



ATMÓSFERAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS: PREVINIENDO ACCIDENTES EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

ARTÍCULO ORIGINAL

OLIVEIRA, Rodrigo Suzano de¹

OLIVEIRA, Rodrigo Suzano de. **Atmósferas potencialmente explosivas: previniendo accidentes en la industria del petróleo.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año 09, Ed. 01, Vol. 03, pp. 05-27. Enero de 2024. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-electrica/previniendo-accidentes>, DOI 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-electrica/previniendo-accidentes

RESUMEN

Este artículo presenta conceptos y casos reales, además de normas y estándares, relacionados con entornos con atmósferas potencialmente explosivas y analiza el avance de este tema en la industria petrolera brasileña a través del análisis de no conformidades encontradas en auditorías realizadas en instalaciones petroleras *offshore*. Este estudio tiene como objetivo principal identificar oportunidades de mejora y ayudar a difundir la importancia de este tema dentro del territorio brasileño. Como se presentará, este tema está cada vez más presente en nuestra vida cotidiana, pero aún sufre de falta de conocimiento por parte de muchos profesionales de la industria. Además, este trabajo tiene el potencial de contribuir a la creación de nuevas medidas y ayudar en el desarrollo de sistemas y normas de protección en entornos industriales en lo que respecta a los riesgos de explosión en atmósferas potencialmente explosivas en la industria petrolera a nivel nacional.

Palabras clave: Atmósfera Explosiva, Industria Petrolera, Normas Técnicas, Accidentes.

1. INTRODUCCIÓN

El tema de las atmósferas explosivas ya es ampliamente discutido y conocido en todo el mundo, especialmente en Europa y Estados Unidos. La primera aparición del tema en la norma NEC (*National Electrical Code*) que trata sobre instalaciones eléctricas en



este país ocurrió en el año 1923, y en 1931 se introdujeron los conceptos de clasificación de áreas peligrosas (Contreras, 2021a). En cuanto a Europa, el primer conjunto de normas sobre el tema fue publicado en Alemania en 1912, y en 1935 se introdujeron los primeros conceptos que diferenciaban entre atmósferas con gases y vapores explosivos y atmósferas con polvos explosivos (Contreras, 2021b).

En Brasil, las primeras normas técnicas sobre el tema datan de la década de 1950, y fueron impulsadas por el avance de la industria petrolera en el país, que comenzó efectivamente alrededor de 1930 con la construcción de la refinería Riograndense, en Rio Grande do Sul. Otras tres refinerías fueron construidas en diferentes ciudades del país en las décadas de 1940 y 1950, y fueron estas las instalaciones pioneras en la utilización de equipos eléctricos para áreas clasificadas. En las décadas de 1970 y 1980, hubo una gran demanda de tales equipos debido al descubrimiento de petróleo en la Cuenca de Campos, en el estado de Rio de Janeiro. Durante este período, se observaron varios casos de incendios y explosiones en Brasil, principalmente en la industria petrolera, debido a la construcción, instalación y mantenimiento inadecuados de estos equipos. Ante este escenario, durante la década de 1990 y principios del siglo XXI, comenzaron a surgir normas y reglamentos con el objetivo de estandarizar las instalaciones y prevenir accidentes en áreas con atmósferas explosivas (Bulgarelli, 2018).

Según un artículo publicado en noviembre de 2023 por la Agencia Brasil, datos del Instituto Brasileño de Petróleo y Gas muestran que Brasil es actualmente el noveno productor de petróleo más grande del mundo y el primero de América Latina (Moura, 2023). Con el aumento de la exploración de petróleo en aguas brasileñas, cada vez más nuevas unidades offshore entran en operación en nuestro país. Esto también aumenta el riesgo proveniente de entornos con atmósferas potencialmente explosivas.

Una plataforma de perforación o un buque de producción, por ejemplo, puede convertirse en una verdadera bomba industrial si no se adoptan varias medidas de prevención. Entre estas medidas se encuentran los cuidados relacionados con la prevención de explosiones, como la certificación de equipos y la capacitación del



personal (Bulgarelli, 2018). Otros ejemplos encontrados en el entorno *onshore* (en tierra) son las plantas y refinerías.

Numerosos ejemplos de explosiones en fábricas y plantas industriales están directamente relacionados con este riesgo, sin embargo, dado que gran parte de los trabajadores involucrados en estos entornos aún no comprenden profundamente el tema, estos casos a menudo no se tratan adecuadamente o incluso se ocultan detrás de intereses políticos y económicos en detrimento de la protección de la vida humana. Como señaló Bugarelli (2018), uno de los problemas existentes relacionados con la falta de conocimiento sobre el tema es el mito, por parte de usuarios y fabricantes, de que basta con utilizar un equipo certificado que cumpla con los requisitos legales existentes para que las instalaciones en atmósferas explosivas estén seguras.

Este artículo presentará un estudio sobre decenas de informes de inspecciones y auditorías en áreas clasificadas que se realizaron entre los años 2010 y 2020 en diversas unidades *offshore* de petróleo, con el fin de demostrar la disminución de las no conformidades encontradas a medida que se creaban nuevas normas y se desarrollaban nuevas iniciativas de concienciación.

Es en este entorno donde los accidentes aún son causados por la desinformación, a pesar de los avances logrados, que este trabajo busca primero contribuir a la expansión del conocimiento sobre las normas técnicas vigentes y, en segundo lugar, ayudar a divulgar los riesgos involucrados en áreas con atmósfera explosiva en la industria petrolera y posibles medidas de protección.

2. LEGISLACIONES Y NORMAS

A lo largo de décadas, se han creado estándares y normas para abordar el tema de las 'atmósferas explosivas'. Actualmente existen cientos de normas técnicas en todo el mundo y docenas de estándares internacionales, pero cada vez más un estándar en particular está ganando fuerza y reconocimiento. Este estándar es el estándar europeo conocido como estándar IEC (*International Electrotechnical Commission*).



Según su página web, "IEC es el acrónimo en inglés de la Comisión Electrotécnica Internacional, una organización internacional fundada en 1906 para la estandarización internacional de tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas" (IEC, 2024).

Otro estándar muy conocido es el estándar estadounidense, también conocido como NEC (*National Electrical Code*). El Código Eléctrico Nacional Americano (NEC) es un estándar adoptado para la instalación segura de cables y equipos eléctricos en los Estados Unidos y también es conocido por el acrónimo NFPA 70 (*National Fire Protection Association*), que en realidad es una parte del Código Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos (Estados Unidos, 2023).

En este estudio se dará mayor énfasis al estándar europeo por ser también el estándar adoptado en Brasil, a través de la ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*). Sin embargo, se realizará una breve explicación sobre la clasificación del NEC a título de comparación con el estándar europeo de clasificación.

Según lo definido por la ABNT (2020, prefacio),

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras (NBR), cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

En lo que respecta a las atmósferas explosivas, la ABNT había publicado en 1995 la norma NBR 5418 que trataba sobre Instalaciones Eléctricas en Atmosferas Explosivas en Brasil. Esta norma "establecía las condiciones exigibles para la selección y aplicación de equipos, diseño y montaje de instalaciones eléctricas en atmósferas explosivas por gas o vapores inflamables" (ABNT, 1995). Ella y otras normas secundarias fueron canceladas a partir de la década XXI cuando la ABNT empezó a adoptar el estándar IEC como estándar nacional para asuntos relacionados con atmósferas explosivas en el país (Bugarelli, 2017).

Actualmente, la mayoría de las normas brasileñas relacionadas con este tema forman parte de la serie de normas técnicas NBR IEC 60079. Hay más de 30 partes diferentes



dentro de este conjunto de normas que tratan algún aspecto específico relacionado con la electricidad en ambientes potencialmente explosivos.

Tres normas (o subnormas) pueden destacarse como las más importantes cuando se habla de atmósfera explosiva en la industria del petróleo (ABNT NBR IEC 60079, 2020). Son:

- NBR IEC 60079-10, que "está relacionada con la identificación y clasificación de áreas donde las atmósferas explosivas de polvo y capas de polvo combustibles están presentes, para permitir una adecuada evaluación de las fuentes de ignición en tales áreas" (ABNT NBR IEC 60079, 2020).
- NBR IEC 60079-14, que "contiene los requisitos específicos para el diseño, selección y montaje de instalaciones eléctricas en áreas clasificadas asociadas con atmósferas explosivas" (ABNT NBR IEC 60079, 2020).
- NBR IEC 60079-17, que está "relacionada con la inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en áreas clasificadas, donde el riesgo puede ser causado por gases inflamables, vapores, nieblas, polvos, fibras o partículas en suspensión" (ABNT NBR IEC 60079, 2020).

Según el análisis de Paulo (2018), a partir de la promulgación de la Norma Reguladora 10 (NR10), todas las normas técnicas publicadas por la ABNT que tratan sobre electricidad pasaron a tener también fuerza de ley y, por lo tanto, son obligatorias.

De acuerdo con la NR10,

Esta norma foi emitida pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil e tem por finalidade garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interagem com instalações e serviços em eletricidade. Esta norma se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo de eletricidade, incluindo as fases de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas, e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades (Brasil, 2019, p.1).



3. ÁREAS CLASIFICADAS

Según lo definido en el manual internacional *CompEx*,

Atmosfera Explosiva é uma mistura de substâncias inflamáveis na forma de gases, vapores, poeiras ou fibras com o ar (ou Oxigênio) que, na presença de uma fonte de ignição e sob determinadas condições atmosféricas, a combustão consegue se propagar e provocar uma explosão. (ASET, 2012, p.23).

Y,

“Área Classificada é todo local sujeito à probabilidade de existência ou formação de uma atmosfera explosiva” (ASET, 2012, p.25).

Normalmente, los equipos y sistemas del proceso, como bocas de visita, tapas, puntos de muestra, bridas, respiraderos, drenajes, etc., son considerados fuentes de riesgo debido a la probabilidad de fugas de productos al medio ambiente donde están instalados. Estas fuentes de riesgo se clasifican en grados, según la duración y la frecuencia de las atmósferas explosivas que pueden generar. Según la definición de la ABNT NBR 60079 (2020), se conocen como fuentes de riesgo de grado continuo aquellas que generan riesgo de manera continua o durante períodos prolongados. Se denominan fuentes de riesgo de grado primario aquellas que, durante condiciones normales de operación, generan riesgo de forma periódica o accidental. Por otro lado, las fuentes de riesgo de grado secundario son aquellas que generan riesgo por un corto período en condiciones de operación fuera de lo previsto.

Como ejemplo de una fuente de riesgo de grado continuo, tenemos el interior de un tanque de inflamables, donde hay una presencia permanente de una mezcla explosiva debido al producto dentro del tanque. En el mismo tanque, su respiradero constituye una fuente de riesgo de grado primario porque puede ser una salida potencial de vapores del producto cuando su nivel aumenta, es decir, no es algo que ocurra permanentemente, pero puede ocurrir cuando el nivel sube. En este mismo ejemplo, las fuentes de riesgo de grado secundario serían las bridas, que pueden tener fugas debido al envejecimiento de la junta, aflojamiento de los tornillos, o una posible pérdida



del control de nivel, lo que podría provocar un derrame de líquido en la cubeta (ASET, 2012).

3.1 DEFINICIONES DE LOS TIPOS DE ZONAS PARA GASES Y VAPORES

Según la ABNT NBR 60079 (2020), existen tres tipos de zonas para mezclas de gases y vapores explosivos:

Zona 0 – Local onde a ocorrência de mistura inflamável/explosiva por gases ou vapores é contínua ou existe por longos períodos.

Zona 1 - Local onde a atmosfera explosiva está presente de forma ocasional e em condições normais de operação, sendo normalmente geradas por fontes de risco de grau primário.

Zona 2 - Local onde a atmosfera explosiva está presente somente em condições anormais de operação e persiste somente por curtos períodos de tempo, sendo geradas normalmente por fontes de risco de grau secundário.

3.2 DEFINICIONES DE LOS TIPOS DE ZONAS PARA POLVOS Y FIBRAS

Según la ABNT NBR 60079 (2020), hay tres tipos de zonas para mezclas de polvos y fibras explosivas:

Zona 20 - Local em que a atmosfera explosiva, em forma de nuvem de poeira, está presente de forma permanente, por longos períodos ou ainda frequentemente. Estas zonas, igualmente em gases e vapores, são geradas por fontes de risco de grau contínuo.

Zona 21 - Local em que a atmosfera explosiva em forma de nuvem de pó está presente em forma ocasional, em condições normais de operação da unidade. Estas zonas, igualmente em gases e vapores, são geradas por fontes de risco de grau primário.

Zona 22 - Local onde a atmosfera explosiva em forma de nuvem de pó existirá somente em condições anormais de operação e se existir será somente por curto período de tempo. Estas zonas,



igualmente em gases e vapores, são geradas por fontes de risco de grau secundário.

3.3 CLASIFICACIÓN DE ZONAS SEGÚN LA NORMA NEC

La norma americana no divide las áreas en zonas como lo hace la IEC. Contempla dos divisiones (Estados Unidos, 2023):

Divisão 1: Locais com alta probabilidade de presença de mistura inflamável.

Divisão 2: Locais com baixa probabilidade de presença de mistura inflamável.

La tabla siguiente muestra la correlación entre la clasificación IEC y la clasificación NEC:

Tabla 1 - Comparación entre IEC y NEC sobre la Clasificación de Áreas

COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS CLASIFICADAS IEC (ZONAS) X DIVISIONES (NEC)			
IEC	ZONA 0 / ZONA 20	ZONA 1 / ZONA 21	ZONA 2 / ZONA 22
NEC	DIVISIÓN 1		DIVISIÓN 2

Fuente: Jordão, 2002.

3.4 CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS INFLAMABLES

El ambiente puede clasificarse según la sustancia presente en él, siguiendo las normas API (*American Petroleum Institute*) y NEC (*National Electrical Code*), dividiéndose en clases según se muestra en la tabla 2 y subdividiéndose en grupos de gases, según la tabla 3.

Tabla 2 - Clases de Sustancias Inflamables (NEC)

Clase	I	II	III
Sustancia	Gases y Vapores	Polvos	Fibras

Fuente: ASET, 2012.

Tabla 3 - Grupos de Sustancias Inflamables (NEC)

Classe	Grupo	Definição
I	A	Gases da família do Acetileno
	B	Butadieno, óxido de Etileno, Hidrogênio ou gases e vapores de risco equivalente ao do Hidrogênio
	C	Eteno, Ciclopropano, Éter Etílico, Etileno ou gases e vapores de risco equivalente
	D	Propano, Acetona, Álcool, Amônia, Benzeno, Butano, Gasolina, Metano, Gás Natural, vapores de vernizes e gases e vapores de risco equivalente
II	E	Pós metálicos combustíveis: Alumínio, Magnésio, ligas de Alumínio ou Magnésio e pós com tamanho de partícula, abrasividade e condutividade com risco similar
	F	Pós carbonáceos combustíveis: pós de carvão, de grafite, de coque e pós que apresentem características similares
	G	Pós combustíveis que não se enquadrem nos grupos E e F: pós de cereais, de plásticos, de produtos químicos. Ex.: açúcar, farinha de trigo, algumas resinas termoplásticas
III	--	Fibras Combustíveis ou material leve flutuante de fácil ignição, mas que não são prováveis de ficar em suspensão no ar em quantidades suficientes para formar mistura explosiva. Ex.: Algodão, juta, milho, cacau e fibras de madeira

Fuente: ASET, 2012.

Según lo definido en la NEC (Estados Unidos, 2023), "la división en grupos también significa una graduación de riesgo, donde los gases del grupo A son los de mayor efecto destructor y los gases del grupo D son los de menor efecto destructor".

Tanto la norma internacional IEC como la norma brasileña ABNT no clasifican el ambiente en clases, sino en grupos, que se organizan según los equipos eléctricos utilizados, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 - Grupos y Subgrupos de Sustancias Inflamables (IEC y ABNT)

Grupos	Subgrupos	Sustancia típica	Aplicación/Definición
Grupo I	I	Metano	Equipos eléctricos para uso en minas susceptibles a la formación de grisú.
Grupo II	IIA	Propano	Equipos eléctricos para uso en lugares con atmósferas de gases explosivos.
	IIB	Etileno	
	IIC	Hidrógeno	



Grupo III	IIIA	Partículas combustibles en suspensión	Equipos eléctricos para uso en lugares con atmósferas de polvo combustible.
	IIIB	Polvo no conductor	
	IIIC	Polvo conductor	

Fuente: Jordão, 2002.

En la clasificación IEC ABNT, la secuencia de riesgo en cada grupo, de mayor a menor grado, es: $C \rightarrow B \rightarrow A$. Es decir, los equipos diseñados para el subgrupo IIC pueden utilizarse en los subgrupos IIB y IIA, así como un Equipo diseñado para el subgrupo IIIC se puede utilizar en los subgrupos IIIB y IIIA. El subgrupo con terminación A es el grupo de menor riesgo y los equipos diseñados para este subgrupo sólo pueden ser utilizados para él (ABNT NBR IEC 60079, 2020).

La siguiente tabla muestra una comparación realizada entre las normas americanas e internacionales sobre clasificación de gases.

Tabla 5 - Comparación de subgrupos de gases explosivos entre las normas IEC y NEC

	Grupo acetileno	Grupo Hidrógeno	Grupo Eteno	Grupo propano de	Gases de Mina (Metano)
API/NEC	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	-
ABNT/IEC	Grupo IIC	Grupo IIC	Grupo IIB	Grupo IIA	Grupo I

Fuente: El Autor, 2024.

3.5 TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE

Junto con la clasificación de las áreas (zonas y divisiones) y de los grupos (minas, gases y polvos) y subgrupos de los materiales, una tercera clasificación es crucial para obtener una clasificación completa y precisa de un entorno con potencial para la presencia de atmósferas explosivas. Esta clasificación se refiere a la temperatura máxima de superficie que un equipo puede alcanzar en un área específica.

Los puntos de ignición de cada material definen las clases de temperaturas de manera que la temperatura de superficie del equipo nunca supere dichos valores y, con ello,



se evite una ignición espontánea (ASET, 2012). La siguiente tabla muestra las clases de temperatura estandarizadas por la IEC y la NEC.

Tabela 6 - Comparativo das Classes de Temperatura entre as normas IEC e NEC

Temperatura Máxima de Superfície (°C)	NEC	IEC/ABNT
450	T1	T1
300	T2	T2
280	T2A	
260	T2B	
230	T2C	
215	T2D	
200	T3	T3
180	T3A	
165	T3B	
160	T3C	
135	T4	T4
120	T4A	
100	T5	T5
85	T6	T6

Fuente: El Autor, 2024.

4. TIPOS DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE RIESGOS

Actualmente, en el mercado se encuentran disponibles varios tipos y conceptos de protección y medidas de control, pero se debe tener mucho cuidado al elegir cuáles son los más adecuados para cada situación, especialmente en lo que respecta a las instalaciones offshore construidas internacionalmente.

Sin embargo, hay un consenso en este tema, que es que siempre que sea posible, la primera medida a adoptar es la desclasificación del área. Es decir, hacer que un área determinada sea segura o evitar la posibilidad de que haya una atmósfera explosiva en ella.



A continuación se muestran nueve tipos de protecciones que se pueden utilizar cuando no es posible evitar la existencia de un área clasificada y sus respectivas definiciones tal como se describe en la norma ABNT NBR 60079 (2020).

4.1 A PRUEBA DE EXPLOSIÓN - EX D (*EXPLOSION PROOF* OU *FLAME-PROOF*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según se define en la ABNT NBR 60079 (2020),

Invólucro à prova de explosão é um sistema suficientemente resistente e vedado para não propagar uma explosão, e cuja temperatura superficial não provoque a ignição de uma atmosfera explosiva. Isto implica uma construção robusta, com tampas roscadas ou parafusadas. Esses invólucros são construídos de forma a resistir mecanicamente à pressão após a ocorrência da ignição da mistura dentro dele, impedindo que a explosão se propague para o meio externo.

4.2 MAYOR SEGURIDAD - EX E (*INCREASED SAFETY*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020),

Equipamento elétrico de segurança aumentada é aquele que sob condições normais de operação não produz arcos, faíscas ou aquecimento suficiente para causar ignição da atmosfera explosiva para a qual foi projetado, e no qual são tomadas as medidas adicionais durante a construção, de modo a evitar com maior segurança, que tais fenômenos ocorram em condições de operação e de sobrecarga previstas.

4.3 EQUIPO PRESURIZADO – EX P (*PRESSURIZED*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según se define en la norma ABNT NBR 60079 (2020),

Neste tipo de proteção uma pressão positiva superior à pressão atmosférica, é mantida no interior do invólucro de modo a evitar a penetração de uma atmosfera explosiva que venha a existir ao redor do equipamento.



Los equipos presurizados se agrupan en tres grupos y tienen la función de reducir la clasificación en el interior del envoltorio presurizado, siendo la reducción de:

- De Zona 1 o Grupo I a no clasificado con el uso de la protección px;
- De Zona 1 a Zona 2 con el uso de la protección py; y
- De Zona 2 a área no clasificada con el uso de la protección pz.

4.4 EQUIPOS ELÉCTRICOS SUMERGIDOS EN ACEITE - EX O (*OIL IMERSION*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020),

O equipamento elétrico é imerso em óleo de tal modo que não inflame uma atmosfera inflamável acima do líquido ou na parte externa do invólucro. Este tipo de proteção é aplicável somente para equipamentos fixos.

4.5 EQUIPO INMERSO EN ARENA – EX Q (*POWDER-FILLED*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020),

Neste tipo de proteção as partes que podem inflamar uma atmosfera explosiva são imersas por um material de enchimento de modo a evitar a ignição de uma atmosfera explosiva externa. Este tipo de proteção só se aplica a equipamentos com corrente nominal menor ou igual a 16A; que consumam potência menor ou igual a 1000VA cuja tensão de alimentação não seja superior a 1000V.

4.6 EQUIPO ELÉCTRICO ENCAPSULADO – EX M (*ENCAPSULATION*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zonas 1 y 2, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020), "las partes que pueden causar ignición están encapsuladas por una resina de modo que no puedan inflamar una atmósfera explosiva externa".



4.7 EQUIPOS DE SEGURIDAD INTRÍNSECA – EX I (*INTRINSIC SAFETY*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en: "ia" - Zona 0; "ib" - Zonas 1 y 2; y "ic" - Zonas 1, 2 y 3, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020), "son aquellos que en condiciones normales (es decir, apertura y cierre del circuito) o anormales (cortocircuito, falta a tierra) no liberan energía suficiente para inflamar la atmósfera explosiva".

Según la ABNT NBR 60079 (2020), tales dispositivos se agrupan en tres categorías: "ia" - diseñados para no causar una ignición en operación normal o en caso de dos fallas simultáneas en el ambiente; "ib" - incapaces de causar una ignición en operación normal o en caso de una falla en el ambiente; e "ic" - incapaces de causar una ignición en operación normal.

4.8 EQUIPO ELÉCTRICO NO INCENDIBLE – EX N (*NON-INCENDIVE*)

Este tipo de protección puede ser utilizado en zona 2, según lo define la norma ABNT NBR 60079 (2020), "son equipos que, en condiciones normales de operación y bajo ciertas condiciones anormales especificadas, no causan la ignición de la atmósfera explosiva de gas existente en el ambiente".

5. CERTIFICACIÓN Y MARCADO DE EQUIPOS

Cada país tiene sus propios reglamentos y legislaciones para el uso y fabricación de equipos para atmósferas explosivas.

En Brasil, quien establece tales regulaciones y legislaciones es el Conmetro (*Conselho Nacional de Metrologia e Normalização Industrial*), un órgano subordinado al Ministerio de Justicia. Según lo establecido en la Portaria nº 115 del Inmetro de 2022, todos los equipos deben estar certificados para su uso en áreas clasificadas, ya sean fabricados en el país o no.



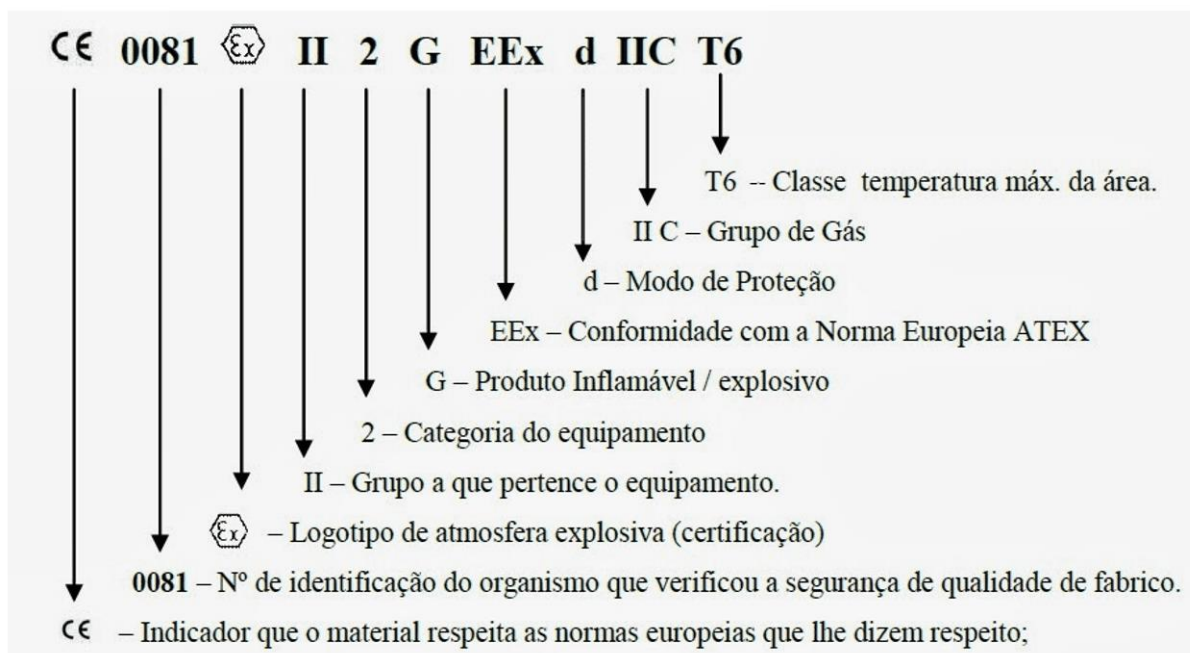
La certificación es coordinada por el Inmetro (*Instituto Nacional de Metrologia e Normalização Industrial*), que utiliza la ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*) como base para la creación de normas técnicas que abarcan todos los tipos de protecciones.

El Inmetro también actúa acreditando laboratorios que verifican, a través de ensayos y análisis, si los equipos cumplen con las recomendaciones de las normas técnicas y si realmente están aptos para ser instalados en lugares con atmósfera potencialmente explosiva (Inmetro, 2022).

Por ejemplo, para la seguridad intrínseca, hasta 2014 el único laboratorio acreditado para ensayos nacionales era Labex, en el centro de laboratorios del Cepel en Río de Janeiro. Según lo observado por Bulgarelli (2019), cinco años después, en 2019, Labelo - Laboratorios Especializados en Eletroeletrônica, ubicado en la PUC (Pontificia Universidad Católica) de Porto Alegre / RS, se convirtió en el primer laboratorio brasileño para ensayos de atmósferas explosivas reconocido internacionalmente por IECEx (*International Electrotechnical Commission System*).

Los equipos certificados o producidos en fábricas certificadas reciben lo que llamamos marcado Ex, que es la identidad del equipo, donde se enumeran el tipo de protección y las condiciones de uso. Un ejemplo de este marcado se ilustra en la figura 1 a continuación. Según la norma, todo equipo instalado en un área clasificada debe tener de manera clara y visible una placa de identificación que contenga su información de clasificación y el número de su certificado de conformidad de los instrumentos (Jordão, 2002).

Figura 1 - Marcado Ex para equipos certificados



Fuente: Jordão, 2002.

6. ESTUDIO DE NO CONFORMIDADES Y EVOLUCIÓN EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

A lo largo de los años, se han producido decenas e incluso cientos de accidentes en entornos con atmósferas potencialmente explosivas, como minas, refinerías, industrias farmacéuticas, plataformas *offshore*, etc. A continuación, se presentarán algunos de los accidentes más importantes ocurridos en la historia mundial para dimensionar la relevancia de este tema en nuestra vida diaria y ayudar a comprender cómo ocurrieron para evitar accidentes similares en el futuro. También se presentarán los resultados del estudio de no conformidades de auditorías realizadas entre los años 2010 y 2020 en unidades *offshore*, comparándolos con el avance de las normas dentro de la industria petrolera.

6.1 PRINCIPALES ACCIDENTES

En octubre de 1913, en Gales, ocurrió el desastre en la mina de carbón *Senghennydd*, que causó 439 muertes. Este desastre fue considerado uno de los peores en una mina



de carbón en la historia del Reino Unido y, en términos de pérdida de vidas, fue uno de los más graves a nivel mundial. Según Lieven (1994), "se cree que el accidente fue causado por la explosión de gas metano a través de la ignición por chispas eléctricas de un equipo, posiblemente una campana eléctrica". El polvo de carbón presente en el suelo dentro de la mina fue levantado por la explosión del gas, lo que creó una nube de polvo de carbón que causó una segunda explosión, levantando aún más polvo de carbón y causando explosiones consecutivas. Este fue uno de los primeros informes de un gran accidente de esta naturaleza y ayudó en el reconocimiento y estudio del riesgo de ignición de vapores, polvos o nubes inflamables potencialmente motivado por chispas de equipos eléctricos.

En 1984, una fuga de gas durante la perforación de un pozo seguida por una explosión en la plataforma Enchova que operaba en la Cuenca de Campos dejó 37 muertos y 23 heridos. Durante la evacuación, uno de los cables de acero de la balsa en la que los trabajadores intentaban escapar quedó atrapado y el otro se rompió, causando la caída de la embarcación desde una altura de 30 metros. En 1988, una fuga de condensado de gas natural que se formó sobre la plataforma Piper Alpha, en el Mar del Norte, se incendió, causando una explosión enorme. Incendios secundarios en el aceite causados por la explosión inicial derritieron la tubería de suministro de gas, lo que causó otra explosión que engulló toda la plataforma y resultó en la muerte de 167 personas (Reino Unido, 1990).

Otros accidentes ocurridos en Brasil relacionados con fallas humanas o de equipos en Atmosferas Explosivas fueron la explosión de la P36 en la Cuenca de Campos con 11 muertos en 2001, el incendio en la plataforma Namorado también en la Cuenca de Campos con seis personas heridas en 2014 y la explosión en la refinería Landulpho Alves con 3 heridos en 2015 (O Globo, 2015).

6.2 ESTUDIO DE NO CONFORMIDADES EN PLATAFORMAS PETROLERAS Y BUQUES

Para este estudio se recopilaron datos de no conformidades de auditorías de áreas clasificadas realizadas en decenas de barcos y plataformas petroleras entre los años



2010 y 2020. Se analizaron 4125 ítems en 55 informes obtenidos de diferentes instalaciones. Los datos se clasificaron en tres grupos, que se compararán a continuación con la evolución de las normas y legislaciones en sus áreas. Estos datos muestran el porcentaje de no conformidades encontradas para cada grupo.

Tabla 7 - Porcentaje de No Conformidades en Auditorías en Áreas Clasificadas

Tipo de No Conformidad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Equipos e Instalaciones	50	34	38	16	5	3	3	2	5	0	0
Procedimientos	66	62	23	5	1	2	2	0	0	0	1
Capacitación del Personal	95	71	62	52	41	5	3	3	4	1	2

Fuente: El Autor, 2024.

Como se puede ver, el número total de no conformidades ha ido disminuyendo a lo largo de los años. El grupo que evolucionó más rápidamente fue el de Procedimientos, mientras que el grupo que mostró un avance más lento fue el de Capacitación del Personal. Como se mostrará a continuación, este resultado está directamente relacionado con el avance de las normas y regulaciones relacionadas con este tema.

6.3 AVANCE DE NORMAS Y LEGISLACIONES

Como se ha observado, las normas y regulaciones para Atmosferas Explosivas comenzaron a surgir en Brasil durante la década de 1990 y principios del siglo XXI, debido a los recurrentes accidentes en la industria petrolera amplificados por el descubrimiento de petróleo en la Cuenca de Campos (Bulgarelli, 2018).

Sin embargo, la divulgación y adopción de estas nuevas normas no ocurrieron de forma inmediata. Según los datos de las auditorías realizadas en instalaciones petroleras, estas normas inicialmente surtieron efecto en relación con los procedimientos de gestión a implementar.

Dos eventos contribuyeron a aumentar la presión en relación con el cumplimiento de las normas para Áreas Clasificadas en la industria petrolera: el descubrimiento del



presal a finales de 2006 y el marco regulatorio aprobado en 2010. Después de la aprobación del marco regulatorio (BBC, 2019).

La NR-10 sufrió una importante revisión en 2004 para satisfacer las necesidades de la industria petrolera, especialmente en lo que respecta a las Atmosferas Explosivas. En esta revisión se incluyó, por ejemplo, un entrenamiento obligatorio de 8 horas para el personal que trabaja en Áreas Clasificadas y la capacitación de este mismo personal realizada por un profesional calificado según lo descrito en dicha norma (Rausch, 2011). Sin embargo, recién en 2015 surgieron los primeros centros de entrenamiento habilitados para realizar este trabajo. Este hecho está alineado con los números encontrados en el estudio sobre no conformidades, que muestra una disminución drástica de las no conformidades relacionadas con la capacitación del personal a partir de 2015.

Un gran grupo de normas Ex orientadas a la área de equipos e instalaciones fueron publicadas por la ABNT entre los años 2005 y 2011, siendo más de diez solo en este último año (Bulgarelli, 2011). De manera similar, se puede observar que los números de no conformidades se redujeron considerablemente alrededor del año 2012.

7. CONCLUSIÓN

Basándonos en este artículo, queda claro que todavía hay que evolucionar en lo que respecta al tratamiento y prevención de accidentes relacionados con los riesgos en actividades realizadas en ambientes con atmósferas potencialmente explosivas, principalmente en la industria petrolera.

Los conceptos técnicos presentados y los hechos relacionados con los accidentes en la industria petrolera sugieren que, aunque ha habido una evolución considerable en cuanto al cumplimiento de las normas, las medidas de protección como la capacitación aún son relativamente recientes y requieren un trabajo adicional para ayudar en la prevención real de accidentes.

Brasil ha evolucionado en este tema desde que surgieron las primeras necesidades a gran escala de operaciones en la industria petrolera en alta mar, pero los avances



más significativos ocurrieron solo en las primeras dos décadas del siglo XXI. Empresas y otros organismos se han unido en los últimos años a través de comités para revisar y elaborar nuevas normas relacionadas con este tema.

Los resultados de la evaluación de las no conformidades en las auditorías realizadas en instalaciones petroleras *offshore* muestran avances en momentos diferentes para los tres grupos investigados, y estos avances ocurrieron a medida que se crearon y se implementaron efectivamente nuevas normas en el país.

En resumen, se concluye que ha habido avances en cuanto a las normas y regulaciones para atmósferas explosivas a lo largo de los años, principalmente en la industria petrolera, que debido a su peso económico ha marcado el ritmo de inversión en esta área. También se concluye que el desconocimiento sobre las normas sigue siendo mayor entre los trabajadores y proveedores en comparación con los gestores involucrados en el tema, lo que destaca la necesidad de medidas adicionales.

REFERENCIA

ABNT NBR IEC 60079 (séries). **Atmosferas Explosivas:** conceitos gerais, características, instalações, inspeções e manutenções. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ABNT NBR 5418. **Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.

ASET - International Oil & Gas Training Academy. **CompEx Manual.** Sixth Edition, 2012.

BBC. **Euforia, crise e megaleilão:** os altos e baixos do pré-sal. BBC, 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50311115>. Acesso em: 04 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora No. 10.** (NR-10) - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Portaria SEPRT 915, de 30/07/2019.

BULGARELLI, Roberval. Evolução, atualização e aplicação das normas técnicas da ABNT. **O Setor Elétrico**, 2011. Disponível em: https://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/2011/06/Ed64_fasc_instalacoesEX_cap29.pdf. Acesso em: 04 jan. 2024.



BULGARELLI, Roberval. Novos requisitos para instalações elétricas em atmosferas explosivas. **O Setor Elétrico**, 2017. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/novos-requisitos-para-instalacoes-eletricas-em-atmosferas-explosivas-2/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

BULGARELLI, Roberval. **O mito da segurança proporcionada somente pelos equipamentos “ex” certificados parte 1/2**. Maex Engenharia, 2018. Disponível em: <https://maex.com.br/o-mito-da-seguranca-proporcionada-somente-pelos-equipamentos-ex-certificados-parte-1-2/>. Acessado em: 24/11/2023.

BULGARELLI, Roberval. Primeiro LABORATÓRIO BRASILEIRO de ensaios de equipamentos para atmosferas explosivas reconhecido pelo internacionalmente pelo IECEx. **O Setor Elétrico**, 2019. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/primeiro-laboratorio-brasileiro-de-ensaios-de-equipamentos-para-atmosferas-explosivas-reconhecido-pelo-internacionalmente-pelo-iecex/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CONTRERAS, Mirko Torrez. **A not too brief history of the origins of the EX standards**. Part I: The NEC Code. LinkedIn, 2021a. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/too-brief-history-origins-nec-atex-iecex-standards-torrez-contreras/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CONTRERAS, Mirko Torrez: **A not too brief history of the origins of the EX standards**. Part II: The ATEX Directive. LinkedIn, 2021b. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/too-brief-history-origins-nec-atex-iecex-standards-ii-mirko/>. Acessado em: 24 nov. 2023.

ESTADOS UNIDOS. **NFPA 70, National Electrical Code (NEC)**. NFPA, 2023.

IEC: **About Us**. IEC, 2024. Disponível em: <https://www.iec.ch/about-us>. Acesso em: 22 dez. 2023.

INMETRO: **Portaria nº 115 – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas**. Portaria INMETRO, 2022.

JORDÃO, Dácio de Miranda. **Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo - Atmosferas Explosivas**. 3ª edição. Editora: Qualitymark, 2002.

LIEVEN, Michael. **Senghennydd: The Universal Pit Village, 1890-1930**. Editora : Gomer Press, 1994.

MOURA, Bruno de Freitas. **Brasil tem recorde de produção de petróleo e gás em setembro**. Rio de Janeiro: Agência Brasil, 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-11/brasil-tem-recorde-de-producao-de-petroleo-e-gas-em->



setembro#:~:text=De%20acordo%20com%20o%20Instituto,ordem%2C%20s%C3%A3o%20os%20tr%C3%AAs%20principais. Acesso em: 20 dez. 2023.

O GLOBO: **Lembre os principais acidentes da Petrobras**. O Globo, 2015. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/lembre-os-principais-acidentes-da-petrobras-15310164>. Acesso em: 30 out. 2023.

PAULO, José Manuel de Abre. A legalidade dos requisitos de segurança em instalações e serviços em eletricidade (NR 10 e normas técnicas correlatas). **JUS**, 2018. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/68915/a-legalidade-dos-requisitos-de-seguranca-em-instalacoes-e-servicos-em-eletricidade-nr-10-e-normas-tecnicas-correlatas>. Acesso em: 15 dez. 2023.

RAUSCH, Sérgio. **NR-10 exige capacitação em atmosferas explosivas**. Universidade Abracopel, 2011. Disponível em: https://abracopel.org/download/nr-10-exige-capacitacao-em-atmosferas-explosivas/?doing_wp_cron=1705517845.1219439506530761718750. Acesso em: 05 jan. 2024.

REINO UNIDO. **The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster**. Health and Safety Executive, 1990. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/offshore/piper-alpha-disaster-public-inquiry.htm>. Acesso em: 20 nov. 2023.

APÉNDICE - NOTA AL PIE

2. *“Founded in 1906, the IEC (International Electrotechnical Commission) is the world’s leading organization for the preparation and publication of international standards for all electrical, electronic and related technologies.”* (IEC, 2024).

Material recibido: 11 de enero de 2024.

Material aprobado por los pares: 18 de enero de 2024.

Material editado aprobado por los autores: 26 de enero de 2024.

¹ Máster en Administración de Empresas en Gestión de Proyectos por la Fundación Getúlio Vargas en Río de Janeiro, Posgrado en Ingeniería de Seguridad Laboral por la Universidad Candido Mendes en Campos dos Goytacazes, Graduado en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Automatización por la Universidad Santa Úrsula en Río de Janeiro. ORCID: 0009-0007-7812-0538. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3997154402798015>.