

REFINADORA COSTARRICENSE DE PETROLEO S. A.
GERENCIA DE DESARROLLO
DIRECCION DE INGENIERIA

DAÑOS PRODUCIDOS POR EL TERREMOTO DEL
22 DE ABRIL EN LA REFINERIA DE MOIN

Por:

Ing. Daniel Vilaplana R.

ABRIL 1992

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1 INTRODUCCION	2
1.1 INSTALACIONES DE SERVICIO	2
1.2 PARQUE DE ALMACENAMIENTO	2
1.3 INSTALACIONES DE DISTRIBUCION	2
1.4 INSTALACIONES DE PROCESO	3
1.5 INSTALACIONES AUXILIARES	3
1.6 AREAS E INSTALACIONES DE PROTECCION	3
2. DESCRIPCION DE DAÑOS	3
2.1 INSTALACIONES DE SERVICIO	3
2.2 PARQUE DE ALMACENAMIENTO	4
2.3 INSTALACIONES DE DISTRIBUCION	5
2.4 INSTALACIONES DE PROCESO	5
2.5 INSTALACIONES AUXILIARES	5
3. DESCRIPCION DE LAS MEDIDAS PARA LA MITIGACION DE DAÑOS . .	6
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	9
5. TABLAS Y FOTOGRAFIAS	

DAÑOS PRODUCIDOS POR EL TERREMOTO DEL 22 DE ABRIL EN LA REFINERÍA DE MOIN

Por: *Ing. Daniel Vilaplana R*
Dirección de Ingeniería
RECOPE

1 INTRODUCCION

El sismo ocurrido el 22 de abril de 1991, en la provincia de Limón ocasionó serios daños en las instalaciones de la Refinería de RECOPE. Junto con el evento sísmico se produjo en la zona de proceso y área de dique del tanque 701 un incendio que también afectó las instalaciones.

En este trabajo se presenta una descripción general de los daños ocasionados por ambos siniestros, y las medidas que se están llevando a cabo para mitigar los efectos de otro posible terremoto.

Los daños directos ocasionados por el sismo, se clasificaron en los siguientes grupos:

1.1 INSTALACIONES DE SERVICIO

Edificaciones que no tienen relación directa con el proceso operativo de la Refinería y en las cuales se llevan a cabo labores de apoyo por el personal a cargo.

Edificios administrativos, Comedores, Servicios Médicos, Servicios de bomberos, Talleres de Mantenimiento y Bodegas de Almacenamiento, etc.

1.2 PÁRQUE DE ALMACENAMIENTO

El área ocupada por los tanques de almacenamiento incluyendo los diques de retención y sus caminos perimetrales.

1.3 INSTALACIONES DE DISTRIBUCION

Las unidades destinadas a la operación de carga, trasiego y descarga de los productos petroleros, (cargaderos de camiones y ferrocarril, patios de válvulas, edificios para control de Poliductos, instalaciones de bombeo, líneas de trasiego interno y externo).

1.4 INSTALACIONES DE PROCESO

El área ocupada por aquellas unidades destinadas específicamente al proceso de refinación transformación del petróleo y sus derivados.

1.5 INSTALACIONES AUXILIARES

Las instalaciones que sin ser parte de proceso, son indispensables, ya que tienen relación directa con este o sirven de apoyo para la operación segura de la Refinería, (sistemas contra incendio, sistemas eléctricos en general, sistemas de protección catódica, sistemas de tratamiento de residuos, etc.).

1.6 AREAS E INSTALACIONES DE PROTECCION

Las área de terreno en las cuales se considera inconveniente la construcción de cualquier tipo de instalación debido a los riesgos a que estarían sujetas por su proximidad con unidades de la Refinería.

A continuación se describen los daños observados, así como su relación con los tres accidentes laborales.

2. DESCRIPCION DE DAÑOS

2.1 INSTALACIONES DE SERVICIO

En las instalaciones de servicio la única obra que sufrió daños de consideración fue el edificio de oficinas administrativas, ver foto No.1.

El edificio construido en hormigón armado tiene dos plantas cada una con un área de 400 m² aproximadamente.

La obra había sufrido daños ocasionados por el sismo de 1983, debido a los cuales se le había efectuado un reforzamiento en ese tiempo. Los principales daños al edificio administrativo son:

- Fisuramiento del concreto en los núcleos de las uniones viga-columna. Al ser estos elementos esenciales para mantener la integridad de la estructura, el daño en los núcleos se considera de primera importancia. Prácticamente todos los núcleos sufrieron daños, especialmente de los de las columnas externas. En algunas ocasiones este tipo de grietas continúa en las vigas principales. Este

tipo de daño se puede observar en la foto No.2 y No.3.

- Fisuramiento en las bases de las columnas principales características de esfuerzos por flexión así como posibles asentamientos de la cimentación en algunas columnas.

- Desplazamientos horizontales permanentes del entrepiso que se evidencia en el desplome de las columnas perimetrales en aproximadamente 7 cm entre el nivel de planta baja y el entrepiso.

Este desplazamiento generalizado es excesivo e induce momentos secundarios en las columnas que mantienen abiertas las grietas de flexión, principalmente en la base de estas. (ver foto No.4).

- Destrozo de los cielos rasos suspendidos en planta alta, debido a los grandes desplazamientos generados a nivel de techo y su movimiento relativo con respecto al entrepiso. Este tipo de comportamiento también dañó la ventanería de aluminio de ambas plantas.

2.2 PARQUE DE ALMACENAMIENTO

El parque de almacenamiento de la Refinería consta aproximadamente de cuarenta y cinco tanques cilíndricos para combustibles líquidos. El volumen nominal acumulado por producto se indica en la Tabla No.1.

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 y por ello se presenta una concentración de daños en estos tanques.

Los tanques de producto refinado mantenían un nivel bajo de líquido, pues la mayor parte de estos productos se habían transportado a las terminales de distribución por medio del poliducto y se estaba a la espera de un embarque con gasolina y diesel y por ello no sufrieron mayores daños.

En la Tabla No.3 se presenta un resumen de los daños producidos por el sismo, al parque de almacenamiento. Los daños incluyeron fallas por pandeo en los anillos inferiores, daños en los techos fijos y flotantes, debido al impacto de la onda de líquido en movimiento, daños en los anillos superiores debido a la interacción del techo fijo con la lámina de la pared.

Junto con la ocurrencia del sismo se presentaron dos incendios. El primero de ellos se originó en la zona de proceso y el segundo en el parque de almacenamiento. Este segundo incendio se concen-

tró mayormente alrededor del tanque 701 que almacenaba 14313 m³ (90 000 bbls) de crudo liviano ver foto No.5.

El doble evento sismo-incendio produjo una muerte y un herido por quemadura en el personal de la Refinería.

Los dos trabajadores, ayudantes de soldador, laboraban en la reparación del techo flotante del tanque 702 adyacente al 701.

En el momento de la sacudida sísmica los dos trabajadores se encontraban en el espacio libre que queda entre la superficie inferior del techo flotante y el fondo del tanque.

Cuando ambos trabajadores trataban de huir por una escotilla de inspección, las columnas de apoyo del techo flotante se desplomaron y atraparon al segundo compañero, que murió a causa del accidente. El primero de ellos al ir corriendo sobre el dique del 701, fue alcanzado por la onda expansiva de la explosión 792 tirándolo al lado exterior del dique y provocándole quemaduras de segundo grado.

2.3 INSTALACIONES DE DISTRIBUCION

Las instalaciones de distribución de la Empresa no sufrieron daños de importancia. Tanto sus edificaciones como sus sistemas de tuberías tuvieron un comportamiento adecuado, a excepción del desplazamiento de los soportes de las líneas del poliducto muelle-refinería.

2.4 INSTALACIONES DE PROCESO

Las instalaciones en la zona de proceso sufrieron daños importantes debido tanto al sismo, como al incendio.

Las tres torres GV-404, GV-405 y GV-420 de la unidad de concentración de gases (Gascon), sufrieron daños en el anclaje de las mismas al pedestal de concreto, como se puede observar en la foto No. 7.

En estas torres se presentó la falla por tracción de varios pernos de anclaje (42 mm de diámetro), afortunadamente las torres no colapsaron.

2.5 INSTALACIONES AUXILIARES

Entre las instalaciones auxiliares las más dañadas fueron las que pertenecen al sistema de abastecimiento de agua, en especial las del sistema contra incendios.

El abastecimiento de agua del sistema de enfriamiento y el sis-

tema contra incendio (SCI) de la refinería, se daba por medio de tres tomas, una sobre el Río Moín y dos sobre el Río Bartolo afluente del Moín.

Además de la interrupción en el fluido eléctrico, el sismo ocasionó dos problemas principales, uno local y el otro regional.

El problema local se presentó en la caseta de bombeo del SCI, cuando por la falta de anclaje adecuado, el tanque de combustible de la bomba colapsó, quedando este sistema fuera de operación, ver foto No.8.

El problema de más relevancia es el regional. Este problema es el originado por el levantamiento generalizado del terreno a lo largo de la costa, que produjo una disminución en términos relativos, del nivel del agua en los ríos Bartolo y Moín de aproximadamente 1.5 m. La tubería de succión de las bombas en la segunda toma sobre el Bartolo quedó sin sumergencia, perdiéndose toda la capacidad de bombeo. El incendio en su inicio se combatió con los (1000 gpm) que suministró la primera toma sobre el Bartolo que cuenta con una pequeña laguna de almacenamiento.

Las tomas de agua y casetas de bombeo, también sufrieron daños otras instalaciones tales como el puente principal de entrada a la Refinería, sistema de iluminación, sistema de drenaje superficial y tratamiento de aguas oleaginosas así como el sistema de medición automática de niveles en los tanques.

3. DESCRIPCION DE LAS MEDIDAS PARA LA MITIGACION DE DAÑOS

Las medidas para mitigar los daños ocasionados por un evento sísmico o de un incendio se pueden agrupar en dos grandes grupos, las medidas pasivas y las medidas activas. Las medidas activas son aquellas que se emplean durante el evento mismo del accidente, tales como el sistema contraincendios, motobombas, casetas de inyección de espuma, etc.. Las medidas pasivas son aquellas que están presentes haya o no accidente y principalmente se toman en cuenta en la planeación y diseño de las instalaciones. Las medidas pasivas se convierten en elementos para evitar la propagación del accidente, algunos ejemplos son: diques de contención, separación adecuada entre las instalaciones, acceso restringido en áreas de alto riesgo y mayor seguridad intrínseca en las instalaciones por medio de mejores diseños.

Como se pudo notar en la descripción de los daños sufridos, los tanques fueron las estructuras más afectadas. Antes de comentar sobre las recomendaciones para mitigar este tipo de daño, debemos comprender la naturaleza del problema.

Cuando un recipiente elástico está parcial o totalmente lleno con un líquido y es sujeto a aceleraciones laterales, las fuerzas generadas por la reacción del líquido afectan al recipiente provocando dos tipos de fenómenos a saber:

- 1) *Fenómeno convectivo (sloshing)*
- 2) *Fenómeno impulsivo (impulsive)*

El fenómeno convectivo depende del movimiento de la superficie libre del líquido y su interacción con el tanque, por lo que sus efectos dependen del flujo del líquido. Este fenómeno dinámico de propiedades bien definidas, se caracteriza por la formación de una onda en la superficie del líquido.

Este fenómeno además de su influencia en los esfuerzos, se asocia fuertemente con los daños provocados al techo y su estructura de soporte.

El fenómeno impulsivo es aquel relacionado con la interacción entre el tanque y el volumen de líquido contenido por el mismo. Una parte de la masa del líquido se mueve rígidamente, como un solo cuerpo, con el tanque y por lo tanto las presiones generadas son directamente proporcionales a las aceleraciones asociadas a este fenómeno.

Este fenómeno es el que mayor influencia tiene en la falla de la envolvente o pared. Debido a que el comportamiento de los materiales y la falla a tracción depende de variables mejor conocidas, este tipo de falla es poco frecuente, siendo la más común la falla por pandeo, que en casos críticos puede ocasionar el colapso de la estructura. Este tipo de falla depende grandemente de las imperfecciones constructivas, y se ve fuertemente afectada por concentraciones de esfuerzos que pueden llevar a la plastificación del material en zonas críticas.

Ante la necesidad de mejorar nuestros diseños y aprovechando los nuevos avances en este campo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño que complementa al Código API 650 en su aspecto de diseño sísmico. En el área del análisis se incorporan las propuestas de Epstein, Haroun y Veletsos, así como los aportes generados en el país por Cartín y Sauter.

Esta nueva metodología pretende uniformizar los criterios de análisis y diseño de manera que estos puedan ser revisados y corregidos con facilidad e incluye varias etapas:

ETAPAS DEL DISEÑO

<i>Información Básica Necesaria</i> <i>Dimensionamiento Preliminar</i> <i>Condiciones de Carga</i> <i>Análisis Estructural</i> <i>Cálculo de Esfuerzos</i>
--

La etapa de información básica incluye la recolección de propiedades físicas de los materiales, líquido contenido, tamaño de láminas a usar, capacidad admisible del suelo, esfuerzos permisibles de los materiales, peso del techo y su estructura soportante, localización de la estructura con respecto al plantel, etc.

El dimensionamiento preliminar se lleva a cabo por medio de tablas donde se relaciona el tanque a diseñar con otros tanques previamente diseñados, o tablas como la generada por la Chicago Bridge. En esta etapa se consideran factores locales tales como el espacio disponible, razón de esbeltez del tanque y otros.

Las condiciones de carga que deben considerarse incluyen:

prueba hidoestática
operación normal
operación y sismo.

El análisis estructural se inicia con el cálculo de los períodos de vibración de los primeros modos convectivo e impulsivo, así como las sollicitaciones para cada una de las condiciones de carga. En este análisis se incluye el cálculo del borde libre a respetar.

El cálculo de esfuerzos, tanto circunferenciales como axiales se compara con los permisibles. En especial se hace énfasis en los esfuerzos de compresión axial (pandeo).

Este esfuerzo de diseño, se ha complementado con mayor y mejor detalle en los planos constructivos, así como con mejores especificaciones técnicas que faciliten tanto la construcción como la inspección de las obras. Los tanques diseñados bajo esta propuesta requieren de espesores, en los anillos inferiores aproximadamente 15% mayores que los resultantes bajo cargas estáticas según el API-65.

Junto con la mejora en los diseños, también se está aprovechando la situación para reubicar tanques de manera que su nueva ubicación sea más acorde con el contenido de los mismos. A la vez en los casos en que es posible, se está dotando de una mayor capacidad de embalse a los diques.

Con respecto a la mitigación de daños en el techo, se está recomendando respetar el borde libre en el tanque, de manera que la onda de líquido (movimiento convectivo) no ocasione tanto daño, y se está mejorando el apoyo de las columnas del techo para restringir su desplazamiento. A la vez en los techos flotantes internos se está utilizando un tipo de techo más flexible y liviano.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la experiencia sufrida durante el terremoto e incendio del 22 de abril de 1991, se desprenden las siguientes recomendaciones.

Cuando un tanque de almacenamiento con techo flotante es sacado de operación para mantenimiento, es conveniente efectuar una revisión del sistema de soporte del techo con el fin de evitar que las columnas de apoyo fallen. Una forma sencilla de reforzar esta estructura es con el uso de arriostres en cruz que le den mayor estabilidad lateral al conjunto de columnas.

La falla estructural durante el proceso constructivo o durante mantenimiento de las obras, debe ser considerada como otra condición de diseño más.

Normalmente los códigos utilizados en la industria petrolera recomiendan distancias mínimas, que en casos especiales no proporcionan suficiente seguridad. En estos casos se debe ejercer con mayor cuidado el criterio de los profesionales que participan en el planeamiento y distribución en planta de instalaciones.

Tanto el comportamiento sísmico, como los daños a sistemas de apoyo (tuberías, control, etc.) se ven beneficiados con el hecho de que los tanques de almacenamiento se anclen a su cimentación. Este anclaje, con el detalle constructivo adecuado, minimiza los desplazamientos verticales y horizontales de los tanques, evitando así daños a otros sistemas y evitando la generación de esfuerzos adicionales por impacto al tanque. Sin embargo en tanques poco esbeltos el anclaje puede no ser necesario, pues la tendencia al levantamiento es mucho menor.

El esfuerzo permisible por compresión definido por el API-650, no necesariamente provee suficiente margen de seguridad. Es importante considerar otros criterios tales como el de Niwa y Clough

TABLA N° 1
VOLUMEN TOTAL ALMACENADO POR PRODUCTO

PRODUCTO ALMACENADO	NUMERO DE TANQUES	VOLUMEN (Bbls)	VOLUMEN (M3)
Crudo	7	500.000	79.515
Diesel	5	390.000	62.021
Búnker	5	345.000	54.865
Gasolina	3	68.000	10.814
Jet Fuel	3	45.000	7.156
Gasóleo	4	20.000	3.181
Naftas	6	135.000	21.469
Gasolina Aviación	1	15.000	2.385
Queroseno	1	10.000	1.590
Asfalto y otro	10	56.500	8.985
TOTAL:	45	1,584.50	248.98

TABLA Nº 2

Dimensiones de los tanques en la Refinería

TANQUE	CONTENIDO	ALTURA (m)	ALTCONT. (m)	DIAMETRO (m)	VOL. NET. (bbls)	VOL. NET. (m ³)
T - 752	ASFALTO 80%	4.88	4.39	6.40	742	118
T - 753	ASFALTO 80%	9.86	9.27	14.28	8,209	1,305
T - 751	ASFALTO 80%	4.88	4.39	6.40	742	118
T - 739	BUNKER	12.19	12.01	29.87	45,858	7,290
T - 728	BUNKER	12.19	11.41	40.84	88,507	14,070
T - 729	BUNKER	12.19	11.41	40.84	88,564	14,079
T - 791	BUNKER	4.88	4.50	4.88	382	61
T - 709	CRUDO PESADO	9.75	9.27	21.14	19,375	3,080
T - 708	CRUDO PESADO	9.75	9.27	21.14	19,249	3,060
T - 702	CRUDO - LIV.	9.75	9.17	44.20	77,651	12,344
T - 701	CRUDO - LIV.	9.75	9.17	44.20	77,651	12,344
T - 703	CRUDO - LIV.	12.19	11.28	44.20	101,956	16,208
T - 705	CRUDO - LIV.	12.19	11.28	44.20	101,805	16,184
T - 704	CRUDO - LIV.	12.19	11.28	44.20	101,805	16,184
T - 732	DIESEL	12.19	11.41	40.84	89,325	14,200
T - 733	DIESEL	12.19	11.41	40.84	89,325	14,200
T - 745	DIESEL	9.75	9.27	10.36	4,502	716
T - 731	DIESEL	12.19	11.41	40.84	89,325	14,200
T - 719	GASOL AVIAC.	12.21	11.41	16.31	14,149	2,249
T - 721	GASOLEO	9.75	9.17	14.63	9,695	1,541
T - 738	GASOLEO	9.75	8.75	14.63	9,109	1,448
T - 714	GASOLEO	11.51	10.80	3.18	523	83
T - 716	GASOLINA	12.20	11.41	29.70	47,318	7,522
T - 711	GASOLINA	11.43	11.28	17.85	17,089	2,717
T - 713	GASOLINA	11.51	10.80	3.18	540	86
T - 735	IFO 180	9.75	9.27	17.68	13,254	2,107
T - 737	IFO 180	9.75	9.27	17.68	13,248	2,106
T - 736	IFO 380	9.75	9.27	17.68	13,254	2,107
T - 743	JET FUEL	9.73	9.27	12.51	7,168	1,140
T - 744	JET FUEL	9.73	9.27	12.51	7,168	1,140
T - 741	KEROSEN	9.75	9.27	17.68	8,970	1,426
T - 742	JET FUEL	9.75	9.27	17.68	8,970	1,426
T - 712	NAFTA	11.43	11.28	17.85	16,978	2,699
T - 715	NAFTA	12.20	11.41	29.70	47,420	7,538
T - 717	NAFTA	11.43	11.28	17.85	17,213	2,736
T - 725	NAFTA PESADA	11.43	11.28	17.85	17,027	2,842
T - 726	NAFTA PESADA	11.43	11.28	17.85	16,948	2,694
T - 746	NAFTA PLATFO	4.88	4.22	6.40	774	123
T - 792	SLOP	4.85	4.85	4.80	552	88
T - 794	SLOP	5.35	5.35	3.25	279	44
T - 795	SLOP	9.50	9.00	6.70	1,996	317
T - 793	SLOP	4.85	4.85	4.80	552	88

TABLA N° 3

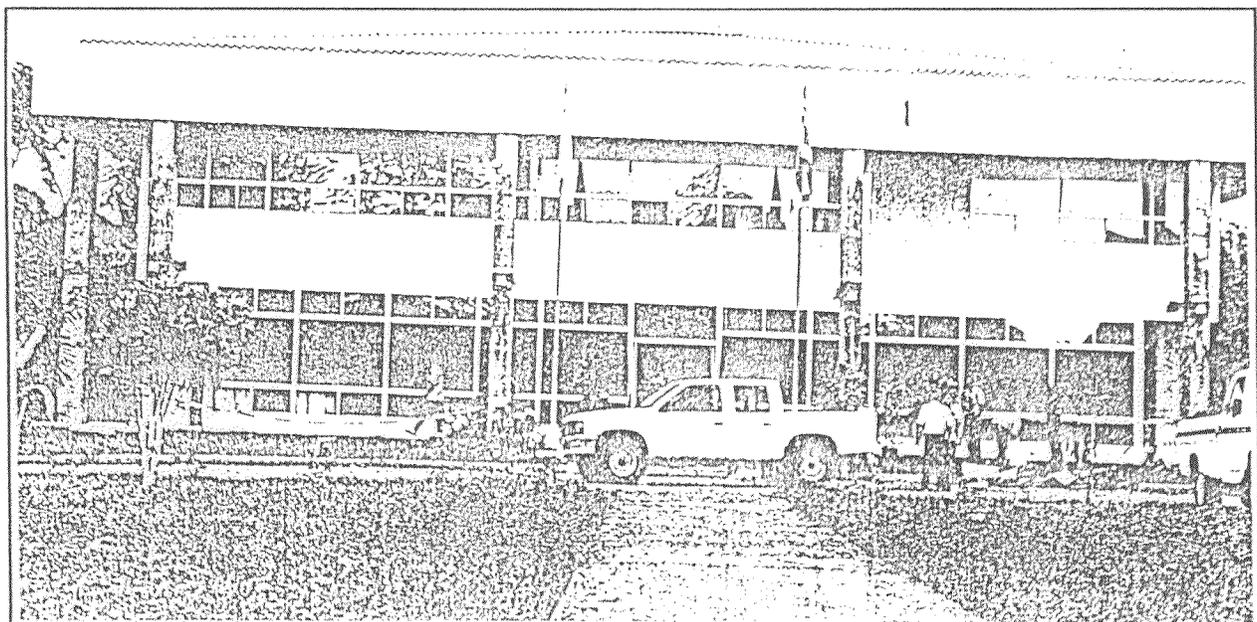
Daños ocasionados a los tanques

TANQUE	CONTENIDO	TIPO DE DAÑO		
		Techo	Pared	Cimentación
T - 754	ASFALTO 80%	leve	moderado	•
T - 728	BUNKER	•	moderado	grande
T - 728	BUNKER	•	•	moderado
T - 709	CRUDO PESADO	moderado	moderado	•
T - 708	CRUDO PESADO	moderado	moderado	•
T - 701	CRUDO - LIV.	grande	grande	•
T - 705	CRUDO - LIV.	grande	•	•
T - 704	CRUDO - LIV.	leve	•	•
T - 745	DIESEL	•	moderado	•
T - 738	GASOLEO	grande	grande	•
T - 716	GASOLINA	moderado	leve	•
T - 725	NAFTA PESADA	moderado	leve	•
T - 726	NAFTA PESADA	leve	•	•
T - 792	SLOP	GRANDE	GRANDE	GRANDE

Los daños en el techo incluyen a los techos fijos y flotantes de los tanques.

Los daños a la pared mayormente fueron ocasionados por pandeo "pata de elefante" e interacción pared techo.

Los daños a la cimentación incluyen asentamientos diferenciales e inclinación de las paredes



Fotografía N° 1 - Fachada Principal Edificio Administrativo.