

CAPÍTULO 4

TABLAESTACADO¹

En este capítulo se presentan los métodos de tablestaca en voladizo y de soporte libre así como su secuela de cálculo, su funcionamiento y comportamiento.

4.1 Método de tablestacas en voladizo

Este método se recomienda para estructuras no mayores a 6 metros ó 20 pies, esta medida se considera hasta la línea de dragado, su funcionamiento radica como vigas anchas en voladizo.

Ver figura 4.1:

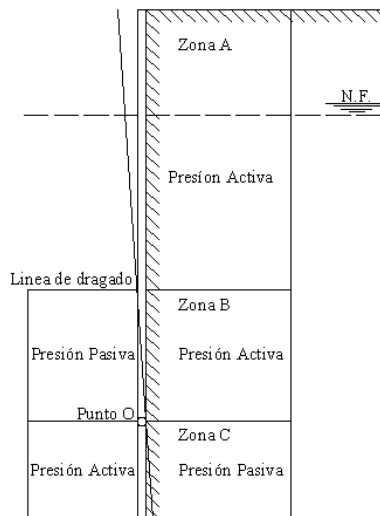


Figura 4.1 Presiones Activas y Pasivas que actúan sobre una tablestaca

• ¹ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pag. 462-520

En la figura 4.1 se representa cómo se comporta una tablestaca en voladizo donde la tablestaca gira alrededor del punto O, la presencia de presiones hidrostáticas en ambos lados producen una cancelación entre ellas, lo cual permite considerar únicamente las presiones laterales efectivas del suelo. Se observa en la zona A al lado derecho una presión activa, en la zona B a la derecha de la tablestaca se tiene una presión activa mientras que al lado izquierdo una presión pasiva. Pero en la zona C, se invierten las presiones, donde al lado derecho se presenta una presión pasiva y al lado izquierdo una presión activa. Es muy importante determinar con precisión cual va hacer la profundidad del nivel freático que afecta a la tablestaca, esto se refleja directamente en el diagrama de presiones netas.

4.1.1 Tablestaca en voladizo en suelos arenosos

Como primer paso uno debe obtener los valores de empuje pasivo y activo de Rankine del suelo arenoso:

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde: ϕ = Angulo de fricción de la arena.

Para comprender con mayor facilidad como se calcula una tablestaca en voladizo en suelo arenoso se construye su diagrama de presiones netas como se muestra en la figura 4.2:

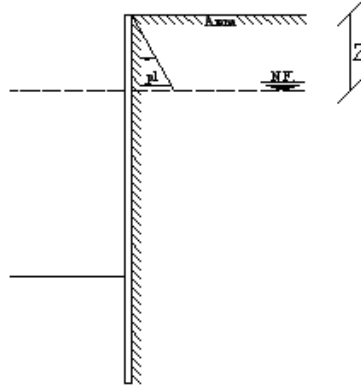


Figura 4.2. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso hasta el nivel freático

Se tiene que l_1 es la profundidad del nivel freático, donde ϕ es el ángulo de fricción de la arena. El diagrama de presiones hasta la profundidad Z en este caso igual a l_1 se comporta de forma triangular la cual tiene una intensidad p_1 que se puede obtener como:

$$P_1 = \gamma l_1 K_a \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

K_a = coeficiente de presión activa de ranking en el caso de la arena = $\tan^2 (45 - \phi/2)$

γ = peso específico del suelo sobre el nivel freático

Cuando $Z = l_1 + l_2$ (hasta la línea de dragado)

En la figura 4.3 se muestra como el diagrama se comporta cuando aumenta su profundidad:

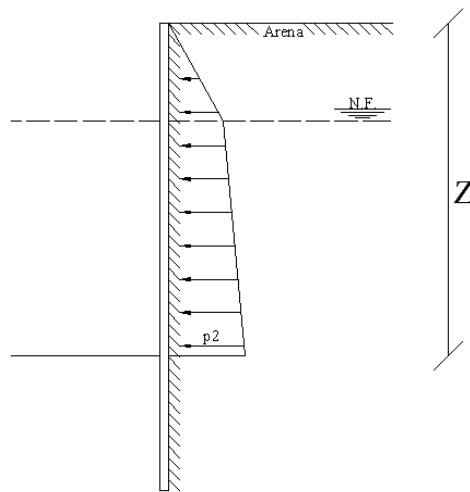


Figura 4.3. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso hasta línea de dragado

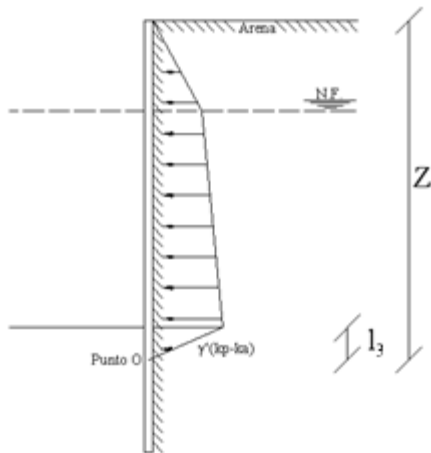
P_2 se obtiene:

$$(\gamma l_1 + \gamma' l_2) K_a \quad \text{Ec. 4.4}$$

$\gamma' =$ peso específico efectivo del suelo = peso saturado del suelo - peso específico del agua

$$(\gamma_{\text{sat}}) - (\gamma_w)$$

Cuando $Z = l_1 + l_2 + l_3$ (hasta el punto O) se considera la presión pasiva del lado izquierdo y la presión activa que se ejerce sobre el lado derecho se obtiene la presión neta, cuando la presión neta se iguala a cero se encontrará la profundidad del punto O por debajo de la línea de dragado. L_3 se obtiene de la siguiente forma:



$$l_3 = \frac{p_2}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.5}$$

El denominador expresa la pendiente del diagrama de la línea de dragado al punto O. (ver figura 4.4)

Figura 4.4. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso hasta el punto O

Cuando se obtenga el diagrama de presiones antes del punto O es necesario crear una fuerza que concentre todo el diagrama, a esta fuerza se le conoce como P y se obtiene por la suma de fuerzas que actúan en el diagrama obteniendo el diagrama que se muestra en la figura 4.5:

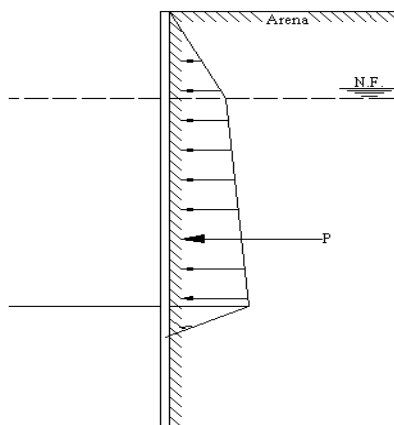


Figura 4.5. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso hasta P

Donde:

$$P = \frac{1}{2} p_1 l_1 + p_1 l_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) l_2 + \frac{1}{2} p_2 l_3 \quad \text{Ec. 4.6}$$

Siguiendo la pendiente establecida anteriormente también se puede encontrar la presión p_3 que actúa sobre el diagrama, dado al esquema de funcionamiento de la tablestaca, se observa que la presión pasiva P_p , actúa de derecha a izquierda y la presión activa actúa de izquierda a derecha esto sucede cuando $z = L + (l_3 + l_4)$. Al sumar las presiones activas y pasivas se puede obtener con facilidad p_4 y a su vez p_5 . (Ver figura 4.6)

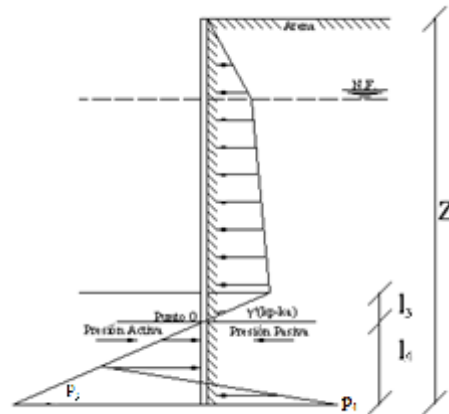


Figura 4.6. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso con P_a y P_p

$$p_3 = l_4 (K_p - K_a) \gamma' \quad \text{E. 4.7}$$

$$P_p = (\gamma l_1 + \gamma' l_2 + \gamma' (l_3 + l_4)) K_p \quad \text{Ec. 4.8}$$

$$P_a = \gamma' (l_3 + l_4) K_a \quad \text{Ec. 4.9}$$

$$p_4 = P_p - P_a$$

$$p_4 = p_5 + \gamma' l_4 (K_p - K_a) \quad \text{Ec. 4.10}$$

$$\text{Donde: } p_5 = (\gamma l_1 + \gamma' l_2) p + \gamma' l_3 (K_p - K_a) \quad \text{Ec.4.11}$$

Para lograr la estabilidad de la estructura se deben aplicar los principios de estática: donde la sumatoria de fuerzas horizontales sea igual a cero y la sumatoria de momentos respecto al

fondo de la tablestaca sean iguales a cero, se sumarán las áreas del respectivo diagrama obteniendo el diagrama de la figura 4.7:

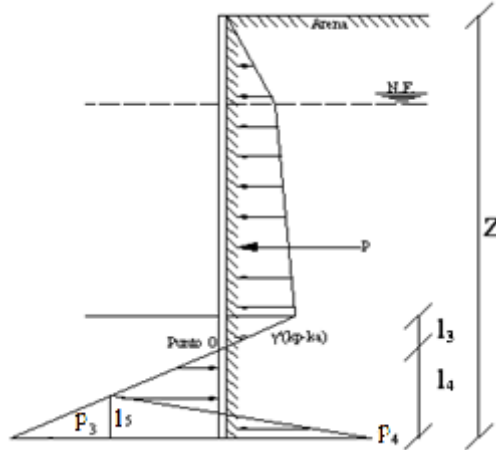


Figura 4.7. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso

Y se tiene:

$$P - \frac{1}{2} p_3 l_4 + \frac{1}{2} l_5 (p_3 + p_4) = 0 \quad \text{Ec. 4.12}$$

Donde sustituyendo se obtiene la ecuación 4.13:

$$L_5 = \frac{p_3 l_4 - 2 P}{p_3 + p_4} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Sumando momentos respecto al fondo de la tablestaca:

$$P (l_4 + \check{z}) - (\frac{1}{2} l_4 p_3) (\frac{1}{3} l_3) - \frac{1}{2} l_5 (p_3 + p_4) (\frac{1}{3} l_3) = 0$$

Donde \check{z} = es la distancia entre la fuerza P y el Punto O.

Al mezclar las ecuaciones p_3 , p_4 , sumatoria de momentos y l_5 y simplificando, se obtendrá una ecuación de cuarto grado en términos de l_4 , esta se resolverá por evaluación. Dicha formula deberá dar como resultado el valor 0.

$$L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 = 0 \quad \text{Ec. 4.14}$$

Donde:

$$A_1 = \frac{p_5}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$A_2 = \frac{8P}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.16}$$

$$A_3 = \frac{6P [2 \checkmark \gamma' (K_p - K_a) + p_5]}{\gamma'^2 (K_p - K_a)^2} \quad \text{Ec. 4.17}$$

$$A_4 = \frac{P (6 \checkmark p_5 + 4P)}{\gamma'^2 (K_p - K_a)^2} \quad \text{Ec. 4.18}$$

La obtención de la profundidad de penetración D se obtiene sumando $l_3 + l_4$ además es importante considerar un factor de seguridad FS que oscila entre 1.5 a 2.

Y para finalizar el caso de tablestacado se debe calcular el momento flexionante máximo de la tablestaca, éste se presenta a partir del punto O hacia el punto X, pero primero se debe obtener donde se presenta el cortante nulo puesto que en este punto se encuentra el máximo momento flexionante. Para esto se establecerá un nuevo eje que se encuentra en el punto O, la fuerza se encuentra con:

$$P = \frac{1}{2} (z')^2 (K_p - K_a) \gamma' \quad \text{Ec. 4.19}$$

Donde despejando z' :

$$z' = \sqrt{\frac{2P}{(K_p - K_a) \gamma'}} \quad \text{Ec. 4.20}$$

Al determinar cual es el punto de la fuerza cortante nula la magnitud del momento se calcula como:

$$M_{\max} = P (z + z') - [\frac{1}{2} \gamma' z' (K_p - K_a)] \frac{1}{3} z' \quad \text{Ec. 4.21}$$

Donde: z' es la distancia desde el punto O hasta donde se localiza el momento máximo flexionante.

Para escoger cual va ha ser el perfil (S) necesario para soportar el momento flexionante máximo, se divide el momento entre el esfuerzo admisible de flexión del material que está compuesto la tablestaca tal como se muestra en la ecuación 3.8.

Teniendo un resultado para S se sugiere comparar con tablas de productores de tablestacas donde se compare el valor obtenido con el valor de soporte de cada tablestaca y escoger una sección adecuada que sea mayor o igual a la solicitada.

4.1.1.1 Método de tablestacas en voladizo hincadas en arena y en ausencia de nivel freático

Este caso se presenta cuando las estructuras son colocadas en lugares donde hay ausencia de agua, su función radica en sostener un cuerpo de tierra. Al no existir el nivel freático su diagrama de presiones se ve alterado. Comportándose como se muestra en la figura 4.8:

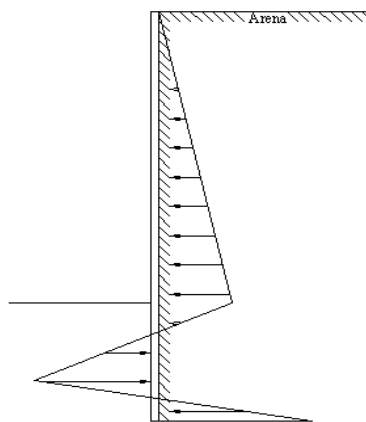


Figura 4.8. Boceto de presiones de una tablestaca en suelo arenoso en ausencia de nivel freático

En este caso se modifican las ecuaciones p_2 , p_3 , p_4 , p_5 , l_3 , P y \dot{z} . Dado a estos cambios la ecuación para obtener l_4 se modifica al igual que sus constantes A_1 , A_2 , A_3 y A_4 .

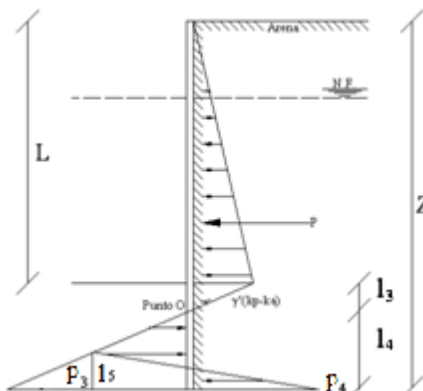


Figura 4.9. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arenoso en ausencia de nivel freático

Revisando el esquema anterior ahora se pueden plantear las ecuaciones modificadas, donde:

$$p_2 = \gamma L K_a \quad \text{Ec. 4.22}$$

$$p_3 = l_4 (K_p + K_a) \quad \text{Ec. 4.23}$$

$$p_4 = p_5 + \gamma l_4 (K_p - K_a) \quad \text{Ec. 4.24}$$

$$p_5 = \gamma L K_p + \gamma l_3 (K_p - K_a) \quad \text{Ec. 4.25}$$

$$l_3 = \frac{L K_a}{(K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.26}$$

$$P = \frac{1}{2} p_2 L + \frac{1}{2} p_2 l_3 \quad \text{Ec. 4.27}$$

$$\check{z} = \frac{L (2 K_a + K_p)}{3 (K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.28}$$

$$L_4^4 + A'_1 L_4^3 - A'_2 L_4^2 - A'_3 L_4 - A'_4 = 0 \quad \text{Ec. 4.29}$$

Donde:

$$A'_1 = \frac{p_5}{\gamma (K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.30}$$

$$A'_2 = \frac{8P}{\gamma (K_p - K_a)} \quad \text{Ec. 4.31}$$

$$A'_3 = \frac{6P [2 \check{z} \gamma (K_p - K_a) + p_5]}{\gamma^2 (K_p - K_a)^2} \quad \text{Ec. 4.32}$$

$$A'_4 = \frac{P (6 \check{z} p_5 + 4P)}{\gamma^2 (K_p - K_a)^2} \quad \text{Ec. 4.33}$$

Para encontrar el momento flexionante máximo se procede a analizar de la misma forma que el caso anterior, aunque hay que considerar ahora que no hay presencia de agua lo cual γ' se reemplazará por γ , de esta forma se obtiene:

$$z' = \sqrt{\frac{2P}{(K_p - K_a) \gamma}} \quad \text{Ec. 4.34}$$

Al determinar cuál es el punto de la fuerza cortante nula la magnitud del momento se calcula como:

$$M_{\max} = P(\bar{z} + z') - \left[\frac{1}{2} \gamma z'^2 (K_p - K_a) \right] \frac{1}{3} z' \quad \text{Ec. 4.21}$$

Donde: z' es la distancia desde el punto O hasta donde se localiza el momento máximo flexionante.

4.1.1.2 Secuela de cálculo para resolver tablestacas en suelo arenoso

El procedimiento para calcular una tablestaca en suelo arenoso debe ser como se presenta a continuación:

- Calcular K_a y K_p .
- Calcule p_1 y p_2 donde l_1 y l_2 o L serán propuestas.
- Calcule l_3 .
- Calcule P .
- Calcule \bar{z} tomando momentos respecto al punto O.
- Calcule p_5 .

- Calcule las constantes del polinomio de cuarto grado para obtener l_4 .
- Resuelva el polinomio por tanteos para determinar l_4 .
- Obtenga la profundidad teórica de penetración $l_3 + l_4$.
- Aplique el factor de seguridad propuesto sobre la profundidad teórica para obtener la real. Este puede ser de 1 a 2 pero se sugiere usar de 1.2 y 1.3

4.1.2 Tablestacado en suelo arcilloso

En ciertos casos las tablestacas deben hincarse en un suelo arcilloso donde existe una cohesión (c) no drenada, en la cual ϕ es igual a cero. Estas no son las únicas condiciones que se deben considerar, también hay que delimitar que el relleno de material será de arena a partir de la línea de dragado. Al tener estas condicionantes se puede apreciar que el diagrama de presiones hasta la línea de dragado se presenta igual que en el caso de una tablestaca en suelo arenoso. Para mayor comprensión referirse a la figura 4.10:

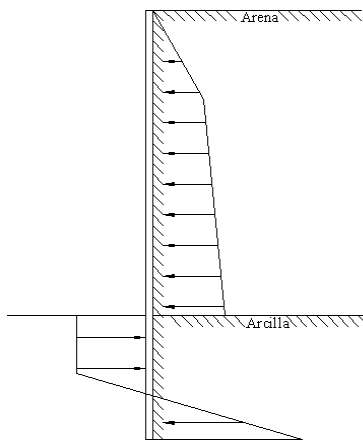


Figura 4.10. Boceto de presiones de una tablestaca en suelo arcilloso

Teniendo en consideración que a partir de la línea de dragado ϕ es igual a cero K_p y K_a dan como resultado 1, esto facilita y simplifica la ecuación para obtener el empuje activo y el empuje pasivo, y como en el caso anterior de tablestacado en arena la suma de los dos empujes da como resultado p_3 pero a diferencia del caso anterior hay que considerar la cohesión de la arcilla.(ver figura 4.11)

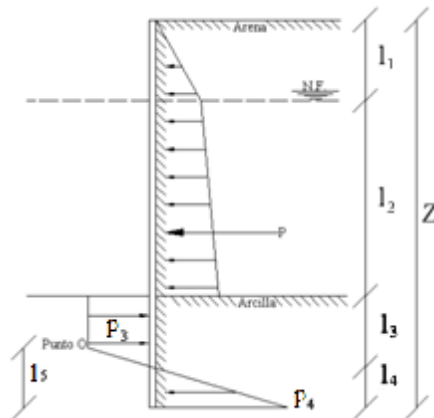


Figura 4.11. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arcilloso en presencia de nivel freático

Como en el caso anterior es necesario obtener una fuerza P que concentre las fuerzas ejercidas en el diagrama de presiones en la parte superior de la línea de dragado, esta fuerza se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{2} p_1 l_1 + p_1 l_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) l_2 \quad \text{Ec. 4.35}$$

Considerando hasta el punto O la suma de los empujes, p_3 da:

$$p_3 = P_p - P_a = [\gamma_{\text{sat}} (z - l_1 - l_2) + 2c] - [\gamma l_1 + \gamma' l_2 + \gamma_{\text{sat}} (z - l_1 - l_2) + 2c]$$

$$p_3 = 4c - (\gamma l_1 + \gamma' l_2) \quad \text{Ec. 4.36}$$

Del fondo de la tablestaca la suma de los empujes da como resultado p_4

$$p_4 = P_p - P_a = [\gamma l_1 + \gamma' l_2 + \gamma_{\text{sat}} D + 2c] - [\gamma_{\text{sat}} D - 2c]$$

$$p_4 = 4c + (\gamma l_1 + \gamma' l_2) \quad \text{Ec. 4.37}$$

Ahora para obtener l_4 es necesario hacer la suma de fuerzas que se presentan en el diagrama de empujes y por consiguiente hay que tomar momentos en el fondo de la tablestaca. Ya obtenidas las ecuaciones estas se suman y darán la ecuación que proporciona l_4 .

Suma de fuerzas del diagrama de presiones tomando que $l_3 + l_4 = D$:

$$P - [4c - (\gamma l_1 + \gamma' l_2)] D + \frac{1}{2} l_4 [4c - (\gamma l_1 + \gamma' l_2) + 4c + (\gamma l_1 + \gamma' l_2)] = 0$$

Suma de momentos en el fondo de la tablestaca:

$$P - (D + \check{z}) - [4c - (\gamma l_1 + \gamma' l_2)] \frac{1}{2} D^2 + \frac{1}{2} (l_4) (8c) \frac{1}{3} l_4 = 0$$

\check{z} = Distancia a partir de la línea de dragado a la fuerza P

Al sumar las dos ecuaciones se obtiene un polinomio de segundo grado que se sugiere resolver por medio de la fórmula general:

$$D^2 [4c - (\gamma l_1 + \gamma' l_2)] - 2 D P - \frac{P(p + 12c \check{z})}{(\gamma l_1 + \gamma' l_2) + 2c} \quad \text{Ec. 4.38}$$

Dado al cambio en la parte por debajo de la línea de dragado del diagrama de presiones de una tablestaca hincada en suelo arcilloso, su momento flexionante máximo también se ve afectado. Este momento se dará entre la línea de dragado y l_3 . Al igual que el caso anterior se toma un nuevo eje el cual se considera como z' que se ubicará en la línea de dragado. De esta manera se obtendrá la fuerza cortante nula donde será el punto donde el momento será máximo.

$$P - p_3 z' = 0 \quad \text{Ec. 4.39}$$

Al despejar z' :

$$z' = \frac{P}{p_3} \quad \text{Ec. 4.40}$$

El momento máximo se obtiene con:

$$M_{\max} = P (z' + \check{z}) - \frac{1}{2} p_3 z'^2 \quad \text{Ec. 4.41}$$

4.1.2.1 Tablestacado en suelo arcilloso sin presencia de nivel freático

Para la solución de un caso de tablestacado en suelo arcilloso y sin presencia de nivel freático con un relleno de arena, se considerará el diagrama de presiones de la figura 4.12:

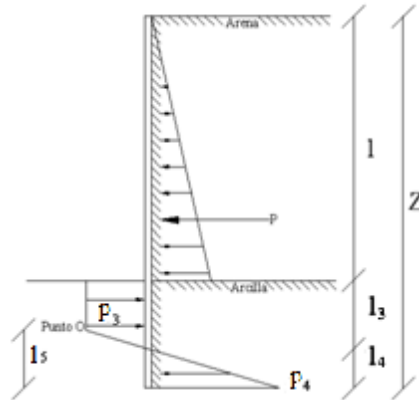


Figura 4.12. Diagrama de presiones de una tablestaca en suelo arcilloso en ausencia de nivel freático

En este caso se modifican las ecuaciones p_2 , p_3 , p_4 , P y \check{z} . Dado a estos cambios la ecuación para obtener D ($l_3 + l_4$) también sufre un cambio el polinomio que se resuelve con la fórmula general de ecuaciones cuadráticas:

$$p_2 = \gamma L K_a \quad \text{Ec. 4.42}$$

$$p_3 = 4c - \gamma l \quad \text{Ec. 4.43}$$

$$p_4 = 4c + \gamma l \quad \text{Ec. 4.44}$$

$$P = \frac{1}{2} \gamma L^2 K_a \quad \text{Ec. 4.45}$$

$$D^2 (4c - \gamma L) - 2 D P - \frac{P (P + 12 c \check{z})}{\gamma L + 2 c} = 0 \quad \text{Ec. 4.46}$$

Donde: $\check{z} = L / 3$

Para obtener el momento flexionante máximo se debe aplicar la ecuación 4.41 que se obtuvo de la suma de fuerzas en el diagrama de presiones y la suma de momentos:

$$M_{\max} = P (z' + \check{z}) - 1/2 p_3 z'^2 \quad \text{Ec. 4.41}$$

Tomando en cuenta que z' se calcula de la siguiente manera:

$$Z' = \frac{P}{p_3} \quad \text{Ec. 4.40}$$

4.2 Tablestacas ancladas

Se considera tablestaca anclada cuando ésta tenga un tensor y un ancla en la parte superior de la tablestaca, la función de ésta es disminuir los esfuerzos a que se ve sometida la tablestaca, al comportarse de esta manera se sugiere su uso en muros en voladizo mayores a 6 metros ó 20 pies. La función de las anclas radica en disminuir la profundidad de penetración y también reducen la sección transversal y peso de la tablestaca. Para el cálculo de estos casos se utiliza el método de soporte libre. En este método no existe un punto pivote para el sistema estático que con anterioridad se localizaba bajo la línea de dragado. La figura 4.13 muestra como se flexiona la tablestaca cuando ésta se encuentra anclada. La tablestaca se pandea casi en la línea de dragado pero no llega a rotar es decir en la parte superior e inferior no existe un desplazamiento horizontal, esto se debe por la fuerza que genera el ancla.

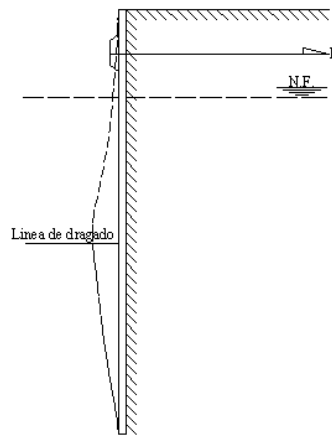


Figura 4.13. Esquema de comportamiento de una tablestaca anclada

4.2.1 Tablestaca anclada en suelo arenoso

En este caso se analizará una tablestaca que está afectada por un anclaje. El diagrama de presiones en este caso es igual al de una tablestaca en suelo arenoso con presencia de nivel freático hasta la línea de dragado. A partir de aquí el efecto del ancla se refleja en el diagrama de presiones. Donde la profundidad del ancla se le denomina l'_1 . Para efectos de mejor comprensión se sugiere analizar el diagrama de presiones de una tablestaca anclada en suelo arenoso el cual se muestra en la figura 4.14:

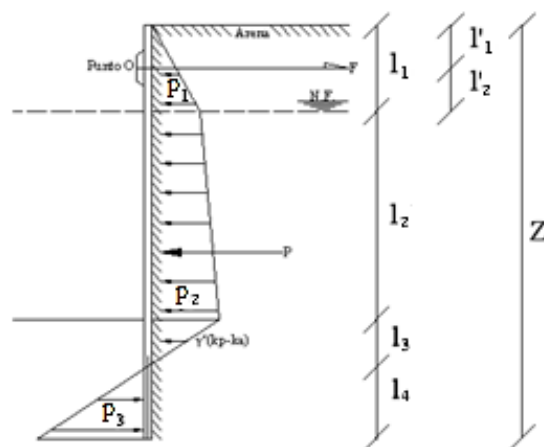


Figura 4.14. Diagrama de presiones de una tablestaca anclada en suelo arenoso en presencia de nivel freático

Como se puede observar el diagrama se compone por p_1 , p_2 y p_3 , si recordamos este diagrama es casi igual al primer caso, donde p_1 , p_2 , p_3 , P y l_3 se pueden obtener con las mismas fórmulas que se mostraron con anterioridad en el caso de tablestaca en suelo arenoso en presencia de nivel freático. Para obtener la fórmula de la fuerza del ancla F , se debe hacer una sumatoria de fuerzas horizontales del diagrama de presiones más la suma de momentos respecto al punto O , el cual se localiza en la profundidad del anclaje. Al realizar lo explicado con anterioridad se obtiene:

$$F = P - \frac{1}{2}(\gamma' (K_p - K_a) l_4^2) \quad \text{Ec. 4.47}$$

Para encontrar el polinomio de l_4 se debe tomar momentos respecto al punto O y al igualarlo a cero se obtiene:

$$L_4^3 + 1.5 L_4^2 (l_2 + l_3) - \frac{3P [(l_1 + l_2 + l_3) - (z + l_1)]}{\gamma' (K_p - K_a)} = 0 \quad \text{Ec. 4.48}$$

Para encontrar l_4 el polinomio debe evaluarse hasta que este de 0. Al sumarse l_3 y l_4 se obtiene D . A este se le afecta con un factor de seguridad al hacerlo se considera D_{real} , este factor se recomienda de 1.3 a 1.4.

El momento flexionante máximo al que se ve sometido la tablestaca se presenta a una profundidad $z = l_1$ y $z = l_1 + l_2$, es decir antes la línea de dragado. Como ya se sabe el momento se encuentra en el cortante nulo:

$$\frac{1}{2} p_1 l_1 - F + p_1(z - l_1) + \frac{1}{2} \gamma' K_a (z - l_1)^2 = 0 \quad \text{Ec. 4.49}$$

Donde z va hacer la variable la cual se evaluará hasta obtener como resultado 0. Conociendo el valor de z se aplicará la siguiente formula la cual dará el máximo momento flexionante al que se ve sometido la tablestaca.

$$M_{\max} = -\frac{1}{2} p_1 l_1 (x + \frac{1}{3} l_1) + F (x + l'_1) - p_1 (\frac{1}{2} x) - \frac{1}{2} \gamma' K_a x^2 \frac{1}{3} x \quad \text{Ec. 4.50}$$

Donde $x = z - l_1$.

4.2.2 Tablestaca anclada en suelo arcilloso

Este caso es muy similar al que ya se presentó con anterioridad, existe también un relleno de arena a partir de la línea de dragado, para entender mejor su distribución de presiones se sugiere analizar la siguiente figura 4.15 la cual muestra el diagrama de presiones de este caso:

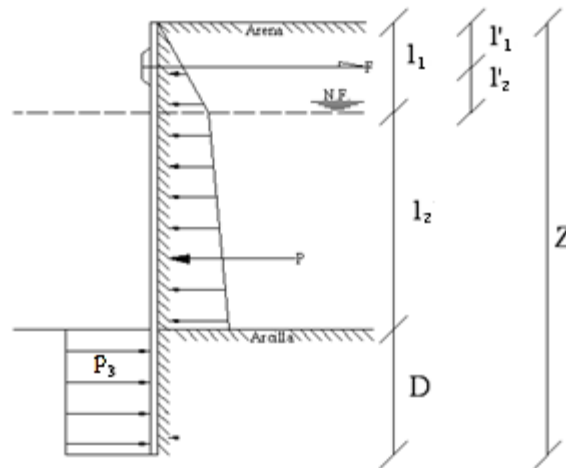


Figura 4.15. Diagrama de presiones de una tablestaca anclada en suelo arcilloso en presencia de nivel freático

Como se puede observar hasta la línea de dragado es el mismo que el caso de un tablestacado en suelo arcilloso donde existe presencia de agua, p_3 se puede encontrar de la siguiente forma:

$$p_3 = 4c - (\gamma l_1 - \gamma' l_2) \quad \text{Ec. 4.51}$$

Mediante un equilibrio estático, la suma de fuerzas en dirección horizontal se puede obtener la fuerza del ancla que actúa en el tablestacado:

$$F = P - p_3 D \quad \text{Ec. 4.52}$$

Donde: D = profundidad de penetración.

El polinomio para obtener D se encuentra tomando momentos en la profundidad donde se localiza el ancla:

$$p_3 D^2 + 2 p_3 D (l_1 + l_2 + l'_1) - 2 P (l_1 + l_2 - l'_1 - \check{z}) = 0 \quad \text{Ec. 4.53}$$

El valor de D se obtiene resolviendo el polinomio utilizando la formula general para resolver polinomios de segundo grado.

El momento flexionante máximo se encuentra entre l_1 y $(l_1 + l_2)$, al igual que el caso de tablestacado anclado en suelo arenoso, al tener un relleno granular, se calcula de la misma forma utilizando la ecuación 4.50.

4.2.3 Anclas

Como se expuso con anterioridad un ancla radica en disminuir la profundidad de penetración y también reducen la sección transversal y peso de la tablestaca, existen varios tipos de anclas, los más generales son:

- Placas y vigas de anclaje.
- Tirantes.
- Pilotes verticales de anclaje.
- Vigas de anclaje soportadas por pilotes inclinados.

Para el calculo de anclaje, se realizara el calculo de placas y vigas de anclaje los cuales normalmente están hechos de bloques de concreto, estos bloques son conectados por medio de tirantes. El elemento que une la tablestaca con el ancla se llama viga carrera o larguero el cual se coloca al frente o en la parte posterior de la tablestaca. Los tirantes son de barras o cables, estos elementos normalmente son tendones de acero de alta resistencia y presforzados (ver figura 4.16). Se aclara que en este estudio, no se lleva a cabo su cálculo.

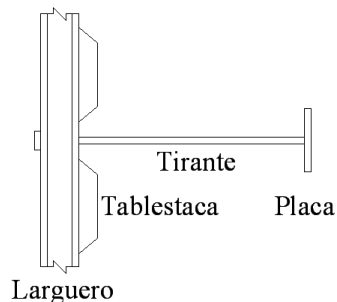


Figura 4.16. Esquema de colocación del ancla en la tablestaca

4.2.3.1 Colocación del Ancla

La resistencia ofrecida por las placas se genera principalmente de la fuerza pasiva del suelo localizado en frente de estas. Su colocación es de suma importancia puesto que si ésta no es colocada adecuadamente al presentarse la falla no trabajará adecuadamente a lo diseñado.

Tomando en consideración el diagrama de la figura 4.17:

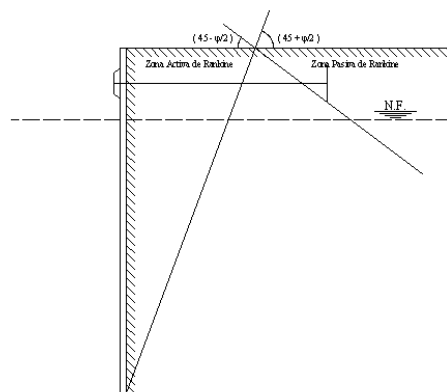


Figura 4.17. Diagrama de colocación correcta del ancla dentro de la zona de pasiva de Rankine

De acuerdo al diagrama:

$$\text{Zona Pasiva de Rankine} = (45 - \varphi/2)$$

$$\text{Zona Activa de Rankine} = (45 + \varphi/2)$$

Si se llega a colocar el ancla dentro de la zona Activa, el ancla no trabaja ya que no opondrá resistencia a la falla. Si la cuña de la zona pasiva inicia dentro de la zona activa, el ancla no ejerce una resistencia pasiva total al fallar la tablestaca. Si la cuña de la zona pasiva se localiza fuera de la cuña de la zona activa, el ancla genera la resistencia pasiva total. Para saber cual es la profundidad de anclaje, se sugiere resolver los lados que componen los dos triángulos y sumar aquellos lados que se encuentren en la superficie del terreno.

4.2.3.2 Cálculo de la placa o viga de anclaje mediante el método empírico basado en pruebas de modelos.

Ghaly en 1997 utilizó los resultados de 104 pruebas de laboratorio, 15 pruebas centrífugas de modelos y 9 pruebas de campo con la intención de obtener una correlación empírica para la resistencia última de placas o vigas de anclaje. La figura 4.18 muestra el tipo de prueba donde se relaciona el factor de geometría del ancla con su factor de capacidad de zafadura, al graficarse los datos se puede proponer una regresión logarítmica.

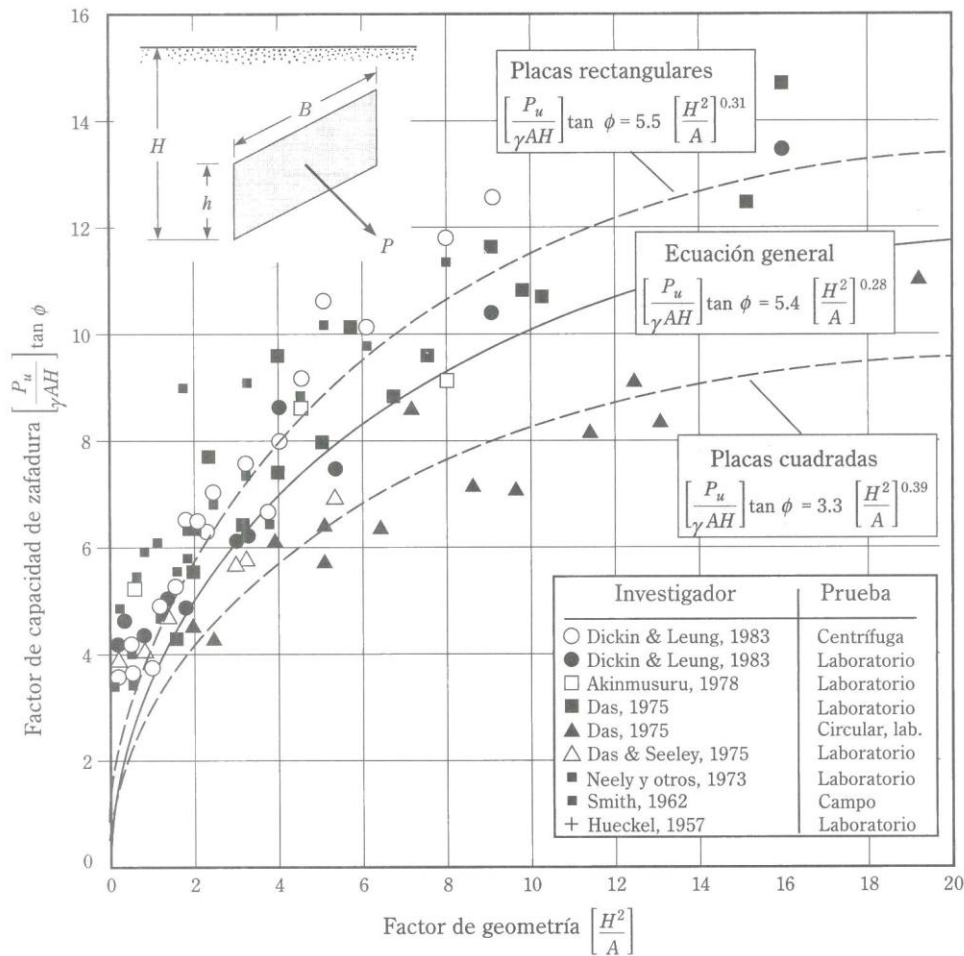


Figura 4.17. Gráfica de placas realizada por Ghaly, 1997²

² Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pag. 512

Ghaly encontró dos ecuaciones cada una recuerdo a su forma, estas pueden ser cuadradas o rectangulares, al tener estas dos fórmulas propuso una ecuación general la cual abarca los dos tipos de forma, y ésta se expresa como:

$$P_{adm} = \frac{5.4}{\tan \phi} \frac{(H^2)^{0.28}}{A} \gamma A H \quad \text{Ec. 4.53}$$

Donde A= Área de la placa

H= profundidad desde la superficie de suelo hasta el lado mas bajo de la placa.

γ = Peso específico de la arena.

ϕ = Angulo de fricción interna de la arena.

Para obtener una mayor confianza en el resultado se debe aplicar un factor de seguridad de valor 3. Para saber cuál es el espaciamiento de centro a centro de las placas se debe dividir P_{adm} afectado por el factor entre la fuerza que el ancla ejerce. Es decir,

$$S' = \frac{P_{adm}}{F}$$

$$P_{adm} = P_{adm} / F.S.$$

El cálculo de las placas ésta considerando que toda placa analizada ésta conformada de un espesor de 5 cm y además de ser exclusivamente de acero. El cálculo de los largueros no se consideró.