

de anclaje. Estos almacenes están protegidos y no se pueden demoler ni dañar. La posibilidad de un anclaje de un lado del "pier" al otro no es de fácil ejecución dada la distancia entre las pantallas, ya que se tendría que perforar horizontalmente debajo de las cimentaciones de los edificios. Quedan los anclajes inyectados, con un ángulo de unos 20° a 30° con respecto a la horizontal o la solución con pilotes de acero trabajando en tracción (Figura 8). El aspecto estético también es un factor importante en estos proyectos: la dirección de la API no quiere alterar el aspecto de los muelles actuales y por lo tanto, la parte por encima de marea baja será probablemente recubierta con una viga de concreto, protegiendo el acero en la zona la más corrosiva.

En 2002, en el Puerto de Gulfport, Mississippi, EE.UU., un muelle originalmente construido con celdas circulares (estructura de gravedad) fue rehabilitado de una manera similar. Hincaron una pantalla combinada HZ/AZ delante de la estructura existente y se apoyó en tensores inyectados. Durante esta operación ejecutada en tres fases distintas, los almacenes frigoríficos del mismo muelle tuvieron que quedar accesibles a todo tiempo.

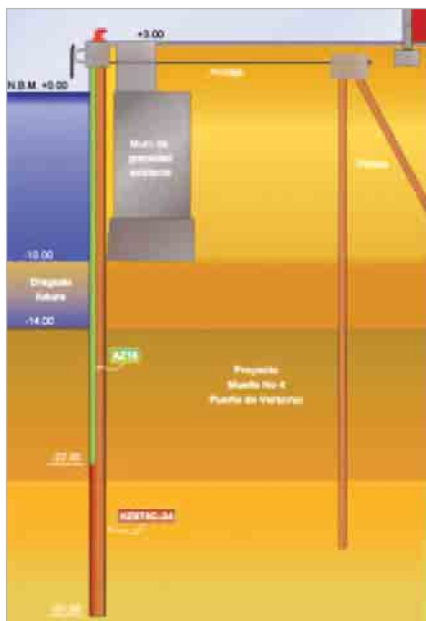


Figura 8. Corte típico del Muelle No. 4, Puerto de Veracruz [14]

### Muelle de la Armada, Puerto de Manzanillo, Colima (2002)

Un muelle sobre pilotes de concreto fue construido y las tablestacas metálicas sirven para contener las tierras detrás de la losa de concreto, ya que hay un talud en encamamiento por debajo de la plataforma (Figura 9). En este puerto, donde la fuerte actividad sísmica implica en el diseño un desafío técnico, las tablestacas han sido diseñadas para contribuir a la resistencia a los esfuerzos cortantes en la dirección paralela al eje de las tablestacas en caso de sismo. La flexibilidad de la tablestaca metálica así como la posibilidad de reparación en caso de daños durante un sismo fueron parámetros esenciales que valorizaron esta solución. El coeficiente de aceleración horizontal  $a_h$  considerado en el caso sísmico fue 0.36 g.

Las tablestacas suministradas fueron las AZ 26 de 19 m de largo, en acero de clase A572 Gr. 50.

El 21 de enero del año 2003 el puerto de Manzanillo sufrió un sismo de intensidad considerable, no sufriendo esta estructura ningún daño así como la otra estructura similar (Muelle de Contenedores TMM).

### OTROS PROYECTOS

Tablestacas metálicas han sido utilizadas para entibaciones temporales en la Ciudad de México en los últimos cinco años. En 2001 una estación de bombeo del Gran Canal en el Distrito Federal fue ejecutada con celdas circulares. En 2002 un proyecto

fluvial de gran envergadura ha sido realizado con tablestacas en Coatzacoalcos para la protección contra las inundaciones. Gracias a su aspecto económico y a la rapidez de ejecución prevista, la rehabilitación de un canal en el Estado de Tamaulipas diseñado con tablestacas va a empezar dentro de unas semanas. Todo esto demuestra que aunque las tablestacas metálicas todavía no han logrado el nivel de aceptación de ciertos países europeos y de los EUA, poco a poco, su uso se va diversificando y aumentando.

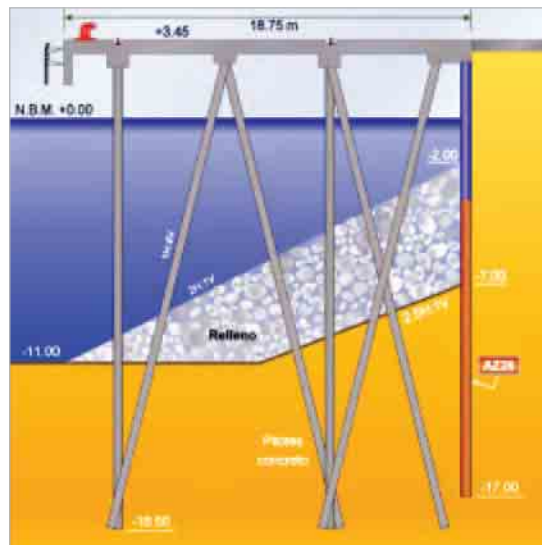


Figura 9. Sección típica del Muelle de la Armada, Puerto de Manzanillo, Colima, 2002 [15]

### Nomenclatura

- $a_h$  coeficiente de aceleración horizontal ('peak ground acceleration')
- $f_{yk}$  límite de fluencia del acero
- $K_a$  coeficiente de empuje activo
- $K_p$  coeficiente de empuje pasivo
- $M$  momento de flexión
- $S_F$  coeficiente de seguridad del acero
- $S_F, \phi$ : coeficiente de seguridad sobre el valor de  $\phi$
- $S_X$  módulo de flexión de la tablestaca
- $\delta_a$  ángulo de fricción entre suelo y pantalla para empuje activo
- $\delta_p$  ángulo de fricción entre suelo y pantalla para empuje pasivo
- $\phi$  ángulo de rozamiento interno del suelo, valor característico (resultado de ensayos de laboratorio)
- $\phi'$  ángulo de rozamiento interno del suelo, valor para el diseño

### Referencias

- [1] Steel Sheet Piling General Catalogue, ProfilArbed S.A., Edition 2003.
- [2] EM 1110-2-2503. Design of sheet pile cellular structures. Cofferdams and retaining structures, USACE, 1989.
- [3] J. Kerisel & E. Absi, Tables de poussée et de butée des terres. Presses des Ponts et Chaussées, 3ème édition, 1990.
- [4] EAU 1996 Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways. 7th Edition, 2000, Ernst & Sohn.
- [5] Design of steel sheet pile walls. ASCE, 1996 ('Technical Engineering and design guides No 15', USACE).
- [6] EN 10248: Hot rolled sheet piling of non alloy steels. Part 1: Technical delivery conditions. CEN, 1995.
- [7] Design Manual 7.02: Foundations & Earth Structures. NAVFAC, 1986.
- [8] R.M. Ebeling & E.E. Morrison Jr. T.R. ITL 92-11. The seismic design of waterfront retaining structures, USACE, 1992.
- [9] CUR 166 Damwand Constructies. 3rd edition, 1997, CUR (versión en holandés).
- [10] ROM 02.90: Recomendaciones para obras marítimas. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias. MOPT 1990.
- [11] ENV 1993-5. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 5: Piling, CEN, 1997.
- [12] N ISO 12944: Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. CEN, 1998.
- [13] Muelle No. 2, Puerto de Veracruz, Veracruz, Planos de 'GS Ingeniería Integral', Ciudad de México, 2003.
- [14] Muelle No. 4, Puerto de Veracruz, Veracruz, Planos de 'Consultoría Técnica S.C.', Ciudad de México, 2003.
- [15] Muelle de la Armada, Puerto de Manzanillo, Colima, Planos de ejecución de 'Frisa Ingeniería', Ciudad de México, 2001.
- [16] A 690/A 690M-00a. High Strength Low-Alloy Steel H-Piles and Sheet Piling for Use in Marine Environments. ASTM, 2000