

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LA INSTALACIÓN
DE TABLESTACAS EN PROYECTOS DE
INGENIERÍA CIVIL**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

EDWIN OMAR QUENAYA AMASIFUÉN

Lima – Perú

2013

	Página
RESUMEN	03
LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS	04
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	
1.1 MARCO CONCEPTUAL	11
1.1.1 Tablestaca metálica laminada en caliente	11
1.2 CONDICIONES DEL SUELO	16
1.2.1 Características del suelo	17
1.2.2 Características de los sistemas de hincado en suelos variables	19
1.3 APLICACIONES CON TABLESTACAS	21
1.4 FABRICANTES Y PROVEEDORES	24
CAPÍTULO II: EL SISTEMA DE TABLESTACADO	
2.1 MÉTODOS DE HINCADO	28
2.1.1 Método de izaje e hincado	28
2.1.2 Método del panel de hincado	29
2.2 GUÍA PARA LAS TABLESTACAS	34
2.3 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS PARA EL HINCADO	38
2.3.1 Sistema de chorro de agua a presión	38
2.3.2 Sistema de voladura	39
CAPÍTULO III: SISTEMAS Y EQUIPOS DE HINCADO	
3.1 MARTILLOS DE IMPACTO	44

3.1.1 Transmisión del golpe a la tablestaca	46
3.1.2 Criterio de rechazo	46
3.2 MARTILLOS VIBRATORIOS	47
3.2.1 Uso como extractor	49
3.2.2 Sujeción de la tablestaca	49
3.2.3 Criterio de rechazo	50
3.3 MARTILLOS DE PRESIÓN	50
3.3.1 Presión silenciosa	52
CAPÍTULO IV: CORRECCIONES DEL HINCADO	
4.1 DE LA INCLINACIÓN	54
4.2 DESALINEACIÓN – HUNDIMIENTO	55
4.3 DE LA LONGITUD DEL MURO	56
4.4 TOLERANCIAS DE HINCADO	57
CAPÍTULO V: APLICACIONES CON TABLESTACAS ARCELORMITTAL	
5.1 PRODUCTOS	59
5.2 ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO – SAN BORJA PLAZA	62
5.3 TERMOELÉCTRICA DE CHILCA – CAÑETE	69
5.4 TÚNEL DE CONGONHAS – SAO PAULO	83
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 CONCLUSIONES	92
6.2 RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	95

RESUMEN:

El Informe de competencia profesional trata aspectos principales para tomar la correcta decisión acerca del método de hincado de las tablestacas que se utilizaría, considerando el tipo de suelo en la zona del proyecto y además también considerando las longitudes de las tablestacas y el uso o no de guía de instalación.

Se hace notar que las características del suelo: Estratigrafía, ensayos de penetración (SPT), granulometría, entre otras, son fundamentales para decidir el tipo de martillo a utilizar en la instalación y la conveniencia del uso de sistemas complementarios para el hincado.

Se presenta algunos proyectos donde se puede observar los procedimientos durante la instalación del proyecto de estacionamiento subterráneo en el cual se utiliza tablestacas de resistencia de fluencia de 430Mpa y de 24.00m de longitud para un muro libre de 18.00m (excavado); el otro se refiere al uso de tablestacas de 430Mpa y de 21.00m de longitud para hacer excavaciones de hasta 12.00m en terreno de arena (playa) con nivel freático alto; y finalmente el caso de túnel donde se utilizó tablestacas de 12.00m de longitud para hacer excavaciones de hasta 5.00m donde la tablestaca soporta también las cargas verticales de las vigas de concreto con losa para el paso vehicular.

Finalmente se detalla consideraciones inherentes a la instalación, como son las inclinaciones y hundimientos en parte del muro de tablestacas y se presenta el manejo que se debe tener presentando soluciones y tolerancias a respetar para lograr el desempeño conveniente de las tablestacas.

LISTADO DE TABLAS:	Página
• Tabla 1.1: Grados de los aceros para las tablestacas.	14
• Tabla 1.2: Relación entre valores de SPT y sistemas de hincado de tablestacas.	19
• Tabla 4.1: Tolerancias para un muro de tablestacas.	57
• Tabla 5.1: Propiedades mecánicas de los grados de aceros trabajados por ArcelorMittal.	60
• Tabla 5.2: Propiedades mecánicas de los grados de aceros trabajados por ArcelorMittal.	61
• Tabla 5.3: Equivalencias entre normas.	61
• Tabla 5.4: Corrosión del acero para la fabricación de las tablestacas según la norma EN 1993-5: 2007.	61
• Tabla 5.5: Datos del suelo del proyecto San Borja Plaza.	62
• Tabla 5.6: Resultados utilizando el programa Rido 4.11.	66
• Tabla 5.7: Datos del suelo del proyecto túnel de Congonhas.	83
• Tabla 5.8: Resultados utilizando el programa Rido 4.02.	85

LISTADO DE FIGURAS:

• Figura 1.1: Proceso inicial de la fabricación de las tablestacas laminadas en caliente.	12
• Figura 1.2: Segunda etapa de fabricación.	12
• Figura 1.3: Tipo de tablestacas.	13
• Figura 1.4: Conector tipo Larssen.	13
• Figura 1.5: Aplicación de las tablestacas en construcción de muros de contención.	14

- **Figura 1.6: Aplicación de las tablestacas en construcción de estacionamientos subterráneos. 15**
- **Figura 1.7: Aplicación teórica de las tablestacas en construcción de puertos y/o muelles. 15**
- **Figura 1.8: Muro de contención. 21**
- **Figura 1.9: Estacionamiento subterráneo del edificio principal de Mercedes Benz. 22**
- **Figura 1.10: Soporte de puente en Dabrowa, Polonia. 23**
- **Figura 1.11: Pasos a desnivel en Aguas Calientes, México. 23**
- **Figura 1.12: Muelle y puertos. 23**
- **Figura 2.1: Método de izaje e hincado. 29**
- **Figura 2.2: Método del panel de hincado. 31**
- **Figura 2.3: Método del panel de hincado y guía de instalación. 32**
- **Figura 2.4: Procedimiento del panel de hincado escalonado. 33**
- **Figura 2.5: Método del panel de hincado escalonado como parte de la construcción de la termoeléctrica de Chilca – Perú. 34**
- **Figura 2.6: Guía de Instalación como plantilla de 01 Nivel para la construcción de un muro perimetral. 35**
- **Figura 2.7: Guía de Instalación de 02 niveles + pasarela de tránsito de personal. 36**
- **Figura 2.8: Guía de Instalación de 02 niveles donde se aprecia la verticalidad de las tablestacas, la pasarela, los pasamanos y la escalera de acceso. 36**

- **Figura 2.9: Guía de Instalación para estructuras circulares o caissons para la construcción de rompeolas y plataforma. 37**
- **Figura 2.10: Achurado en rojo se ve el tubo soldado en la tablestacas para el uso del sistema de chorro de agua a presión. 38**
- **Figura 2.11: Puntos referenciales de colocación de tuberías para el uso del sistema de chorro de agua a presión. 39**
- **Figura 2.12: Colocación de planchas de refuerzos en los extremos de las tablestacas para la instalación en el proyecto de Hidroeléctrica de Cheves – Churín. 40**
- **Figura 2.13: Uso del sistema de voladura ejecutando taladro a espaciamiento específicos. 41**
- **Figura 2.14: Uso de la técnica del pre-barrenado, donde se puede ver la penetración del taladro para facilitar la instalación de las tablestacas. 41**
- **Figura 2.15: Uso de la técnica del pre-barrenado donde se ve el uso del equipo guía telescópico facilitando el uso del taladro. 42**
- **Figura 2.16: Puntos referenciales donde se debería realizar el pre-barrenado para la instalación de tablestacas. 42**
- **Figura 3.1: Funcionamiento del martillo diesel. 45**
- **Figura 3.2: Martillo hidráulico. 45**
- **Figura 3.3: Sufridera metálica para la instalación de tablestacas con martillo de impacto. 46**
- **Figura 3.4: Martillo vibratorio para la instalación de tablestacas. 47**

- **Figura 3.5: Elementos que conforman el martillo vibratorio. 48**
- **Figura 3.6: Uso del martillo vibratorio en campo. 48**
- **Figura 3.7: Sujeción de la tablestaca tipo Z con un martillo vibratorio. 50**
- **Figura 3.8: Martillo de presión. 51**
- **Figura 3.9: Martillo de presión instalando tablestacas. 51**
- **Figura 3.10: Uso del martillo de presión con barrenado en zona urbana. 52**
- **Figura 4.1: Los tipos de conectores de tablestacas. 53**
- **Figura 4.2: Los tipos de conectores de esquina para la instalación de
tablestacas. 53**
- **Figura 4.3: Pasos a seguir cuando se tiene inclinación de tablestacas. 55**
- **Figura 4.4: La colocación del sellador en la conexión para facilitar el
resbalamiento en la instalación de las tablestacas. 56**
- **Figura 5.1: Plano de planta del San Borja Plaza. 63**
- **Figura 5.2: Plano de cortes transversales del San Borja Plaza. 64**
- **Figura 5.3: Estructura de tablestaca analizada en San Borja Plaza. 65**
- **Figura 5.4: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 25 (medida
dadas en mm). 67**
- **Figura 5.5: Detalles geométricos de la tablestaca tipo PU – 18 (medidas
dadas en mm). 69**
- **Figura 5.6: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 14 (medidas
dadas en mm). 69**
- **Figura 5.7: Plano general de distribución de las tablestacas en zona
terrestre 01. 71**
- **Figura 5.8: Plano general de distribución de las tablestacas en zona
terrestre 02. 72**

- **Figura 5.9: Plano general de distribución de las tablestacas en zona marina. 73**
- **Figura 5.10: Equipos utilizados en la instalación de tablestacas en el proyecto termoeléctrica de Chilca. 74**
- **Figura 5.11: Hincado de tablestacado. 74**
- **Figura 5.12: Presencia de agua subterránea, nivel freático alto. 75**
- **Figura 5.13: Uso de bomba externa para deprimir el nivel freático. 75**
- **Figura 5.14: Colocación de los arriostres tubulares internos. 76**
- **Figura 5.15: Vista de los trabajos en conjunto, pala mecánica, bomba externa, mano de obra. 77**
- **Figura 5.16: Sector 01 en zona terrestre, se ve el uso de un solo nivel de arriostre. 77**
- **Figura 5.17: Dos niveles de arriostres. 78**
- **Figura 5.18: Vaciado de la losa de concreto. 78**
- **Figura 5.19: Colocación de las tuberías y la construcción de estructura de concreto. 79**
- **Figura 5.20: Instalación de la línea de pilotes y las vigas. 80**
- **Figura 5.21: Instalación de las tablestacas a todo lo largo de la estructura formada por pilotes y vigas. 81**
- **Figura 5.22: Avance de la instalación de la tablestaca y cierre en diagonal en la parte final. 82**
- **Figura 5.23: Se retira el agua en los primeros 30m – 35m del interior de la estructura de tablestacas, nivel -7.00m. 82**
- **Figura 5.24: Lanzamiento de la tubería y el retiro de las tablestacas de la zona marina. 82**
- **Figura 5.25: Estructura de tablestaca analizada en túnel de Congonhas. 84**

- **Figura 5.26: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 14 (medidas dadas en mm). 85**
- **Figura 5.27: Cajón de tablestaca CAU 14 – 2. 87**
- **Figura 5.28: Cajón de tablestaca CAU 14 – 2 instalada en campo. 87**
- **Figura 5.29: Instalación de las tablestacas utilizando el método de izaje e hincado. 88**
- **Figura 5.30: Vaciado de las vigas collarín – carrileras para transmitir las cargas al muro de tablestacas. 89**
- **Figura 5.31: Vigas pre-fabricadas para la construcción de la losa superior del túnel. 89**
- **Figura 5.32: Colocación de las vigas pre-fabricas. 90**
- **Figura 5.33: Excavación por debajo de la losa superior del túnel. 91**
- **Figura 5.34: Vaciado de la losa inferior del túnel y trabajos de acabados para poner en funcionamiento el túnel. 91**

INTRODUCCIÓN:

Se muestra la participación y experiencia obtenida por el autor en la planeación, ejecución, desarrollo y supervisión de obras en las cuales intervienen los materiales y sistemas disponibles con que cuenta la empresa.

En base a ello se proporciona información de los métodos para la instalación de tablestacas teniendo en cuenta los equipos disponibles a nivel mundial para realizar la instalación con la debida seguridad.

Los equipos como los martillos de impacto, los martillos vibratorios, los martillos de presión hidráulica se han ido perfeccionando con el paso de los años, esto da más alternativas para los sistemas de instalación y da también más posibilidades de aplicación de tablestacado en terrenos donde no se podía instalar.

Se expone los conceptos básicos que incluyen tipos de suelos, proceso de fabricación de las tablestacas laminadas en caliente, tipos de tablestacas, normativas de fabricación y la durabilidad de las tablestacas, además, indica cómo se puede predecir la facilidad del hincado de las tablestacas siguiendo una evaluación concienzuda de las condiciones del suelo.

Se puede mencionar que en el Perú (Chilca, Piura, Callao, Ventanilla, Iquitos) ya se ha tenido aplicaciones con este sistema referidos a muros de contención, reservorios de aguas residuales, defensas marítimas y soporte de puente.

Se expresa un agradecimiento a ArcelorMittal por presentar y facilitar información y permitir el uso de la misma con la reserva del caso, un agradecimiento al Dr. Javier Arrieta Freyre por su constante apoyo, correcciones, enseñanzas y consejos para mejorar y transmitir los aprendido.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 MARCO CONCEPTUAL

En los proyectos de ingeniería civil se puede distinguir obras de infraestructura y de superestructura, y es en ellos que se ha podido observar que los procesos constructivos convencionales generan, dentro de un análisis global, menores beneficios económicos en el proyecto, motivado por diferentes factores tales como:

- a. Falta de programación correcta.
- b. Falta de materiales complementarios para el concreto (material con preferencia para los proyectos).
- c. Terrenos no muy favorables debido a nivel freático alto, terrenos inundables, con muy poca capacidad portante, etc.
- d. Falta de mano de obra experimentada.

El Perú actualmente tiene un crecimiento económico, que va de la mano con la construcción, es por ello que vemos la conveniencia de analizar y aplicar nuevos procesos y materiales constructivos, que puedan ser aplicados en diferentes proyectos, donde la idea principal es generar un mejor beneficio global: Costo Vs. Tiempo, sin poner en riesgo la calidad de la construcción.

El Perú tiene suelos diferentes en cada región y es en función a ellos que se trabaja un diseño específico para cada proyecto, este un factor muy importante que se debe tomar en cuenta para analizar el proceso constructivo que se presenta.

Dentro de la experiencia profesional, se ha podido ver la aplicación de nuevos procesos constructivos, que en Europa, Asia, América central, América del Norte, ya son aplicados desde más de 100 años con grandes resultados y que en nuestro país se va introduciéndose lentamente.

1.1.1 Tablestaca metálica laminado en caliente

Dentro de los tipos de tablestacas podemos encontrar tablestacas de madera, de hormigón armado y metálicas, dentro de estas últimas tenemos: tablestacas

laminadas en frío y tablestacas laminadas en caliente, y son de estas últimas que se detallará sus características:

Las fabricación de las tablestacas laminadas en caliente se inicia teniendo el acero líquido (con composición química que se basa en el grado del acero) en hornos eléctricos a altas temperaturas, esta produce una colada continua con la cual se forma una primer material de acero (lingote), como se muestra en la Figura 1.1.

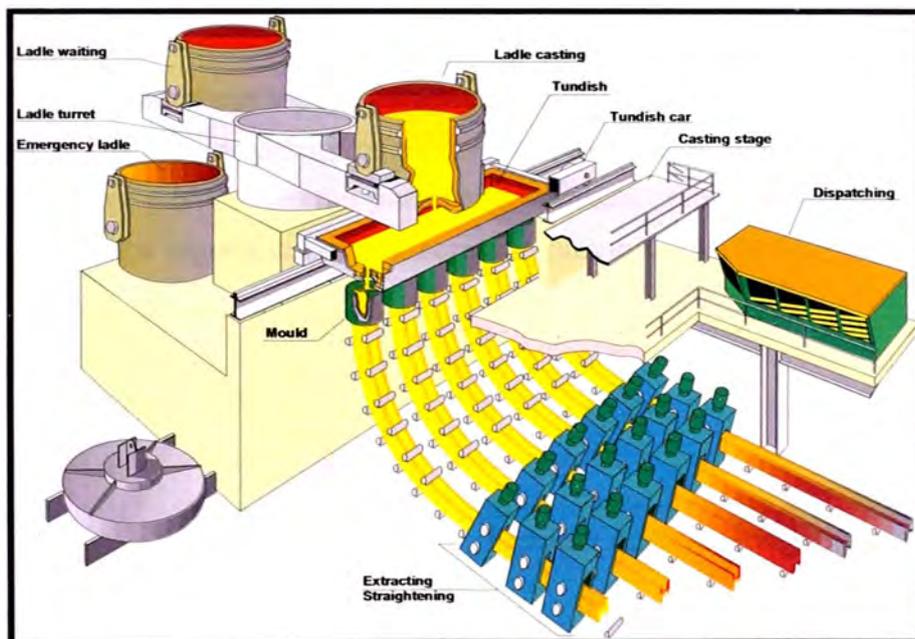


Figura 1.1: Proceso inicial de la fabricación de las tablestacas laminadas en caliente

Luego de ello esto pasa por rodillos a altas temperaturas hasta darle forma de la tablestaca que se esté fabricando: tipo Z, tipo U, tablestacas planas; la tablestaca sale inclusive con los conectores respectivos, como se muestra en la Figura 1.2.

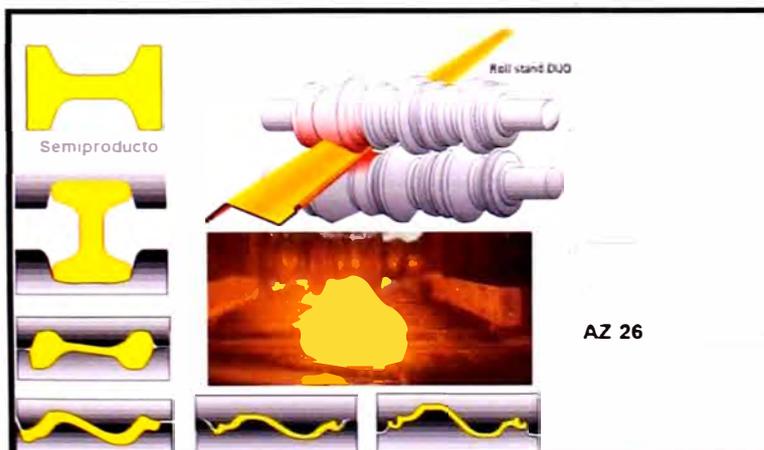


Figura 1.2: Segunda etapa de fabricación

La nomenclatura que se utiliza para nombrar a las tablestacas laminadas en caliente: tipo Z, tipo U, tablestacas planas, depende de la forma que esta tenga, como se muestra en la Figura 1.3.

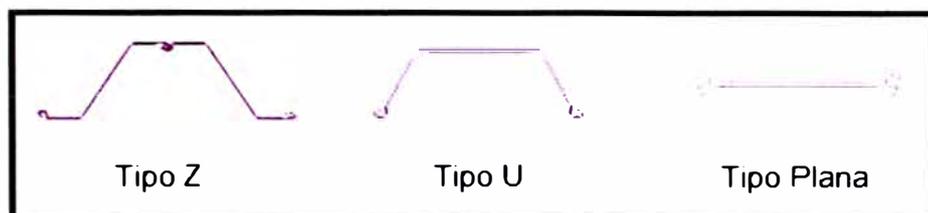


Figura 1.3: Tipo de tablestacas

El conector con que trabaja las tablestacas laminadas en caliente, es el conector tipo Larssen y Hoesch, el primer conector permite un 95% de impermeabilidad de las tablestacas, y 5° de libertad para poder también utilizar las tablestacas en proyectos que tenga alguna curvatura, como se puede ver en la figura 1.4.

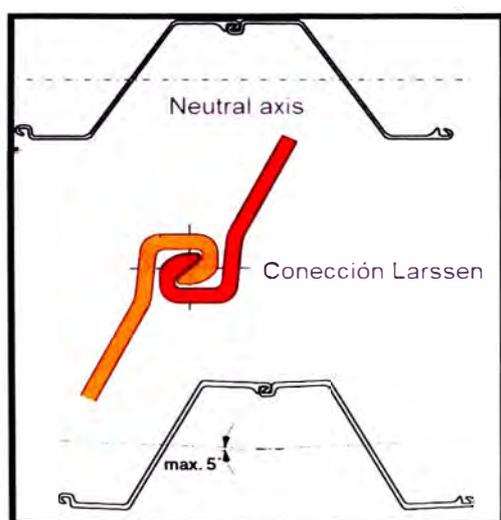


Figura 1.4: Conector tipo Larssen

El grado del acero para la fabricación de tablestacas es un factor importante y esto dependerá del tipo de elemento con que estará en contacto la tablestaca: tipo de suelo, agua salada, agua dulce, etc. En la Tabla 1.1 se presenta los tipos de aceros con las características mecánicas, según la norma europea EN y sus equivalencias en normas americanas ASTM (normativa con que se trabaja en Perú).

EN 10248		ASTM		
	f_{yk} [MPa]		f_{yk} [ksi]	f_{yk} [MPa]
S 240 GP	240			
S 270 GP	270	A 328	39	270
S 320 GP	320			
S 355 GP	355	A 572 Gr. 50	50	345
S 390 GP	390	A 572 Gr. 55	55	380
S 430 GP	430	A 572 Gr. 60	60	415
<i>S 460 AP*</i>	<i>460</i>	A 572 Gr. 65	65	450

Tabla 1.1: Grados de los aceros para las tablestacas

El tablestacado metálico laminado en caliente puede ser aplicado en diferentes proyectos de Ingeniería civil, tales como:

- a. Muros de contención: Este tipo de obras son trabajadas para sostenimiento de terrenos y/o mantener la impermeabilidad de un sector de trabajo, puede ser trabajado con diferentes métodos constructivos: muro pantalla de concreto, muro de tierra armada, anclajes y también con las tablestacas, como se muestra en la figura 1.5.

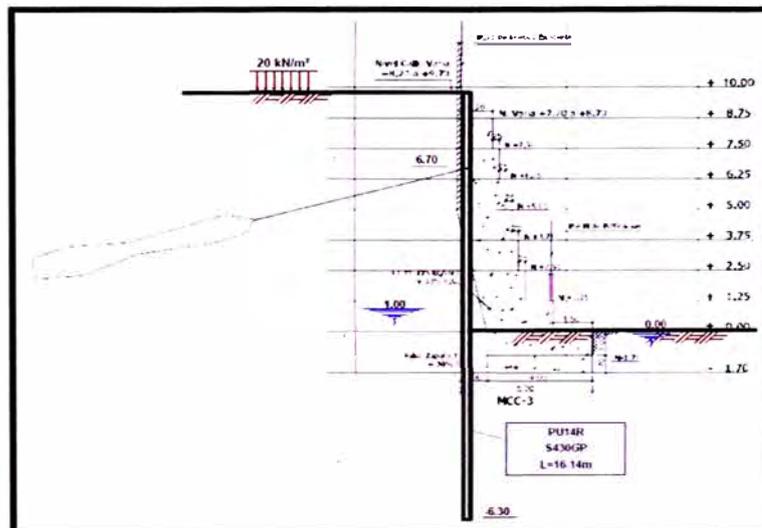


Figura 1.5: Aplicación de las tablestacas en construcción de muros de contención

- b. Estacionamiento Subterráneo: Este tipo de obras es una variante del muro de contención, donde también debe ser considerada las cargas verticales de las estructuras superiores, puede ser trabajado con muro pantallas de concreto y también con las tablestacas, como se muestra en la Figura 1.6.

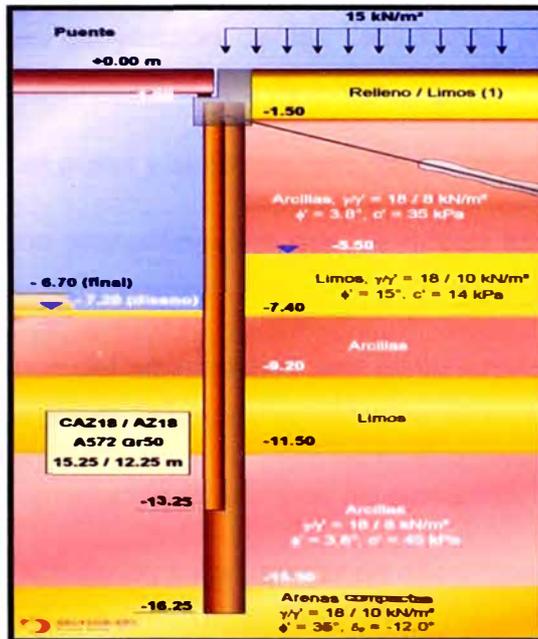


Figura 1.6: Aplicación de las tablestacas en construcción de estacionamientos subterráneos

- c. Muelles y puertos: En este caso las tablestacas estarán en contacto constante con el mar o río además de también estar en contacto con el terreno adyacente a ellos, esto pueden ser trabajados con sistemas de pilotes y también con tablestacas como se muestra en la figura 1.7 ó con la combinación de ambos para buscar mejoras en tiempos y costos globales.

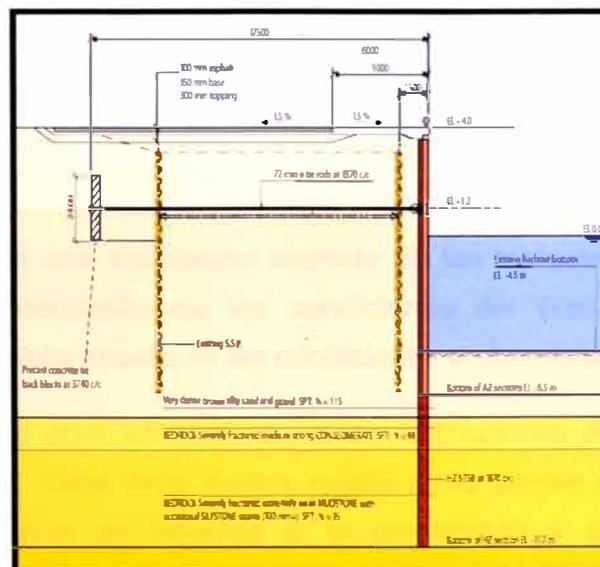


Figura 1.7: Aplicación de las tablestacas en construcción de puertos y/o muelles

Lo primero que se busca es justificar el uso de este sistema basados en que la aplicación no es un proceso complicado teniendo en cuenta la información, tales como:

- a. Los diferentes métodos de instalación de las tablestacas,
- b. Las proyección de las facilidades y/o complejidades en la instalación basados en el tipo de suelo.
- c. Las guías y sistemas complementarios para la instalación de tablestacas.
- d. Los procedimientos que se deben tomar en cuenta en la instalación de las tablestacas.

Y así el uso del tablestacado sea considerado como una alternativa constructiva, donde se puede obtener:

- a. Disminución de tiempos de ejecución.
- b. Facilidades para trabajar en diferentes tipos de suelo.
- c. Competitividad en costos globales.
- d. Uso de maquinarias que se tengan en el país.

Entonces, la presentación busca mediante la explicación de ejemplos de aplicación y proyectos realizados, que si es posible el uso de este sistema constructivo pudiendo obtener mayores beneficios en productividad, costos y también lograr una actualización constante de conocimientos.

1.2 CONDICIONES DEL SUELO

Con el fin de realizar una instalación correcta de las tablestacas, es necesario tener un buen conocimiento de las condiciones del área para permitir la realización de un estudio exacto de las condiciones ambientales y geológicas.

El ambiente local del área influenciará en las restricciones de trabajo como el ruido y la vibración; cada área estará sujeta a su propio e único juego de restricciones que varía de acuerdo a la proximidad y naturaleza de las

construcciones aledañas, al tipo de vías que incluye puentes, pasos a desniveles, servicios subterráneos, a la existencia de edificaciones, entre otros.

Las condiciones geológicas se refieren a las características verticales de la capa del suelo. Con el fin de lograr la penetración requerida de las tablestacas, la investigación del área de los suelos junto con las pruebas de campo y laboratorio pueden ayudar al estudio de instalación proporcionando información en cuanto a:

- a. Estratificación del subsuelo.
- b. Granulometría: distribución de la forma y uniformidad.
- c. Porosidad y relación de vacíos.
- d. Densidad.
- e. Profundidad de la napa freática.
- f. Permeabilidad al agua y contenido de humedad del suelo.
- g. Parámetro de corte, cohesión.
- h. Resultados de prueba del SPT.

1.2.1 Características de suelo

Para la instalación de tablestacas se considera necesario las características del suelo y es en base a estas características que podemos obtener datos referenciales de las facilidades o complejidad de la instalación, inclusive poder llegar a rechazar la continuidad de un análisis con tablestacas.

Se distingue los siguientes grupos de suelos:

- a. Suelos Granulares:
 - Arena y grava.
 - Alto nivel de fricción interna (ϕ).
 - Suelo sin cohesión.
 - Material usual de relleno.

b. Suelos Orgánicos:

- Reducida capacidad de soporte de carga
- Resistencia a la deformación muy baja.
- Muy baja cohesión y fricción interna (ϕ).
- A veces muy corrosivo.
- Usualmente se recomienda cambio de suelo.

c. Suelos cohesivos:

- Limo o arcillas.
- Material deficiente para el relleno o terraplén.
- Las arcillas son prácticamente impermeables.
- Fricción interna baja (ϕ)
- Cohesión en función a las condiciones del área (sitio).
- La presencia del agua influye en el comportamiento del suelo.

Y los parámetros relevantes del suelo son:

- Peso específico.
- Cohesión.
- Angulo de fricción angular interna (ϕ).
- Rigidez del suelo.

Para la instalación de las tablestacas, el Standar Penetration Test (SPT) es la prueba que tiene mayor relevancia.

El Standar Penetration Test (SPT) es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.

Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación.

Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre (63.5 kilos y 76 centímetros respectivamente).

A continuación se presenta la Tabla 1.2 donde se podrá observar la relación entre los resultados del SPT y del uso de un sistema de hincado:

SPT value	Driving method		
	Vibrodrive	Impact drive	Pressing in singles (with Jetting)
0 - 10	Very easy	Runaway problem –use vibro method to grip pile	Stability problem & insufficient reaction
10 - 20	Easy	Easy	Suitable
21 - 30	Suitable	Suitable	Suitable
31 - 40	Suitable	Suitable	Consider pre-auger
41 - 50	Very difficult	Suitable –consider high yield steel	Pre-auger
50+	Not recommended	Suitable –consider high yield steel	Very difficult

Tabla 1.2: Relación entre valores de SPT y sistemas de hincado de tablestacas

1.2.2 Características de los sistemas de hincado en suelos variados

Los diferentes tipos de suelos presentan variadas características al hincado que dependen del sistema de instalación que se adoptará. A continuación se proporcionan pequeñas notas sobre cada sistema.

a. Hincado por Impacto

Se debe anticipar una instalación fácil en suelos suaves como sedimentos o turbas, en arenas gruesas y medias depositadas sueltas y grava siempre que el suelo esté sin cantos, piedras grandes u obstrucciones.

Se podría esperar dificultades en el hincado en arenas gruesas y finas depositadas densamente y gravas, arcilla rígida y dura (dependiendo del espesor de la capa) y capa de piedras suaves a medias.

b. Hincado por vibración

La arena en granos redondos, gravas y suelos suaves son especialmente adecuados para el hincado vibratorio. Se espera que el hincado sea fácil cuando se describen suelos sueltos. El material denso de granos angulares o suelos cohesivos con consistencia firme son menos adecuadas. Podría experimentarse hincado dificultoso cuando los valores dominantes SPT con superiores a 50 o se encuentra espesores significativos de capa cohesiva.

Además se considera que los suelos secos proporcionan mayor resistencia a la penetración que aquellos suelos que son húmedos, sumergidos o completamente saturados.

Si el subsuelo granular está muy compactado, entonces la resistencia a la penetración incrementará bruscamente y esto llevara al rechazo.

Para las capas de suelos complicadas (5" – 6" de diámetro de rocas), podría ser necesario pre-taladrar o soltar el suelo antes de la instalación, ser necesario el chorro de agua o con el fin de penetrar las piedras podría necesitarse el uso de un equipo especializado de instalación.

c. Hincado por presión

Este método es especialmente adecuado en suelos que componen el material cohesivo y fino. Usualmente se experimenta hincado fácil en suelos arcillosos suaves y suelos sueltos. Esta técnica usualmente emplea ayuda de inyección de agua (chorros) para soltar las partículas de arena y limo en las capas cohesivas para poder avanzar con los pilotes mediante la presión.

Se encuentran condiciones de suelo dificultosas cuando se encuentra arena densa y grava o el suelo contienen cantos o cualquier partícula grande – que podría hacer que no funcione la inyección. Cuando se encuentran cantos rodados o rocas, podría ocurrir una reacción de rechazo.

En estas circunstancias, usualmente es necesario el pre-taladrado para poder adoptar la técnica de presión, de otra manera los pilotes tendrán que ser hincados al nivel final por medio de vibración.

Las condiciones de suelos húmedos también resultan favorables para la presión. En capas arcillosas, rígidas, es normal practicar el uso de inyección (chorros) a baja presión para lubricar el suelo en la interface de tablestacas y facilitar el hincado.

1.3 APLICACIONES CON TABLESTACAS

Dentro del uso que puede tener las tablestacas en proyectos de Ingeniería Civil, se puede mencionar:

1. Muros de contención y protecciones ribereñas: donde la tablestaca cumple la función de soportar los esfuerzos horizontales producidos por el propio terreno (excavación) y/o los esfuerzos producidos por el agua como se observa en la Figura 1.8.



Figura 1.8: Muro de contención

2. Estacionamientos subterráneos: donde la tablestaca cumple la función de soportar los esfuerzos horizontales y los esfuerzos verticales producidos por las estructuras superiores de la construcción (columnas, losas, muros), podemos ver una aplicación en la Figura 1.9.



Figura 1.9: Estacionamiento subterráneo del edificio principal de Mercedes Benz

3. Pilares y/o soporte de los puentes: las tablestacas cumplen la función de soportar los esfuerzos horizontales y verticales, como se puede observar en la Figura 1.10.



Figura 1.10: Soporte de puente en Dabrowa, Polonia

4. Para construcción de vías vehiculares: las tablestacas cumplen la función de soportar los esfuerzos horizontales y verticales, como se puede ver en la Figura 1.11.
 - a. Pasos a desnivel.
 - b. Vías Expresas.



Figura 1.11: Paso a desnivel en Aguas Calientes,
México

5. Construcción de muelles y puertos: las tablestacas cumplen la función de soportar los esfuerzos horizontales y verticales, podemos ver un ejemplo de aplicación en la Figura 1.12.



Figura 1.12: Muelle y puertos

6. Construcción de ataguías.
7. Construcción de soportes para vías férreas.

8. Construcción de rompeolas.
9. Estructuras medio Ambientales (muros para delimitar rellenos sanitarios enterrados).

1.4 FABRICANTES Y PROVEEDORES

A nivel internacional se tiene diferentes fabricantes y proveedores de tablestacas con muchos años de experiencias, aquí se menciona una corta reseña de las más importantes y también se menciona las empresas siderúrgicas nacionales:

a. ArcelorMittal:

Es la mayor compañía siderúrgica mundial, con una producción anual de 130 millones de toneladas de acero por año (aprox.) y con presencia en más de 60 países. Ha liderado la consolidación del sector siderúrgico internacional. Fue fundada en 2006 mediante la fusión entre MITTAL STEEL y ARCELOR. Su Matriz está ubicada en la ciudad de Luxemburgo.

ArcelorMittal ocupa una posición de liderazgo en todos los principales mercados mundiales, incluyendo el automóvil, la construcción, los electrodomésticos y los envases. Dispone de una destacada posición en materia de I+D y tecnología, así como de sustanciales recursos propios de materias primas y excelentes redes de distribución.

Dentro de la gama de tablestacas que fabrican cuenta con una gama de más 150 tipos de tablestacas laminadas en caliente y también laminadas en frío, teniendo patentes a nivel mundial de diferentes tipo de acero y de algunas tablestacas tipo Z denominadas AZ.

b. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation:

Es la segunda siderúrgica del mundo, con ubicación en Japón y nace de la fusión entre Nippon Steel y Sumitomo Metal; primera y tercera siderúrgica del Japón, con una producción combinada actual de 46,1 millones de toneladas al año.

La nueva compañía Nippon Steel & Sumitomo Metal controla la mayoría del mercado siderúrgico japonés gracias a las alianzas con grandes fabricantes del motor como Toyota, Nissan u Honda, así como de compañías comercializadoras de recursos naturales como Mitsui o Mitsubishi Corporation.

Cuenta con 07 grandes divisiones de acero formadas por: Productos planos, barras y alambre; tuberías; placas; productos para la construcción: en donde se encuentran las tablestacas (16 tipos diferentes de tablestacas) y super-vigas; piezas de ferrocarril, automotores y maquinarias; y los productos de titanio y acero inoxidable.

Ellos están gestionando un crecimiento en su producción para llegar a producir entre 60 y 70 millones de toneladas para los años 2016 – 2021.

c. ThyssenKrupp AG:

Es una industria siderúrgica alemana y es la empresa más importante en el país dedicada a la fundición y forja del acero tiene una producción de 15 millones de toneladas de acero por año (aprox.).

Las sedes de ThyssenKrupp se encuentran en las ciudades de Essen Y Duisburgo. ThyssenKrupp se formó por la fusión de dos empresas metalúrgicas alemanas en 1999, Thyssen y Krupp.

Esta empresa trasnacional opera a través de tres divisiones corporativas: acero, bienes de inversión y servicios. La primera se dedica a la producción de acero de construcción y acero inoxidable. La segunda división se divide a su vez en tres segmentos: ascensores, industria automotriz (partes para ensamblaje) y tecnología (herramientas, productos para refineries y puertas industriales). La tercera división se ocupa en la manufactura de productos de ingeniería.

Dentro de la gama de tablestacas que fabrican cuenta con una gama de aprox. 36 tipos de tablestacas laminadas en caliente y también laminadas en frío.

d. Skyline Steel:

Skyline Steel es una proveedora principal de soluciones en acero estructural para cimentaciones con servicio en los EE.UU., Canadá, México, el Caribe, América Central, y Colombia. Skyline Steel actualmente es una filial propiedad en su totalidad de Nucor Corporation, el mayor productor de acero en los Estados Unidos, con una producción de 27 millones de toneladas de acero por año (aprox.)

Sus productos principales incluyen tablestacas de acero laminados en caliente y en frío, pilotes H, tuberías con soldadura helicoidal, tuberías laminadas y soldadas, barras roscadas, micropilotes, accesorios, perfiles estructurales y conectores. De los productos que fabrican y suministran, el 80% son de acero reciclado y son 100% reciclables.

Dentro de la gama de tablestacas que fabrican cuenta con una gama de aprox. 25 tipos de tablestacas laminadas en caliente y también laminadas en frío.

e. Gerdau:

Gerdau es el mayor productor de tablestacas de acero en Norteamérica (Estados Unidos + Canadá). Con una capacidad anual de fabricación de más de 12 millones de toneladas de productos terminados de molino, es la cuarta mayor empresa de acero y el segundo mayor productor de acero en mini acerías América del Norte.

La compañía tiene su sede en BRASIL y en septiembre de 2007, Gerdau adquirió Chaparral, incluyendo sus operaciones que producen tablestacas laminadas en caliente, "Sheet Piling Chaparral" ha sido renombrado a "Hoja de Gerdau viruta".

Dentro de la gama de tablestacas que fabrican cuenta con una gama de aprox. 15 tipos de tablestacas laminadas en caliente y también laminadas en frío.

En el mercado local podemos mencionar:

f. Aceros Arequipa:

Es el mayor productor de acero en Perú, produciendo no solo para el mercado local sino también para mercados como Bolivia, Colombia, Brasil Estados Unidos, su producción actual es de 700 mil toneladas de acero por año (aprox.) pero ya están en proceso de ampliación su planta en Pisco con lo que buscan elevar su producción a 1.35 millones de toneladas (aprox.), Aceros Arequipa no produce, no importa (del exterior) y no comercializa tablestacas para el mercado local.

g. Siderperú:

Actualmente forma parte del grupo Gerdau, su producción aprox. es de 300mil toneladas de acero, pero el Grupo Gerdau piensa invertir en la ampliación de su capacidad en el 2013 – 2014 para poder producir 1.2 millones de toneladas, Siderperú aún no comercializa tablestacas, solo mantiene su comercialización de productos de acero, Barras, planchas, perfiles, varillas de construcción.

CAPÍTULO II: EL SISTEMA DE TABLESTACADO

2.1 MÉTODOS DE HINCADO

En todo proyecto de Ingeniería se busca tener flexibilidad en los diferentes procesos o etapas de un proyecto, en el caso de la instalación de las tablestacas se debe tomar precaución para mantener los estándares necesarios de seguridad mientras se proporciona el alineamiento requerido y la verticalidad de la tablestaca instalada.

Por consiguiente, se debe dar mayor consideración a: tipo de suelo, accesos a la zona de trabajo, espacio para el posicionamiento de la maquinaria de instalación de tablestacas, longitud de las tablestacas y la altura (dada por el espacio a trabajar y el brazo de la grúa que levantará la tablestaca) de la cual puede ser montada e hincada en forma segura y exacta.

Cuando sea posible, las tablestacas deben ser instaladas en pares. Las primeras tablestacas en un muro deben instalarse con mucho cuidado y atención para asegurar la verticalidad en ambos planos del muro. Se debe mantener el control de la instalación de la tablestaca durante la fase del izaje e instalación.

Existen dos métodos principales del hincado de tablestacas, disponibles para los instaladores. Las características, ventajas y desventajas de cada método se encuentran descritas a continuación.

2.1.1 Método de Izaje e Hincado

Este método requiere el equipo para controlar la verticalidad de la tablestaca durante la instalación para que la tablestaca pueda montarse como se muestra en la figura 2.1, una por una. La operación de montaje puede realizarse cerca al nivel del terreno lo que quiere decir que los operarios se encuentran potencialmente en menos riesgo.

Este método es la manera más simple de la instalación de tablestacas pero sólo es realmente adecuado para suelos sueltos, en caso de posibles obstrucciones no es recomendable montar e instalar. También indicar que en las condiciones correctas se maximiza la productividad.

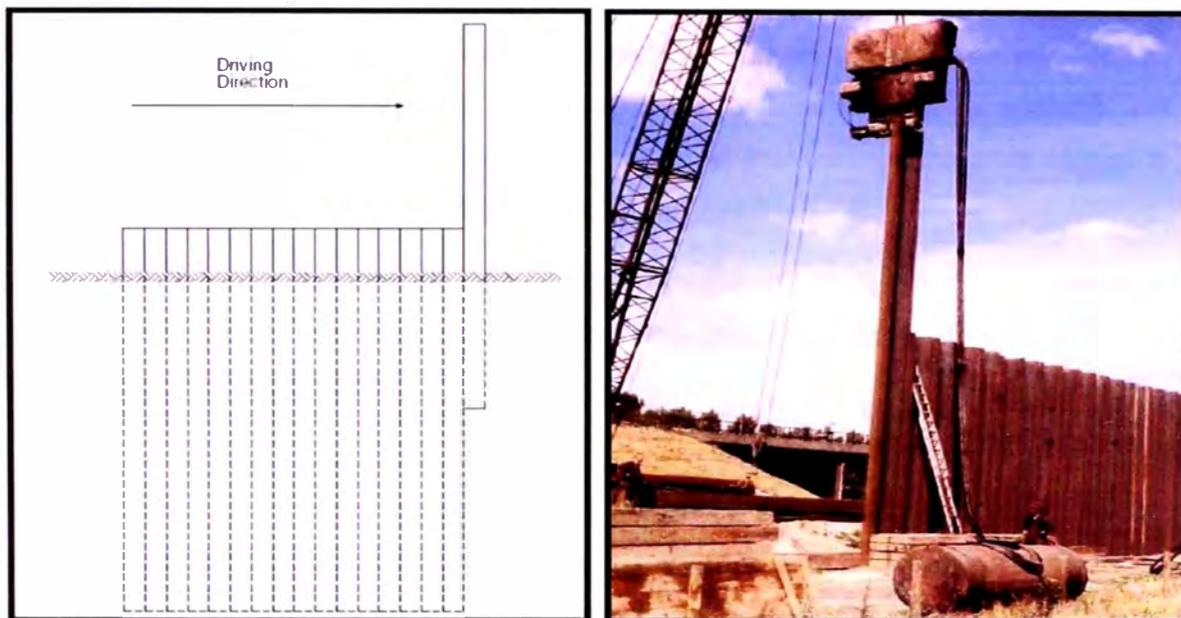


Figura 2.1: Método de izaje e hincado

Es más difícil controlar la inclinación hacia adelante usando este método porque la dificultad de penetración inicial tiene menos resistencia que la final como resultado del suelo y la fricción de enclavamiento.

Aunque la instalación podría comenzar desde una posición realmente vertical, la parte superior de las tablestacas tendrán una tendencia natural a la inclinación en la dirección del hincado. Esto se pondrá progresivamente peor si no se centra. Cuando se hinca secciones derechas largas del muro es recomendable, permitir el suministro de tablestacas de corrección cónicas pre-fabricados para su uso en intervalos de aproximadamente cincuenta metros.

En este método, la instalación inicial está constantemente en posibilidad de rotación en un plano dependiendo del sistema de instalación, cuando una tablestaca rota durante la instalación, la fricción se desarrolla por un bloqueo en la conexión haciendo que el hincado sea progresivamente más difícil.

2.1.2 Método del Panel de Hincado

En este método se considera que las tablestacas son empalmadas juntas encima del terreno con una estructura de apoyo (guía de instalación) para formar un panel antes del hincado. En esta situación, las tablestacas están enganchadas antes que se realice el hincado y este balanceo de las fuerzas de

fricción asegura el control máximo y exactitud. Entonces, las tablestacas son hincadas en etapas y en secuencia dentro del terreno, el hincado secuencial permite que la verticalidad se mantenga, es aconsejable este método es importante para mantener la exactitud cuando se instalen tablestacas largas o cuando se instalen en terrenos dificultosos.

Mientras el panel completo de tablestacas ha sido montado, no hay necesidad de instalar todas las tablestacas completamente para mantener el avance de las operaciones de instalación.

Durante el hincado, la parte superior de las tablestacas adyacentes pueden mantenerse juntas lo que significa que la rigidez de las tablestacas se mantiene a lo largo de ambos bloques conectados permitiendo que la parte baja (contacto con el terreno – pata) de la tablestaca sea hincada a través del suelo de mayor resistencia sin demasiada desviación.

Si se encuentra obstrucciones, se pueden dejar tablestacas individuales elevadas sin temor de interrupción a la eficiencia total del proceso de instalación, previo al inicio de la excavación o trabajo para lo cual la tablestaca ha sido instalada, se puede tomar decisiones sobre la solución ingenieril que hay que plantearse para saltar estas obstrucciones antes de intentar hincar una vez más a través de esta obstrucción, si es necesaria más penetración.

El procedimiento se describe gráficamente en la figura 2.2 y a continuación:

- a. Izar, alinear y aplomar el primer par de tablestacas.
- b. Instalar el primer par de tablestacas con cuidado y precisión, luego se iza y alinea las demás tablestacas del panel.
- c. Se tiene que mantener una correcta precisión y aplome hasta el último par de tablestacas, luego instalar la última pareja de tablestacas.
- d. Instalar las demás tablestacas con dirección hacia el primer par instalado.
- e. Tenemos la primera parte del panel instalada.
- f. Se coloca las tablestacas del segundo panel, el último par de tablestacas del primer panel servirá como el par inicial de este nuevo panel, la guía

de instalación se apoyará mediante pernos al terreno para mantener la continuidad de la instalación.

- g. El primer se va instalando y se instala el último par de tablestacas del segundo panel para luego continuar con el mismo procedimiento ya descrito.
- h. El primer panel de coloca hasta su posición final, el segundo se sigue avanzando mientras que ya se inicia la colocación del tercer panel, repitiendo el procedimiento.

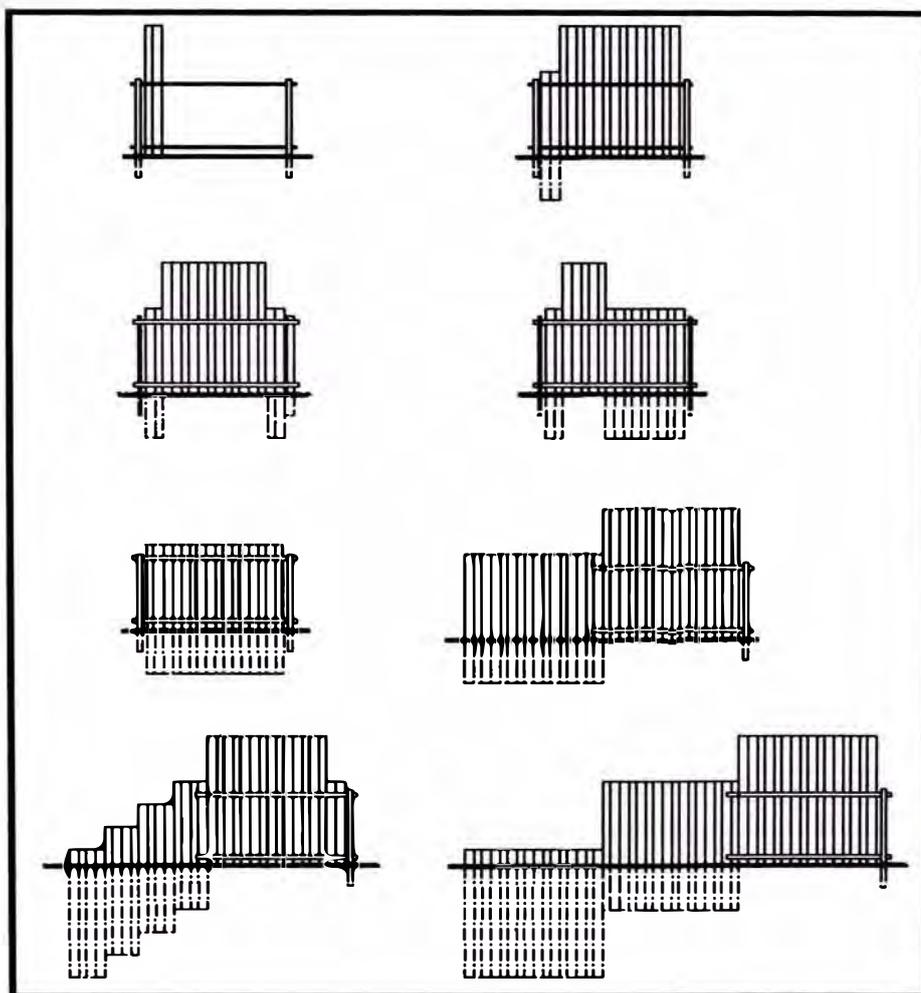


Figura 2.2: Método del panel de hincado

El panel de hincado es el mejor método para el hincado de tablestacas en terreno difícil o para la penetración de piedras, lo que no es probable que sea posible con el método de izaje e hincado.



Figura 2.3: Método del panel de hincado y guía de instalación

- **Método de panel de hincado escalonado**

De este método se puede obtener una forma escalonada de instalación ya que es esencial que las cabezas de las tablestacas adyacentes o pares se mantengan cerca para maximizar el rendimiento de la instalación cuando se trabaje en condiciones difíciles (suelos muy cohesivos, presencia de rocas). Esto quiere decir que el instalador debe mantener el martillo en movimiento de una tablestaca a otra en secuencia para avanzar la pata del pilote con menor riesgo de daño o rechazo. Esta técnica es conocida como hincado escalonado. No se recomienda que las tablestacas avancen más de 02 metros más allá de los pilotes cercanos a menos que las condiciones de hincado sean relativamente fáciles (arenas, suelos con nivel freático alto) para cada sección de las tablestacas y del equipo utilizado.

En este caso se sigue manteniendo la guía del método anterior pero en la instalación se sigue la siguiente regla considerando la dirección de avance del muro y la ubicación de las tablestacas mostradas en la Figura 2.4 tanto para los pares como para los impares:

a. Primero: tablestacas 1, 3 y 5

b. Segundo: tablestacas 2 y 4

Si el suelo es una arena muy densa, grava o roca, las tablestacas del paso “a” pueden ser reforzadas en la parte baja antes de la instalación y luego se sigue con el paso b.

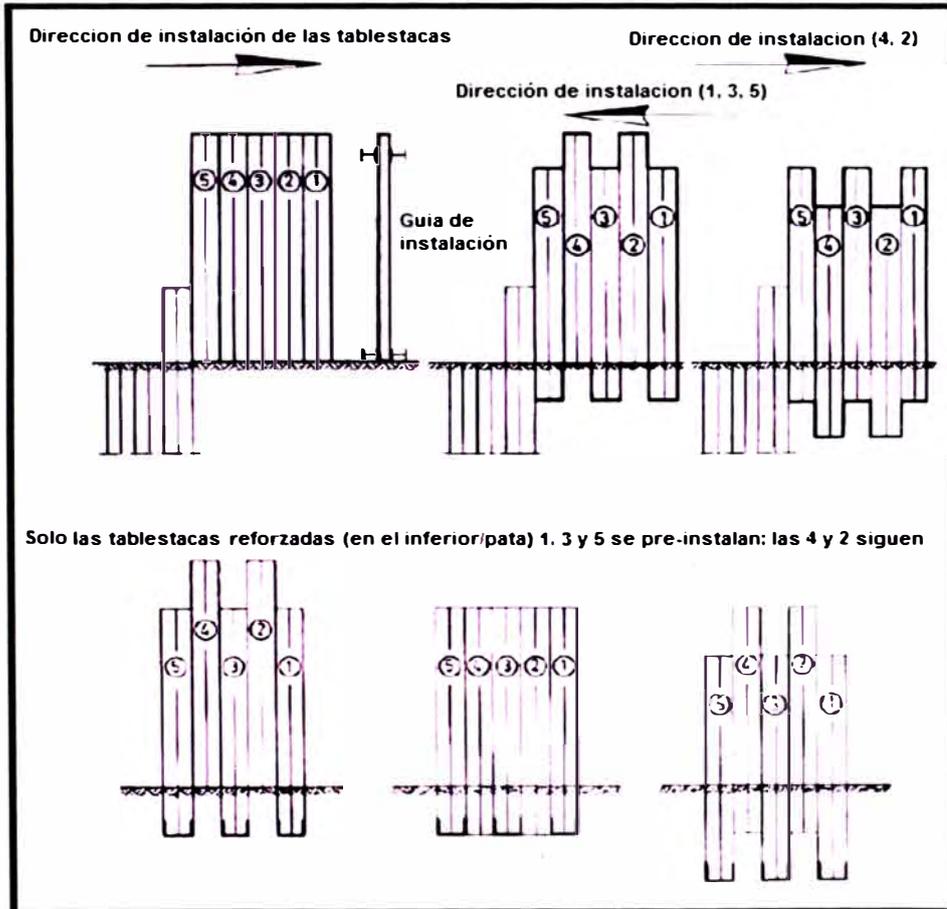


Figura 2.4: Procedimiento del panel de hincado escalonado

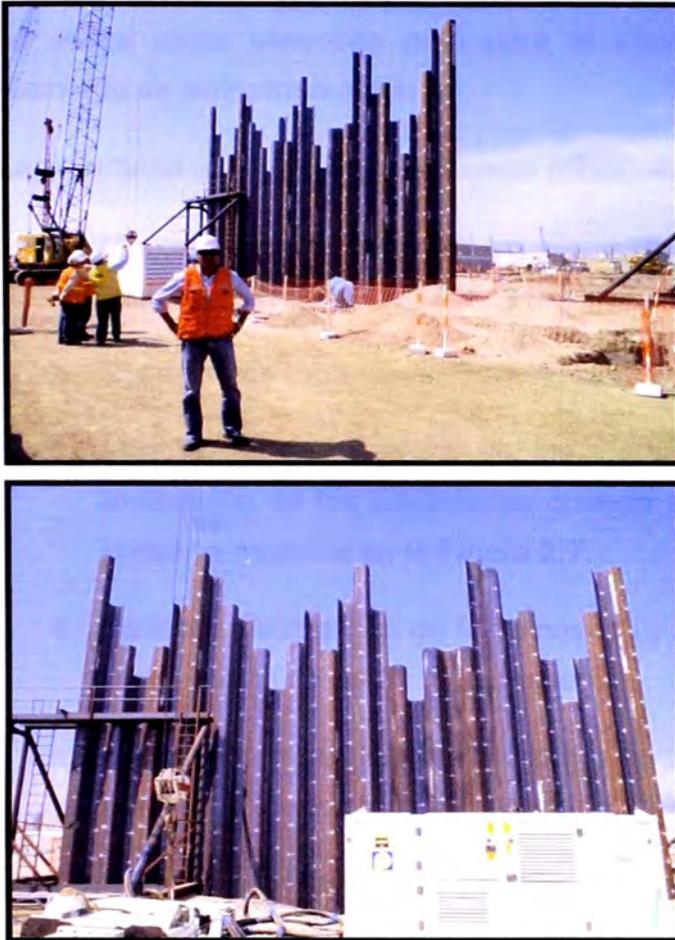


Figura 2.5: Método del panel de hincado escalonado como parte de la construcción de la termoeléctrica de Chilca – Perú

2.2 GUÍA PARA LAS TABLESTACAS

Se recomienda que se utilice un sistema rígido de arriostre cuando se instale el tablestacado y así evitar la rotación de bloqueos y limitar el giro que puede ser inducido en un pilote por el equipo de hincado.

Antes se utilizaban sistemas de soporte de madera, pero los sistemas de acero que se recomienda actualmente son más sólidos y a la larga más económica que los de madera y resulta más fácil hacer conexiones temporales mediante soldaduras por puntos y así controlar la exactitud en la instalación.

Estas estructuras comprenden en muchos casos, en función a la altura de las tablestacas a instalar, vigas maestras rígidas con ángulos de 90° para mantener la alineación exacta de las tablestacas, pasillos de ancho correcto, pasamanos y las escaleras adecuadas de acceso para así cumplir con las reglas del trabajo seguro.

Estas estructuras se coloca previamente a la instalación (01 nivel o 02 niveles) y se utiliza como elemento guía para el armado e hincado y también como elemento de arriostre estructural.

La guía tiene las siguientes funciones principales:

- a. Mantener las tablestacas en plano vertical durante las operaciones de hincado como se muestra en la Figura 2.6.
- b. Soportar las tablestacas durante la instalación y prevenir la flexión lateral.
- c. Controlar el paralelismo de las plataformas o bridas para la correcta instalación de las tablestacas cuando se utiliza las guías de dos niveles como se muestra en la Figura 2.7.
- d. Minimizar la rotación de los bloqueos y de ese modo minimizar la fricción en la unión (conexión tipo Larssen).
- e. Actuar como estructura de freno y poder hacer una revisión física de la correcta alineación de la tablestaca.
- f. Servir como pasarela y permitir el acceso para las tareas de hincado y soldadura que sea necesaria.
- g. Facilitar la fijación de arriostres permanentes para apoyar de manera estructural a la pared de la tablestaca.



Figura 2.6: Guía de Instalación como plantilla de 01 Nivel para la construcción de un muro perimetral



Figura 2.7: Guía de Instalación de 02 niveles + pasarela de transito de personal



Figura 2.8: Guía de Instalación de 02 niveles donde se aprecia la verticalidad de las tablestacas, la pasarela, los pasamanos y la escalera de acceso

- h. Actuar como plantilla cuando se construyan muros con formas complejas o irregulares, disposición de esquina y empalmes de manera exacta y construcción de ataguías circulares, como se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9: Guía de Instalación para estructuras circulares o caissons para la construcción de rompeolas y plataforma

Uno de los aspectos fundamentales es mantener las tablestacas en la alineación correcta horizontal y vertical durante la instalación, siempre respetando las tolerancias permitidas.

Esto se logra con el uso de los elementos temporales efectivos y marco guía que debe proporcionar soporte a las tablestacas en dos niveles, con este fin las guías superiores y posteriores deben ser rígidas, como se muestra en la Figura 2.7 en la que la guía metálica está compuesta por una viga celosía con elementos diagonales para proporcionar rigidez, también sirve en ese caso como pasarela.

La eficacia de las guías y la exactitud del hincado se mejorarán maximizando la distancia entre los dos niveles de soporte. Las tablestacas muy largas podrían necesitar guías intermedias para evitar la flexión y otros basados en las especificaciones técnicas del fabricante. La instalación de las tablestacas podría ejercer esfuerzos en las guías por ello estas deben ser diseñadas de manera adecuada y rígidamente conectadas para que el movimiento o colapso no ocurra durante las operaciones.

2.3 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS PARA EL HINCADO

Bajo ciertas circunstancias, el hincado por impacto, por vibración y por presión de tablestacas puede facilitarse con sistemas de ayuda externo, se puede mencionar:

2.3.1 Sistema de chorro de agua a presión

El proceso lleva agua hacia el pie de la tablestaca en donde suaviza el suelo causando la disminución de la resistencia del suelo en la zona de instalación.

El equipo consta de una tubería metálica soldada en la tablestaca como se observa en la Figura 2.10, por la cual el agua es llevada a una presión controlada mediante mangueras conectadas a la tubería soldada, estas mangueras son alimentadas por una bomba de agua.

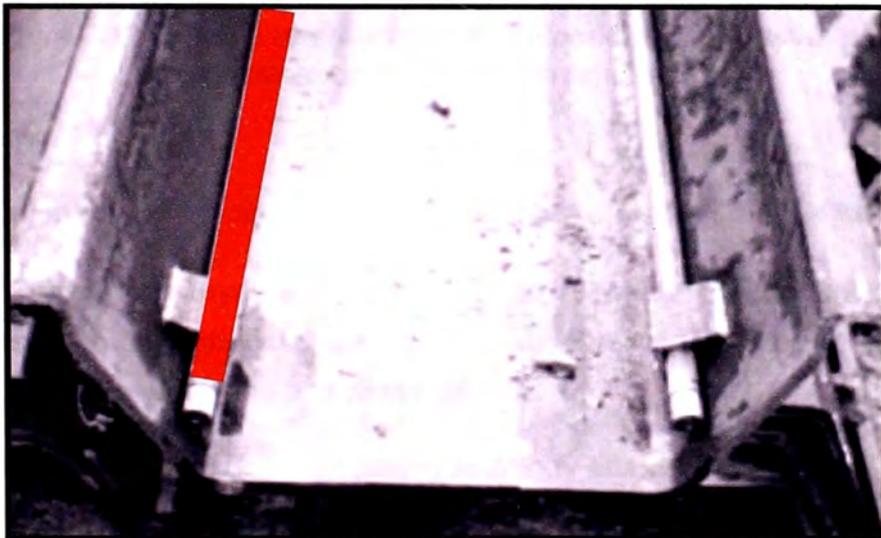


Figura 2.10: Achurado en rojo se ve el tubo soldado en la tablestacas para el uso del sistema de chorro de agua a presión

La efectividad del chorro a presión es influenciada por la densidad del suelo y la proporción de finos presente, la presión de agua disponible y la cantidad de tubos de chorro de agua. Se debe ejercer el cuidado para asegurar que esta forma de tratamiento al suelo no ponga en peligro a las estructuras adyacente. La continuidad del proceso depende de los estratos que tenga el suelo ya que de ellos depende el uso de este sistema de ayuda tal que la tablestaca sea instalada en su posición final.

La ubicación de los tubos metálicos dependerá del tipo de tablestacas que se quiera instalar, en la Figura 2.11 se puede observar las opciones que se manejan:

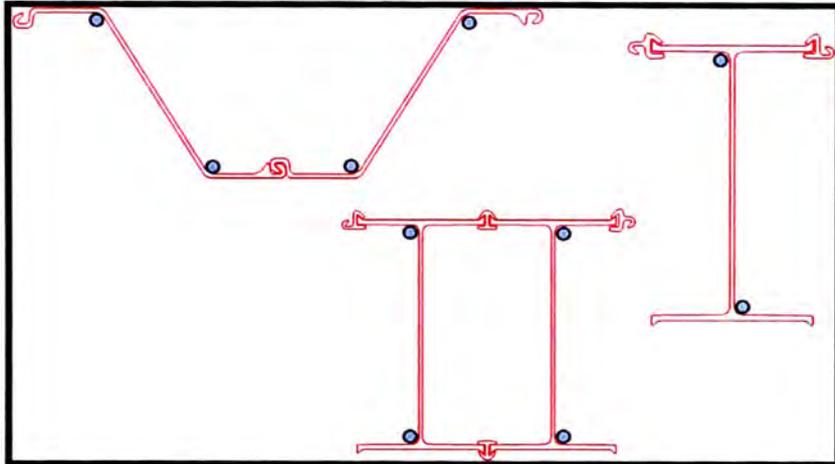


Figura 2.11: Puntos referenciales de colocación de tuberías para el uso del sistema de chorro de agua a presión

a. Presión de chorro de agua (inyección) baja o media (1.5 a 4 MPa):

La presión de inyección de agua baja o media probablemente sea la versión más conocida de la técnica. Puede utilizarse para instalar tablestacas en suelos bastantes densos.

b. Presión de chorro de agua (inyección) muy alta (25 a 50 MPa):

La presión de inyección de agua muy alta de se está utilizando cada vez más en países europeos, donde el liderazgo en este tipo de aplicaciones es de Alemania, permite instalar tablestacas en suelos arcillosos, limosos y suelos extremadamente densos como la arenisca suave.

2.3.2 Sistema de voladura

Este proceso es aplicable para tipos de terrenos donde se encuentra piedras que hasta ahora habrían sido clasificados como difíciles o imposibles para el hincado de tablestacas de acero, bajo ciertas especificaciones de diseño.

a. Técnica normal de voladura

Los explosivos son bajados en los agujeros pre – perforados y cubiertos con tierra antes de la detonación, esto puede crear una zanja en forma de “V” a lo largo de la línea propuesta del muro y destruir las rocas en varios tamaños de partículas. Sin embargo, si la técnica de voladura remueve muy bien los terrenos firmes, las condiciones de hincado en el área suelta aún sería muy duro y se recomienda acero de alto rendimiento y refuerzo en la pata/pie de Las tablestacas como se muestra en la Figura 2.12.

En muchos casos, el proceso tiene que repetirse en la zona, debido a que la voladura ha fallado en destruir las rocas y esto trae consigo el rechazo de las tablestacas durante la operación de hincado, así, este proceso puede ser muy costoso.

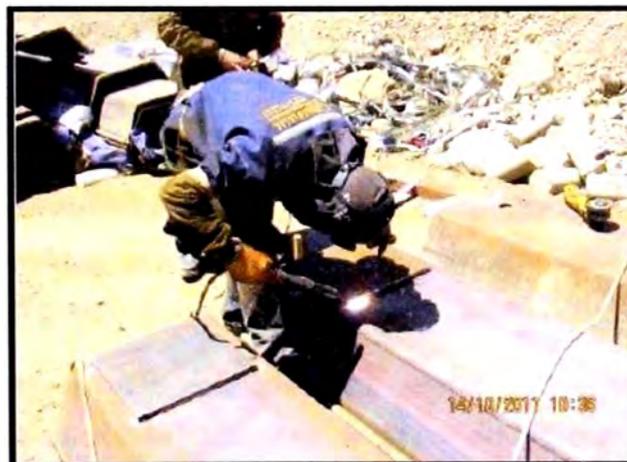


Figura 2.12: Colocación de planchas de refuerzos en los extremos de las tablestacas para la instalación en el proyecto de Hidroeléctrica de Cheves – Churín

Se recomienda que para este tipo de terrenos duros, los muros de tablestacado sean diseñados tal que la penetración necesaria en la zona rocosa sea el mínimo posible, buscando entonces que la parte superior de la tablestaca (no penetrada) sea mayor, porque lo que se tendría que usar arriostres, como barras helicoidales, vigas horizontales, entre otros.



Figura 2.13: Uso del sistema de voladura ejecutando taladro a espaciamiento específicos

b. Técnica del pre-barrenado

En terrenos cohesivos y/o sectores donde existan cierta presencia de rocas (5" – 6" o mayores) es posible utilizar esta técnica, logrando así el hincado por impacto, por vibración y por presión más eficazmente.

Los puntos escogidos entre 20cm – 30cm de diámetro son perforados a aproximadamente 600mm de la línea central de lo que será el muro de tablestacas, como se muestra en las Figura 2.14, profundidades de hasta 10m pueden tratarse fácilmente usando un equipo barrenador fijado en el equipo guía telescópico, como se puede visualizar en la Figura 2.15.

Se debe tener presente que este sistema cambia la naturaleza del suelo y posiblemente las condiciones del nivel freático en el que la tablestaca se instalará y esto podría invalidar los diseños preliminares basados en los primeros datos del suelo (antes del pre-barrenado) y las cargas, también es probable que las desviaciones del muro se incrementen, para ello se tiene que tener las previsiones del uso de elementos de correcciones del hincado para culminar una correcta instalación del tablestacado.



Figura 2.14: Uso de la técnica del pre-barrenado, donde se puede ver la penetración del taladro para facilitar la instalación de las tablestacas



Figura 2.15: Uso de la técnica del pre-barrenado donde se ve el uso del equipo guía telescópico facilitando el uso del taladro

A continuación se presenta la Figura 2.16 donde se puede ver los puntos donde se debería hacer las perforaciones con el taladro, para facilitar la instalación de las tablestacas.

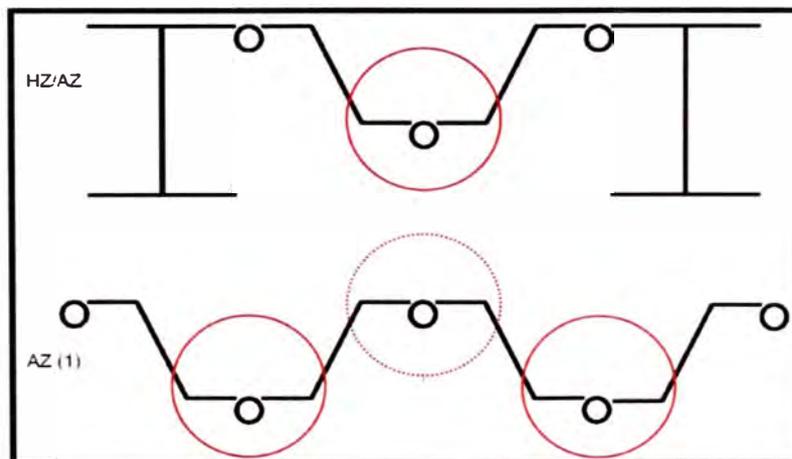


Figura 2.16: Puntos referenciales donde se debería realizar el pre-barrenado para la instalación de tablestacas

CAPÍTULO III: SISTEMAS Y EQUIPOS DE HINCADO

El escoger los sistemas de hincado y el equipo adecuado es muy importante para garantizar la instalación exitosa del tablestacado con la debida atención a la seguridad de los operarios y de la perturbación ambiental.

Los tres sistemas básicos de hincado son: Impacto, vibratorio y de presión, pero ahora también podemos mencionar el de Hincado mezclado.

a. Hincado por impacto

Este es el mejor método para el hincado de tablestacas en terrenos difíciles o el hincado final de tablestacas al nivel de la estructura del panel. Con un martillo correctamente seleccionado y de tamaño adecuado, es la manera más efectiva de completar la penetración profunda en suelos duros en la mayoría de condiciones.

El inconveniente es que puede ser muy ruidoso y por lo tanto no adecuado para áreas sensibles o restringidas.

b. Hincado por vibración

Este es normalmente (según los trabajos efectuados en diferentes partes del mundo) el método más rápido y económico de la instalación del tablestacado pero usualmente necesita tener inyección en el suelo para lograr saturación y así obtener mejores resultados. La vibración y el ruido en este tipo de hincado ocurren, pero puede mantenerse en un mínimo siempre que se utilice el equipo correcto y el área no sean demasiado sensible.

c. Hincado a Presión

Conocidos también como gata hidráulica silenciosa de menor vibración, este método es muy efectivo en suelos arcillosos pero no tanto en terrenos densos no saturados a menos que se utilicen técnicas pre-taladrado o inyector.

Este es el método más efectivo a utilizar en zonas urbanas donde el tablestacado no ha sido considerado en el pasado, dentro de los planes de construcciones futuras.

d. Hincado Mezclado

Se encuentra disponible equipos que puede combinar los sistemas de hincado por presión y el hincado por vibración mediante el uso de la guía de instalación telescópica equipada con un hincador vibratorio de alta frecuencia. El presando, que en este caso es realizado bajando el mástil de la plataforma utilizando brazos hidráulicos y normalmente está limitado a una fuerza de 15 a 30 toneladas.

3.1 MARTILLOS DE IMPACTO

Actualmente existen muchos tipos de martillos de impacto para cumplir los requerimientos particulares del área de trabajo. La mayoría de martillos de impacto cuentan con un pistón o martinete hidráulico y bloques de yunque con una sufridera que extiende el golpe a la cabeza de la tablestaca. Las máquinas usualmente son apoyadas por una estructura pesada (chasis) o normalmente necesitan patas guías instaladas para ajustarse bien al tramo de la tablestaca que está siendo hincada para mantener la posición vertical durante la operación. Como alternativa, los martillos pueden instalarse para ser apoyados y alineados por la guía de la maquinaria que se utilizara para la instalación de las tablestacas. Es conveniente tener en cuenta que debido a la altura y esbeltez de este tipo de martillos, se debe impedir que el martillo se balancee o se incline cuando se da golpes fuertes a las tablestacas.

La principal característica en los martillos es el tamaño y el mecanismo para dar el golpe desde el pistón. Algunos martillos dan el golpe libremente por gravedad, otros pueden acelerar la caída del pistón y se describen como de doble efecto; en todos los casos, la efectividad del hincado dependerá de la potencia y eficacia del golpe.

Entre los variados tipos de martillos se tienen los denominados martillos diesel y los más modernos, los martillos hidráulicos.

a. Martillos diesel

El proceso de funcionamiento de este martillo como se ve en la Figura 3.1, se resume:

- Subida del pistón.
- La inyección de combustible diesel y la compresión.
- Impacto y explosión.
- Escape de gases producidos por la explosión, igualando la presión interna del cilindro.
- Expulsión completa y colocación del pistón en su posición inicial.

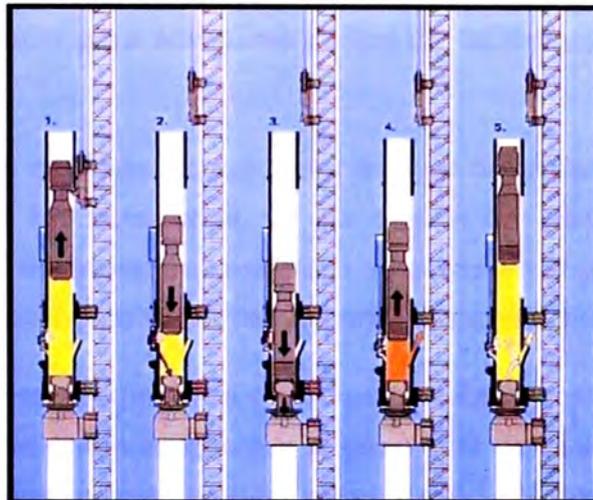


Figura 3.1: Funcionamiento del martillo diesel

b. Martillos hidráulicos

El principio básico de un martillo hidráulico consiste en transformar la potencia hidráulica de la máquina en impactos mecánicos, se muestra en la Figura 3.2 la vista de un martillo hidráulico.



Figura 3.2 Martillo hidráulico

Los martillos hidráulicos superan completamente a los martillos diesel en términos de eficiencia, son más aceptables en lo que se refiere al medio ambiente, y es menos probable que dañe la cabeza del pilote cuando transmite la fuerza.

3.1.1 Transmisión del Golpe a la Tablestaca

Toda sección de tablestaca puede ser hincada con martillo de impacto adecuado, sin embargo, no sólo es importante el tamaño correcto del martillo sino también es fundamental que la sufridera y/o la placa del yunque encaje bien y sea del tamaño correcto para adaptarse al tipo de tablestaca que está siendo instalado.

No se debe utilizar los martillos para instalar tramos de tablestacas de anchos diferentes sin cambiar los accesorios. El eje central del pistón siempre debe alinearse con el centro del tramo de la sección instalada en el plano y el golpe se debe transmitir equitativamente sobre toda el área transversal del tablestacado

Entonces se puede entender que para cada tipo de tablestacas habrá un tipo de sufridera, pero se puede entender que por la geometría de la tablestaca (Tipo Z, tipo U) pueda tenerse una misma sufridera para 02 o 03 secciones.

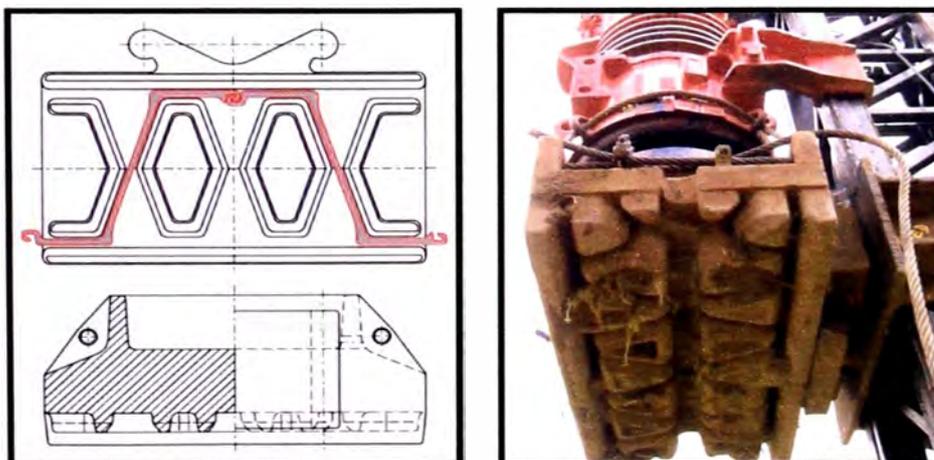


Figura 3.3: Sufridera metálica para la instalación de tablestacas con martillo de impacto

3.1.2 Criterio de Rechazo

Es crucial establecer el criterio de rechazo en la instalación de las tablestacas en suelos duros con los martillos de impacto. Se debe considerar una penetración

de 25mm por 10 golpes como límite para el uso de todos los martillos de impacto de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del martillo.

En suelos muy duros bajo la supervisión de un especialista de suelos, se podría permitir una penetración de 1mm por golpe por algunos minutos. Para períodos más largos de tiempo en este rango de golpe causarían daño al martillo, al equipo auxiliar y quizás podría causar daño a la cabeza de la tablestaca.

3.2 MARTILLOS VIBRATORIOS

Usualmente estos martillos son equipos más rápidos y efectivos para el hincado de tablestacas en suelos blandos a suelos medio densos sin cohesión. Son particularmente útiles para la extracción de tablestacas o retiro de las tablestacas que están siendo hincadas, para tomar una acción correctiva, se puede ver en la Figura 3.4 un martillo vibratorio.

El hincado vibratorio funciona mediante la reducción de la fricción entre la tablestaca y el suelo. Las vibraciones transmitidas a la tablestaca temporalmente perturban al suelo que rodea causando menor licuefacción, que da como resultado una disminución evidente de la resistencia al movimiento de la tablestaca a través del suelo.

No se recomienda el uso de camiones grúas móviles telescópicas con estos martillos vibratorios, porque al ser este un movimiento que genera vibración también producirá inestabilidad a este tipo de camiones, pudiendo perder la correcta linealidad de la instalación.

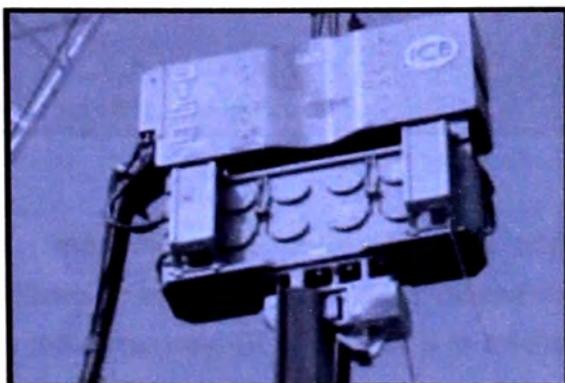


Figura 3.4: Martillo vibratorio para la instalación de tablestacas

El martillo vibrador consta, como se ve en la figura 3.5, de las siguientes partes:

- a. Estación de poder (Eléctrica / Hidráulica)
- b. Cables de Energía que conecta la estación con el vibrador
- c. Mangueras hidráulicas
- d. Vibrador: Que tiene las tenazas hidráulicas para el enganche con las tablestacas para la instalación y/o extracción.

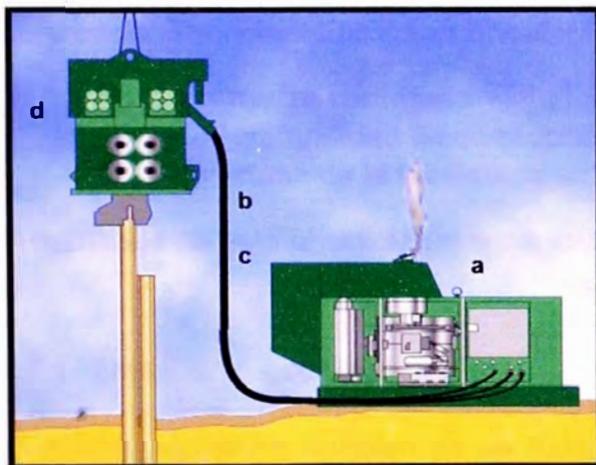


Figura 3.5: Elementos que conforman el martillo vibratorio



Figura 3.6: Uso del martillo

La máquina para hincas vibratoria común genera oscilaciones en un caso de vibración en el que los pesos excéntricos son accionados por engranaje por uno o más motores. El peso gira a la misma velocidad pero en direcciones opuestas causando oscilaciones puramente verticales mientras los componentes horizontales de las fuerzas neutralizan unas con otras.

Las máquinas vibratorias para hincar pueden funcionar con electricidad o mediante motores hidráulicos (o una combinación de ambos), la energía de entrada que es proporcionada por una fuente de energía silenciada.

Como guía para determinar el tamaño de un vibrador, la siguiente fórmula puede ser utilizada:

$$F = \frac{15 \times (t + 2G)}{100}$$

Referencia: Technical European Sheet Piling Association (TESPA)

- F = fuerza centrífuga
- t = profundidad de conducción en m.
- G = masa de la tablestaca en Kg.

El resultado de esta operación resulta en KN.

3.2.1 Uso Como Extractor

El martillo vibratorio también es un muy eficiente extractor de pilote si el peso rota en dirección inversa. La fuerza de extracción aplicada a la tablestaca dependerá del tamaño del vibrador y la fuerza de tracción que puede aplicarse a la tablestaca desde una posición estable y segura, esta fuerza será una función de capacidad de la grúa o equipo y la distancia en que se encuentra ubicada desde la línea del tablestacado.

3.2.2 Sujeción de la Tablestaca

Todos los tramos del tablestacado pueden hincarse con martillos vibratorios pero se debe prestar mucha atención los puntos en donde las tenazas de la máquina sujeta a la tablestaca. Por ejemplo, la parte gruesa del soporte de los pilotes tipo U es más adecuado para esto cuando se hinca o extrae tablestacas por separado. Si las tenazas necesitan ser acopladas al alma del tramo de la tablestaca, por ejemplo las tablestacas en Z, se debe tener cuidado y evitar romper el acero especialmente durante la extracción. El rasgado puede ser un problema particular en tablestacas anchas si el martillo vibrador está equipado con agarraderas pequeñas y sujetadas a la tablestaca en el nivel del agujero de manipulación. Las abrazaderas múltiples están disponibles y se recomienda que

se utilicen en secciones pares especialmente cuando se hinca tablestacas anchas como se muestra en la Figura 3.7. La abrazadera de ajuste adecuada debe tener agarraderas en buenas condiciones, particularmente cuando se utiliza para la extracción.

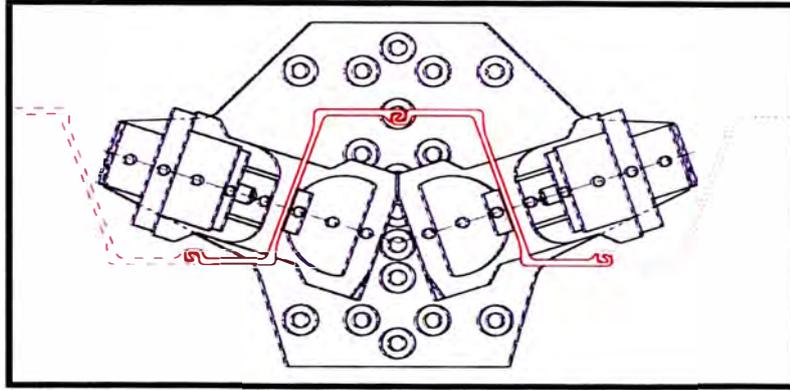


Figura 3.7: Sujeción de la tablestaca tipo Z con un martillo vibratorio

3.2.3 Criterio de Rechazo

Es esencial que se mantenga el movimiento cuando se realiza el hincado o extracción de pilotes con martillos vibratorios y es generalmente reconocido que un rango de penetración de aproximadamente 50 cm por minuto se utilice como un límite. Esto no sólo actúa como un control sobre una posible vibración pesada sino también como una precaución contra los efectos perjudiciales de la sobrecarga.

El rendimiento podría mejorarse con el uso de chorro de agua a alta presión y/o agregando peso extra al martillo vibratorio.

3.3 MARTILLOS DE PRESIÓN

Para los martillos de presión, como se muestra en la Figura 3.8, el principio de operación sigue siendo el mismo que el martillo vibratorio, la presión es el mejor sistema para evitar los problemas de ruido y vibración cuando se instale las tablestacas en áreas sensibles. Especialmente adecuados para la instalación de

tablestacas al lado de edificios y muros medianeros, minimiza el riesgo de perturbación.

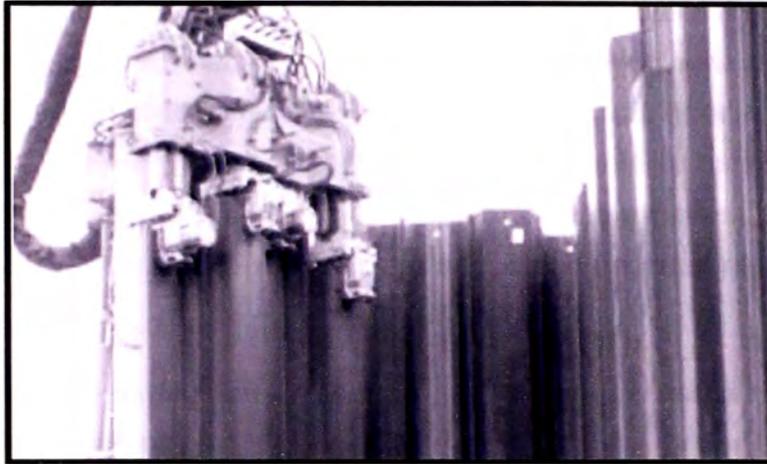


Figura 3.8: Martillo de presión

Como las tablestacas pueden instalarse permanentemente cerca de edificios y si es que se tiene proyectado trabajar alguna instalación subterránea (sótanos) este método de hincado produce un beneficio mayor comercial comparándolo con una construcción de muro convencional (muro pantalla), en la Figura 3.9 se puede ver otro tipo de martillo de presión en pleno trabajo.



Figura 3.9: Martillo de presión instalando tablestacas

3.3.1 Presión silenciosa

Para condiciones de suelo en donde el tratamiento de chorro de agua a alta presión y las técnicas de barrenado convencional son ineficaces, el hincado de tablestacas se hace posible con el uso del Sistema de hincado “**SUPER CRUSH**”, máquina de fabricación japonesa de presión que utiliza una barrena integral dentro de una cubierta para penetrar terrenos duros (piedras). La acción de presión se realiza mientras se extrae simultáneamente la barrena como se puede ver en la Figura 3.10. Como en todas las situaciones en donde se involucrado el barrenado, se debe tener cuidado de no producir algún derrumbe de terreno.

Esta técnica permite el hincado silencioso en piedras y permite diseñar las tablestacas para tomar cargas verticales importantes. Las tablestacas podrían utilizarse para construir muros profundos de tablestacas que de otra manera no podría considerarse factible usando métodos de instalación tradicional (se han instalado tablestacas de 48m en Tokio usando este tipo de máquina).

La ventaja de usar estas máquinas dentro de zonas urbanas densas para la construcción de sótanos puede ser muy importante comercialmente por sus soluciones sostenibles y no contaminación sonora.



Figura 3.10: Uso del martillo de presión con barrenado en zona urbana

CAPÍTULO IV: CORRECCIONES DEL HINCADO

Para las tablestacas que se manejan en el mercado internacional, se tiene diferente tipo de conectores, entre los que destacan la conexión tipo Larssen, la conexión tipo Hoesch, el conector doble (para la instalación de muros combinados con vigas o pilotes), como se muestra en la Figura 4.1 y este es uno de los factores que influye en los posibles problemas durante el hincado de tablestacas, pero también se tiene conectores de esquina, cuya función es cambiar la dirección de instalación de las tablestacas, en esquina o en diagonal como se muestra en la Figura 4.2.

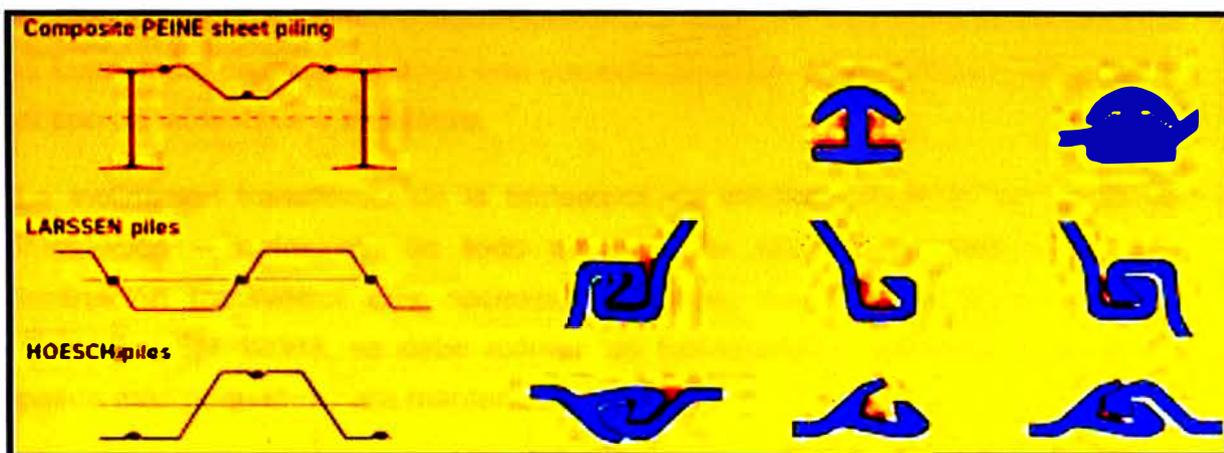


Figura 4.1: Los tipos de conectores de tablestacas



Figura 4.2: Los tipos de conectores de esquina para la instalación de tablestacas

También se debe tomar en cuenta que los problemas durante el hincado de tablestacas se pueden dar por el tipo de guía de instalación que se utiliza, el tipo de martillo, la estratigrafía del suelo.

4.1 DE LA INCLINACIÓN

Se debe tener cuidado en la colocación vertical de las primeras tablestacas y mantenerlas en una posición real dentro de las tolerancias permitidas.

Con el fin de evitar la tendencia a la inclinación del tablestacado, el martillo debe estar colocado sobre el centro de gravedad de las tablestacas que se están hincando y se deben sostener verticalmente y con firmeza con los equipos necesarios para este fin, desde la grúa o equipo de izaje hasta la guía de instalación. Cuando se realiza el hincado en pares, las tablestacas adyacentes deben alinearse y estar a nivel en la parte superior y el golpe del martillo debe ser tal que sea expandido uniformemente a lo largo del área máxima del perfil de la tablestaca, esto se dará con una correcta elección de la sufridera de acuerdo al tipo de tablestaca a instalarse.

La inclinación transversal de la tablestaca se elimina utilizando las guías de instalación – arriostres, en todo caso si las tablestacas desarrollan una inclinación transversal que necesita corregirse, basados en la tabla 4.1 – normativa EN 12063, se debe extraer las tablestacas y volverlas a hincar en pasos más pequeños para mantener el control.

La inclinación longitudinal en la dirección del hincado, basados en la tabla 4.1 – normativa EN 12063, podría deberse a la fricción entre la tablestaca previamente hincada y la tablestaca que se está hincado o por uso incorrecto del martillo y debe contrarrestarse inmediatamente si se muestra evidente. Si se deja sin revisar, la inclinación puede volverse incontrolable requiriendo que los pilotes sean retirados hasta que se encuentre un pilote vertical de forma aceptable. La instalación del pilote entonces puede continuar usando métodos de panel para reducir el riesgo de más inclinación.

La prevención es mejor que tener problemas a futuro por eso cuando se utiliza el método de izaje e hincado, la instalación debe terminar antes que la inclinación alcance los límites de tolerancia de verticalidad máxima permitida, basados en la tabla 4.1 – normativa EN 12063, luego de ello se debería comenzar a utilizar el método del panel de hincado para así eliminar más inclinación mediante el deslizamiento de las tablestacas instaladas con verticalidad aceptable.

Cuando no se puede eliminar una inclinación y las tablestacas no pueden ser retiradas y reemplazadas, el error podría corregirse introduciendo un pilote cónico de cierre, pero sólo con el respectivo cálculo que no modifica las expectativas de resistencia de cargas verticales y horizontales que se tienen en el proyecto del tablestacado. En la Figura 4.3 se muestra los pasos que se debe seguir en caso de inclinación:

- a. El muro de tablestacas inclinado, que no se ha podido corregir con procedimientos previos de corrección, retiro de tablestacas y re-hincado con un mejor control del hincado, entre otros.
- b. Tablestaca especial de forma cónica, fabricada para hacer el cierre correcto del muro de tablestaca.
- c. Instalación de la tablestaca de cierre, muro culminado, inclinación solucionada.

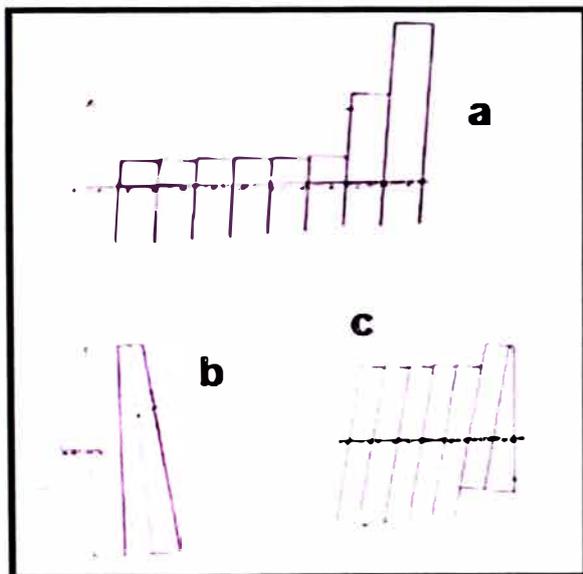


Figura 4.3: Pasos a seguir cuando se tiene inclinación de tablestacas

4.2 DESALINEACIÓN – HUNDIMIENTO

Cuando se hincan las tablestacas en terrenos suaves o suelos arenosos sueltos, la tablestaca en proceso de hincado podría producir una bajada del nivel no deseado en la tablestaca adyacente. El problema a veces ocurre cuando se utiliza el método de Izaje e Hincado y es causado cuando se desarrolla más fricción en la conexión entre tablestacas.

Esto podría ocurrir cuando se tiene alguno de estos casos:

- a. Inclinación hacia adelante de las tablestacas.
- b. Se permite rotar tablestacas causando fricción en la conexión entre ellas.
- c. La acción de hincado vibratorio puede producir que se introduzca arena compactada en las conexiones durante la instalación
- d. Las conexiones no se limpiaron antes del hincado
- e. Las conexiones se han dañado en uno o en los dos lados de las tablestacas (adyacentes).

Es menos probable que ocurra el problema si se instalan las tablestacas cuidando la buena alineación, verticalidad y además de ello colocando un sellador o bitume en las conexiones para evitar el ingreso de suelo en estas y además facilitar el resbalamiento (obteniendo menos fricción) entre las tablestacas adyacentes durante la instalación, como se muestra en la Figura 4.4.

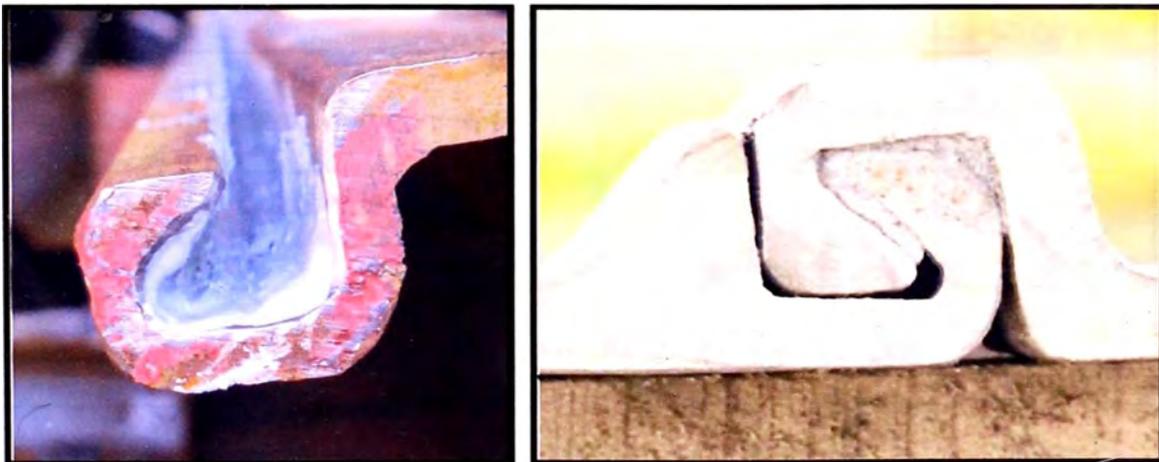


Figura 4.4: La colocación del sellador en la conexión para facilitar el resbalamiento en la instalación de las tablestacas

4.3 DE LA LONGITUD DEL MURO

Esto se lograra manteniendo una correcta alineación horizontal en la instalación de las tablestacas, por esto es importante tener una correcta guía de instalación

– arriostre; si se tiene que lograr dimensiones teóricas exactas de muro, podría ser necesario introducir una tablestaca fabricada especialmente para el proyecto.

4.4 TOLERANCIAS DE HINCADO

La posición teórica de las tablestacas siempre (usualmente) está indicada en el plan de instalación y en los planos de trabajo. Las desviaciones de este diseño teórico podría ocurrir debido a las tolerancias de laminado de las tablestacas, condiciones de suelo y procedimiento de hincado.

Las tolerancias generales para un muro de tablestaca deben ser de acuerdo con las siguientes cantidades (según EN 12063).

Tabla 4.1: Tolerancias para un muro de tablestacas

DESCRIPCION	OBSERVACION	TOLERANCIAS
Desviación normal para un muro lineal en la parte superior de la tablestaca		± 50.00 mm
Desviación de nivel terminado con respecto al nivel teórico	En la parte superior	± 20.00 mm
	En la parte baja – pata	± 120.00 mm
Desviación de verticalidad para el hincado con el método del panel de hincado	Para todas las direcciones	1.00%
Desviación de verticalidad para el hincado con el método de izaje e hincado	En la línea de la instalación de las tablestacas	1.33%

Fuente: Normativa europea: EN 12063

Si bien las tolerancias están dadas por la tabla 4.1, estas podrían tener variaciones definidas estrictamente por el diseño (Ingeniero estructural) de la estructura que se construya.

CAPITULO V: APLICACIONES CON TABLESTACAS ARCELORMITTAL

La experiencia que tiene ArcelorMittal en proyectos de ingeniería, utilizando sus tablestacas se da en diferentes países alrededor del mundo, estas se diversifican entre proyectos de puertos, muelles, cimentaciones profundas, soporte de puentes, hidroeléctricas, entre otros.

En Perú, ya se tiene experiencias en la aplicación de las tablestacas en proyectos de ingeniería, como han sido descritas en la introducción.

La fabricación de las tablestacas laminadas en caliente ArcelorMittal se da como se describió en el capítulo 1, y estas son 100% fabricadas con material reciclable.

ArcelorMittal es un fabricante de acero, pero en los mercados donde tiene presencia y en los nuevos donde busca introducir sus productos, brinda un soporte técnico, pudiendo presentar propuestas técnicas preliminares, que son revisadas por la ingeniería de la empresas que manejan el proyecto, por ello en la casuística que se presenta, habla de la aplicación de las tablestacas ArcelorMittal en 03 proyectos:

- a. Estacionamiento subterráneo – San Borja Plaza: donde se muestra la propuesta técnica preliminar, pasos que se siguen para el diseño, recomendando la tablestaca AU – 25 con un grado de acero S 430 GP ($f_y = 430$ MPa)
- b. Termoeléctrica de Chilca: donde el cálculo del tipo de tablestacas fue ejecutado por la empresa encargada del proyecto, lo que se muestra es el proceso constructivo – instalación de las tablestacas, tomando en cuenta el tipo de suelo, los sistemas, métodos, equipos que ha sido tocados en los capítulos anteriores.
- c. Túnel de Congonhas: donde se muestra el proceso de instalación de las tablestacas, tomando en cuenta el tipo de suelo, los sistemas, métodos, equipos que ha sido tocados en los capítulos anteriores.

5.1 PRODUCTOS

ArcelorMittal Es la mayor compañía siderúrgica mundial, con una producción anual de 130 millones de toneladas de acero.

Dentro de los productos más importantes que fabrican para los proyectos de ingeniería civil se puede mencionar:

1. Tablestacas laminadas en caliente.
2. Tablestacas laminadas en frío.
3. Tubos metálicos para pilotaje y conducción (gas, petróleo, etc.)
4. Barras helicoidales de sostenimiento de terreno y sus complementos.
5. Soportes de tonelería para la minería y sus complementos.
6. Rieles para todo tipo de uso (trenes rápidos, trenes convencionales, grúas, etc.)
7. Barras de construcción
8. Planchas y Bobinas
9. Perfiles y canales
10. Vigas y super- vigas (super estructuras)
11. Aceros especiales para trabajos en minería

ArcelorMittal cuenta con diferentes patentes internacionales en tipo de acero, epóxicos, grados de acero, de las cuales podemos mencionar:

1. Acero HISTAR (**H**igh **S**Trength **A**rcelorMittal: Acero de alta resistencia), se adjunta en anexos un informe con las características de este tipo de Acero.
2. Grado de acero S 460 AP (según normativa europea EN 10248):
 - a. Con una $f_y = 460\text{MPa}$
 - b. Tiene un equivalente en la normativa ASTM: A 572 Gr. 65

3. Nuevo sistema de sellado para la instalación de tablestacas: AKILA.
4. Nuevo tipo de acero resistente a la corrosión para aplicaciones marinas AMLoCor.

Ya que se encuentra en un constante estudio y análisis de mejora continua de sus productos, buscando ser más competitivos en mercados emergentes y en donde el uso de los productos que ellos fabrican tiene gran potencial.

Actualmente ArcelorMittal también está participando en la explotación minera, y es también uno de los cinco mayores productores de mineral de hierro y carbón metalúrgico o coque, siendo este negocio de la minería una parte cada vez más importante del crecimiento de la empresa, cuenta con 29 operaciones mineras, con exclusión de dos proyectos y otros proyectos en fase inicial de exploración

ArcelorMittal cuenta con muchas certificaciones internacionales de calidad, seguridad, medio ambiente, responsabilidad social, entre otros.

ArcelorMittal fabrica sus tablestacas con grados de acero bajo la norma europea EN 10248 y está indica una descripción S XXX GP, donde el mínimo límite de elasticidad está dado por las XXX, como se muestra en la tabla 5.1, también se muestra las composiciones químicas de cada grado de acero en la tabla 5.2, teniendo las equivalencias de normas de otros países, Americanas (ASTM), Canadiense (CSA), Japonesas (JIS), como se muestra en la tabla 5.3.

Steel grade EN 10248	Min. yield strength R_{eH} MPa	Min. tensile strength R_m MPa	Min. elongation $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ %
S 240 GP	240	340	26
S 270 GP	270	410	24
S 320 GP	320	440	23
S 355 GP	355	480	22
S 390 GP	390	490	20
S 430 GP	430	510	19
ArcelorMittal mill specification			
S 460 AP	460	550	17

Tabla 5.1: Propiedades mecánicas de los grados de aceros trabajados por ArcelorMittal

Tabla 5.2: Propiedades mecánicas de los grados de aceros trabajados por ArcelorMittal

Europe	EN 10248	S 270 GP	S 320 GP	S 355 GP	S 390 GP	S 430 GP	S 460 AP ¹⁾
USA	ASTM	A 328	-	A 572 Gr 50, A 690	A 572 Gr 55	A 572 Gr 60	A 572 Gr 65
Canada	CSA	Gr 260 W	Gr 300 W	Gr 350 W	Gr 400 W	-	-
Japan	JIS	SY 295	-	-	SY 390	-	-

¹⁾ ArcelorMittal mill specification

Tabla 5.3: Equivalencias entre normas

Para la durabilidad del acero en los proyectos de ingeniería civil, se trabaja bajo la norma europea EN 1993-5: 2007, en la tabla 5.4 se describe este análisis para los diferentes suelos.

Tabla 5.4: Corrosión del acero para la fabricación de las tablestacas según la norma EN 1993-5: 2007

Vida útil (años)	5	25	50	75	100
Suelo natura (arena, arcilla, ...)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
Agua dulce	0.15	0.55	0.90	1.15	1.40
Agua del mar: inmersión permanente & zona marea	0.25	0.90	1.75	2.60	3.50
Agua del mar: zona de salpicaduras	0.55	1.90	3.75	5.60	7.50

Fuente: Norma europea EN 1993-5: 2007

5.2 ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO – SAN BORJA PLAZA

En este proyecto se trabajó una propuesta técnica, con la cual se sustentaba que la tablestaca podría ser instalada en el suelo de Lima (San Borja) con el sistema complementario de hincado de pre-barrenado y así ser parte de la construcción de un estacionamiento de 05 niveles subterráneos, siendo parte también del cimiento de las estructuras que irían en los niveles superiores, la ventaja está relacionada con la disminución del tiempo de ejecución de esta partida de la obra que a la vez produciría un menor tiempo de ejecución del proyecto completo; a continuación presentamos la propuesta técnica con tablestacas:

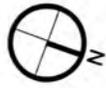
Datos para el diseño: esta información fue proporcionada por la empresa encargada del proyecto

- Se muestra los planos:
 - Figura 5.1, plano de planta, donde observa la longitud perimetral del área donde se construirá el centro comercial y donde debe ser instalada las tablestacas.
 - Figura 5.2, plano de corte transversal, donde se observa la profundidad de excavación para los estacionamientos subterráneos.
- Nivel máximo de la pared en EL. 0.00m
- Nivel de la excavación EL. -18.00m (Diseño)
- Carga extra uniforme de 20 kN/m²
- Nivel Freático: Ausente
- Aceleración máxima del terreno $A_0 = 0,4 g$
- Se consideran las características del suelo siguiente:

Tabla 5.5: Datos del suelo del proyecto San Borja Plaza

	ϕ	δ_{ap}	δ_{pp}	γ	γ'	c	K_{sh}	K_{ph}	k_{sh} seismic	k_{ph} seismic
	[°]	[-]	[-]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[-]	[-]	[-]	[-]
Soil1: Gravel	35.0	0.333	-0.333	19.0	10.0	0.00	0.246	5.321	0.372	4.772

Fuente: Información entregada por la empresa



SAN BORJA PLAZA

Proyecto:
INVERSIONES SAN BORJA S.A.
 Los Borja N° 111, Oficina 242
 Lima 17, PERÚ
 Tel: (011) 442 2020

Proyectista:
ARQUITECTONICA
 Arq. Bernardo Forti Brescia
 C.A.P. 1586
 Los Borja N° 111, Oficina 300
 Lima 17, PERÚ
 Tel: (011) 442 0236

Fabricante:
SENTEC S.A.C.

Descripción:

Anterior:

Seguridad:
ENGINEERING SERVICES S.A.
 Calle de la Fuente N° 500, San Borja
 Lima 18, PERÚ
 Tel: (011) 444 3145

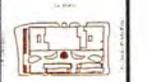
Estado Actual:

Estado Viejo:

05	Coord. Operativa	28-02-2010
06	Coord. Operativa	14-02-2010
07	Comentarios Arquitect.	14-02-2010
08	Seguridad	
09	Revisión estructural	27-12-2010
10		28-11-2010

Nº REVISION FECHA

Plano Claro



Los planos, especificaciones, datos, detalles y descripciones son representativos de un proyecto de arquitectura. No se garantiza su exactitud ni su vigencia. El usuario es responsable de verificar la información antes de utilizarla. No se garantiza el uso de estos planos para fines distintos a los que fueron diseñados para cumplirlos. No se garantiza el uso de estos planos para fines distintos a los que fueron diseñados para cumplirlos.

Proyecto N°

2823

Título

PLANTA PRIMER PISO

Diseño: ENRIQUE CHUY

Arquitecto: ANTONIO BONIFACIO

Arquitecto: RODRIGO MASIAS

Arquitecto: GIGI CHUY

Arquitecto: ELGINO OSELLANO

Arquitecto: MONICA CHAVARRI

Arquitecto: ANDRES LUQUE

Arquitecto: DAVID ORTIZ

Fecha

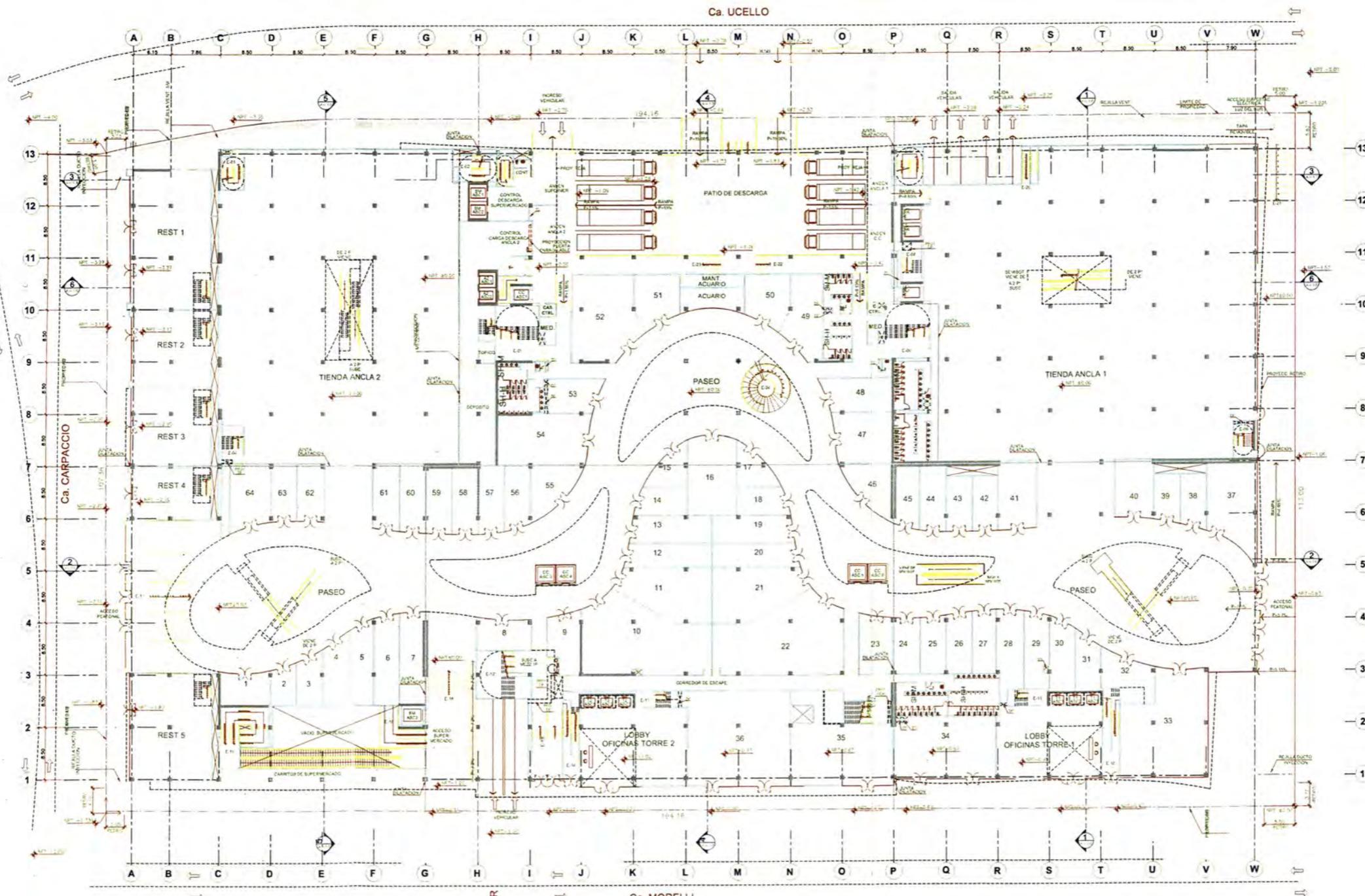
06 OCT 2010

Escala

1/250

Plano

A-01



LEYENDA

01	TIENDA ANCLA 1
02	TIENDA ANCLA 2
03	TIENDA DE ASESORAMIENTO
04	TIENDA DE ALIMENTACION
05	TIENDA DE BEBIDAS
06	TIENDA DE CLOUTIER
07	TIENDA DE CALZADO
08	TIENDA DE ACCESORIOS
09	TIENDA DE SUPLEMENTOS
10	TIENDA DE PRODUCTOS DE BELLA VIDA
11	TIENDA DE PRODUCTOS DE BELLA VIDA
12	TIENDA DE PRODUCTOS DE BELLA VIDA

Figura 5.1: Plano de planta

06	Cover Operativa	28-02-2011
04	Cover Operativa	18-02-2011
03	Coordinación Análisis de Seguridad	14-01-2011
02	Revisión estructural	27-12-2010
01		22-11-2010



Este plano, que forma parte del expediente de construcción, es un documento de carácter técnico y profesional. Su uso está limitado a los fines para los que fue elaborado. No se permite su reproducción total o parcial, ni su transformación o modificación, sin el consentimiento escrito del autor.

2823

CORTES 1-1 y 2-2

Director: **ENRIQUE CHUY**
 Gerente: **ANTONIO BONIFACIO**

Equipo:
RODRIGO MASIAS
GIGI CHUY
ELGHYV ORELLANO
MONICA CHAVARRI
ANDRES LUQUE
DAVID ORTIZ

Fecha: 08 OCT. 2010
 Escala: 1/250

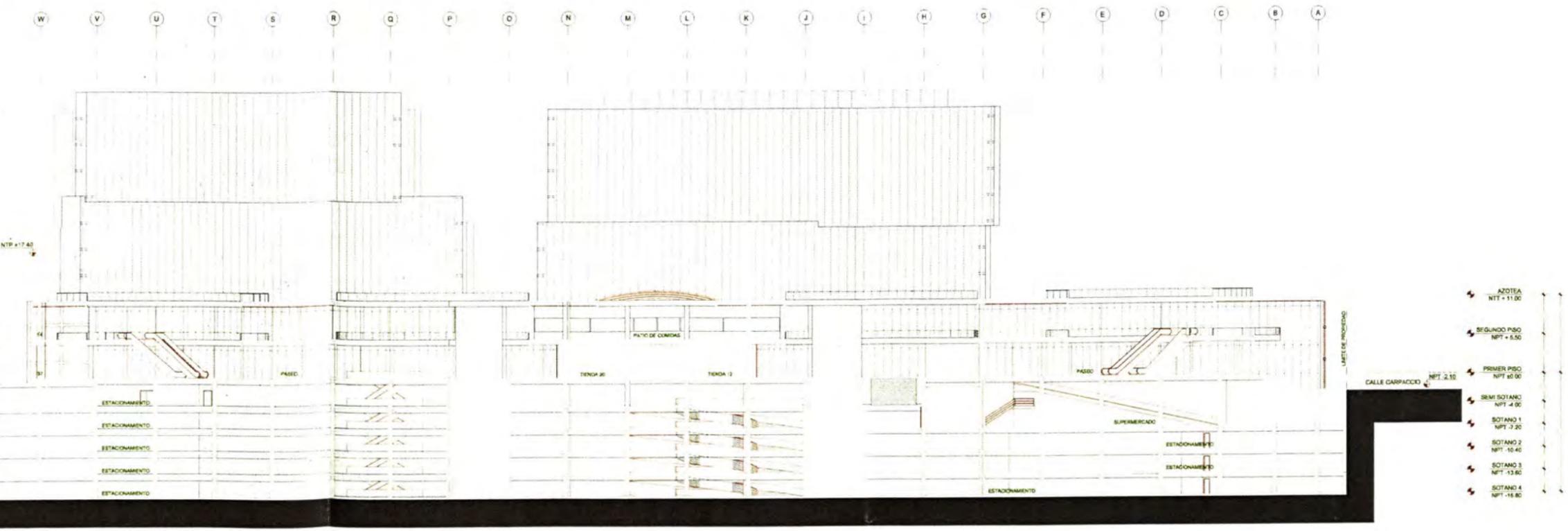
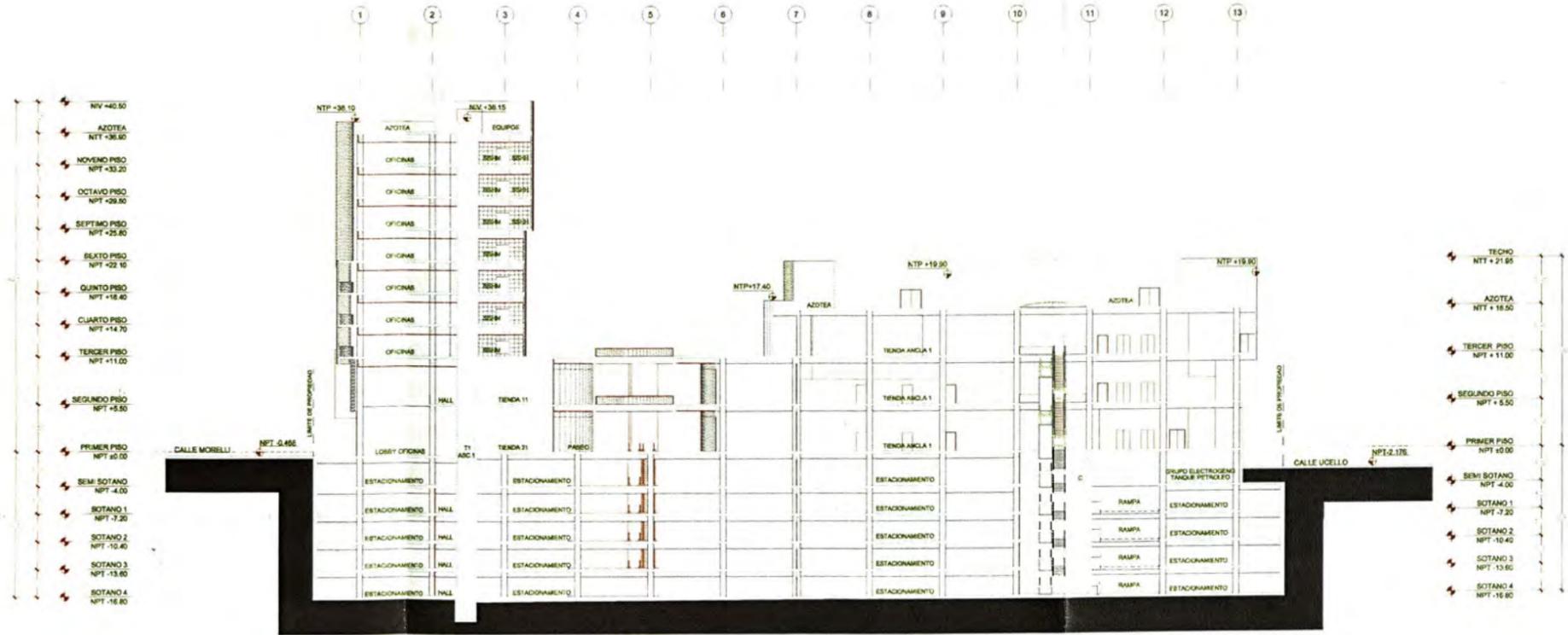


Figura 5.2: Plano de cortes transversales



Proponemos: basados en experiencias de proyectos similares

Tipo de tablestaca: AU 25

Grado de acero: S 430 GP

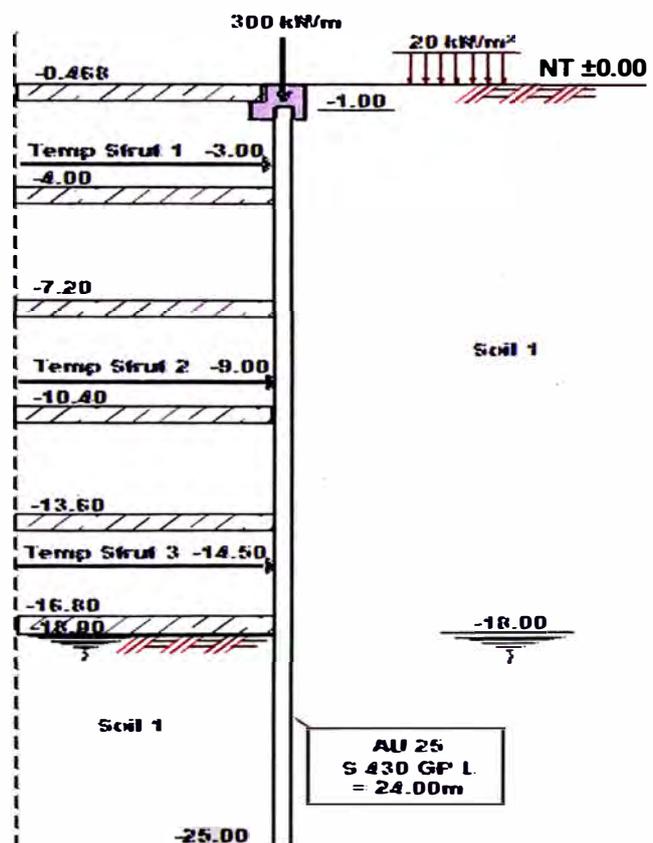
Longitud de la tablestaca: 24.00m

Análisis de la estructura: basados en la información recibida

- De acuerdo a la información disponible acerca de las condiciones del suelo, la instalación de las tablestacas será difícil, debido a la capa de roca de alta resistencia. Para lograr que la tablestaca llegue al nivel más bajo (deseado), deben adoptarse disposiciones para utilizar la asistencia del sistema de voladura: Pre-barrenado (taladrar).
- Se considerará una pérdida de espesor en 50 años, en la tablestaca debido a la corrosión, tomando en cuenta la norma europea EN 1993-5:2007 (tabla 5.4), asumiendo que la tablestaca no tendrá ningún tipo de protección o revestimiento contra la corrosión.
- Los cálculos se han realizado con el programa Rido 4.11 basado en un modelo elasto-plástico.

Estructura analizada:

Figura 5.3: Estructura de tablestaca analizada en San Borja Plaza



Procedimiento constructivo: Se describe un proceso resumido.

1. Se instala la tablestaca en todo el perímetro del proyecto, y se procede a excavar en frente de la pared de tablestacas hasta EL.-3.50m.
2. Instalación de sistema de puntal temporal N° 1 en EL.-3.00m y se procede a excavar en frente de la pared de tablestacas hasta EL.-9.50m.
3. Instalación de sistema de puntal temporal N° 2 en EL.-9.00m y se procede a excavar en frente de la pared de tablestacas hasta EL.-15.00m.
4. Instalación de sistema de puntal temporal N° 3 en EL.-14.50m y se procede a excavar en frente de la pared de tablestacas hasta EL.-18.00m.
5. La sobrecarga de 20kN/m² se distribuye detrás de la pared de la tablestaca, luego se instala la losa de concreto N° 1 en EL.-0.468m, lo siguiente es la instalación de la losa de concreto N° 2 en EL.-4.00m y de la misma manera para las siguientes losas N° 3 en EL.-7.20m, N° 4 en EL.-10.40m, N° 5 en EL.-13.60m. y de la N° 6 en EL.-16.80m, finalmente se procede al retiro de los puntales temporales.
6. Se hace un análisis con efecto Sísmico y se adiciona una sobrecarga adicional detrás de la pared de la tablestaca de 10kN/m².

Resultados del cálculo basados en el procedimiento constructivo: del análisis con el programa RIDO 4.11 se obtuvo:

Step	Max. Moment M _{max}	Defl. f _{max}	Strut Load Rah1	Strut Load Rah2	Strut Load Rah3	Deck Load Rah1	Deck Load Rah2	Deck Load Rah3	Deck Load Rah4	Deck Load Rah5	Deck Load Rah6
	[kNm/m]	[mm]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	80	11	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	161	18	138	/	/	/	/	/	/	/	/
3	291	37	148	290	/	/	/	/	/	/	/
4	283	48	148	308	325	/	/	/	/	/	/
5	290	57	/	/	/	24	92	150	195	211	117
6	252	63	/	/	/	26	121	199	260	319	377

Tabla 5.6: Resultados utilizando el programa Rido 4.11

Selección de la sección: de acuerdo a la propuesta inicial

AU 25:

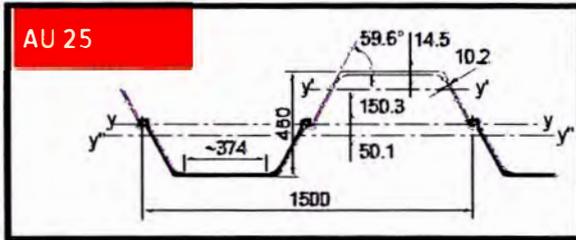


Figura 5.4: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 25 (medidas dadas en mm)

- Momento de Inercia: 56240 cm⁴/m
- Módulo de sección: 2500 cm³/m
- Área de la sección: 188 cm²/m
- Longitud: 24.00 m
- Grado del acero: S 430 GP (f_y = 430MPa)
- Momento máximo:
 - Caso normal: M_{max} = 291 kNm/m
 - Caso sísmico: M_{max} = 252 kNm/m
- Carga vertical de las losas (supuesto):
 - Caso normal: N_{max} = 300 kN / m
 - Caso Sísmica: N_{max} = 300 kN / m
- Deformaciones:
 - Caso normal: D_{max} = 57 mm
 - Caso Sísmica: D_{max} = 63 mm

Verificación de la resistencia del acero:

$$\sigma_{\text{axis}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} + \frac{N_{\text{max}} \times e}{W_x} + \frac{N_{\text{max}}}{A} \leq \sigma_{\text{allow}}$$

Normal case

$$\sigma_{\text{axis}} = \frac{291}{2500} \times 10^3 + \frac{300 \times 0.057}{2500} \times 10^3 + \frac{300}{188} \times 10 = 139 \text{ N/mm}^2 < \frac{430}{1.5} = 287 \text{ N/mm}^2$$

Seimic case

$$\sigma_{\text{axis}} = \frac{252}{2500} \times 10^3 + \frac{300 \times 0.063}{2500} \times 10^3 + \frac{300}{188} \times 10 = 124 \text{ N/mm}^2 < \frac{430}{1.0} = 430 \text{ N/mm}^2$$

Verificación de la durabilidad del acero en caso de corrosión:

Tiempo considerado de Vida Útil: 50 años, basados en la tabla 5.4.

- Zona Penetrada:
 - Pérdida de espesor: 0.50 mm después de 50 años, caso de la cara de la Tablestacas que está en contacto con la atmósfera.
 - Pérdida de espesor: 0.60 mm después de 50 años, caso de la cara de la Tablestacas que está en contacto con el suelo.
 - Módulo resistente después de la corrosión: $W_{x,corr} = 2310 \text{ cm}^3/\text{m}$.
 - Área de la sección: $A, corr = 172,8 \text{ cm}^2/\text{m}$
 - Momento de flexión: $M = 291 \text{ kNm} / \text{m}$
- Verificación de la resistencia del acero:

$$\sigma_{\text{exis.}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} + \frac{N_{\text{max}} \times e}{W_x} + \frac{N_{\text{max}}}{A} \leq \sigma_{\text{allow.}}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{exis.}} &= \frac{291}{2310} \times 10^3 + \frac{300 \times 0.057}{2310} \times 10^3 + \frac{300}{172.8} \times 10 \\ &= 151 \text{ N/mm}^2 < \frac{430}{1.5} = 287 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Resultado final:

La tablestaca propuesta:

- Tablestaca AU 25 (Tablestaca tipo U con módulo de resistencia elástica: 2500cm³/cm)
- Grado de acero: S 430 GP (f_y = 430Mpa)
- Longitud: 24,00 m

Cumple con todos los requerimientos técnicos del proyecto.

5.3 TERMOELÉCTRICA DE CHILCA – CAÑETE

En este proyecto se superviso el proceso de instalación de las tablestacas, el diseño fue calculado por la empresa constructora encargada del proyecto, teniendo en cuenta para ello todos los factores externos que afectaban este proceso, el nivel freático alto, el tipo de suelo (arena de playa), los movimientos de las olas del mar, la capacidad de resistencia de las tablestacas a la carga dinámica a la cual estará afecta (olas, grúas en movimiento, etc.), la excavación a la que se tenía que llegar, entre otros; a continuación presentamos los pasos seguidos en esta instalación de tablestacas:

Datos para la instalación: Esta información fue entregada por la empresa encargada del proyecto

- Tipo de tablestaca: aquí se utilizó 02 tipos de tablestacas
 - PU – 18 (Tablestaca tipo U con módulo de resistencia elástica: 1800cm³/cm)

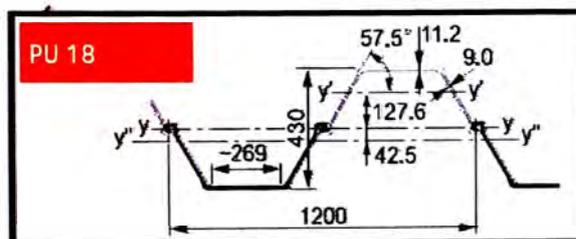


Figura 5.5: Detalles geométricos de la tablestaca tipo PU – 18 (medidas dadas en mm)

- AU – 14 (Tablestaca tipo U con módulo de resistencia elástica: 1405cm³/cm)

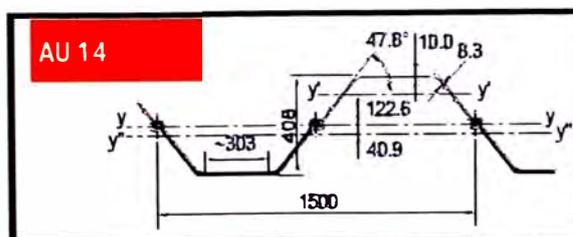


Figura 5.6: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 14 (medidas dadas en mm)

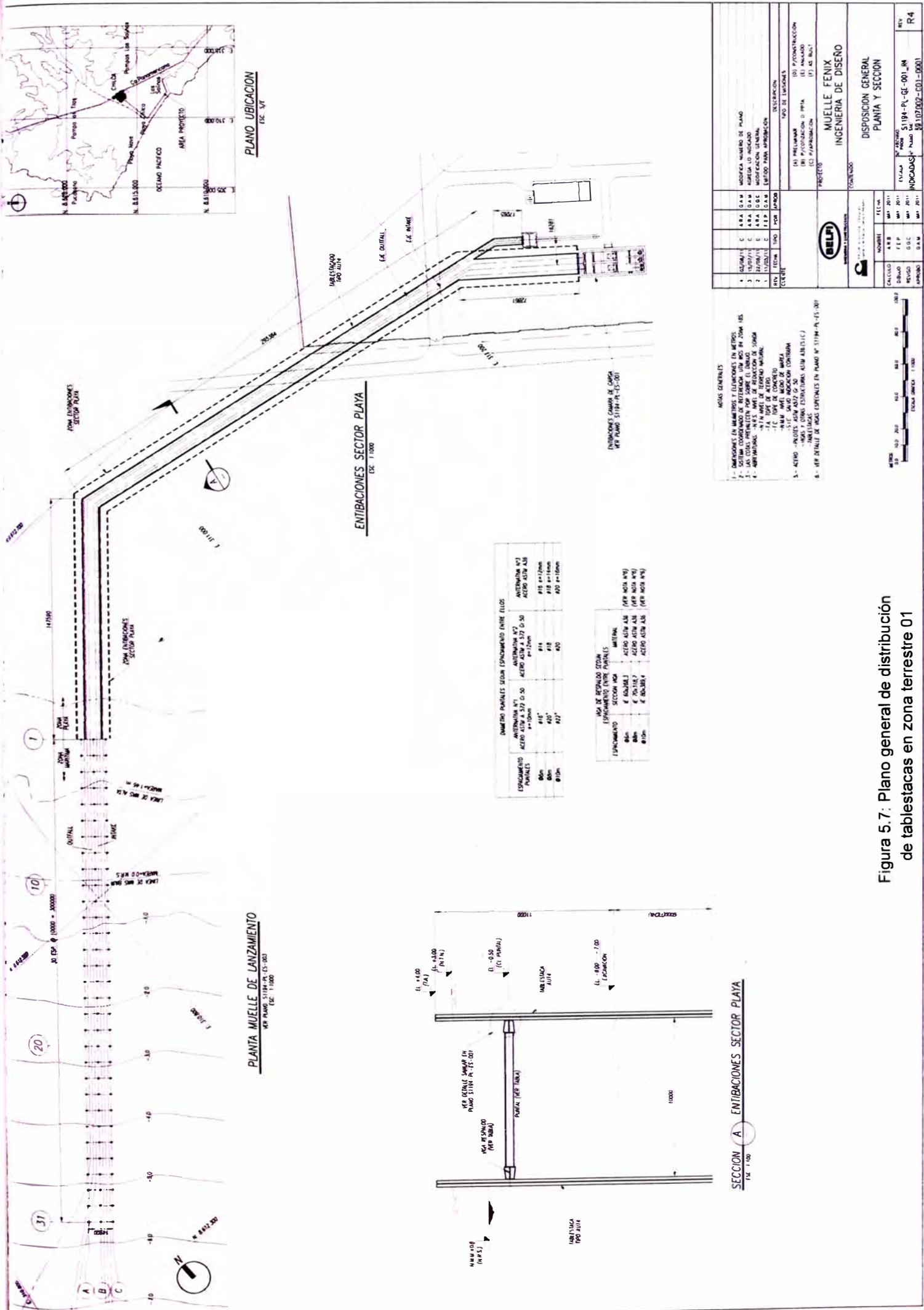
- Grado de acero: S 430 GP ($f_y = 430\text{MPa}$)
- Longitudes: 17m, 19m y 20m

Análisis de la instalación: basados en la información recibida

- De acuerdo a la información disponible acerca de las condiciones del suelo, la penetración de las tablestacas tendrá facilidades hasta una profundidad de 7m donde se encuentra un estrato de suelo duro, debido al tipo de suelo donde el nivel freático es alto se recomienda:
 - Una grúa para izar las tablestacas.
 - Un martillo vibrador para instalación de las tablestacas.
 - Una guía de instalación de 02 niveles (altura de las tablestacas 17.00m – 20.00m).
 - Uso de sellantes en los conectores facilitar el resbamiento de las tablestacas durante la instalación y para evitar la filtración del agua subterránea en la zona terrestre y el agua marina en los trabajos dentro del océano pacifico.
 - El uso de arriostres temporales, estos elementos fueron calculados por los diseñadores del proyecto.
- Se muestra los planos:
 - Figura 5.7, Figura 5.8, los planos generales de la distribución de las tablestacas (planta y cortes), donde se observa los elementos de arriostres y las profundidades máximas de excavación en las dos zonas terrestres que se trabajó.
 - Figura 5.9, el plano general de la distribución de las tablestacas (planta y cortes), donde se observa los elementos de arriostres y las profundidades máximas de excavación en la zona marina que se trabajó.

Procedimiento constructivo zona terrestre: se describe el proceso constructivo seguido en la instalación de las tablestacas.

- Se delimita la línea donde debe ser instalada las tablestacas.



4	QUOTACIÓN	C	AREA D.A.M	MODIFICA NUMERO DE PUNTO
3	15/07/11	C	AREA D.A.M	MODIFICA NUMERO DE PUNTO
2	15/07/11	C	AREA D.A.M	MODIFICA NUMERO DE PUNTO
1	15/07/11	C	AREA D.A.M	MODIFICA NUMERO DE PUNTO
0	15/07/11	C	AREA D.A.M	MODIFICA NUMERO DE PUNTO

CALCULO		NO. DE	FECHA
ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA

MUELLE FENIX
 INGENIERIA DE DISEÑO
 DISPOSICION GENERAL
 PLANTA Y SECCION

PROYECTO: MUELLE FENIX INGENIERIA DE DISEÑO
 MODIFICACION: DISPOSICION GENERAL PLANTA Y SECCION
 INDICACION: PLANO N° 51194-P1-02-001-IN
 INDICACION: PLANO N° 51194-P1-02-001-IN

MODIFICACIONES EN NUMEROS Y ELECCIONES EN METROS:
 1- SISTEMA COORDINADO DE REFERENCIA UTM WGS 84 ZONA 18S
 2- UNIDADES: METROS
 3- UNIDADES: METROS
 4- UNIDADES: METROS
 5- UNIDADES: METROS
 6- UNIDADES: METROS

1- DIMENSIONES EN NUMEROS Y ELECCIONES EN METROS.
 2- SISTEMA COORDINADO DE REFERENCIA UTM WGS 84 ZONA 18S
 3- UNIDADES: METROS
 4- UNIDADES: METROS
 5- UNIDADES: METROS
 6- UNIDADES: METROS

1- DIMENSIONES EN NUMEROS Y ELECCIONES EN METROS.
 2- SISTEMA COORDINADO DE REFERENCIA UTM WGS 84 ZONA 18S
 3- UNIDADES: METROS
 4- UNIDADES: METROS
 5- UNIDADES: METROS
 6- UNIDADES: METROS

1- DIMENSIONES EN NUMEROS Y ELECCIONES EN METROS.
 2- SISTEMA COORDINADO DE REFERENCIA UTM WGS 84 ZONA 18S
 3- UNIDADES: METROS
 4- UNIDADES: METROS
 5- UNIDADES: METROS
 6- UNIDADES: METROS

1- DIMENSIONES EN NUMEROS Y ELECCIONES EN METROS.
 2- SISTEMA COORDINADO DE REFERENCIA UTM WGS 84 ZONA 18S
 3- UNIDADES: METROS
 4- UNIDADES: METROS
 5- UNIDADES: METROS
 6- UNIDADES: METROS

Figura 5.7: Plano general de distribución de tablestacas en zona terrestre 01

- Se procede a instalar las primeras tablestacas, bajo el método de paneles de Hincado, utilizando el equipo recomendado, como se muestra en la Figura 5.10.



Figura 5.10: Equipos utilizados en la instalación de tablestacas en el proyecto termoeléctrica de Chilca

- En la zona terrestre se hincan las tablestacas siguiendo la línea trazada por la topografía, como se muestra en la Figura 5.11, para disminuir el rozamiento en los conectores de las tablestacas se hace uso de un producto de poliuretano: ROXAN.



Figura 5.11: Hincado de tablestacado

- Una vez que se tiene cerrada una las caras frontales de la estructura de tablestacas ya se puede trabajar excavaciones parciales hasta una altura aprox. de 2.50m – 3.00m, ya que se tiene presión de los vehículos

externos (Tráiler, grúas, etc. Que transitan en la zona) además de tener un nivel freático alto, como se puede observar en la Figura 5.12: El nivel freático se encontraba variable pero el nivel más alto estaba a -0.5m del nivel del terreno.



Figura 5.12: Presencia de agua subterránea, nivel freático alto.

- Se puede observar en la Figura 5.13 el afloramiento del agua subterránea, entonces es necesario el uso de una bomba externa para deprimir el nivel freático:



Figura 5.13: Uso de bomba externa para deprimir el nivel freático

- A la vez que se va retirando el terreno y el agua subterránea, que va quedando cercada la estructura de tablestacas, la presión externa va en aumento al ser descompensada internamente, esto hace que sea

necesario el uso de arriostres como se muestra en la Figura 5.14, pero al ser arena (arena de playa) no es recomendable colocar algún tipo de arriostre interno al terreno ya que por la poca capacidad portante del suelo este podría fallar y producir una inestabilidad en el sistema, en estos casos es preferible el uso de arriostres temporales internos, trabajando a presión, apoyándose en ambas caras (opuestas) del muro de tablestacas y distribuyendo los esfuerzos mediante una viga carrilera.



Figura 5.14: Colocación de los arriostres tubulares internos



- Mientras se continúa la excavación y se sigue descubriendo las tablestacas será necesario un trabajo conjunto continuo entre, pala mecánica, bomba externa para la disminución del agua subterránea, y el montaje de accesos para la mano de obra, como se puede ver en la Figura 5.15.



Figura 5.15: Vista de los trabajos en conjunto, pala mecánica, bomba externa, mano de obra

- En la zona terrestre se tiene 02 sub-sectores, como se explicó en la descripción del proyecto:
 - Sector con una excavación entre -7.00m y -11.00m y 10.00m de ancho

Aquí ya no es necesario colocar un segundo nivel de arriostres, el nivel freático se encuentra -2.2m por debajo del nivel de terreno y la presión es soportada perfectamente por las tablestacas, como se muestra en la Figura 5.16.



Figura 5.16: Sector 01 en zona terrestre, se ve el uso de un solo nivel de arriostre

- Sector con excavaciones entre – 10.00m y – 12.00m y 18.40m de ancho

En este sector si es necesaria la colocación de un segundo nivel de arriostres, como se observa en la Figura 5.17, ya que la presión que es transmitida a la tablestaca es mayor, la posición proyectada para este arrioste se puede ver en los planos adjuntos, bajo el mismo criterio de colocar vigas metálicas apoyadas en ménsulas de acero que sirven para repartir correctamente los esfuerzos transmitidos por los tubos metálicos.



Figura 5.17: Dos niveles de arriostres

- En la nivel inferior de la excavación, se hace un vaciado de una losa de concreto, como se puede observar en la Figura 5.18, que servirá como plataforma de apoyo para las tuberías que serán utilizadas por la termoeléctrica:



Figura 5.18: Vaciado de la losa de concreto

- Pero también se construyó una sub-estación térmica, entonces se realiza los dos trabajos a la par, como se muestra en la Figura 5.19:
 - Se procede a realizar el lanzamiento de la tubería:
 - Se procede a la construcción de la estructura de concreto.



Figura 5.19: Colocación de las tuberías y la construcción de estructura de concreto.

- Luego de ello se retiran las tablestacas para ser re-utilizadas en la zona marina.

Procedimiento constructivo zona marina: se describe el proceso constructivo seguido en la instalación de las tablestacas, que mantiene básicamente el mismo proceso que en la zona terrestre, en este punto se tiene que el ancho de la excavación será de aprox. 18.00m y obviamente la carga transmitida por el mar, hace que este proceso tenga que tener mayor cuidado.

- Se procede a instalar una estructura primaria de pilotes, que consta de pilotes laterales y una línea de pilotes centrales, estos pilotes irán unidos en su cabezal con vigas metálicas, buscando formar un esqueleto rígido para que las tablestacas puedan ser instaladas y rigidizadas siguiendo esta línea formada, como se puede ver en la Figura 5.20 y en los planos adjuntos.



Figura 5.20: Instalación de la línea de pilotes y las vigas



- Este sistema servirá también para soportar la carga de las grúas y de las tablestacas que se van colocando encima de la estructura para ser instaladas y así seguir avanzando dentro del océano Pacífico, la instalación de las tablestacas se hace similar a la de la zona terrestre: una grúa, una guía de dos niveles y un martillo vibrador, sellante en los conectores, como se muestra en la Figura 5.21, la longitud completa es de 340.00m.



Figura 5.21: Instalación de las tablestacas a todo lo largo de la estructura formada por pilotes y vigas

- Se sigue el procedimiento hasta llegar a la parte final de la longitud prevista (340.00m), donde se hará un cierre en punta para evitar un golpe frontal de las olas a la estructura de tablestacas como se muestra en la Figura 5.22, luego de ello, se procede a retirar el agua en su totalidad de los primeros 30m – 35m (final de la zona terrestre inicio de la zona marina), llegando a un nivel -7m, como se muestra en la Figura 5.23, para ellos se hizo un cierre intermedio, en la siguiente longitud se retira parte del agua (-1.50m) dentro de la estructura metálica, se lanza las tuberías que servirán a la termoeléctrica para recoger el agua fría y eliminar el agua restante.
- Luego de este proceso se hace el retiro completo de las tablestacas como se puede ver en la Figura 5.18.



Figura 5.22: Avance de la instalación de la tablestaca y cierre en diagonal en la parte final



Figura 5.23: Se retira el agua en los primeros 30m – 35m del interior de la estructura de tablestacas, nivel -7.00m

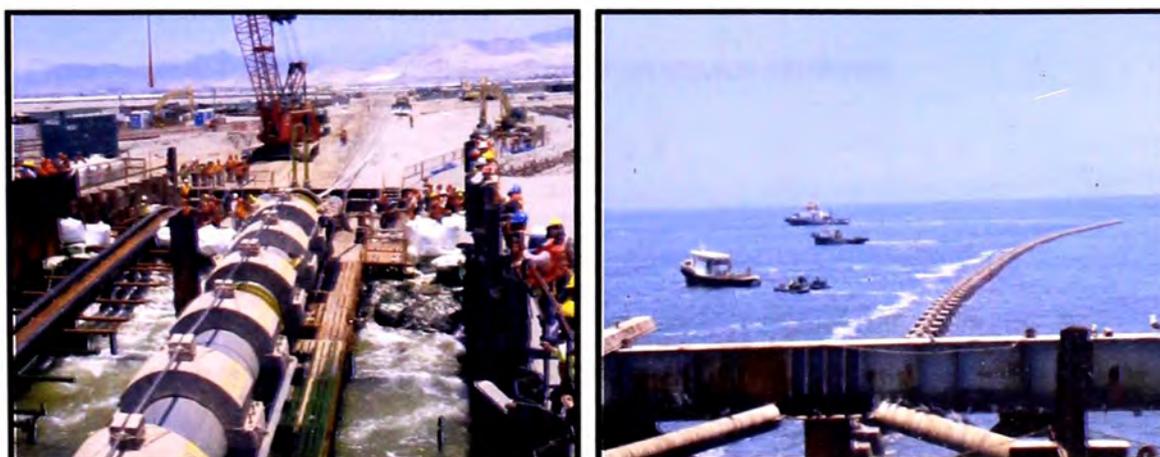


Figura 5.24: Lanzamiento de la tubería y el retiro de las tablestacas de la zona marina

5.4 TÚNEL DE CONGONHAS – SAO PAULO

En este proyecto se trabajó todo el proceso de instalación de las tablestacas, teniendo en cuenta para ello todos los factores externos y sobre todo: El afectar lo menos posible el tránsito continuo en la avenida principal (Vía de alto tránsito).

Datos para el diseño: esta información fue proporcionada por la empresa encargada del proyecto

- Nivel máximo de la pared en EL. +6.00m
- Nivel de la excavación EL. -0.50m (Diseño)
- Carga extra uniforme de 400 kN/m²
- Sobre carga de 20 Kn/m²
- Nivel Freático: +0.00m
- Se consideran las características del suelo siguiente:

Tabla 5.7: Datos del suelo del proyecto túnel de Congonhas

Soil characteristics	ϕ	$\delta_{a\phi}$	$\delta_{p\phi}$	γ	γ'	c	K_{ah}	K_{ph}
	[°]	[-]	[-]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[-]	[-]
SOIL1:	25.0	0.000	0.000	18.0	10.0	0.00	0.406	2.464
SOIL2:	22.5	0.333	-0.333	18.0	10.0	10.00	0.413	2.676

Fuente: Información entregada por la empresa

Proponemos: basados en experiencias de proyectos similares

Tipo de tablestaca: AU 14

Grado de acero: S 430 GP

Longitud de la tablestaca: 13.00m

Análisis de la estructura: basados en la información recibida

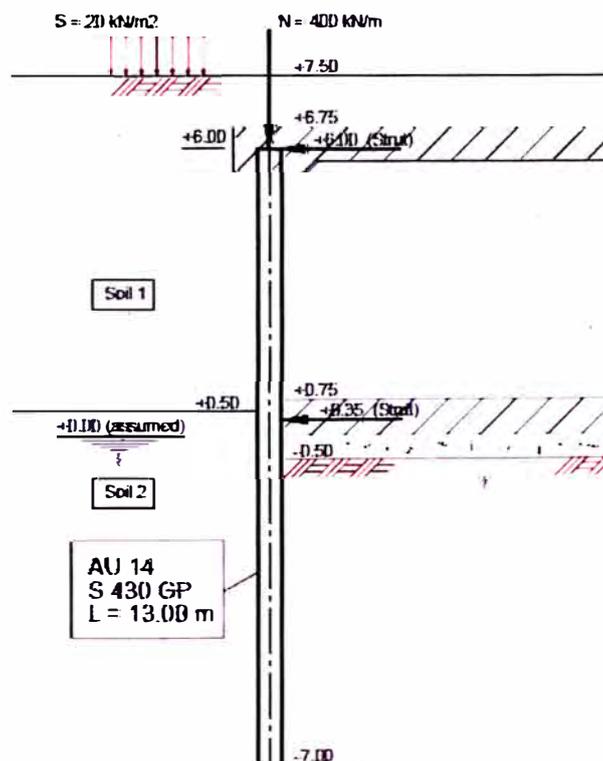
- Se propone el proceso constructivo "Top – Down", la losa de concreto superior debe estar instalado antes de comenzar las obras de excavación dentro de la estructura de tablestacas. Esta losa de concreto funciona

como soporte, para reducir las presiones horizontales del suelo en el muro de tablestacas, un pre-excavación será necesaria como se puede ver en la Figura 5.29,

- Proceso Top – Down: proceso constructivo estudiado y presentado por ArcelorMittal, que consiste en trabajar a la par las construcciones subterráneas y superficiales de una estructura sin depender que se termine primero las construcciones subterráneas, este método es aplicado para suelos sueltos, gravas, arenas, donde no haya presencia de cantos rodados, rocas grandes (4" – 6").
- Cualquier aumento de las presiones y cargas en la sección de tablestacas AU-14 conducirá a la inestabilidad en el caso normal.
- Se considerará una pérdida de espesor en 50 años, en la tablestaca debido a la corrosión, tomando en cuenta la norma europea EN 1993-5:2007 (tabla 5.4), asumiendo que la tablestaca no tendrá ningún tipo de protección o revestimiento contra la corrosión.
- Los cálculos se han realizado con el programa Rido 4.05 basado en un modelo elasto-plástico.

Estructura analizada:

Figura 5.25: Estructura de tablestaca analizada en túnel de Congonhas



Procedimiento constructivo: se describe un proceso resumido.

1. Se instala las tablestacas, haciendo una pre-excavación.
2. Colocación de la viga collarín y la losa de concreto superior
3. Se hace la excavación dentro de la estructura de tablestacas y se hace el vaciado de la losa inferior
4. El nivel del agua detrás del muro es +0.00m

Resultados del cálculo basados en el procedimiento constructivo: del análisis con el programa RIDO 4.02 se obtuvo

	Max. Moment M_{max} [kNm/m]	Strut Load $R_{ah,1}$ [kN/m]	Strut Load $R_{ah,2}$ [kN/m]	Deflection t_{max} [mm]
Step 1	1	/	/	1
Step 2	331	102	/	67
Step 3	328	135	58	68
Step 4	321	135	72	68

Tabla 5.8: Resultados utilizando el programa Rido 4.02

Selección de la sección: Esta información fue entregada por la empresa encargada del proyecto

- Tipo de tablestaca:
 - AU – 14 (Tablestaca tipo U con módulo de resistencia elástica: 1405cm³/cm)

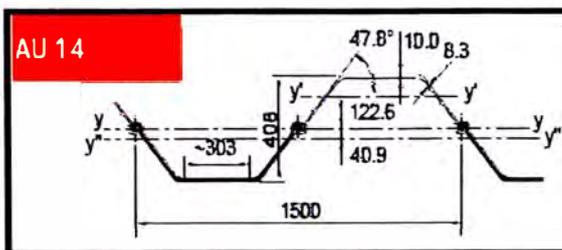


Figura 5.26: Detalles geométricos de la tablestaca tipo AU – 14 (medidas dadas en mm)

- Momento de Inercia: 28710 cm⁴/m
- Módulo de sección: 1410 cm³/m
- Área de la sección: 132 cm²/m
- Longitud: 13.00 m
- Grado del acero: S 430 GP (f_y = 430MPa)
- Momento máximo:
 - Caso normal: M_{max} = 331 kNm/m
- Carga vertical de las losas (supuesto):
 - Caso normal: N_{max} = 400 kN / m
- Deformaciones:
 - Caso normal: D_{max} = 68 mm

Verificación de la resistencia del acero:

$$\sigma_{\text{exis.}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} + \frac{N_{\text{max}} \times e}{W_x} + \frac{N_{\text{max}}}{A} \leq \sigma_{\text{allow.}} = \frac{f_y}{\gamma_m}$$

$$\sigma_{\text{exis.}} = \frac{328}{1410} \times 10^3 + \frac{400 \times 0.068}{1410} \times 10^3 + \frac{400}{132} \times 10 = \underline{282 \text{ N/mm}^2} < 430 / 1.5 = 287 \text{ N/mm}^2$$

Análisis de la instalación: basados en la información recibida

- De acuerdo a la información disponible acerca de las condiciones del suelo, la penetración de las tablestacas tendrá facilidades para penetrar los 12m necesarios, pero al ser la vía superior (encima del túnel) una vía de alto tránsito se recomienda usar una cajón de tablestaca "Boxpiles" para reducir la deflexión en la entrada y salida del túnel (mayor inercia), en la Figura 5.27 se puede ver las características geométricas y en la Figura 5.28 se puede ver el CAU 14 – 2 instalada:

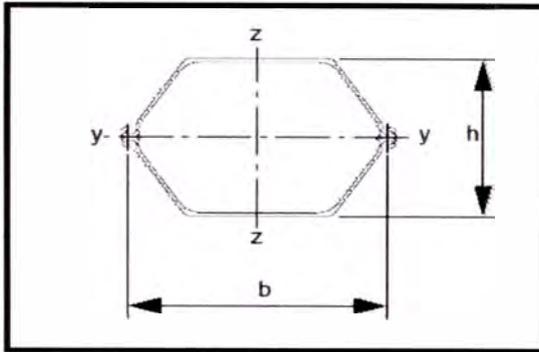


Figura 5.27: Cajón de tablestaca CAU 14 – 2

$h = 451\text{mm}$

$b = 750\text{mm}$

Los datos de este cajón CAU 14 – 2 son las siguientes:

- Momento de inercia en y-y: 54400 cm⁴/m
- Momento de inercia z-z: 12149 cm⁴/m
- Módulo de resistencia elástica y-y: 2415 cm³/m
- Módulo de resistencia elástica z-z: 3095 cm³/m



Figura 5.28: Cajón de tablestaca CAU 14 – 2 instalada en campo

- Se recomienda para la instalación:
 - Una grúa para izar las tablestacas.
 - Un martillo vibrador para instalación de las tablestacas.
 - Una guía de instalación de 01 nivel
 - Uso de sellantes en los conectores facilitar el resbalamiento de las tablestacas durante la instalación.

Procedimiento constructivo en campo:

- En campo se inicia los trabajos en la parte lateral de la vía vehicular.
- Se instala las tablestacas a todo lo largo del túnel en ambas caras, en este caso se hizo respetando los horarios para no afectar el tráfico, como se puede ver en la Figura 5.29.

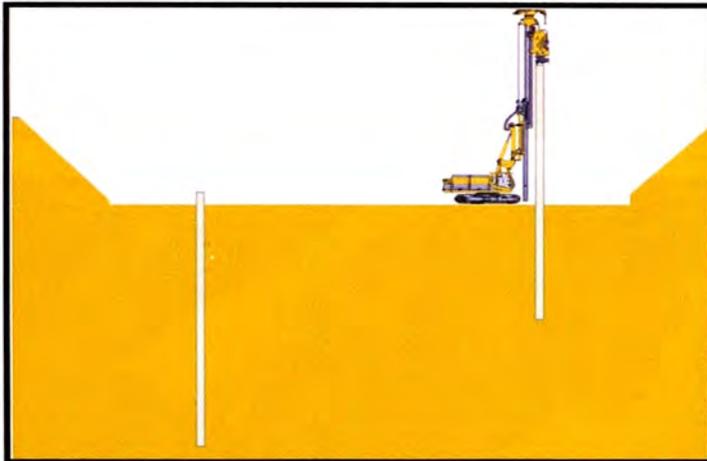


Figura 5.29: Instalación de las tablestacas utilizando el método de izaje e hincado



- Luego de ello se excavó para poder hacer el vaciado de una viga collarín – carrilera, como se ve en la Figura 5.30, esta viga será la que transmitirá la carga homogéneamente de la losa (pista) hacia las tablestacas, en este proyecto las tablestacas trabajaran de dos maneras:
 - Como muro de contención, soporte de esfuerzos horizontales.
 - Como soporte de cargas verticales, la losa superior (pista) del túnel.

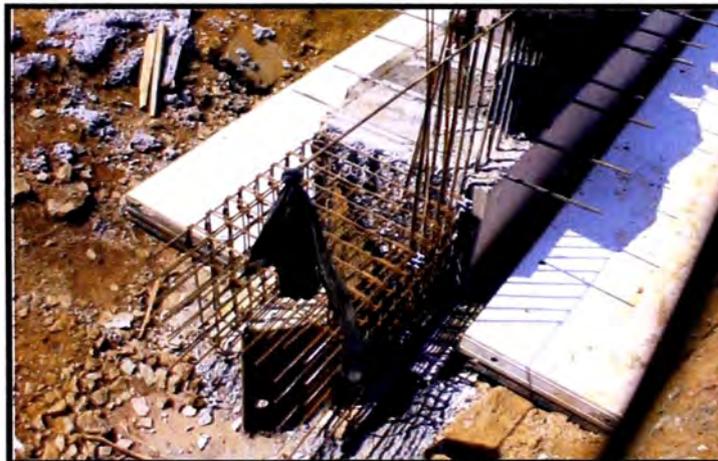
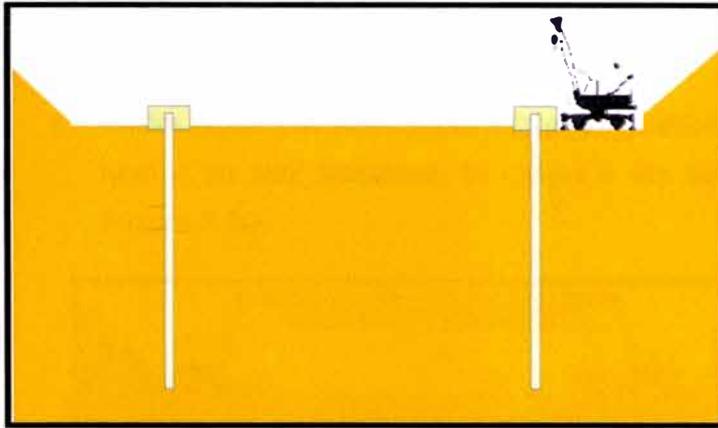


Figura 5.30: Vaciado de las vigas collarín – carrileras para transmitir las cargas al muro de tablestacas.

- Las vigas pre – fabricadas de concreto, son parte importante de este proceso constructivo ya que será la que forme la losa superior del túnel, en la Figura 5.31 se puede ver las vigas en obra.



Figura 5.31: Vigas pre-fabricadas para la construcción de la losa superior del túnel

- La idea es que la unión de estas vigas pre-fabricadas den como resultado una losa que servirá de pista vehicular.
- Estas vigas pre-fabricadas serán colocadas apoyadas en la viga collarín que a su vez transmiten la carga a las tablestacas, como se ve en la Figura 5.32.

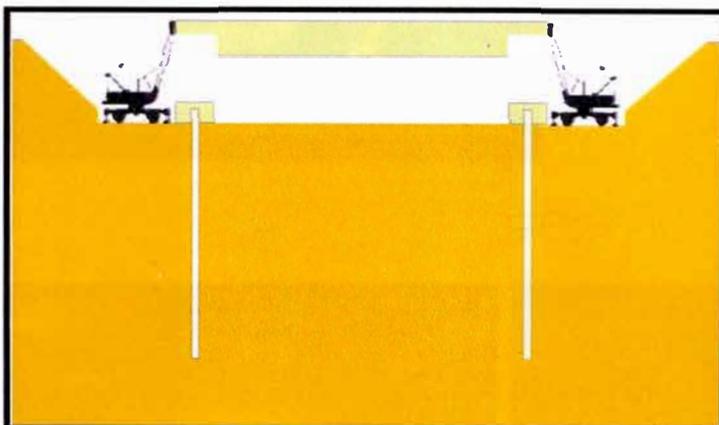


Figura 5.32: Colocación de las vigas pre-fabricas



- Debajo de esta losa se procede a excavar, como se puede observar en la Figura 5.33, hasta llegar a la profundidad del diseño, y se sigue con los trabajos sin detener el tráfico vehicular.
- Se hace el vaciado de la losa inferior del túnel, se hace los acabados como, el pintado de las paredes de tablestacas, acondicionamiento de luminarias, entre otros, como se puede ver en la Figura 5.34.
- Se pone en funcionamiento el Túnel.



Figura 5.33: Excavación por debajo de la losa superior del túnel.



Figura 5.34: Vaciado de la losa inferior del túnel y trabajos de acabados para poner en funcionamiento el túnel.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES:

- Un análisis correcto de la zona de trabajo referido al tipo de suelo (estratigrafía), facilidades de acceso, etc. permitirán una correcta instalación del sistema de tablestacas, pudiendo mejorar los rendimientos, al decidir convenientemente que tipo de martillo utilizar y que tipo de arriostres serían necesarios.
- Un muro de tablestacas puede trabajar de dos maneras a la vez: como muro de contención (soporte de cargas horizontales) y como soportes de cargas verticales.
- Es posible el uso del tablestacado en suelos donde es muy complicado utilizar un sistema constructivo convencional, basados en las experiencias descritas en el Capítulo V.
- En suelos de menor capacidad portantes es posible tener un mayor rendimiento y mayor seguridad en comparación con un proceso constructivo convencional, cuando se trata excavaciones profundas como en proyectos de estacionamientos subterráneos, colocación de tuberías, pasos a desnivel, entre otros.
- La tablestaca al ser un producto fabricado en hornos eléctricos, usando chatarra (material reciclable) para su producción, cumple con los requisitos solicitados para que forme parte de las nuevas “edificaciones verdes”, entonces se podría utilizar en los estacionamientos subterráneos de estas edificaciones, bajo el criterio de que las tablestacas pueden trabajar de dos maneras en una misma vez, contención y soporte vertical.
- Es posible utilizar las tablestacas para trabajos viales como lo describí en el capítulo V, siendo esta una alternativa muy beneficiosa ya que disminuye la repercusión en este tipo de proyectos, no cerrando las vías, sino más bien, manteniendo el continuo tránsito.
- Se puede conseguir una mayor rapidez en la construcción de estructuras donde se tenga trabajos subterráneos y superficiales, si es que es posible,

basados en la información del tipo de suelo, seguir los pasos del proceso Top – Down.

6.2 RECOMENDACIONES:

Puntos importantes a tomarse en cuenta para el uso del sistema de tablestacas son:

- Se tiene que hacer un correcto estudio de suelos, donde se pueda obtener los resultados del SPT, estratigrafía, etc., ya que de esto dependerá la correcta selección de la tablestaca, el martillo a utilizar e inclusive se puede obtener un rendimiento aprox. de la instalación de las tablestacas.
- Se tiene que tomar en cuenta con qué tipo de terreno estará en contacto la tablestaca (tipo de suelo, agua dulce, agua salada, etc.) ya que esto servirá para la selección del tipo de acero para la fabricación de la tablestaca.
- Es importante hacer un correcto diseño, donde se tome en cuenta todos los elementos involucrados en el proyecto, no valores referenciales, sino valores específicos, ya que la correcta instalación va de la mano de la correcta selección de la tablestaca.
- Si se decide trabajar con tablestacas un estacionamiento subterráneo, es recomendable que se haga un análisis sobre la protección contra – incendios, y la resistencia de la tablestaca a esta situación.
- Al ser Perú un país donde no existen, hasta ahora, productores de tablestacas, es recomendable considerar el tiempo que demora la fabricación e importación de este material dentro del cronograma de ejecución del proyecto, debiendo tener un tiempo de aprox. 70 días.
- Si bien en este informe se explica criterios, sistemas, correcciones generales, para la correcta instalación de las tablestacas, es necesario analizar cada instalación de manera particular, ya que como todo método aplicado a la Ingeniería civil, se tiene variaciones y/o algunas especificaciones adicionales.

BIBLIOGRAFÍA:

1. ARCELORMITTAL. Brochure general de soluciones de acero para fundaciones, tablestacas metálicas. 2012 – Luxemburgo.
2. ARCELORMITTAL. Installation of sheet piles. 2008 – Luxemburgo.
3. ARCELORMITTAL. Manual técnico del uso de tablestacas en estacionamientos subterráneos. 2006 – Luxemburgo.
4. ARCELORMITTAL / SKYLINESTEEL. Manual técnico de sistemas de fundaciones de acero. 2010 – Estados Unidos.
5. ARCELOR RPS. Piling Handbook. 2005 – Luxemburgo.
6. COLLING, G. Cálculo práctico de pantallas de tablestacas, ARBED. 1992 – Luxemburgo.
7. HOESCH STAHL AG. Manual de cálculo de tablestacas, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 1991 – España.
8. Norma técnica europea EN 10248
9. Norma técnica europea EN 12063

ANEXOS:

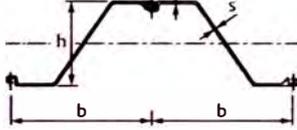
1. Resumen de ficha técnica de tablestacas ArcelorMittal.
2. Aceros de alta resistencia HISTAR® - ArcelorMittal.



Perfiles Z

Tablestacas de Acero | 2013

ArcelorMittal



	Anchura	Altura	Espesor		Masa		Momento de inercia	Módulo resistente elástico
	b mm	h mm	t mm	s mm	perfil individual kg/m	pantalla kg/m ²		
AZ-700 & AZ-770								
AZ 12-770	770	344	8,5	8,5	72,6	94,3	21 430	1 245
AZ 13-770	770	344	9,0	9,0	76,1	98,8	22 360	1 300
AZ 14-770	770	345	9,5	9,5	79,5	103,2	23 300	1 355
AZ 14-770-10/10	770	345	10,0	10,0	82,9	107,7	24 240	1 405
AZ 12-700	700	314	8,5	8,5	67,7	96,7	18 880	1 205
AZ 13-700	700	315	9,5	9,5	74,0	105,7	20 540	1 305
AZ 13-700-10/10	700	316	10,0	10,0	77,2	110,2	21 370	1 355
AZ 14-700	700	316	10,5	10,5	80,3	114,7	22 190	1 405
AZ 17-700	700	420	8,5	8,5	73,1	104,4	36 230	1 730
AZ 18-700	700	420	9,0	9,0	76,5	109,3	37 800	1 800
AZ 19-700	700	421	9,5	9,5	80,0	114,3	39 380	1 870
AZ 20-700	700	421	10,0	10,0	83,5	119,3	40 960	1 945
AZ 24-700	700	459	11,2	11,2	95,7	136,7	55 820	2 430
AZ 26-700	700	460	12,2	12,2	102,9	146,9	59 720	2 600
AZ 28-700	700	461	13,2	13,2	110,0	157,2	63 620	2 760
AZ 36-700N	700	499	15,0	11,2	118,6	169,5	89 610	3 590
AZ 38-700N	700	500	16,0	12,2	126,4	180,6	94 840	3 795
AZ 40-700N	700	501	17,0	13,2	134,2	191,7	100 080	3 995
AZ 42-700N	700	499	18,0	14,0	142,1	203,1	104 930	4 205
AZ 44-700N	700	500	19,0	15,0	149,9	214,2	110 150	4 405
AZ 46-700N	700	501	20,0	16,0	157,7	225,3	115 370	4 605
AZ								
AZ 18	630	380	9,5	9,5	74,4	118,1	34 200	1 800
AZ 18-10/10	630	381	10,0	10,0	77,8	123,4	35 540	1 870
AZ 26	630	427	13,0	12,2	97,8	155,2	55 510	2 600
AZ 46	580	481	18,0	14,0	132,6	228,6	110 450	4 595
AZ 48	580	482	19,0	15,0	139,6	240,6	115 670	4 800
AZ 50	580	483	20,0	16,0	146,7	252,9	121 060	5 015

Steel Foundation Solutions for Projects

ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.
 Sheet Piling
 66, rue de Luxembourg
 L-4221 Esch sur Alzette | Luxembourg

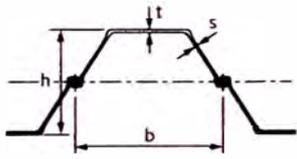
T (+352) 5313 3105
F (+352) 5313 3290
 sheetpiling@arcelormittal.com
 www.arcelormittal.com/sheetpiling



Perfiles U

Tablestacas de Acero | 2013

ArcelorMittal



	Anchura b mm	Altura h mm	Espesor		Masa		Momento de inercia cm ⁴ /m	Módulo resistente elástico cm ³ /m
			t mm	s mm	perfil invidual kg/m	pantalla kg/m ²		
AU								
AU 14	750	408	10,0	8,3	77,9	103,8	28 680	1 405
AU 16	750	411	11,5	9,3	86,3	115,0	32 850	1 600
AU 18	750	441	10,5	9,1	88,5	118,0	39 300	1 780
AU 20	750	444	12,0	10,0	96,9	129,2	44 440	2 000
AU 23	750	447	13,0	9,5	102,1	136,1	50 700	2 270
AU 25	750	450	14,5	10,2	110,4	147,2	56 240	2 500
PU								
PU 12	600	360	9,8	9,0	66,1	110,1	21 600	1 200
PU 12-10/10	600	360	10,0	10,0	69,6	116,0	22 580	1 255
PU 18 ⁻¹	600	430	10,2	8,4	72,6	121,0	35 950	1 670
PU 18	600	430	11,2	9,0	76,9	128,2	38 650	1 800
PU 18 ⁺¹	600	430	12,2	9,5	81,1	135,2	41 320	1 920
PU 22 ⁻¹	600	450	11,1	9,0	81,9	136,5	46 380	2 060
PU 22	600	450	12,1	9,5	86,1	143,6	49 460	2 200
PU 22 ⁺¹	600	450	13,1	10,0	90,4	150,7	52 510	2 335
PU 28 ⁻¹	600	452	14,2	9,7	97,4	162,3	60 580	2 680
PU 28	600	454	15,2	10,1	101,8	169,6	64 460	2 840
PU 28 ⁺¹	600	456	16,2	10,5	106,2	177,1	68 380	3 000
PU 32	600	452	19,5	11,0	114,1	190,2	72 320	3 200
GU								
GU 6N	600	309	6,0	6,0	41,9	69,9	9 670	625
GU 7N	600	310	6,5	6,4	44,1	73,5	10 450	675
GU 7S	600	311	7,2	6,9	46,3	77,1	11 540	740
GU 8N	600	312	7,5	7,1	48,5	80,9	12 010	770
GU 8S	600	313	8,0	7,5	50,8	84,6	12 800	820
GU 13N	600	418	9,0	7,4	59,9	99,8	26 590	1 270
GU 14N	600	420	10,0	8,0	64,3	107,1	29 410	1 400
GU 15N	600	422	11,0	8,6	68,7	114,5	32 260	1 530
GU 16N	600	430	10,2	8,4	72,6	121,0	35 950	1 670
GU 18N	600	430	11,2	9,0	76,9	128,2	38 650	1 800
GU 20N	600	430	12,2	9,5	81,1	135,2	41 320	1 920
GU 16-400	400	290	12,7	9,4	62,0	154,9	22 580	1 560
GU 18-400	400	292	15,0	9,7	69,3	173,3	26 090	1 785

Steel Foundation Solutions for Projects

ACEROS DE ALTA RESISTENCIA HISTAR[®] – ARCELORMITTAL

Fabián Mejía Pinto ¹; Edurne Núñez Moreno ²; Omar Quenaya ³

¹ArcelorMittal Commercial Sections, fabian.mejiapinto@arcelormittal.com

²ArcelorMittal Basque Country Research Centre, edurne.nunez@arcelormittal.com

³ArcelorMittal Projects, omar.quenaya@arcelormittal.com

1. RESUMEN

Los aceros HISTAR se han desarrollado como respuesta a una necesidad de la industria de la construcción de utilizar materiales más rentables, menos contaminantes y más ligeros. Gracias al tratamiento térmico de templado y auto-revenido, los aceros HISTAR alcanzan límites elásticos iguales o superiores a los aceros estructurales convencionales, con un carbono equivalente inferior. De esta forma se consiguen unas propiedades beneficiosas para la construcción, tales como la ductilidad y la soldabilidad que resultan en una reducción de los costes de fabricación. El aumento de la resistencia permite utilizar perfiles más ligeros, que por su parte conllevan una reducción del coste del propio acero así como una reducción de las emisiones de CO₂.

2. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha evolucionado de manera importante en las últimas décadas a nivel global. Por una parte la tendencia a construir edificios cada vez más altos, con demandas cada vez mayores, y por otra la necesidad de considerar la sostenibilidad como factor decisivo en las soluciones elegidas, ha obligado a la industria siderúrgica a adaptarse y a desarrollar aceros que sean capaces de proporcionar productos que satisfagan dichos requisitos.

3. DESARROLLO Y RESULTADOS

Con el desarrollo de los aceros HISTAR, ARCELORMITTAL ha logrado crear aceros en los que se combinan un alto límite elástico, una excelente tenacidad a bajas temperaturas y una destacada soldabilidad, propiedades mecánicas que hasta ahora eran consideradas incompatibles.

Este desarrollo ha sido posible gracias al innovador proceso de tratamiento térmico “en línea” de templado y de auto-revenido (*Quenching and Self-Tempering – QST*), desarrollado por ARCELORMITTAL en colaboración con el *Centre de Recherches Métallurgiques* (Centro de Investigaciones Metalúrgicas) de Lieja, Bélgica.

Los perfiles H laminados en caliente en calidad HISTAR permiten la construcción de estructuras innovadoras y competitivas, explotando al máximo las excelentes propiedades de los aceros HISTAR en columnas de edificios de gran altura, celosías de gran luz y estructuras *offshore*. Los nuevos aceros se adaptan especialmente a las estructuras en las que las limitaciones constituyen el criterio de dimensionamiento y en las zonas sísmicas. Con los aceros HISTAR, ARCELORMITTAL cubre las necesidades de los proyectistas reduciendo de forma significativa el peso y el coste de la estructura, respetando a la vez las exigencias de seguridad y desarrollo sostenible.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS HISTAR[®]

Los aceros HISTAR corresponden a calidades de acero estructural de baja aleación, en los que se combina de forma óptima una alta resistencia, una buena ductilidad y una excelente soldabilidad y se han desarrollado con límites elásticos de 355 MPa y de 460 MPa.

En comparación con los aceros estructurales estándar, las calidades HISTAR presentan características mecánicas mejoradas en toda la gama de espesores (ver Figura 2), con una ductilidad garantizada a 0° C, a -20° C o hasta -50° C.

Los aceros HISTAR se laminan termomecánicamente, conforme a la Aprobación Técnica Europea ETA-10/0156^[1] y a las especificaciones de las normas europeas EN 10025-4:2004^[2] sobre aceros estructurales de grano fino soldables (S355M/ML, S460M/ML) y EN 10225:2009^[3] sobre aceros estructurales soldables para estructuras *offshore* fijas. Asimismo, estos materiales cumplen los requisitos de las normas americana ASTM A 913-11^[4] (Gr.50[345MPa], Gr.65[450MPa], Gr.70 [485 MPa]) y japonesa JIS G 3106:2008^[5]. Los aceros HISTAR son compatibles con los requisitos de los Eurocódigos para el diseño de estructuras metálicas y mixtas de acero/concreto y también con los requisitos de especificación para edificios en acero estructural (ANSI-AISC 360-10) del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC).

3.1.1 Composición química y propiedades mecánicas

En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se presentan la composición química y propiedades mecánicas de las calidades HISTAR para la construcción metálica.

Tabla 1. Composición química de los aceros HISTAR®^[6]

	Análisis de colada [%] ^[4]													CEV ^[1] máx			
	C máx	Mn máx	Si ^[3] máx	P máx	S máx	Al ^[2] mín	Cr ≤	Ni ≤	Mo ≤	Nb máx	Ti máx	V máx	Espesor nominal [mm]				
	t ≤ 63	63 < t ≤ 82	82 < t ≤ 125	125 < t ≤ 140													
HISTAR 355	0.12	1.60	0.50	0.035	0.030	0.02	0.30	0.30	0.20	0.05	0.05	0.10	0.39	0.39	0.39	0.39 ^[5]	
HISTAR 355 L	0.12	1.60	0.50	0.030	0.025	0.02	0.30	0.30	0.20	0.05	0.05	0.10	0.39	0.39	0.39 ^[5]	-	
HISTAR 460	0.12	1.70	0.60	0.035	0.030	0.02	0.30	0.70	0.20	0.05	0.05	0.12	0.41	0.43	0.43	0.43 ^[5]	
HISTAR 460 L	0.12	1.70	0.60	0.030	0.025	0.02	0.30	0.70	0.20	0.05	0.05	0.12	0.41	0.43	0.43 ^[5]	-	

^[1] CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15

^[2] El requisito sobre el contenido mínimo de aluminio no se aplica si existen elementos fijadores del nitrógeno en cantidad suficiente.

^[3] Previo acuerdo Si: 0.14 – 0.25% y P ≤ 0.035% máximo para permitir la formación de una capa de zinc en el proceso de galvanización en caliente.

^[4] Los elementos químicos no presentes en la tabla están limitados según las disposiciones de la ETA-10/0156.

^[5] Previo acuerdo. No está incluido en ETA-10/0156.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los aceros HISTAR®^[6]

Calidades	Ensayo de tracción					Ensayo de choque Charpy con probeta entallada en V ^[1]	
	Limite elástico mínimo Re [MPa]			Resistencia a la tracción Rm	Alargamiento mínimo A	Temperatura	Energía mínima absorbida
	Espesor nominal [mm]						
	t ≤ 82	82 < t ≤ 125	125 < t ≤ 140				
HISTAR 355	355	355	355 ^[2]	470-630	22	-20	40
HISTAR 355 L	355	355 ^[2]	-	470-630	22	-20	47
						-50	27
HISTAR 460	460	450	450 ^[2]	540-720	17	-20	40
HISTAR 460 L	460	450 ^[2]	-	540-720	17	-20	47
						-50	27

^[1] Valor medio de tres ensayos en probetas sin reducir, sin que ninguno de sus valores sea inferior al 70 % del valor medio garantizado. Son aplicables las especificaciones de la norma EN 10025:2004.

^[2] Previo acuerdo. No está incluido en ETA-10/0156

3.2 FABRICACIÓN Y USO DE LOS ACEROS HISTAR®

Los procesos de fabricación, soldadura y tratamiento térmico de los aceros HISTAR no requieren condiciones especiales y permiten obtener un resultado exitoso sin complicaciones.

3.2.1 Mecanizado

Los perfiles HISTAR se mecanizan en las mismas condiciones que los aceros estructurales con resistencia última a la tracción similar, produciendo un desgaste de la herramienta durante el taladrado y corte de perfiles similar al que se produce con perfiles estructurales con resistencias últimas a la tracción de la misma magnitud.

3.2.2 Oxicorte

El procedimiento de corte de los perfiles de las calidades HISTAR 355/460 es idéntico al aplicado a aceros estructurales con valores similares de la resistencia última a la tracción. No es necesario realizar un calentamiento previo en procesos de oxicorte cuando éste se lleva a cabo a una temperatura superior a los 0° C.

3.2.3 Soldadura y temperatura de precalentamiento

La soldabilidad de los aceros HISTAR es excelente, tanto en procesos automáticos como manuales, siempre que se respeten las normas generales de soldadura. Los procesos de soldadura por arco como la soldadura con electrodo revestido (SMAW) (también conocida como soldadura manual (MMA)), la soldadura bajo protección gaseosa (MIG/MAG), la soldadura con alambre tubular autoprotegido (FCAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW) son procesos usados satisfactoriamente con este tipo de aceros.

El proceso de soldadura permite unir entre sí aceros de calidades HISTAR 355 y 460 y aceros de calidad estructural convencional. En estos casos, el procedimiento de soldadura utilizado deberá tener en cuenta las condiciones requeridas para la soldadura de calidad convencional.

La temperatura de precalentamiento para evitar la formación de grietas en frío, equivale a la temperatura más baja antes de comenzar la primera pasada y por debajo de la cual la zona de soldadura no descenderá durante el proceso de soldadura.

Gracias al bajo nivel de carbono equivalente de los aceros HISTAR, no es necesario realizar un calentamiento preliminar (ver Figura 1) siempre que:

- Haya un aporte térmico entre 10 y 60 kJ/cm
- La temperatura del producto sea superior a los 0°C
- Los electrodos sean de bajo contenido de hidrógeno y de bajo carbono equivalente.

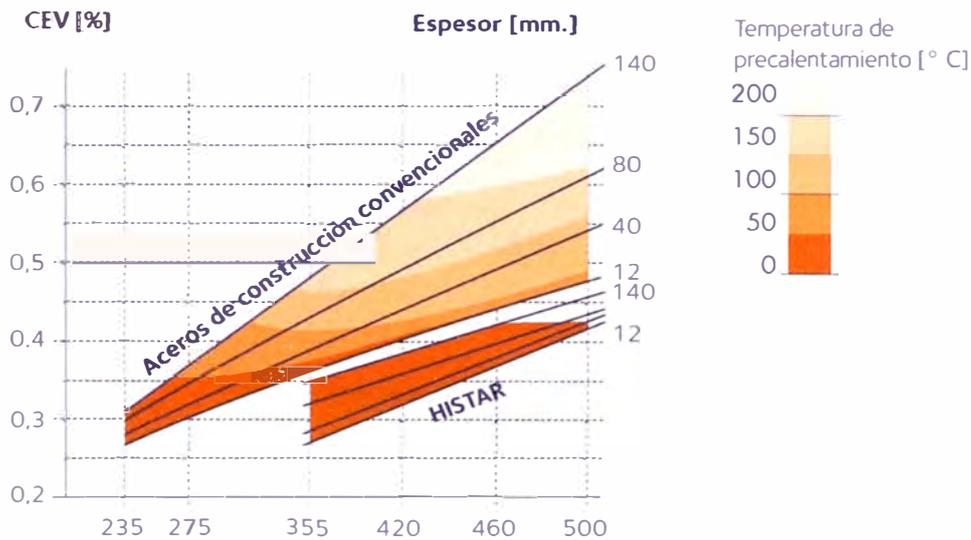


Figura 1. Temperaturas de precalentamiento para aceros estructurales convencionales y aceros HISTAR en función del CEV, del espesor y del límite elástico (según la norma EN 1011-2:2001/método A)

A partir de las recomendaciones de la norma EN 1011-2:2001 y de los resultados de las pruebas específicas realizadas a las calidades HISTAR 355 y 460, se ha concluido que no es necesario realizar precalentamiento en toda la gama de espesores siempre y cuando los valores de aporte térmico sean al menos de 10 kJ/cm y el contenido de hidrógeno difusible del metal depositado sea inferior a 10 ml/100 g en HISTAR 355 e inferior a 5 ml/100 g en HISTAR 460.

Se pueden soldar los productos de calidad HISTAR 460 con consumibles cuyos niveles de hidrógeno estén entre 5 y 10 ml/100 g, proporcionando un ligero precalentamiento para perfiles de gran espesor cuando la aportación térmica sea baja.

Para aplicaciones especiales se puede optar por aplicar un procedimiento de precalentamiento más conservador. En cualquier caso, el precalentamiento no perjudica la calidad de los aceros HISTAR si el tiempo de enfriamiento de 800°C a 500°C es menor de 25 segundos. Esta condición se cumple cuando se utiliza el aporte energético y la temperatura de precalentamiento habituales.

Si la superficie del perfil está húmeda, antes de realizar la soldadura se recomienda secar la superficie en la zona del surco.

3.3 REDUCCIÓN DE PESO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO MEDIANTE EL USO DE ACEROS HISTAR®

Debido al proceso de fabricación de temple y auto-revenido (QST), los aceros HISTAR se distinguen de la norma EN 10025-4:2004 por cumplir requisitos más severos. La aprobación técnica europea ETA-10/0156 para las calidades de acero HISTAR determina el límite elástico mínimo ReH y la resistencia última a la tracción mínima, que para espesores mayores de 16 mm, HISTAR son mayores que los especificados en la norma EN 10025-4 (Figura 2).

La Figura 4 muestra la influencia de la esbeltez en la capacidad de carga de columnas fabricadas con acero convencional y con acero HISTAR.

Para longitudes de pandeo cortas, la diferencia entre la capacidad de carga de columnas fabricadas con acero convencional y con acero HISTAR es máxima, lo que conlleva a los máximos ahorros de peso de las columnas. En el ejemplo de la Figura 4 vemos que para una longitud de diseño convencional de 4.3 metros, la carga de rotura es 42% mayor en una columna en HISTAR 460 respecto a una en S355.

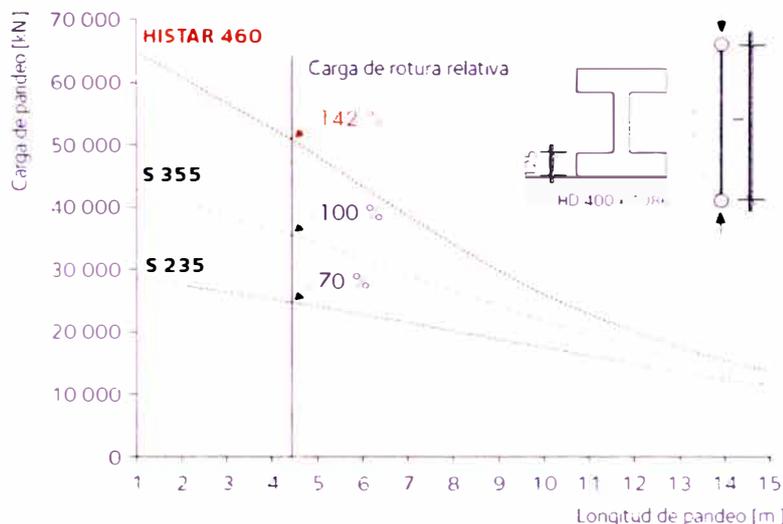


Figura 4. Carga de rotura para una columna HD 400 x 1086, con longitud efectiva de 4.3 m

3.4 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE GRACIAS A LOS ACEROS DE ALTA RESISTENCIA^{[8],[9]}

Desde que el diseño de edificios empezó a tomar en cuenta la sostenibilidad como factor importante al lado de la arquitectura y el diseño, el acero está aun más en la mira de inversionistas, constructoras y de todas las entidades que participan en la construcción. Cuando se evalúa la sostenibilidad de un edificio, es necesario llevar a cabo un análisis de ciclo de vida, tomando en cuenta todas las fases de la vida del edificio, incluyendo materiales de producción, fabricación, transporte al lugar de construcción, la ejecución de la construcción, el uso funcional del edificio, la demolición o deconstrucción y el fin de la vida.

Si ya los aceros modernos son calificados como materiales de construcción sostenibles, los aceros HISTAR, producidos en horno eléctrico, consumen un 5% menos de energía y tienen un 35% menos de potencial de calentamiento global que el promedio de los aceros producidos en Alemania.

Los aceros HISTAR contribuyen a una gran reducción de gases de efecto invernadero, gracias a la posibilidad de utilizar estructuras más ligeras con huella de carbono reducida. Utilizar acero HISTAR en lugar de acero común logra reducciones de CO₂ del 30% aproximadamente en columnas y del 20% aproximadamente en vigas.

Las 50.000 toneladas de acero HISTAR producidas cada año en promedio por ArcelorMittal representan un ahorro de aproximadamente 14.000 toneladas de CO₂, lo que equivale aproximadamente a las emisiones anuales de 4.000 vehículos.

Un ejemplo del uso de los aceros HISTAR es la torre El diamante de Estambul, Turquía, (Figura 5) donde los ahorros en emisiones de CO₂ para la construcción de la estructura son del 25% respecto a una estructura en S235.



Figura 5. Torre El Diamante en Estambul, Turquía, cuya construcción con acero HISTAR permitió una reducción de las emisiones de CO₂ del 25% respecto al acero convencional S235

3.5 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LOS ACEROS MODERNOS EN EDIFICIOS

3.5.1 Barcelona, España^[10]

Las ventajas de la aplicación de los aceros de alta resistencia HISTAR pueden ser perfectamente demostradas en dos edificios similares en Barcelona, España. Ambos edificios de 40 plantas tienen el mismo concepto estructural, dimensiones similares y un entramado de columnas comparable. Como resultado, las cargas de las columnas derivadas de las cargas permanentes y de las cargas variables son comparables en ambos edificios (ver Figura 6).

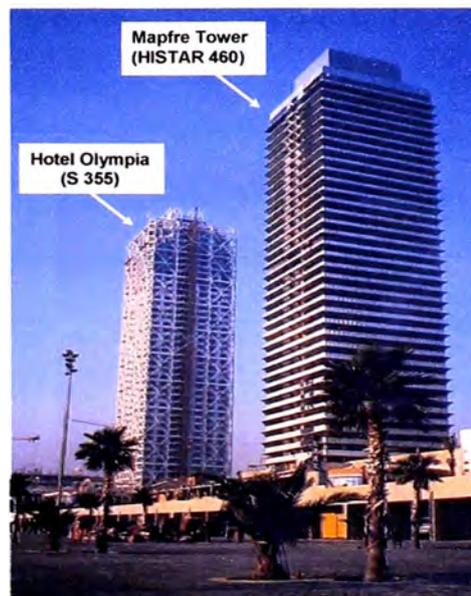


Figura 6. Comparativa de dos edificios similares en Barcelona en los que se pueden apreciar claramente las ventajas del uso de los aceros HISTAR

Mientras que la estructura metálica del primer edificio se construyó con acero de calidad S355, la estructura del segundo edificio se construyó con acero HISTAR 460. El resultado es significativo:

las columnas más cargadas, con longitudes de pandeo de 3–4 m, en la parte inferior del edificio, son un 28% más ligeras en el edificio construido con acero HISTAR 460 que en el edificio construido con acero convencional S355.

Considerando el edificio en su totalidad, se consiguió una reducción de un 24% en el edificio construido con HISTAR 460 respecto al edificio de acero convencional S355 (Figura 7)

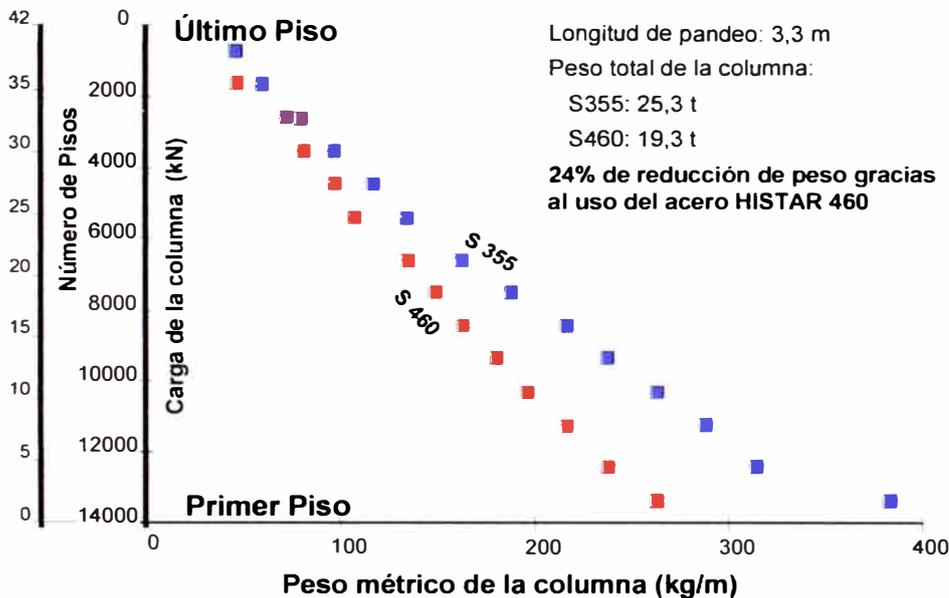


Figura 7. Diagrama comparativo de dos edificios similares en Barcelona en los que se pueden apreciar claramente las ventajas del uso de los aceros HISTAR

3.5.2 Jersey City, USA

Este edificio de 32 pisos está diseñado con un entramado de columnas de 9m x 9m y 9m x 15m. La altura de cada piso es de 4 m (ver Figura 8).

Inicialmente la estructura metálica fue diseñada en calidad de acero de grado 50 (S355). Seguidamente, se hizo un estudio de diseño de la estructura en calidad de acero grado 65 (S460). El resultado fue significativo: Cada columna fue reducida en promedio 2 perfiles en la gama W14 (ver Tabla 3). Después de este estudio, el edificio se construyó en grado 65, ahorrando así el 17% del peso respecto al diseño inicial.



Figura 8 Edificio en Jersey City, USA, construido con acero de alto límite elástico

Tabla 3 Reducción de peso en los perfiles gracias a la utilización de acero de alto límite elástico

Grade 50	A913 – Grade 65	Grade 50	A913 – Grade 65
W14 × 730	W14 × 665	W14 × 283	W14 × 233
W14 × 665	W14 × 605	W14 × 257	W14 × 211
W14 × 605	W14 × 500	W14 × 233	W14 × 193
W14 × 550	W14 × 426	W14 × 211	W14 × 176
W14 × 500	W14 × 398	W14 × 193	W14 × 159
W14 × 455	W14 × 398	W14 × 176	W14 × 145
W14 × 426	W14 × 370	W14 × 159	W14 × 132
W14 × 398	W14 × 342	W14 × 145	W14 × 120
W14 × 370	W14 × 342	W14 × 132	W14 × 109
W14 × 342	W14 × 283	W14 × 120	W14 × 99
W14 × 311	W14 × 257	W14 × 109	-

3.6 LAMINACIÓN DE PERFILES HISTAR

La laminación de perfiles con aceros HISTAR en sus dos calidades, HISTAR 355 y HISTAR 460, se lleva a cabo en las secciones que se dan en la Tabla 4 y en la Tabla 5.

Tabla 4 Laminación del perfiles en acero HISTAR 355 y HISTAR 460 – perfiles disponibles

Perfiles Americanos	Perfiles Europeos			Perfiles Británicos
W14 x 90 – 132*	IPE 600 / IPE O 600	HE 600 x 337 / 399	HL 920 x 344 – 1377*	UB 610 x 125 – 238
W14 x 145 – 873*	IPE 750 x 173 - 196	HE 650 A / B / M	HL 1000 AA / A / B / M	UB 686 x 152 – 170
W24 x 84 – 370	HE 300 A / B / M	HE 650 x 343 / 407	HL 1000 x 443 – 748	UB 762 x 173 – 197
W27 x 102 – 129	HE 320 A / B / M	HE 700 A / B / M	HL 1100 A / B / M / R	UB 838 x 194 – 226
W30 x 108 – 148	HE 340 A / B / M	HE 700 x 352 / 418	HD 260 x 114 – 172	UB 914 x 224 - 576
W33 x 130 – 169	HE 360 A / B / M	HE 800 A / B / M	HD 320 x 96.7 - 300	UB 1016 x 249 -584
W36 x 150 – 387*	HE 400 A / B / M	HE 800 x 373 / 444	HD 360 x 134 - 196	UC 305 x 97 – 283
W36 x 231 – 925*	HE 450 A / B / M	HE 900 A / B / M	HD 400 x 187 – 1299*	UC 356 x 129 – 1299*
W40 x 167 – 392	HE 500 A / B / M	HE 900 x 391 / 466	HP 305 x 110 – 223	UBP 254 x 85
W40 x 199 – 655	HE 550 A / B / M	HE 1000 A / B / M	HP 320 x 103 – 184	UBP 305 x 110 – 223
W44 x 230 – 335	HE 600 A / B / M	HE 1000 x 249 - 584	HP 360 x 133 - 180	UBP 356 x 133 - 174
			HP 400 x 140 - 231	

* Secciones más comunes

Tabla 5 Laminación del perfiles en acero HISTAR 355 y HISTAR 460 – perfiles bajo pedido

Perfiles Americanos	Perfiles Europeos	Perfiles Británicos
W10 x 49 – 112	HE 260 M	UC 254 x 73 – 167
W12 x 65 – 230	HE 280 M	
	IPE 550 / IPE O 550	

4. CONCLUSIONES

- Los perfiles en calidad de acero HISTAR aventajan económicamente y técnicamente a los perfiles en calidad de acero convencional cuando estos son solicitados en compresión, tracción o flexión.
- Los perfiles ensamblados, complicados y costosos, pueden ser reemplazados por perfiles económicos laminados en caliente. La reducción de peso conseguida con los aceros HISTAR en comparación con los aceros convencionales conduce a reducir costes de material, acabado y montaje.
- En comparación con los aceros estructurales convencionales, las calidades HISTAR, de alta resistencia, permiten reducir el peso y el coste de las columnas de las estructuras, así como el volumen de soldadura y el tiempo de montaje.
- En el caso de vigas sometidas a flexión, el uso de perfiles fabricados en las calidades HISTAR permite reducir la sección transversal y el coste de fabricación.

5. REFERENCIAS

-
- [1] European Technical Approval ETA-10/0156: Thermomechanically hot-rolled long steel products
European Organisation for Technical Approvals. 7 July 2010.
 - [2] EN 10025-4:2004 Hot rolled products of structural steels - Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels
CEN, 2004
 - [3] EN 10225:2009 Weldable structural steels for fixed offshore structures - Technical delivery conditions
CEN, 2009
 - [4] A913/A913M – 11: Standard specification for High-Strength Low-Alloy Steel Shapes of Structural Quality, Produced by Quenching and Self-Tempering Process (QST)
ASTM. EEUU.
 - [5] JIS G 3106:2008: Japanese Standard for Rolled steels for welded structures
JAPAN.
 - [6] HISTAR® Aceros innovadores de alta resistencia para estructuras económicas en acero
ArcelorMittal, Long Carbon Europe, Sections and Merchant Bars
 - [7] ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings
American Institute of Steel Construction. 2010
 - [8] New Structural Concepts in High-Rise Building
O. Hechler and M. Braun. International Conference of the HTTBT (High rise Towers and Tall Buildings), Munich, Germany, April 2010.
 - [9] Sustainable steel sections Solutions
O. Vassart; G. Axmann and L.G. Cajot. International Symposium "Steel Structures: Culture & Sustainability 2010" Estambul, Turquía. Artículo N° 45. Septiembre 2010.
 - [10] The right choice of steel – according to the Eurocode
O. Hechler; G. Axmann and B. Donnay. Symposium use of steel materials in buildings and construction, Hong Kong Institute of Steel Construction, Hong Kong, China, Junio 2009.