DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN DEL PUERTO DE JARAMIJÓ COLAPSADO POR EL SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016 EN ECUADOR

T. MOROCHO

T. M. LL Construcciones, Área de Patología e Ingeniería Forense. Quito, Ecuador.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el diagnóstico y como se rehabilito el puerto de Jaramijó colapsada en el sismo del 16 de abril del 2016. La intervención o rehabilitación estructural ya sea el reforzamiento sísmico o la reparación de infraestructura, es un componente esencial la mitigación de los efectos de los sismos siendo el mejoramiento del desempeño sísmico de infraestructuras vulnerables un asunto de vital importancia y urgente, un aspecto importante y crítico en la intervención es la conexión entre nuevos y antiguos elementos por medio de fijaciones, refuerzo activo o pasivo, adhesivos.

Palavras clave: Jaramijó, Rehabilitación, Infraestructura, Reparación.

1. INTRODUCCIÓN

Para el diseño antisísmico de cualquier estructura, debe considerarse lo siguiente:

Sismo OLE: (Operating Level Earthquake) o sismo “frecuente”, que representa una amenaza sísmica menor, con un 50% de probabilidad de excedencia en 50 años, equivalente a un periodo de retorno (T_r) de aproximadamente 72 años y a una tasa anual de excedencia ($1/T_r$) de 0.01389 (o 1.39%). Para este sismo, la estructura o facilidad, debe tener los siguientes Requisitos de Desempeño: no debe tener daños de importancia, y, excepto por un cierre breve para una inspección de daños menores, debe permanecer en operación.

Sismo CLE: (Contingency Level Earthquake) o sismo “ocasional”, que representa una amenaza sísmica moderada, con un 22% de probabilidad de excedencia en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 200 años y a una tasa anual de excedencia de 0.005 (o 0.5%); para el cual, la estructura o facilidad, puede tener daños “reparables” que se detecten fácilmente sin que sea una amenaza para la seguridad de las personas. Los daños a los pilotes deberán limitarse a la parte superior (arriba del lecho marino), y las deformaciones laterales permanentes de las estructuras de retención de tierra deberán ser menores a 30 cm.

Sismo MCE: (Maximum Considered Event) o sismo “raro”, que representa una amenaza sísmica severa, con un 10 por ciento de probabilidad de excedencia en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de aproximadamente 475 años y a una tasa anual de excedencia de 0.00211 (o 0.211%). Para este sismo, debe protegerse la vida de los usuarios, a pesar de que pueda ocurrir una destrucción total de las estructuras o facilidades,

Para la ampliación del puerto de Manta en 2007-8, el nivel de aceleración en la roca se estimó (CH2MHILL) en 0.4 g, tal como recomendaba el Código NEC hasta el 2014, para el evento MCE, con 10% de probabilidad de ocurrencia en 50 años. Cabe indicar, que el NEC 2015, incrementó, hace menos de 1 año, el PGA en roca para la zona costera a 0.5 g.

En base a correlaciones con sistemas tectónicos similares de la región, los eventos OLE y CLE fueron basados en el evento con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

En estas condiciones, el sismo del 16 de Abril, según las estimaciones (figura 1) del United States Geological Survey (USGS), al haber producido para Manta y Jaramijó, una aceleración pico en roca del orden de 0.25g, sería un sismo CLE, y debería producir daños “reparables” en las instalaciones, por ejemplo: daños en pilotes, únicamente sobre el lecho marino; y desplazamientos laterales permanentes en estructuras de retención, menores a 30 cm, sin que se afecte a la seguridad de los usuarios del puerto. Los daños observados en el puerto de Jaramijó, son de la magnitud esperada para un sismo CLE.

Figura 1. Curvas Estimadas de Igual Aceleración Pico en Roca, y Área de Falla (Rompimiento), Producida por el Sismo del 16 de abril del 2016, según el United States Geological Survey (USGS).

2. DAÑOS EN EL PUERTO DE JARAMIJO

2.1 Espigón Principal

En el espigón principal (largo), en cuya corona existe una vía adoquinada de 6m de ancho, se produjo un asentamiento casi generalizado de aproximadamente 30 cm, (excepto en el morro) y agrietamiento longitudinal en tres ubicaciones y agrietamiento longitudinal en tres ubicaciones:

- Al borde del talud interior;
- En el centro de la corona;
- Al borde del talud exterior junto al salpicadero.

Por la inclinación predominante hacia la dársena, de las tres (3) familias de grietas, se asume que estas se deben a una desestabilización temporal del talud interior del espigón.

Figura 2. Espigón principal.

Figura 3. Asentamiento generalizado y uniforme de 30cm en todo el Espigón, grietas a los costados a una profundidad de 1.50m

ING. OSWALDO RIPALDA N.										OBRA UBICACION										Muelle Artesanal de Jaramijo Jaramijo - Manta 9°896.027,82N; 540.458,6										PERFORACION ROL-1 30-sep-08 1 de 2										Cota RSM Agua 1.3 m. Cota RSM Suelo -3.2									
MU	PRO	DESCRIPCION							Estrat.	Clas	Propiedades Índice						Granulometr.			RESISTENCIA										Hst. Est. (1m/2)																			
		Principal	Secund	Grava	Arena	Densidad	Color	Otros			Nat	U.Lq	U.Lq	U.Lq	U.Lq	Grava	Arena	Fines	q ₉₇	Tor ₁	Vol ₁	N	Su ₁₀	Su ₁₅	-	σ _p	exp	teor																					
TRA	ES								grafica	SAES	Nat	U.Lq	U.Lq	U.Lq	U.Lq	Grava	Arena	Fines	q ₉₇	Tor ₁	Vol ₁	N	Su ₁₀	Su ₁₅	-	σ _p	exp	teor																					
	-0-																																																
0		Agua								H2O																			0.0																				
1	4.063	Acuña			arenosa		gris verdoso	inorgánica		OH	46	64	43		1.73	0.0	38.8	61.2					4	1.8	1.8	0.3				12.2																			
2	4.925	Arena arcillosa				rojo	gris	inorgánica		SC	32	54	36		1.87	0.0	50.8	49.2					8			1.0																							
3	5.925	Arena limosa			mediamente		rojo			SH	22	N	P		2.02	0.0	84.4	15.6					17			1.9																							
4	6.925	Arena limosa					rojo			SH	24	N	P		1.98	0.0	74.1	25.9					35			2.9																							
5	7.88	Acuña		rojo	arenosa		amarillo	conchita		OH	22	56	29		2.02	3.6	45.7	50.7					40	19.9	19.9	3.9			161.5																				
6	8.64	Arena limosa		rojo			rojo	amarillo oscuro	gravel	SH	19	N	P		2.07	32.4	52.2	15.4					44			4.7																							
7	9.123	Arena limosa		rojo			rojo	amarillo oscuro	gravel	SH	17	N	P		2.11	29.1	53.3	17.6					50.8			5.2																							

Figura 4. Perfil estratigráfico del espigón

Se observaron asentamientos menores, en el codo del espigón principal, donde existe cisterna de hormigón Armado para los Tanques de Combustible, que le dan un mayor confinamiento lateral al material del terraplén hacia la dársena. Esto sugiere la teoría de que el talud interior muy empinado (menor confinamiento lateral), es una de las principales causas de los daños observados, y que las principales deformaciones provienen del material del Cuerpo del Terraplén, y en menor proporción del suelo de la cimentación.

Figura 5. Asentamientos menores en el codo del Espigón.

Esta inestabilidad temporal, se estima ocurrió principalmente debido a las siguientes causas:

1. Las grandes fuerzas de inercia horizontales que genero el sismo en el talud;
2. La presencia del material arcillo-arenoso blando a suelto en la base (si considerado en los análisis);
3. La existencia de un talud más empinado (1.4H:1V) del que estaba diseñado (1.75H:1V), que ocurrió durante la etapa de construcción del Espigón (2009-2010) en que el suscrito no participo; y que, por la caída de parte del enrocado, estaría ahora con pendientes aún mayores;

4. El material granular de origen basáltico, que fue colocado en el núcleo, y que generalmente posee un elevado contenido de feldespatos, puede haber sufrido la disgregación de sus fragmentos gruesos (gravas y arenas),

2.2 Cimentación del Espigón

En el estudio inicial, se encontró que en el sitio donde se colocaría el material de relleno para el espigón principal, existía entre 1 y 2m de arcilla arenosa blanda a arena arcillosa suelta, en casi toda su longitud (sondeos ROL1 a ROL3 y RH2), excepto en el tramo final cerca del morro, en que existe desde la superficie, una arena densa (RH-4). Su ubicación se muestra en la foto 0.

Como se indicó anteriormente, este material blando a suelto, por su baja resistencia, debió ser parcialmente desplazado por el peso del relleno durante la construcción, lo cual fue considerado en los análisis.

En las zonas en que en el material suelto superficial predomina la arena, se vuelve susceptible a un proceso que se conoce como licuefacción, que es una pérdida temporal de resistencia del suelo, por incremento de la presión del fluido (aire o agua) existente en los poros; lo cual ocurre más fácilmente en suelos granulares sueltos, aunque también puede ocurrir en suelos algo más densos y/o cohesivos, cuando las aceleraciones producidas por el sismo son muy elevadas, y se mantienen durante más tiempo. Esto último ocurre en sismos de gran magnitud a distancias no muy lejanas, como fue el caso del sismo del 16 de abril de 2016

Durante esta pérdida temporal de resistencia, y en especial si el suelo se encuentra sin confinamiento lateral (junto a un talud), como es el caso de la mayoría de los taludes en el Puerto, se produce un escurrimiento lateral del suelo (lateral spreading), el cual es progresivo, es decir, comienza desplazándose el suelo cercano al talud, para luego desplazarse el inmediato interior al quedarse sin confinamiento lateral, avanzando hacia el interior en función de la pérdida de resistencia y de la duración de la misma.

Adicionalmente, dependiendo del nivel de seguridad del talud (menor mientras más empinado), se podría generar inclusive una falla del talud, como aparente ocurrió en ciertas zonas del talud interior del Espigón principal.

2.3. Muelle de Operaciones

Hubo asentamientos, deslizamiento de rocas y fisuras en cabeza de pilotajes, no hubo daños en la estructura del Muelle de operaciones.

Figura 6. Asentamiento, deslizamiento de rocas del talud, fisuras menores en la estructura del Muelle de operaciones.

3. CONCLUSIONES

3.1 Daños Encontrados

- Asentamientos y fisuras paralelas a los taludes en la mayor parte de los espigones y en unas pocas zonas del relleno para las instalaciones.
- Estos daños aparentemente se deben a una combinación de escurrimiento lateral por licuación del material granular suelto, tanto en cimentación como en el relleno; y a la inestabilidad temporal de ciertos taludes producto de lo siguiente:
 - a. Intensidad del sismo;
 - b. Taludes muy empinados (inclinación mayor a la de diseño).
 - c. Pérdida de resistencia del suelo superficial de cimentación, durante el sismo;
 - d. Posible pérdida de resistencia y densidad del material de relleno por degradación, por utilización de material posiblemente degradable;

4. DIAGNÓSTICO FINAL

- Excavar toda la vía del espigón, hasta por lo menos 1.5m de profundidad, fin de la grieta o nivel freático (lo que se encuentre primero);
- Re compactar adecuadamente (densidad $\geq 95\%$ de la máxima del Proctor modificado y Humedad igual a optima del mismo Proctor $\pm 2\%$) el material de relleno, manteniendo las capas de geo textil y de geo-mallas existentes;
- Subir el relleno con un enrocado hasta alcanzar el nivel anterior (pre-sismo);
- Tender el talud a la dársena, hasta la inclinación de diseño (1.75H:1V), con el material de enrocado caído durante el sismo y adicional desde canteras calificadas.
- Entre el núcleo y el enrocado, deberá asegurarse que exista una capa filtrante (material o geo textil no tejido tipo PAVCO NT-3000);
- Reparar daños en fisuras en la estructura del muelle de operaciones.

Documento oficial del diagnóstico Realizado por el Ing. Tomás Morocho Llinín para la rehabilitación del puerto de Jaramijó Provincia de Manabí- Ecuador

5. REHABILITACION

Figura 7. Enrocado de vía

Figura 8. Enrocado de vía espesor de 1.50m

Figura 9. Compactación de la vía

Figura 10. Ensayo de compactación de la vía.

Figura 11. Colocación de geotextil.

Figura 12. Terminación de vía.

La rehabilitación del muelle se inauguró por parte de la administración en el 2017.

6. BIBLIOGRAFÍA

T. Morocho (2016), *Trabajo de campo en el puerto de Jaramijó*. Levantamiento e información de campo, abril del 2016. Manabí- Ecuador.