Excavaciones realizadas al amparo de pantallas con tablestacas. Medidas de movimientos

E. DAPENA (*); A. PERUCHO (*); C. GONZÁLEZ (**)

RESUMEN Se recogen en este trabajo las medidas de movimientos horizontales realizadas durante la excavación de una zanja de 5 m de profundidad y 7 m de anchura, en la que se iba a colocar un cajón de hormigón de 5 x 3 m, que serviría para canalizar las aguas de dos arroyos. El aluvial del arroyo donde se realiza la excavación son gravas con matriz arcillosa de espesor suficiente para permitir empotrar más de tres metros una pantalla de tablestacas. El proceso constructivo seguido consistía en hincar vibrando una pantalla de tablestacas hasta una profundidad superior a 3 m por debajo del fondo de la excavación, realizar una excavación de 0,60 m para colocar un arriostramiento en la cabeza de la pantalla de tablestacas y continuar la excavación hasta los 5 m. Una vez colocados los cajones, se rellena la zanja, y se procede a la extracción de las tablestacas. La excavación estaba situada en una calle de zona urbana, por lo que era necesario conocer la extensión y magnitud de los movimientos horizontales posibles, para tomar las medidas necesarias tendentes a evitar problemas en los edificios próximos.Durante la ejecución de la obra, se fueron midiendo los movimientos horizontales producidos que se recogen en esta comunicación.

MOVEMENTS IN EXCAVATIONS PROTECTED BY SHEET-PILE CUT-OFFS

ABSTRACT *This work reports on the measurements taken of horizontal movements during the excavation of a 5 m deep and 7-m wide trench created for the installation of 5 x 3 metre concrete caissons to channel water from a stream running in the vicinity. The alluvial deposit in the stream at the excavation site consists of gravel with a sufficiently thick clayey matrix to enable a sheet-pile cut-off wall to be sunk over three metres in. The construction process used consisted of driving the sheet pile in by vibration to a depth of over 3 m below the bottom of the excavation, digging a 0,60 m pit to fix bracing at the head of the cut-off and excavating down to 5 metres. Once the caissons were in place, the trench was refilled and the sheet pile removed. The excavation site was on an urban street, making it necessary to assess the extent and scale of any possible horizontal movements, in order to take the appropriate measures to avoid problems occurring in adjoining buildings. Measurements were taken during the excavation work of the horizontal movements occurring.The paper reports on the results.*

Palabras clave: Movimientos horizontales del terreno; Excavaciones; Tablestacas.

1. INTRODUCCIÓN

El encauzamiento del arroyo Sorravides a su paso por Torrelavega con la incorporación del arroyo Indiana, está proyectado según dos secciones distintas, en función de la distancia de los edificios a la obra.

En los tramos en los que los edificios circundantes estaban a una distancia de la excavación superior a vez y media la profundidad de ésta, la zanja se realiza mediante tablestacas, para colocar cajones prefabricados. La última fase del proceso consiste en el relleno de la excavación y retirada de tablestacas.

Cuando los edificios colindantes están muy próximos, en general con la cimentación a menor distancia que vez y media la profundidad de la excavación que se va a realizar, el encauzamiento se construyó realizando pantallas continuas y tablero superior, dejando para una ultima fase la excavación posterior de la conducción entre pantallas y la ejecución de la solera.

Los tramos en que está dividido el encauzamiento, según el tipo de sección utilizado, así como la longitud de cada uno de ellos, se recogen en la tabla 1.

Se recogen en este Trabajo las medidas realizadas durante la construcción del Tramo VI, pK 0+875 a pK 1+103,2.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRAMO

Las características generales del tramo en resumen son las siguientes:

- Profundidad de la excavación 5,00 m.
- Tipo de terreno a excavar:
  - De 0 a 1 m: Rellenos antrópicos.
  - De 1 a 5 m: Gravas con matriz areno-limosa.

(*) Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Ministerio de Fomento.
(**) C. H. del Norte. Ministerio de Medioambiente.

	P.K.			Cajones prefabr. longitud m	Pantalla contínua m
Tramo I	0 + 000	a	0 + 607,4	607	—
Tramo II	0 + 607,4	a	0 + 655	—	47,6
Tramo III	0 + 655	a	0 + 670	—	15
Tramo IV	0 + 670	a	0 + 719	49	—
Tramo V	0 + 719	a	0 + 875	—	256
Tramo VI	0 + 875	a	1 + 103,2	128,2	—
Tramo VII	1 + 103,2	a	1 + 289,8	—	186,6
Tramo III	1 + 289,8	a	1 + 565	275,2	—
			TOTAL	**1.059,8**	**405,2**

TABLA 1. Tipo de conducción proyectada en sus distintos tramos.

- Cota nivel freático: –2,50.
- Distancia mínima de la excavación a los edificios: 6 m.
- Cajón de Hormigón prefabricado.
- Relleno de gravas entre cajón y paredes de la excavación.

La profundidad de excavación, previa a la colocación de los cajones prefabricados, es de 5 m y se realizó hincando previamente tablestacas que se empotran por debajo en la capa de gravas, y tienen un apuntalamiento en cabeza

La distancia mínima de los edificios a la excavación era de 6 m, pero durante la ejecución se varió el trazado aproximándolo a la margen derecha disminuyendo en algunas partes esta separación entre pantalla de tablestacas y edificios. En particular en un corto tramo, la pantalla de tablestacas se coloca a una distancia de 3,70 m en la esquina de aguas abajo, y a 4,50 m en la esquina de aguas arriba de un edificio.

El terreno en el que se construye el tramo, está constituído por gravas con matriz arcillosa, recubiertas por una capa de rellenos de 1 m de espesor. En algunas partes el techo de la capa de gravas estaba constituido por un estrato de limos arenosos de color oscuro, y de espesor interior a 2 m.

3. PROCESO CONSTRUCTIVO

El espesor de la capa de gravas con matriz arcillosa permitía hincar las tablestacas por debajo de la excavación a realizar, en una profundidad suficiente para considerarse empotradas, colocándose un único nivel de apuntalamiento a nivel de la calle.

La secuencia del proceso constructivo fue la siguiente:

1. Hincado de tablestacas (aprox. 10 m).
2. Excavación previa hasta 0,60 m de profundidad.
3. Colocación del arriostramiento superior a nivel de calle.
4. Excavación hasta 5 m con frente en talud vertical.
5. Colocación de la parte inferior del cajón.
6. Colocación de la parte superior del Cajon.
7. Relleno con zahorra artificial sin compactar hasta la cota de rasante.
8. Se retiran puntales superiores.
8. Se retiran tablestacas.

	Arcilla	Arena	Grava
Densidad γ KN/m^3	19,0	19,0	16,0
Coeficiente Poisson	0,30	0,30	0,30
Mod. deformación E KN/m^2	5.000	50.000	200.000
Cohesión C KN/m^2	1,0	0,1	0,1
Rozamiento φ°	27	32	37

TABLA 2. Características del terreno utilizadas en el programa Plaxis.

Inicialmente estaba previsto realizar una excavación inicial de 3,10 m, antes de colocar el apuntalamiento de tablestacas. Se hizo un cálculo de movimientos utilizando el programa de elementos finitos Plaxis, considenrando un terreno formado por una capa superior de 2 m de espesor de arcillas arenosas. Debajo de esta capa, otra de arenas también de 2 m de espesor. A continuación, un estrato de gravas que se prolongaba por debajo de la excavación. Las características de cada una de estas capas utilizadas en el cálculo, se recogen en la tabla 2.

Según este cálculo, los máximos movimientos en el terreno se producen junto a la cabeza de la tablestaca y en el momento en que termina la excavación inicial, hasta los 3,10 m de profundidad, alcanzando una magnitud de 34 mm.

Este desplazamiento total de 34 mm corresponde a un asiento de 22 mm y a un corrimiento horizontal de 25 mm. En la superficie del suelo la zona plastificada alcanza los 4 m contados desde la cabeza de la tablestaca, figura 1.

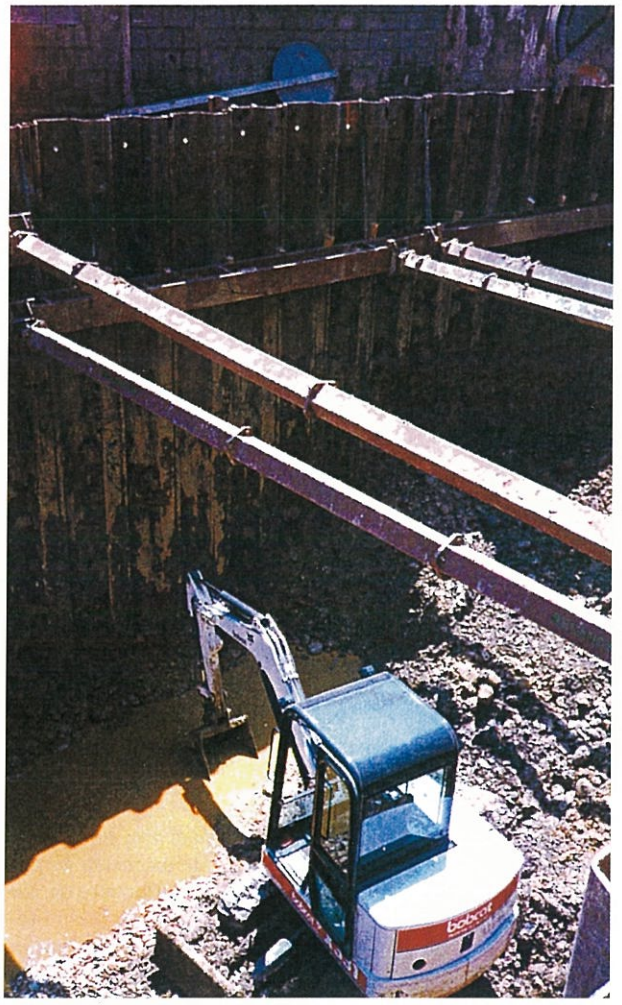
A la vista de estos resultados, se decidió reducir la profundidad de la excavación inicial a 0,60 m en el tramo que se está considerando, como figura en el punto 2 de este proceso constructivo. (Fotografias 1 y 2).

4. MEDIDA DE MOVIMIENTOS

El control de los movimientos desde el inicio del tramo tenía por objeto conocer la extensión de la zona afectada por los movimientos horizontales debido a la excavación entre tablestacas y la magnitud de estos movimientos.

Además, este control permitiría adoptar las medidas adecuadas para evitar problemas en los edificios, en el caso de que estos movimientos interfieran con los edificios próximos.

FOTOGRAFÍA 1. Arriostramiento con una fila de puntales.



FOTOGRAFÍA 2. Excavación entre tablestacas.

La situación de los puntos para el control en superficie de los movimientos horizontales y verticales, es la siguiente:

1. Secciones separadas 10 m.
2. Puntos de medida a 2 y 6 m de la pantalla de tablestacas y en la fachada de los edificios, puntos a, b y d respectivamente, en la figura 2.
3. Se midieron desplazamientos horizontales y asientos.
4. Las mediciones se continuaron hasta que se terminó la colocación del pavimento.

5. MOVIMIENTOS EN LA MARGEN DERECHA

5.1. CONVERGENCIA DE TABLESTACAS

Los valores de la convergencia de tablestacas medidos al final de la excavación, y al retirar los puntales, se recogen en la figura 3. Los valores finales obtenidos después de retirar los puntales se encuentran entre 10 mm y 53 mm, figura 4, pudiéndose tomar como valor medio representativo 30 mm.

5.2. MOVIMIENTOS HORIZONTALES JUNTO TABLESTACAS

Se ha medido la separación que se produjo entre la tablestaca y el punto a, situado a 2 m hasta que se extrajo aquella. Los valores se encuentran en el intervalo de 8 mm a 31 mm, Figura 5, pudiéndose tomar como valor medio representativo 16 mm.

5.3. MOVIMIENTOS HORIZONTALES ENTRE LOS PUNTOS A Y B

Se ha medido la evolución de los movimientos horizontales entre los puntos a y b en diferentes momentos. Al retirar los puntales, los movimientos horizontales entre a y b eran muy bajos.

Al retirar las tablestacas, los movimientos en cada una de las secciones se recogen en la figura 6, y su distribución

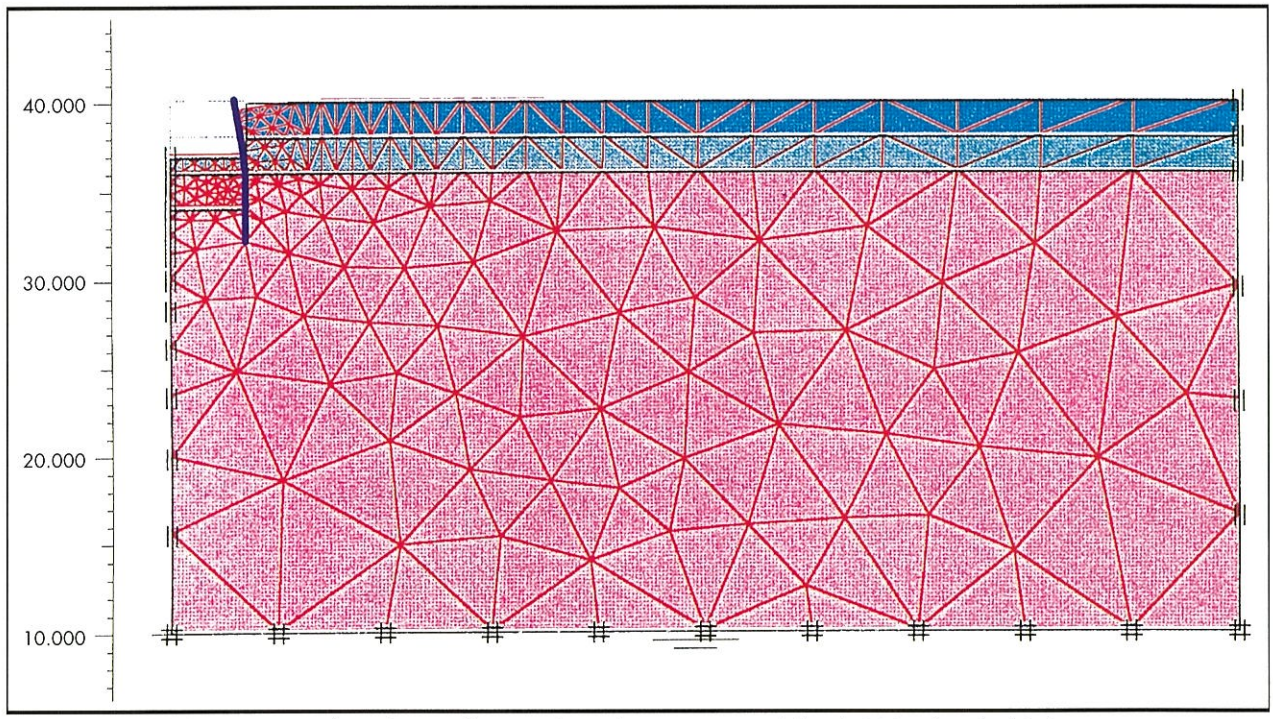


FIGURA 1. Cálculo de movimientos mediante elementos finitos, en el caso de excavación inicial libre de 3,10 m de profundidad.

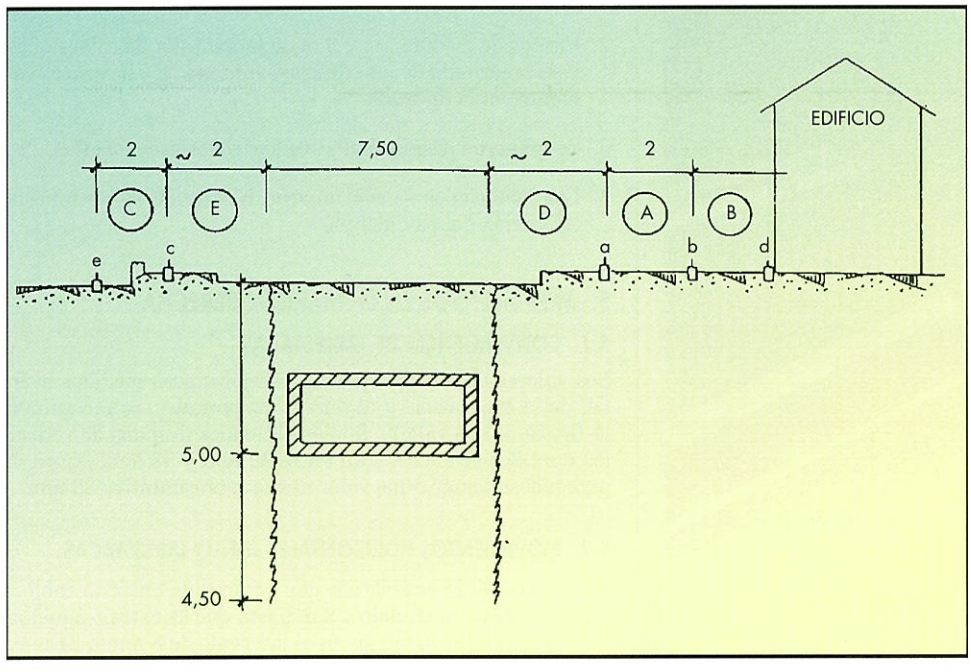


FIGURA 2. Situación de los puntos de referencia para realizar las medidas e identificación por zonas de intervalos entre puntos.

en la figura 7. Esta última indica que los valores están comprendidos en el intervalo 11 a 36 mm, pudiéndose tomar como valor medio representativo 18 mm.

Por último, se ha medido la separación de los puntos a y b en el transcurso del tiempo. Estas medidas a los 2 meses de la retirada de las tablestacas se recogen en la figura 6.

Se observaron unos movimientos elevados, por encima de 55 mm, en la sección pK 0+902 y entre la pK 0+975 y la pK 0+995. Si bien en esta zona se ha ejecutado una zanja junto a la acera, para la conducción de gas, y de un metro de profundidad, que puede ser la causa de este incremento de movimientos.

La distribución de los valores obtenidos en cada una de las secciones se recoge en la figura 8, estando comprendidos en el intervalo entre 20 mm y 66 mm, pudiéndose tomar como valor representativo 35 mm.

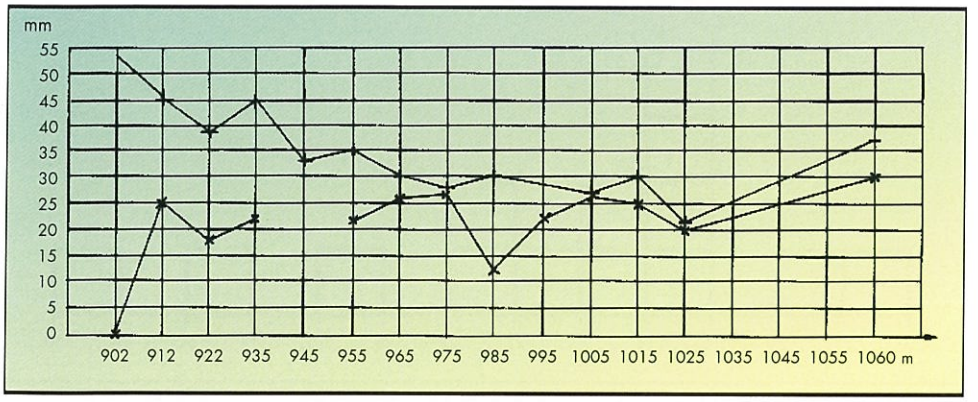


FIGURA 3. Valores medidos de la convergencia de tablestacas al final de la excavación x y al retirar puntales +.

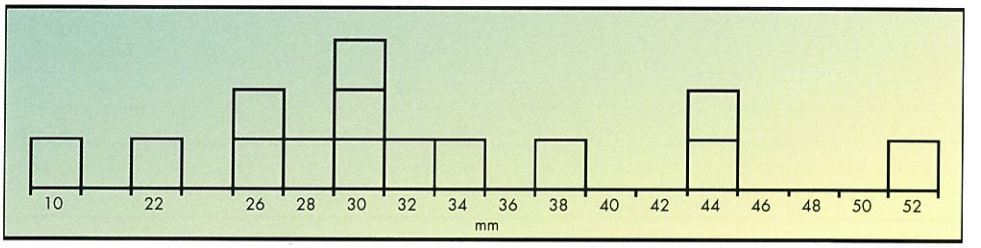


FIGURA 4. Distribución de los valores de la convergencia de tablestacas después de retirar los puntales.

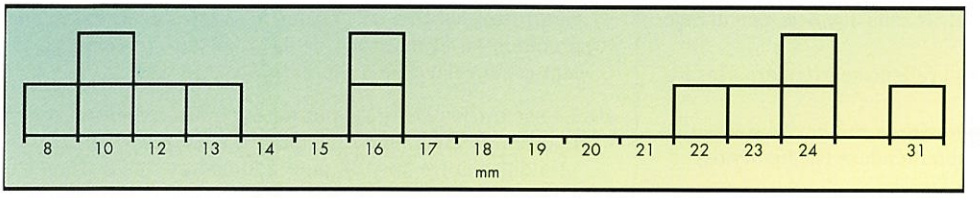


FIGURA 5. Movimientos en la margen derecha junto a las tablestacas, hasta quitar los puntales.

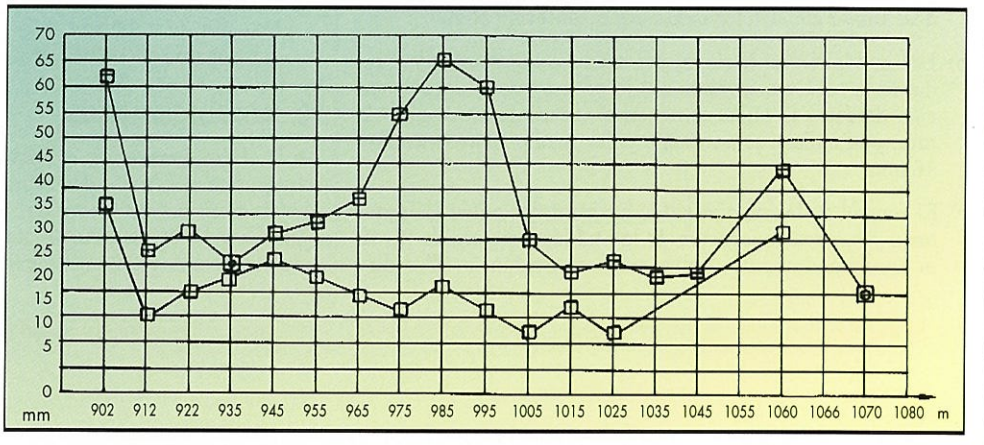


FIGURA 6. Movimientos horizontales en el tramo A al retirar tablestacas □ y dos meses después ⌖.

6. MEDIDAS ESPECIALES PARA EVITAR MOVIMIENTOS HORIZONTALES

En la parte final de este tramo, la excavación se aproximó a los edificios, situándose a menos de 5 m de éstos.

Conocidos ya los movimientos que se producían en el terreno con el proceso constructivo seguido, se modificó éste para evitar posibles daños en la estructura de los edificios. En esta zona, no se extrajeron las tablestacas, y se sustituyó el relleno de gravas por un relleno de hormigón.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El tramo VI del encauzamiento del arroyo Sorravides, entre el pK 0+875 y el pK 1+103, se construyó ejecutando la excavación para la colocación de la conducción, mediante tablestacas empotradas y apuntaladas en cabeza.

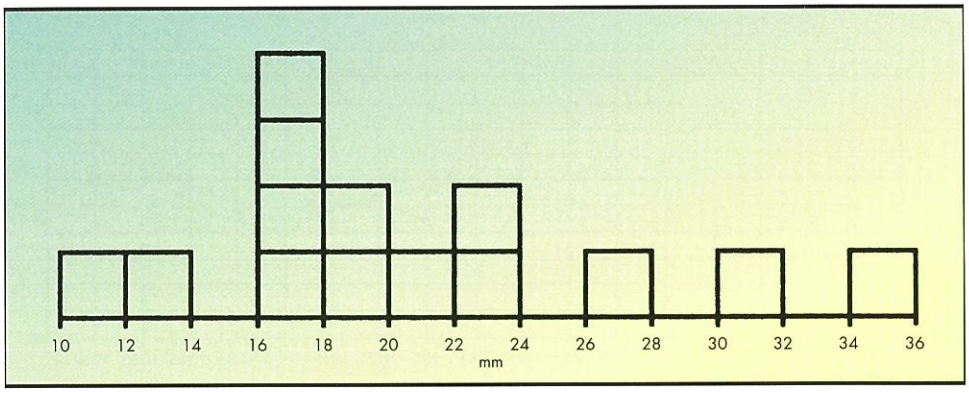


FIGURA 7. Distribución del incremento de separación entre los puntos situados a 2 y 4 m de las tablestacas, al retirar estas.

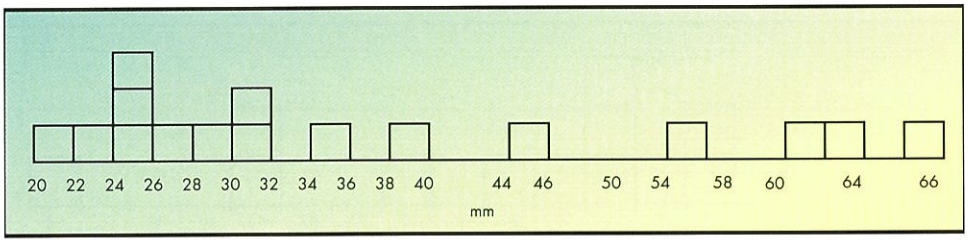


FIGURA 8. Distribución de los incrementos de separación entre los puntos a y b a los 2 meses de retirar tablestacas.

La excavación tenía una profundidad de 5 m y el empotramiento de las tablestacas alcanzaba los 5 m por debajo del fondo de la excavación.

Una vez colocado el cajón y el relleno se extrajeron las tablestacas mediante vibrado.

Se hizo un control de los movimientos horizontales durante el proceso constructivo, obteniéndose los siguientes resultados

a) La convergencia de las tablestacas una vez retirados los puntales está comprendida entre 20 y 53 mm, pudiéndose tomar como valor medio representativo 30 mm.

b) Los movimientos horizontales en la zona entre 0 y 2 m desde la tablestaca, justo antes de proceder a la extracción de ésta, se encuentran en el intervalo entre 8 y 31 mm, pudiéndose tomar como valor medio representativo 16 mm.

c) El control de los movimientos horizontales entre los puntos a y b, cuya separación de las tablestacas era de 2 y 4 m aproximadamente, indica una separación de ellos durante el proceso constructivo. Este incremento de separación justo después de extraer las tablestacas, está comprendido en el intervalo de 11 a 36 mm, pudiendose tomar como valor medio representativo 18 mm.

d) La separación entre los puntos a y b fue aumentado en el transcurso del tiempo llegando a alcanzar valores comprendidos entre 20 y 66 mm, pudiéndose tomar como valor medio representativo 35 mm.

e) Conocidos ya estos movimientos medidos, en una zona con edificios a 4 m de distancia de la excavación, no se extrajeron las tablestacas, y se sustituyó el relleno de gravas por un relleno de hormigón.

8. AGRADECIMIENTOS

A D. Julio Barrenengoa, Ingeniero de la Confederación Hidrográfica del Norte del Ministerio de Medio Ambiente y a los Ingenieros de Caminos, D. Pedro González, D. Victor Muñoz y D. Miguel Angel Rodríguez de la empresa Rodio, sin cuya colaboración este trabajo no hubiera sido posible.