INVESTIGACIÓN DE CAUSAS DE EXPLOSIONES EN UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE EN PUERTO RICO[1]

Jean Batista Abreu[2] y Luis A. Godoy[3]

Resumen. Se presenta el accidente ocurrido en las instalaciones de una compañía petrolera ubicada en Bayamón, Puerto Rico en 2009, con el objetivo de reconstruir detalladamente el desarrollo del accidente, identificar las causas que lo provocaron y resaltar lecciones aprendidas sobre el incendio más grande registrado en la historia de la isla. Se describe el depósito de Caribbean Petroleum Corporation y sus niveles de contención, y se identifican los hechos relacionados al accidente ocurrido en octubre 2009 y sus consecuencias. Las explosiones e incendios desencadenados en esta catástrofe, además de destruir más de la mitad de los tanques de almacenamiento de combustible activos en la planta y causar daños importantes al ambiente y a los habitantes de la zona de desastre, generaron una pérdida económica de gran magnitud.

Palabras clave: accidentes, causas de accidente, combustible, fuego, tanques.

INVESTIGATION OF THE CAUSES OF EXPLOSIONS IN AN OIL STORAGE PLANT IN PUERTO RICO

Abstract. This paper reports on an accident occurred in the facilities of an oil company located in Bayamón, Puerto Rico, in 2009. This study aims to reconstruct in detail the development of the accident, identify the causes that led to it, and highlight lessons learned about the largest fire recorded in the history of the island. The paper describes the Caribbean Petroleum Corporation facilities and its levels of containment, and identifies the main facts related to the accident and its consequences. The explosions and fires triggered in the disaster destroyed more than half of the oil storage tanks. This accident generated significant damage to the environment and people in the disaster zone and caused a huge economic loss to the company.

Keywords: accidents, accident causes, fuel, fire, tanks.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, las explosiones e incendios en granjas de almacenamiento de petróleo han ocasionado daños y perjuicios enormes, tanto desde el punto de vista ambiental como económico, causando pérdidas humanas y financieras, y generando altos niveles de contaminación en el medio ambiente.

Chang y Lin (2006) estudiaron y analizaron las causas de 242 accidentes de tanques de almacenamiento de hidrocarburos en instalaciones industriales. Según Chang y Lin, la mayoría de los accidentes estudiados pudieron evitarse si se hubiesen aplicado los principios ingenieriles adecuados. Las causas identificadas de los accidentes son: caída de rayos durante tormentas eléctricas, errores en las labores de mantenimiento, errores operacionales, falla en los equipos mecánicos, sabotaje, rotura o fisura de elementos estructurales, fugas de combustible, problemas en el sistema eléctrico, acción de desastres naturales, y otros, de las cuales los errores humanos provocaron el 30% de las eventualidades, aproximadamente. Un 85% de los accidentes involucran explosiones e incendios, la mayoría ocurridos en terminales o granjas de almacenamiento de productos y en más de 50% de los casos el contenido de los tanques era crudo y productos derivados del petróleo. Asimismo, una revisión de 480 accidentes que involucran

[1] Artículo recibido el 10 de mayo de 2011 y aceptado para publicación el 15 de julio de 2011.

[2] Ex estudiante de Maestría, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Puerto Rico 00680-9000. Actualmente estudiante doctoral, JohnHopkins University. E-mail: jbatist1@jhu.edu

[3] Catedrático, Director del Centro de Investigaciones en Infraestructura Civil, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Puerto Rico 00680-9000, E-mail: luis.godoy@upr.edu

fuego en tanques de almacenamiento ocurridos entre 1950 y 2003 (Persson y Lönnermark, 2004) muestra que la cantidad de accidentes crece entre un 20% y un 80% en cada década, reportándose en promedio 16 accidentes anuales en la década de 1990. En muchos de los casos las pérdidas económicas oscilan en cientos de millones de dólares. Es notable que en ambos estudios alrededor de la mitad de los casos registrados ocurrieran en los Estados Unidos de América.

Recientemente, en octubre 2009, aconteció un accidente catastrófico en las instalaciones de Caribbean Petroleum Corporation, una planta de almacenamiento de petróleo situada en las cercanías de San Juan, Puerto Rico. Las explosiones e incendios ocurridos involucraron a más de la mitad de los contenedores de petróleo de la granja, generando pérdidas económicas de cientos de millones de dólares y finalmente llevando a la compañía petrolera a la ruina.

El caso ha sido reconstruido en parte gracias a la información publicada en artículos de periódicos y revistas digitales tales como El Nuevo Día, Primera Hora, El Universal, Diálogo Digital, Periódico El Expreso de Puerto Rico y Prensa Comunitaria, consultados entre el 23 octubre de 2009 y el 23 de diciembre de 2010.

EL DEPÓSITO DE CARIBBEAN PETROLEUM CORPORATION EN BAYAMÓN

La compañía Caribbean Petroleum Corporation, mejor conocida como CAPECO, se dedicaba al almacenamiento, distribución y servicios de mezclado de combustibles. La planta petrolera se sitúa en la carretera número 28, kilómetro 2.2, en el municipio de Bayamón, a unos 6 kilómetros del centro de San Juan, la capital de Puerto Rico.

Las instalaciones están rodeadas de varias comunidades, la más cercana yace a unos 500 metros de distancia. Al norte de las instalaciones se encuentra un área verde que se extiende unos 300 metros hasta la carretera número 22, en la parte sur y este están limitadas por el Fuerte Buchanan y al oeste se encuentran varias instalaciones comerciales e industriales (ver Figura 1).

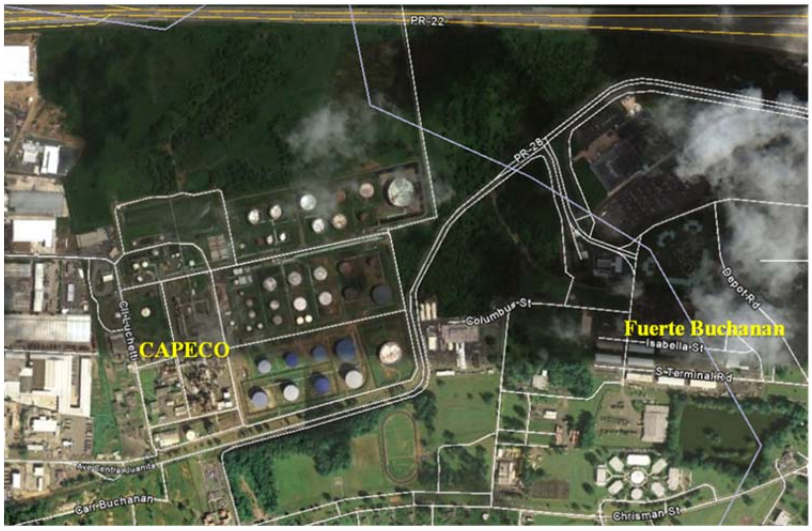

Figura 1: Vista aérea de las instalaciones de CAPECO antes del accidente de 2009.

La planta petrolera tiene un perímetro de unos 2600 metros y las instalaciones abarcan un área de aproximadamente 465 mil metros cuadrados de los 725 mil metros cuadrados que tiene la propiedad en su totalidad. Consta de cuatro áreas principales: el edificio de oficinas administrativas, una granja de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, la planta de tratamiento de aguas residuales y la refinería más antigua de la isla con capacidad máxima de producción de 48 mil barriles diarios, la cual no opera desde el año 2000. Posee además un pozo de agua en la parte noroeste con una superficie de unos 12 mil metros cuadrados y un puerto privado de carga y descarga de productos, habilitado para recibir dos embarcaciones simultáneas, ubicado a unos 3 kilómetros en la Bahía de San Juan, municipio de Guaynabo. El personal de trabajo de CAPECO estaba constituido por unos 65 empleados en 2009.

La compañía petrolera de Bayamón inició sus operaciones en el año 1955 bajo el nombre de "Caribbean Refining Corporation" con el fin de proveer combustible para la producción de energía eléctrica en las instalaciones de San Juan y Palo Seco en Cataño. Desde 1987 funciona bajo el nombre de Caribbean Petroleum Corporation y era uno de los mayores suplidores de combustible de Puerto Rico. CAPECO almacenaba alrededor del 10% de la gasolina que se consume en la isla, abastece a la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) con un 20% del volumen de combustible que consume y suple al Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (el principal aeropuerto de Puerto Rico) con el 50% del combustible para aviones que requiere. Además mantenía contrato con unas 200 estaciones de gasolina en toda la isla de Puerto Rico, las cuales operan bajo la marca de Gulf Oil Corporation.

NIVELES DE CONTENCIÓN

El nivel de contención primario está constituido por los elementos del sistema que tienen contacto directo con el combustible, tal como los oleoductos, tanques de almacenamiento y camiones cisterna.

La planta albergaba 76 contenedores primarios, de los cuales unos 40 eran usados para el almacenamiento de gasolina, diesel, gasoil, combustible para aviones, gas licuado de petróleo, aceite combustible y crudo. Los tanques eran de acero o aluminio, con geometría cilíndrica con techos cónicos y esféricos de tipo flotantes internos o externos. La mayoría de estos contenedores fueron construidos en los años 1970 por la compañía Chicago Bridge & Iron Co. y tenían equipos internos para el mezclado de productos.

En general los tanques de almacenamiento tenían 30 metros de diámetro y 12 metros de altura aproximadamente. El tanque más grande tenía un diámetro de unos 74 metros. La separación entre los contenedores típicamente suele ser del orden del diámetro más grande de los tanques vecinos. El volumen de combustible en los contenedores, expresado en profundidad de líquido almacenado, varía entre un mínimo de 0.30 metros y un máximo aproximado igual a la altura del cuerpo del tanque menos 0.30 metros. Habitualmente los tanques se llenan a un 50% de su capacidad máxima. La capacidad total de almacenamiento de la granja era de unos 3 millones de barriles.

Las instalaciones se encuentran sobre un relleno superficial de limo arcilloso de baja permeabilidad con un espesor que varía entre 3 metros en la parte sur y 27 metros en la parte norte, aproximadamente. La capa subyacente está formada por un estrato sedimentario permeable identificado como acuífero.

Las fundaciones de los tanques dependen del tipo de suelo en el que yacen y son de dos tipos:

1) Fundación con placa metálica. Los tanques descansan sobre una placa de acero de espesor aproximado de seis milímetros colocada sobre un colchón de suelo granular compactado. Esta es la configuración típica utilizada, en la cual no se provee anclaje a los tanques.

2) Fundación de hormigón. La subestructura de soporte es un anillo de concreto unido a la base de los tanques por medio de elementos de anclaje. Este tipo de fundación es provista a los tanques situados en zonas de suelo más blando.

CAPECO recibía y distribuía productos a través de un sistema de seis oleoductos superficiales que atraviesan territorios de los municipios: Carolina, Cataño, Guaynabo, San Juan y Toa Baja. Las tuberías tienen diámetros de 0.60, 0.50 o 0.30 metros aproximadamente y usualmente manejan caudales entre 100 y 400 metros cúbicos por hora. Una de las tuberías se extiende por más de 3 kilómetros transfiriendo combustible entre la planta petrolera y las barcazas y buques atracados en el puerto privado en la Bahía de San Juan. Otra de las tuberías transporta combustible hacia las plantas generadoras de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) ubicadas en San Juan y Cataño. El Aeropuerto Luis Muñoz Marín recibe combustible para aviones a través de una tubería proveniente de la planta petrolera. También el sistema de ductos permite el intercambio de productos entre CAPECO y facilidades de las compañías ESSO, Shell y Texaco situadas en el muelle de Cataño y sirve de medio de transporte para las aguas tratadas en la planta hacia la Bahía de San Juan.

La planta cuenta con un sistema de contención secundario constituido por diques hechos de tierra. Esos terraplenes bordean a los tanques de almacenamiento con el fin de retener derrames de líquidos que de alguna forma pudiesen escapar de los contenedores primarios, evitando que se esparza el combustible líquido en la zona.

ANTECEDENTES DE CARIBBEAN PETROLEUM CORPORATION

A lo largo de la historia de Caribbean Petroleum Corporation se registraron varios accidentes e irregularidades que incluyen derrames de petróleo en el litoral de San Juan y fugas en el sistema de oleoductos. Se destacan los siguientes hechos:

a. En 1995, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por las siglas en inglés de Environmental Protection Agency) solicitó a CAPECO la construcción de tanques e instalaciones para el manejo de aguas residuales tras identificar la presencia de contaminantes de alto riesgo en el acuífero que se encuentra debajo de la planta.

b. Entre los años 1995 y 1999 CAPECO cesó las operaciones de su refinería luego de que el gobierno federal le requiriera la reparación de ductos y válvulas en los cuales se habían identificado varios puntos de escape de combustible. La compañía invirtió decenas de millones de dólares en reparaciones y mejoras de sus facilidades.

c. Según testigos, unos 12 años antes del accidente de octubre 2009, hubo un incendio dentro de la refinería de Bayamón cuyas causas son desconocidas ya que la compañía optó por manejar la situación de manera interna.

d. De acuerdo con habitantes de Puente Blanco, a unos 800 metros de la planta petrolera, su comunidad se había visto frecuentemente afectada por pequeños derrames de aceite combustible y esporádicamente se podían percibir olores de gases de petróleo, por lo que varias organizaciones comunales expresaron ante los medios de comunicación su desconfianza hacia el desempeño de CAPECO. Los reclamos de la comunidad se fortalecían por el hecho de que el municipio de Cataño tiene el mayor porcentaje de pacientes con cáncer de Puerto Rico y sus niveles de contaminación en el aire son altos en comparación con los demás municipios de la isla.

ACCIDENTE DEL 23 DE OCTUBRE DE 2009

En la madrugada del viernes 23 de octubre de 2009 se produjeron una serie de explosiones e incendios dentro de las instalaciones de la compañía Caribbean Petroleum Corporation (ver Figura 2). El primer estallido fue el más potente y se registró a las 12:23 am, hora local. A partir de las 12:25 am ocurrieron múltiples explosiones secundarias ocasionales de menor intensidad que la primera. La última explosión registrada por el cuerpo de bomberos ocurrió a las 8:16 am del viernes.

Figura 2: Fotografía aérea de la planta de CAPECO durante el accidente de octubre 2009 (United States Chemical Safety Board).

Cientos de personas salieron a las calles luego de escuchar el estruendo generado por las explosiones (Ayala et al., 2009). Decenas de espectadores se dirigieron en sus vehículos a las cercanías del lugar de los hechos congestionando las vías y obstaculizando el paso de los camiones de bomberos, ambulancias y demás personal de

rescate (Ayala Gordián y Bonilla Colón, 2009). Las autoridades cerraron el paso de algunas vías y crearon rutas alternas para permitir el paso del flujo vehicular.

Las condiciones climáticas del día de las explosiones muestran temperaturas máxima y mínima de 34 y 26˚C, respectivamente. La velocidad pico del viento reportada fue 29 kilómetros por hora, aproximadamente. No se reportaron lluvias durante el día de la explosión.

La Red Sísmica de Puerto Rico registró las ondas causadas por las primeras explosiones en 13 de las 25 estaciones de monitoreo que mantiene instaladas en la región. El evento principal generó un microtemblor superficial con coordenada focal 18º 24' 59" Norte y 66º 8' 3" Oeste, de magnitud 2.9 Md (Anónimo, 2009a), lo cual es equivalente a la explosión producida por 181 kilogramos de TNT, siendo éste un valor típico para explosiones en plantas de gas. Se reportó una intensidad VI en los municipios de Cataño y Toa Baja e intensidad V en Bayamón, de acuerdo a la escala de Mercalli Modificada. El sismo generado por la explosión inicial fue percibido también en los municipios: Guaynabo, Cidra, Toa Alta, Luquillo, Caguas, Vega Baja, Dorado, Trujillo Alto, San Juan, Aguas Buenas, Aguadilla, Corozal, Naranjito, Yauco y Manatí.

La onda expansiva liberada causó daños moderados a las edificaciones alrededor de la planta en un radio de unos 1600 metros y puso en riesgo a los habitantes en un radio de unos 15 kilómetros. Algunas puertas se desprendieron de sus marcos, muchas de las ventanas de cristal se resquebrajaron y los techos quedaron cubiertos de ceniza y hollín negro. Los vehículos que circulaban en el área también fueron afectados. Según algunos conductores, las ventanas de sus vehículos se rompieron debido al impacto de la onda expansiva. La explosión además ocasionó grietas en la capa de rodadura de una de las carreteras cercanas construida con pavimento asfáltico y devastó la espesa vegetación en las cercanías de la planta.

El siniestro desatado por la explosión fue catalogado por agentes del FBI ("Federal Bureau of Investigation") como el incendio más grande en la historia de Puerto Rico. Las llamas se propagaron rápidamente alcanzando unos 30 metros de altura. Una hora después de la primera explosión ya había cinco tanques encendidos, a las dos horas ya eran 11 tanques los involucrados (Pérez Sánchez, 2009) y a las cinco horas se reportó que habían estallado 18 tanques. De acuerdo con la Agencia Federal de Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (De La Campa, 2009), un total de 21 tanques terminaron involucrados en el incendio (ver Figura 3). Aproximadamente un 50% del área de la granja de almacenamiento fue cubierta por las llamas, incluyendo prácticamente todos los tanques de la parte norte y la mitad de los tanques de la parte central de la granja.

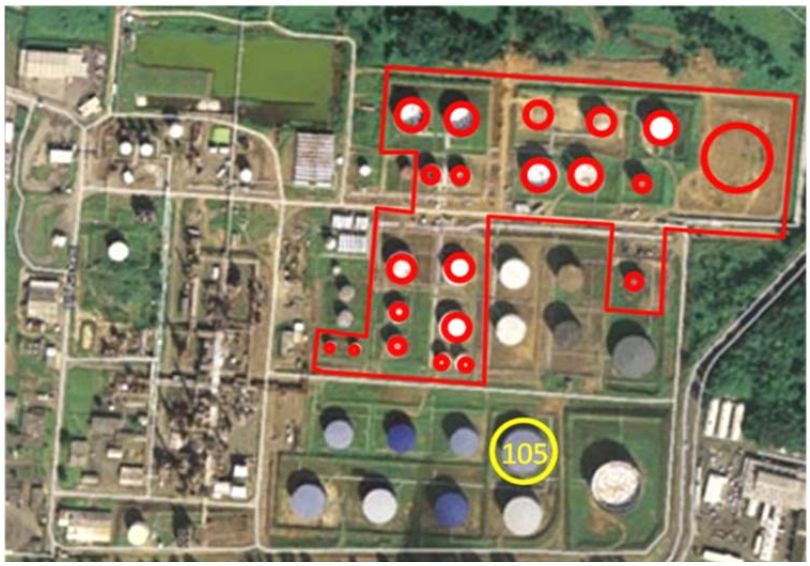

Figura 3: Vista aérea de Caribbean Petroleum Corporation, Puerto Rico. Rojo: tanques incendiados y área de la granja de almacenamiento involucrada en el incendio de octubre 2009. Amarillo: tanque 105, del cual provino la fuga de combustible que originó el accidente del 23 de octubre de 2009.

Una gran columna de humo negro tóxico de unos 6 kilómetros de altura cubrió la planta de CAPECO dificultando la visibilidad en el área. Las variaciones en la dirección de las corrientes del viento propiciaron el esparcimiento de la humareda desde el noroeste hasta el suroeste. Debido a esto las rutas de los aviones programados para viajar desde y hasta el aeropuerto de San Juan fueron cambiadas.

Los primeros camiones de bomberos tardaron unos 20 minutos en llegar a la zona del desastre. El equipo de aproximadamente 150 bomberos enfrentó el fuego con agua y espuma y trató de evitar más explosiones manteniendo a los tanques humedecidos y a la menor temperatura posible. Uno de los bomberos afirmó haber cerrado la válvula de un oleoducto manualmente para evitar el paso de combustible. Además, se ordenó el desalojo de decenas de camiones cisterna cargados de combustible que estaban estacionados en la planta.

Aproximadamente 125 familias fueron desalojadas de sus viviendas, unas 600 personas fueron refugiadas y más de 2 mil presos fueron trasladados desde la cárcel (Prensa Asociada, 2009c). Varias personas presentaron heridas y contusiones leves; otros fueron afectados por el humo tóxico que inhalaron. Nadie perdió la vida a causa del Accidente de 2009, el cual puso a la isla de Puerto Rico bajo alerta amarilla y situó a la cuidad capital de la isla en estado de emergencia. Además el Departamento de Educación declaró el cierre de los planteles escolares públicos y privados en varios municipios de la zona durante el día de la explosión (Prensa Asociada, 2009b).

Las autoridades procedieron a interrumpir el suministro de energía eléctrica por varias horas como medida preventiva. El abastecimiento de agua en las zonas aledañas también se vio afectado intencionalmente por un par de horas de manera en que se proveyera a los bomberos del caudal necesario para combatir el siniestro.

El fuego logró ser confinado a las 5 am, luego de que ocurrieran cuatro explosiones consecutivas en un lapso de 5 minutos en pequeños contenedores (Rivera, 2009a). Sin embargo, el combustible continuaba ardiendo dentro de los diques de contención secundaria. Finalmente, el incendio fue totalmente extinguido en la mañana del domingo 25 de octubre 2009 (Caro González, 2009), luego de arder durante unas 60 horas.

Personal de la EPA colaboró con recursos para contrarrestar y mitigar la contaminación del aire y de los cuerpos de agua. También la Guardia Costanera del Atlántico colaboró con la exploración marítima en busca de contaminantes. Se advirtió sobre la posibilidad de ocurrencia de lluvia ácida (Rivera, 2009b).

INVESTIGACIÓN DEL ACCIDENTE

Cinco integrantes del equipo de investigación del Comité de Seguridad Química de los Estados Unidos (CSB, por sus siglas en inglés) se presentaron en las instalaciones de CAPECO en la tarde del 23 de octubre de 2009. Dicha agencia federal estadounidense está formada por un grupo de ingenieros químicos, mecánicos, industriales y otros especialistas, dedicados a investigar accidentes a nivel industrial con el fin de proveer recomendaciones que garanticen la seguridad de instalaciones que manejan productos químicos. Su rol es explicar la ocurrencia de un accidente e identificar las causas, condiciones y circunstancias por la que ocurrió, de manera en que pueda prevenirse en un futuro.

El equipo de CSB dedicó las primeras semanas posteriores al accidente a interrogar al personal de la compañía petrolera y a recolectar documentación importante sobre el manejo de las instalaciones de CAPECO. También recurrió a los videos de seguridad de la planta petrolera y a la evidencia física tras la catástrofe (Cortés Chico, 2009). En primeras instancias, CSB expresó su interés en examinar las prácticas de seguridad ejecutadas en la planta.

Por su parte, el Buró Federal de Investigaciones (FBI), como agencia encargada de la investigación de crímenes federales, y la Agencia de Inmigración y Aduanas de los Estados Unidos se dedicaron a investigar el trasfondo del accidente en busca de un posible perjuicio premeditado en contra de las instalaciones de la planta petrolera.

En total, más de 200 investigadores estuvieron involucrados en las averiguaciones relacionadas al accidente de Caribbean Petroleum Corporation en Bayamón.

HIPÓTESIS PUBLICADAS POR LA PRENSA

El accidente de CAPECO fue la mayor noticia local en Puerto Rico durante unos 10 días. Las principales hipótesis publicadas en la prensa de Puerto Rico fueron las siguientes:

1- Accidente: Se alegaba que el incidente había ocurrido por un accidente en la planta petrolera. Alguna acción involuntaria ocasionada por una persona o maquinaria pudo haber sido la causa del desastre.

2- Sabotaje: El accidente de octubre 2009 pudo haber sido provocado intencionalmente para ocasionar daños y pérdidas económicas a la compañía. Algún agente externo o interno pudo generar la destrucción de las instalaciones y productos para empeorar la situación económica de la corporación. El FBI informó más tarde que no se encontró evidencia de sabotaje en las instalaciones de CAPECO (López Cabán, 2009).

3- Represalia contra el gobierno de Puerto Rico: Se pensaba que tras las explosiones de Bayamón se encontraba un grupo de huelguistas frustrados luego de un intento fallido de paro nacional una semana antes del accidente. Por otra parte, se creía que la explosión pudo haber sido provocada por un grupo de trabajadores indignados pertenecientes a algún sindicato, en venganza por el despido de miles de empleados del sector público durante varios meses antes de la catástrofe. Otra vertiente especulaba que las explosiones habían sido provocadas para perjudicar el gobierno, puesto que poco tiempo antes del evento este había aprobado la ley de Alianzas Público Privadas (APP), la cual propicia la asociación entre los sectores público y privado para impulsar la obra de infraestructura. Los opositores a la APP explicaban que dicha ley era sólo un proceso de privatización por parte del gobierno. Las agencias FBI y ATF (las siglas de la agencia "Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives") declararon ante la prensa que luego de investigar el accidente de Bayamón concluyeron que no se trataba de ninguna acción malintencionada o sabotaje en contra de la planta petrolera.

4- Acción terrorista: Debido a los antecedentes de actos terroristas en los Estados Unidos, algunos puertorriqueños asociaron las explosiones de CAPECO con un ataque terrorista. Otro motivo de sospecha fue el descubrimiento de grafitis con expresiones como "boom", "fuego", "Gulf", "RIP" en la salida del túnel de una carretera principal de la zona de Minillas y en otras vías públicas del área metropolitana. No se sabía si estos grafitis fueron hechos antes o después del accidente de octubre, 2009. El FBI convocó especialistas para examinar la zona en busca de rastros de explosivos. También el Buró de Alcohol, Tabaco, Armas de Fuego y Explosivos de los Estados Unidos (ATF) envió un equipo especial para examinar las explosiones ocurridas en CAPECO. Por su parte, a raíz de la sospecha de acción terrorista, el gobierno de Puerto Rico estableció protección a las instalaciones petroleras de los municipios de Guayanilla y Yabucoa, como acción preventiva ante un posible ataque futuro. Más de 200 agentes de la Guardia Nacional de Puerto Rico también estuvieron involucrados en el proceso de investigación. Una semana después del accidente, el FBI concluyó que la explosión en CAPECO no fue un acto de terrorismo ni un acto de sabotaje ya que en la escena no se descubrió ninguna evidencia de explosivos (Associated Press, 2009).

5- Caída de un rayo: Según algunos testigos, la primera impresión que tuvieron al escuchar el fuerte ruido fue que se trataba de un fuerte trueno que retumbó en las cercanías. El rayo pudo haber sido la fuente de ignición del combustible almacenado. En contraste a esta hipótesis, no se registraron tormentas eléctricas en la zona el día de la explosión.

6- Terremoto**:** Algunos testigos expresaron a los medios de comunicación sus sospechas de que la explosión había sido causada por los daños generados por el sismo que sintieron en la madrugada del 23 de octubre 2009. Esta hipótesis fue descartada ya que la Red Sísmica de Puerto Rico reportó que el terremoto tuvo una profundidad focal de 0 kilómetros y que las coordenadas del epicentro coincidieron con un punto en el interior de la planta petrolera de Bayamón.

7- Negligencia de la compañía ante malfuncionamiento de tuberías y válvulas: Representantes de organizaciones comunales expresaron que la compañía CAPECO estaba al tanto de la existencia de escapes de combustible en distintos puntos del recorrido de los oleoductos. Se especuló que el accidente ocurrió como consecuencia del deterioro y falta de mantenimiento de la infraestructura. Se alega la carencia de inspecciones reglamentarias en las instalaciones de CAPECO. Representantes del FBI precisaron la necesidad de examinar la posibilidad de ocurrencia de delitos criminales y civiles por parte de la Caribbean Petroleum Corporation.

8- Impacto de una aeronave: Una de las primeras suposiciones de los habitantes de la zona que escucharon el estruendo fue que un avión se había estrellado dentro de la planta petrolera causando explosiones, ya que la

planta está situada en la ruta de aeronaves que se dirigen al Aeropuerto Luis Muñoz Marín. Este rumor fue difundido y más tarde desmentido a través de los medios de comunicación, principalmente por la radio. Finalmente, el jefe la Policía de Puerto Rico descartó la posibilidad de que se tratase del choque de un avión contra las instalaciones de CAPECO ya que no había rastro alguno del paso de una aeronave.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS

En una entrevista realizada por un periódico de circulación masiva en Puerto Rico el 28 de octubre de 2009 (Alvarado León, 2009a), uno de los autores señaló: "la investigación local… debe concentrarse en tres etapas: identificar el origen de la falla, determinar cómo el combustible salió de su zona de contención y cómo el fuego llegó al combustible". En la nota se señalaban las similitudes entre los accidentes de Bayamón y de Buncefield (Inglaterra) ocurrido cuatro años antes, descrito por Batista Abreu y Godoy (2009).

Si bien el reporte oficial del gobierno sobre el accidente de Bayamón no ha sido publicado, las declaraciones oficiales acerca del accidente permiten reconstruir la siguiente situación. Nótese que la información oficial se ha ordenado en las mismas etapas planteadas por Godoy en la entrevista antes mencionada.

(a) Origen del accidente

CSB encontró que el sistema de monitoreo computarizado de los niveles de llenado no registró adecuadamente la información durante las horas antes de accidente (Alvarado León, 2009c). Se declaró que los empleados habían estado usando medidores mecánicos colocados sobre la superficie exterior de las paredes de los contenedores para estimar el volumen de combustible almacenado (Anónimo, 2009b). Un momento de descuido de los operadores pudo ser suficiente para que la cantidad de combustible depositado sobrepasara la capacidad de un tanque en proceso de llenado dando cabida a un derrame.

Justo antes del accidente, uno de los contenedores de la región sureste de la granja de almacenamiento identificado con el número 105 (ver Figura 3) estaba siendo llenado con gasolina proveniente de una barcaza situada en el puerto de la Bahía de San Juan y varios camiones cisterna acababan de salir de la planta para seguir sus rutas de distribución de combustible en la isla. El sistema de sensores no reportó cuando estuvo lleno el contenedor 105, un tanque cilíndrico con techo externo fijo, con un diámetro de 45 metros y altura de 18 metros, aproximadamente (ver Figura 4).

Figura 4: **Tanque 105 antes del accidente de octubre de 2009.**

A las 11:20 pm uno de los empleados en turno estuvo recorriendo la granja de tanques y no observó anormalidades.

Luego de investigar el caso, el CSB concluyó que la falla en los dispositivos del sistema de seguridad del tanque que estaba siendo llenado desató una cadena de eventos que culminaron en la impresionante catástrofe (Fernández Colón, 2009). Ni los sensores de medición ni las alarmas de seguridad se activaron. Al parecer, los operadores en turno no se percataron del fallo mientras el contenedor continuaba cargándose de gasolina.

(b) Mecanismo de liberación de combustible

El equipo de investigación de CSB reconoció la alta probabilidad de ocurrencia de un escape de combustible previo a las explosiones debido al sobrellenado de un tanque de almacenamiento (Candelas, 2009). El combustible pudo salir en estado líquido desde la parte superior del tanque y luego derramarse por las paredes del contenedor. Una vez en el exterior del tanque, el combustible pudo fácilmente evaporarse de manera en que consiguió esparcirse en estado gaseoso en un radio aproximado de 1 kilómetro hasta alcanzar una fuente de ignición. El llenado de un tanque sin el funcionamiento adecuado del sistema de monitoreo se convirtió en un punto clave para el equipo de investigación del caso.

En la madrugada en que ocurrió el accidente, cinco empleados se encontraban en la planta: un guardia de seguridad, un supervisor, dos empleados que se localizaban en el laboratorio y un empleado de vasta experiencia. Este último testificó que momentos antes de la explosión notó que el tanque que estaba siendo llenado había llegado a su capacidad máxima de contención y que había comenzado a emanar gases combustibles. El empleado contactó al supervisor de turno y finalmente decidieron escapar de la zona de peligro a sabiendas de que no tenían tiempo suficiente para ejecutar alguna acción.

El tanque 105 había comenzado a ser llenado aproximadamente a las 11:00 pm del jueves 22 de octubre. A partir de las 11:30 pm, los empleados en turno comenzaron a notar la presencia de una cierta neblina en la granja de almacenamiento, sin identificar su proveniencia. Más de 106 m^3 de combustible habían sido bombeados desde la barcaza antes de la explosión. Al alcanzar el límite de capacidad de contención del tanque la presión en la junta del techo flotante incrementó pudiendo haber cedido en su perímetro permitiendo el paso de fluido. El combustible además pudo haberse infiltrado a través del sistema de drenaje de la planta y trasladado hasta la planta de tratamiento de aguas residuales en la zona noroeste de la panta. No se ofrecen más detalles sobre los medidores mecánicos de nivel de líquido almacenado en los contenedores, ni sobre la junta del techo flotante, ya que la información fue manejada como confidencial por la empresa debido a la gravedad del caso judicial.

(c) Fuente de ignición

Los investigadores reportaron que a las 12:23 am del viernes 23 de octubre de 2009 una gran nube de vapor proveniente de uno de los tanques y extendida sobre la planta petrolera encontró un agente detonador probablemente en la parte noroeste de la planta de CAPECO provocando la ignición del combustible. Rápidamente el fuego pudo propagarse desde la fuente de ignición a través de la nube combustible hasta los contenedores más propensos y cercanos generándose una gran explosión. El fuego continuó propagándose en la medida en que se generaban nuevas explosiones involucrando cada vez más contenedores.

La ATF declaró que el combustible derramado por el sobrellenado de un tanque de gasolina posiblemente halló una fuente de ignición en el área de la planta de tratamiento. Varias posibles fuentes de ignición de origen eléctrico se convirtieron en objeto de investigación. Entre ellas se destaca la posibilidad de que una lámpara de luz fluorescente de la refinería generara alguna chispa eléctrica, la cual habría sido suficiente para encender el vapor combustible.

REPERCUSIONES AMBIENTALES, SOCIALES, ECONÓMICAS, LEGALES Y EN LA SALUD

De acuerdo con las investigaciones realizadas por agencias estatales y federales como la Junta de Calidad Ambiental, la Guardia Costanera, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la contaminación del aire por el denso humo tóxico causó problemas respiratorios y un nocivo impacto ambiental en las zonas aledañas a CAPECO, especialmente en los municipios de Cataño, Bayamón, Toa Baja y Guaynabo (Prensa Asociada, 2009a).

Los contaminantes alcanzaron las aguas del Caño de la Malaria y del Caño Mosquito en Cataño afectando la biodiversidad del ecosistema. La EPA solicitó a la petrolera un plan de limpieza de las aguas de los Estados Unidos contaminadas por el derrame provocado por las explosiones (González, 2010). El hábitat de varias especies, algunas de ellas en peligro de extinción, fue destruido y muchos animales incluyendo peces y reptiles murieron por la explosión, el incendio y la contaminación (Alvarado León, 2009b). Por su parte, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales estableció un plazo de 30 días para que la compañía petrolera desarrollara un plan de mitigación y remediación de los daños identificados debido al derrame de hidrocarburos en el suelo y en los cuerpos de agua (Alvarado León, 2010). De acuerdo con el DRNA, dicho plan debería ser ejecutado en un periodo no mayor de seis meses. El Senado de Puerto Rico por su parte pidió examinar el estado en que se encontraban las instalaciones de la planta petrolera, sus rutinas de labores de mantenimiento y las normativas de seguridad empleadas.

Más de 200 viviendas requirieron reparaciones menores y unas 10 requerían ser demolidas parcial o totalmente. La demanda presentada ante el Tribunal Federal de los Estados Unidos de América por daños y pérdidas a causa de la explosión de 2009 en nombre de cientos de habitantes y residentes perjudicados en el área de Bayamón, Cataño, Guaynabo, Toa Baja, Levittown y San Juan ascendió a los 500 millones de dólares.

DAÑOS OCURRIDOS EN TANQUES DE LA PLANTA

La mayor parte de la granja de almacenamiento de Caribbean Petroleum Corporation quedó devastada (ver Figura 5). Las explosiones e incendios ocurridos en octubre de 2009 afectaron 32 tanques, de los cuales 20 resultaron totalmente destruidos. De acuerdo al estado en que se encontraron dichos contenedores luego de ser afectados por la acción del fuego y las explosiones en el accidente de 2009, se podrían distinguir tres grupos (ver Figura 6). En primer lugar, se observaron que algunos tanques sin techo externo fijo permanecieron erguidos hasta después del accidente, mostrando grandes deformaciones en la parte superior del cuerpo cilíndrico. Otros tanques sin techo externo fijo colapsaron totalmente, como si el material se hubiese fundido por las altas temperaturas. Por último, algunos tanques con techo externo fijo mostraron daños importantes en la parte superior del cuerpo cilíndrico y, en especial, en el techo.

Las pérdidas económicas de productos e infraestructura de la compañía se estiman en cientos de millones de dólares. El 12 de agosto de 2010 CAPECO se declaró alegadamente en bancarrota debido a las consecuencias económicas desencadenadas por la catástrofe de octubre 2009. A fines de 2010, las instalaciones de la planta petrolífera fueron adquiridas por Puma Energy International por 82 millones de dólares.

ACCIDENTE DE JAIPUR, INDIA

Sólo seis días después de la catástrofe de CAPECO, el depósito de de Indian Oil Company ubicado en Jaipur, India, estuvo envuelto en un accidente que involucró explosiones y fuego en los 11 tanques que conformaban la granja de almacenamiento de petróleo, queroseno y diesel. El accidente inició a las 7:36 pm el jueves 29 de octubre 2009 con una gran explosión que generó un movimiento telúrico superficial de magnitud Richter 2.3 y un incendio que se mantuvo ardiendo durante 11 días.

Alrededor de 500 mil personas fueron evacuadas, 300 resultaron heridos y 12 fallecieron por causa del accidente. El origen del desastre está asociado a la aparición de una neblina (vapor de petróleo) observada por testigos a partir de las 4:00 pm del mismo jueves. La falla inicial corresponde a una fuga de combustible ocurrida durante la transferencia de líquido entre un tanque de almacenamiento de la planta de Jaipur hacia otro tanque ubicado en una granja cercana, debido a la falla de una válvula de control. Unos 60 mil metros cúbicos de combustible fueron consumidos en el siniestro. Las instalaciones de la compañía petrolera en Jaipur contaban con una granja de almacenamiento, oficinas administrativas, un área de carga y descarga de camiones cisterna, una caseta de bombeo y una cabina de control. Tras sólo 12 años en funcionamiento, las instalaciones quedaron totalmente destruidas y se observó daño en las estructuras de la zona en un radio de unos 2 km. Este accidente fue similar a los ocurridos en Buncefield, Inglaterra y en Bayamón, Puerto Rico en 2005 y 2009, respectivamente.

Figura 5: Vista aérea de la planta de CAPECO y tanques deformados, luego del incendio ocurrido en octubre de 2009.

I. Tanques sin techo externo fijo, que permanecieron erguidos después del incendio. Muestran una curvatura notable en dirección vertical. Las ondulaciones en la parte superior del cuerpo cilíndrico son prominentes, mientras que la mitad inferior se observa poco alterada.

II. Tanques sin techo externo fijo totalmente colapsados como consecuencia del incendio y explosiones en la granja de almacenamiento. Prácticamente todo el cuerpo cilíndrico se desplomó debido a los efectos del fuego.

III. Tanques con techo externo fijo, que permanecieron erguidos después del incendio. Se observa que los tanque techados expuestos al fuego presentaron grandes deformaciones en el techo y en l aparte superior del cuerpo cilíndrico.

Figura 6: Deformadas típicas de tanques de almacenamiento en CAPECO, luego del accidente de 2009.

CONCLUSIONES

El accidente de Caribbean Petroleum Corporation ocurrido por una simple falla en los sensores de nivel de llenado en uno de los tanques de almacenamiento ocasionó el mayor incendio visto en Puerto Rico hasta la fecha. La carencia de redundancia en el sistema de monitoreo y la deficiencia en la seguridad y en el control de procesos en la planta condujeron a una situación catastrófica.

a) Cuatro años después de la ocurrencia del accidente de Buncefield, Inglaterra, se repite prácticamente el mismo escenario de falla en Bayamón, Puerto Rico. El origen del accidente, el mecanismo de liberación de combustible y la fuente de ignición coinciden en ambos casos, a pesar de que los estándares de diseño, construcción y operación de tanques de almacenamiento no son del todo iguales, ni mantienen el mismo nivel de rigurosidad en Europa y América.

b) Resulta interesante destacar que la fuga de combustible que desencadenó la catástrofe ocurrió en una región de la planta distinta a la región donde se desarrolló el incendio y se generaron las explosiones. El contenedor sobrellenado ubicado en la zona sur (tanque 105) contribuyó de manera activa en el origen del accidente ocurrido en la zona norte, y luego pasó a un rol pasivo durante el desarrollo del mismo. Así pues, se observa que el mecanismo de falla no estuvo situado dentro de la zona de desastre.

c) La falla en el funcionamiento y monitoreo de sensores de llenado en el nivel primario de contención muestra la falta de seguridad y de redundancia del sistema de control de la planta. Ni los empleados en turno, ni el sistema de monitoreo computarizado pudieron notar oportunamente el sobrellenado de uno de los contenedores. Parece ser que tampoco existía algún control de la cantidad de combustible expedido desde la barcaza en la Bahía de San Juan, desde donde se envió combustible aun después de que el tanque 105 se encontraba lleno, hasta que uno de los bomberos cerró la válvula de flujo del oleoducto. Así pues, una falla momentánea en un sensor de llenado originó el trágico accidente que llevó a CAPECO a declararse en bancarrota.

d) Por otro lado, se cuestiona el desempeño del nivel de contención secundario de la granja de almacenamiento, puesto que no fue útil para contener y manejar adecuadamente el combustible en estado gaseoso que se había escapado del nivel primario. La mezcla volátil de combustible y aire identificada como "neblina", debido a sus propiedades en estado gaseoso, pudo fácilmente sobrepasar los diques de contención del nivel secundario.

e) El equipo de investigación del caso expresó que en la planta había varias posibles fuentes de ignición, lo cual podría indicar que las instalaciones no eran totalmente seguras. Nótese que en su vida de más de 50 años (1955-2009) CAPECO reflejaba un historial considerable de irregularidades en el sistema de seguridad que incluía fugas de combustible y un incendio dentro de la planta, anterior al de 2009. Además, de acuerdo con la información publicada por integrantes del equipo de investigación, el sistema de drenaje diseñado para conducir aguas pluviales jugó un papel perjudicial, posiblemente permitiendo que la mezcla combustible alcanzase alguna fuente de ignición.

f) La cantidad de personas desalojadas y refugiadas, y de viviendas y negocios afectados está estrechamente relacionada a la ubicación geográfica de la planta de almacenamiento, la cual se sitúa en una zona urbana con una densidad de población relativamente alta. Otro aspecto cuestionable en relación a la ubicación de la planta es su cercanía a cuerpos de agua como ríos y acuífero, los cuales fueron contaminados como consecuencia del accidente de 2009.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de un subsidio de NSF-CCLI identificado como DUE-0736828: "A Computer-Based Simulated Environment to Learn on Structural Failures in Engineering" (Program Director: Janis P. Terpenny). Sin embargo, los resultados y opiniones expresadas son solamente los de los autores y no necesariamente reflejan las perspectivas de la agencia financiadora.

REFERENCIAS

Alvarado León, G. E. (2009a). "Destacan similitud con fuego de 2005", Periódico *El Nuevo Día*, 28 de octubre.

Alvarado León, G. E. (2009b). "Devastador el fuego para los animales", Periódico *El Nuevo Día*, 28 de octubre.

Alvarado León, G. E. (2009c). "Falla en sistema de control causa explosión en CAPECO", Periódico *El Nuevo Día*, 17 de noviembre.

Alvarado León, G. E. (2010). "Recursos naturales exige a CAPECO que limpie tierras afectadas por explosión", Periódico *El Nuevo Día*, 9 de febrero.

Anónimo (2009a). "Informe especial: Explosión de Caribbean Petroleum en Bayamón, PR", Red Sísmica de Puerto Rico Puerto Rico, octubre 23.

Anónimo (2009b). "CSB Conducting Full Investigation of Massive Tank Fire at Caribbean Petroleum Refining; Investigative Team Plans to Thoroughly Examine Facility Safety Practices", U.S. Chemical Safety Board., noviembre 17.

Associated Press (2009). "Descartan terrorismo en incendio de Puerto Rico", Periódico *El Universal*, 30 de octubre.

Ayala Gordián, J. y Bonilla Colón, G. (2009). “Sin heridos hasta el momento dentro de la refinería”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Ayala Gordián, J., Hernández, M., Santana, G., Caro, L., Gómez, A., Figueroa, A., Bonilla, G. y Mena, B. (2009). “Emergencia en la Gulf”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Batista Abreu, J. y Godoy, L. A. (2009). “Investigación de causas de explosiones en plantas petrolíferas: El accidente de Buncefield”, *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, Vol. 9, Nros. 1-2 pp. 187-202.

Candelas, L. (2009). “Tanque sobrellenado pudo provocar la explosión”, Periódico *El Nuevo Día*, 28 de octubre.

Caro González, L. (2009). “Se extingue el fuego en la antigua refinería Gulf”, Periódico *Primera Hora*, 25 de octubre.

Chang, J. I., y Lin, C.-C. (2006). “A study of storage tank accidents”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 19, pp. 51-59.

Cortés Chico, R. (2009). “Afinan pesquisa de fuego en CAPECO”, Periódico *El Nuevo Día*, 29 de octubre.

De La Campa, A. (2009). “Explosion and Fires at the Caribbean Petroleum Corporation (CaPeCo)”, Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency, Caribbean Area Division, noviembre 30.

Fernández Colón. J. (2009). “Contra el reloj CAPECO”, Periódico *El Nuevo Día*, 25 de noviembre.

González, J. (2010). “Millonaria la limpieza en CAPECO”, Periódico *El Nuevo Día*, 6 de junio.

López Cabán, C. (2009). “Concluye investigación de explosión en CAPECO”, Periódico *El Nuevo Día*, 30 de octubre.

Pérez Sánchez, L. N. (2009). “Incendio de grandes proporciones en la petrolera Gulf en Cataño”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Persson, H., & Lönnermark, A. (2004). “Tank fires. Review of fire incidents 1951-2003”, BRANDFORSK Project 513-021, Report 2004:14, SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Fire Technolog, Sweden.

Prensa Asociada (2009a). “Advierten sobre pobre calidad de vientos”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Prensa Asociada (2009b). “Cierran escuelas públicas y colegios católicos de Cataño, Bayamón, Guaynabo y San Juan”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Prensa Asociada (2009c). “Desalojadas 125 familias en Cataño”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Rivera, M. E. (2009a). “"Confinado" el incendio, dice el Cuerpo de Bomberos”, Periódico *Primera Hora*, 23 de octubre.

Rivera, M. E. (2009b). “Fuego en refinería en Puerto Rico amenaza la salud”, Periódico *El Expreso de Puerto Rico*, 23 de octubre.