

Ing. Néstor Adolfo BOTTA
ISBN en trámite



RED
PROTEGER

MEDICIÓN DE EXPLOSIVIDAD

Material no apto para la venta.

EL AUTOR



Néstor Adolfo BOTTA es Ingeniero Mecánico recibido en el año 1992 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata e Ingeniero Laboral recibido en el año 1995 en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata.

Es el Titular de la empresa Red Proteger, empresa dedicada a la Capacitación y Divulgación de conocimientos en materia de seguridad e higiene en el trabajo (www.redproteger.com.ar).

Desarrollo funciones como Responsable de Seguridad e Higiene en el Trabajo en empresas como SOIME SRL, TRADIGRAIN ARGENTINA SA, AMANCO ARGENTINA SA, MOLINOS RÍO DE LA PLATA SA y SEVEL ARGENTINA SA.

Asesoró a diversas empresas entre las que se destacan AKZO NOBEL SA, CERVECERÍA Y MALTERÍA QUILMES SAICAYG y APACHE ENERGÍA ARGENTINA SRL.

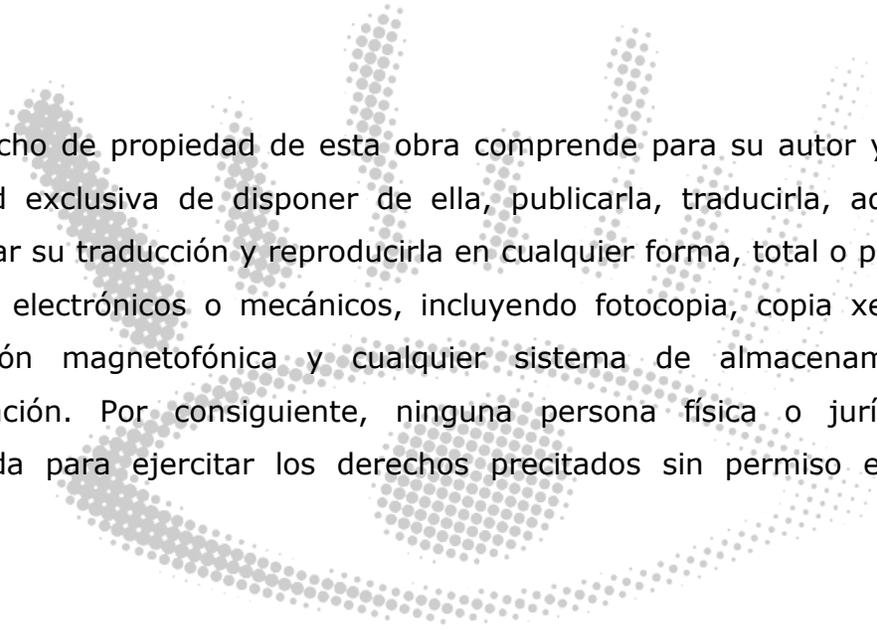
Actualmente se desempeña como Coordinador Pcial. de Salud y Seguridad en el Trabajo en la Dirección Pcial. de Salud y Seguridad en el Trabajo de la Pcia. de Santa Fe.

Su extensa actividad docente lo ubica como:

- Profesor en la UCA de Ing. de Rosario para la Carrera de Posgrado de Higiene y Seguridad en el Trabajo en la asignatura de Riesgo y Protección de Incendios y Explosiones.
- Profesor Titular en la Universidad Nacional del Litoral para la Carrera de Técnico en Seguridad Contra Incendios en la asignatura de Seguridad Contra Incendios III. Sistema de educación a distancia.
- Profesor en la Universidad Nacional del Litoral - Sede Rosario, para la Carrera de Lic. en Seguridad y Salud Ocupacional en la asignatura de Práctica Profesional.
- Profesor Titular en el Instituto Superior Federico Grote (Rosario – Santa Fe) para la Carrera de “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo” para las asignaturas de Higiene y Seguridad en el Trabajo I, Seminario Profesional, Prevención y Control de Incendios II, Prevención y Control de Incendios I, y Director del Postgrado “Seguridad e Higiene en el Areas de Salud”.
- Profesor Interino Cátedra “Elementos de Mecánica”. Carrera “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo”. ISFD Nro. 12 La Plata – 1.996
- Ayudante Alumno Cátedra “Termodinámica”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ingeniería.
- Ayudante Alumno Cátedra “Análisis Matemático”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencia Económicas.

Datos de Contacto

e-mail: nestor.botta@redproteger.com.ar

A large, faint watermark of a smiley face (:) is centered on the page. The dots of the smiley face are composed of a grid of small grey dots, with the grid being denser in the center and fading out towards the edges.

El derecho de propiedad de esta obra comprende para su autor y editor la facultad exclusiva de disponer de ella, publicarla, traducirla, adaptarla o autorizar su traducción y reproducirla en cualquier forma, total o parcial, por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo fotocopia, copia xerográfica, grabación magnetofónica y cualquier sistema de almacenamiento de información. Por consiguiente, ninguna persona física o jurídica está facultada para ejercitar los derechos precitados sin permiso escrito del Autor.

Editorial Red Proteger®
Rosario – Argentina
Tel.: (54 341) 4451251
Fax: (54 341) 4400861
info@redproteger.com.ar
www.redproteger.com.ar

ABSTRACT

El proceso de medición de explosividad o mejor dicho de combustibilidad o inflamabilidad está en la práctica real subvalorado, no por no considerar la importancia real de hacerlo, si no por el hecho de hacerlo sin comprender en el fondo lo que se está midiendo, las condiciones de la medición y del medio ambiente donde se mide. Este trabajo pretende poner en claro que se está midiendo, cuales son las condicionantes de esa medición y como afecta la medición de la explosividad en la combustibilidad del ambiente de trabajo, es decir, que otros parámetros, además, del LII y LSI hace que un ambiente sea o no combustible o inflamable.

Palabras clave

límites, LII, LSI, inflamabilidad, medición, combustibilidad



INTRODUCCIÓN

El término “medición de explosividad” está mal usado. Lo que se miden no son materiales explosivos, sino materiales combustibles o inflamables que bajo determinadas condiciones pueden combustionar violentamente, es decir, deflagrar, y/o producir una explosión bajo determinadas condiciones de confinamiento.

A lo sumo lo que se puede detectar son los materiales explosivos, que no es éste el caso en estudio.

Para entender que se va a medir, primero se debe repasar algunos conceptos básicos del proceso de la combustión.

EL PROCESO BÁSICO DEL INICIO DE LA COMBUSTIÓN

Para entender el proceso básico del inicio de la combustión, y describir los distintos fenómenos físicos y químicos existentes; analizaremos como ejemplo la combustión de una madera en una situación típica, por ejemplo una chimenea, o todavía algo más tradicional, la parrilla para el asado.

a- Hay que suponer que esta madera experimenta un calentamiento inicial externo por una fuente externa de calor, no importa por ahora porque medio y motivos. Conforme la temperatura superficial de la madera se va aproximando a la temperatura de ebullición del agua, la madera empieza a desprender gases, principalmente vapor de agua. Estos gases iniciales tienen muy poco, o nulos vapores combustibles.

b- Al continuar el calentamiento y acercarse la temperatura a los 300°C se aprecia una modificación de color, visualización de la pirólisis¹ que se inicia. Al pirolizarse la madera, desprende gases combustibles.

Para el caso de los inflamables de primera categoría esta fuente de calor externa lo constituye el calor del medio ambiente y en vez de hablar de pirolisis hablamos de temperatura de vaporización, que en este caso es inferior a la ambiente.

c- Inmediatamente después de comenzar la pirólisis, la madera produce rápidamente suficientes gases combustibles como para alimentar una combustión en fase gaseosa.

A medida que los gases calientes suben por efecto chimenea, es decir, al estar calientes se vuelven más livianos que el aire que los rodea, y ascienden; a medida que éstos gases ascienden, el espacio que dejan es ocupado por aire más frío que ingresa por un efecto denominado “difusión”, el aire ingresa sin ayuda externa por efecto de la depresión producto del ascenso de los gases calientes.

El aire que ingresa se mezcla con los gases combustibles, conformando así una mezcla combustible, que es la que alimenta la combustión, mezcla que debe estar dentro del rango de inflamabilidad; mientras esto se va produciendo, la temperatura sigue en franco aumento producto de la fuente de calor externa, cuando llegamos al nivel de temperatura denominada “temperatura de ignición”, sólo nos va a hacer falta para que surja la combustión una “fuentes de ignición” que la provoque.

¹ Pirólisis: Descomposición de un compuesto químico por acción del calor.

En estas condiciones empiezan los problemas de los cuales muchos trabajan para evitar, que son precisamente los incendios, que a diferencia de otro tipo de combustiones, éstas son incontroladas y muy dañinas.

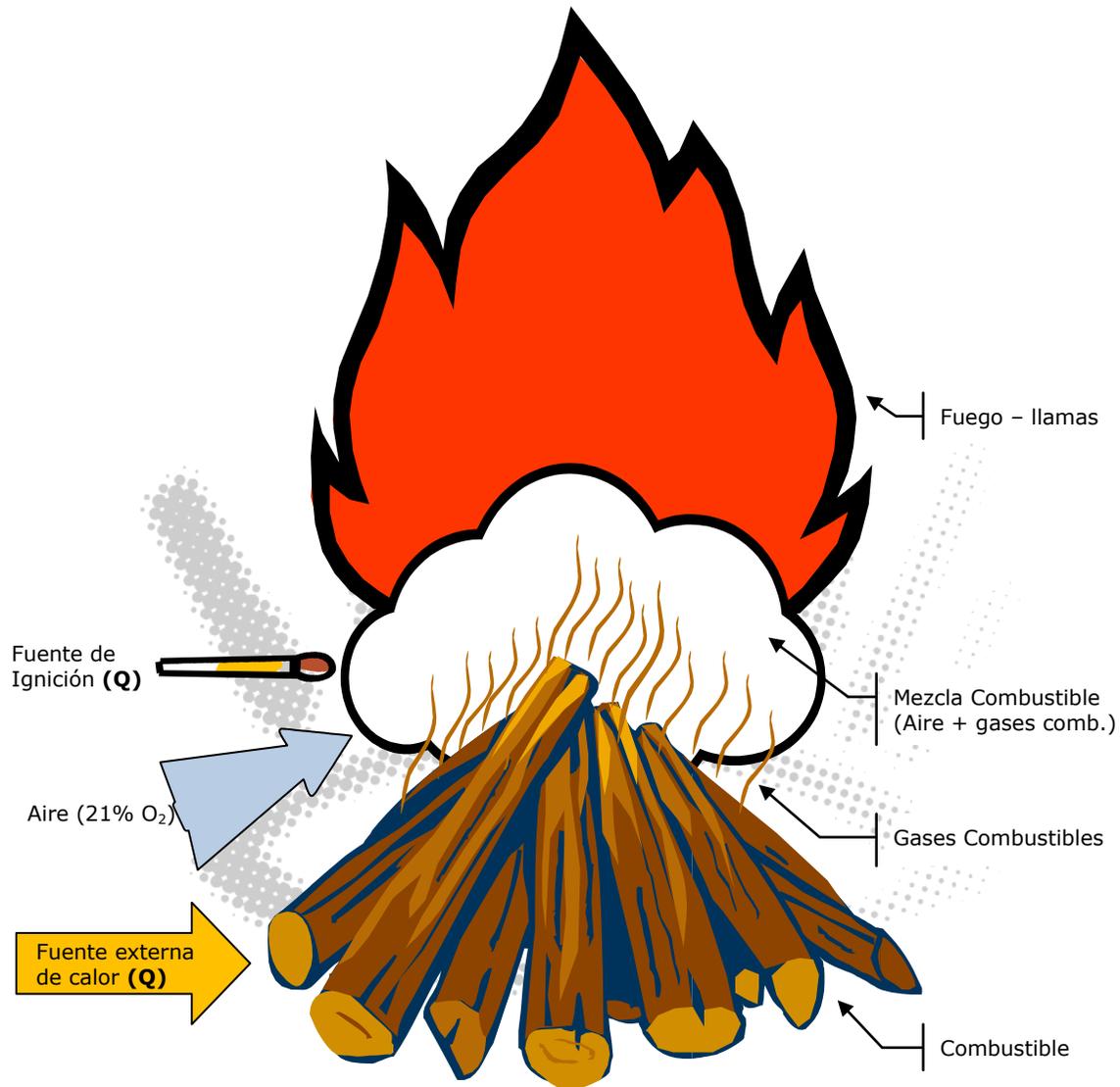


Fig. 1: La Combustión

El proceso básico del inicio de la combustión lo podemos resumir en el siguiente cuadro.

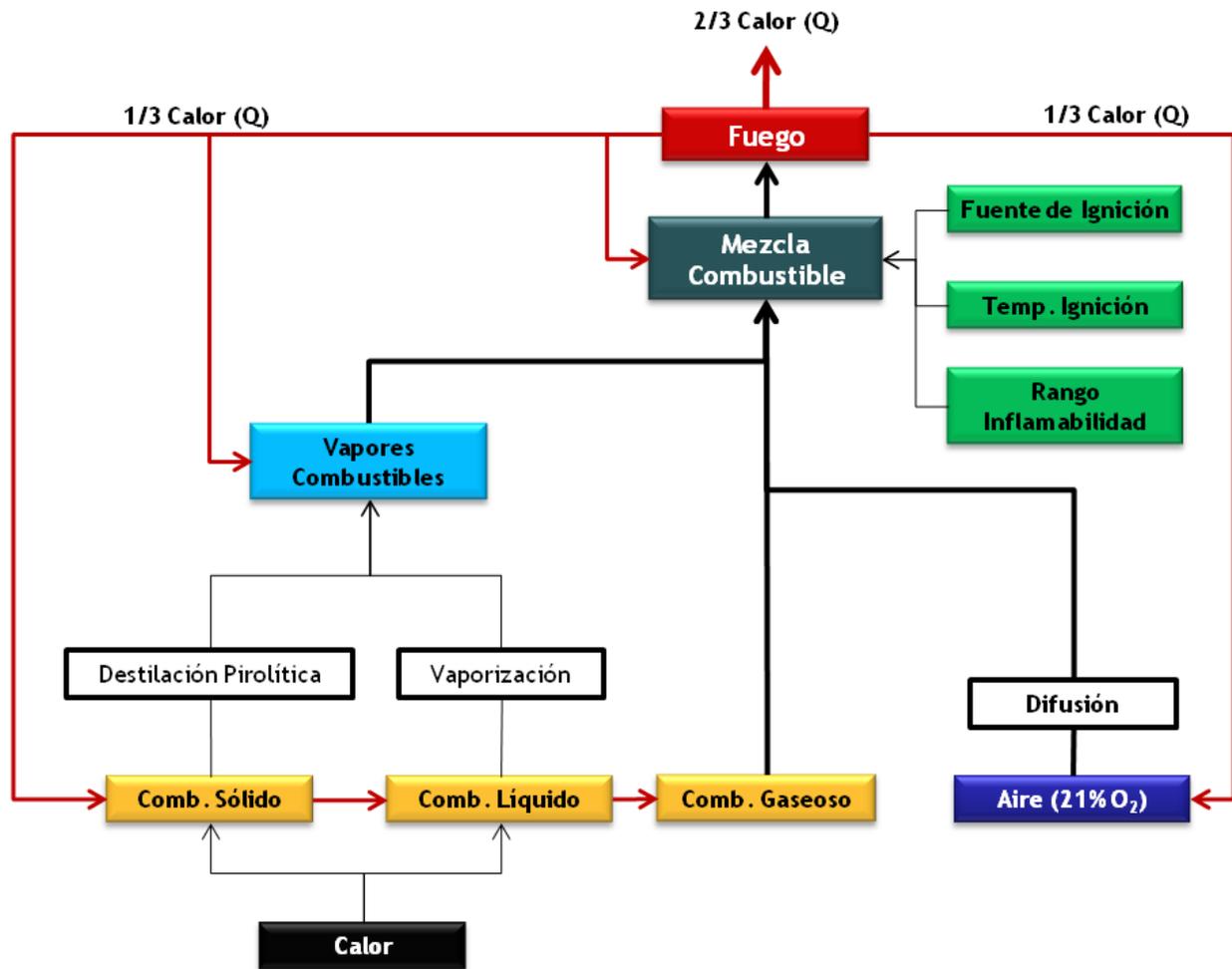


Fig. 2: Resumen del Proceso de Inicio de la Combustión

¿QUE SE NECESITA PARA QUE SE PRODUZCA UNA COMBUSTIÓN?

Para poder dar inicio a una combustión, debemos tener los elementos y condiciones siguientes:

- Material Comburente o agente oxidante.
- Material Combustible o agente reductor.
- Fuente de Calor con calor suficiente para lograr que el material combustible desprenda gases o vapores combustibles, esto puede suceder a temperatura ambiente como en el caso de algunos líquidos inflamables.
- Lograr que la mezcla de los gases o vapores combustibles con el agente oxidante, llamada mezcla inflamable o combustible, alcance como mínimo la Temperatura de Ignición.
- Mezcla inflamable dentro del Rango Inflamable.
- Fuente de Ignición de energía suficiente para encender la mezcla inflamable.

LA REALIDAD DE LOS AMBIENTES LABORALES

En la actividad laboral, sea está del tipo industrial, comercial o depósitos, la idea es evitar que se produzcan incendios, sean éstos producidos por problemas en los procesos productivos o por malos trabajos de mantenimiento.

Un trabajo típico que se da en casi todas las industrias son los llamados trabajos en calientes, en especial cuando se producen en áreas o equipos que han tenido, tienen o se sospecha que existen materiales inflamables.

Cuando analizamos este tipo de situaciones desde la óptica de la seguridad, vemos que todos los elementos que se necesitan para que se de inicio a la combustión están presentes en el lugar. Existe el aire, es muy complejo trabajo en condiciones de ambientes sin aire. Existe material combustible inflamable, es imposible pensar una industria sin materiales inflamables. Existe por cuestiones de reparación y/o mantenimiento una fuente de ignición que puede estar dado por un proceso de soldadura, por una amoladora, por un calentamiento de la zona, etc. Además, de todo lo anterior, hay que sumarle los combustibles del tipo inflamables que son en su mayoría sub-ambientales (al menos los más peligrosos), es decir, emiten gases combustibles y encienden por debajo de la temperatura ambiente. Todo esto es un excelente caldo para que cuando demos el primer chisporroteo con el electrodo, encendamos el motor estándar, produzcamos las primeras chispas con la amoladora, se produzca desde una deflagración leve hasta una explosión grave si estamos dentro de un ambiente confinado.

Pensemos ahora por un instante que podemos eliminar de todo esto, que, además, de darnos suficientes garantías de seguridad, sea fácil y por sobre todo económico para poder hacer el trabajo.

Esta solución es eliminar el combustible inflamable de la zona de trabajo para evitar que se forme la mezcla combustible. Por consiguiente se necesita disponer de una manera fácil y simple de poder medir esta presencia o ausencia de inflamables de los ambientes de trabajo.

LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

Son los límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, por lo que la llama, una vez iniciada, continúe propagándose. Así como el calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de ignición la relación combustible/comburente (aire) debe estar dentro de los límites de inflamabilidad.

En caso de los materiales inflamables estas proporciones se determinan como porcentajes en volumen de gas o vapor en aire. Por lo tanto los porcentajes mínimos y máximos de gas o vapor combustible necesarios para formar mezclas inflamables, constituyen los límites inferior (LII) y superior (LSI) de inflamabilidad respectivamente. La diferencia entre ambos límites define lo que se conoce como rango inflamable.

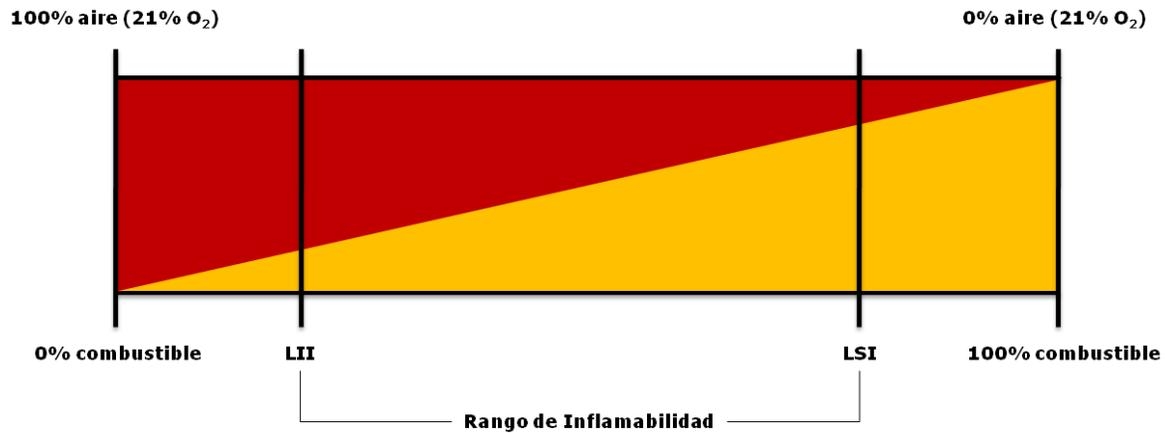


Fig. 3: Límites de Inflamabilidad

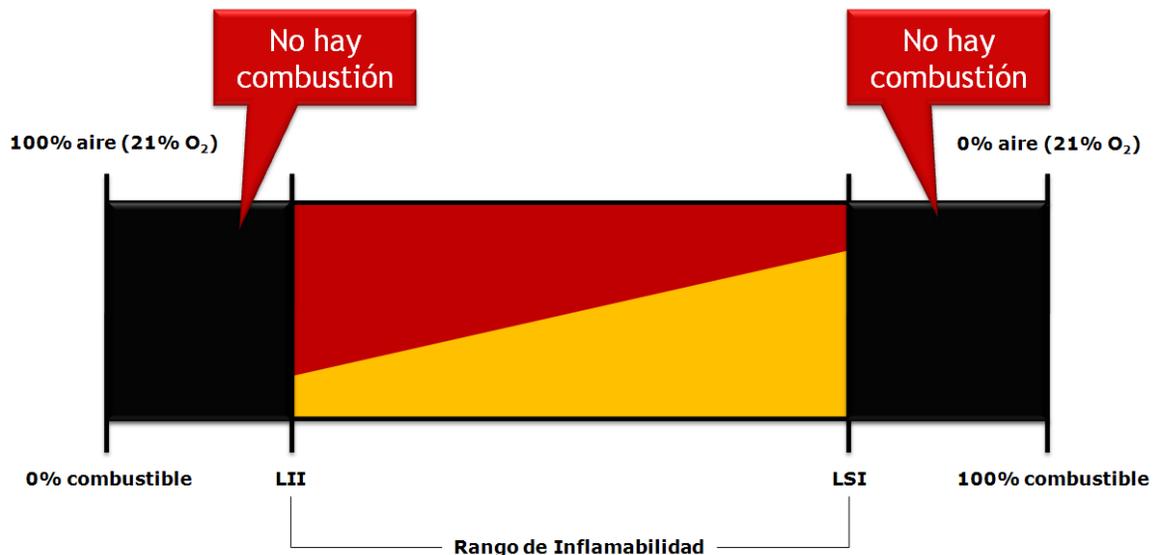


Fig. 4: Zonas de No Combustión

Si la concentración de gas en aire es menor que el LII no se produce la ignición por resultar la cantidad de combustible insuficiente o un exceso de aire y por encima del LSI tampoco se produce la ignición por resultar con exceso de combustible o falta suficiente de aire.

Es posible impedir la propagación de una llama en una mezcla de gases combustibles mediante un exceso de cualquiera de sus componentes.

En la práctica, podemos prevenir la posibilidad de inflamación en una mezcla de gases, asegurándonos que la mezcla esté fuera de rango de inflamabilidad.

Las técnicas son: eliminar la suficiente cantidad de combustible o proceder a eliminar el aire mediante una técnica que se denomina "inertización", que significa el uso de un gas inerte para hacer que la atmósfera dentro de un recipiente hermético sea no inflamable. La inertización, en efecto, reduce el contenido de aire en el espacio libre del equipo a un porcentaje por debajo del cual no puede ocurrir la ignición, reemplazando el aire con un gas inerte.

En la práctica no es aconsejable, salvo casos muy especiales, trabajar con una mezcla que esté por encima del LSI, dado que un pequeño ingreso de aire, o el desprendimiento de una bolsa

de aire del interior de un equipo nos puede llevar inmediatamente por debajo del LSI, y producir el accidente que intentábamos prevenir.

Como ya mencionamos anteriormente la técnica será pues eliminar el combustible inflamable de la zona de trabajo.

SUSTANCIA	LII % en aire	LSI % en aire
Acetona	2,6	12,8
Acetileno	2,5	81,0
Alcohol Etílico	3,3	19,0
Gasolina	1,4	7,6
Gas Natural	3,8	13,0
Hidrógeno	4,0	75,0
Monóxido de carbono	12,5	74,0
Propano	2,2	9,5
Kerosene	0,7	5,0

Tabla 1: Límites Inferior y Superior de Inflamabilidad

Los datos de LII y LSI de esta y la gran mayoría de todas las tablas están dados para CNPT y para un aire con 21% O₂.

Por ejemplo el LII de la acetona en el aire es 2,6% en volumen. Esto significa que en 100 volúmenes de mezcla vapor de combustible/aire hay 2,6% de vapor de acetona y $(100 - 2,6) = 97,4\%$ de aire.

Acetona



Fig. 5: Límites de Inflamabilidad de la Acetona

MEDICIÓN DE EXPLOSIVIDAD

¿Qué medimos en realidad cuando decimos que medimos "explosividad"? Por empezar no medimos explosividad, sino, la combustibilidad de un ambiente, mediante la determinación de que tan lejos o cerca estamos del LII.

¿Que usamos para medir? Para medir la mal llamada "explosividad de un ambiente" se usa un equipo que se mal denomina "explosímetro".

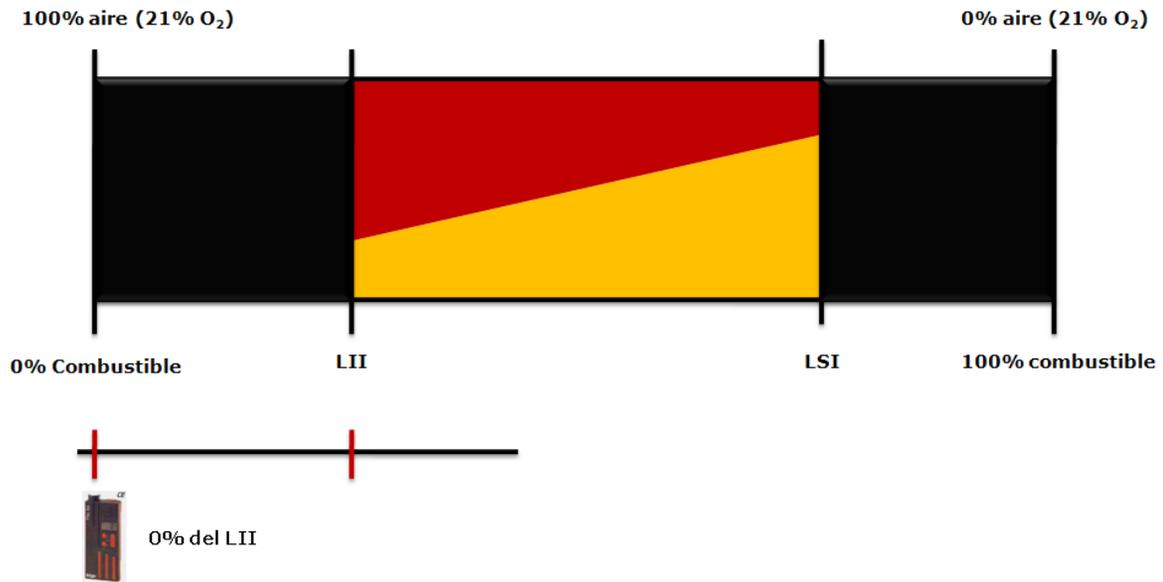


Fig. 6: Medición de Explosividad - LLI = 0%

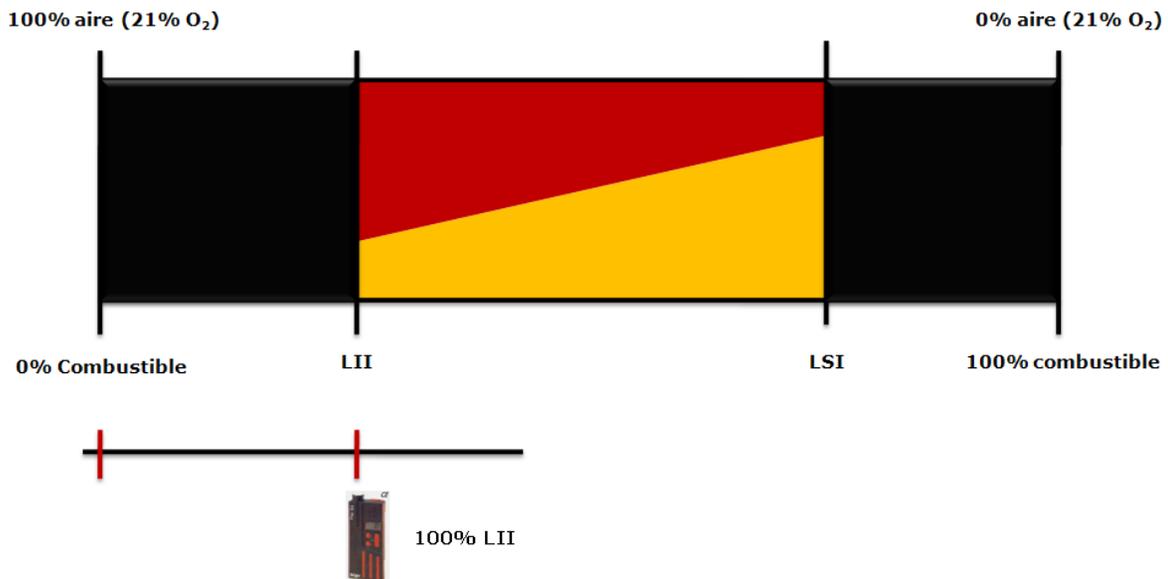


Fig. 7: Medición de Explosividad - LLI = 100%

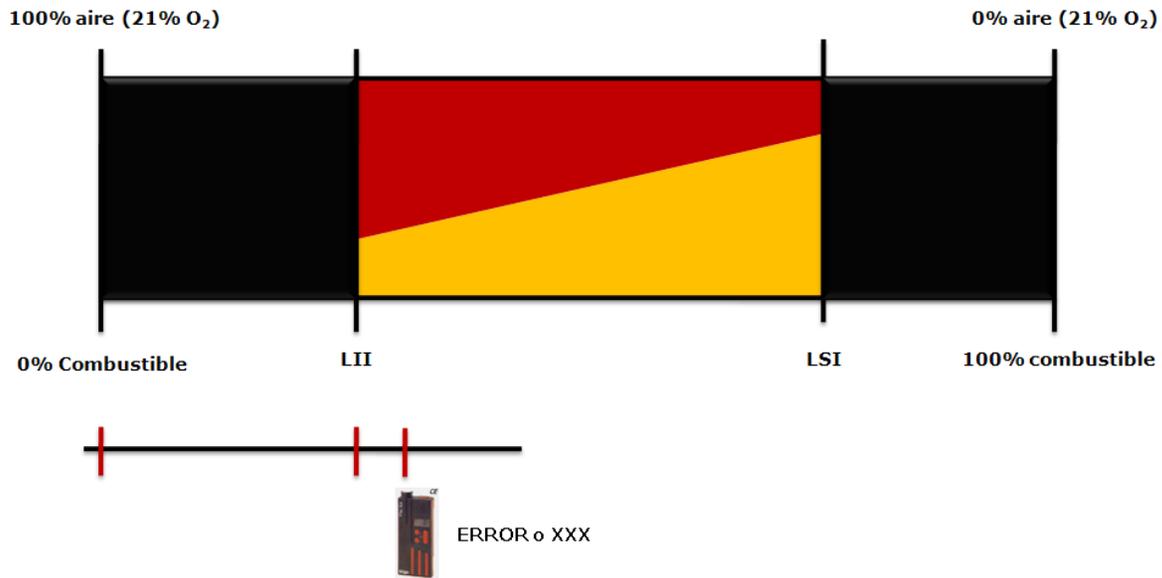


Fig. 8:

Medición de Explosividad - LLI = mayor al 100%

La gran mayoría de los explosímetros, por no decir todos, NO están midiendo directamente el LII; no lo hacen porque no están midiendo el nivel de oxígeno en el aire y en forma simultánea relacionándolo con el nivel de gases combustibles presentes. Lo que hacen estos equipos es partir de una HIPÓTESIS de calibración presuponiendo que existe un aire con un 21% de oxígeno.

Existen algunos equipos de los denominados duales o multigas que pueden medir nivel de oxígeno y explosividad, pero lo hacen en forma separada, y por consiguiente corresponde al que mide relacionarlos entre sí.

Hay otros tipos de equipos, de generación nueva, no muy usados y difundidos que miden el nivel de oxígeno y gases combustibles, e integra ambas mediciones para determinar el %LII.

Para poder entender la realidad de lo que se mide cuando estamos en presencia de gases o vapores inflamables, es mejor ponerlo en números, y para eso analizaremos la medición del n-Hexano, combustible del tipo inflamable de primera categoría.



Fig. 9: Rango de Inflamabilidad del n-Hexano

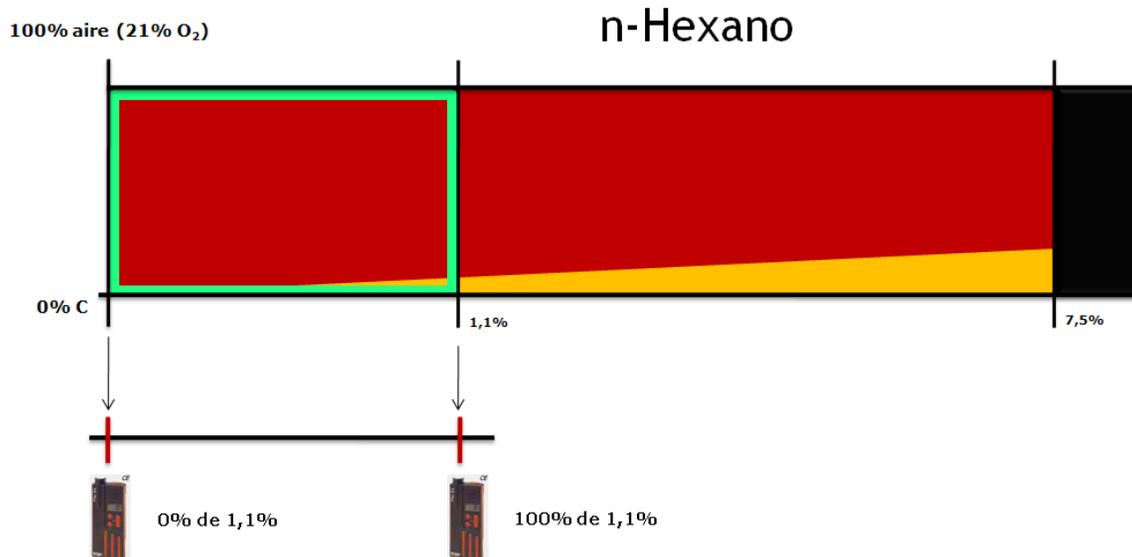
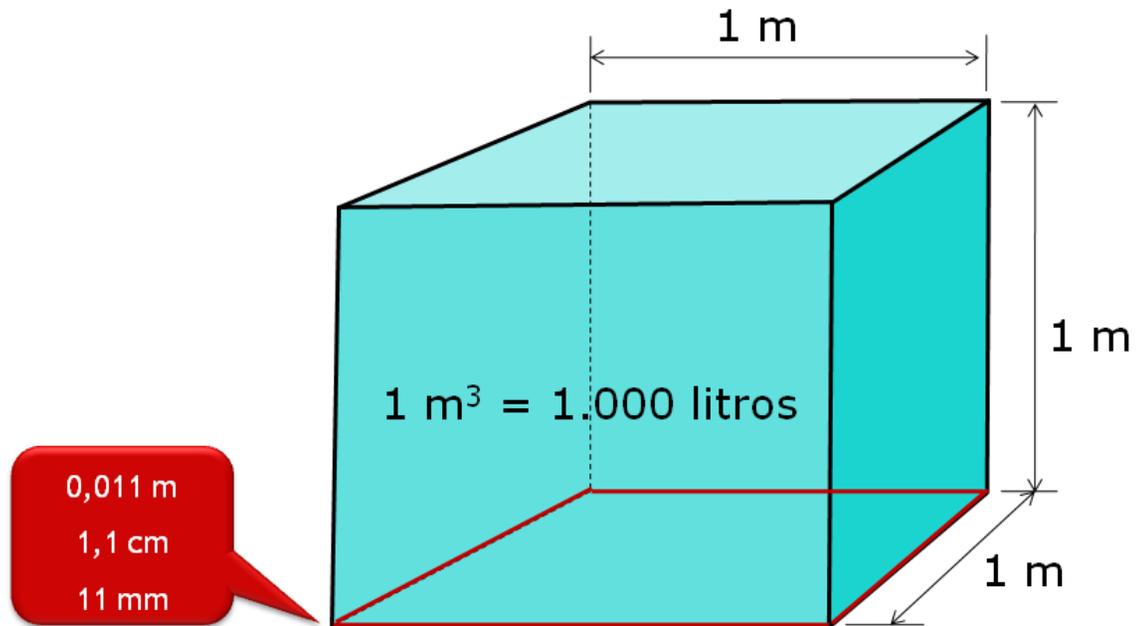


Fig. 10: Ampliación del Rango de Inflamabilidad del n-Hexano

La figura 10 está mostrando que mide en realidad un explosímetro cuando lo hace de un ambiente que tiene n-Hexano. Cuando el equipo está marcando un 100% LII en realidad es el 100% del 1,1% que es el valor del LII para el n-Hexano, es decir, un valor muy bajo; aunque parezca que medir 100% LII es MUCHO, en casi todos los inflamables se está midiendo un rango muy estrecho. Pero si esto no alcanzara para visualizar que es el LII = 1,1%, llevemos este valor a un volumen conocido y fácil de visualizar como lo es 1 m³ o 1.000 litros, es decir, un recipiente cúbico de 1 metro de lado, lo que en la industria de los bidones se conoce como "maxi bidón". El 1,1% de 1.000 litros es 11 litros, que, si lo quisiéramos visualizar dentro del bidón ocuparía el volumen indicado en la figura 11 con una línea roja. Los 11 litros serían una medición del 100% LLI, pero para poder trabajar en forma segura por lo general se exige valores inferiores al 10% LLI o menos, es decir, de 1 litro, osea, para el n-Hexano, trabajar en forma segura en un ambiente implica que no debe haber más de 1 litro vapores de n-Hexano cada 1.000 litros de volumen de ambiente.

Pregunta:

¿Cuántos litros de n-Hexano a CNPT se necesitan para generar 1 litro de vapor de n-Hexano?



1,1% de 1.000 litros = 11 litros

Fig. 11: Visualización volumétrica del LLI del n-Hexano

¿QUE PASA DENTRO DEL RANGO DE INFLAMABILIDAD?

Analicemos ahora que pasa dentro del rango de inflamabilidad. Por empezar podemos distinguir tres zonas de combustión a saber:

- Combustión completa, teórica o estequiométrica.
- Combustión pobre, incompleta o con defecto de aire.
- Combustión rica o con exceso de aire.

Combustión Completa, Teórica o Estequiométrica

Es la combustión que se realiza con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que se produzcan inquemados. En consecuencia, no se encuentra O₂ en los humos, ya que dicho O₂ se consumió totalmente durante la combustión.

Las sustancias combustibles del combustible se queman hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, no habrá sustancias combustibles en los humos. En los productos de la combustión se puede encontrar N₂, CO₂, H₂O.

Esta combustión se denomina teórica porque en la práctica siempre se producen inquemados, aunque sea en muy pequeña proporción.

Combustión Pobre, Incompleta o con Defecto de Aire

Sucede lo contrario que en la combustión completa. O sea, como el combustible no se oxida completamente por falta de aire, se forman sustancias que todavía pueden seguir oxidándose; por ejemplo, CO. Estas sustancias se denominan inquemados. La presencia de inquemados indica que la combustión se está realizando en forma incompleta.

Otros inquemados pueden ser H₂, C_nH_m, H₂S y C. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que escapan a la atmósfera en los gases de combustión.

En esta combustión, el aire disponible es menor que el necesario para que se produzca la oxidación total del combustible. Por lo tanto, se producen inquemados.

Combustión con Exceso de Aire

Es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados. Es típica la presencia de aire en los humos.

Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae aparejada la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama.

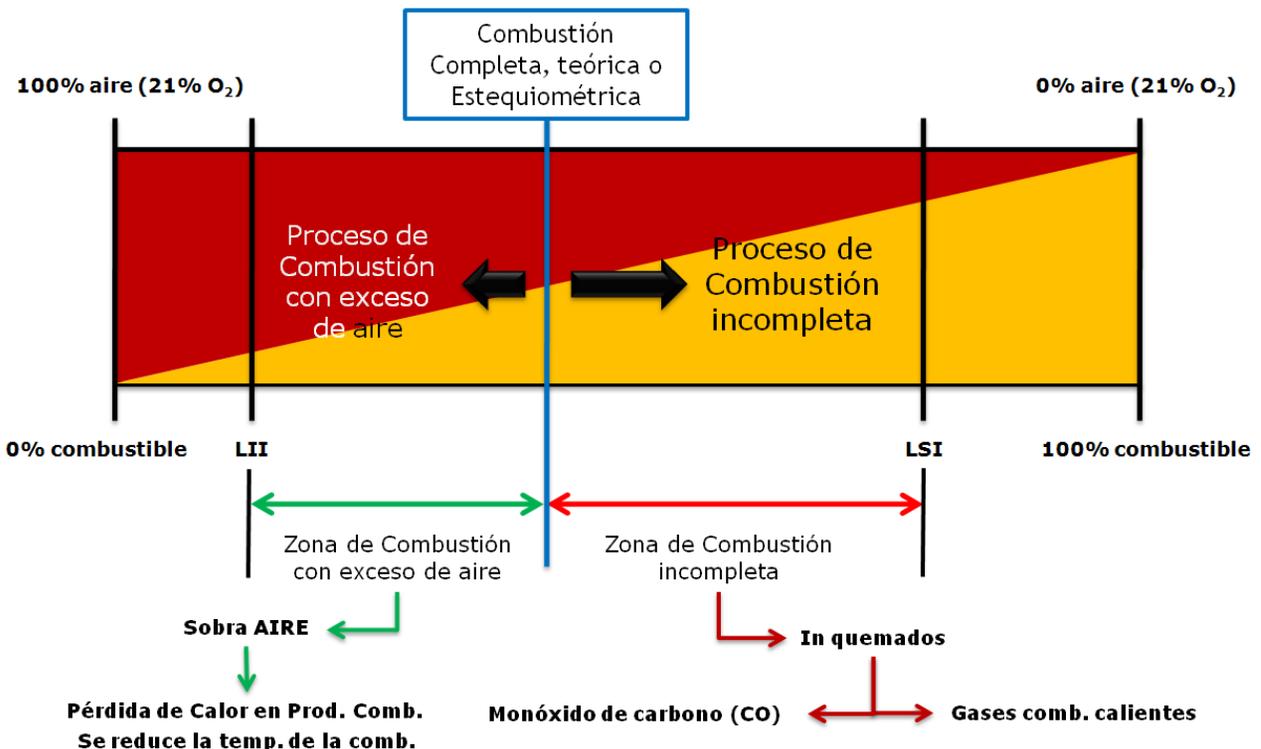


Fig. 12: Tipos y Zonas de Combustión

Combustión con Exceso de Oxígeno

En el mundo en que vivimos el aire contiene aproximadamente un 21% O₂ a nivel del mar y disminuye menos a medida que ascendemos.

Hay situaciones en la actividad industrial, que por diferentes motivos, podemos encontrarnos con aire con un porcentaje mayor de oxígeno. Un caso típico de esto resulta del proceso de corte de acero con el equipo oxiacetilénico, en este caso parte del oxígeno se usa para remover el acero fundido de la zona de corte. En un ambiente cerrado o con pobre ventilación este sobrante de oxígeno se puede concentrar y aumentar la cantidad a valores mayores al 21%.

Este aumento del nivel de oxígeno en un ambiente con presencia de gases o vapores combustibles, afecta a todos los parámetros básicos de la combustión, excepto al calor de combustión. Al aumentar la concentración de oxígeno, la temperatura y la energía de ignición disminuyen, el margen de inflamabilidad se amplía y la velocidad de combustión aumenta, dándose los efectos máximos en una concentración de oxígeno del 100%.

Por lo tanto, las concentraciones de oxígeno mayores que las normales en el aire aumentan proporcionalmente los peligros de combustión.

Los fuegos que se producen en atmósferas ricas en oxígeno alcanzan mayores temperaturas de llama, incrementan la fracción de calor liberado por radiación y aumentan las velocidades de combustión por unidad de superficie combustible. Las mayores temperaturas de llama, generalmente, causan una mayor transformación de vapores en hollín, aumentando significativamente la velocidad de emisión de humo.

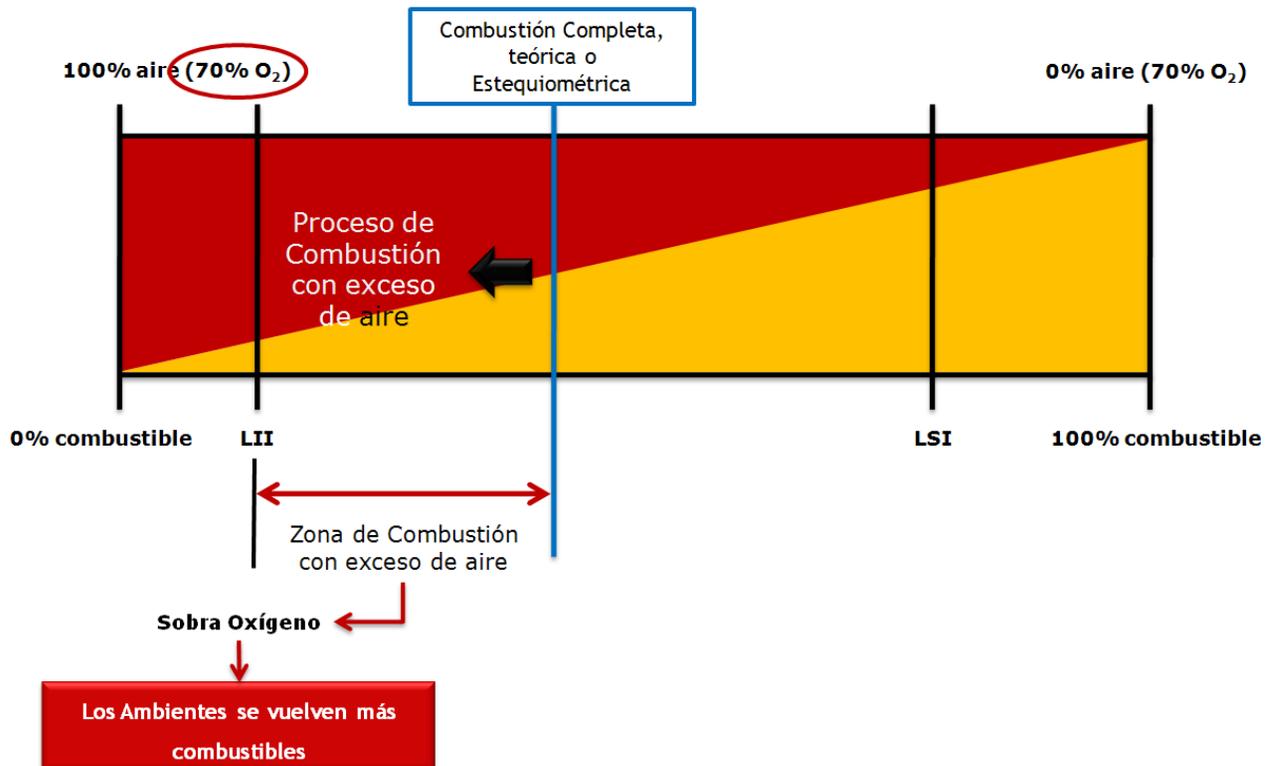
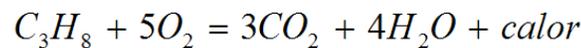


Fig. 13: Zonas de Combustión con Exceso de Oxígeno

¿QUE PASA CUANDO SE MIDE EXPLOSIVIDAD EN AIRE CON EXCESO DE OXIGENO?

La mayoría de los explosímetros se calibran para un aire con 21% O₂.

¿Qué pasa si ahora tengo aire con 25 o 30% O₂?

Tal como explicamos en el apartado anterior se amplía o ensancha el rango de inflamabilidad y disminuye el LII.

Como el equipo no mide nivel de oxígeno y si lo hace no lo relaciona con el LII, para el equipo le da lo mismo si mide en un ambiente con exceso o falta de oxígeno. El LII para el equipo, es decir el 100%, será el valor de calibración a un aire con 21% O₂.

Van a pasar dos cosas muy graves. Por un lado, mientras el valor real del LII disminuye con el aumento del nivel de oxígeno, el equipo va a tener registrado un LII superior, y podemos considerar como seguro un ambiente que el realidad está en condiciones de combustibilidad. Es decir, el LII del equipo está clavado en el valor de calibración y no va a poder detectar la variación real del LII del ambiente. Segundo, con el aumento del nivel de oxígeno, el ambiente se vuelve más sensible a encender, es decir, ahora puede llegar a producirse una combustión, violenta por exceso de oxígeno, en condiciones que normalmente nunca pasaría nada.

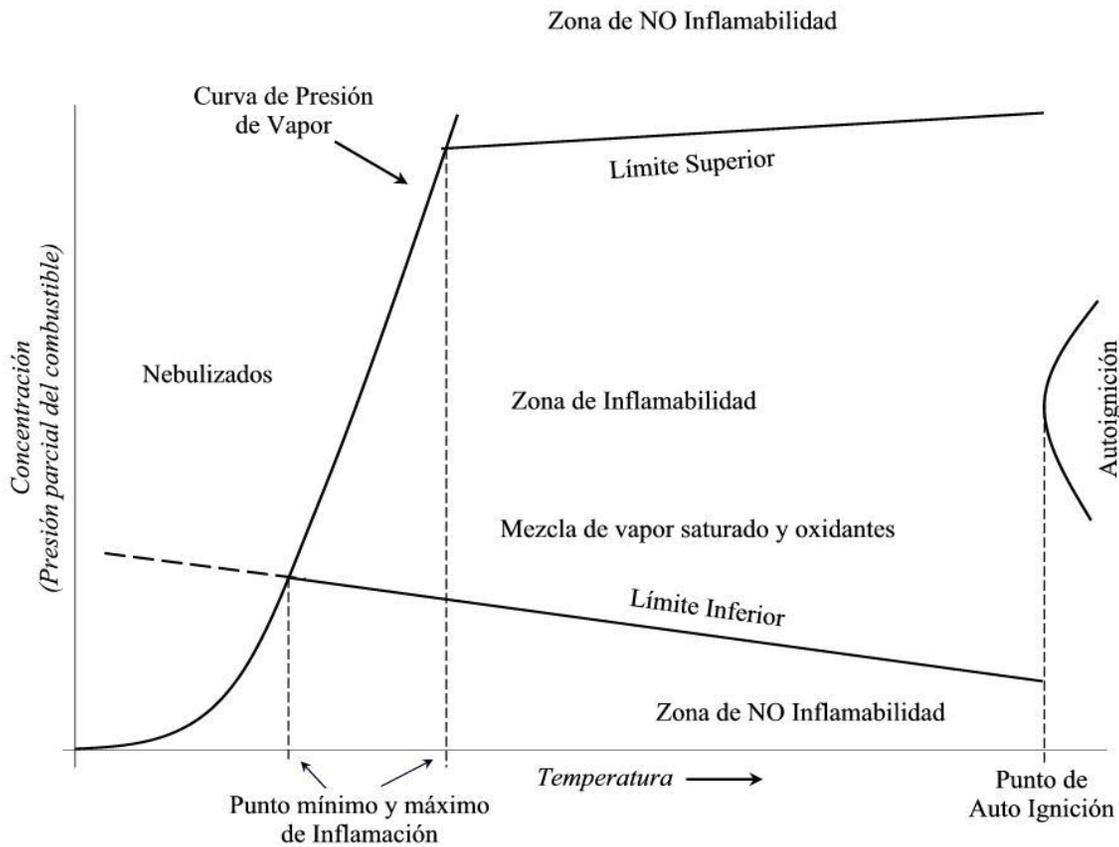
MODIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE INFLAMABILIDAD CON LA TEMPERATURA

Al disminuir la temperatura, una mezcla combustible puede dejar de serlo, al quedar situada por encima o por debajo de los límites de inflamabilidad. En general, al aumentar la temperatura de la mezcla se ensancha el campo de inflamabilidad y aumenta la velocidad de combustión en el mismo.

Si los combustibles líquidos están en equilibrio con sus vapores en el aire, cada combustible presenta una temperatura mínima por encima de la cual hay vapores en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable de vapor-aire.

Asimismo, hay una temperatura máxima por encima de la cual la concentración del vapor combustible es demasiado elevada para propagar la llama.

Estas temperaturas mínimas y máximas son denominadas, respectivamente, temperatura mínima y máxima de inflamación en el aire. Si las temperaturas son inferiores a la temperatura más baja de inflamación, el vapor del combustible en la fase gaseosa no es suficiente para permitir la ignición homogénea.



Límites de Inflamabilidad en Función de la Temperatura

Fig. 14: Límites de Inflamabilidad en Función de la temperatura

Si estamos en presencia de un escape de gases o vapores inflamables que salen a mayor temperatura que las CNPT (Condiciones normales de presión y temperatura) y vamos a medir "explosividad", entonces vamos a estar en serios problemas, no sólo por el peligro que implica el escape, sino, por no considerar la disminución del LII real por aumento de la temperatura de la mezcla. Y como en el caso de exceso de oxígeno, podemos sacar como conclusión que estamos por debajo del LII y por consiguiente ese escape no representa un peligro serio, cuando en la realidad lo hemos superado.

LA PRESIÓN DE VAPOR Y EL LII

En un líquido contenido en un recipiente cerrado con una mezcla de vapor y aire por encima de su superficie, el porcentaje de vapor en la mezcla puede determinarse mediante su presión de vapor. Dicho porcentaje es directamente proporcional a la relación que existe entre la presión de vapor del líquido y la presión total de la mezcla. Por ejemplo, la acetona a 38°C tiene una presión de vapor de 52 kPa. Suponiendo una presión total de 101 kPa, la proporción de vapor de acetona presente será 52 dividido 101, es decir, el 52%. Si se conoce el punto de inflamación de un líquido en vaso cerrado y la presión de vapor a la temperatura de inflamación, el límite inferior de inflamabilidad (LII) para el vapor, en porcentaje en volumen a presión atmosférica, puede obtenerse de la forma siguiente:

$$LII = \frac{V}{1,01}$$

donde:

LII: porcentaje de vapor en volumen en su límite inferior de inflamabilidad

V: presión de vapor en kPa a la temperatura de inflamación.

A otras presiones:

$$LII = \frac{100V}{P}$$

donde:

P: presión en psi.

Cuanto mayor sea la presión de vapor del líquido, mayor será la cantidad de vapores inflamables que éste emane a una temperatura determinada y, por tanto, mayor será el riesgo de una potencial inflamación.

Un ejemplo sencillo se puede establecer entre la gasolina y el gasoil. La presión de vapor de la gasolina es de 190 mmHg a 20°C mientras que la del gasoil es de tan sólo 2,6 mmHg a 50°C. Como sabemos, es mucho más fácil que se inflame un derrame de gasolina que uno de gasoil, hecho que es debido, principalmente, a la mayor presión de vapor de la gasolina que lleva consigo, como hemos comentado, una mayor emanación de vapores.

LII DE MEZCLAS INFLAMABLES (REGLA DE LE CHÂTELIER)

Para calcular el límite inferior de inflamabilidad de mezclas de vapores o gases inflamables se puede aplicar la regla de Le Chatelier:

$$LII (\text{mezcla}) = 100 \% / [(C_1/LII_1) + (C_2/LII_2) + \dots + (C_n /LII_n)]$$

siendo:

C_1, C_2, \dots, C_n = concentración de cada combustible respecto al total de combustibles en porcentaje de volumen. Cumpliéndose $C_1 + C_2 + \dots + C_n = 100$

$LII_1, LII_2, \dots, LII_n$ = Límite inferior de inflamabilidad de cada combustible % v/v

Esta regla es aplicable para mezclas de vapores o gases de compuestos similares. Así entre otras mezclas, funciona bien para calcular los límites inferiores de inflamabilidad de mezclas de disolventes, conteniendo metil etil cetona y tetrahidrofurano. Sin embargo, la regla no se cumple particularmente bien para los límites inferiores de inflamabilidad de algunas mezclas de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y disulfuro de carbono (CS₂). Por lo tanto, la regla de Le Châtelier se debe aplicar con discreción, especialmente para compuestos de estructura química distinta.

LII Y LSI EN CONDICIONES DIFERENTES A LAS AMBIENTALES

Los límites de inflamabilidad de tablas y manuales de propiedades físico-químicas se han obtenido en condiciones ambientales de temperatura y presión. En general para una temperatura determinada t (°C) se puede expresar:

$$LII_t = LII_{25\text{ }^\circ\text{C}} - (0,8 \times LII_{25\text{ }^\circ\text{C}} \times 10^{-3}) \times (t - 25)$$

$$LSI_t = LSI_{25\text{ }^\circ\text{C}} + (0,8 \times LSI_{25\text{ }^\circ\text{C}} \times 10^{-3}) \times (t - 25)$$

La presión afecta ligeramente al límite inferior de inflamabilidad. Generalmente es constante al descender la presión desde la presión atmosférica hasta 5 kPa, por debajo de la cual no se propaga la llama. El efecto de presiones elevadas sobre el límite inferior de inflamabilidad también es pequeño y al aumentar la presión disminuye ligeramente el límite inferior de inflamabilidad.

Respecto al límite superior de inflamabilidad, una presión elevada lo aumenta considerablemente. Así, para varios hidrocarburos saturados y para presiones absolutas entre 0,1 MPa (1bar) y 20,7 MPa:

$$LSI_p \cong LSI + 20,6 (\text{Log } p + 1)$$

siendo:

p = presión absoluta en mega pascales (MPa)

LSI = límite superior de inflamabilidad a 0,101 MPa (1 atm)

PAUTAS PARA REALIZAR MEDICIONES

El siguiente es un listado de pautas básicas para realizar mediciones de explosividad con efectividad, y por sobre todas las cosas, aprender a no subestimar al equipo y las condiciones ambientales.

- Un detector de fugas no mide explosividad, solo "huele" la presencia de determinados productos químicos, por lo general los equipos de detección de fugas también miden las ppm en el ambiente.

- El detector de fugas NO sirve como explosímetro.
- El explosímetro NO sirve para medir ppm.
- El explosímetro no mide el porcentaje de gas o vapor en el ambiente, sino el porcentaje de éste en relación a su LII.
- Hay que conocer el proceso productivo donde se va a realizar la medición y por sobre todas las cosas, hay que entenderlo. Saber por dónde entran los productos, por donde salen, por donde retornan, como se separan las distintas partes del proceso, etc.
- Hay que saber que vamos a medir, donde y que está pasando en el equipo o zona donde vamos a realizar la medición. ¿La planta está parada y limpia? ¿Está en una parada de emergencia? ¿Cómo está bloqueada del resto del proceso? ¿Qué tipo de bloqueos?
- Aún viéndolos vacíos desde el exterior, los tanques o equipos de procesos suelen tener en su interior borras, barros o residuos, éstas pueden emitir gases o contener bolsas de gases atrapadas.
- En las paredes de los equipos suele formarse una costra o cáscara que retiene productos.
- Si se va a soldar o calentar una zona del equipo, el calor puede vaporizar productos después de la medición, y no sólo generar gases inflamables, sino, también del tipo tóxicos.
- Si se usa con solventes de alto punto de ebullición, donde el espacio a medir está a una temperatura más alta que la del instrumento, se puede anticipar que habrá cierta condensación de los vapores en la línea de muestreo y en el sistema de flujo del instrumento, y consecuentemente el instrumento puede indicar una concentración de vapores menor a la real. Para algunos de estos casos, la condensación se puede prevenir calentando la línea de muestreo y el instrumento a una temperatura equivalente o por arriba a la de la atmósfera examinada, esto dependerá del modelo de equipo y de las limitaciones y recomendaciones del fabricante.
- La mayoría de los explosímetros no indicarán la presencia de nieblas o rocíos explosivos o combustibles, tales como aceite lubricante, o polvos explosivos, como polvos de grano o de carbono.
- Muchos accidentes resultan de cambios en las atmósferas, después de ocurrida la entrada. La única manera de detectar los cambios antes de que se torne una atmósfera peligrosa es monitoreando continuamente el ambiente.
- Se debe leer el manual de funcionamiento del equipo antes de su uso. Todos los equipos son distintos, aunque aparentemente funcionen igual. Hay que saber las limitaciones del equipo, las interferencias y los errores de medición. Un buen equipo tiene un buen manual.
- Se debe encender el equipo en una atmósfera donde haya garantías de ausencias de gases combustibles.
- Antes de usar el equipo se debe verificar que el mismo tenga vigente la calibración externa.
- En caso de dudas de funcionamiento del equipo, realizar una medición en una atmósfera donde se tenga la certeza absoluta de que existen gases combustibles.

- Para realizar una medición tener en cuenta la densidad de los gases combustibles. Los vapores más pesados que el aire deben ser medidos a nivel del suelo o en la parte inferior del equipo.
- Al aumentar la temperatura los gases o vapores son más livianos y pueden estar más arriba de lo que se puede sospechar.
- Se debe medir en las cercanías por donde podría producirse la pérdida o filtración, como ser bridas, válvulas, perforaciones, desagües, etc.
- Nunca se debe realizar una sola medición, se debe dejar pasar unos minutos y volver a medir para certificar o garantizar el ambiente de trabajo.
- En un lugar abierto tener en cuenta la dirección del viento para realizar la medición.
- En un ambiente confinado, antes de realizar la medición pedir el plano del equipo para estudiar las posibles acumulaciones internas dentro del equipo, como así los ingresos y salidas de las sustancia a medir.
- En un ambiente confinado realizar mediciones en varios puntos distintos y a distintos niveles, de manera de poder configurar una grilla tridimensional de mediciones.
- Para autorizar un trabajo el valor de la medición debe ser cero (0) en repetidas mediciones. Algunas bibliografías recomiendan menos del 20% y otros menos de 10%. Los valores de LII de los inflamables son extremadamente bajos, por lo tanto un 10 o 20% es un valor bajo pero de un 100%LII bajo. Igualmente, lo importante no es tanto el valor del %LII sino que este se mantenga durante el tiempo.
- Siempre verificar el equipo o instalación donde se va a trabajar para asegurar que este valor 0%, 10% o 20% no sea casual o temporal.
- Antes de medir gases combustibles se debe proceder a medir el nivel de oxígeno, el mismo debe dar entre 20,8 y 21%.
- Si el nivel de oxígeno es mayor del 21% el valor de la medición del equipo no representará la realidad de la combustibilidad del ambiente. Con niveles de oxígeno por encima del 21% los ambientes se vuelven más combustibles y encienden en condiciones de menores de temperatura de ignición y con fuentes de ignición más débiles, cuando no, encienden por sí solos. No es recomendable realizar un trabajo en estas condiciones.
- No trabajar en ambientes con un nivel de oxígeno por encima del 23,5%.
- Con niveles de oxígeno por debajo del 20,8% no se producen condiciones de mayor combustibilidad en los ambientes de trabajo, pero se puede configurar un ambiente peligroso para los trabajadores que pudieran ingresar a trabajar.
- Tener cuidado con los procesos que generan oxígeno cuando se trabaja, como ser el proceso de oxicorte, la medición de oxígeno puede ser normal antes de empezar a trabajar, pero este nivel empieza rápidamente a aumentar con el proceso de oxicorte.
- Antes de realizar una medición de oxígeno en el ambiente a trabajar, encender el equipo fuera del ambiente y proceder a realizar una medición en un ambiente donde tenga garantía que el nivel de oxígeno en el aire sea el normal.
- Los detectores se deben calibrar para el gas que se va a medir, si medimos un gas con un detector calibrado para otro gas, podemos cometer errores, y considerar un ambiente no combustible cuando en realidad superamos el LII.

CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

La mayoría de los explosímetros utilizan celdas catalíticas o sensores por puente de Wheatstone para indicar la presencia de gases. Este tipo de sensores no reconocen la diferencia entre los distintos gases combustibles, sino que reaccionan frente a todos ellos pero con diferente intensidad.

Los explosímetros son calibrados con un gas patrón específico, por lo que sólo frente a dicho gas entregarán una lectura en pantalla coincidente con el porcentaje del LIII en el ambiente de la medición.

Si midiéramos otro gas diferente al de la calibración del equipo, podemos cometer graves errores, especialmente si el gas diferente tiene un LII inferior al del gas de calibración.

Ejemplo:

Detector calibrado para METANO

LII metano = 5%

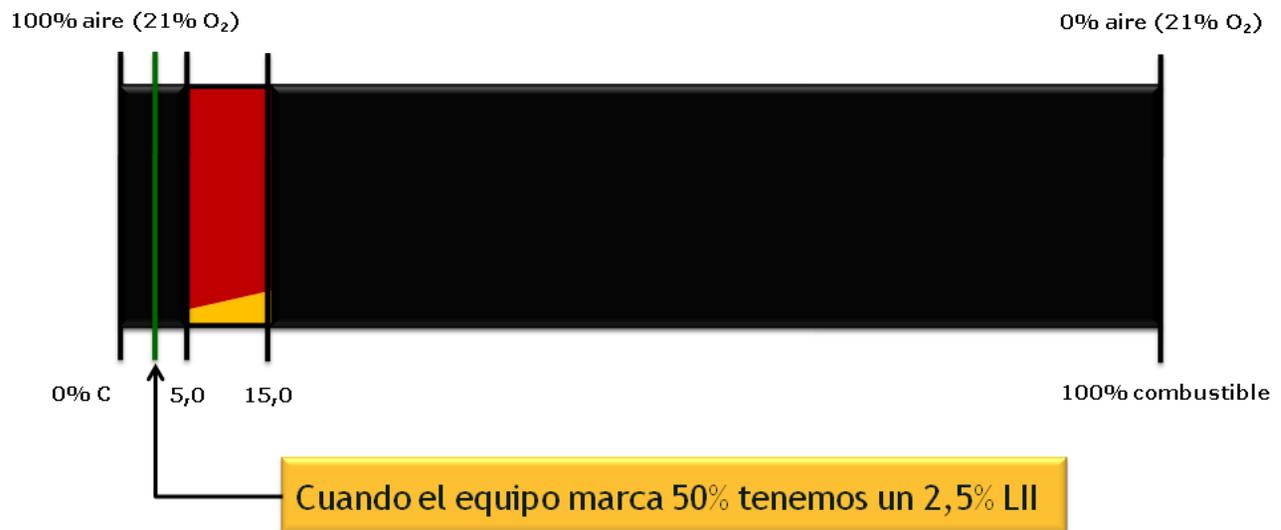


Fig. 15: Medición con Calibración para Metano

¿Qué pasa ahora si medimos Propano con el detector calibrado para Metano? El propano tienen un LII = 2,1% frente metano que tiene un LII = 5,0%.

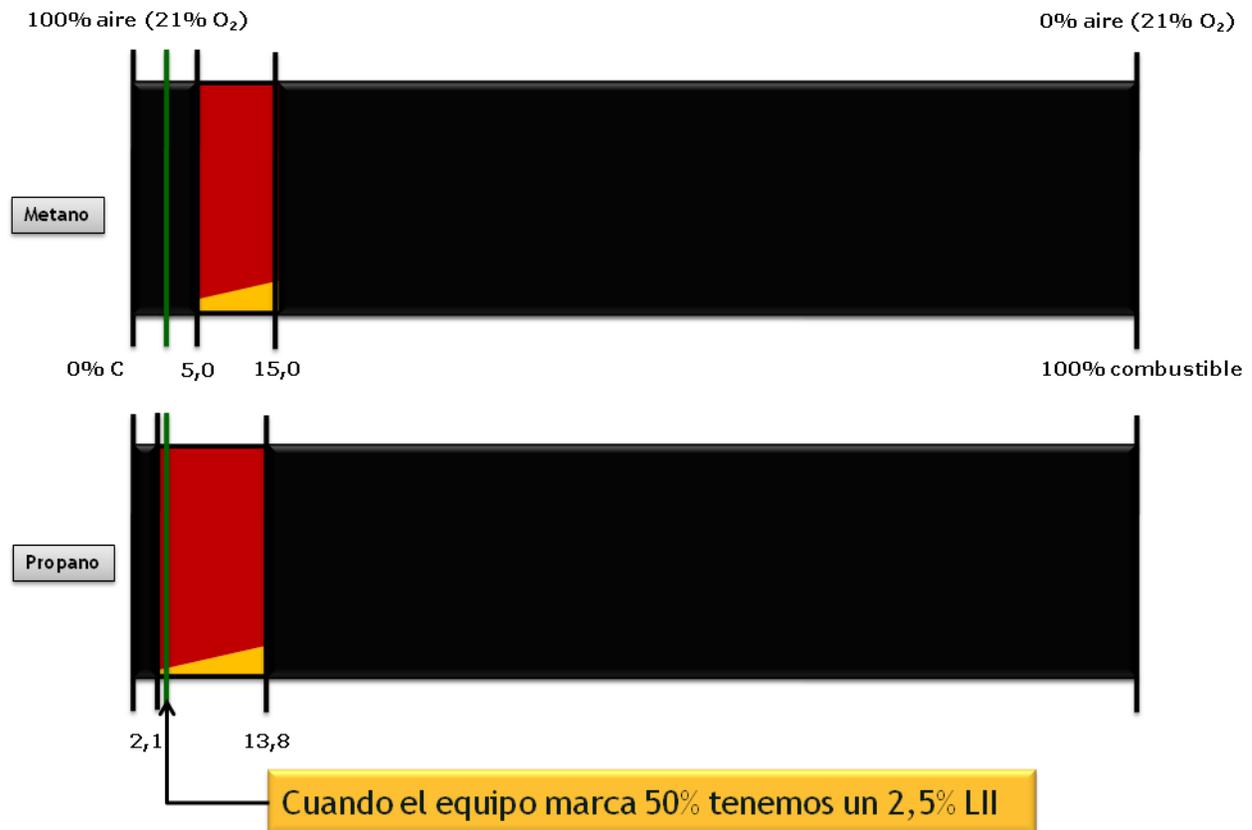


Fig. 16: Medición de Propano con Calibración para Metano

Dependiente del fabricante del equipo, algunos prohíben el uso del explosímetro con otros gases que no sea para el cual fue calibrado, otros simplemente expresan que el equipo mide con bajo nivel de error para el gas que fue calibrado y este error aumenta en la medida que midamos otros gases que tengan un LII distinto. En muchos casos el explosímetro se calibra para METANO y al usarlo con otro gas se debe aplicar un factor de corrección tal como se muestra en la tabla siguiente.

Gas	Concentration	Reading [%]
Acetic Acid	4.0 %	29
Acetone	2.6 %	50
Ammonia	15 %	125
Benzene	1.2 %	40
n-Butane	1.8 %	50
Carbon Monoxide	12.5 %	80
Chlorobenzene	1.3 %	34
Ethanol	3.3 %	59
n-Hexane	1.2 %	40
Hydrogen	4.0 %	80
Hydrogen Sulfide	4.3 %	43
Iso Propyl Alcohol	2.2 %	55
Methane	5.0 %	100
Methanol	6.7 %	85
Methyl ethyl ketone	1.9 %	40
n-Pentane	1.4 %	40
Propane	2.1 %	50
Toluene	1.2 %	40

Es el fabricante del equipo que se está utilizando el que debe indicar como se usa el equipo, con que gas viene calibrado y como usarlo con otros gases, para lo cual deberá tener su propia tabla de equivalencias de sensibilidades en el manual del equipo.

REFERENCIAS

1. NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad. <http://www.insht.es>.
2. Manual de Protección Contra Incendios (NFPA 1991). Cuarta edición en castellano. Editorial MAPFRE. ISBN: 84-7100-645-6.
3. El Fuego. Primera Edición Digital (2010). Editorial Red Proteger. Botta, Néstor Adolfo. ISBN 978-987-05-8343-1.



**Trabajamos para que no
haya nada que perder**

**Mejor que
asegurar es
evitar,
y evitar es
proteger**

Prevenición de incendios, asesoramiento
integral de seguridad e higiene

info@redproteger.com.ar

www.redproteger.com.ar

RED PROTEGER
HIGIENE, CONTROL
y SEGURIDAD