

ANALIS DE CONSECUENCIAS EN LA DESCARGA DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS EN ESTACIONES DE SERVICIO

Autores: Ings. Pedro Mulás - Elbio Brinkworth
Empresa: CeTAP S.A.

Sinopsis

La Ingeniería de Riesgos constituye un avance sobre la ingeniería basada en la adopción de normas, códigos y estándares para el diseño y la construcción de instalaciones destinadas a producir o almacenar materiales peligrosos. La sujeción a las llamadas “mejores prácticas”, no ha podido evitar catástrofes como las acaecidas en las últimas décadas, debido a que no han incorporado al factor humano como generador de riesgos.

Con la finalidad de evitar o reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos graves, se ha desarrollado en los últimos años el Enfoque Predictivo, el cual considera todos los escenarios peligrosos, que incluyen fallas en los sistemas de protección, errores humanos, o inducidos por el entorno. Este nuevo enfoque se basa en la aplicación de criterios del Análisis Cuantitativo de Riesgos, para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado, así como sus consecuencias sobre personas, el medio ambiente o bienes propios o de terceros, con el fin de idear y proveer equipos, nuevos elementos de control para mejorar la Seguridad Intrínseca de las instalaciones y mejorar los procedimientos, que apoyen medidas de carácter preventivo y la generación de sistemas de respuestas para el control de emergencias.

Las Matrices de Riesgos, construidas sobre la base de probabilidades de ocurrencia de eventos no deseados, utilizando tablas de fallas de equipos elaboradas a partir de la experiencia internacional, y de sus consecuencias, establecidas por medio de softwares de variada complejidad, o en su ausencia, por medio de las ecuaciones Probis aplicables, permiten determinar los niveles de riesgos para cualquier actividad industrial o de servicios. Como es sabido, el Riesgo es el producto de la Probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado por sus Consecuencias. Cuando ambos factores son elevados, el riesgo se debe considerar como Intolerable, y demanda trabajar racionalmente para reducir alguno o ambos factores.

Esta metodología ha sido aplicada por CeTAP para determinar los niveles de riesgo en 6 Estaciones de Servicio, llegándose a la conclusión de que en el caso de una rotura de la envolvente de la cisterna durante la posición de descarga, el peor escenario identificado, el derrame masivo, no podrá ser controlado y llegará fuera de los límites de las EE.SS., con alta probabilidad de formación de una nube de vapor y su ignición inmediata (“Flash Fire”).

Introducción

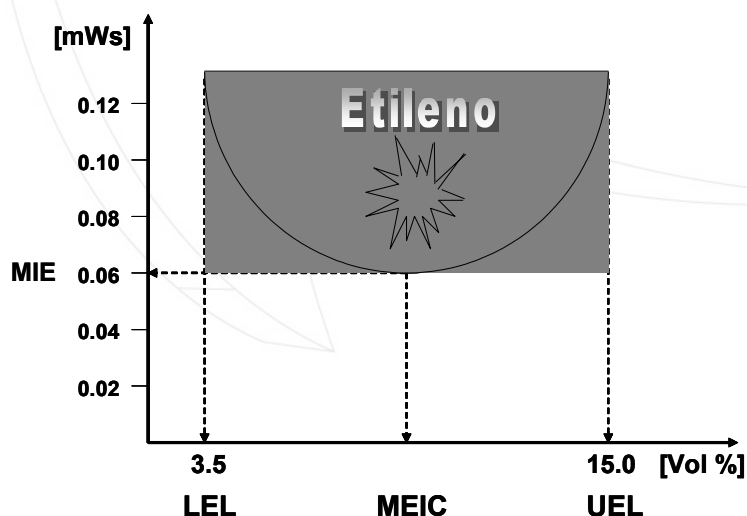
La seguridad de una instalación, si en su concepción no se aplicaron los Criterios de Diseño Seguro, esto, no se hizo uso de las distintas herramientas para la identificación de peligros, tales como el Análisis Preliminar de Peligros (APP) en la etapa de Datos Básicos, el Análisis Preliminar de Riesgos y Hazop en la etapa de la Ingeniería de Detalle, y de Listas de Control y/o metodologías como el “What if...?”, en la etapa de Pre-arranque para la identificación de los peores escenarios, puede ser deficiente y estar sujeta a riesgos no previstos.

El trabajo realizado en 6 Estaciones de Servicio, todas ellas en áreas urbanas, tuvo como objetivo principal identificar a los peores escenarios potenciales y verificar si las instalaciones estaban en condiciones de neutralizarlos.

Desarrollo

Es sabido que los mayores volúmenes de combustibles líquidos en una estación de servicio, se encuentran en los tanques de almacenaje, en condiciones seguras. Los materiales combustibles líquidos solo entran en combustión cuando están en fase vapor, o finamente atomizados y dentro de determinadas concentraciones, los llamados límites inferior y superior de inflamabilidad (LII y LSI). Estos límites son variables según el combustible, requiriendo asimismo de un mínimo de energía para que la ignición se inicie. El gráfico I muestra los niveles de energía requeridos para distintas concentraciones volumétricas del etileno en aire, y la Tabla A, los límites de inflamabilidad de un número importante de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, dentro de los cuales se encuentran las distintas naftas comercializadas en las EE.SS.

Gráfico I



Definiciones MIE, MEIC. UEL, LEL, Flashpoint.

MIE [Minimum Ignition Energy] Mínima energía de ignición.

MEIC [Most Easily Ignited Concentration] Concentración mas facilmente inflamable.

LEL [Lower Explosive Limit] Límite inferior de explosibilidad.

UEL [Upper Explosive Limit] Límite superior de explosibilidad.

Tabla A. Límites de inflamabilidad de compuestos químicos.

Compuesto		Fórmula	Límites de inflamabilidad [Vol. %]	
			inferior	superior
Paraffin hydrocarbons	Hidrocarburos: Parafinas			
Methane	Metano	CH ₄	5,3	15,0
Ethane	Etano	C ₂ H ₆	3,0	12,5
Propane	Propano	C ₃ H ₈	2,2	9,5
Butane	Butano	C ₄ H ₁₀	1,9	8,5
Isobutane	Isobutano	C ₄ H ₁₀	1,8	8,4
Pentane	Pentano	C ₅ H ₁₂	1,5	7,8
Isopentane	Isopentano	C ₅ H ₁₂	1,4	7,6
2,2-Dimethylpropane	2,2 Dimetil propano	C ₅ H ₁₂	1,4	7,5
Hexane	Hexano	C ₆ H ₁₄	1,2	7,5
Heptane	Heptano	C ₇ H ₁₆	1,2	6,7
2,3-Dimethylpentane	2,3-Dimetil pentano	C ₇ H ₁₆	1,1	6,7
Octane	Octano	C ₈ H ₁₈	1,0	6,0
Nonane	Nonano	C ₉ H ₂₀	0,8	-
Decane	Decano	C ₁₀ H ₂₂	0,8	5,4
Olefins	Hidrocarburos: Olefinas			
Ethylene	Etileno	C ₂ H ₄	3,1	32,0
Propylene	Propileno	C ₃ H ₆	2,4	10,3
Butene-1	1-Butano	C ₄ H ₈	1,6	9,3
Butene-2	2-Butano	C ₄ H ₈	1,8	9,7
Amylene	Amileno	C ₅ H ₁₀	1,5	8,7
Acetylenes	Acetilenos			
Acetylene	Acetileno	C ₂ H ₂	2,5	80,0
Aromatics	Hidrocarburos: Aromáticos			
Benzene	Benceno	C ₆ H ₆	1,4	7,1
Toluene	Tolueno	C ₇ H ₈	1,4	6,7



CETAP S.A.

En las operaciones de descarga de la cisterna de un camión a los tanques de almacenaje, hay distintas posibilidades de que se produzcan derrames de distinta cuantía potencial.

En toda la operación hay una participación humana excluyente y cualquier error puede derivar en un derrame que difícilmente excederá los 200 lts.. Este se esparcirá y vaporizará, pudiendo entrar en ignición (“pool fire”) y alcanzar al camión cisterna. Sin embargo no es este el peor escenario potencial, pues no están dadas las condiciones para que haya una explosión. El combustible seguirá ardiendo hasta agotarse, lo mismo que los vapores que salgan por la tapa de la cisterna.

El peor escenario lo conforma la rotura de la pared de la cisterna dentro de la estación de servicio, pudiendo derramarse todo el contenido de un compartimiento (5000 lts.), y en un caso altamente improbable, gran parte del contenido de la cisterna (20 a 30 mil lts.). Enseguida se verán las posibles causas que pueden conducir a este escenario. Un derrame al piso de la magnitud señalada, no tiene posibilidades de contención total dentro de la mayoría de las EE.SS., ya que la rejilla perimetral es de poco ancho (0,25 m.) y los pisos tienen por lo general pendiente hacia la o las calles vecinas. Muy probablemente, parte del combustible derramado alcanzará la calle, vaporizándose en parte formando una nube, donde la concentración pasará en algún momento e inexorablemente dentro de los límites de inflamabilidad, haciendo que ante la presencia de una fuente de energía (“factor contribuyente”), se produzca la explosión dentro de la nube. Un cigarrillo encendido, una llama abierta, será suficiente. La temperatura de autoignición para la nafta es de 250°C, la misma que tiene la tapa de un motor diesel. En este escenario, todas las personas que estén dentro de una distancia menor a 50 mts., sufrirán los efectos de la onda de sobre presión y de la energía calórica producida por la explosión.

Hemos mencionado aquí las potenciales consecuencias, que además está decir, revestirían características catastróficas. Veamos cuales podrían ser las probabilidades de ocurrencia de una rotura de la pared de una cisterna, de las dimensiones requeridas para un derrame masivo. Las cisternas para el transporte de combustible son de pared simple. Las soldaduras requieren ser de alta calidad. El Departamento de Transporte de los EE.UU. requiere de los fabricantes de camiones cisternas y de los establecimientos que las reparan, habilitaciones especiales para las personas encargadas de las soldaduras, las cuales deben ser revalidadas periódicamente. En la Argentina la Disposición N° 76/97 de la Subsecretaría de Combustibles, exige que los equipos para el transporte de combustibles sean inspeccionados periódicamente por establecimientos autorizados. Estas exigencias demuestran la importancia que la integridad mecánica de las cisternas tiene en la seguridad del transporte, pero no pueden reducir a cero la probabilidad de que haya una rotura a lo largo de la vida útil de aquellas. Conocemos un caso ocurrido en la década pasada, donde hubo un derrame de aproximadamente 2 mil litros de nafta durante la operación de descarga, por esta misma causa. La ubicación de la estación de servicio, suficiente alejada del tránsito, y el rápido escurrimiento del combustible líquido hacia un desagüe pluvial vecino, evitaron la posible ignición o formación de una nube inflamable. De acuerdo al criterio generalmente aceptado, un riesgo que tenga un potencial de consecuencias desastrosas, cualquiera sea su nivel de probabilidad de ocurrencia, excepto que sea nula (lo que como hemos visto, no sucede) exige acciones de mejora.

Veamos cuales son los niveles de daño para el caso que haya una explosión de una nube de vapor combustible:

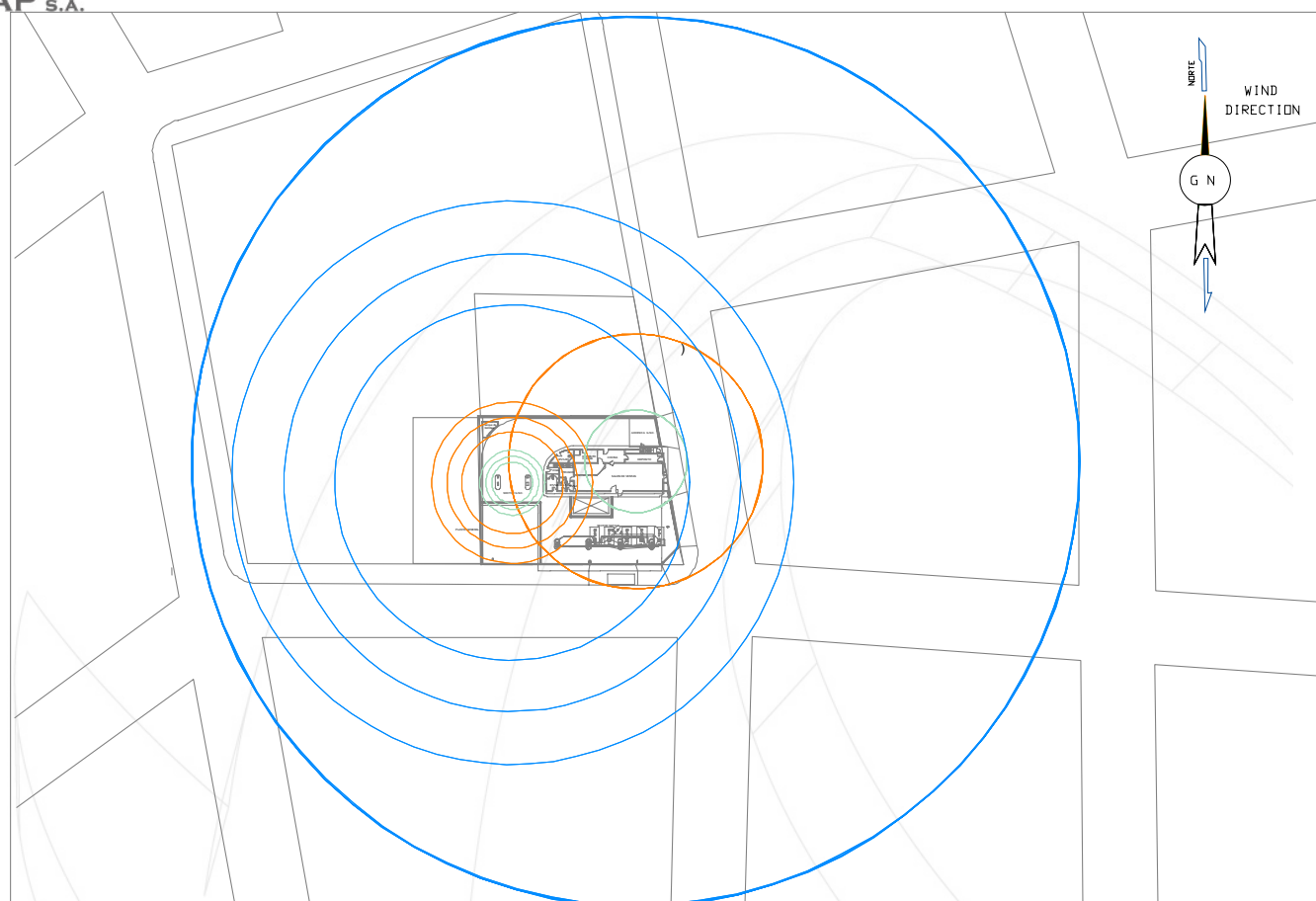


CETAP S.A.

Niveles de daño:

Evento	Criterio	Observaciones
Chorro de fuego y piscina incendiada	1,60 Kw./m ²	Máximo flujo radiante permisible para exposición continua de personas, sin ocasionarles daños significativos.
	5,00 Kw./m ²	Flujo de calor radiante, en el cual podrían ocurrir quemaduras de segundo grado, al exponerse durante 30 segundos.
	7,27 Kw./m ²	Nivel de radiación para que haya 1% de víctimas fatales, al exponerse durante 30 segundos.
Explosiones	0,30 psig	5% de vidrios rotos. Lesiones por cortes.
	1,00 psig	Demolición de estructuras convencionales.
	2,40 psig	Nivel de sobrepresión para que haya 1% de fatalidades dentro del grupo expuesto.

Se adjuntan a continuación, y solo a modo de ejemplo, las curvas de consecuencias obtenidas para un caso de sobrepresión y otro de intensidad calórica. Debe tenerse en cuenta que las curvas mostrarán variaciones para distintas condiciones ambientales (velocidad de viento y estabilidad Pasquill), siendo las de cada caso estudiados datos de importancia para el cálculo.



Sobrepresión – 0,3 psig
 Sobrepresión – 1 psig
 Sobrepresión – 2,4 psig

Figura N° 1. Curvas de Consecuencias de Sobrepresión – Orificio de Fuga: Ruptura total, 1" y 1/4";
Condición Ambiental 5 D



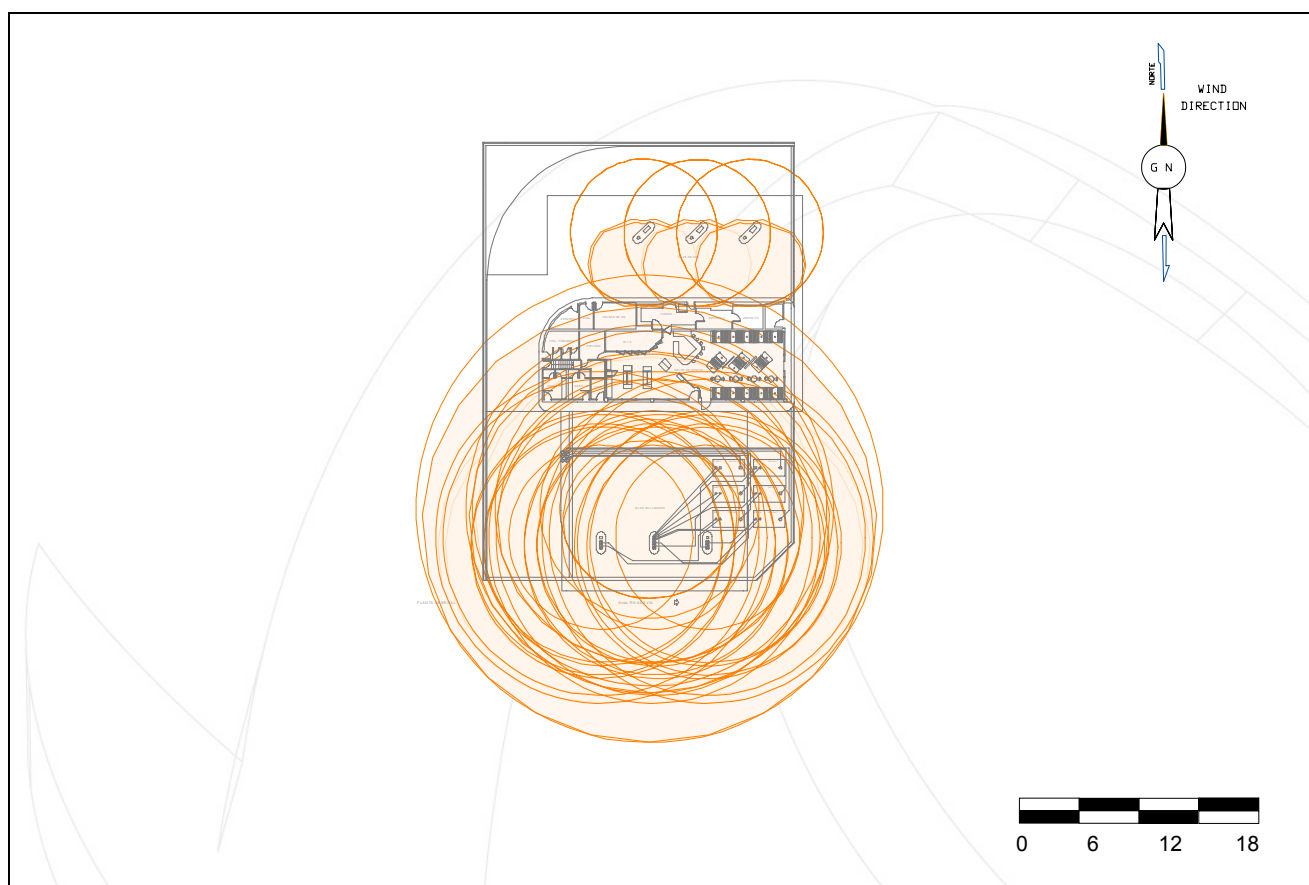


Figura N° 2. Curvas de Consecuencias de Radiación – Nivel de Daño 5 KW/m^2 –Orificio de Fuga: Ruptura total, 1" y $\frac{1}{4}$ "; Vv: 1,5 m/s

Se utilizó para todo el estudio el software Canary by Quest, versión 5.2, procesado por ARPCA, Asesores de Riesgos de Proceso (Vz.).



CETAP S.A.

Conclusiones

La probable incapacidad de captación de un derrame masivo de combustible líquido, por parte de la rejilla de piso perimetral en las EE.SS. durante el posicionamiento de un camión cisterna para su descarga, provocará que una parte significativa alcance la calle de acceso a la misma, formando una nube de vapor inflamable o explosiva, con daños potenciales desastrosos sobre las personas presentes, las instalaciones y edificaciones vecinas. Hay que construir por lo tanto una rejilla de mayor ancho ($> 0,50$ mts.) alrededor de la zona de descarga, que encierre a todo el conjunto camión–cisterna, de modo que no haya posibilidades de que un derrame masivo de líquido llegue a la calle de acceso. El combustible captado se debe conducir a un depósito subterráneo, con capacidad suficiente para la pérdida máxima posible, el cual será posteriormente vaciado a camiones “chupadores” y retornado a refinería. El conjunto deberá tener opciones para derivar las aguas de lavado o lluvia al sistema de decantación estándar de la ES, y conectarse al colector como paso inicial al arribo y posicionamiento de la cisterna.

ANEXO I.

Curriculum resumido de los autores

PEDRO A. MULAS

Ingeniero Químico, graduado en la Universidad Nacional del Litoral en 1956.

Ingresó a Ducilo SAIC⁽¹⁾ en 1957, como Jefe de Turno Planta Freon. Fue Jefe de Producción de la Planta Freon y Acido Fluorhídrico. Fue Jefe de Producción en Planta Celofán.

Gerente de Producción Plantas Químicas, complejo Berazategui, Ducilo. Gerente de Producción en Fábricas Textiles, complejo Berazategui.

Gerente de Desarrollo de Nuevos Productos.

Regional Manager de Ventas, Servicios Ingeniería de Dupont (USA).

Actuó como Senior Safety Consultant de Dupont en el Area Internacional.

Realizó Auditorías de los Sistema de Gestión de Seguridad de los Procesos de PEMEX (Méjico) y Minera La Escondida (Chile).

Auditó en numerosas oportunidades las instalaciones de E&P y Downstream de los activos de Pecom Energía.

Dictó numerosos Cursos y Seminarios sobre Gestión de Seguridad Operativa para Directores y Gerentes de YPF, Air Liquide, Siderar, Siderca, Pecom Energía, Petrobrás, y otras empresas de envergadura.

Retirado de Ducilo SAIC en 1987, como Gerente de Manufactura de Polímeros de Ingeniería.

Fue Miembro del Directorio de Petroquímica Bahía Blanca entre los años 1986 y 1989.

Fue Fundador y primer Vicepresidente de AAPURE “Asociación Argentina Para el Uso Racional de la Energía” en 1982.

Profesor titular de la Escuela de Ingeniería Especializada de la U. del Salvador. Cátedras “Elementos de Dirección” y “Teoría de las Decisiones” durante los años 1972 y 1973.

Asesor de la Dirección de Calidad, Seguridad, Medio Ambiente y Salud Ocupacional (CSMS) de Pecom Energía, entre los años 2000 y 2002.

Asesor de CSMS de la Gerencia Corporativa de Petrobras Energía S.A., entre los años 2002 y 2004.

Fundador y Presidente de CeTAP S.A., *Centro de Tecnologías Aplicadas a la Prevención S.A.*.

⁽¹⁾Subsidiaria de E.I. du Pont



CeTAP S.A.

ELBIO R. BRINKWORTH

Ingeniero Químico, graduado en la Universidad Nacional del Litoral.

Ingeniero Senior en Proceso y Producción de Plantas Químicas de Ducilo SAIC⁽¹⁾.

Asesor Técnico para las Plantas Químicas de Dupont en Arg. y México.

Integrante del equipo de Consultores de Dupont para evaluar el sistema de Gestión de SMS, en las unidades de producción de Ford Motor Company en Brasil, Argentina y Venezuela.

Entre 1997 y 2003 actuó como Consultor del Dupont Safety Resources Business Department, trabajando en numerosas instalaciones mineras, petroleras y Plantas químicas, en Argentina, Chile, Brasil, Perú, Bolivia, Colombia y Venezuela.

En el 2002 dictó Seminarios de Seguridad, MA y Salud Ocupacional, con entrenamiento de campo en la destilería ex EG3 de Bahía Blanca. El Seminario incluyó seminarios para la Gerencia Gral. y Gerencias Divisionales.

Entrenamiento de nuevos consultores de Dupont Arg., para el dictado de seminarios de SMS a Petrobras.

Integró el grupo de Consultores de Dupont de Brasil que realizó auditorías de campo y evaluación de la gestión de SMS de Petrobras, en las estaciones centrales de recepción, despacho y distribución de combustibles, de las áreas de San Pablo, Río de Janeiro y Brasilia.

Lideró el Equipo de Consultores responsables de la auditoría inicial, piloto de SMS en varias estaciones de servicio de Petrobras, (ex EG3), en la ciudad de Buenos Aires.

En el 2001 actuó como Líder del grupo de auditores que trabajó en Petrolera Santa Fé, (evaluación SMS en Tupungato, Atamisqui, Tierras Blancas, Mendoza y Sierra Chata, Neuquén).

Integró el equipo de consultores de Dupont que auditó las instalaciones de campo y gestión de SMS de Pride Internacional en 17 localidades de Colombia. En el 2000 realizó similar actividad en 15 localidades de Venezuela.

Llevó a cabo numerosas actividades similares para distintas Empresas Petroleras operando en Sudamérica.

En 2005 auditó las CDA (Centro de Defensa Ambiental) de CINTRA, empresa que brindan apoyo en emergencias a Petrobras Energía S.A.

Consultor Senior y Asesor Técnico de CeTAP S.A.

⁽¹⁾Subsidiaria de E.I. du Pont