan las regresiones cuadráticas simples, mientras que las líneas continuas, las regresiones cuadráticas segmentadas.

III. CONCLUSIONES

La implementación de curvas de ajuste mediante regresión segmentada es una herramienta muy útil y amigable para evaluación de una amplia gama de comportamientos gráficos de resistencia y deformación en suelos.

Adicionalmente, el uso de esta herramienta puede extenderse a otros ensayos de resistencia y deformación, así como en funciones logísticas o bases de funciones no lineales, independientes y prácticas.

IV. REFERENCIAS

- ASTM D1883 - 21. Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted-Soils. Estados Unidos: ASTM International.
- AASHTO T193:2022. Method of Test for California Bearing Ratio. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Official
- Oosterbaan, R. (2017). Statistical significance of segmented linear regression with break-point, using variance analysis (ANOVA) and F-tests. Unpublished. Available from: <https://www.waterlog.info/segreg.htm>, 1-13.