

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE PARA INTERFASES DE ARENA-CONCRETO: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Jorge Arturo Pineda-Jaimes

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, jorgepineda@usantotomas.edu.co

Cristian Daniel Adames-Reyes

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, cristianadames@usantotomas.edu.co

Cesar Alejandro Rodríguez-Machado

Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., Colombia, alejandrordriguez@usantotomas.edu.co

RESÚMEN

Para la Ingeniería Civil es de gran importancia comprender la naturaleza de la resistencia al corte en suelos y entre estos materiales y el concreto, especialmente para aplicaciones prácticas. El ensayo de corte directo induce una falla de cizallamiento en un plano horizontal, y permite determinar los parámetros clásicos de resistencia de acuerdo con los criterios Möhr-Coulomb, esto es, la cohesión y el ángulo de resistencia al corte. Este ensayo permite, con ciertas modificaciones, determinar experimentalmente la interacción entre interfaces. En la actualidad, no existe abundante información sobre la interacción entre las interfaces de concreto-suelo por lo que se han desarrollado investigaciones innovadoras sobre el comportamiento de los parámetros de cortante entre interfaces de concreto-arcilla, concreto-recebo y el avance del estudio entre fases de concreto-arena. Las superficies en contacto entre las interfaces estudiadas, desarrollan mecanismos de interacción de tipo friccional en los cuales se identifica como variable principal la rugosidad del concreto. Este artículo presenta una propuesta acerca de la determinación de parámetros de resistencia al corte en interfaces concreto-arena, las cuales son comunes en obras geotécnicas tales como tuberías enterradas en sistemas de drenaje subsuperficial, cimentaciones en arenas y estructuras de contención, entre otras.

Palabras clave: parámetros de cortante, fricción, interfaces, rugosidad del concreto, suelo.

ABSTRACT

For civil engineering is of great importance to understand the nature of the shear resistance in soil and thus analyze the stability characteristics concerning to it. The direct shear test induces a shear failure in the soil to determine the bearing capacity of this by means of cohesion and angle cutting. It's necessary to consider the interaction between the structures and the soil foundation contact, where the concrete is the most used item in the world for this kind of structures. At the present not there abundant information about the interaction between the phases of concrete-soil, for this reason have developed innovative research about the behavior of the shear parameters between the interfaces of concrete-clay, concrete-soil, and the advance of the study between concrete-sand phases. The contact surface between the phases studied develop friction between them, thus identified as the main variable concrete roughness developing studies of shear parameters based on this and their interaction with soil study.

Keywords: shear parameters, friction, interfaces, concrete roughness, soil.

1. INTRODUCCIÓN

Los parámetros de resistencia al corte del suelo son muy utilizados en el análisis de problemas geotécnicos que impliquen fenómenos de interacción suelo-estructura. Sin embargo el estudio de parámetros de cortante en interfaces suelo - estructura ha sido poco estudiada, siendo la aproximación más común el uso de correlaciones en el ángulo de fricción de estos para el diseño en obras de ingeniería. Como ejemplo, para el diseño de muros de contención, se acostumbra tomar el ángulo de fricción como $\delta = \frac{1}{2} \phi$ o $\frac{2}{3} \phi$ sin llegar a un análisis verídico de este factor.

Durante los últimos años, se ha trabajado en Colombia en la determinación de parámetros de cortante en interfaces de arcilla-concreto y recebo-concreto (Pineda y Colmenares, 2011, Montoya 2013), dando a luz resultados significativos para la geotecnia. Actualmente, en la Universidad Santo Tomas de Bogotá, Colombia, se trabaja en el desarrollo de una investigación experimental para la determinación de los parámetros de resistencia en interfaces de arena-concreto, para ampliar el volumen de datos experimentales de los trabajos investigativos en este tema.

2. ESTUDIOS PREVIOS DE PARÁMETROS DE CORTANTE EN INTERFACES SUELO-CONCRETO

2.1. Resistencia al Corte del Suelo y Criterio de Falla

La resistencia al corte de una masa de suelo está definida como la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla por los esfuerzos y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de éste.

Un material falla debido a una combinación crítica del esfuerzo normal y esfuerzo cortante, la aproximación del esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Se escribe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad Ec. (1)$$

Donde

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

2.2. Aplicación del Criterio de Falla en Interfaces Suelo-Concreto

Como ejemplos de la interacción de concreto con el suelo en la aplicación de la ingeniería, se tiene el caso de los muros de contención y los pilotes. Los muros de contención son aquellas estructuras

encargadas de soportar el esfuerzo horizontal de una masa de suelo retenida, la fricción que apoya las fuerzas resistentes del muro dependerá del tipo de suelo sobre el cual se soporta.

Estos muros de contención en realidad son rugosos y desarrollan fuerzas cortantes en un ángulo δ entre la cara del muro y el relleno, que para fines prácticos en suelos granulares sueltos se toma igual al ángulo de resistencia al corte del suelo.

Dependiendo de los parámetros de presión lateral activa o pasiva de la estructura la fuerza cortante en el muro será una fricción positiva o negativa (Das 2010). En la teoría el estudio de las presiones activas de Coulomb está basado en el análisis del comportamiento de la estructura en un relleno sin cohesión, donde la teoría de cortante en las arenas se abarca con amplitud.

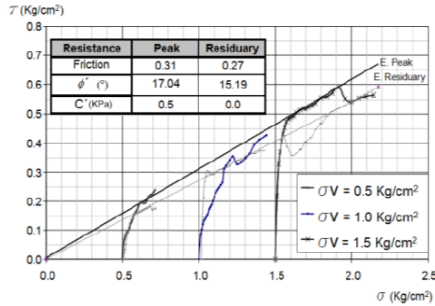
En el desarrollo de la ingeniería, principalmente en las cimentaciones profundas como los pilotes, se encuentra que la interacción de la estructura con capas de materiales diferentes es inevitable y la posibilidad de encontrar estratos de arena es elevada, en base a estos estratos y a parámetros de carga de la estructura a soportar se procede a diseñar estos elementos. Cada capa de suelo desarrolla fricción sobre el pilote (Q_s) obteniendo la resistencia, dicha fricción se puede generar de manera positiva o negativa dependiendo del tipo de material y su ubicación en la estratificación del suelo, trabajando el pilote por fuste. Si la punta del pilote llega a una profundidad donde se encuentra un suelo compacto adecuado el pilote trabajara por punta (Q_p) (Das 2010).

2.3 Antecedentes de Parámetros de resistencia al corte en interfaces arcilla-concreto

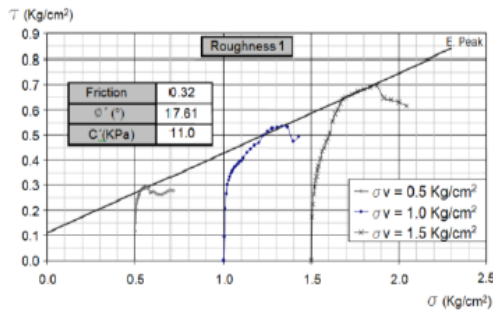
En esta investigación, se analizaron los parámetros en los problemas de estructuras geotécnicas en el medio lacustre de Bogotá (Pineda y Colmenares, 2011), los parámetros se obtuvieron por medio de ensayos de corte directo en condiciones consolidadas drenadas, analizados en paralelo con el coeficiente de rugosidad (R) con el fin de estudiar su influencia sobre los parámetros de resistencia al corte.

Se encontró que los ángulos de pico y resistencia residual en las interfaces son casi independientes de esta variable, y su incidencia sobre los mismos.

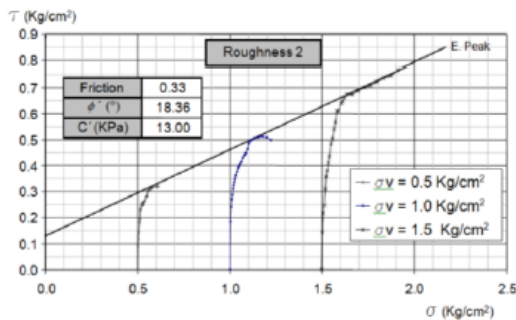
En síntesis, en esa investigación se mostraron los resultados experimentales que demostraron los parámetros de resistencia al corte pico y residual de la arcilla blanda y las tres interfaces en sus diferentes rugosidades ($R_1=2$, $R_2=1.65$, $R_3=0.25$), para su comparación.



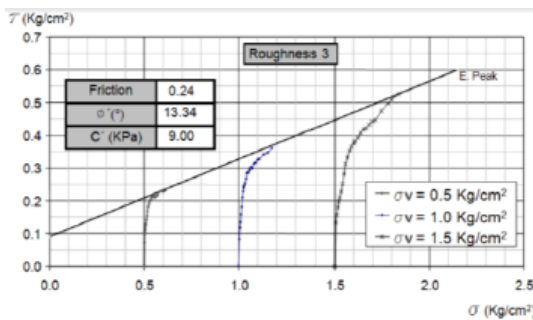
Gráfica 1: Parámetros de resistencia al corte en la arcilla (Pineda y Colmenares, 2011)



Gráfica 2: Parámetros de resistencia al corte en la interface. R₁ (Pineda y Colmenares, 2011)



Gráfica 3: Parámetros de resistencia al corte en la interface. R₂ (Pineda y Colmenares, 2011)



Gráfica 4: Parámetros de resistencia al corte en la interface R₃ (Pineda y Colmenares, 2011).

Dentro de los resultados en los parámetros de las rugosidades R₁ y R₂, se encuentra que el ángulo de resistencia pico son similares a los de la arcilla, pero la cohesión es mayor. Por otra parte en los parámetros encontrados en R₃ siendo la menor de todas por sus características disminuye el ángulo de resistencia pico.

A la luz de los resultados experimentales se encuentra que la relación $\delta = (2/3) \phi$ no se cumple para los materiales de las interfaces usadas si no que varía entre 0.85 y 1.00, teniendo en cuenta que el principal mecanismo de las interfaces es la adhesión. Finalmente se encuentran diferentes relaciones para las interfaces concreto arcillas blandas que son:

$$0.8 < \left(\frac{\delta_p}{\phi_p} \right) < 0.95$$

$$\phi_R \sim \delta_p \sim \delta_R$$

$$\left(\frac{\delta_R}{\phi_R} \right) = 1$$

Dónde:

δ_p : es el ángulo de la resistencia a los picos de interfaz

δ_R : es el ángulo de la resistencia residual de interfaz

ϕ_p : es el ángulo de la resistencia máxima del suelo

ϕ_R : es el ángulo de la resistencia residual en la tierra

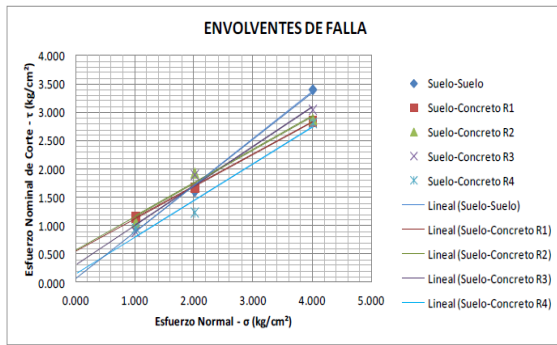
2.4. Antecedentes de Parámetros de Cortante en Recebo-Concreto

Montoya (2013), realizó un trabajo experimental en el cual se estudió el comportamiento de material que pasa el tamiz N° 4 (recebo) respecto a los parámetros de resistencia al corte, para interacciones entre fases de suelo-suelo y suelo-concreto en función del análisis de la rugosidad del concreto. Se realizó el análisis para cuatro valores de rugosidad determinados: R1=0.5, R2=0.9, R3=0.16 y R4=0.29. El desarrollo de esta investigación partió de comparar las fases de concreto-recebo con las rugosidades obtenidas. El material utilizado fue sometido a pruebas de consolidación y compactación para determinar los parámetros de humedad óptima y carga aplicadas, para la posterior realización del ensayo de corte. Los resultados de los ensayos de cortante para las fases de trabajo fueron los siguientes:

- *Fase suelo-suelo*: ángulo de fricción interna= 39.4° y cohesión (kg/cm²)=0.08
- *Fase suelo-concreto R1*: ángulo de fricción interna= 29.6° y cohesión (kg/cm²)=0.56
- *Fase suelo-concreto R2*: ángulo de fricción interna= 30.43° y cohesión (kg/cm²)=0.0.6

- Fase suelo-concreto R3: ángulo de fricción interna= 34.89° y cohesión (kg/cm²)=0.32
- Fase suelo-concreto R4: ángulo de fricción interna= 32.78° y cohesión (kg/cm²)=0.16

La compilación de los resultados se presenta en la siguiente grafica de las envolventes de Coulomb para cada fase:



Grafica 5: envolventes de Mohr-Coulomb para las interfaces *suelo-suelo* y *suelo-concreto* (Montoya G. 2013)

El estudio determina que las cohesiones de las interfaces suelo-concreto eran superiores a la cohesión de la interfaz suelo-suelo, donde se ratifica la relación entre la cohesión y el ángulo de fricción interna generando una relación inversamente proporcional. Los resultados obtenidos de la investigación arrojaron que el ángulo de fricción interna en las fases mixtas varía 7.47° menos que el ensayo en la muestra de la interfaz suelo-suelo y que la cohesión en la interfaz suelo-concreto es del orden de 0.33 kg/cm² por encima del resultado obtenido en la interfaz suelo-suelo. También se determinó que existe una función proporcional entre la rugosidad y el ángulo de fricción interna, e inversamente proporcional entre la rugosidad y la cohesión (Montoya G 2013)

3. PROPUESTA PARA EL ESTUDIO DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN INTERFACES ARENA-CONCRETO

El estudio consiste en obtener los parámetros de resistencia al corte máximo en la interacción de interfaces concreto-arena. En primera medida se realizara la selección de materiales y análisis: El material utilizado en la investigación será arena de densidad uniforme cuyas partículas pasen el tamiz No 10 (Partículas de máximo 2mm de diámetro), adicionalmente se determina sus propiedades granulométricas y relaciones de vacíos máximos y mínimos posibles del medio granular por ensayos de

densidad relativa. La fase de concreto se dimensiona según la caja de cortante aproximadamente de 20-25 cm², de dicha fase se analizan los parámetros de rugosidad.

Una vez realizada la caracterización del material se procede a realizar los ensayos de corte directo de la interface concreto-arena; el ensayo consiste en inducir una falla de cizallamiento a una muestra de suelo por medio de la aplicación de una fuerza normal y una fuerza de corte al espécimen, determinando los parámetros de resistencia entre las interfaces de arena-concreto. Se realizaran ocho ensayos de corte directo de diferentes rugosidades de tres puntos.

Finalmente a partir de los datos obtenidos en los ensayos de corte directo se procede a determinar los parámetros de cortante para la interacción de las interfaces y comparar los resultados con la teoría existente para interacción entre arena y concreto cuyo ángulo de fricción se estima como $\frac{1}{2}$ o $\frac{2}{3}$ del ángulo de fricción de falla de la arena.

Referencias

BRAJA M. DAS. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica, 1ª edición, Ed: Thomson Learning.

PINEDA JORGE, COMENARES JULIO (2011). Peak and residual shear strength parameters of soft clay-concrete interfaces. La Salle University, Bogota, Colombia & National University of Colombia, Bogotá, Colombia

MONTOYA GINNA (2013). Parámetros de Resistencia al corte en la interfaz suelo-concreto. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Civil.

JOSEPH E BOWLES, (2003). Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil. 1ª edición, Ed: Mac-Graw Hill.

Norma I.N.V.E – 123 – 07 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Norma I.N.V. E – 154 – 07 Determinación de la resistencia al corte método de corte directo

Norma INV E-136-07 Determinación de la masa unitaria máxima y mínima para el cálculo de la densidad relativa

