

El oscuro cuarto caso de verificación de seguridad intrínseca



Mirko Torrez Contreras
<https://mirkotc.wordpress.com>
mikotc@gmail.com

Phoenix Contact
www.phoenixcontact.com.ar

Acerca del autor

Mirko Torrez Contreras es un consultor y entrenador especializado en automatización de procesos.

Nota del editor

Este artículo ha sido patrocinado por Phoenix Contact. Las opiniones expuestas en este artículo son estrictamente personales. Toda la información requerida y empleada en este artículo es de conocimiento público.

Seguridad intrínseca

La seguridad intrínseca es un método de protección contra explosiones basado en la limitación de la energía disponible en un circuito. Esta limitación de energía hace imposible que cualquier arco o chispa generada por el circuito intrínsecamente seguro se convierta en una fuente de ignición.

El dispositivo asociado típico proporciona la limitación de energía mediante el uso de diodos zener, transformadores aislados galvánicamente y optoacopladores

Esta limitación de energía se realiza mediante un dispositivo conocido como “dispositivo eléctrico asociado”, que funciona como una interfaz entre la parte intrínsecamente segura del circuito (lado del campo) y la parte no intrínsecamente segura (tarjetas de E/S y conexiones). Adicionalmente, el dispositivo asociado debe ser capaz de alimentar o permitir la alimentación del circuito intrínsecamente seguro.

El dispositivo asociado típico proporciona la limitación de energía mediante el uso de diodos zener, transformadores aislados galvánicamente y optoacopladores. Todos estos métodos son funcionalmente equivalentes, aunque tienen diferentes requisitos de instalación. En cualquier caso, estos dispositivos se conocen comúnmente como “barreras de seguridad intrínseca” (denominación preferida) o simplemente como “barreras”.

Energía mínima de ignición

Con el objetivo de medir cuánta energía se puede almacenar de forma segura en la parte intrínsecamente segura del circuito, necesitamos saber la cantidad mínima de energía necesaria para causar la ignición de la atmósfera circun-

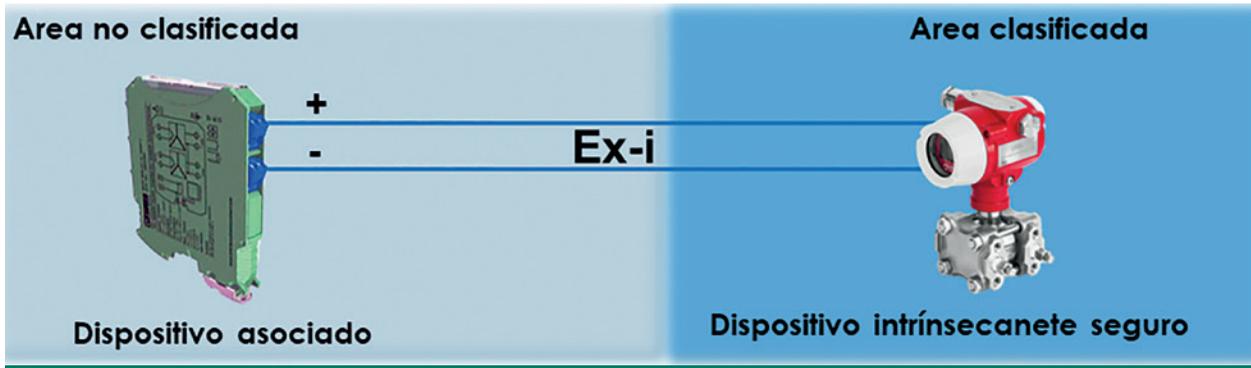


Figura 1. Circuito intrínsecamente seguro

dante (energía mínima de ignición o MIE, por sus siglas en inglés).

Con el objetivo de medir cuánta energía se puede almacenar de forma segura en la parte intrínsecamente segura del circuito, necesitamos saber la cantidad mínima de energía necesaria para causar la ignición de la atmósfera circundante

Esta medición se realiza empíricamente generando chispas que producen cortocircuitos (es decir, fallas) en un circuito montado dentro de una cámara llena de una mezcla estequiométrica de aire y la sustancia inflamable cuyo valor de MIE queremos saber. El circuito que genera las chispas se evalúa en función de diferentes valores de corriente y voltaje, por lo que mediante estas pruebas se definen curvas gráficas.

Componentes con capacidad de almacenamiento de energía

En cualquier circuito, la energía se puede almacenar por inductancias y capacitancias. La cantidad de energía que se puede almacenar en una inductancia es $W = 1/2 \times L \times I^2$, donde 'W' es energía, 'L' es inductancia e 'I' es corriente. Mientras que la cantidad de energía almacenada en la capacitancia es $W = 1/2 \times C \times U^2$, donde 'W' es energía, 'C' es capacitancia y 'U' es voltaje.

En cualquier circuito, la energía se puede almacenar por inductancias y capacitancias

La energía almacenada en la inductancia se libera cuando se abre el circuito, y la energía almacenada en la capacitancia se libera cuando el circuito se cierra.

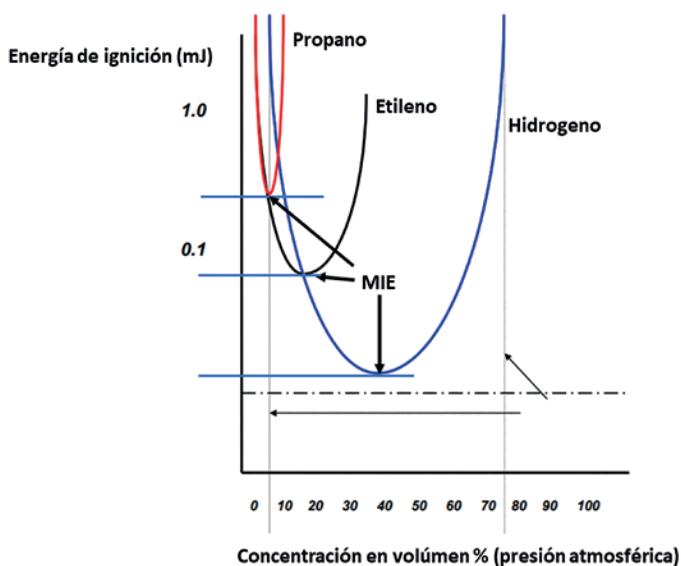


Figura 2. Energía mínima de ignición

Dispositivo eléctrico asociado		Cables		Dispositivo intrínsecamente seguro
Uo	≤			Ui
Io	≤			Ii
Po	≤			Pi
Lo	≥	LC	+	Li
Co	≥	CC	+	Ci

Tabla 1. Verificación de los parámetros de entidad

'Ui', 'Ii', 'Pi', 'Li' y 'Ci' son los parámetros de entidad del aparato intrínsecamente seguro; 'Uo', 'Io', 'Po', 'Lo' y 'Co' son los parámetros de entidad del aparato asociado; 'Lc' es la inductancia del cable, y 'Cc' es la capacitancia del cable. Los parámetros de entidad se pueden encontrar en la carcasa del dispositivo o en la documentación del fabricante.

Verificación de la seguridad intrínseca

El estándar IEC/EN 60079-14 describe un conjunto de ecuaciones matemáticas necesarias para demostrar que el sistema es intrínsecamente seguro. Son las que se muestran en la tabla 1.

El estándar IEC/EN 60079-14 describe un conjunto de ecuaciones matemáticas necesarias para demostrar que el sistema es intrínsecamente seguro

Si las ecuaciones se verifican según estos parámetros, se puede asegurar que el dispositivo asociado no suministrará más tensión, corriente y potencia que los valores de los parámetros Uo, Io y Po al dispositivo intrínsecamente seguro. Y dado que son más bajos que los valores de los parámetros Ui, Ii y Pi del dispositivo intrínsecamente seguro, que son los valores máximos que pueden garantizar un nivel seguro de acumulación de energía en el dispositivo, el circuito se vuelve intrínsecamente seguro.

Determinación de las curvas de ignición

Las pruebas descritas en las normas determinan un conjunto de curvas diferentes que describen las combinaciones de voltaje y corriente que ase-

guran el funcionamiento intrínsecamente seguro del circuito.

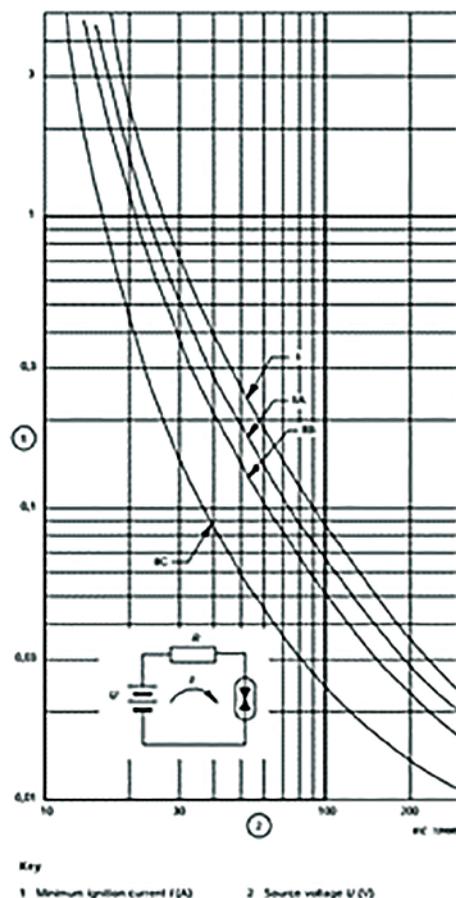


Figura 3. Curvas de seguridad intrínsecas para circuitos resistivos

Las pruebas descritas en las normas determinan un conjunto de curvas diferentes que describen las combinaciones de voltaje y corriente que aseguran el funcionamiento intrínsecamente seguro del circuito

Las curvas son la de ignición para circuito resistivo, la de encendido mínimo inductivo y la de ignición para circuitos capacitivos.

La curva de ignición para circuitos resistivos muestra la relación entre el voltaje 'Vo' y los valores de corriente 'Io' que el aparato asociado

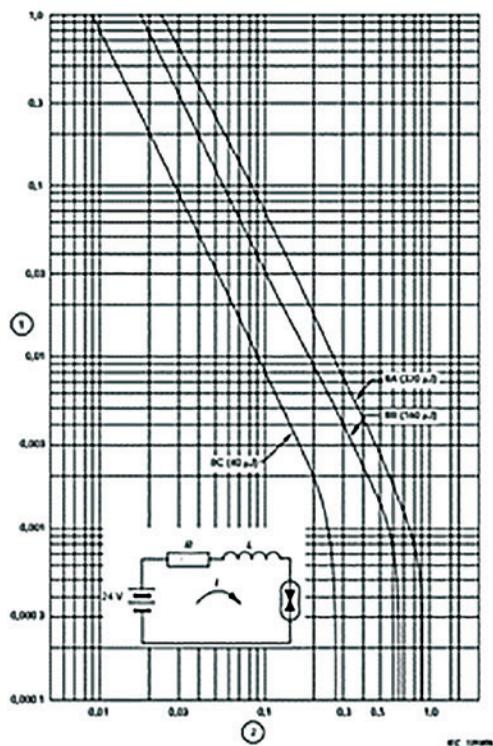
puede suministrar al circuito intrínsecamente seguro.

La curva de encendido mínimo inductivo describe la inductancia máxima 'Lo' que puede conectarse a un aparato asociado con un valor 'Lo' sin afectar negativamente la seguridad intrínseca del circuito.

La curva de ignición para circuitos capacitivos describe la relación entre el valor 'Uo' del aparato asociado y la capacitancia máxima conectable 'Co'.

Surgen un par de preguntas obvias:

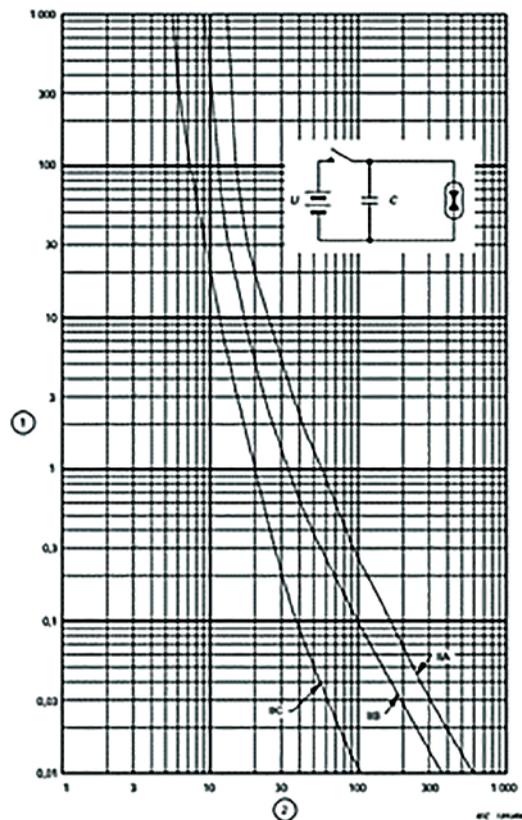
- » ¿Qué tipo de circuitos se utilizan para la determinación del MIE? La respuesta es que se



Key
 1 Inductance L (H)
 2 Minimum lighting current I (A)
 NOTE 1 The circuit test voltage is 24 V.
 NOTE 2 The energy levels indicated refer to the constant energy portion of the curves.

Figure A.4 – Inductive circuits of Group II

Figura 4. Curvas de seguridad intrínsecas para circuitos inductivos



Key
 1 Capacitance C (μF)
 2 Minimum lighting voltage U (V)

Figure A.3 – Group II capacitive circuits

Figura 5. Curvas de seguridad intrínsecas para circuitos capacitivos

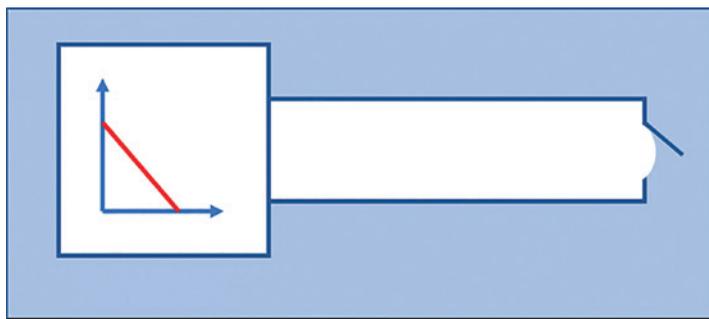


Figura 6. Circuito sin Li ni Ci agrupadas

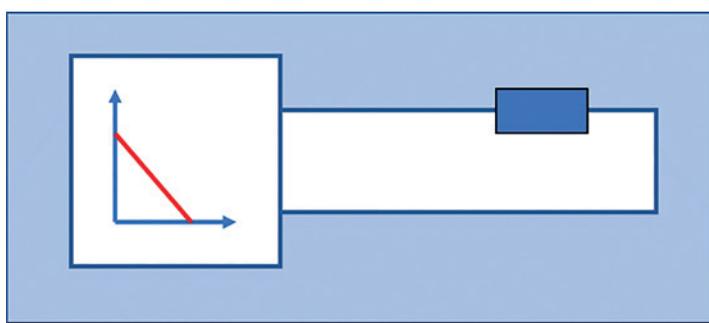


Figura 7. Circuito con 'Li' agrupada y sin 'Ci'

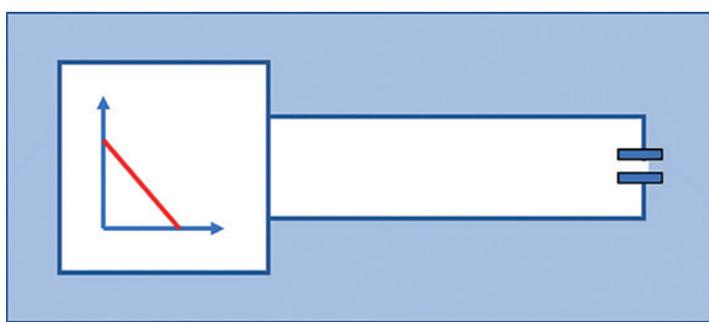


Figura 8. Circuito sin 'Li' y con 'Ci' agrupada

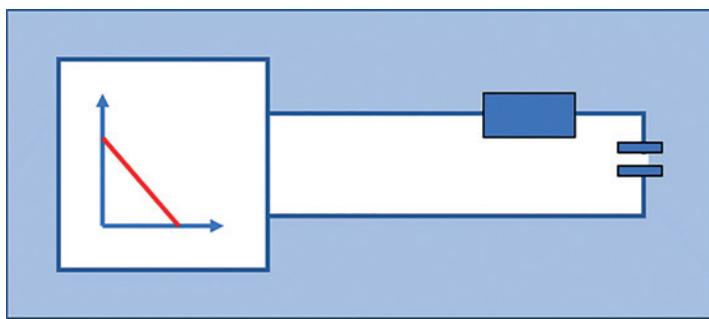


Figura 9. Circuito con 'Li' y 'Ci' agrupadas

emplean los siguientes tres tipos de circuitos: resistivo, capacitivo e inductivo.

- » Dado que las pruebas se realizan solo con circuitos resistivos en el primer caso, solo circuitos inductivos en el segundo caso y solo circuitos capacitivos en el tercero, ¿cómo procedemos en los casos en que los circuitos contienen ambos tipos de componentes que son capaces de acumular energía? La respuesta es un poco más complicada.

Los cuatro tipos de circuitos

Recordemos cuales son los cuatro posibles casos de circuitos intrínsecamente seguros. El tipo 1 son circuitos con reactancia distribuida y sin 'Li' ni 'Ci' agrupadas (dispositivo eléctrico simple).

Este es el caso más sencillo de verificar, ya que un dispositivo eléctrico simple no acumula energía, solo es necesario verificar el 'Lc' y 'Co' del cable:

- » $L_o \geq L_c + L_i$
- » $C_o \geq C_c + C_i$

El tipo 2 son circuitos con reactancia distribuida y 'Li' agrupada sin 'Ci' (el dispositivo de campo se puede representar por la suma de todas las inductancias internas).

Este caso requiere la verificación a través del conjunto completo de ecuaciones:

- » $U_o \leq U_i$
- » $I_o \leq I_i$
- » $P_o \leq P_i$
- » $L_o \geq L_c + L_i$
- » $C_o \geq C_c + C_i$

El tipo 3 son circuitos con reactancia distribuida y 'Ci' agrupadas sin 'Li' (el dispositivo de campo se puede representar por la suma de todas las capacitancias internas).

Este caso también requiere la verificación por medio del conjunto completo de ecuaciones:

- » $U_o \leq U_i$

- » $l_o \leq l_i$
- » $P_o \leq P_i$
- » $L_o \geq L_c + L_i$
- » $C_o \geq C_c + C_i$

Por último, el tipo 4 son circuitos con reactancia distribuida y 'Li' y 'Ci' agrupados (el dispositivo de campo se puede representar por la suma de todas las inductancias internas y la suma de todas las capacitancias internas).

El cuarto caso es el más complicado, porque el circuito se comporta como un circuito RLC.

Circuitos RLC

Los circuitos RLC oscilan a través del tiempo, por lo tanto, la energía acumulada en ellos permanecería constante en un caso ideal, pero en caso de fallo, la presencia de una resistencia disipa la energía en forma de calor con el tiempo, amortiguando así la amplitud de las oscilaciones. Debido al comportamiento oscilante de los circuitos RLC, la cantidad de energía cambia de la capacitancia agrupada a la inductancia agrupada y viceversa continuamente.

Los circuitos RLC oscilan a través del tiempo, por lo tanto, la energía acumulada en ellos permanecería constante en un caso ideal

Energía total acumulada en un circuito RLC (las resistencias no acumulan energía):

$$U = U_B + U_E = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$

La energía se disipa en forma de calor por la resistencia en un circuito RLC:

$$\frac{dU}{dt} = -i^2 R$$

Por lo tanto, podemos hacer esta sustitución:

$$\frac{dU}{dt} = Li \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} = -i^2 R$$

Y eventualmente toda la energía se disiparía en forma de calor:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

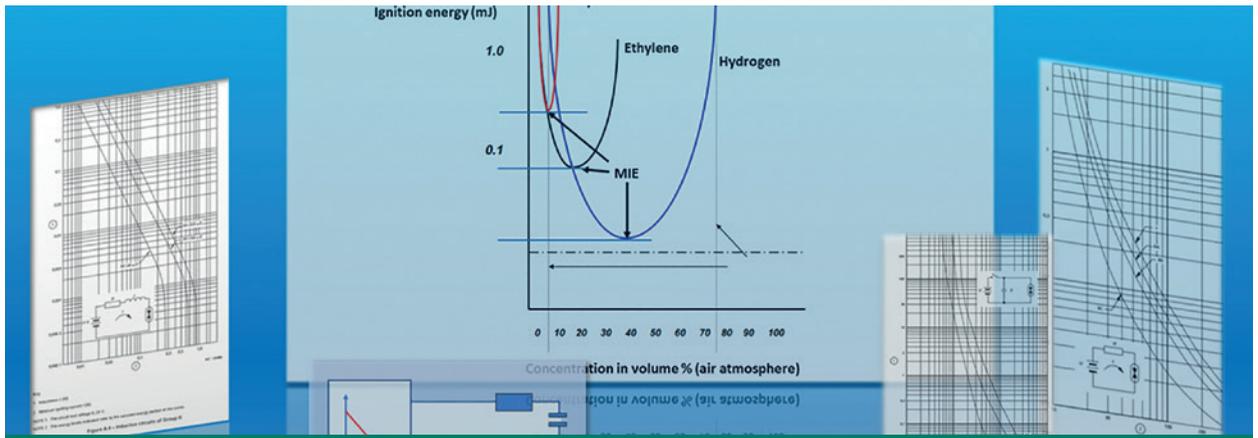
En consecuencia, en caso de fallo (rotura de hilo o cortocircuito), las fracciones de la energía total acumulada que se encuentran en los componentes 'L' y 'C' se liberarán de forma impredecible. Dado que la energía en la inductancia se libera cuando se abre el circuito y la energía en la capacitancia se libera cuando el circuito está cerrado, y dado que la cantidad de tiempo requerida para esas liberaciones de energía es diferente, la cantidad total de energía es variable.

Podemos calcular la cantidad máxima de energía almacenada, pero no la forma en que 'Li' y 'Ci' almacenan esta energía porque esta varía con el tiempo.

La verificación de la seguridad intrínseca en un circuito con inductancias y capacitancias agrupadas, también conocido como circuito mixto, no puede basarse en las ecuaciones tradicionales

Debido a este comportamiento, la verificación de la seguridad intrínseca en un circuito con inductancias y capacitancias agrupadas, también conocido como circuito mixto, no puede basarse en las ecuaciones tradicionales.

A fin de compensar el problema de imprevisibilidad en la cantidad de energía liberada en una falla, se deben aplicar requisitos más estrictos.



Verificación de la seguridad intrínseca en circuitos RLC

Esta es una situación curiosa, porque el procedimiento recomendado para abordar esta situación se describió en la cuarta edición del estándar IEC 60079-14:2007, pero no se vuelve a mencionar en las siguientes ediciones. Se menciona en la edición 2010 del estándar IEC 60079-25 y en la edición 2013 del estándar IEC 60079-11.

El procedimiento recomendado para abordar esta situación se describió en la cuarta edición del estándar IEC 60079-14:2007, pero no se vuelve a mencionar en las siguientes ediciones

No obstante, el método descrito en la norma mencionada se considera válido y los proveedores de equipos lo incluyen en la documentación que publican. El método de cálculo consiste en el siguiente procedimiento:

- » Si el dispositivo intrínsecamente seguro presenta tanto una inductancia 'Li' agrupada como una capacitancia 'Ci' agrupada, entonces sus valores deben compararse con el valor de 'Lo' y 'Co'.
- » Si el valor total de 'Li' o de 'Ci' es inferior al 1% de los valores de 'Lo' y 'Co', entonces las

ecuaciones tradicionales siguen siendo válidas.

- » Pero si el valor total de 'Li' y de 'Ci' es mayor al 1% del valor de 'Lo' y de 'Co', entonces los valores de 'Lo' y 'Co' deberán reducirse en un 50% antes de ser utilizados en las ecuaciones de verificación tradicionales.
- » Hay un requisito adicional que debe considerarse: si después de reducir el valor de 'Co' en un 50%, el valor obtenido es superior a 600 nF y la clasificación del área contiene gases del Grupo IIC, entonces se debe utilizar el valor límite de 600 nF para 'Co'. Para las aplicaciones del Grupo IIB, el valor límite es 1 µF.
- » No hay una limitación equivalente para el valor de 'Lo'.

La presencia de circuitos mixtos no es frecuente en aplicaciones de la vida real, pero la posibilidad existe y la única forma de garantizar la seguridad intrínseca del circuito es realizar la verificación del 1%

Debe mencionarse que la presencia de circuitos mixtos no es frecuente en aplicaciones de la vida real, pero la posibilidad existe y la única forma

de garantizar la seguridad intrínseca del circuito es realizar la verificación del 1%.

A esta altura, el lector debe estar rascándose la cabeza. Inicialmente me sorprendió cuando comencé a encontrar este procedimiento en varios manuales de seguridad intrínseca proporcionados por diversos proveedores de interfaces de seguridad intrínseca.

Por último, algunos ejemplos

La mejor manera de entender el cuarto caso de RLC intrínsecamente seguro o circuitos mixtos es analizando ejemplos.

El primer ejemplo corresponde a un transmisor de presión. Sus parámetros de entidad están en la tabla 2, así como los de aparato asociado y los de cable.

Por lo tanto, la verificación de la seguridad intrínseca es tal como muestra la tabla 3.

Solo por precaución, verificamos las relaciones entre 'Li', 'Ci', 'Lo' y 'Co' en la tabla 4.

Podemos comprobar que solo se ha superado uno de los límites del 1%. Por lo tanto, podemos utilizar las ecuaciones de verificación tradicionales para la verificación de la seguridad intrínseca.

	Dispositivo de campo	Aparato asociado	Cable
U	30 V	25,2 V	
I	300 mA	100 mA	
P	1 W	630 mW	
L	0 mH	3.500 mH	40 mH
C	10 nF	100 nF	8 nF

Tabla 2

Los parámetros del cable toman como base "C = 200 nF/km" y "L = 1 mH/km", considerando una longitud de cable de 40 m.

Parámetros de entidad del dispositivo asociado			Parámetros de entidad del dispositivo intrínsecamente seguro
25,2 V	≤		30 V
100 mA	≤		300 mA
630 W	≤		1.000 W
3.500 mH	≥	(40 + 0)	40 mH
100 nF	≥	(8 + 10)	18 nF

Tabla 3

Li	Lo	Lo x 0,01	Li < Lo x 0,01
0	3.500	35	Verdadero
Ci	Co	Co x 0,01	Ci < Co x 0,01
10	100	1	Falso

Tabla 4

	Dispositivo de campo	Aparato asociado	Cable
U	30 V	25,2 V	
I	300 mA	100 mA	
P	1 W	630 mW	
L	225 mH	3.500 mH	40 mH
C	11,8 nF	100 nF	8 nF

Tabla 5

Los parámetros del cable toman como base “C = 200 nF/km” y “L = 1 mH/km”, considerando una longitud de cable de 40 m.

Parámetros de entidad del dispositivo asociado			Parámetros de entidad del dispositivo intrínsecamente seguro
25,2 V	≤		30 V
100 mA	≤		300 mA
630 W	≤		1.000 W
3.500 mH	≥	(40 + 225)	265 mH
100 nF	≥	(8 + 11,8)	19,8 nF

Tabla 6

Li	Lo	Lo x 0,01	Li < Lo x 0,01
225	3.500	35	Verdadero
Ci	Co	Co x 0,01	Ci > Co x 0,01
11,8	100	1	Verdadero

Tabla 7

El segundo ejemplo corresponde a un transmisor de presión diferencial. Sus parámetros de entidad, los del dispositivo asociado y los del cable se muestran en la tabla 5.

La verificación de la seguridad intrínseca es tal como muestra la tabla 6.

Parece que la verificación es exitosa. Pero si comprobamos las relaciones entre ‘Li’, ‘Ci’, ‘Lo’ y ‘Co’, encontraremos los datos que arroja la tabla 7. Esto significa que se supera el límite del 1% tanto en la inductancia total como en los valores de capacitancia. Por lo tanto, se debe aplicar la regla del 50% (ver tabla 8).

‘Lo’ reducida	Lo/2	1.750 mH
‘Co’ reducida	Co/2	50 nF

Tabla 8

Verificaremos que no estamos por encima del límite de capacitancia para el grupo de gases correspondiente:

- » Límite de la CII para ‘Co’ = 600 nF
- » Límite IIB para ‘Co’ = 1 μF

Por lo tanto, la verificación final es la que muestra la tabla 9.

Parámetros de entidad del dispositivo asociado			Parámetros de entidad del dispositivo intrínsecamente seguro
25,2 V	≤		30 V
100 mA	≤		300 mA
630 W	≤		1.000 W
1.750 mH	≥	(40 + 225)	265 mH
50 nF	≥	(8 + 11,8)	19,8 nF

Tabla 9

A medida que los dispositivos de campo se vuelven más complejos e incorporan más funcionalidad, la cantidad de componentes impulsará a los dispositivos a estar cada vez más orientados al cuarto caso de verificación, por lo que es mejor familiarizarnos con él y ser capaces de detectar cuándo y cómo debe emplearse.

A medida que los dispositivos de campo se vuelven más complejos e incorporan más funcionalidad, la cantidad de componentes impulsará a los dispositivos a estar cada vez más orientados al cuarto caso de verificación, por lo que es mejor familiarizarnos con él

Por otro lado, la tecnología Ethernet-APL ofrece un enfoque completamente innovador para las aplicaciones de seguridad intrínseca. El concepto Ethernet-APL 2-WISE es un desarrollo evolutivo de la tecnología FISCO. 2-WISE define los tipos de puertos que incorporan la limitación intrínseca de energía de seguridad.

Se definen varios perfiles de puerto para su uso en zonas específicas, utilizando un criterio similar a FISCO, si el perfil de puerto Ethernet-APL de un dispositivo de campo es del mismo tipo que el perfil de puerto del conmutador Ethernet-APL al cual quiero conectarlo, entonces el circuito resultante es intrínsecamente seguro, no se necesita verificación matemática.

Pronto todos estos cálculos de verificación pueden quedar obsoletos, pero desde mi punto de vista es una buena práctica tener una comprensión adecuada de lo que estamos haciendo

Eso significa que pronto todos estos cálculos de verificación pueden quedar obsoletos, pero desde mi punto de vista es una buena práctica tener una comprensión adecuada de lo que estamos haciendo. ■