Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, August 3-5, 2011, Medellín, Colombia.

Control Estructural de un Espigón bajo Cargas **Exceptionales**

Jorge A. Tito

University of Houston Downtown, Houston, TX, USA, tito-izquierdojor@uhd.edu

RESUMEN

El acceso a un espigón para recibir gas natural líquido (GNL) es una vía de 300 m que consiste de una losa de concreto armado sobre dos vigas de acero simplemente apoyadas sobre el estribo y torres espaciadas a 50 m. Esta publicación describe el control estructural que se realizó para asegurar que la losa y las vigas no sean dañadas durante el paso de un tráiler transportando el equipo de bombeo, el cual tenía diferente configuración y era 17% más pesado que el vehículo considerado durante el diseño. Del estudio estructural se concluyó que los esfuerzos en la losa y vigas están dentro del rango permisible siempre que el tráiler se desplace alineado con el centro de la vía. Como control adicional, se midió las deflexiones de la viga durante el paso del tráiler, las cuales concordaban con los resultados teóricos. El transporte se completó dentro del calendario establecido y sin daños estructurales.

Palabras claves: deformación, espigón, viga, carga excepcional.

ABSTRACT

The trestle of a jetty used to receive Liquid Natural Gas (LNG) has 300 m consisting of a reinforced concrete slab on two steel girders simply supported by the abutment and bents spaced 50 m. This paper describes the structural control that was conducted to ensure that the slab and girders are not damaged during the passage of a trailer transporting the pumping equipment, which had different configuration and was 17% heavier than the design vehicle. The structural study concluded that the stresses in the slab and girders are within the permissible range provided that the trailer moves aligned with the road center. As additional control, the girder deflections were measured during the passage of the trailer, which were consistent with the theoretical results. The transportation was completed according to the schedule and without structural damage.

Keywords: deflection, jetty, girder, exceptional load.

1. INTRODUCCIÓN

Para la recepción de los barcos que transportan Gas Natural Liquido (GNL) se utiliza espigones de largo adecuado para que la descarga sea segura, tal como se aprecia en la Figura 1. Esta publicación presenta el control estructural ejercido cuando el equipo de bombeo de GNL se transportó desde la plava hacia la plataforma que se ubica en el extremo del espigón, donde fue instalado. La superestructura de la vía de acceso consiste en una losa de concreto reforzado soportada por dos vigas de acero simplemente apoyadas y cuyas longitudes varían entre 43 a 49 m. Las vigas están soportadas por la subestructura, la cual consiste en un estribo de concreto armado y torres espaciadas a 50 m. Las torres son arreglos de pilares de acero anclados en el lecho rocoso submarino.

El tráiler concebido originalmente consistía de 8 ejes y la carga total era 11,318 kN, mientras que el tráiler disponible MPKE 360, mostrado en la Figura 2, consiste de 12 ejes y tiene una carga total de 13,294 kN, es decir la configuración de cargas es diferente y, además, es 17% más pesado que el tráiler asumido para el diseño. Toda vez que el diseño de la superestructura es dominado por el peso del transporte de las bombas de GNL, fue necesario evaluar la capacidad teórica de la losa de concreto y de las vigas de acero, controlar la operación para evitar sobrecargas, y medir las deflexiones durante el paso del tráiler comparándolas con los resultados teóricos para validar las conclusiones.



Figure 1: Espigón para descarga de GNL

2. DESCRIPCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA DE ACCESO

El espigón consiste en una vía de acceso de 300 m y una plataforma al final que soporta las bombas de descarga de GNL, tal como se aprecia en la Figura 1. La vía de acceso tiene 6 tramos de 50 m cada uno y su estructura está formada por 2 vigas de acero que soportan una losa de concreto reforzado que recibe el tráfico.

La losa de concreto tiene de 4.5 m de ancho y 250 mm de espesor. La resistencia a compresión mínima del concreto a los 28 días, f'c, es 35 MPa; y el refuerzo cumple con la norma canadiense CAN/CSA G30.18 Grado 400 MPa (CSA, 2009). La cobertura del refuerzo es 70 mm en la capa superior y 50 mm en los lados y capa inferior.



Las dos vigas están transversalmente espaciadas 2.8 m y está construida con planchas de acero soldadas, las cuales cumplen con la norma CSA G40.20/G40.21 Grado 350AT, siendo el esfuerzo de fluencia de 350 MPa y el esfuerzo último de 450 a 620 MPa (CSA, 2009). El módulo de elasticidad del acero es de 200 GPa.

La losa y la viga forman una sección compuesta pues están unidas con conectores espaciados adecuadamente. La altura de las vigas es 1.90 m, el alma tiene 16 mm y el espesor de las alas es variable. Las vigas están apoyadas en soportes de neopreno y la distancia centro a centro, o luz, varia para cada tramo. La Figura 3 muestra la vista lateral de un tramo de la vía de acceso y la sección transversal típica, complementado la información con la Tabla 1, donde se muestra la luz y espesor de las alas.

Las vigas tienen rigidizadores de 16 mm de espesor y 150 mm de ancho en ambos lados del alma. Sobre el soporte hay 3 rigidizadores, uno al centro y los otros a 0.275 m en ambos lados, los siguientes dos rigidizadores están espaciados entre 2.00 y 2.25 m dependiendo de la longitud total, y los demás se colocan cada 5.0 m. Las vigas tienen pintura para ambientes marinos y además fue diseñada con 3 mm adicionales para permitir la corrosión futura. Para este análisis estructural se considera a toda la sección, pues las vigas aún no se corroen.

9 th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology
W/F1 2



Figura 3. Geometría de un tramo de la vía de acceso

Tabla 1: Dimensiones de la viga										
Tramo	Luz centro-	Dimensión del ala	Longitud y inf	alma (mm)						
	centro	superior	L1	L2	L3					
	(mm)	(mm)								
1	48002		15050	19600	15042					
	48992	25x500	50x550	60x550	50x550	16				
2	43777		13700	17800	12977					
		25x500	45x500	55x500	45x500	16				
3	42017		13017	17800	13700					
	43817	25x500	45x500	55x500	45x500	16				
4	10001		15050	19600	15034					
	40904	25x500	50x550	60x550	50x550	16				
5	49402		14900	19400	14900					
	48492	25x500	50x550	60x550	50x550	16				
6-a	44410		14075	18000	13707					
	44410	25x500	50x500	60x500	50x500	16				
6-b			14437	18800	14434					
	46319	25x500	50x500	60x500	50x500	16				

3. VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LA LOSA Y VIGAS

Se verificó que la losa de concreto reforzado sea capaz de resistir el peso propio combinado con la carga viva producida por el tráiler MPKE 360. El análisis estructural de la losa se realizó usando el programa STAAD.Pro (Bentley Systems, 2011). Las cargas actuantes son el peso propio y la carga total de un eje repartida en cuatro llantas, es decir 26.6 KN por llanta, la cual se considera como carga móvil para ubicar la posición donde produce mayores esfuerzos. La Figura 4 muestra las cargas de un eje distribuidas en 4 llantas. Considerando el refuerzo indicado en los planos y un ancho efectivo de 1.35 m, tal como se recomienda en la literatura (AASHTO, 2002), se concluye que la relación entre la capacidad de la losa y el momento aplicado es 0.81, lo cual es menor de 1.00, por lo que la losa debiera ser capaz de soportar las cargas aplicadas.

Para verificar la resistencia de las vigas principales se calcula la fuerza cortante y el momento flector utilizando el programa STAAD.Pro donde se modela la carga móvil sobre la viga de sección variable, tal como se muestra en la Figura 5. Las vigas pueden soportar la carga del tráiler centrado totalmente en la losa, siendo la relación entre la capacidad y el momento aplicado entre 0.70 y 0.80, y la capacidad en fuerza cortante mucho mayor que la solicitada. La Figura 6 muestra un ejemplo del cálculo de esfuerzos. En el peor de los casos, cuando el tráiler esta excéntrico, la relación puede llegar a 1.29, lo cual no es admisible, aunque está dentro del factor de seguridad de 1.67. Las deflexiones se calcularon considerando al camión totalmente centrado con la losa y asumiendo el comportamiento elástico de las vigas.



Figura 4: Carga móvil de un eje, fuerzas internas máximas y refuerzo.



Figura 5: Carga móvil del tráiler y fuerzas internas máximas en el tramo 1.

Debido a que los esfuerzos están cercanos al límite permisible se acordó que el eje de la vía sería marcada para que el tráiler se mantenga centrado respecto a la losa durante la operación. Además, las deflexiones serian monitoreadas para estar seguros que las vigas trabajan en el rango elástico y que no fueron sobre esforzadas durante el paso del tráiler.

Las deflexiones fueron medidas por el consultor de agrimensura utilizando un nivel óptico marca Leica NA720, el cual tiene una precisión de 1.5 mm en una distancia de 30 m. Se midió la deflexión de ambas vigas para compararlas con la deformación teórica. La Tabla 2 muestra las deflexiones teóricas para cada tramo y las mediciones de campo. Se observa que hay una diferencia entre 3 a 14 % entre las deflexiones de ambas vigas, consistentemente la viga localizada al sur se deflecta más que la viga del norte, posiblemente debido al viento, el cual fue de mediana intensidad, sin embargo no hay datos de la velocidad del viento predominante. Además, la viga del norte tiene un asiento de 28 mm para darle pendiente a la losa. Esta separación produce que la viga del norte sea ligeramente más rígida que la viga del sur, lo cual influye en las deflexiones.

El promedio de la deflexión medida es entre -6% y -10% respecto a la teórica, y adicionalmente la deformación remanente es menor que 2 mm, lo cual podría despreciarse pues está en el rango de la precisión del nivel óptico utilizado. Los resultados muestran que las vigas trabajaron en el rango elástico y que no debieron sufrir daños estructurales. La inspección visual realizada después de la operación de transporte confirmó estos resultados.



Figura 6. Cálculo de la capacidad de una viga considerando al tráiler centrado en la losa.

9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology

Tabla 2. Deflexiones Considerando al Tráiler Centrado con la Losa.										
Tramo	Luz	Deflexión		Diferencia						
	(mm)	Calculada	Norte	Sur	Diferencia	Promedio	con teoría			
		(mm)			Sur/Norte		(%)			
1	48992	69	61	69	114%	65	-6%			
2	43777	54	48	50	103%	49	-9%			
3	43817	54	48	51	107%	49	-9%			
4	48984	69	60	67	112%	63	-9%			
5	48492	65	57	64	111%	61	-7%			
6а	44410	57	51			51	-10%			
6b	46319	64		59		59	-8%			

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El acceso a un espigón para descargar GNL fue cargado con un tráiler más pesado que el vehículo asumido para su diseño. Se realizó el análisis estructural considerando el peso propio y la carga móvil del tráiler utilizado, obteniendo como resultado que los esfuerzos en la losa y en la viga están dentro del rango permisible siempre que el tráiler siga una ruta centrada con la losa. Durante la operación de transporte se marco el eje de la vía cuidando que el tráiler se mantenga centrado y trasladándose a velocidad mínima. Se midió las deflexiones de las vigas, las cuales comparan bien con las deflexiones teóricas, concluyendo que la estructura no sufrió daño estructural, lo que se corroboró con la inspección visual.

El control estructural por medio de cálculos teóricos y mediciones de las deflexiones es factible para situaciones parecidas, como podría ser el caso de puentes u otros espigones que necesiten ser utilizados con cargas diferentes al asumido durante el diseño.

REFERENCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition, 2002. Washington, DC.

Bentley Systems Inc (2011). Programa STAAD.Pro V8i. Yorba Linda, CA, USA.

Canadian Standards Association, CSA (2009). G40.20-04/G40.21-04 (R2009) - General Requirements for Rolled or Welded Structural Quality Steel/ Structural Quality Steel. Mississauga, Ontario, Canada.

Canadian Standards Association, CSA (2009). G30.18-09 - Carbon steel bars for concrete reinforcement. Mississauga, Ontario, Canada.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.