

Seguridad operativa – Las herramientas manuales de acero pueden generar la ignición de una Atmosfera Explosiva – ¿Mito o realidad? -veamos los ensayos

Co-autor: Ing. Leandro Erthal – leandroerthal@petrobras.com.br

Co-autor: Ing. Nicolas Minguez – cenbasdobrasil@msn.com

Sinopsis

Según expertos, el roce provocado por una herramienta y una pieza, siendo ambas de acero al carbono, puede generar una chispa que alcance temperaturas de 1550 a 1850 °C. Así siendo recomiendan que en Áreas Clasificadas se utilicen, en esos casos (retirada de bridas, etc.) apenas Herramientas anti-chispas en materiales como cobre, bronce, Cobre-Berilio y otras aleaciones que cuestan hasta diez veces el valor de una herramienta convencional.

Tesis de doctorado: *Estudio y evaluación del potencial de energía de las fuentes de riesgo de las herramientas manuales en ambientes de Áreas Clasificadas en el segmento de Petróleo y Gas.*

Esta tesis analiza los ensayos prácticos realizados para demostrar que herramientas de mano de acero al carbono, utilizados en las actividades rutinarias de la industria del petróleo y gas en el interior de las zonas peligrosas no son capaces de producir suficiente energía para encender los gases y vapores presentes. Estos resultados corroboran con el conocimiento tácito de los ingenieros de bomberos de América del Norte adquirida a partir de los años 30 y las pruebas de laboratorio en la década de los años 50, los cuales fueron registrados en la norma API RP 2214.

También añade la información que estas herramientas no son capaces de generar energía para encender el gas de hidrógeno. Siendo que el hidrógeno tiene una de la energía mínima de ignición más baja (MIE) conocida.

Una evaluación mecánica de la vibración por metros (acelerómetros) permitió establecer con precisión el tiempo de impacto transcurrido entre la salida de la cabeza del martillo al caer y una placa de metal. Las placas fueron de materiales con diferentes durezas, tal como aluminio, acero al carbono y acero inoxidable 304.

Los resultados del ensayo mostraron que las energías presentes en los impactos entre herramientas de mano de acero al carbono y placas de acero al carbono no son capaces de generar la ignición de una atmósfera de gas hidrógeno. Asimismo, los resultados son válidos para placas de acero inoxidable 304.

Introducción

Este trabajo técnico va dirigido a aquellos que trabajan en locales con presencia de Atmosferas Explosivas sean ellas provocadas por gases y vapores de líquidos inflamables, por polvos combustibles como aluminio, harinas de trigo, soja, maíz, fibras de madera, nylon o gran parte de los productos de mineración.

La mayoría de los trabajadores en campo precisan utilizar alguna herramienta en sus actividades y si se desarrolla en un local con presencia de Atmosfera Explosiva, el riesgo precisa ser bien analizado.

Sepa como seleccionar el tipo de herramienta adecuado.

Evite que personas desavisadas utilicen materiales inadecuados colocando en riesgo la operación.

Desarrollo

1. riesgos de las Atmosferas Explosivas

Siempre que nos encontremos en presencia de algun material que presente características fisico-químicas específicas de un material peligroso (inflamable o combustible) precisaremos tomar cuidados en relación a su posible ignición.



Recordemos que siempre que se forme el triángulo del fuego, o de la explosión, deberemos tener extremados nuestros cuidados. Pero, ¿qué diferencia hay entre el fuego y la explosión?, ¿cuándo sucede uno u otro?.

Prestando atención a un simple encendedor de cigarrillos vemos que posee un recipiente que almacena gas líquido, válvula que me permite liberar el combustible del recipiente y una rueda aspera que girando encima de una pieza dura (piedrita) generará una chispa. Estando en un ambiente pequeño y cerrado cuando

primero giro la rueda generando una chispa y **después** apreto la válvula liberando el combustible, que se mezcla con el oxígeno presente en el aire provocó una llama, o **incendio**. Si, al contrario, **primero** apreto la válvula liberando el combustible, que se mezcla con el oxígeno presente en el aire y un tiempo (90 segundos) **después** giro la rueda generando una chispa provocaré una **explosión**. O sea, una explosión es la quema de una cantidad importante de un combustible en un instante pequeño provocando una onda de presión seguida de una onda de temperatura con consecuencias mucho peores que un simple incendio que podría extinguir con diferentes técnicas.

Así siendo llegamos a la conclusión inicial de que la presencia de una atmósfera explosiva no significa una catástrofe segura y sí una preocupación de que no aparezca una fuente de ignición que pueda provocar la explosión.

Por lo tanto, como la existencia de una atmósfera explosiva es natural de una instalación donde se procesa o manipula algún producto inflamable o combustible, vamos a centrar nuestra preocupación en las posibles fuentes de ignición.

2. Fuentes de Ignición de una Atmósfera Explosiva

Las Fuentes de Ignición pueden ser de origen eléctrica o de origen térmica. Al final de cuentas es la transferencia de una energía hacia un producto inflamable.

Las de origen eléctrica pueden ser provocadas por un arco eléctrico entre dos conductores fruto de la diferencia de potencial entre ellos, sea cuando se cierra un contacto eléctrico en un componente (contactor, relay, interruptor, seccionador, etc.), sea por el arco generado por una carga electrostática (que es la energía generada por el roce entre dos elementos aislantes, o que se encuentren aislados de tierra), sea por una puesta a tierra defectuosa o por una descarga atmosférica. Para todas estas fuentes de ignición existe una familia de normas técnicas (IEC 60079) que son la base de las normas IRAM y de las reglamentaciones de la AEA así como otras normas IEC referentes a Sistema de Protección de Descarga Atmosférica y Puestas a Tierra.

Las de origen térmica pueden ser por la generación de un punto caliente provocado por el roce de dos elementos entre sí sea por el defecto de un sistema de lubricación en un eje rotativo, o por la generación de temperatura en un proceso de soldadura, o por una chispa generada por el impacto mecánico de un elemento metálico sobre otro. Para estas fuentes de ignición generadas por los equipos mecánicos (denominados en la IEC como no-eléctricos) existe la familia de norma ISO/IEC 80079, pero apenas para las que provocan roce, no impacto.

3. las chispas generadas por el impacto mecánico

Estas chispas representan una continua preocupación. Al final de cuentas no aparecen en los diagramas de instalaciones fijas, no sabemos cuando y donde pueden aparecer y nos resulta difícil localizar y cuantificar su energía. Una situación típica de esto representan las herramientas manuales de acero y en particular los martillos o masas utilizados para golpear en los locales con presencia de atmósferas explosivas.

Fruto de esta preocupación existen procedimientos de trabajo específicos para, como ejemplo, la utilización de martillos neumáticos en la rotura de pisos que contengan armazones metálicas internas. El impacto de la punta de acero del martillo neumático en una armazón metálica de acero puede provocar una chispa con una cantidad de energía capaz de generar la ignición de la atmósfera explosiva presente y por lo tanto se utiliza una manguera con agua que está continuamente inundando el local del golpe del martillo evitando la presencia de oxígeno (por

desplazamiento del aire por el agua) en ese local y que se “cierre” el triangulo de la ignición anteriormente mencionado.

4. herramientas: alternativas

Ante esta incognita, cuando es posible utilizamos herramientas que sean de “baja chispa” o sea que el posible impacto genere una energía insuficiente como provocar la ignición del local, mal llamadas de herramientas “anti-chispa”.

Estas herramientas son fabricadas con materiales no-ferrosos como el cobre, bronce o aleaciones de ellos con otros materiales.



Las herramientas manuales en cobre poseen un precio razonable, en comparación de las ferrosas, pero por ser de un material muy maleable son mas utilizadas para masas de hasta 5 kg. Su aplicación en herramientas que deban mantener sus dimensiones y formas a lo largo del tiempo, como llaves de boca o estriadas, no es muy recomendado por poseer baja dureza (4-8 Rockwell C- HRC).

Para estas aplicaciones se precisan herramientas fabricadas con materiales, o aleaciones, de mayor dureza como el Cobre-Zinc (8-10 HRC), Cobre-Aluminio (25-30 HRC) o hasta de Cobre-Berilio (35-40 HRC).

Estas ultimas herramientas que poseen una proporción de 1,5 a 1,8% de Berilio, lo que le permite tener una Resistencia a la Tracción de 1.200 N/mm², son las mas utilizadas en locales con presencia de atmosferas explosivas.



Imaginemos que precisamos cambiar una junta en una brida que transporta algun material peligroso (gas o vapor).

Vamos a precisar utilizar 2 herramientas manuales como serian una llave de golpe, con una punta estriada para colocar en la cabeza de bulón, y una masa para golpear en el otro extremo de la llave. Utilizando herramientas ferrosas tendríamos dos locales donde se podrian producir chispas. Uno entre la masa y la llave y otro entre la llave y el bulón, en caso de safarse. Em ambos casos esa chispa se estaria generando en un local que tendria una probabilidad de tener atmosfera explosiva propia de la perdida de producto por la junta de la brida.

Lo recomendable en estos casos, siempre y cuando se haya medido previamente la presencia de una atmosfera explosiva, lo que en esos lugares es casi seguro, es la busqueda e utilización de las mal denominadas herramientas anti-chispa (o realmente de baja-chispa). En el ejemplo presentado utilizando apenas una llave de golpe en CuBe seria suficiente para neutralizar la chispa generada entre el martillo de acero y llave de golpe en CuBe y entre esta y el bulón de acero. Estas herramientas poseen un costo promedio de 8 a 10 veces el costo de las herramientas normales (ferrosas) y a pesar de tener una dureza mayor, no llegan a las ferrosas (acero cromo vanadio mínimo 39 HRC, y martillos 50-55 HRC) , por lo que su desgaste es, normalmente, mayor que las herramientas comunes. Conclusión: mas caras y con menor vida útil. La recomendación sería tener una caja de herramientas “especiales” de CuBe y utilizarlas solamente si fuese necesario ejecutar esa tarea estando presente una atmosfera explosiva.

5. ALERTA del Instituto of Petroleum (IP), como ha sido a lo largo de las décadas

El “Fire Research Board Committee on Industrial Fires and Explosion” del Institute of Petroleum(IP) del Reino Unido (hoy Energy Institute) emitió a sus asociados una alerta en 2010 para:

“A menos que... **evidencias** sean obtenidas para demostrar que el impacto de herramientas manuales de acero sean seguras, es recomendada la utilización de herramientas anti-chispa en las situaciones donde atmosferas explosivas sean inevitables.”

A.6.5.1 (8) Con respecto del calor o chispas por fricción, es reconocido que existe la necesidad de controlar fuentes de ignición, incluidas las chispas mecánicas de herramientas de mano, que tienen suficiente energía para incendiar vapores inflamables. Estudios, anécdotas, códigos y normas de referencia (por ej.: API 2214, *Spark Ignition Properties of Hand Tools*) muestran que hay un potencial en las chispas de las herramientas de mano para incendiar los vapores inflamables de un limitado número de sustancias químicas y bajo ciertas condiciones únicas. Esto incluye líquidos inflamables con energías mínimas de ignición, operaciones en las cuales los líquidos inflamables y combustibles son calentados, y generación atípica de chispas que puede ocurrir entre tipos específicos de herramientas de mano y superficies golpeadas (ej.: reacciones termita o impacto de herramientas de acero sobre materiales cuarcíticos). Aún las herramientas a prueba de chispas pueden no proveer protección adecuada contra ignición. Por ejemplo, partículas de metal duro pueden quedar embebidas en el metal relativamente blando de las herramientas a prueba de chispas, y estas partículas pueden causar chispa cuando tales herramientas sean usadas.

NFPA 30 requiere análisis, tal como el análisis de seguridad en el trabajo o el del riesgo en la actividad, de los peligros y riesgos de una tarea dada y la aplicación de medidas de protección apropiadas para prevenir o mitigar los peligros y riesgos. Esto incluye identificación y mitigación del riesgo de ignición de fuentes múltiples, incluidas las herramientas de mano. Debido a la complejidad de las numerosas operaciones que involucran líquidos inflamables, NFPA 30 no puede consignar todas las condiciones en las que herramientas a prueba de chispas debieran ser obligatorias, pudiendo ser aconsejables, o innecesarias, para ayudar a controlar el riesgo de ignición de cualquier operación dada.

Tabla 5.7.1.1 Temperaturas de determinadas fuentes de ignición

Fuente	Temperatura	
	°C	°F
Llamas		
Benceno ^a	920	1690
Gasolina ^a	1026	1879
JP-4 ^b	927	1700
Keroseno ^a	990	1814
Metanol ^b	1200	2190
Madera ^c	1027	1880
Brasas ^d		
Cigarrillo (al aplastarlo)	830–910	1520–1670
Cigarrillo (encendido)	500–700	930–1300
Chispa mecánica ^e		
De herramientas de acero	1400	2550
De cobre níquel	300	570

El Comité Técnico de la NFPA cita, en su parecer sobre el comentario técnico realizado en la consulta de la NFPA 30 – *Flammable and Combustible Liquids Code*, edition 2011, desconsidera la necesidad de utilización de herramientas manuales anti-chispa, excepto en circunstancias especiales.

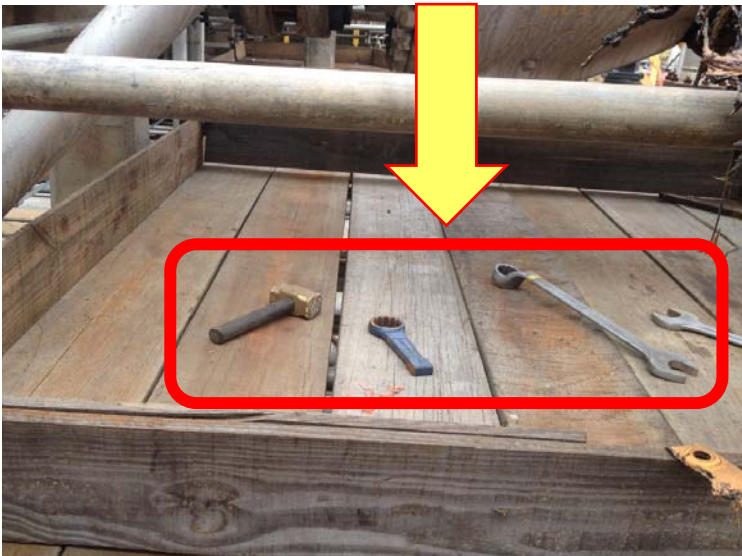
El representante de la empresa “Ampco Safety Tools”, de herramientas anti-chispa, presentó al Comité Técnico, un contra-argumento técnico sobre la propuesta n° 30-58 y solicitó la inclusión del siguiente ítem :

“6.5.6 Calentamiento por fricción o chispa mecánica: Herramientas manuales de acero al carbono y de acero inoxidable pueden producir chispas y ser fuentes de ignición de sustancias inflamables circundantes. Cuando este riesgo existir, herramientas anti-chispa deben ser utilizadas”.

El Comité Técnico rechazó la sugestión pero comentó que “reconoce la necesidad de controlar las fuentes de ignición, incluyendo chispas de herramientas manuales, que posean energía suficiente para causar la ignición de vapores inflamables”. Con todo el Comité Técnico también reconoce que la utilización de herramientas anti-chispa, o de baja-chispa, no provee una protección completa en todos los casos y de esta forma considera que no es adecuado adicionar un requisito completo para tales herramientas en las operaciones de manoseo, procesamiento y transferencia envolviendo líquidos inflamables y combustibles. Complementa que con base en muchas discusiones sobre el asunto, el Comité Técnico decidió incluir un anexo informativo de común acuerdo en A.6.5.1, “que para el control de las fuentes de ignición deben ser adoptadas precauciones para evitar la ignición de vapores inflamables por fuentes, tales como calentamiento por fricción o chispas”

Leyendo como quedó escrito el ítem A.6.5.1 hasta en su revisión 2015 vemos que la interpretación e la NFPA no es conclusiva.

Por otro lado en la norma NFPA 921:2011, relativa a “Guía para la investigación de incendios y explosiones”, en su capítulo 5, tabla 5.7.1.1, indica que la temperatura de una chispa mecánica generada por una herramienta de acero (al carbono o inoxidable) puede llegar a los 1.400 °C y para el caso de herramientas de aleación cobre-níquel esta temperatura está referenciada como de 300 °C. A su referencia bibliográfica cita esta información como siendo del NFPA Fire Protection Handbook 15 th ed.,



La NFPA ha relatado en diversos documentos que existe una pequeña, o ninguna, ventaja en la utilización de herramientas anti-chispas en la prevención de explosiones de mezclas de hidrocarburos. Por otro lado, herramientas en materiales no-ferrosos tales como madera, cuero y plástico son adecuadas para la confección de algunos artefactos como palas o raspadores y no generan riesgo de chispas por fricción.

Es destacado que también es verdad que solamente una chispa denominada incendiaria, aquella que posee una energía de calentamiento suficiente, esto es masa y alta temperatura, también necesita de un tiempo suficiente para calentar una mezcla inflamable de vapor/aire

encima de la temperatura de ignición, no es instantánea. Esto sería más esperado de suceder en el caso de las chispas formadas por la utilización de una lámina de corte metálico de que el producido por un martillo golpeando algún metal.

Otra posibilidad destacada es la chispa generada químicamente causada por el impacto entre ciertos metales y algunas sustancias conteniendo oxígeno, tales como en metales con óxido de hierro (denominado efecto termite). Las piezas ya oxidadas deberán ser tenidas en cuenta para este análisis.

Década del 30

- ✓ Los ingenieros de protección contra incendio, de la industria del petróleo, comenzaron a cuestionar la justificativa para recomendar la utilización de herramientas no-ferrosas especiales, en lugar de las herramientas comunes de acero, en sus operaciones.
- ✓ Los casos de incendio atribuibles a tales causas podían ser considerados despreciables.

Década del 40

- ✓ Una serie de ensayos realizados durante 15 años demostraba que era muy improbable que la ignición de los vapores de petróleo pudiese ser causada por chispas producidas por el contacto de acero con acero.

Década del 50

- ✓ El *Underwriters Laboratories Inc (UL)*, bajo el patrocinio del *American Petroleum Institute (API)*, realizó ensayos durante tres años.
- ✓ Concluyó que, mismo con aparatos mecánicos operando a altas velocidades y con elevadas presiones de contacto, es extremadamente difícil producir chisporroteo capaz de incendiar los vapores del petróleo.
- ✓ Como conclusión fue publicada la norma **API 2214:1956 – “Sparks from Hand Tools”**

Década del 60

-
- ✓ En el artículo titulado “The Relative Hazards in the Use of Ferrous and non Sparking Tools in the Petroleum Industry”, H.G.Riddlestone y A. Bartes incluyeron una revisión amplia de las informaciones publicadas hasta ese momento, pero el estudio no mostró cualquier nueva evidencia experimental.

Década del 70 y 80 - Accidentes

- ✓ Fueron marcadas por accidentes industriales de gran magnitud, tales como:
 - *Flixborough* (Inglaterra, 1974);
 - *Beek* (Holanda, 1975);
 - *Seveso* (Italia, 1976);
 - *Bhopal* (India, 1984);
 - *Cubatão* (Brasil, 1984);
 - *San Juanico* (México, 1984);
 - *Basel* (Suiza, 1986);
 - *Pasadena* (USA, 1986); e
 - *Chernobyl* (Ucrania, 1986).

Los accidentes provocaron cambios significativos en las normas y procedimientos industriales y una preocupación creciente con la seguridad de los procesos.

P. B. MADAKSON del depto. Ing. Mecánica del King College, Londres, demostró que los ensayos de fricción de un determinado material depende también del sistema de ensayo. Muestras idénticas de un mismo material fueron distribuidas por diferentes laboratorios para medir la fricción bajo determinadas condiciones.

Cada laboratorio informó un valor diferente de la fricción utilizando diferentes sistemas de medición.

Década del 90

Hasta 1994 los europeos, y la IEC, solo se preocupaban por las fuentes de ignición de origen eléctrica. Inclusive todos los métodos de protección de los equipos que serían instalados en áreas clasificadas tenían un principio de evitar la ignición originadas por una fuente eléctrica (a prueba de explosión, seguridad aumentada, intrínsecamente seguro, presurizado, etc.) .

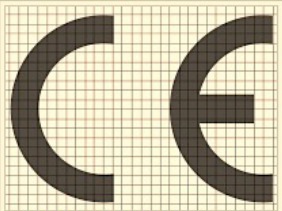
1994L0009 — EN — 20.11.2003 — 001.001 — 1

► **B**

DIRECTIVE 94/9/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL
of 23 March 1994
on the approximation of the laws of the Member States concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres

(OJ L 100, 19.4.1994, p. 1)
Article 1

1. This Directive applies to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres.



The CE mark which should be attached to EU certified equipment

Pero comienza la preocupación por fuentes de ignición de origen mecánica (denominada no-eléctrica) y comienzan los estudios del tema. Principalmente porque los polvos combustibles, que a esta altura de la historia demostraban

tener una temperatura de auto-ignición (en nube o en camada) relativamente baja y el propio polvo había sido motivo de la falta de giro de los rodillos en algunas cintas transportadoras explicando el efecto de ignición por el aumento de la temperatura por el roce de la cinta con el rodillo trabado.

Sin embargo en USA continuaban culpando a las herramientas:

- Registro OSHA nº 124728437 (1996): ... El trabajador nº 1 estaba utilizando una **llave del tipo Allen**, causando una explosión.
- Registro OSHA nº 300965795 (1998): un trabajador en un proceso de limpieza de materiales en una línea de perforación con un **martillo de metal**. ..., una explosión ocurrió. El empleado falleció por la explosión del local.

Década del 2000

- ✓ Proyecto de la Comunidad Europea MECHEX (*Mechanical Ignition Hazards in Potentially Explosive Gas and Dust Atmospheres*), realizado en el laboratorio francés INERIS, para obtener una evaluación sobre el **riesgo de ignición mecánica** con el objetivo de subsidiar la correcta aplicación de las normas europeas (EN) e internacionales (ISO/IEC).

“Es bien conocido hace mas de un siglo, que los polvos combustibles suspendidos en el aire son responsables por parte de las explosiones, sin embargo para las explosiones de gases y vapores inflamables el conocimiento disponible y las prácticas parecen todavia contener una significativa parte de empirismo” C. PROUST - Ineris (2006)

	For IEC use only	31M/14/DC 2008-08-08
	INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION TECHNICAL COMMITTEE NO. 31 – EQUIPMENT FOR EXPLOSIVE ATMOSPHERES SUBCOMMITTEE 31M: NON-ELECTRICAL EQUIPMENT AND PROTECTIVE SYSTEMS FOR EXPLOSIVE ATMOSPHERES IEC SC 31M proposal for new work – preliminary thoughts	

Finalmente en el 2008 la IEC forma una sub-comisión (31M) para estudiar los riesgos de ignición generados por los equipos no-eléctricos

	31M/83/CDV COMMITTEE DRAFT FOR VOTE (CDV) PROJET DE COMITÉ POUR VOTE (CDV)	
	Project number / Numéro de projet: ISO 80079-36/Ed1	
☐ Submitted for parallel voting in CENELEC ☐ Soumis au vote parallèle au CENELEC	IEC/TC or SC: SC 31M CEI/CE ou SC:	Secretariat / Secrétariat: DIN
	Date of circulation / Date de diffusion: 2014-07-18	Closing date for voting (Voting mandatory for P-members) / Date de clôture du vote (Vote obligatoire pour les membres (P)): 2014-10-24
Also of interest to the following committees / Intéresse également les comités suivants: parallel vote in ISO and CEN/TC 305, not CENELEC		Supersedes document / Remplace le document: 31M/73//CD and 31M/76A/CC

Y termina generando en Octubre del 2014 la votación de todos los países miembros de la IEC de la primera norma técnica a nivel mundial sobre el estudio de los riesgos generados por equipos no-eléctricos en Atmosferas Explosivas

Inicialmente se la llamo **IEC 80079-36**, después **ISO/IEC 80079-36** y terminó de discutirse y publicarse recién en **Febrero de 2016** como **ISO 80079-36**

E inmediatamente genera en el Brasil una comisión para estudiar estos fenómenos que podrían responder finalmente a tanto tiempo de conjeturas y conclusiones poco objetivas



ABNT/CB-03
1º PROJETO 03:031.05-008 (ISO 80079-36)
MAR 2015

Atmosferas explosivas – Parte 36: Equipamentos não elétricos para atmosferas explosivas - Métodos e requisitos básicos

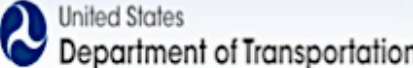
6. visão americana, internacional y de las petroleras

Instituição	Recomendação
  International Electrotechnical Commission	Límites de energia para impacto simple
 Health and Safety Executive	Utilizar herramientas que no provoquen chispas
 INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDROGEN SAFETY	Utilizar herramientas que no provoquen chispas
 ISGOTT	Utilizar herramientas de baja dureza

Grupo de gás	Limites de energia para impactos simples	
	Metal não faiscante	Outros materiais
IIC	60 Nm	5 Nm (Hidrogênio) 3 Nm (Hidrocarbonetos incluindo acetileno)
IIB	125 Nm	10 Nm
IIA	125 Nm	20 Nm
NOTA Este critério não é aplicável aos gases combustíveis tais como sulfeto de carbono monóxido de carbono e óxido de etileno		

Fuente: ISO IEC 80079-36 – tabla 4 - CDV

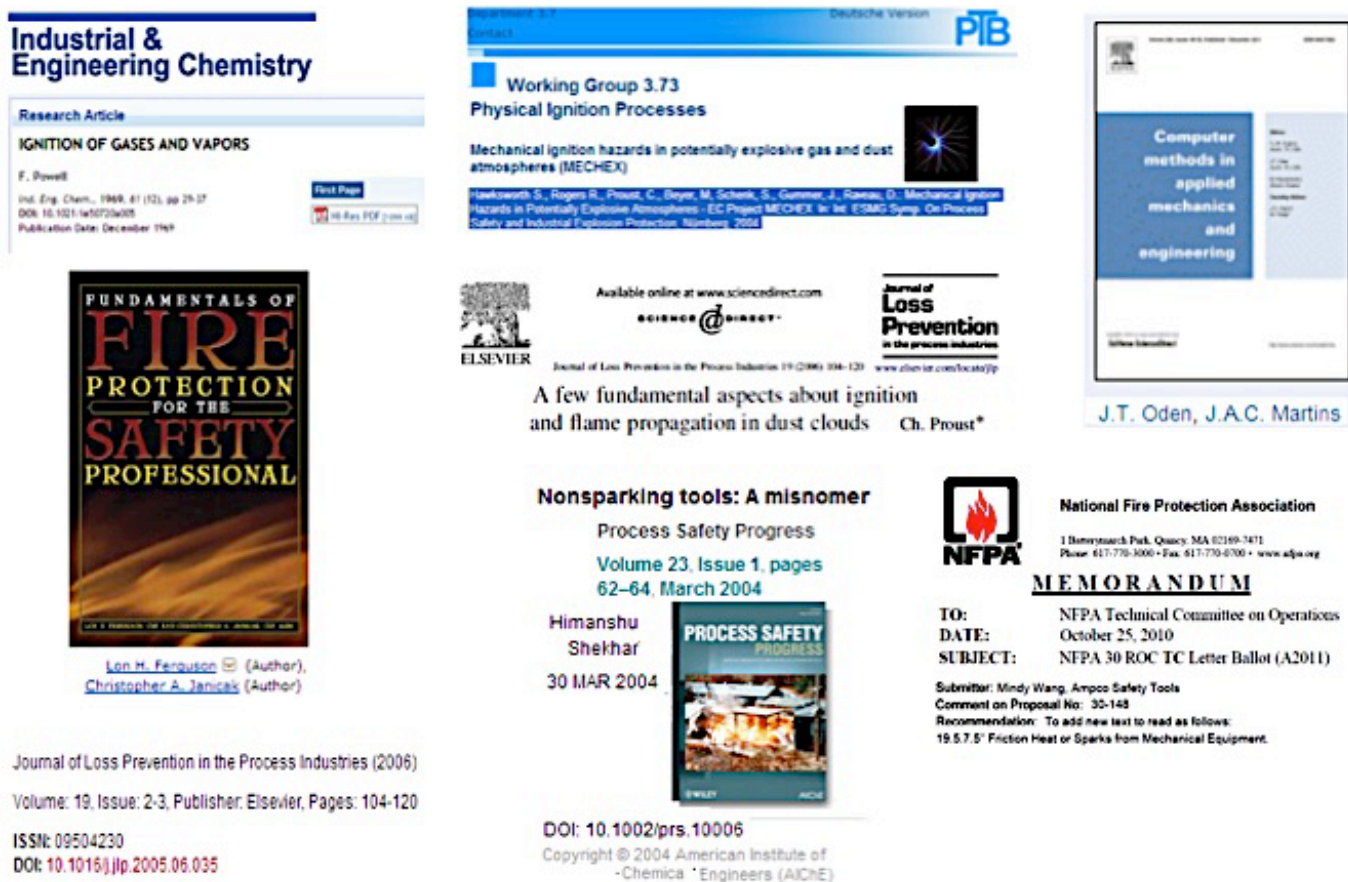
Visión americana a ese momento

En relación al riesgo de las herramientas manuales de acero al carbono ser una fuente de riesgo en locales con atmósferas explosivas.		
Sin riesgo en ambiente de hidrocarbonetos	Con riesgo de ignición	
		
		
		
		
		
		

...y la visión de las petroleras

Requisitos para utilización de “herramientas anti-chispa”		
Establecen		No establecen
		
		
		
		

Visión de los especialistas :



Todas estas opiniones técnicas eran muy importantes pero la conclusión siempre era una recomendación de que los materiales deberían tener la menor dureza posible para que la chispa que era generada por el impacto tuviese la menor energía posible. Pero faltaban evidencias claras.

Así siendo un renombrado Ingeniero Electricista con pos-graduación en Seguridad en el Trabajo y mas de 25 años dedicados a trabajar en locales con Atmosferas Explosivas en la Petrobras-Brasil, en ambientes petroleros, y parte del SMS Corporativo decidió hacer una investigación profunda con múltiples ensayos en laboratorios dedicados a la certificación de productos para ambientes Ex. Profesor de la Universidad federal Fluminense, miembro de diversas comisiones técnicas de la ABNT (Asoc. Brasileira de Normas Técnicas). Así en 2012 el Ing. Leandro Erthal dio inicio a sus estudios.

7. los ensayos realizados

Los ensayos prácticos intentaron demostrar como era el comportamiento de las herramientas manuales de acero al carbono, utilizadas en las actividades de rutina en la industria del petróleo y gas y dentro de áreas clasificadas y si serian capaces de producir energia suficiente para causar la ignición de gases y vapores allí presentes.

Este trabajo consistió en desarrollar un dispositivo de ensayo que reproduzca de forma aproximada las situaciones de trabajo envolviendo la utilización de herramientas manuales, especialmente las masas y martillos manuales.

Una evaluación mecánica, por intermedio de medidores de vibración (acelerómetros), permitirán establecer de modo preciso el tiempo entre la partida de la cabeza del martillo en caída y la placa metálica sobre el local del impacto.



La filmación de este eventos fue realizada con una camara de alta velocidad. Se utilizó un termografo de alta frecuencia para realizar la medición de temperatura en el local del impacto.

Para realizar los ensayos fue necesario controlar la humedad relativa, la temperatura ambiente y la presión atmosferica para poder validar los mismos de acuerdo a las normas técnicas vigentes.

Se hicieron experiencias con cabezas de martillo nuevas y usadas (con pequeñas deformaciones). Diversas piezas con peso diferente (de 1 a 5 kg) que

es lo que normalmente se utiliza como herramienta manual. Y con diferentes composiciones del material como se ve en la tabla abajo.

Con base en los tiempos de caída de la pieza fue posible determinar la aceleración media y los niveles de energía de impacto considerando todos los roces desarrollados a lo largo de la trayectoria de la cabeza del martillo. De esta forma fue posible obtener las energías liberadas en los impactos para la calibración de los dispositivos de ensayo.

	1,0 Kg	2,0 Kg	3,0 kg	4,0 Kg	5,0 Kg
Fe	99,14	97,98	98,82	97,98	99,68
Pb	0,22	1,04	0,14	1,04	0,05
Mg	0,18	0,25	0,80	0,25	0,26
Ti	0,46	0,73	0,24	0,73	



Despues de la calibración de los dispositivos de ensayo fue realizado un ensayo definitivo en atmosfera explosiva de hidrógeno, en concentración de 21% volumen/volumen, o sea, con la menor energía de ignición del gas (MIE).

En virtud de que los ensayos mecánicos de impacto indicaban ausencia de energía luminosa visible, la secuencia de ensayos fue reducida, realizando bajo las condiciones mas severas que el dispositivo de ensayo podría tener: gas

hidrogeno en la concentración de (21+/- 2)% v/v, altura máxima de la caída de la cabeza del martillo de 3,0 metros, materia de la cabeza del martillo en acero al carbono, material de la placa de

impacto en acero al carbono, bi-partida (con un cordón de soldadura al medio) y con el angulo de impacto de 60 grados.

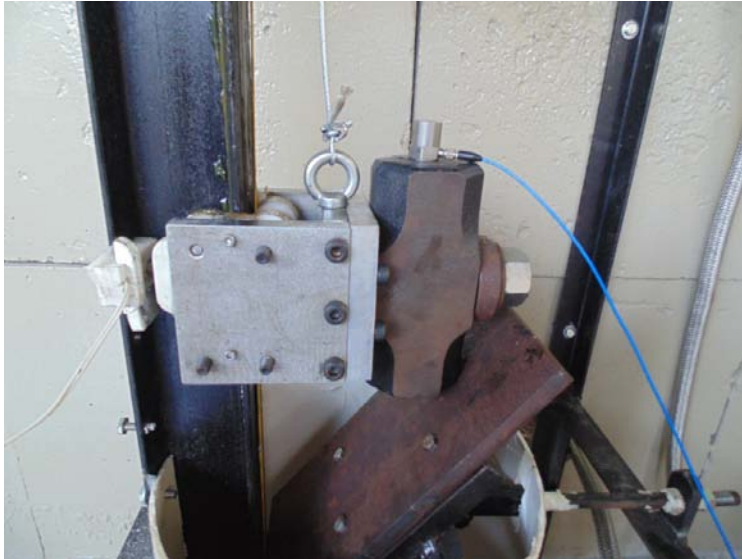
Las placas donde suceden los impactos fueron de materiales con dureza diferente tales como aluminio, acero al carbono y acero inoxidable 304.

Se realizaron comparaciones entre la energía liberada por el impacto contra placas de diferentes materiales y aleaciones. Y también con placas bi-partidas que poseían un cordón de soldadura donde se podía analizar las características del impacto.

Con diferentes ángulos de golpe se podían encontrar diferentes energías liberadas. Así se lleo a la condición mas crítica de impacto con la placa a 60 grados de inclinación respecto del eje de caída de la cabeza del martillo.

Aluminio entera AI-356	Aluminio Bipartida AI-356	Acero inoxidable 304	Acero carbono entera (1)	Acero carbono entera (2)	Acero carbono bipartida
AI- 99,54	AI- 99,50				
Zr - 0,01	Zr - 0,01				
Fe - 0,47	Fe - 0,48	Fe – 69,85	Fe – 99,76	Fe – 99,76	Fe – 99,07
		Cr – 16,62			
		Ni – 10,15			
		Mo – 1,74			
		Mn – 1,37	Mn - 0,24	Mn - 0,24	Mn - 0,48
		Cu – 0,27			

El procedimiento experimental consistió en montar una base de ensayo con una cabeza de martillo localizada a 3,00 metros de altura, por ser esta distancia lo considerado como 20% por encima de la distancia máxima recorrida por el golpe de una herramienta manual en los trabajos de rutina.



La placa fue montada en una base con su inclinación regulable para hacer diversas experiencias.

Como el proceso de calentamiento de una pieza es lento y continuo fue necesario realizar los ensayos repitiendo la caída del martillo en forma continua (o sea golpes consecutivos) para simular con mayor realidad el trabajo de un operario en el proceso de golpe con martillo.

Fueron instalados sensores que detectaban la llegada del martillo a la posición superior, liberaban su caída, detectaban el golpe y accionaban el motor de subida de la pieza a su posición inicial. Regulando el tiempo de subida, con un controlador de la velocidad del motor

(variador de frecuencia), estaríamos controlando el tiempo entre golpe y golpe para reproducir el trabajo normal sin descuidar la temperatura alcanzada con los golpes anteriores.

Siendo que en la realidad no todos los sucesivos golpes son realizados con el mismo ángulo, ni siquiera con la misma fuerza, un servomecanismo modificaba el ángulo de soporte de la placa de impacto a cada golpe en forma aleatoria y la altura de caída variaba de 2,3 metros a 3,2 metros a cada golpe.

El dispositivo de ensayo es equivalente al que se utiliza en la construcción civil para clavar las estacas de una construcción.

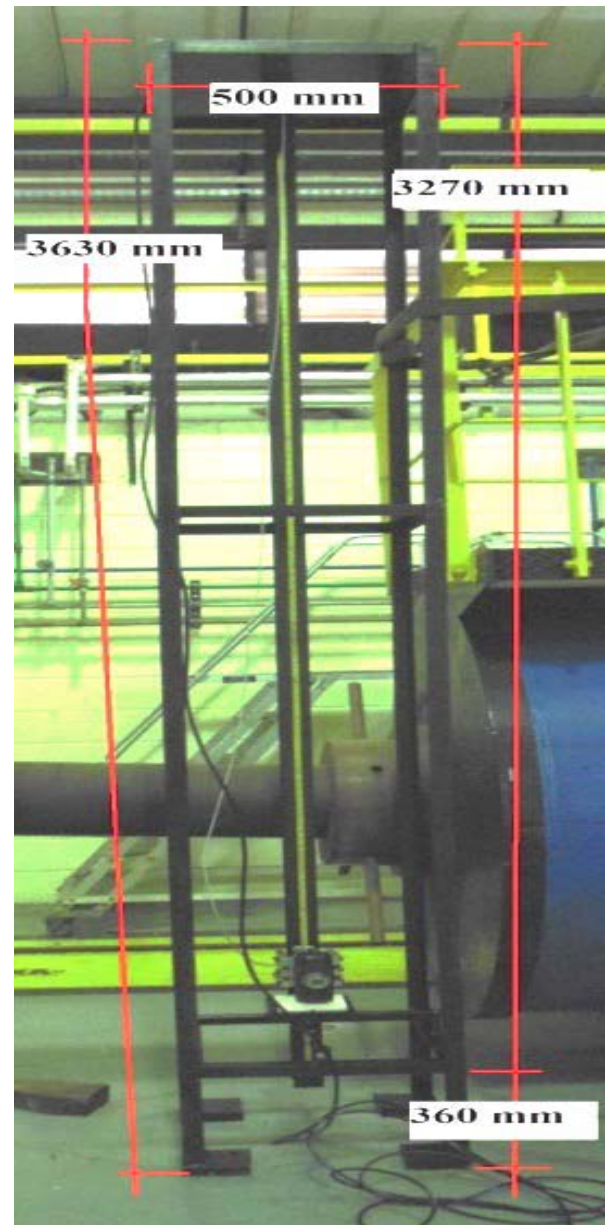
El conjunto de soporte superior, eje de corrida y base para la placa inferior fueron montados en una estructura que fue instalada en el interior de un tubo de 300 mm de diametro dentro del cual controlaríamos su atmosfera para poder mantener la concentración del hidrogeno en una proporción de 21% en volumen (79% de aire).

Todos los ensayos con hidrogeno fueron realizado por el laboratorio CEPTEL (Centro de Pesquisas Elétricas) de la Electrobras (Laboratorio del estado brasileño) que hace 30 años (desde 1986) realiza ensayos de atmosfera controlada para certificar equipos a ser utilizados en locales con presencia de atmosferas explosivas.

Fueron realizadas series de 21 impactos con cada tipo de material y estado de las cabezas de martillo y placa de impacto.

Todos los métodos utilizados en los ensayos previstos en la ISO 14304 asumen la probabilidad de que los niveles de estímulo para ensayos de sensibilidad de materiales explosivos poseen una distribución normal.

Conforme Lavoisier, “*en la naturaleza nada se crea ni nada se pierde, todo se transforma*” tendremos que la energía total del ensayo = energía mecánica (vibración + deformación) + energía térmica + energía luminosa + energía sonora, siendo que estas dos últimas tuvieron valor despreciable en los ensayos.



8. los resultados sorprendentes

Los resultados corroboran los conocimientos tácitos de los ingenieros de incendio norteamericanos adquiridos a partir de los años 30 y ensayos de laboratorio en el inicio de los años 50, que fueron registrados en la norma API RP 2214.

Agrega también la información de que estas herramientas no son capaces de generar energía para causar la ignición del gas hidrógeno. Como el hidrógeno posee una de las menores energías mínimas de ignición (MIE) conocidas, los resultados de este estudio pueden auxiliar otros tipos de industrias en el concepto de seguridad en relación a la utilización de herramientas manuales.

Los resultados de los ensayos demostraron que las energías liberadas en los impactos entre herramientas manuales de acero al carbono y las placas de acero al carbono no son capaces de generar la ignición de una atmósfera de gas hidrógeno. De la misma forma los resultados son válidos para chapas de acero inoxidable 304.

N° del ensayo	Horario	Material de la placa Martillo tratado	N° de impactos	Mezcla final (%)	Tiempo de ensayo	Presión Temp. amb. Humedad	Result.
Martillo nuevo tratado							
1	11h16	Acero carbono bipartido	6	21,3	2:43,85	1011,2 mbar 29,32 °C 67,48 %RH	Sin ignición
2	11h23	Acero carbono bipartido	6	21,5	2:47,11	1011,2 mbar 29,32 °C 67,48 %RH	Sin ignición
3	11h37	Acero carbono bipartido	6	21,5	2:48,60	1011,2 mbar 29,32 °C 67,48 %RH	Sin ignición
Martillo desgastado							
1	14h15	Acero carbono bipartido	4	21,5	1:44,30	1009,5 mbar 34,06 °C 48,49 %RH	Sin ignición
2	14h25	Acero carbono bipartido	7	21,2	3:12,83	1009,5 mbar 34,06 °C 48,49 %RH	Sin ignición
3	11h33	Acero carbono bipartido	7	21,7	3:19,58	1009,5 mbar 34,06 °C 48,49 %RH	Sin ignición

Además, los ensayos demostraron que:

- Una energía de impacto de hasta 185 N.m, 37 veces superior al valor de referencia de la norma ISO 80079-36 (de 5 N.m) no produce energía de 20 microJoules, o sea no causa la ignición ni del hidrógeno;
- La utilización de impactos contra bordes de soldadura en placas bipartidas no afectaron los resultados;
- La utilización de placas oxidadas tampoco afectó los resultados;
- La fricción desarrollada entre la cabeza del martillo y las placas de impacto en acero al carbono fueron capaces de retirar material de las placas pero no fue suficiente como para generar la ignición de una atmósfera explosiva;
- Las mediciones de temperatura en las regiones de impacto, para diferentes composiciones de las placas, demostraron que la elevación de temperatura no fue en ningún momento mayor que 30° C y el tiempo de disipación de esa temperatura es inferior a los 10 milisegundos, por lo tanto, esa temperatura no es acumulativa entre golpe y golpe del operador.

9. recomendaciones

- Analizar dentro de su empresa si las condiciones de este ensayo cubren los procedimientos operacionales de sus trabajos internos;
- Verificar el origen de las instrucciones de trabajo utilizadas en la empresa;
- Estar atento a las acciones que están siendo tomadas en la divulgación de estos ensayos para la definitiva adecuación de los documentos normativos, al final de cuentas este trabajo del Ing. Leandro Erthal fue publicado en Marzo 2015 y está tramitando los caminos normales ante los institutos y comisiones técnicas para validar sus resultados

Conclusiones

Así siendo las principales conclusiones son que:

- La norma API RP 2214 está correcta en relación al impacto simple de las herramientas manuales. Apenas precisa incluir también el hidrógeno dentro de los ambientes considerados, que en su época no lo incluyó;
- La legislación americana y el Instituto de Petróleo del Reino Unido necesitan revisar sus documentos porque no existe ninguna justificativa para la obligación de herramientas manuales de bronce en actividades de petróleo y gas;
- Las áreas de Mantenimiento e Inspección de las empresas petroleras pueden adoptar otros procedimientos de trabajo más simples incluyendo las herramientas manuales de acero al carbono y no siendo necesaria la elaboración de un Permiso de trabajo en caliente para locales con presencia de atmósferas explosivas donde apenas se utilicen estas herramientas;
- Las áreas de Seguridad en el trabajo de las empresas petroleras pueden verificar las Hojas de Seguridad de los productos (MSDS) verificando las orientaciones que tienen sobre uso de herramientas manuales e ir adoptando procedimientos de trabajo más simples y rápidos.

Bibliografía

BAILEY, J.C. **Frictional Sparking of Aluminium**. Transactions of Institution of Mining Engineers AIME_SME, vol 118, part.4 1959, pp 223-240

BJERKETVEDT, Dag. ROAR, Jan Bakke, WINGERDEN, Kees van. **Gas Explosion Handbook**, GEXCON Laboratories. Net, Rio de Janeiro, agosto 2012. Disponible en <http://www.gexcon.com/handbook/GEXHBforewd.htm>

BOSSERT, John A. **Hazardous Locations: A Guide for the Design, Construction and Installation of Equipment in Explosive Atmospheres** 3 ed. Toronto: Canadian Standards Association, 2001. 157p.

BRENNER, P., EVERSHEIM, P.. **Investigation of the Incendivity of Metal and Rock Sparks** (en alemán). Gluckauf. Vol.95. n°5/6 1958. Pp.180-185. Translation n° LTS 2458

BRITISH PETROLEUM. Site disponible en:

[http://msdspds.bp.com/msdspds/msdspds.nsf/BPResults?ReadForm&c=USA%20\(US\)&l=English%20\(US\)&p=gasoline&n=&b=All&r=100&t=All&autosearch=No&autoload=No&sitelang=EN&output=Full&spu=Lubricants&unrestrictedmb=No](http://msdspds.bp.com/msdspds/msdspds.nsf/BPResults?ReadForm&c=USA%20(US)&l=English%20(US)&p=gasoline&n=&b=All&r=100&t=All&autosearch=No&autoload=No&sitelang=EN&output=Full&spu=Lubricants&unrestrictedmb=No)

BURGESS, M.J., WHEELER, R.V. **The Ignition of Firedamp by Heat of Impact of Metal against Rock**. Safety in Mines research Board. Sheffield, London. Paper n°54. 1929 HMSO. pp25.

ERTHAL, LEANDRO **Avaliação e Estudo do potencial da energia de fontes de risco de ferramentas manuais em ambientes de áreas classificadas no segmento de Óleo e Gás** 2015 pp 172



CV Leandro Erthal

Mini biografía

Ingeniero electrico con pos graduación en Seguridad en el Trabajo de la Gerencia de Seguridad, Medio Ambiente y Salud (SMS) de la Petrobras, instructor de la Universidad Petrobras y profesor de los cursos de pos-graduación en la Universidad Federal Fluminense en la cátedra de Instalaciones Eléctricas en Atmosferas Explosivas, coordinador de la comisión de estudios de normas técnicas en ABNT y miembro de la comisión de certificación de equipos eléctricos para atmosferas explosivas en Eletrobras/CEPEL



CV Nicolás Mínguez

Mini biografía

Ingeniero electro-electrónico con pos graduación en Seguridad en el Trabajo y Auditor Líder de OHSAS 18001, consultor técnico en 12 países de Latinoamérica siendo editor de normas técnicas en Argentina y Brasil con 30 años de experiencia en locales con Atmosferas Explosivas de gases/vapores inflamables y polvos combustibles.