

**I TALLER LATINOAMERICANO REDUCCION DE LOS EFECTOS
DE LOS DESASTRES NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA ENERGETICA**

**EFECTO DEL TERREMOTO DE LIMON EN EL
PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA**

**Ing. Carlos Valverde
RECOPE, FAX (506) 253-1917**

I. INTRODUCCION

El 22 de abril de 1991, en la provincia de Limón, en Costa Rica, se presentó un sismo importante que produjo serios daños en gran parte de la costa Atlántica, pero especialmente en el centro de la provincia de Limón.

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), tiene ubicado a escasos 7 kilómetros del centro de la provincia de Limón, la única refinería de petróleo existente en el país, además de una parte importante del parque de almacenamiento total

Durante el sismo, las instalaciones de la refinería sufrieron daños importantes, tanto en las instalaciones de proceso, como en el parque de almacenamiento y otras instalaciones de servicio como los sistemas contra incendio, ya que producto del sismo, se presentó un fenómeno de levantamiento generalizado del terreno a lo largo de la costa de aproximadamente 1,5 m, lo cual hizo que las bombas de los sistemas de abastecimiento de agua del sistema contra incendio, quedaran sin la sumergencia requerida

Producto del sismo, se presentó un incendio que afectó tanto la zona de proceso, como un tanque de almacenamiento de crudo de 100000 barriles, adyacente a la zona de proceso.

El este trabajo, se presenta una descripción de los daños causados por el sismo, específicamente en el parque de almacenamiento, así como una serie de recomendaciones tendientes mejorar el diseño y construcción de tanques de almacenamiento para hidrocarburos, con el objeto de mitigar los

efectos de un terremoto sobre este tipo de estructura vital.

**II. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES
Y AREA DE LA REFINERIA**

Al momento del sismo, el parque de almacenamiento de la refinería constaba de 48 tanques cilíndricos de combustibles líquidos. En la tabla N 1 se indica las características más importantes de los tanques, así como el producto almacenado.

De los 48 tanques, únicamente 5 de ellos, habían sido construidos en los últimos 5 años (tanques 752,753,734,727,747), siendo los tres últimos, los únicos que fueron diseñados por métodos más modernos, que excedían las recomendaciones del **American Petroleum Institute (A.P.I)**, siendo los únicos tanques anclados a un anillo de concreto

El resto de los tanques, en su mayoría tenían una edad que sobrepasaba los 10 años, no estaban anclados a la cimentación y muchos de ellos no tenían un anillo de concreto como cimentación, estando únicamente colocados sobre el terreno. Aunque no se tiene información confiable, es muy posible que todos los tanques hayan sido diseñados siguiendo únicamente las recomendación del código API 650, y probablemente no se considero el apéndice h de este código, el cual tiene recomendaciones para diseño sísmico

Todos los tanques, excepto los últimos tres que se construyeron antes del terremoto (tanques 734,727,747), eran tanques cilíndricos de acero, sobre el terreno, con techo cónico soportado. Los tanques 701 y 702 eran los únicos sin techo

externo fijo, ya que tenían techo flotante externo del tipo pontón de acero. Los últimos tres tanques construidos tenían techo tipo domo autosoportado, y fueron construidos según una tecnología Rusa para construcción de tanques de acero prefabricados, la cual consiste en la construcción en taller del tanque en secciones y arrollados para su transporte, posteriormente, ya en el sitio de construcción, se extienden y se sueldan las diferentes secciones de que consta en tanque.

En la refinería, también existía al momento del sismo, una esfera para gas licuado de petróleo (L.P.G) de 25,000 barriles de capacidad, y otra similar en proceso de construcción, además de un pequeña batería de depósitos cilíndricos horizontales (salchichas) para almacenamiento de gas.

Otro aspecto importante de destacar, es que las instalaciones de la refinería se encuentran ubicadas en una zona costera, a escazos 300 m del mar Atlántico, está rodeada por los ríos Bartolo y Moín, y presenta una topografía muy plana, con una elevación promedio de 3 m.s.n.m., todas estas características, hacen que las condiciones geotécnicas de la zona se caractericen por estar conformadas de sedimentos de origen fluvial con una consolidación diferencial muy marcada.

De una caracterización general de la zona, basada en el estudio de 196 perforaciones realizadas con el sistema **S.P.T (Standard Penetration Test)** con profundidades que van desde 5 m hasta 25 m, se puede concluir la existencia de las siguientes tres capas o estratos:

Una primer capa de arcilla limosa, de muy malas características para la cimentación de estructuras, que puede llegar alcanzar hasta 3,5 m de profundidad. Normalmente este estrato es eliminado y sustituido por material más competente debidamente compactado para la cimentación de las estructuras.

Una segunda capa denominado Paquete Arenoso, que va desde los 3,5 m de profundidad, hasta los 12 m, pero en algunos casos alcanza hasta los 18 m de profundidad. Gran parte de este paquete arenoso está

compuesto de un grano medio a grueso.

Subyaciendo al estrato arenoso, aparecen arcillas de color gris que llegan hasta la profundidad estudiada. La consistencia es variable desde medianamente compacta hasta dura. Este depósito arcilloso forma el basamento típico de la región, y presenta un ángulo de buzamiento aproximado de 2 grados en dirección SO-NE.

Es importante destacar, que la existencia de la segunda capa, llamada paquete arenoso, que es la que normalmente se usa para cimentar las estructuras en la refinería, y el buzamiento que presenta la tercer capa o basamento, que sirve de piso a este paquete arenoso, unido a un nivel freático siempre alto, hacen que el potencial de licuefacción sea bastante alto en la zona, de hecho durante el sismo del 22 de Abril de 1991, en ciertas áreas de la refinería se presentaron algunas manifestaciones superficiales como pequeños volcanes de arena

III. DESCRIPCION DE DAÑOS.

Antes de describir los daños sufridos por los tanques de la refinería, es importante destacar el hecho de que en el momento del sismo, los tanques de crudo se encontraban llenos, por haberse recibido un embarque de producto en los días anteriores al sismo principal.

Los tanques de producto refinado, mantenían en general un nivel bajo de líquido, pues la mayor parte de estos productos se habían transportado vía oleoducto, a las otras terminales de almacenamiento y distribución, ya que se estaba a la espera de un embarque de diesel y gasolina.

Debido a esta situación, es que los daños se concentraron principalmente en los tanques de almacenamiento de crudo.

En la tabla N.3 se presenta un resumen de los daños sufridos por los tanques de almacenamiento

La fallas y daños que se presentaron en los tanques se pueden clasificar de la siguiente manera:

Daños en el Techo

Se dieron tanto en los techos fijos como en los techos flotantes, se presentaron deformaciones importantes en las láminas de techo como en las vigas de la estructura soportante, además se dieron desplazamientos de las columnas internas de los techos fijos, causado probablemente por la onda que se forma dentro del tanque durante el sismo.

Los techos flotantes, que en su mayoría eran techos internos del tipo de membrana de contacto, sufrieron daños importantes al chocar con la pared del tanque; en la mayoría de los casos se presentó destrucción del sello.

Daños en la Pared

*El daño principal que se presentó es el pandeo de la pared, conocido como **pata de elefante**, principalmente en la parte inferior de la pared. Además se presentaron deformaciones importantes en los anillos superiores causado principalmente por la interacción techo - pared*

Daños en la Cimentación

Los daños en la cimentación incluyen asentamientos diferenciales e inclinación de las paredes del tanque.

Algunos tanques sufrieron serios daños, aunque no relacionados directamente con esfuerzos ocasionados por el sismo, sino por un incendio derivado del sismo en los tanques 701, y la explosión del tanque 792.

Como parte de los daños causados por el terremoto, se debió emprender un campaña de reparación y sustitución de tanques, que entre otras cosas obligó como medida de emergencia a sacar de operación varios tanques, lo que ocasiono serios trastornos operativos en la refinería.

Otros tanques como el 704 y el 705 (para crudo liviano de 100 000 bbls de capacidad) no se pudieron sacar de operación inmediatamente, ya que estaban llenos de producto, y la zona de proceso de la refinería también sufrió daños severos, que la sacaron de operación por un

tiempo, sin embargo estos dos tanques debieron ser sometidos posteriormente a labores de reparación que consistieron en sustitución de anillos de pared vigas de techo, parte de las láminas del techo, piso completo y reforzamiento de anillos de cimentación.

Es importante destacar que antes de que se presentará el terremoto, ya se había realizado el estudio de reforzamiento estructural de los tanques de la refinería y la mayoría de los tanques que presentaron daños, se había determinado la necesidad de reforzarlos.

IV. ENSEÑANZAS

El uso de códigos internacionales para el diseño de estructuras, específicamente el API 650 para tanques de almacenamiento, debe ser tomado solo como una referencia y debe ser evaluado bajo las condiciones particulares del país. Los requisitos sísmicos son más estrictos que los que define el código, ya que éste fue elaborado para otra región del mundo. Por lo tanto, en el caso del diseño sísmico de tanques de almacenamiento debe utilizarse una metodologías de diseño que considere esta situación, en el caso de RECOPE, en las últimos diseños se ha estado utilizando una combinación de las metodologías desarrolladas por Epstein y Veletsos, que trabajaron considerando los dos movimientos típicos del conjunto tanque - liquido, es decir el movimiento convectivo, y el impulsivo.

Dentro de este considerando, se recomienda que los tanques de almacenamiento sean debidamente anclados a su base, ya que esto mejora el comportamiento sísmico tanto del tanque, como de los sistemas de apoyo (tuberías, sistemas de control, etc) . El anclaje con un detalle constructivo adecuado, minimiza los desplazamientos verticales y horizontales de los tanques, evitando así daños en otros sistemas y esfuerzos adicionales en el tanque producto del golpeteo del tanque con la cimentación.

Otro aspecto importante de anotar es la gran cantidad de daños que se presentaron en los techos de los tanques, tanto flotantes como fijos, ante esto es importante recordar la necesidad de dejar siempre el borde libre requerido entre el

techo y el líquido, de manera que la onda formada por el movimiento convectivo del fluido no genere tanto daño

El tipo de techo flotante es otro aspecto importante, se comportaron mejor los techos tipo membrana de contacto, ya que son más flexibles, y no le transmiten al tanque ningún esfuerzo adicional importante, como sí lo hace el de tipo pontón de acero.

Otras medidas importantes son las de diseñar los sistemas de apoyo o servicio del tanque con el debido cuidado para que sean capaces de soportar movimientos; específicamente, las tuberías de conexión al tanque nunca deben entrar al tanque en un forma que el impida movimiento, no deben estar ancladas rígidamente, lo mismo es aplicable a la tubería de los sistemas contra incendio, y sistemas de control (medición de nivel y temperatura, etc)

Todas estas medidas ayudarán a mitigar los daños que pueda sufrir un tanque durante un sismo de gran envergadura, pero no hay que dejar de lado que la incertidumbre siempre existe cuánto se trata de fenómenos naturales.

TABLA N.1
VOLUMEN ALMACENADO POR PRODUCTO

PRODUCTO	CANTIDAD DE TANQUE	VOLUMEN EN BBLs
<i>Crudo</i>	7	500,000
<i>Diesel</i>	6	490,000
<i>Bunker</i>	6	445,000
<i>Gasolina</i>	3	68,000
<i>Jet Fuel</i>	4	75,000
<i>Gasóleo</i>	4	20,000
<i>Naftas</i>	6	135,000
<i>Gasolina de Aviación</i>	1	15,000
<i>Keroseno</i>	1	10,000
<i>Asfaltos, Ifos, Slop</i>	10	56,500

Nota: Se incluyen solo los tanques para combustibles líquidos que estaban en operación en el momento del terremoto .

TABLA N.2
CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS DE LOS TANQUES.

CÓDIGO TANQUE	CONTENIDO	ALTURA (METROS)	ALTURA CONTENIDO (METROS) METROS)	BORDE LIBRE (METROS)	DIAMETRO (BARRILES)	VOLUMEN NETO ⁷
752	ASFALTO	4.88	4.39	0.49	6.40	742
753	ASFALTO	9.86	9.27	0.59	14.28	8,209
751	ASFALTO	4.88	4.39	0.49	6.40	742
739	BUNKER	12.19	12.01	0.18	29.87	45,858
728	BUNKER	12.19	11.41	0.78	40.84	88,507
729	BUNKER	12.19	11.41	0.78	40.84	88,564
791	BUNKER	4.88	4.50	0.38	4.88	382
727	BUNKER	12.19	11.28	0.91	41.92	97,914
709	CRUDO PES.	9.75	9.27	0.48	21.14	19,375
708	CRUDO PES.	9.75	9.27	0.48	21.14	19,249
702	CRUDO LIV.	9.75	9.17	0.58	44.20	77,651
701	CRUDO LIV.	9.75	9.17	0.58	44.20	77,651
703	CRUDO LIV.	12.19	11.28	0.91	44.20	101,956
705	CRUDO LIV.	12.19	11.28	0.91	44.20	101,805
704	CRUDO LIV.	12.29	11.28	0.91	44.20	101,805
732	DIESEL	12.19	11.41	0.78	40.84	89,325
733	DIESEL	12.19	11.41	0.78	40.84	89,325
745	DIESEL	9.75	9.27	0.48	10.36	4,502
731	DIESEL	12.19	11.41	0.78	40.84	89,325
734	DIESEL	12.19	11.28	0.91	41.92	97,914
719	GASOL.AVIAC.	12.21	11.41	0.78	16.31	14,149
721	GASOLEO	9.75	9.17	0.58	14.63	9,695
738	GASOLEO	9.75	8.75	1.00	14.63	9,109
714	GASOLEO	11.51	10.80	0.71	3.18	523
716	GASOLINA	12.20	11.41	0.69	29.70	47,318
711	GASOLINA	11.43	11.28	0.20	17.85	17,089
713	GASOLINA	11.51	10.80	0.71	3.18	540
735	IFO 180	9.75	9.27	0.48	17.68	13,254
737	IFO 180	9.75	9.27	0.48	17.68	13,248
736	IFO 380	9.75	9.27	0.48	17.68	13,254
743	JET FUEL	9.73	9.27	0.46	12.51	7,168
744	JET FUEL	9.73	9.27	0.46	12.51	7,168
747	JET FUEL					20,000
741	KEROSENO	9.75	9.27	0.48	17.68	8,970
742	JET FUEL	9.75	9.27	0.48	17.68	8,970
712	NAFTA	11.43	11.28	0.23	17.85	16,978
715	NAFTA	12.20	11.41	0.59	29.70	47,420
717	NAFTA	11.43	11.28	0.23	17.85	17,213
725	NAFTA PES.	11.43	11.28	0.23	17.85	17,027
726	NAFTA PES.	11.43	11.28	0.23	17.85	16,948
746	NAFTA PLAT.	4.88	4.22	0.66	6.40	774
792	SLOP	4.85	4.85	0.00	4.80	552
794	SLOP	5.35	5.35	0.00	3.25	279
795	SLOP	9.50	9.00	0.50	6.70	1,996
793	SLOP	4.85	4.85	0.00	4.80	552

NOTA: Borde libre es la distancia entre la superficie de liquido con el tanque lleno y el techo del tanque.

TABLA N.3
RESUMEN DE DAÑOS SUFRIDOS POR LOS TANQUES

TANQUE	PRODUCTO	TIPO DE DAÑO		
		TECHO	PARED	CIMENTACION
75	ASFALTO	LEVE	MODERADO	SIN DAÑO
728	BUNKER	SIN DAÑO	MODERADO	GRANDE
709	CRUDO PES	MODERADO	MODERADO	SIN DAÑO
708	CRUDO PES.	MODERADO	MODERADO	SIN DAÑO
701	CRUDO LIV.	GRANDE	GRANDE	SIN DAÑO
705	CRUDO LIV.	GRANDE	SIN DAÑO	SIN DAÑO
704	CRUDO LIV.	LEVE	SIN DAÑO	SIN DAÑO
745	DIESEL	SIN DAÑO	MODERADO	SIN DAÑO
738	GASOLEO	GRANDE	GRANDE	SIN DAÑO
716	GASOLINA	MODERADO	LEVE	SIN DAÑO
725	NAFTA PES.	MODERADO	LEVE	SIN DAÑO
726	NAFTA PES.	LEVE	SIN DAÑO	SIN DAÑO
792	SLOP	GRANDE	GRANDE	GRANDE

TABLA N.4
TANQUES QUE SALIERON DE OPERACION

TANQUE	PRODUCTO	CAPACIDAD	DAÑO	REPARACION
701	Crudo liviano	76 651 bbls.	Incendio	Sustitución láminas primeros dos anillos de pared, reforzamiento, cimentación, sustitución de piso
792	Slop	552 bbls	Explosión	No se sustituyó
708	Crudo pesado	19 375 bbls.	Paredes y piso	Se sustituyó por un tanque nuevo (derrame total)
709	Crudo pesado	19 375 bbls.	Paredes y piso	Se sustituyó por un tanque nuevo (derrame total)