

EL EMBARCADERO EN HUELVA DEL FERROCARRIL DE RIO TINTO

THOMAS GIBSON

Assoc. Inst. C.E.

ROCÍO BUADES RENGEL (Traducción)

La propiedad minera de piritas, hierro y cobre de Río Tinto, con la extensión de 5,000 acres ingleses aproximadamente, fue comprada al Gobierno Español por una sociedad de capitalistas, y fue transferida por ellos a una compañía ahora designada como Río Tinto Company (Limited) en 1873. Está situada a unas 50 millas del puerto marítimo de Huelva, que está aproximadamente a 12 millas de la barra del Río Odiel en Andalucía. Para ofrecer un medio de transporte suficiente y económico, se construyó una sola línea de ferrocarril de 3 pies y 6 pulgadas de ancho, teniendo pendiente uniformemente favorable hacia el puerto. Las minas fueron explotadas por los romanos y después por el Gobierno Español; y durante 1877 la producción de mineral fue de 750,000 toneladas.

Puesto que no había puerto o instalaciones de muelle para el embarque, el comercio se desarrollaba anteriormente entre las naves y la playa mediante barcas y otras embarcaciones pequeñas - un tipo de embarcación sólo adecuada para una pequeña exportación de mineral. Las orillas del río son escasamente de dos pies por encima de la pleamar. El sustrato está formado por arcilla blanda azul de más de 80 pies de espesor, que se extiende también hacia el lecho del río. Después de un cuidadoso estudio de la formación natural del puerto, la profundidad del agua, la bajamar y la pleamar, y la naturaleza del sustrato, se resolvió que los medios más efectivos de proporcionar un modo más económico de embarcar los minerales sería construir un muelle sobre pilotes de barrena. Para obtener una profundidad de agua suficiente con marea baja, el muelle se extendía considerablemente hacia el río, pero incluso ahora la cabeza del muelle apenas se introduce en el canal.

En la preparación del proyecto, se aprovecharon los métodos en uso para la carga de minerales en la mayoría de los grandes puertos de embarque en Inglaterra, especialmente aquéllos adoptados por el Sr. Harrison, el anterior presidente, Inst. C.E., en los muelles del Tyne.

La cuestión a considerar era, si llevar el nivel de la calzada del muelle a una altura comparativamente pequeña sobre la línea de pleamar, llevando los vagones hacia los barcos a ese nivel y luego usar la hidráulica o alguna otra energía para elevar cada vagón y echar su contenido dentro de la bodega del barco; o bien construir el muelle sobre una pendiente ascendente, para que los vagones pudieran ser empujados por una locomotora, y la descarga del mineral se efectuara por gravedad. Se decidió adoptar el último plan, aunque el muelle necesariamente costara más dinero construido de esta manera. Una ventaja lograda con este sistema fue una cubierta más baja para el tráfico ordinario del puerto.

El muelle podía haber tenido una cabeza en forma de T, y los vagones habrían girado sobre plataformas cuando llegaran a la altura de los barcos; pero esto habría acarreado más trabajo en la manipulación de los vagones, y habría sido un proceso más lento. El muelle, así pues, se ha construido de manera que los vagones son conducidos directamente hacia los conductos, y no requiere manipulación después de dejar la máquina. Para cargar el mineral, el punto más alto se fijaba a 32 pies 6 pulgadas sobre la marea viva ordinaria, y el muelle se llevó a tal profundidad de agua que las naves podían cargarse a todas horas. Una nave ligera puede comenzar a cargarse en lo más alto de la marea, y la operación puede continuarse cuando la marea está en su punto más bajo.

La principal dificultad de la ingeniería era la pésima calidad de los cimientos, que resultó ser peor de lo que al principio se esperaba. Teniendo que transportar prácticamente dos líneas de ferrocarril, una sobre la otra, había que sostener una carga mayor que si el muelle hubiera hecho simplemente el trabajo de las minas. Se descubrió que un área suficiente de base no podría conseguirse sólo mediante pilotes de barrena, sin correr con grandes gastos. Se decidió por tanto, proporcionar una superficie adicional de sostén introduciendo plataformas de madera que descansaban sobre el lecho del río y que iban fijadas a los pilotes.

El acceso desde la estación al muelle está sobre un terraplén de 750 pies de largo (Lámina 8); para la distancia restante de 744 pies, siendo incapaz el terreno de man-

tener un terraplén, éste se construye sobre armazones de caballete, dispuestos por pares, en los cuales se disponen soportes longitudinales cubiertos con tablas en cruz; éstos sostienen los raíles y todo ello se mantiene con plataformas compuestas de traviesas de ferrocarril.

En una longitud de 600 pies el muelle discurre dentro del río hacia el oeste; a una longitud de 775 pies se curva hacia el sur con un radio de 600 pies, para disponer paralelamente la cabeza del muelle y la cubierta de los barcos con el flujo de las mareas, y la longitud restante de 525 pies es recta. Las líneas radiales conectando la posición curva con las dos porciones rectas forman un ángulo de 70°. La longitud total del muelle entre los centros del primer pilote de barrena y el último es de 1,900 pies. Esta distancia nace de los 29 tramos de 50 pies cada uno, y treinta grupos de pilotes de barrena y columnas hechos de hierro fundido, con 15 pies de centro a centro de las columnas. Una ventaja en la estructura de pilotes de barrena es la pequeña superficie expuesta al flujo y reflujo de la marea, o al golpe de una ola, lo que ofrece grandes facilidades para hacer una estructura rígida. Mediante el sistema de riostras y tirantes introducidos, no hay apenas vibración. La pequeña resistencia ofrecida por los pilotes a la marea no produce cambios en el lecho del río, y no hay posibilidad de acumulación de arena en los distintos canales. La velocidad de la corriente mareal varía desde 1 nudo a 3 ¼ nudos a la hora en las proximidades del muelle.

La cabeza del muelle, en cuyo costado están los barcos atracados, se protege con el embarcadero, que es bastante independiente del pilotaje de hierro fundido, y se compone de defensas de madera Memel roja, pintada con creosota, soportadas por pilotes de madera Memel pintada con creosota, soportes en cruz y travesaños. El frente del embarcadero frente a cada conducto está cubierto con madera de 12 por 6 pulgadas en una distancia de 50 pies, estando el resto protegido por defensas verticales a intervalos de 3 pies de centro a centro. El embarcadero está en una profundidad de 15 pies de agua en marea baja. La diferencia entre mareas vivas altas y bajas es aproximadamente de 12 pies y 6 pulgadas.

El muelle consiste en tres diferentes niveles o plantas, sobre las que hay dispuestas 7 líneas de raíles. En la planta primera o más baja, en una distancia de 925 pies desde el final de la costa, se dispone una sola línea de raíles; luego se extiende a tres líneas que continúan hasta la cabeza del muelle. Éste sólo se usa para el tráfico ordinario del metal.

En el segundo piso, las dos líneas de raíles tienen una pendiente continua descendente desde la cabeza del muelle hasta el final de la playa, en cuyo punto se curvan y forman un empalme con la línea central que lleva a la estación.

En el tercer piso, desde la cabeza del muelle con una distancia de 1,120 pies, dos líneas de raíles se extienden en pendientes opuestas. La distancia restante se dispone en una sola línea sobre una pendiente descendente hacia la estación.

El muelle se construyó sobre pilotes de barrena y columnas de hierro fundido, unidas con puntales de hierro forjado, soportes, y varillas de tirante. Los pilotes están dispuestos en grupos de ocho, v. gr. , dos filas de cuatro en cada fila. Al final de la costa se distancian transversalmente en 7 pies 6 pulgadas, 12 pies, y 7 pies 6 pulgadas respectivamente (Lámina 9, fig. 4), y longitudinalmente están distanciados 15 pies de centro a centro. En la zona de agua más profunda (fig. 3), los pilotes están todos separados transversalmente a 12 pies, y longitudinalmente a 15 pies de centro a centro.

Los pilotes de barrena de hierro fundido que forman la base del muelle tienen un diámetro de 16 pulgadas, y $1\frac{1}{4}$ de pulgadas de grueso. Sus longitudes están dispuestas para adecuarse a las respectivas profundidades a las que están introducidos en el terreno. En el extremo inferior del fuste del pilote, un tornillo-pala de 5 pies de diámetro, con un grado de inclinación de 6 pulgadas, está sujeto por dos pernos. Un collar se ajusta en el clavo del tornillo-pala (Lámina 9, Figs. 5 y 6), para que todas las presiones se transmitan a través del collar del fuste del pilote hasta los tornillos-pala. Los tornillos fueron fundidos separadamente de los pilotes por conveniencia del transporte desde Inglaterra hasta España. En el caso de que cualquiera de los pilotes estuviese fuera de posición durante la operación de fijarlos, una junta radial de 4 pies de radio se dispondría en la superficie del terreno al final de la playa, y en la zona más profunda del agua al nivel de la marea baja para ajustar el extremo superior de los pilotes. Después de ser ajustados la junta era perfectamente fijada con cemento de hierro.

Los pilotes fueron atornillados a las siguientes profundidades debajo de la superficie del fondo: desde la 3ª a la fila 18ª inclusive, 15 pies; de la 19ª a la 26ª fila, 28 pies 9 pulgadas; de la 27ª a la 32ª, 32 pies; de la 33ª a la 50ª, 31 pies 6 pulgadas; y desde la 51ª a la fila 62ª inclusive, 32 pies. Para bajarlos, se atornilló un astil a la cabeza del pilote, sobre el que se fijó la cabeza de un cabestrante y se le colocaron ocho brazos que

variaban en longitud desde 8 a 15 pies, y movidos al final de la playa por dieciséis hombres, aunque en la zona más profunda del agua lo hicieron desde cuarenta y cinco hasta ciento diez hombres. Los pilotes al final de la playa fueron fijados desde dos pórticos móviles, uno delante del otro. Los pórticos fueron bastamente contruidos con madera, y puestos sobre ruedas de la manera usual. El suelo de madera, sobre el que los hombres trabajaban, fue suspendido en las cuatro esquinas por cadenas, funcionando con diferentes bloques de poleas para ajustarlo a la altura requerida para atornillar los pilotes; aguilonos de guía fueron fijados a los antepechos laterales de cada pórtico cerca del suelo con el propósito de mantener los pilotes en su lugar. Se dispusieron dos vigas en cruz en el suelo del marco del pórtico colocando dos tablas a través de ellas, respondiendo al propósito del aguilon de guía superior.

Los pilotes en la zona de agua más profunda del muelle se fijaron desde un andamiaje de madera, consistente en seis pilotes de madera clavados en el terreno, que permanecía 2 pies sobre el nivel de la marea alta. Los pilotes fueron puestos tres en una fila con un cabestrante a través de ellos, sobre los que diez soportes longitudinales fueron dispuestos para soportar el suelo. El andamiaje se endureció con travesaños en cruz y diagonales laterales. En algunas ocasiones fue necesario construir estos niveles con dos plantas, la de arriba a 3 pies aproximadamente sobre la pleamar, y la segunda planta al nivel medio de la marea, aproximadamente a 8 pies bajo el piso superior. El objeto de este arreglo era traer dos cabezas de cabestrante y dos grupos de hombres para trabajar simultáneamente en un eje. Los aguilonos guía en los que los pilotes se ajustaban se fijaron cerca del nivel de la bajamar y también en la planta más alta del andamiaje. Los pilotes de barrena se levantaban desde barcazas mediante una grúa que se hacía flotar sobre una balsa de madera. Habiendo sido unidos y atornillados en la longitud adecuada, eran elevados por una cadena unida al reborde superior mediante pernos y suspendidos a la polea desde el eje de la grúa, para que los pilotes colgaran verticalmente antes de ser puestos en el lugar que tenían que ocupar en los aguilonos guía. Al final de la playa los pilotes eran colocados por un cabestrante sobre un travesaño encima del marco del pórtico y directamente sobre la posición en que tenían que ser situados.

Desde la 3ª a la 32ª fila el material que formaba el lecho del río oponía poca resistencia a los pilotes. Los tornillos-pala, excepto en unos pocos ejemplos, bajaban el pilote en cada giro unas seis pulgadas. Mientras pasaba a través de una capa de conchas de berberechos el pilote no avanzaba más de 4 ½ a 5 pulgadas en una vuelta, pero en

algunos casos cerca de la playa el pilote bajaba de 8 a 9 pulgadas en una rotación y continuaba haciéndolo a una distancia de 5 a 6 pies bajo la superficie, donde los estratos estaban más consolidados. Sesenta y dos pilotes se fijaron al final de la playa entre el 31 de Julio y el 28 de Septiembre de 1874, cuando la obra se paró durante tres meses y medio, tiempo en el que se hicieron pruebas para conocer el peso que podía ser soportado por los pilotes de barrena y las plataformas por separado y conjuntamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran en el Apéndice. El trabajo se reanudó en Enero de 1875, y los restantes cincuenta y ocho pilotes desde la fila treinta y dos se terminaron de colocar el 16 de abril de 1875. Desde esta fecha hasta el 7 de Diciembre de 1875, los pilotes desde la fila 33 a la 62, ciento veinte en total, fueron colocados. Así pues el tiempo empleado en situar los doscientos cuarenta pilotes de barrena, que representan 6,452 pies lineales de obra, fue sólo de treinta meses, siendo la proporción como sigue:

	Pies lineales
Final de la playa, desde la 3ª a la fila 32	2,648
Zona de mayor profundidad, desde la fila 33 a la 62	3,804
	<hr style="border-top: 1px solid black;"/>
Cantidad total de atornillaje	6,452
	<hr style="border-top: 1px solid black;"/>

El fondo en la zona más profunda cambió gradualmente de un blando barro azul a una mezcla de arena y arcilla, variando en grosor de 18 pulgadas a 20 pies, bajo los cuales reaparecía el flojo barro azul. He aquí por qué un número creciente de hombres fueron necesarios en esta parte del trabajo. Como fue necesario limpiar el interior de cada pilote de la fila 41 a la 62, y eliminar la arena en que estaban siendo atornillados. Esto se hacía introduciendo agua por dentro de los pilotes; aunque también se intentaron otros sistemas. El autor tiene la opinión de que la máquina más efectiva para este propósito es la bomba de arena y conchas, accionada por una cuerda sobre un bloque como el látigo de una desmotadora de algodón, durante el tiempo en que el pilote está girando. De esta manera se elimina todo lo que está en el interior del pilote, que es lo que da lugar a que el fondo y el filo cortante del tornillo "hiervan" por efecto de la concha. La columna de agua que sale del pilote libera el eje y los tornillos-pala de la fricción resultante favorecida por la compresión del fondo durante la operación de atornillado.

En la orilla de la playa donde apoya el muelle el terreno fue probado con repetidos ensayos, siendo incapaz de soportar más de 700 libras por pie cuadrado; así pues, puesto que la superficie de carga no podía obtenerse en el área de un tornillo, se

adoptó el siguiente método como más rápido y eficaz para obtener la capacidad necesaria para soportar la carga.

Plataformas compuestas de vigas de madera de 12 pulgadas cuadradas fueron colocadas alrededor de cada grupo de pilotes transversalmente al eje central del muelle y dispuestas para amortiguar la unión bajo los principales antepechos de soporte, y en el centro entre dos de ellos. Los antepechos principales descansaban sobre el suelo de la plataforma, consistente en ocho vigas dispuestas longitudinalmente una a cada lado de los pilotes de barrena. Los suelos del andén se hicieron en la playa en tres piezas distintas, luego fueron puestos a flote con la marea alta, y ajustados alrededor de los pilotes; después los antepechos de soporte fueron colocados sobre ellos y atornillados al suelo. Las plataformas fueron cargadas con un peso mayor del que tendrían que soportar los pilotes cuando el muelle estuviera terminado. Para la prueba de carga se hizo una conexión entre las plataformas y los pilotes con discos de hierro fundido; dispuestos para afianzar los respectivos pilotes bajo un collar fundido especialmente en el fuste del pilote para descansar sobre el disco. De esta manera la carga sobre el muelle se transmite a través de columnas, pilotes y discos, hasta el área de soporte de la plataforma, dando así la resistencia necesaria para soportar la carga. En la orilla de la playa se apilaron para ser pesados lingotes de hierro en una cuna formada por 8 vigas de madera sostenidas a través de los antepechos de soporte principales, hasta que la carga requerida de 300 toneladas por plataforma fue completada.

Antes de hundir las plataformas en la zona de agua más profunda, se dispusieron ocho vigas de madera a través de los principales antepechos de soporte, hasta que la altura de la cuna fue de 2 a 3 pies sobre el nivel de la bajamar. Las plataformas se hundieron mediante escombros y guijarros, en marea muerta, cuidando de mantenerlas en posición horizontal. La carga de 500 toneladas consistente en vías y lingotes de hierro se puso sobre las cunas. Al probarlas, dos plataformas estaban siempre funcionando al mismo tiempo, seis cunas de madera, 4 grupos de raíles, y 2 lotes de hierro en lingotes, se emplearon para este propósito. Para mantener las respectivas cargas moviéndose hacia delante sistemáticamente se adoptó el siguiente plan. Asumiendo que toda la carga estaría sobre la plataforma A, la segunda cuna con el segundo grupo de raíles equivalente a un tercio de la carga, estaría en la plataforma B; cuando la plataforma A cesaba de hundirse, el hierro en lingotes se pasaba de A a B, completando así la carga en la B. La tercera cuna fue puesta entonces sobre la plataforma C, y los raíles transferidos de A a C.

Los detalles de la profundidad a la que cada plataforma se hundió se dan en el Apéndice. Por lo general cada plataforma se hundió poco más o menos 1 pie bajo la carga aplicada, aunque poco por debajo del agua, pero desde aproximadamente las filas 21 a la 26, se registró un incremento de 1,11 pies; en las filas 21 y 22 a 3,89 pies; y en las filas de la 23 a la 26 tanto como 5,40 pies. Éstos, sin embargo, fueron casos excepcionales. En la orilla de la playa, antes de que las plataformas se colocaran en su posición, el barro de la superficie se eliminó hasta una profundidad aproximada de 3 pies y el hueco se rellenó con escombros y gravilla, pero en la zona más profunda de agua ésto no fue necesario.

Cuando las plataformas cargadas dejaron de hundirse, y antes de que cualquier cantidad de la carga se quitara, se hizo bajar a un buzo para insertar calzos entre los collares del pilote y los antepechos principales de soporte en las plataformas, para impedir su subida (Fig. 8). La parte de hierro en lingotes de la carga se quitó entonces, y se le hizo volver al buzo para fijar los discos. Cuando el espacio entre los principales antepechos de soporte y el collar en el pilote fue mayor que la anchura del disco, el buzo acuñó el disco a la altura del collar, tras la cual el espacio exacto entre la superficie inferior del disco y el antepecho de soporte se midió, y se encajaron a propósito con dos piezas de madera. Cuando el espacio fue menor de 16, pulgadas los discos tuvieron que fundirse con un collar de soporte mostrado en las figuras 7 y 8.

La lámina 9 y la fig. 4, muestran la altura máxima de la estructura del muelle en la playa. La figura 3 representa la altura máxima de la estructura en la zona más profunda de agua.

El peso en un intercolumnio de la estructura y la carga que tenía que ser soportada por cada pilote son como sigue:

FINAL DE LA PLAYA	Quintales
Peso total de la estructura en un intercolumnio	2,400
Peso total de carga móvil en las cuatro líneas a 15 quintales por pie lineal (intercolumnio de 65 pies lineales)	3,900
	<hr style="border: 0.5px solid black;"/>
Peso total en un intercolumnio	6,300

Distribuyendo este peso entre los ocho pilotes se encontrará que el peso máximo en cada pilote es de $787 \frac{1}{2}$ quintales.

En la zona de mayor profundidad los resultados son los siguientes:

	Quintales
Peso total de la estructura en un intercolumnio	3,800
Peso total de carga móvil en siete líneas a 15 quintales por pie lineal (intercolumnio de 65 pies lineales)	<u>6,825</u>
Peso total en un intercolumnio	<u><u>10,625</u></u>

Este peso dividido entre los ocho pilotes da $1328 \frac{1}{4}$ quintales como máxima carga en cada pilote.

Las plataformas al final de la playa están dispuestas y las soportan un área de 864 pies cuadrados; a los que se añaden 157 pies cuadrados para los tornillos-pala, con lo que se obtiene un total de 1,021 pies cuadrados. En el lugar de mayor profundidad el área de las plataformas es 1,500 pies cuadrados, que, con la de los tornillos pala, da un área de soporte igual a 1,657 pies cuadrados. Las áreas combinadas de las plataformas y los tornillos-palas, con las cargas que se les requiere que soporten, son respectivamente de 691 libras por pie cuadrado en las plataformas de la playa y 718 libras por pie cuadrado para las plataformas en la zona de más profundidad. La carga aplicada para probar las plataformas era equivalente a 778 libras por pie cuadrado en las plataformas del final de la playa, y 747 libras en las plataformas de agua profunda. Teniendo en cuenta que antes de fijar las plataformas los pilotes soportaban la superestructura, las plataformas se cargaron con aproximadamente un tercio más de la carga que se les requería soportar. La carga calculada por pie cuadrado es ligeramente exagerada, teniendo en cuenta el peso real del material rodante y la manera en la que el transporte funciona. Las locomotoras que pesan aproximadamente diecisiete toneladas trabajan exclusivamente en el tráfico del muelle; los trenes cargados pasan a lo largo de las líneas centrales, y los vagones vacíos vuelven por gravedad por las dos líneas externas de la segunda planta hacia la playa, donde se convierten de nuevo en trenes. En la cabeza del muelle, cinco de las siete líneas pueden cubrirse excepcionalmente de trenes cargados; pero incluso entonces la carga rodante máxima, tomando como base el cálculo anterior, nunca será alcanzada.

Las columnas que descansan sobre los pilotes de barrena miden 15 pulgadas de diámetro, y una pulgada de grueso de metal, sobre la cual se funden casquetes y bases de viga en niveles para adaptar las diferentes pendientes. Estos pilotes y columnas tienen una separación de 15 pies de centro a centro, y están hechas en tramos con collarines externos. Los collarines están revestidos, unidos, y asegurados con pernos, formando una extensión continua de fustes desde los tornillos-pala hasta el casquete de la columna. Con este procedimiento se consigue una gran facilidad para erigir la superestructura, puesto que el trabajo puede ejecutarse independientemente de las plantas respectivas.

Los pilotes y las columnas que constituyen un intercolumnio se apuntalan y refuerzan juntas con vigas longitudinales y en cruz. También se apuntalan y mantienen horizontales y transversalmente con hierros acnalados y laminados. La riostra diagonal se efectúa con varillas de lazo de $1\frac{1}{4}$ a $1\frac{3}{4}$ de pulgadas de diámetro. Se usan también puntales diagonales de hierro angular. Grupos de pilotes, separados 50 pies, forman una serie de muelles, o contrafuertes de pilotes, sobre los que se levantan las vigas de celosía de hierro forjado que soportan las respectivas plantas construidas, y atornilladas a los casquetes de metal.

Las vigas maestras de celosía situadas sobre las aberturas de 15 y de 50 pies tienen 4 pies de anchura. En el último piso están fijadas en el centro de los casquetes al final de las chapas de las vigas de puntales en cruz. Estos finales de chapa forman una eclisa, con la anchura completa de las vigas longitudinales en cada lado de las columnas, uniendo así las vigas longitudinalmente. Los agujeros en las chapas laterales se hacen ovales, para permitir la expansión y la contracción. En el centro de las arcadas de 50 pies, una chapa de soporte en cruz con rodillas de hierro en forma de T se clavan a la parte superior de los aguilonos de las vigas principales, por esa razón se traban transversalmente en sus centros (figs. 10 y 11).

Las vigas maestras del segundo piso también tienen 4 pies de ancho. Están atornilladas a los casquetes por pernos de $1\frac{1}{4}$ pulgadas, y unidas longitudinalmente por tornillos de 1 pulgada; también están sujetas y mantenidas sobre los casquetes, desde el centro de las columnas, por una armadura de ángulos de hierro. En el centro de las vigas de 50 pies en esta planta, hay una doble riostra, consistente en una celosía de estructura rectangular compuesta por ángulos de hierros y barras planas, con hierros angulares verticales y horizontales a intervalos de 12 pies. Donde el segundo y el tercer piso corren

cerca del mismo nivel, las vigas maestras se unen mediante simples marcos de hierro, puntales, y rodillas, hechos con ángulos de hierro en forma de T.

Las vigas maestras del tercer piso miden de manera uniforme 4 pies de ancho, y están unidas con marcos simples de hierro angular. Están remachados en la parte superior e inferior de los aguilonos de las vigas maestras a intervalos de 10 a 15 pies; esto es, a los casquetes de las columnas, y a las tres intermedias. Los soportes horizontales, o vientos, son remachados a la parte inferior de los aguilonos del fondo de las vigas maestras del primer y tercer piso a lo largo de todo el muelle. Las vigas del primer y tercer piso se colocaron en primer lugar, en las columnas del centro, luego las dos vigas externas del primer piso, tras lo cual se pusieron las vigas del segundo piso. Las chapas, ángulos y verticales de hierro en T, y rejas de las que están hechas las vigas maestras, fueron taladradas y perforadas con una plantilla en Inglaterra, y enviadas a Huelva, donde se apilaron en la playa. Cuando fue necesario que se colocaran las vigas, se hicieron flotar desde la playa mediante una balsa dispuesta con patines para que las vigas estuvieran amarradas sobre ella, y a lo largo de la balsa de la grúa. Después las vigas eran alzadas por el centro y situadas en su lugar por la grúa. El montaje de las vigas comenzó en enero de 1875, y se completó en enero de 1876.

La calzada del primer piso se apoya en soportes en cruz de pino de tea de 11 pulgadas cuadradas, clavados a dos hierros angulares verticales formando un hueco de 18 pulgadas sobre el aguilon de la base de la viga maestra; en los soportes en cruz, que miden 5 pies de centro a centro, se disponen los soportes de raíles longitudinales de 12 pulgadas de ancho y 9 de profundidad. La tablazón que forma el suelo también se dispone longitudinalmente en cada lado de los soportes de raíl, y es clavada a los soportes en cruz. El suelo entre los soportes de raíl se cubre con balasto de aproximadamente 3 pulgadas de grueso. El segundo piso se dispone sobre ménsulas de 5 pies de largo por 12 pulgadas cuadradas, que descansan y están atornilladas a una sola viga maestra, sobre la que están sujetos los soportes en cruz, los soportes de raíl longitudinales, y combina la carga atornillada a los soportes en cruz. Los espacios intermedios se rellenan con tablaje de 3 pulgadas dispuesto longitudinalmente para formar el suelo. La tercera planta se compone de repisas de 12 pulgadas cuadradas, descansan y se atornilladas a las vigas. Sobre estas ménsulas cruzan los travesaños en que se apoyan los soportes de raíl longitudinales, distribuyendo la carga, y el tablaje. El espacio entre los soportes de raíl en esta planta también se cubre con balasto. Los soportes principales, travesaños, etc., en las respectivas plantas están

hechos con madera de pino de tea, el tablaje es de madera roja pintada con creosota. Las plantas segunda y tercera están hechas para el funcionamiento de los trenes mineros, y para el embarque de mineral desde el muelle.

Para el funcionamiento del tráfico los vagones son empujados por una locomotora hacia una pendiente ascendente de 1 por 75 desde la estación hasta la cumbre del muelle (Lámina 8). Desde allí descienden por gravedad a lo largo de una pendiente de 1 por 200 a sus respectivos lugares de parada. Allí los trenes son divididos en grupos de tres vagones, y son pasados a pendientes que caen 1 por 100 y 1 por 132, donde adquieren suficiente velocidad para tomar la pendiente opuesta ascendente de 1 por 30 al final del muelle. Habiendo cruzado los cambios de vías entre las pendientes descendentes y ascendentes, los cambios de vías se invierten, y los vagones regresan a la vía exterior del segundo piso, a lo largo del cual descienden por una pendiente de 1 por 100 a la posición requerida sobre el canalón. Después de que los vagones han descargado en el conducto los frenos de mano se quitan, y descienden sobre una pendiente de 1 por 100 hacia otra de 1 por 200, hasta que alcanzan el terreno nivelado dispuesto en la playa. Entonces son arrastrados hasta la estación por la locomotora que volverá empujando a los vagones cargados hacia la cumbre.

El tiempo medio empleado en descargar un vagón que contiene aproximadamente 7 toneladas de minerales en el canalón es de cuarenta y cinco a sesenta segundos, habiéndose calculado el tiempo desde que el vagón abandona su posición en el tercer piso hasta que deja el canalón. En otras palabras, alrededor de 7 toneladas de mineral por minuto pueden pasarse a través del canalón. Los vagones son del tipo vagón tolva, con una puerta en el fondo, y se accionan con un freno de palanca lateral ajustado con amortiguadores automáticos.

Hay cuatro grupos de canalones de embarque, dos en cada lado de la cabecera del muelle. Se construyeron para conectar los diferentes niveles en la subida y bajada de la marea, y las diferentes alturas en las naves. Cada conjunto de conductos tiene cuatro divisiones fijadas. El conducto se sube o se baja con cadenas laterales que trabajan en grupo sobre un eje que cruza por el interior al final, y es ajustado en un ángulo de aproximadamente $1\frac{3}{4}$ a 1. Un ángulo mayor que éste da lugar a un descenso demasiado rápido del mineral. Con una inclinación menor de $1\frac{3}{4}$ a 1 el mineral no baja fácilmente por el canalón.

El cuadrante y el piñón con engranaje manual, fijados a la estructura de la grúa que mueve el conducto horizontalmente sobre la bodega del barco, son de lo más útiles para equilibrar el barco durante la operación de carga. El derrame del mineral desde el canalón se regula con una puerta en su extremo más bajo, como se hace usualmente en la carga del carbón. La puerta se maneja con dos cadenas laterales, una a cada lado del conducto. Las cadenas se accionan desde dos tambores de roble fijados sobre un eje que funciona en dos vagones unidos a la estructura de la grúa.

La cabeza del muelle está rodeada por un embarcadero de madera, construido independientemente de la estructura de pilotes de barrena de hierro con el objeto de prevenir choques, o golpes de las naves topando con el embarcadero que está comunicado con el muelle principal. Los pilotes que componen el pequeño embarcadero se disponen en dos filas en cada lado de la estructura de hierro, con una hilera de pilotes a lo largo del centro formando, como si fuera, 5 filas de pilotes longitudinalmente. Por medio de travesaños se fijaron a los pilotes en bajamar, y a 3 pulgadas por debajo del lado inferior de las vigas maestras en la estructura de hierro.

Entre los travesaños superiores y del fondo, y los soportes de antepecho en cruz, se fijan tornapuntas diagonales y puntales a los pilotes de madera, uniéndose además éstos transversal y longitudinalmente por pares; también se apuntalan y unen horizontal y diagonalmente. El suelo del embarcadero consiste en un tablaje de 3 pulgadas puesto a través de soportes longitudinales y viguetas. Sobre el suelo hay líneas de raíles para grúas móviles, y para vagones que cargan o descargan acercándose al costado de las naves. Los vagones se ponen sobre el embarcadero mediante un travesaño para cambiarlos de una línea a la otra. Al final del muelle una conexión de vías permite pasarlos desde la estructura de hierro al embarcadero. La cubierta del muelle de embarque tiene una anchura de 65 ½ pies, con una fachada de 1,350 pies. Está provisto de una grúa manual fija con una potencia de 15 toneladas y una grúa móvil de vapor de 3 toneladas, que puede situarse sobre un pórtico de madera para descargar carbón o balasto. Esta grúa se rentabiliza estando en una posición elevada, lo que permite que dos líneas de raíles se encuentren dentro del alcance de la grúa.

Las boyas de amarre se disponen alrededor de la cabeza del muelle, y se sitúan en el curso del río, para que las naves estén de popa a proa en línea con la dirección de la marea, a una distancia de 300 pies desde el lateral del embarcadero.

Se ha hecho una especial previsión para el caso en el que se produzca un incendio. Una cañería principal de 3 pulgadas se ha puesto a lo largo de toda la longitud del muelle y en los accesos al mismo, donde se han instalado bocas de incendio y tuberías de alimentación, con llaves de cierre, mangueras de cuero, etc. Seis cubos, con cuerdas atadas a ellos para recoger agua del río, están colocados en cada boca de incendio. Barriles y cubos también se disponen a lo largo de la tercera planta, y se llenan de agua desde las tuberías de alimentación. El suministro de agua se obtiene de un tanque de 10,000 galones construido en la playa junto al muelle.

Las obras fueron realizadas de acuerdo con los diseños del Sr. G.B. Bruce, M. Inst. C.E., y fueron llevadas a cabo bajo su dirección, siendo el autor el ingeniero residente, y el Sr. John Dixon, Assoc. Inst. C.E., el contratista.

El coste total del muelle y del viaducto de acceso de madera, incluyendo canalones, grúas, camino permanente, etc., fue de 145,166 libras. El coste del muelle por pie lineal, incluyendo el muelle de cubierta de embarque, grúas, conductos, amarres de tornillo, y boyas, fue de 74 libras. El coste por pie lineal del viaducto de acceso de madera fue de 6 libras 2,9 peniques.

La disposición de los materiales en el muelle es como sigue:

Obra de hierro fundido, v.g.:		Toneladas	Quintales
Tornillos-pala, fustes de pilotes de barrena, columnas, discos, bolardos, etc.		1,834	6
Obra de hierro forjado, v.g.:			
	Toneladas	Quintales	
Vigas, y marcos de hierro forjado, pasos elevados	1,162	18	
Puntales, soportes, abrazaderas, barras de unión, cables, etc.	319	16	
Cierres	100	0	
		<hr/>	
		1,582	14
		<hr/>	
Total		3,417	0

	Pies cúbicos	Pies cúbicos
Obra en madera, v.g.:	Pies cúbicos	
Plataformas en los cimientos	45,941	
Superestructura, travesaños, soportes de raíl, marcos de los conductos, etc.	88,442	
Muelle de cubierta de embarque, delfín, etc.	63,319	
	<hr/>	197,702
	Pies lineales	
Acceso al muelle:	744	
Viaducto de madera		17,663
		<hr/>
Total		215,365
		<hr/>
		Yardas lineales
Camino permanente construido		4,259

El artículo se ilustra con una serie de dibujos (láminas 8 y 9), y dos xilografías que han sido recopiladas.

APÉNDICE.

(Consultar el texto en inglés. El apéndice está compuesto por las tablas en que se recogen los resultados de los ensayos de carga y resistencia del muelle, indicándose la duración de las pruebas, las fechas en que se realizaron y las condiciones meteorológicas y de marea en que se llevaron a cabo. Se completa con dibujos de la estructura del muelle en relación con las citadas pruebas)

(El texto que sigue corresponde al debate mantenido tras la presentación del informe del autor, que en el original se encuentra a continuación del Apéndice. La traducción se ha escrito en la misma forma en que aparece en el original inglés, es decir, sin cambiar la puntuación, lo que obliga a prestar una mayor atención en la lectura, pues lo que se reproduce es un diálogo entre varios intervinientes)

El Sr. G.B. Bruce dijo que el sistema de carga del mineral por gravitación había sido adoptado por el Sr. Harrison, el último presidente de Inst. C.E., en los muelles del Tyne. Introduciéndonos en el tema de cómo llevar a cabo la intención de la compañía, de cargar una gran cantidad de mineral en Huelva, tomó en consideración los distintos métodos adoptados en Inglaterra, y pensó, en general, que el plan seguido por el Sr. Harrison fue el mejor. Había considerado la posibilidad de si no habría sido preferible realizar el muelle a un nivel bajo y tener algún sistema hidráulico al final para levantar e inclinar los vagones. Llegó a la conclusión de que ése sería un proceso lento, y ninguno sería tan satisfactorio como hacer una inversión mayor para construir el final del muelle a una altura suficiente como para permitir que los vagones bajaran corriendo por la gravitación y se inclinaran, para verter, y luego siguiendo por una pendiente volvieran a la estación, que estaba apenas por encima del nivel de la marea alta. El muelle tenía una característica peculiar. Tras extenderse desde la costa durante una longitud considerable hace un ángulo recto, gira en curva, y la zona de embarque del muelle quedaba en línea con la vía fluvial, para que los barcos estuvieran en la dirección de la corriente. Esto pudo haberse logrado construyendo el muelle con una cabeza en forma de T; pero habría hecho necesarias placas giratorias, que haría el proceso lento e insatisfactorio. La gran dificultad estaba en los fondos, que estaban peor de lo que se esperaba cuando se diseñó el muelle. Se podría haber solucionado poniendo un mayor número de pilotes de barrena, y quizá bajando a una mayor profundidad. Eso habría sido más caro; y, en general, consideró que no sería más satisfactorio que el plan que finalmente se adoptó. El barro tenía aproximadamente 80 pies de espesor. El Sr. Dixon, consideró, que con algo más de peso se iría más debajo de él. El plan seguido por el contratista fue el siguiente. Primero completó la obra de hierro. Cada pilote fue introducido en el fondo a la profundidad necesaria, sin tomar en consideración si el fondo era duro o blando, y después se fijaron las plataformas alrededor del muelle. Las plataformas fueron cargadas con raíles y piezas de hierro, al final de la playa con 300 toneladas por plataforma, y más adelante con 500 toneladas. Ellas se hundieron menos y dejaron totalmente libre de presión a la estructura de hierro, variando las distancias de 1 a 5 pies. Cuando se hizo eso, los discos de hierro forjado en dos piezas se pusieron alrededor de los pilotes, debajo un collar sobre el pilote, y de esa manera toda la estructura no podía asentarse sin que el peso se transmitiera a la plataforma de madera. Había suficiente capacidad de carga en los tornillos para soportar la estructura sin ningún peso sobre él; y luego las plataformas se introdujeron para dar suficiente estabilidad a la estructura cuando se ponían los trenes encima. Aunque algunas de las plataformas se hundían considerablemente al principio, nunca se hundían después, y él no había oído que

la estructura hubiera cedido lo más mínimo; veía que era fuerte y sólida. Había un punto que quizá podía haberse cuestionado. La vía se colocó sobre madera, y no sobre hierro. Se preguntaba si no habría sido mejor hacerlo sobre hierro. Era mucho más barato poner madera, y considerando que había diferentes elevaciones, diferentes alturas desiguales, y demás, era mucho más práctico hacerlo con madera que con hierro para esa fin, y cubierto como estaba de 3 pulgadas de balasto, él no pensó que hubiese el más mínimo riesgo de accidente por fuego. Pero siendo España un país caluroso, y estando la madera seca en ese clima, se pensó que sería deseable tener una tubería a lo largo que se alimentaba de una cisterna en su final, mantenida constantemente llena para el caso de accidente. El mineral que se cargaba era extremadamente duro, y por tanto los canalones, que tenían una curva interior que no podía evitarse, se revestían de acero para evitar cortes. Los enganches para los vagones eran automáticos, una patente americana, pero fácil de manejar, y que respondía bastante bien. Mientras el muelle estaba siendo construido se hicieron algunas pruebas dirigidas por el Sr. Kirkaldy sobre la resistencia de vigas completas de madera, 12 pies entre los soportes, que le parecían diferir en los resultados de los ensayos mencionados en libros usualmente tenidos como autoridades en la materia. Toda la madera era de pino de tea, exceptuando la que estaba entre el viento y el agua en el embarcadero y el tablaje de 3 pulgadas, que fueron pintados de creosota Memel. Los experimentos hechos por el Sr. Kirkaldy cuando se reducía a la capacidad de una pieza de 12 pulgadas de largo y 1 pulgada cuadrada en el caso del pino de tea, el promedio del peso usado era de 48 libras por pie cúbico, mostraba una tensión transversal de rotura de 430 libras, cargado en el centro. Él no había sido capaz de encontrar un ejemplo de pino de tea por ningún sitio, excepto en un viejo libro de Templeton, donde se daba como de 916 libras. Tuvo un conjunto permanente con 240 libras. La capacidad media para resistir el aplastamiento de una pieza de 10 pulgadas de diámetro y 50 pulgadas de largo era de 4,689 libras por pulgada cuadrada. Con respecto a la madera báltica roja, de 12 pulgadas de largo entre los soportes por 1 pulgada cuadrada, el peso medio de rotura fue de 271 libras, y había un conjunto permanente en 144 libras. Templeton daba una capacidad de soporte de 556 libras, y Beardmore y Molesworth 446 libras contra el experimento real de aquí, 271 libras. La capacidad de la madera báltica roja para resistir el aplastamiento fue de 2,445 libras por pulgada cuadrada de media frente a las 5,400 libras por pulgada cuadrada que dieron Beardmore y Molesworth.

El Sr. John Dixon dijo, que cualquiera que estuviera sobre ese muelle no podía sino atestiguar con placer el funcionamiento de los vagones en las pendientes de marcha

atrás. El sistema empleado daba facilidades para cargar una cantidad de mineral casi ilimitada. Él vio que alrededor de 700 toneladas se cargaron en la primera prueba experimental, estando los hombres desacostumbrados a ese trabajo, en aproximadamente cuatro horas, y 1,000 toneladas podían cargarse antes de 12 horas, en cada uno de los cuatro canalones; como para que la Río Tinto Company no temiera que, por grande que fuera la producción de sus minas, tendría alguna dificultad en cargar todo su mineral. Con respecto a la vía, aunque no había pendiente que excediera 1 por 75 subiendo a las minas, no había pendiente de marcha atrás frente a una carga descendiendo de las minas; y puesto que había estaciones de paso cada 6 ½ millas, el tráfico de retorno podía funcionar con facilidad. Había uno o dos puntos en la construcción del muelle a los que sería interesante dirigir la atención. Uno era el recurso del Sr. Gibson de establecer respecto de la línea de bajar una junta articulada, una cosa muy simple, sólo dos pestañas separadas por 0,4 pulgadas, y con una ligera curva dada a la espita. Esto proporcionó facilidades para rectificar la línea, y siendo después tapada con cemento la junta, se hizo bastante sólida y estable. Otra cuestión de interés fueron las hélices que se han usado. Se intentó que tuvieran unos 4 pies de diámetro, pero cuando se descubrió la naturaleza blanda del terreno, se estimó oportuno incrementar el diámetro a 5 pies. Una hélice de 5 pies de construcción ordinaria era bastante incómoda de cargar cuando se fijaba al eje, y la solución que se adoptó fue la fundición de las hélices sueltas y ensartarlas al final del eje, donde eran sostenidas por un perno, cuya cabeza interior fue avellanada en el pilote, para que no ofreciera resistencia a la barrena o a cualquier otra herramienta que se usara. Esto no sólo facilitaba el transporte, sino que reducía tanto el flete como la cantidad de roturas. El sistema de riostras fue otra de las cosas que dio excelentes resultados. Todos los pernos de sujeción en la estructura fueron pasados a través de las columnas, para que hubiera un elemento firme para atornillar los pernos, y toda la estructura se hizo más rígida con lo que se aseguró la mayor cantidad de fuerza con la menor cantidad de material. Él pensó que una obra en la que se había gastado tanto dinero debería haber tenido un suelo de hierro, especialmente con semejante clima. El autor había aludido a la mano de obra empleada en la obra. Con tal número de pilotes que atornillar, era fácilmente imaginable que tenía que haber adoptado algo más científico que la vieja práctica de atornillamiento manual. Eso se le había ocurrido, y desarrolló un elaborado equipo para llevar a cabo el atornillamiento mediante vapor, pero, como ocurría frecuentemente, se encontró, tan pronto como la obra comenzó, que las condiciones eran distintas a aquéllas para las que el sistema se había preparado, y se dieron nuevas condiciones. Los pilotes tuvieron que incrementarse en tamaño y fueron hundidos a mayor profundidad. Así pues, después de todo, él no podía

evitar pensar que de una forma ordinaria era difícil mejorar el plan antiguo de poner varios hombres a trabajar girando manualmente los pilotes. Podía surgir una objeción respecto a las plataformas de madera hundidas en el lecho del río. Sin embargo, ese plan no se adoptó hasta que los ingenieros se hubieron asegurado de que el terreno, aunque blando, era tan resistente que no había peligro de hundimiento.

El Sr. A.C. Pain comprobó que a pesar del uso de madera bajo el muelle, no estaban presentes ni el teredo navalis ni otros gusanos marinos.

El Sr. John Robinson dijo que se había mostrado como un buen soporte de superficie en unos malos cimientos habiéndolo conseguido de una forma simple y económica. El método adoptado en el fondo de la zona más profunda era novedoso; primero construyendo los cimientos de pino de tea en la superficie del agua, luego cargándolos para hundirlos hasta el fondo, y después, mediante buzos, fijando vigas de soporte a los pilotes para transmitir el peso sobre la plataforma. Ese fue un método práctico de disponer cimientos en agua profunda, lo que podía repetirse en casos similares. En situaciones donde la madera era proclive a ser atacada por gusanos marinos, u hormigas blancas, vigas de hierro y planchas podían sustituirla. Donde los estratos blandos se extendían a una profundidad desconocida fue conveniente hacer un ensayo pesando un pilote mientras se hundía cada 5 pies, y anotando cada vez la carga que podría sostener con el propósito de asegurar en qué proporción se incrementaba la capacidad de soporte con la profundidad a la que parar. Se encontraría probablemente en una estructura de esa clase, donde se usaban las plataformas, en la que sólo era necesario atornillar los pilotes a una profundidad suficiente para fijar la superestructura lateralmente, y que todo lo que estuviera más allá no merecía la pena la inversión. Para obra en puentes sobre materia blanda se recomendaría a los ingenieros, que llevaban a cabo obras en el extranjero, ese tipo de cimentación por la facilidad y rapidez con la que se podía realizar. Las tablas anexas al artículo sobre pino de tea serían de interés, porque por poco que fueran fiables habían sido publicadas en relación con esta madera.

Sir James Ramsdem remarcó que sería interesante saber cuál era el coste relativo de las estructuras altas y bajas. Esta parecía una estructura cara, cuando sólo tenía capacidad para cargar cuatro naves a la vez al final del muelle. Considerando la delicada naturaleza de los fondos, le pareció que dadas las circunstancias una estructura menos cara habría sido más satisfactoria. Debe recordarse también que ésta era la terminal de un ferrocarril minero, y que el mineral podía agotarse. Así pues, cuanto menos costosa fuese la

estructura, antes se conseguiría su rentabilidad. Viendo la perfección de la maquinaria hidráulica y de vapor para elevar y cargar, pensó que una estructura menos costosa podía haber dado el mismo resultado.

El Sr. Bruce hizo ver que la línea del nivel bajo tenía que usarse para el ferrocarril de Huelva y Sevilla, que traería mercancía ordinaria. La estructura no era meramente un muelle de ferrocarril minero, sino un muelle para un ferrocarril que traería todo tipo de mercancías a Huelva, y las llevaría desde Huelva al resto de España. Había pocas dudas de que Huelva se convertiría en el principal puerto marítimo en esa parte de España en vez de Cádiz. Por tanto, no era un mero muelle para tránsito de mineral. La línea del nivel bajo se usaba para el tráfico ordinario y la del alto para el tráfico de mineral.

El Sr. Gibson, como réplica, dijo que el muelle de Tharsis había funcionado durante varios años. No había el menor indicio de la presencia de gusano alguno en la madera, aunque la madera había sido puesta en el barro cuando comenzaron las obras. Teniendo en cuenta la especial y gran cantidad de trabajo que había de hacerse regularmente consideró que los gastos estaban completamente justificados. Los recursos de las minas, de acuerdo con el testimonio de las referencias científicas eran suficientes para abastecer los negocios químicos durante más de un siglo, mientras las minas también eran capaces de ser explotadas para la producción de cobre, y, si era necesario, también de hierro. Juzgando desde los contratos de la compañía, 300,000 toneladas de mineral, al menos, tendrían que cargarse anualmente. En cuanto a la construcción del muelle, no podría haberse hecho a un coste mucho menor con una estructura más barata; pero los servicios de compra de la compañía permitieron obtener un coste bajo por tonelada, y mediante el rápido envío de los buques de vapor consiguieron los fletes más favorables. Además de esto, la planta más baja del muelle ha sido alquilada a la Compañía de Ferrocarril de Madrid, Alicante y Zaragoza, y hay motivo para contar con un pago regular de los derechos sobre la importación y exportación que esa compañía, con sus 1,400 millas de línea, tendría por usar el muelle.