

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**ESTUDIO DEL SISTEMA SAFETYBUS**  
**INFORME DE SUFICIENCIA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**  
**MOISES VIVANCO TINCO**

**PROMOCIÓN 1987 – I**

**LIMA – PERÚ**

**A mí familia con mucho cariño**

## **ESTUDIO DEL SISTEMA SAFETYBUS**

## **SUMARIO**

En este informe se examina el sistema de bus abierto y seguro SafetyBUS que ofrece soluciones descentralizadas para la interconexión orientada a la seguridad de maquinas e instalaciones dentro de una planta industrial moderna. Se menciona las características, la topología, las entidades funcionales que componen su arquitectura y su protocolo de comunicación. También, se tratan temas sobre la actualidad del sistema SafetyBUS: sus aplicaciones, productos y los desafíos a los que se enfrenta el sistema.

Hoy en día no sólo basta contar con un sistema de control óptimo, sino también, se debe dotar a los sistemas de control, la capacidad de extraer información de las máquinas para que el sistema de control inteligente pueda predecir cuándo ocurrirá una falla, durante que proceso y que equipo lo ocasionó

## INDICE

<b>PROLOGO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1. Objetivos	4
1.2. Infraestructura de una red	4
1.3. Medios de transmisión	4
1.3.1. Cable coaxial grueso	7
1.3.2. Cable coaxial fino	7
1.3.3. Par trenzado	7
1.3.4. Fibra óptica	8
1.3.5. Radio	8
1.4. Topología de redes	9
1.4.1. Topología en estrella	9
1.4.2. Topología en bus	10
1.4.3. Topología en árbol	12
1.4.4. Topología en anillo	13
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>14</b>
<b>REDES INDUSTRIALES</b>	<b>14</b>
2.1. Niveles en una red industrial	15
2.2. Redes Lan industriales	16
2.3. Bus de campo	17
2.4. Buses de campo más importantes	19
2.5. El modelo de referencia OSI	20

2.6.	Análisis del bus de campo CAN	23
2.6.1.	Introducción	23
2.6.2.	Conceptos del bus CAN	24
2.6.3.	Mensajes y tipos de tramas	29
2.6.4.	Formatos de Trama	31
2.6.5.	Productos existentes	36
2.6.6.	Conclusiones del CAN	36
	<b>CAPÍTULO III</b>	<b>38</b>
	<b>SISTEMA SAFETYBUS</b>	<b>38</b>
3.1.	Conceptos del SafetyBUS p	38
3.1.1.	Sistema de bus seguros	38
3.1.2.	Concepto SafetyBUS p	38
3.1.3.	Características del sistema	39
3.1.4.	Ventajas	40
3.1.5.	Pruebas de aceptación	40
3.2.	SafetyBUS p en el modelo OSI	41
3.2.1.	Arquitectura del SafetyBUS.	41
3.3.	Desarrollo del SafetyBUS p	43
3.3.1.	Estructura del bus lineal	44
3.3.2.	El sistema de Multi-maestro	44
3.3.3.	Transferencia de datos evento-control y arbitraje de bits	45
3.3.4.	Estructura de la trama de mensajes	45
3.3.5.	Sistemas de seguridad programables PSS	46
3.4.	Participantes del SafetyBUS p	47

3.4.1.	El dispositivo de gestión (MD)	48
3.4.2.	El dispositivo Lógico	48
3.4.3.	Dispositivos E/S	49
3.4.4.	Grupos de E/S	50
3.4.5.	Derechos de acceso	52
3.5.	Router SafetyBUS p	53
3.6.	Bridge en SafetyBUS p	54
3.6.1.	Operación en un solo grupo E/S	55
3.6.2.	Operación en los dos grupos E/S	56
3.6.3.	Tiempo de reacción del Bus	57
3.7.	Estructura del la Trama	58
3.8.	Características de la gestión de errores	60
3.8.1.	Detectando pérdida de datos	60
3.8.2.	Detectando repetición e inserción	61
3.8.3.	Detectando corrupción de datos.	61
3.8.4.	Detección de retardos	61
3.9.	Chipset	62
	<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>64</b>
	<b>APLICACIONES DEL SAFETY BUS P</b>	<b>64</b>
4.1.	Ventajas y beneficios del SafetyBus p	64
4.2.	Ejemplos de aplicación para sistemas de bus seguros	66
4.2.1.	Industria automovilística	66
4.2.2.	Tecnología alimentaria	67
4.2.3.	Automatización en aeropuertos	68

4.2.4.	Carpintería de la Madera	69
4.2.5.	Funiculares	69
4.2.6.	Almacén de estantes elevados	70
<b>CAPÍTULO V</b>		<b>72</b>
<b>EQUIPOS Y ACCESORIOS SAFETY BUS P</b>		<b>72</b>
5.1.	Autómatas de seguridad modular para SafetyBUS p	72
5.1.1.	Unidad central con conexión SafetyBUS p	73
5.2.	Autómatas de seguridad compactos para SafetyBUS p	74
5.2.1.	PSS SB 3006 ETH	75
5.2.2.	PSS SB 3006 IBS-S	76
5.2.3.	PSS SB 3006 DP-S	77
5.2.4.	PSS SB 3006 CN-A	78
5.2.5.	PSS SB 3056	79
5.3.	Accesorios para SafetyBUS p	80
5.3.1.	Reflectómetro para SafetyBUS p	81
5.3.2.	PSS SB SUB-D0 - conector de bus	82
5.3.3.	SS SB SUB-D1 - conector de bus	82
5.3.4.	PSS SB SUB-D3 - conector de bus	83
5.3.5.	PSS SB SUB-FO1 - conector de bus	83
5.3.6.	PSS SB BUSCABLE0	84
5.3.7.	PSS SB BUSCABLE0 MOVE	85
5.3.8.	PSS SB BUSCABLE0 HC	85
5.3.9.	PSS SB BUSCABLE0 LC	86
5.4.	Dispositivos de PARADA DE EMERGENCIA	87

5.4.1.	Supervisores de puertas protectoras	87
5.4.2.	Supervisores de puertas protectoras, Categoría 2, EN 954-1 PNOZ X1	88
5.4.3.	Supervisor de puertas protectoras, categoría 4, EN 954-1-PNOZ e1p	88
5.4.4.	Supervisor de puertas protectoras, categoría 4, EN 954-1 - PNOZ e1vp	89
5.5.	Control Muting	89
5.5.1.	Control Muting, categoría 4 según EN 954-1 PMUT X1P	90
5.6.	Dispositivos de mando a dos manos	91
5.6.1.	Clase de exigencia IIIC según EN 574 - PNOZ e2.1p	91
5.7.	Dispositivos de alfombra de seguridad	92
5.7.1.	Alfombrillas de seguridad	93
5.8.	Relés temporizadores seguros	94
5.8.1.	Relé temporizador de reacción retardada PZA	94
5.9.	Dispositivos de supervisión de seguridad	94
5.9.1.	Parada PSWZ X1P	95
5.9.2.	Supervisor de tensión	96
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
	<b>APÉNDICE A: GLOSARIO</b>	<b>98</b>
	<b>Definiciones en redes de comunicación</b>	<b>98</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1	Topología en Estrella	9
Figura 1.2	Topología en Bus	10
Figura 1.3	Topología Maestro - Esclavo	11
Figura 1.4	Topología en árbol	12
Figura 1.5	Topología en anillo	13
Figura 2.1	Estructura particular de una red industrial	16
Figura 2.2	Resolución de Colisión en el Bus CAN	26
Figura 2.3	Esquema de conexión utilizando una red CAN	27
Figura 2.4	Trama de datos CAN	29
Figura 3.1	Representación del Safety BUS p	41
Figura3.2	Modelo de referencia OSI	42
Figura 3.3	Topología de Bus lineal	44
Figura 3.4	Arbitraje CAN	45
Figura 3.5	PSS programables	46
Figura 3.6	Unidades de dispositivo lógico de un PSS	47
Figura 3.7	Dispositivos típicos del SafetyBUS p	49
Figura 3.8	Grupo típico de E/S.	51
Figura 3.9	Router en serie para incrementar la longitud del Bus	54
Figura 3.10	Intercambio de datos típicos en un grupo E/S	56
Figura 3.11	Intercambio típico de datos en dos grupos ESD	57
Figura 3.12	Tiempo de reacción máximo del bus	58
Figura 3.13	Tramas SafetyBUS dentro la trama del CAN	59
Figura 3.14	Chipset del SafetyBUS p	63

Figura 4.1	Representación de los carriles del Safety BUS	64
Figura 4.2	Representación de los carriles del Safety BUS p	65
Figura 4.3	Las industrias automovilísticas aplican el SafetyBUS p	67
Figura 4.4	Tecnología alimentaria aplicando el SafetyBUS p	68
Figura 4.5	Automatización de Aeropuerto - SafetyBUS p	68
Figura 4.6	Carpintería de madera - SafetyBUS p	69
Figura 4.7	Los funiculares aplican el SafetyBUS p	70
Figura 4.8	Los almacenes de estantes elevados - SafetyBUS p	71

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Características de los medios físicos de uso más frecuente	6
Tabla 2.1	Capas del Modelo OSI	22
Tabla 2.2	Velocidad-Distancia en CAN	24

## PROLOGO

La presión que ejercen los costos y la competencia, el estrechamiento de los mercados, la globalización, y los crecientes requisitos de calidad y disponibilidad que se exigen de los productos, son condiciones que propician que un mayor número de industrias automaticen sus procesos y se preocupen por la seguridad de su sistema de control. Estos tiempos en que donde la interacción hombre-máquina da paso a una comunicación entre artefactos que operan bajo la sola supervisión humana, ofrece ventajas en lo que a velocidad y capacidad de producción se refiere, además de la reducción del trabajo de las personas relacionado con las tareas repetitivas y, en consecuencia, peligrosas.

Los sistemas de bus de campo ofrecen suficiente seguridad en su modo de funcionamiento normal, y los mensajes de seguridad se transmiten hoy en día vía el cableado convencional. Así todos los sistemas disponibles de bus de campo, intentan integrar tecnología de seguridad en sus propias soluciones. Como una introducción a las redes industriales, en el capítulo I se describe brevemente los conceptos de la red de datos y todos los elementos que son necesarios para su implementación.

En el capítulo II se hace un rápido repaso a los conceptos básicos en redes industriales, al igual que las posibles soluciones existentes. Se hace una introducción al bus CAN, que es el sistema donde se soporta el SafetyBUS.

En el capítulo III se estudia los conceptos del SafetyBUS, los principales elementos que conforman su arquitectura, el protocolo de comunicación, el modelo utilizado con respecto al modelo de referencia ISO y finalmente la topología del sistema SafetyBUS

En el capítulo IV se ven los ejemplos de aplicación desarrollado por PILZ. Los campos de aplicación del SafetyBUS son muy variados y van desde la industria automovilística, tecnología alimentaria, procesos de producción en la industria maderera hasta la automatización de los aeropuertos.

Finalmente en el capítulo V se dan a conocer los accesorios y dispositivos existentes para el sistema SafetyBUS, desarrollado por PILZ, una compañía Alemana especializada en automatización de redes industriales. Los ejemplos son los interruptores de parada de emergencia, supervisores de puertas protectoras, o unidades mas complejas, tales como dispositivos de barreras fotoeléctricas y dispositivos de alfombra de seguridad, etc.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La comunicación entre los equipos de una planta industrial se ha hecho imprescindible en la industria moderna, como consecuencia la supervisión de procesos y señales, rápido procesamiento de los mismos y la inmediata reacción ante un evento se reflejará en un crecimiento notable del rendimiento de la fábrica.

Los principales indicadores de error que se presentan en la transmisión de los mensajes de seguridad son:

Incidencia del medio físico que no se puede reconocer mediante un diagnóstico del bus porque a pesar que la comunicación sigue siendo formalmente correcta, el contenido del mensaje generado o procesado puede ser falso.

Disturbios en el medio de transmisión, que incrementan las fallas en los paquetes de mensaje y disminuye la disponibilidad del sistema.

Incidencia en el medio físico de la unidad de control principal o de más alto nivel (Ej. PLC), que conduce a un proceso falso y por lo tanto a una reacción falsa.

En un entorno de seguridad de red industrial, es vital que el dato de los mensajes sea confiable, desde la generación del mensaje, el transporte del mismo, el procesamiento hasta la reacción del sistema. Una conexión, por muy simple que parezca, determina la confiabilidad de los mensajes empaquetados.

La confiabilidad se puede lograr insertando " conexiones adicionales " en paralelo a una o a todas las conexiones; a veces introduciendo redundancia y comparando los resultados de los canales redundantes. Entonces, la probabilidad de que ocurra un incidente simultáneo es el producto de todas las probabilidades de ocurrencia del incidente en una sola conexión, llevándolo de esta manera a un valor muy bajo.

### **1.1. Objetivos**

El objetivo fundamental de este trabajo es conocer la importancia de implementar un sistema de seguridad en un proceso industrial automatizado, partiendo desde la conexión más simple de red, hasta la construcción de un bus de automatización controlado con redundancia doblando los esclavos, la estructura del bus, el maestro y la unidad de control.

Para ello, es importante tener una clara idea de la infraestructura de una red industrial para en ellas implementar los equipos necesarios que nos permitirá darle la máxima seguridad a la misma.

### **1.2. Infraestructura de una red**

### **1.3. Medios de transmisión**

Para formar una red se debe enlazar los distintos componentes de la misma mediante algún tipo de enlace. La correcta selección del tipo de conexión que se empleará para llevar a cabo tal tarea es de vital importancia, ya que según las necesidades y el entorno se deberá emplear un tipo de enlace específico.

De forma genérica, las características que hay que tener en cuenta son las siguientes:

Pérdidas de señal debido al medio físico empleado

Interferencias en la señal debido al entorno de trabajo

Capacidad de transporte de información del medio

Longitud máxima de cada segmento o línea del medio

Coste

Flexibilidad.

En la tabla 1.1 se menciona las características de los medios físicos de usos mas frecuentes.

Tabla 1.1 Características de los medios físicos de uso más frecuente

MEDIO	CAPACIDAD	PERDIDAS / INTERFERENCIAS	LONGITUD TIPICA	COSTE	FLEXIBILIDAD (FISICA)
Cable coaxial grueso	alta	Bajas	500 m	medio	baja
Cable coaxial fino	alta	Bajas	200 m	bajo	media
Par trenzado (sin apantallar)	media/baja	muy altas	20-30 m	muy bajo	alta
Par trenzado (apantallado)	media	Altas	100 m	bajo	alta
Fibra óptica	muy alta	muy bajas / ninguna	500 m/100 Km.	alto	media
Radio	media/alta	Medias	10 m/10 Km.	medio	muy alta

### **1.3.1. Cable coaxial grueso**

Se compone de un hilo conductor central, rodeado de material aislante, que a su vez está rodeado de una fina malla de hilos de cobre. Todo el conjunto se encuentra recubierto de un aislamiento que sirve de protección. El diámetro medio suele ser de un centímetro.

Admite señales de transmisión a muy alta frecuencia, ya que las pérdidas por radiación son mínimas y es muy poco sensible a las interferencias.

Es aconsejable en aplicaciones de alta frecuencia, gran ancho de banda y alta velocidad. Como contrapartida posee un elevado coste económico, es difícil de instalar y es poco flexible.

### **1.3.2. Cable coaxial fino**

Se trata de una alternativa económica al cable coaxial grueso. Su diámetro es poco mayor de medio centímetro y es mucho más flexible.

Admite señales de alta frecuencia, pero las pérdidas por radiación e interferencia son mayores. Hay que mencionar que el ancho de banda se reducirá con la frecuencia de transmisión. Sin embargo es de fácil instalación y bastante económico.

### **1.3.3. Par trenzado**

Consiste en dos conductores de cobre aislados por material plástico. Ambos conductores están trenzados entre sí, de forma que ambos están expuestos a la misma cantidad de ruido exterior. Existen dos tipos de par trenzado:

sin apantallar: posee una gran exposición al ruido exterior

apantallado: está recubierto por una malla conductora que actúa de pantalla frente a interferencias.

Sus características eléctricas son muy inferiores a los coaxiales, pero su coste y facilidad de instalación también lo son, de ahí su popularidad.

#### **1.3.4. Fibra óptica**

Los cables de fibra óptica están compuestos de una o varias fibras, cada una de ellas recubierta de una capa aislante. El conjunto de fibras se rodea con una cubierta.

Entre las muchas ventajas de este medio tenemos:

- es el medio de transmisión de mayor velocidad

- es inmune a interferencias eléctricas y electromagnéticas

- los cables son delgados y ligeros

- son capaces de transmitir hasta 100 Km. sin repetidores

Los inconvenientes de este medio se reducen con el tiempo, ya que cada vez es más asequible de precio y más fácil de instalar.

#### **1.3.5. Radio**

Se basa en el empleo de pequeños emisores y receptores de muy alta frecuencia. Su mayor inconveniente es el radio de acción de este sistema, bastante limitado en la mayoría de los casos.

Se suele emplear en lugares donde sea imposible una conexión física entre los puntos de la red.

## 1.4. Topología de redes

Se denomina topología de una red a la forma de conectar sus nodos físicamente.

Según la topología obtendremos una estructura en forma de figura geométrica:

topología en estrella

topología en bus

topología en árbol

topología en anillo

### 1.4.1. Topología en estrella

En esta configuración cada nodo/terminal está conectada a un servidor central por medio de un enlace punto a punto dedicado. Los mensajes son transmitidos al servidor central y desde allí son retransmitidos al terminal al que van destinados.

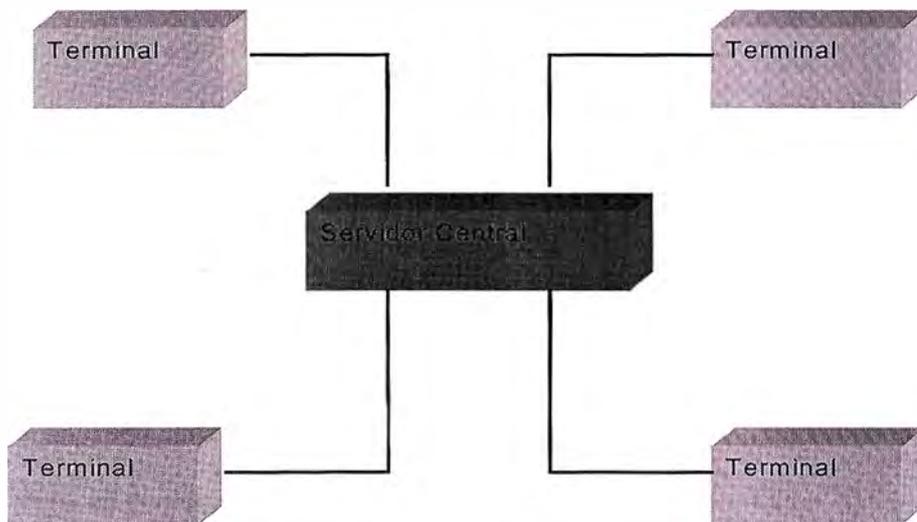


Figura 1.1 Topología en Estrella

Ventajas:

posibilidad de conseguir distintas velocidades de transmisión

posibilidad de obtener distintos medios de transmisión

alto nivel de seguridad

fácil localización de averías.

Inconvenientes:

el servidor central debe ser muy potente, lo que resulta muy caro

el servidor es susceptible de averías

velocidad de transmisión en función del servidor

coste elevado de instalación de la red.

### 1.4.2. Topología en bus

En este caso existe un sólo enlace de comunicaciones, llamado bus, al cual se conectan directamente todos los dispositivos.

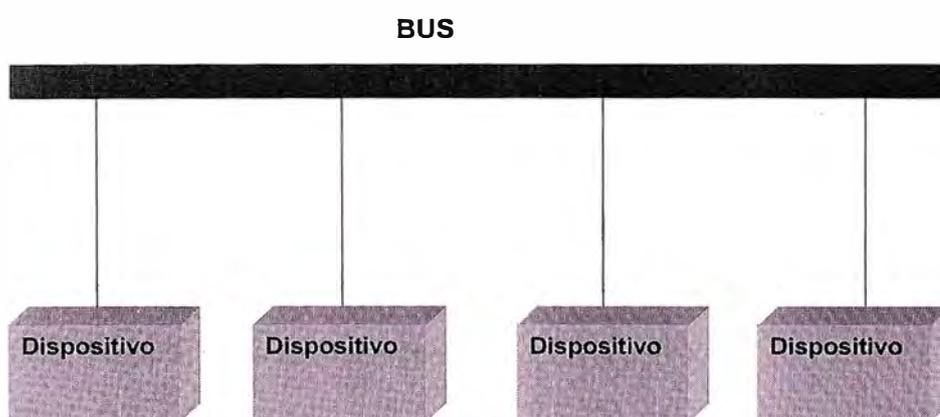


Figura 1.2 Topología en Bus

Existen dos formas de comunicación en esta topología:

Por colisión: cuando un dispositivo desea comunicar con otro, deposita un mensaje en el bus indicando a qué dispositivo va destinado. Mientras un dispositivo está transmitiendo el resto se limitan a escuchar, pero es posible que en el momento de comenzar la transmisión dos dispositivos lo hagan de forma simultánea. Se dice entonces que se ha producido una colisión,

anulándose ambos mensajes. Esta es la configuración empleada en red Ethernet, por ejemplo.

Maestro/esclavo: existe un dispositivo (maestro) que indica cuando puede comunicar cada dispositivo (esclavos). Esta es la forma más extendida en redes de ámbito industrial.



Figura 1.3 Topología Maestro - Esclavo

Para evitar que los dispositivos ocupen la línea demasiado tiempo se limitan los mensajes a una longitud fija o máxima.

Como ventajas tenemos:

- instalación sencilla

- si un dispositivo se desconecta no afecta al resto de la red

- con pocos dispositivos se obtiene una respuesta excelente

El mayor inconveniente de esta red es que las señales se atenúan con la distancia y los dispositivos más cercanos al emisor reciben la señal más fuerte. Por tanto, se deben emplear segmentos de enlace cortos. Par líneas de mayor longitud hay que

fragmentar en varios segmentos y emplear repetidores de señal entre ellos, lo que repercute en una menor velocidad de transmisión.

### 1.4.3. Topología en árbol

Se constituye de varias topologías en bus, formando una estructura arbórea. La estructura comienza en un dispositivo denominado cabecera, desde el cual parten dos o más buses, cada uno de los cuales, en su extremo, pueden dar origen a dos o más buses, y así sucesivamente.

La mayor ventaja de este sistema es la alta flexibilidad de la red. El mayor inconveniente de esta topología es la atenuación y el bajo rendimiento que se obtiene, el cual disminuye aún más con el número de dispositivos y ramas interconectadas.

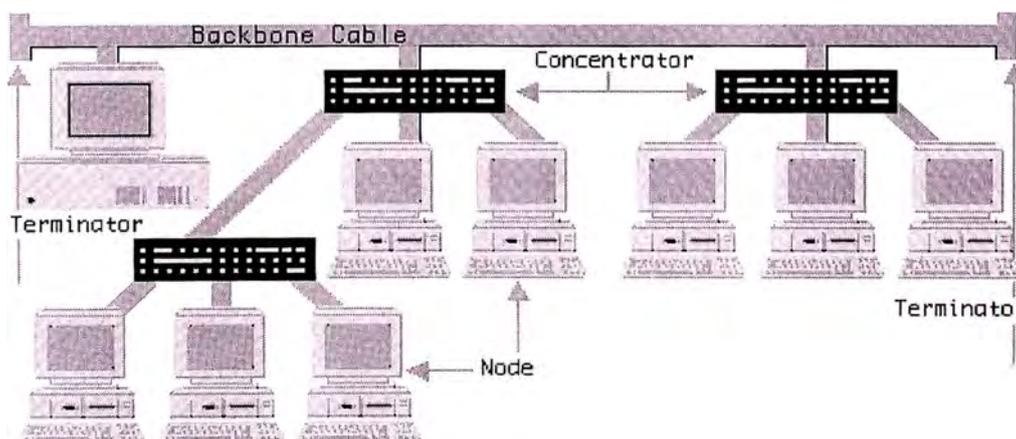


Figura 1.4 Topología en árbol

#### 1.4.4. Topología en anillo

Una red en anillo consta de dispositivos distribuidos alrededor de un medio de transmisión en forma de anillo, al cual se conectan a través de un pequeño repetidor que interrumpe el canal.

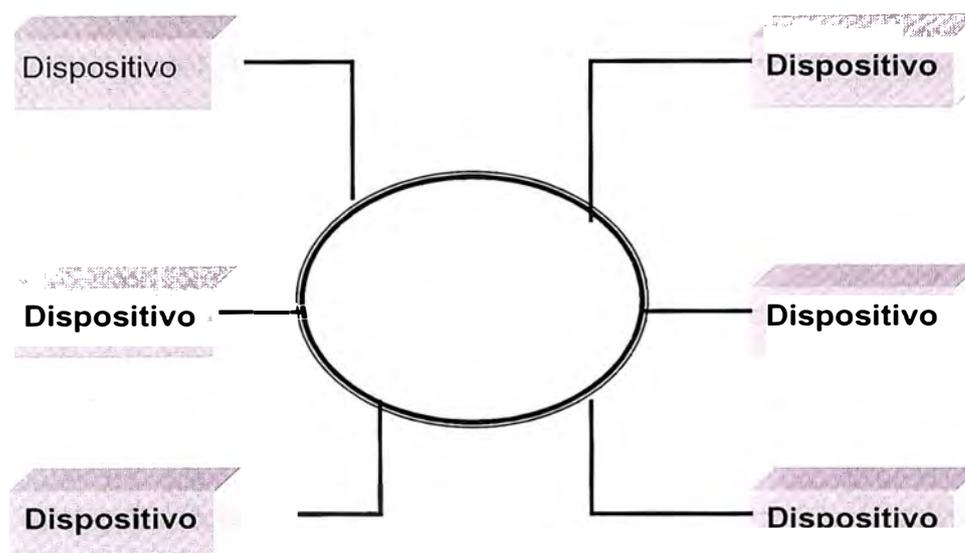


Figura 1.5 Topología en anillo

En este caso la información viaja desde el dispositivo emisor al adyacente. Cuando un dispositivo recibe una información, la examina para ver si está destinada a él, y si no es así, la pasa al siguiente. El sentido de recorrido siempre es el mismo (en el de las agujas del reloj o al contrario), y la transmisión se efectúa por mensajes de tamaño limitado (paquetes).

La mayor ventaja de este sistema es su excelente transmisión.

Como inconveniente se puede mencionar que un fallo en un dispositivo hace que toda la red deje de funcionar, aunque en la actualidad se subsana situando relés en los repetidores que efectúan un puente en los mismos en caso de fallo del dispositivo.

## **CAPÍTULO II**

### **REDES INDUSTRIALES**

En una planta industrial moderna coexisten una serie de equipos y dispositivos dedicados al control de una máquina o una parte cerrada de un proceso. Entre estos dispositivos están los autómatas programables, ordenadores de diseño y gestión, sensores, actuadores, etc.

El desarrollo de las redes industriales ha establecido una forma de unir todos estos dispositivos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades. Las ventajas que se aportan a una red industrial son, entre otras, las siguientes:

Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.

Toma de datos del proceso más rápida o instantánea.

Mejora del rendimiento general de todo el proceso.

Posibilidad de intercambio de datos entre sectores del proceso y entre departamentos.

Programación a distancia, sin necesidad de estar en la misma fábrica.

Las ventajas son evidentes, pero a cambio tiene un cierto costo que debe ser estudiado para determinar si la inversión es rentable o innecesaria.

## 2.1. Niveles en una red industrial

En una red industrial coexistirán equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se definen cuatro niveles dentro de una red industrial:

**Nivel de gestión:** es el nivel más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples fábricas. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo Lan (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).

**Nivel de control:** se encarga de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los computadores dedicados a diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo Lan.

**Nivel de campo y proceso:** se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes o "islas". En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo.

**Nivel de E/S:** es el nivel más próximo al proceso. Aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

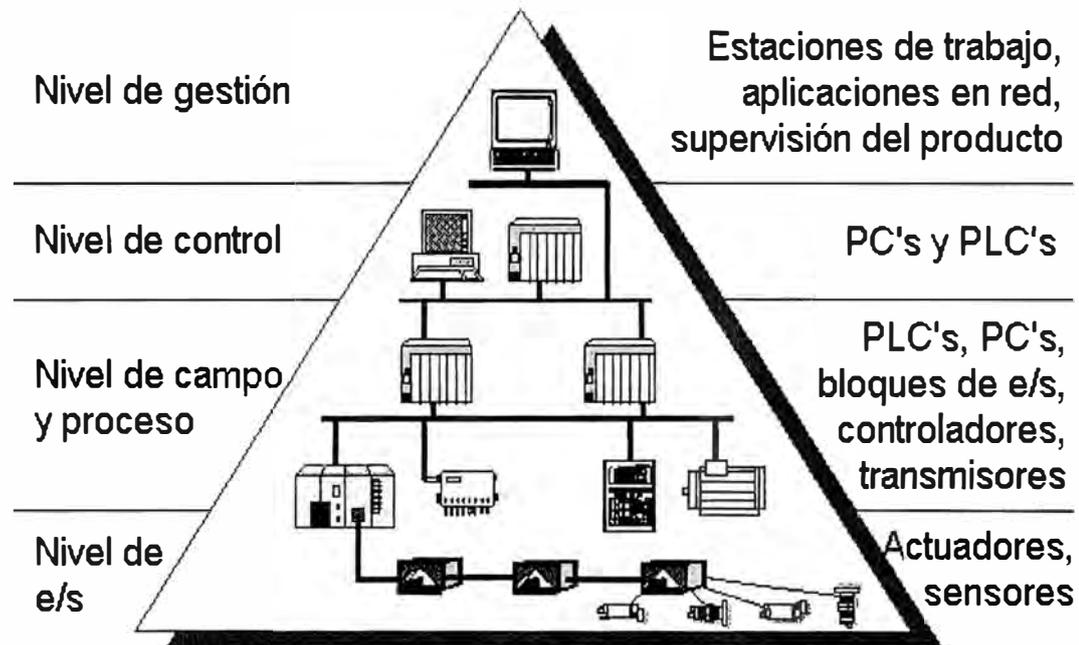


Figura 2.1 Estructura particular de una red industrial

Esta estructura citada no es universal, habrá casos en los que conste de un número mayor o menor de niveles, dependiendo del tamaño del proceso y la propia industria.

## 2.2. Redes Lan industriales

Son las redes más elevadas jerárquicamente. Los estándares más conocidos y extendidos son dos:

**MAP (Manufacturing Automation Protocol):** nació como un producto especialmente diseñado para el entorno industrial, lo que hace que sea de mayor éxito en Lan industriales. Fue impulsado por General Motors y normalizado por el IEEE. No actúa a nivel de bus de campo, pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales. También permite integración en redes WAN.

**ETHERNET:** diseñada por Xerox Corporation y registrada posteriormente junto con Digital e Intel. Es compatible con el modelo OSI en los niveles 1,

2 y 3 (el último a través de puentes). Permite topología en Bus o árbol con comunicación semidúplex. Las velocidades van desde los 10 Mbits/s a los 100 Mbits/s de Fast-Ethernet. Es uno de los estándares de red que más rápidamente evolucionan, debido a su uso masivo en redes ofimáticas.

### **2.3. Bus de campo**

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basada en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos. Los buses de campo más recientes permiten la comunicación con buses jerárquicamente superiores y más potentes.

En un bus de campo se engloban las siguientes partes:

Estándares de comunicación: cubren los niveles físico, de enlace y de comunicación establecidos en el modelo OSI (Open Systems Interconnection).

Conexiones físicas: en general, las especificaciones de un determinado bus admiten más de un tipo de conexión física. Las más comunes son semidúplex (comunicación en banda base tipo RS-485), RS-422 y conexiones en bucle de corriente.

Protocolo de acceso al medio (MAC) y de enlace (LLC): consiste en la definición de una serie de funciones y servicios de la red mediante códigos de operación estándar.

Nivel de aplicación: es el dirigido al usuario, apoyándose en las funciones estándar antes mencionadas para crear programas de gestión y presentación.

La aplicación suele ser propia de cada fabricante, permitiendo a lo sumo la programación en un lenguaje estándar.

Muchos han sido los intentos de normalización de los buses de campo, hasta que éste fue normalizado por IEC (International Electrotechnical Commission - comité TC65C-WG6), el cual define una serie de reglas genéricas:

Nivel físico: Bus serie controlado por un maestro, comunicación semidúplex trabajando en banda base.

Velocidades: 1 Mbit/s para distancias cortas, o valores inferiores, entre 250 Kbits/s a 64 Kbits/s para distancias largas.

Longitudes: 40 m para la máxima velocidad y 350 m a velocidades más bajas.

Número de periféricos: 30 nodos como máximo, con posibles ramificaciones hasta un máximo de 60 elementos.

Tipo de cable: pares de cables trenzados y apantallados.

Conectores: bornes tipo industrial o conectores tipo D9 o D25.

Conexión/desconexión "on line": la conexión y/o desconexión de algún nodo no debe interferir el tráfico de datos.

Topología: bus físico con posibles derivaciones hacia los nodos o periféricos.

Longitud de ramificaciones: máxima longitud de las derivaciones de 10 m.

Aislamientos: 500 V CA permanentes entre elementos de campo y bus.

Tensión de prueba 1500 V CA/1 minuto.

Seguridad intrínseca: opción a conectar elementos de campo con tensiones reducidas para atmósferas explosivas.

Alimentación: opción de alimentar los elementos de campo a través del bus.

Longitud de mensajes: mínimo 16 bytes por mensaje.

Transmisión de mensajes: posibilidad de diálogo entre cualquier par de nodos sin repetidor. Esto no excluye, sin embargo, la posibilidad de que la comunicación se haga a través de un maestro ni tampoco excluye el empleo de repetidores "transparentes" para incrementar las distancias de transmisión.

Maestro flotante: posibilidad de maestro flotante entre diversos nodos.

Implementación de protocolo: los circuitos integrados que implementen el protocolo deben estar disponibles comercialmente y ser de dominio público (no protegidos por patentes de exclusividad).

Las especificaciones del IEC son bastantes detallistas a nivel físico, pero dejan muy abiertos los niveles de enlace y aplicación. Por tanto hay varios posibles candidatos a bus de campo estándar, con la consiguiente falta de compatibilidad entre productos a este nivel. Por tanto, hay que asegurarse que todos los componentes de la red sigue un mismo bus de campo, para que la comunicación no presente problemas o haya que realizar pasarelas entre buses.

#### **2.4. Buses de campo más importantes**

Hay diversos buses según fabricantes y agrupaciones de fabricantes, siendo los más extendidos los siguientes:

MODBUS MODICO: marca registrada de GOULD INC. Define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ninguna normal internacional.

BITBUS: marca registrada por Intel. De bajo coste y altas prestaciones. Intel cedió a dominio público el estándar, por lo que se considera un estándar abierto. Está reconocido por la normativa IEE 1118. Se trata de un bus síncrono, cuyo protocolo se gestiona completamente mediante el microcontrolador 8044.

PROFIBUS: impulsado por los principales fabricantes alemanes. El protocolo es un subjuego de MINIMAP. Está impulsado por ser un estándar abierto y bajo norma DIN 19.245.

S-BUS: no es un bus de campo propiamente dicho, sino un sistema multiplexor/demultiplexor que permite la conexión de E/S remotas a través de dos pares trenzados.

FIP (Factory Instrumentation Bus): impulsado por fabricantes y organismos oficiales franceses.

MIL-STD-1553B: adoptado por algunos fabricantes en USA.

BUS CAN (Controller Area Network) es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para transferencia de mensajes en ambientes distribuidos. Haremos un estudio mas profundo de este bus, ya que es la base para la arquitectura SafetyBus

## **2.5. El modelo de referencia OSI**

Una de las necesidades más acuciantes de un sistema de comunicaciones es el establecimiento de estándares, sin ellos sólo podrían comunicarse entre si equipos del mismo fabricante y que usaran la misma tecnología.

La conexión entre equipos electrónicos se ha ido estandarizando paulatinamente siendo las redes telefónicas las pioneras en este campo. Por ejemplo la histórica CCITT definió los estándares de telefonía: PSTN, PSDN e ISDN.

El modelo OSI no garantiza la comunicación entre equipos pero pone las bases para una mejor estructuración de los protocolos de comunicación. Tampoco existe ningún sistema de comunicaciones que los siga estrictamente, siendo la familia de protocolos TCP/IP la que más se acerca.

El modelo OSI describe siete niveles para facilitar los interfaces de conexión entre sistemas abiertos, en la tabla 2 se muestra el detalle.

Tabla 2.1 Capas del Modelo OSI

Capa	Nombre	Función
1	Física	Se ocupa de la transmisión del flujo de bits a través del medio.
	Enlace	Divide el flujo de bits en unidades con formato (tramas) intercambiando estas unidades mediante el empleo de protocolos.
3	Red	Establece las comunicaciones y determina el camino que tomarán los datos en la red.
4	Transporte	La función de este nivel es asegurar que el receptor reciba exactamente la misma información que ha querido enviar el emisor, y a veces asegura al emisor que el receptor ha recibido la información que le ha sido enviada. Envía de nuevo lo que no haya llegado correctamente.
5	Sesión	Establece la comunicación entre las aplicaciones, la mantiene y la finaliza en el momento adecuado. Proporciona los pasos necesarios para entrar en un sistema utilizando otro. Permite a un mismo usuario, realizar y mantener diferentes conexiones a la vez (sesiones).
6	Presentación	Conversión entre distintas representaciones de datos y entre terminales y organizaciones de sistemas de ficheros con características diferentes.
7	Aplicación	Este nivel proporciona unos servicios estandarizados para poder realizar unas funciones específicas en la red. Las personas que utilizan las aplicaciones hacen una petición de un servicio (por ejemplo un envío de un fichero). Esta aplicación utiliza un servicio que le ofrece el nivel de aplicación para poder realizar el trabajo que se le ha encomendado (enviar el fichero).

## **2.6. Análisis del bus de campo CAN**

En esta parte se analiza el bus CAN (Controller Area Network), como base para arquitecturas de bus industrial en aplicaciones de tiempo real distribuidas, sistemas de supervisión y control en el ámbito de celdas de producción, entre ellas está el SafetyBUS que es materia de este informe. CAN es un protocolo abierto para uso industrial y concebido como un protocolo de alta seguridad, cubriendo las capas 1, 2 y 7 del modelo OSI

### **2.6.1. Introducción**

CAN es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para transferencia de mensajes en ambientes distribuidos. Fue originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, pero rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial.

Entre sus fortalezas el bus CAN considera una arquitectura multi-maestra capaz de proveer características de respuesta en tiempo real y tolerancia a fallas en la recepción de mensajes y mal funcionamiento de los nodos. Además, CAN está estructurado de acuerdo con el modelo OSI en una arquitectura colapsada de dos capas (esto es, capa física y capa de enlace de datos). Distintas opciones existen para la capa de aplicación, entre otras: CiA CAN Application Layer, CANOpen, SDS (Smart Distributed System), DeviceNet y CAN Kingdom. Más adelante veremos que el SafetyBUS también es una opción de aplicación más del CAN.

## 2.6.2. Conceptos del bus CAN

### Capa física

La capa física en CAN es responsable de la transferencia de bits entre los distintos nodos que componen la red. Define aspectos como niveles de señal, codificación, sincronización y tiempos en que los bits se transfieren al bus.

La especificación CiA (CAN in AUTOMATION, <http://www.can-cia.de>), complementó las definiciones respecto al medio físico y conectores. Los nodos conectados al bus interpretan dos niveles lógicos denominados:

· Dominante: la tensión diferencial (CAN\_H - CAN\_L) es del orden de 2.0 V con CAN\_H = 3.5V y CAN\_L = 1.5V (nominales).

Recesivo: la tensión diferencial (CAN\_H - CAN\_L) es del orden de 0V con CAN\_H = CAN\_L = 2.5V (nominales).

Tabla 2.2 Velocidad-Distancia en CAN

Velocidad	Tiempo de Bit	Longitud Máx.
1 Mbps	1 $\mu$ S	30 m
800 Kbps	1,25 $\mu$ S	50 m
500 Kbps	2 $\mu$ S	100 m
250 Kbps	4 $\mu$ S	250 m
125 Kbps	8 $\mu$ S	500 m
50 Kbps	20 $\mu$ S	1000 m
20 Kbps	50 $\mu$ S	2500 m
10 Kbps	100 $\mu$ S	5000 m

Estos son valores referenciales que varían dependiendo de la tolerancia de los osciladores de los nodos, impedancias y retardos en la línea etc.

La topología es bus con derivaciones de corta longitud. Con pérdida de prestaciones en cuanto a velocidad o longitud máxima se pueden adoptar estructuras en estrella. El bus se cierra en los extremos con impedancias de carga.

El número máximo de nodos no está limitado por la especificación básica y depende de las características de los transceptores, las especificaciones de buses de campo lo limitan a 32 o 64 en una red sin repetidores.

### **Capa de Enlace**

Unas de las características que distingue a CAN con respecto a otras normas, es su técnica de acceso al medio denominada como CSMA/CD+CR o "Carrier Sense, Multiple Access/Colisión Detection + Collision Resolution" (Acceso múltiple con detección de portadora, detección de colisión más resolución de colisión).

El método de acceso al medio utilizado en bus CAN añade una característica adicional: la resolución de colisión. En la técnica CSMA/CD utilizada en redes Ethernet ante colisión de varias tramas, todas se pierden, CAN resuelve la colisión con la supervivencia de una de las tramas que chocan en el bus. Además la trama superviviente es aquella a la que se ha identificado como de mayor prioridad.

La resolución de colisión se basa en una topología eléctrica que aplica una función lógica determinista a cada BIT, que se resuelve con la prioridad del nivel definido como BIT de tipo dominante. Definiendo el BIT dominante como equivalente al valor lógico '0' y BIT recesivo al nivel lógico '1' se trata de una función AND de todos los bits transmitidos simultáneamente. Cada transmisor escucha continuamente

el valor presente en el bus, y se retira cuando ese valor no coincide con el que dicho transmisor ha forzado. Mientras hay coincidencia la transmisión continua, finalmente el mensaje con identificador de máxima prioridad sobrevive. Los demás nodos reintentarán la transmisión lo antes posible.

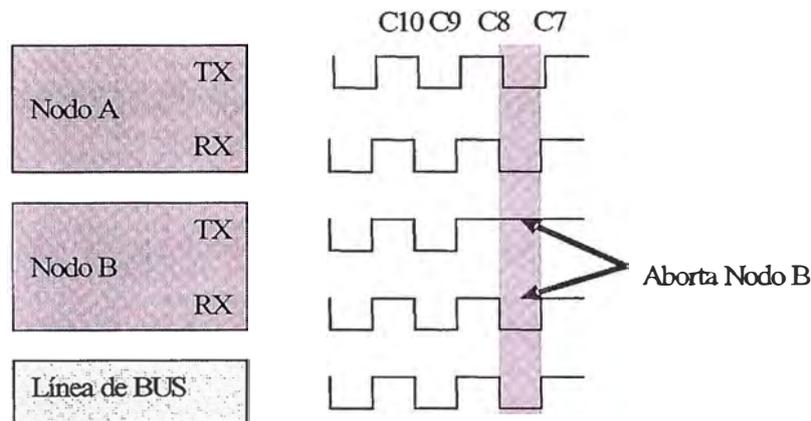


Figura 2.2 Resolución de Colisión en el Bus CAN

Se ha de tener en cuenta que la especificación CAN de Bosh no establece cómo se ha de traducir cada nivel de bit (dominante o recesivo) a variable física. Cuando se utiliza par trenzado según ISO 11898 el nivel dominante es una tensión diferencial positiva en el bus, el nivel recesivo es ausencia de tensión, o cierto valor negativo, (los transceptores no generan corriente sobre las resistencias de carga del bus).

Esta técnica aporta la combinación de dos factores muy deseados en aplicaciones industriales distribuidas: la posibilidad de fijar con determinismo la latencia en la transmisión de mensajes entre nodos y el funcionamiento en modo multi-maestro sin necesidad de gestión del arbitraje, es decir control de acceso al medio, desde las capas de software de protocolo.

La prioridad queda así determinada por el contenido del mensaje, en CAN es un campo determinado, el identificador de mensaje, el que determina la prioridad.

## Implementaciones del CAN

Existen dos implementaciones hardware básicas, aunque la comunicación en ambas es idéntica y son compatibles entre sí. Esto permite administrar el uso del bus en función de las necesidades de cada nodo.

**Basic CAN:** hay un vínculo muy fuerte entre el controlador CAN y el microcontrolador asociado. El microcontrolador será interrumpido para tratar con cada uno de los mensajes del CAN. Cada nodo transmitirá tan sólo cuando se produzca un evento en alguna de las señales que le conciernen. Este modo de funcionamiento es adecuado para aquellos nodos encargados de manejar informaciones esporádicas, disminuyendo la ocupación del bus.

**Full CAN:** contiene dispositivos hardware adicional que proporcionan un servidor que automáticamente recibe y transmite los mensajes CAN, sin necesidad de interrumpir al microcontrolador asociado, reduciéndose la carga del mismo. Está orientado a nodos encargados del manejo de señales con un alto nivel de exigencia en cuanto a frecuencia de actualización y/o seguridad.

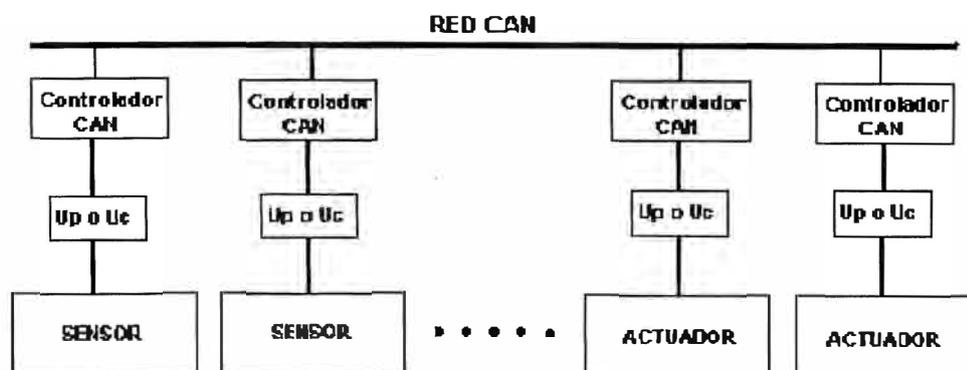


Figura 2.3 Esquema de conexión utilizando una red CAN

## **Especificación CAN 2.0A y CAN 2.0B**

En el ISO/OSI están descritas las Capa 1 y Capa 2, en el ISO 11519-2 para las aplicaciones de velocidad bajas y en el ISO 11898 para las aplicaciones de velocidad alta. La descripción de ISO/OSI sobre especificación de CAN 2.0A y 2.0B están mas orientada a los requisitos de fabricación de controladores CAN.

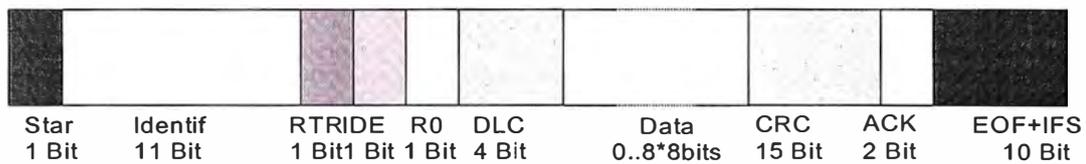
La diferencia entre CAN 2.0A y CAN 2.0B está básicamente en el formato del encabezado del mensaje del identificador. La especificación CAN 2.0A define sistemas CAN con un estándar de 11 bit del identificador (CAN estándar). CAN 2.0B especifica la trama extendida con 29 bit en el identificador (CAN Extendido)

Los mensajes transmitidos desde cualquier nodo en una red CAN no contienen la dirección del nodo emisor ni la del nodo receptor. En vez de esto, los mensajes contienen una etiqueta de identificación única en toda la red, que realiza esa función. Estos identificadores determinan la prioridad del mensaje. El mensaje de mayor prioridad gana el acceso al bus, mientras que los mensajes de menor prioridad se retransmitirán automáticamente en los siguientes ciclos del bus. Como consecuencia de esto, varios nodos pueden recibir y actuar simultáneamente sobre el mismo mensaje.

Esta estructura de los mensajes ofrece a la red una gran flexibilidad y posibilidad de expansión, ya que nuevos nodos pueden ser añadidos a la red sin la necesidad de hacer ningún cambio en el hardware ni en el software instalado. Las tramas de los mensajes son los elementos básicos de transmisión y van de un nodo emisor a uno o varios nodos receptores. Hay dos protocolos de comunicación: el estándar, que soporta mensajes con identificadores de 11 bits, y el expandido, que soporta 29 bits.

El mensaje está dividido en siete campos diferentes, cada uno de ellos con una función específica:

Trama de dato CAN 2.0 A (11 bits de identificación)



Trama de dato CAN 2.0 B (29 bits de identificación)

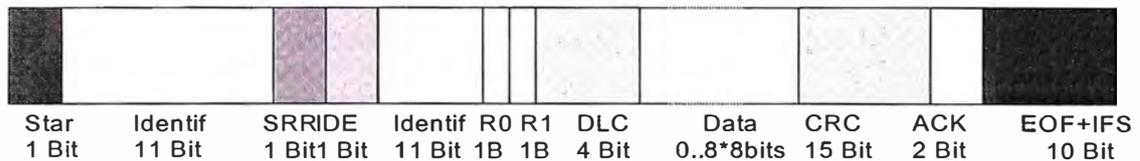


Figura 2.4 Trama de datos CAN

### 2.6.3. Mensajes y tipos de tramas

CAN utiliza mensajes de estructura predefinida, tramas, para la gestión de la comunicación

Se distinguen entre dos variantes de CAN, el definido en CAN 2.A o "CAN Standard" y el definido en CAN 2.B o "CAN Extendido", los formatos de trama son análogos diferenciándose básicamente en el número de bits que se utiliza para el identificador de mensaje: 11 bits (2032 identificadores) diferentes en CAN Standard y 29 bits (536.870.912 identificadores) en CAN Extendido.

Las tramas CAN son de longitud reducida, la trama más larga es de 130 bits en CAN Estándar y 154 bits en CAN Extendido.

Los tipos de trama, y estados de bus, utilizados son:

**Trama de datos:** la que un nodo utiliza normalmente para poner información en el bus (siempre es un "broadcast" a todos los demás nodos). Puede incluir entre 0 y 8 Bytes de información útil.

**Trama de interrogación remota:** (en lo que sigue se denominará como trama remota ("remote frame"): puede ser utilizada por un nodo para solicitar la transmisión de una trama de datos con la información asociada a un identificador dado. El nodo que disponga de la información definida por el identificador la transmitirá en una trama de datos.

**Tramas de error:** usadas para señalar al resto de nodos la detección de un error, invalidando el mensaje erróneo normalmente (un caso especial es un nodo en estado de "error pasivo")

**Trama de sobrecarga:** permite que un nodo fuerce a los demás a alargar el tiempo entre transmisión de tramas sucesivas.

**Espaciado inter-tramas:** Las tramas de datos (y de interrogación remota) se separan entre sí por una secuencia predefinida que se denomina espaciado inter-trama.

**Bus en reposo:** En los intervalos de inactividad se mantiene constantemente el nivel recesivo del bus.

En un bus CAN los nodos transmiten la información espontáneamente con tramas de datos, bien sea por un proceso cíclico o activado ante eventos en el nodo. La trama de interrogación remota sólo se suele utilizar para detección de presencia de nodos o para puesta al día de información en un nodo recién incorporado a la red. Los mensajes pueden entrar en colisión en el bus, el de identificador de mayor prioridad sobrevivirá y los demás son retransmitidos lo antes posible.

#### 2.6.4. Formatos de Trama

##### Trama de Datos

Una trama de datos es generada por un nodo CAN cuando transmite información. Los campos incluidos en una trama de datos son para CAN Estándar. (Figura 8a)

**Inicio de trama (SOF):** El inicio de trama es un campo de un solo bit siempre dominante que indica el inicio de la transmisión. Los nodos receptores se sincronizan con el flanco de bajada de este bit.

**Arbitraje:** El campo de identificación está formado por el identificador de mensaje (11 bits) más el bit RTR. En una trama de datos el bit RTR es dominante. En una trama remota es recesivo. Los bits de identificador se transmiten en orden de más significativo a menos significativo.

**Control:** El campo de control está formado por dos bits reservados para uso futuro y cuatro bits adicionales que indican el número de bytes de datos. En realidad el primero de estos bits (IDE) se utiliza para indicar si la trama es de CAN Estándar (IDE dominante) o Extendido (IDE recesivo). El segundo bit (RB0) es siempre recesivo. Los cuatro bits de código de longitud (DLC) indican en binario el número de bytes de datos en el mensaje (0 a 8)

**Datos:** Es un campo formado por 0 a 8 bytes de datos, es decir 0 a 64 bits en saltos de 8. Cada byte se transmite con bit más significativo primero.

**CRC:** Código de redundancia cíclica que genera el transmisor por la división módulo 2 de todos los bits precedentes del mensaje, incluyendo los de relleno si existen, por el polinomio generador:  $X^{15} + X^{14} + X^8 + X^7 + X^4 + X^3 + X + 1$ , el resto

de esta división es el código CRC transmitido. Los receptores comprueban este código. Tras el código CRC se incluye un bit recesivo (delimitador de CRC)

**Campo de reconocimiento (ACK):** es un campo de dos bits que el transmisor pone como recesivos. El primero de estos bits se sobrescribe por un bit dominante de reconocimiento transmitido por los nodos que han recibido el mensaje correctamente. El bit de ACK queda así insertado entre dos bits dominantes de delimitación.

**Fin de trama (EOF).** Cierra la trama, consiste en 7 bits recesivos sucesivos.

**Espaciado entre tramas (IFS).** Consta de un mínimo de 3 bits recesivos.

La trama de datos de CAN Extendido se diferencia de la de CAN Estándar en que un bit dominante fijo (SRR) aparece en la posición del bit RTR de CAN Estándar, se fija el bit IDE como recesivo, siguen luego los 18 bits adicionales del identificador, el campo de control con RTR, dos bits reservados y la longitud de datos y el resto de la trama es análogo.

En un bus CAN pueden convivir nodos CAN Estándar y CAN Extendido, para ello los nodos CAN Estándar han de ser del tipo CAN 2.0B Pasivo, estos nodos reaccionan ignorando tramas CAN Extendido en lugar de señalarlas como erróneas. Los nodos que cumplen CAN 2.0B pueden funcionar en modo Estándar o Extendido indistintamente.

### **Trama remota**

El formato es análogo a la trama de datos pero con el bit RTR recesivo. Por otra parte una trama remota no incluye nunca datos. El identificador es el del mensaje que se solicita, el campo longitud corresponde a la longitud de ese mensaje

## **Trama de error**

Las tramas de error son generadas por cualquier nodo que detecta un error. Consiste en dos campos: Indicador de error ("Error Flag") y Delimitador de error. El delimitador de error consta de 8 bits recesivos consecutivos y permite a los nodos reiniciar la comunicación limpiamente tras el error. El Indicador de error es distinto según el estado de error (los estados de error de nodo se describirán en páginas sucesivas) del nodo que detecta el error:

Si un nodo en estado de error "Activo" detecta un error en el bus interrumpe la comunicación del mensaje en proceso generando un "Indicador de error activo" que consiste en una secuencia de 6 bits dominantes sucesivos. Esta secuencia rompe la regla de relleno de bits y provocará la generación de tramas de error en otros nodos. Por tanto el Indicador de error puede extenderse entre 6 y 12 bits dominantes sucesivos. Finalmente se espera el campo de delimitación de error formado por los 8 bits recesivos. Entonces la comunicación se reinicia y el nodo que había sido interrumpido reintenta la transmisión del mensaje.

Si un nodo en estado de error "Pasivo" detecta un error, el nodo transmite un "Indicador de error pasivo" seguido, de nuevo, por el campo delimitador de error. El indicador de error de tipo pasivo consiste en 6 bits recesivos seguidos y, por tanto, la trama de error para un nodo pasivo es una secuencia de 14 bits recesivos. De aquí se deduce que la transmisión de una trama de error de tipo pasivo no afectará a ningún nodo en la red, excepto cuando el error es detectado por el propio nodo que está transmitiendo. En ese caso los demás nodos detectarán una violación de las reglas de relleno y transmitirán a su vez tramas de error.

Tras señalar un error por medio de la trama de error apropiada cada nodo transmite bits recesivos hasta que recibe un bit también recesivo, luego transmite 7 bits recesivos consecutivos antes de finalizar el tratamiento de error.

### **Espacio entre tramas**

El espacio entre tramas separa una trama (de cualquier tipo) de la siguiente trama de datos o interrogación remota. El espacio entre tramas ha de constar de, al menos, 3 bits recesivos. Esta secuencia de bits se denomina "intermission". Una vez transcurrida esta secuencia un nodo en estado de error activo puede iniciar una nueva transmisión o el bus permanecerá en reposo. Para un nodo en estado error pasivo la situación es diferente, deberá esperar una secuencia adicional de 8 bits recesivos antes de poder iniciar una transmisión. De esta forma se asegura una ventaja en inicio de transmisión a los nodos en estado activo frente a los nodos en estado pasivo.

### **Trama de sobrecarga**

Una trama de sobrecarga tiene el mismo formato que una trama de error activo. Sin embargo, la trama de sobrecarga sólo puede generarse durante el espacio entre tramas. De esta forma se diferencia de una trama de error, que sólo puede ser transmitida durante la transmisión de un mensaje. La trama de sobrecarga consta de dos campos, el Indicador de Sobrecarga, y el delimitador. El indicador de sobrecarga consta de 6 bits dominantes que pueden ser seguidos por los generados por otros nodos, dando lugar a un máximo de 12 bits dominantes. El delimitador es de 8 bits recesivos.

Una trama de sobrecarga puede ser generada por cualquier nodo que debido a sus condiciones internas no está en condiciones de iniciar la recepción de un nuevo

mensaje. De esta forma retrasa el inicio de transmisión de un nuevo mensaje. Un nodo puede generar como máximo 2 tramas de sobrecarga consecutivas para retrasar un mensaje. Otra razón para iniciar la transmisión de una trama de sobrecarga es la detección por cualquier nodo de un bit dominante en los 3 bits de "intermission". Por todo ello una trama de sobrecarga de 5 generada por un nodo dará normalmente lugar a la generación de tramas de sobrecarga por los demás nodos dando lugar, como se ha indicado, a un máximo de 12 bits dominantes de indicador de sobrecarga.

### **Arbitraje**

Un nodo transmisor monitoriza constantemente el estado del bus. Durante la transmisión del campo Arbitraje la detección de un bit dominante, cuando el bit transmitido ha sido recesivo, hace que el nodo detenga la transmisión y pase a recepción de la trama. De esta forma no hay pérdida de información y no se destruye por colisión ninguna trama de datos o remota. La especificación de Bosh admite para CAN Standard los identificadores en el rango 0x000 a 0x7EF. En dicha especificación se indica que los 7 bits más significativos no han de ser todos recesivos. Sin embargo muchos controladores admiten el rango 0x000 a 0x7FF, Un mensaje de máxima prioridad utilizará, por tanto, el identificador 0x000.

En un bus único un identificador de mensaje ha de ser asignado a un solo nodo concreto, es decir, se ha de evitar que dos nodos puedan iniciar la transmisión simultánea de mensajes con el mismo identificador y datos diferentes. La filosofía CAN es que un mensaje es único en el sistema. Las tramas remotas con identificador concreto que puedan ser generadas por cualquier nodo han de coincidir en cuanto al campo longitud, definiendo un mensaje como el conjunto identificador + longitud de

campo de datos + semántica de estos datos, el mensaje ha de ser único en el sistema y estar asignado a un nodo concreto. Así, por ejemplo, si en un automóvil existe la variable "presión de aceite" esta variable ha de ser transmitida por un nodo concreto, con un identificador concreto, con longitud fija y consistente con la codificación de la información en el campo de datos.

### **2.6.5. Productos existentes**

El estado del estándar alcanzado por CAN lo convierte en una tecnología habitual en la industria, y numerosas firmas fabrican y distribuyen productos compatibles con este protocolo de comunicaciones.

Entre los productos existentes se cuentan:

- Controladores CAN, que gestionan las comunicaciones a través de este protocolo. Se subdividen a su vez en:

- Módulos CAN integrados en el mismo chip del microcontrolador. Existen versiones CAN con los microcontroladores más populares del mercado.

- Controladores CAN independientes que permiten a microcontroladores no incluidos en la anterior categoría comunicarse a través del CAN.

- Tarjetas de conexión con PCs.

- Software y herramientas diversas de monitorización de sistemas CAN, útiles tanto en la fase de diseño y simulación como en la de diagnóstico.

### **2.6.6. Conclusiones del CAN**

CAN fue concebido como un protocolo de alta seguridad. Para ello se han adoptado medidas adecuadas en cada una de las capas de protocolo: En la capa física la disponibilidad de transceptores con capacidad de funcionamiento en condiciones

degradadas. Todos los mensajes transmitidos son reconocidos de forma consistente por los receptores enviando una trama con bit ACK que se transmite como recesivo. En las tramas de datos e interrogación remota se aplica la regla de relleno de bits que evita una secuencia sucesiva de más de 5 bits del mismo signo, para ello se inserta un sexto bit de signo contrario, el receptor ha de eliminar este bit adicional siguiendo la misma regla. Para detección de errores se incluye un código CRC con distancia Hamming 6, la tasa de error no detectado es menor que (tasa de error en mensajes)<sup>4,7</sup>  $10e^{-11}$ .

Cualquier nodo que detecta un error transmite una trama que señala el error a los demás nodos, si el nodo detector es un nodo totalmente activo (no se encuentra en nivel pasivo de error) el mensaje queda invalidado para toda la red y se retransmitirá lo antes posible. El tiempo de recuperación es de ,como máximo 29 veces el tiempo de bit. Se sigue un sofisticado proceso de diagnóstico en los nodos, cuando un nodo acumula errores pasa inicialmente a una situación de funcionamiento pasivo y si la degradación continúa el nodo queda excluido de la comunicación evitando perturbar al resto de nodos de la red. Es decir el estado de un nodo puede ser: Activo, Pasivo o Anulado. Un nodo anulado ha de deshabilitar su transceptor y no participa en la comunicación.

CAN ha alcanzado un nivel extraordinario de madurez e implantación, se habla de cientos de millones de nodos, los fabricantes y procesadores digitales de señal están incorporando controladores CAN de forma bastante generalizada. Los modelos VHDL de controladores CAN se pueden incorporar en ASICs y dispositivos de lógica programable (FPGAs). CAN resulta una opción a tener en cuenta en sistemas distribuidos de tiempo real.

## **CAPÍTULO III**

### **SISTEMA SAFETYBUS**

#### **3.1. Conceptos del SafetyBUS p**

##### **3.1.1. Sistema de bus seguros**

Los sistemas de bus establecidos para el sector estándar no cumplen con los requerimientos de una interconexión "segura". Por ello es necesario completar el espectro de los buses de campo con los sistemas de bus seguros.

El protocolo abierto del sistema de bus seguro SafetyBUS p posibilita el enlace de diversos módulos de campo de otros fabricantes. Además de ello, con ayuda de un sistema de bus seguro es posible interconectar controles orientados a la seguridad de la familia de sistemas PSS.

##### **3.1.2. Concepto SafetyBUS p**

El SafetyBUS p es un sistema de bus seguro y abierto para la transmisión en serie de datos de seguridad. La interconexión orientada a la seguridad ofrece al usuario las mismas ventajas que conoce de los sistemas de bus de campo tradicionales y además simplifica los trabajos de cableado.

Con ello representa no sólo un nuevo paso hacia una nueva época de la técnica de control segura, sino que además, en cuanto a concepto económico de seguridad, cada vez encuentra más partidarios en la práctica.

### 3.1.3. Características del sistema

A través de módulos E/S se enlazan sensores y actuadores al autómata de seguridad SafetyBUS p. Los componentes lógicamente relacionados en la aplicación pueden ser configurados como grupos y ser desconectados por separado en caso de error

El SafetyBUS p es un sistema multi-maestro con topología de bus lineal sobre la base del acreditado y establecido sistema de bus CAN. Con SafetyBUS p se persiguen fundamentalmente tres aspectos:

La descentralización de los sistemas programables de seguridad PSS por medio de módulos E/S descentralizados

El enlace directo al SafetyBUS p de los sensores y actuadores orientados a la seguridad

El acoplamiento orientado a la seguridad de varios sistemas programables de seguridad

Los tres aspectos pueden ser realizados con eficiencia en una red SafetyBUS, por ejemplo de la forma siguiente:

Enlace directo de dispositivos de bus de campo complejos como por ejemplo robots, rejillas fotoeléctricas o escáneres.

La distribución de la lógica de control a varios sistemas programables de seguridad PSS acoplados vía SafetyBUS

Uno a más dispositivos automáticos de seguridad acoplados mediante SafetyBUS p se hacen cargo del tratamiento de los datos. El protocolo abierto de SafetyBUS p es garantía para la amplia gamma de diversos módulos de campo de diferentes fabricantes.

SafetyBUS p funciona orientado por eventos, esto es, los mensajes se envían sólo cuando ha cambiado el estado del E/S central o descentralizado o de los participantes de bus. Por este motivo SafetyBUS p es apropiado para la interconexión de instalaciones que tienen una frecuencia de mensajes diferentemente marcada y con altos requerimientos al tiempo de reacción.

#### **3.1.4. Ventajas**

Simplificación del cableado gracias a la descentralización de los dispositivos automáticos de seguridad PSS

Mayor disponibilidad de las instalaciones mediante la formación de grupos E/S

Amplio espectro para aplicaciones de seguridad mediante prueba de aceptación inclusive la categoría 4 según EN 954-1 y AK 6 DIN V 19 250.

Tiempos cortos de reacción gracias a la transmisión orientada por eventos

Reducidos tiempos de parada gracias a un soporte de diagnóstico

#### **3.1.5. Pruebas de aceptación**

SafetyBUS p es el primer sistema de bus seguro y abierto que ha pasado la prueba de aceptación de la Berufsgenossenschaft (asociación profesional para la prevención de accidentes) para la categoría 4 según EN 954-1 y del TÜV (oficina de inspección técnica) según AK 6 DIN V 19 250. Así queda garantizada la aplicación sin restricciones en sistemas de seguridad, de lo que se benefician por ejemplo los usuarios de la industria automovilista y de la industria de construcción de máquinas e instalaciones.

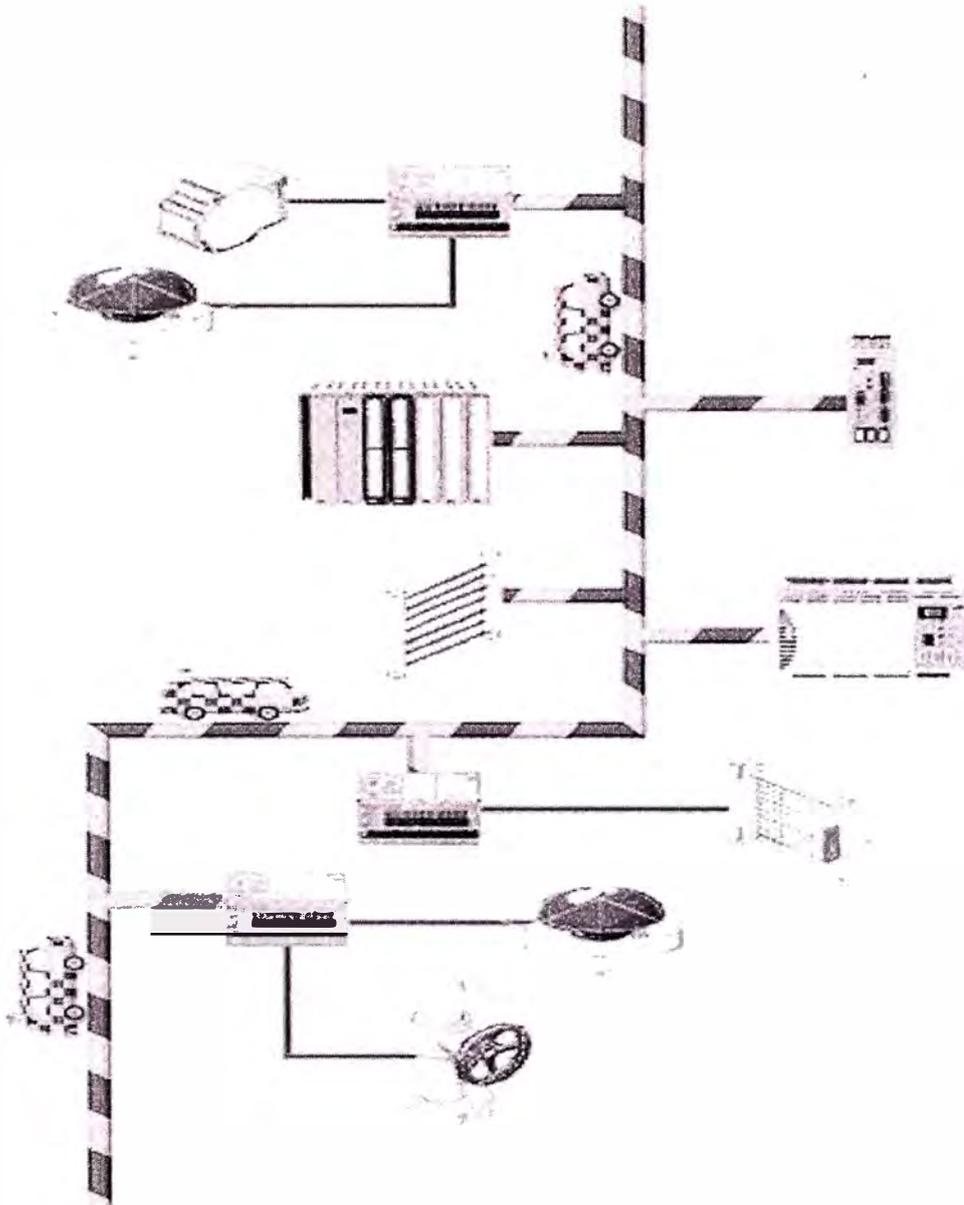


Figura 3.1 Representación del Safety BUS p

### 3.2. SafetyBUS p en el modelo OSI

#### 3.2.1. Arquitectura del SafetyBUS.

La comunicación de SafetyBUS p está especificada por las capas: 7, 2 y 1, como se muestra abajo. La capa 7 corresponde a la aplicación (en este caso SafetyBUS p) y las capas 1 y 2 al medio de transporte, es decir CAN

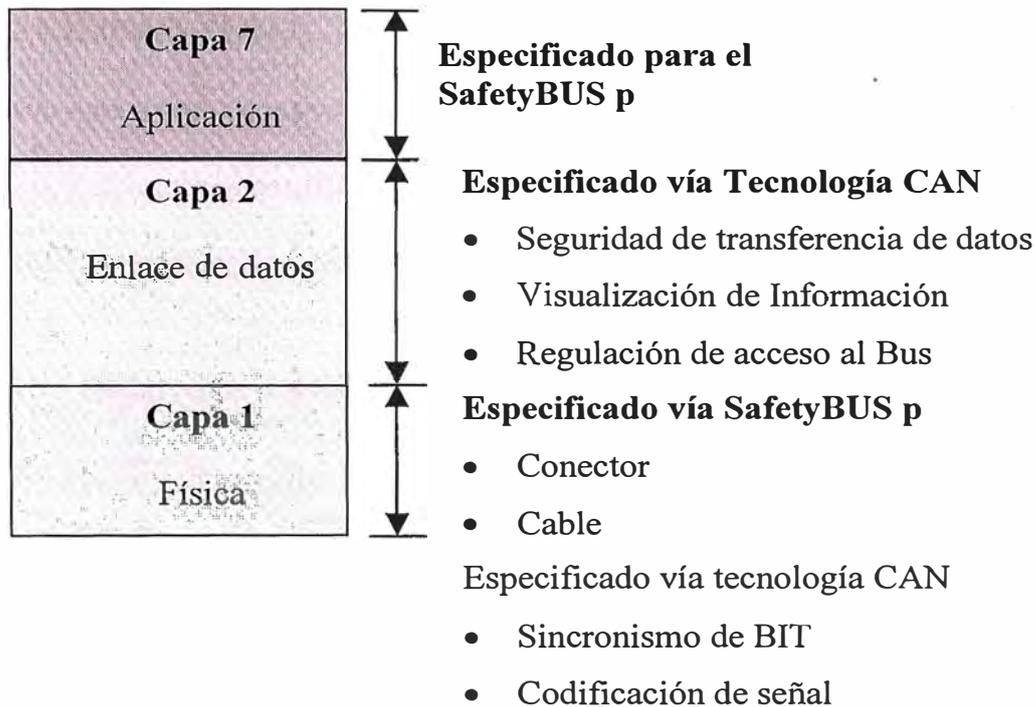


Figura3.2 Modelo de referencia OSI

### Capa De Aplicación (Capa 7):

En la capa 7 se define las características de la aplicación SafetyBUS: la redundancia, la autosupervisión de los participantes del bus, la suma del CRC, el modo eco, la supervisión de la operatividad del bus y pruebas de conexión al bus.

### Capa De Enlace de Datos (Capa 2):

La capa 2 viene especificado por los protocolos de la tecnología CAN. Controla y protege la comunicación proporcionando seguridad en la transferencia de datos y control de acceso al bus.

### **Capa Física (Capa 1):**

En esta capa se especifica las características eléctricas y mecánicas del medio físico, tales como codificación y decodificación de la señal, sincronismo de BIT y también lo correspondiente al cableado y conectividad del SafetyBUS

### **3.3. Desarrollo del SafetyBUS p**

Se decidió desarrollar el SafetyBUS p sobre la base del CAN porque la tecnología CAN es un protocolo rápido, extremadamente resistente a las averías con funcionalidad multi-maestro. La estructura física de SafetyBUS p corresponde por lo tanto al del bus CAN; sin embargo, el CAN no puede detectar todos los errores de transferencia de datos, se requieren mediciones adicionales de detección de avería, y estas mediciones adicionales convierten al bus CAN en un bus seguro, SafetyBUS p.

Algunas de las características más importantes de CAN son:

Alta resistencia a las perturbaciones ambientales (EMC)

No existe pérdida de paquetes debido a la codificación de los bits dominante o recesivo.

CRC de 15 bits para la gestión de error, con distancia de Hamming 6. Esto significa que se pueden detectar hasta 5 errores individuales de bit en una trama .

Sincronización permanente del reloj con los nodos individuales del bus utilizando los bits de corrección (un BIT complementario de corrección se inserta siempre en la trama de bits después de 5 bits idénticos)

Todos los mensajes transmitidos son reconocidos de forma consistente por los receptores enviando una trama con el bit ACK como recesivo.

### 3.3.1. Estructura del bus lineal

Hay dos ventajas principales en una topología del bus lineal:

El bus sigue siendo funcional incluso si un participante falla

Los dispositivos pueden ser agregados o retirados del bus lineal sin tener que parar todo el sistema

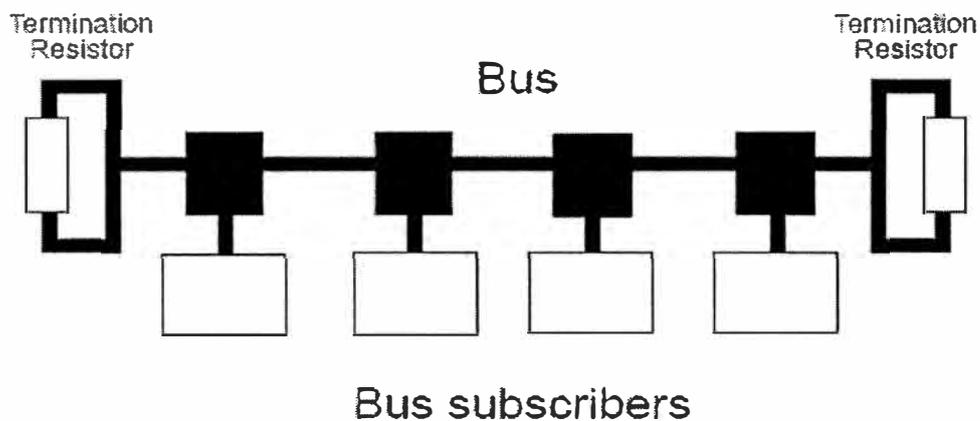


Figura 3.3 Topología de Bus lineal

### 3.3.2. El sistema de Multi-maestro

Con este tipo de sistema de comunicaciones, cada participante del bus tiene la oportunidad de poner activamente datos en el bus. Un procedimiento específico de acceso al bus asegura de que solamente el mensaje de un emisor pueda estar en el bus en un momento determinado. En cuanto a la disponibilidad, la ventaja de un sistema multi-maestro sobre un sistema de maestro simple, es que la falla de un solo participante del bus no causará la parada de todo el sistema, a menos que falle el dispositivo de gestión (MD).

### 3.3.3. Transferencia de datos evento-control y arbitraje de bits

Unas de las características que distingue a CAN con respecto a otras normas, es su técnica de acceso al medio denominada como CSMA/CD+CR o ya explicada en el capítulo anterior.

Un nodo tendrá acceso activo al bus solamente cuando ha detectado un evento, p.e. un cambio de estado en un puerto. Este principio garantiza que el bus se utilizará solamente cuando es necesario. Si varios nodos acceden al bus simultáneamente (colisión), el sistema debe detectar el mensaje con la prioridad más alta utilizando una función AND de todos los bits transmitidos simultáneamente.

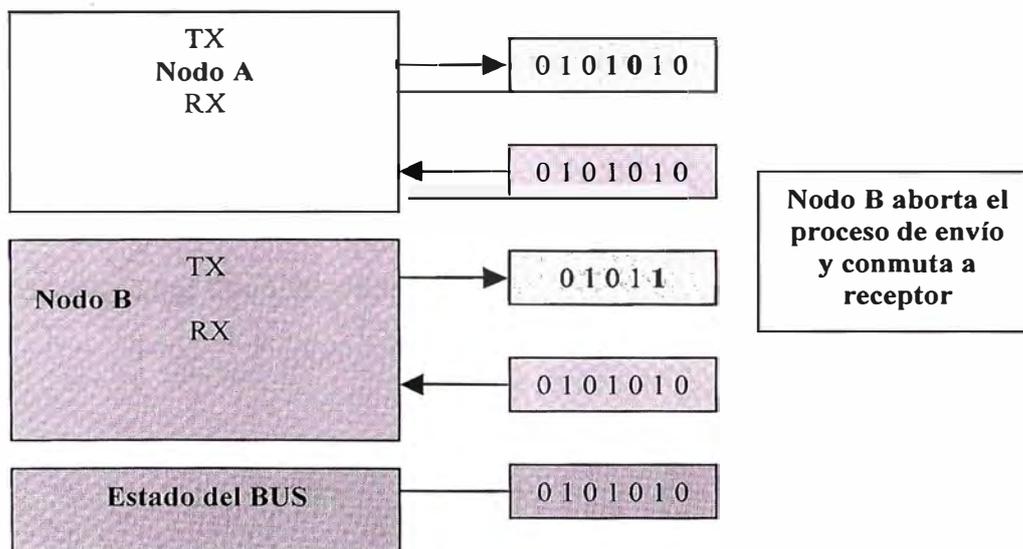


Figura 3.4 Arbitraje CAN

### 3.3.4. Estructura de la trama de mensajes

La trama de CAN está conformado por los siguientes campos:

SOF - Inicio de trama

Identificador - arbitraje

Control – Tipo de Trama

Dato – 8 bytes

CRC – Código de redundancia cíclica

ACK – Reconocimiento de Trama

EOF Final de Trama

### 3.3.5. Sistemas de seguridad programables PSS

Desde que han entrado en vigor las normas y directivas correspondientes relativas a la seguridad de hombres, máquinas e instalaciones, junto a los acreditados mandos de programa almacenado para las señales no seguras, hay uno o más circuitos para las funciones relevantes de seguridad. En el pasado, estos circuitos se solucionaban de un modo convencional, esto es, por medio de dispositivos de seguridad. Los crecientes requerimientos a las funciones técnicas de seguridad, así como su cada vez mayor complejidad, hacen que la aplicación de electrónica segura sea no sólo pertinente, sino también necesaria.

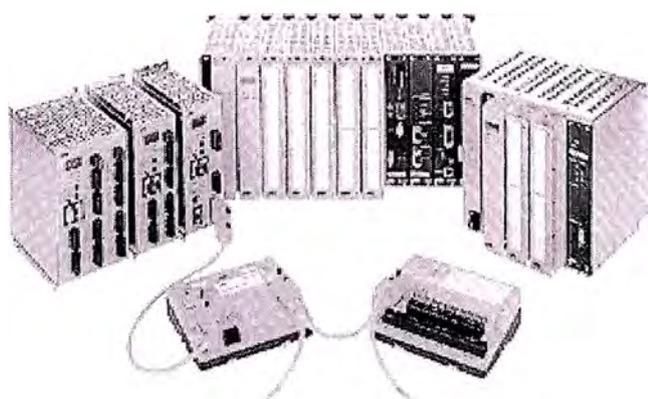


Figura 3.5 PSS programables

Una solución segura, completa y homologada en combinación con las unidades de evaluación eficaces la ofrecen los interruptores magnéticos de seguridad sin contacto PSEN tanto para la supervisión de estado como para la de puertas protectoras.

### 3.4. Participantes del SafetyBUS p

El SafetyBUS p puede tener hasta un máximo de 64 participantes, a lo largo de 3.500 metros. Los participantes del SafetyBUS p estará dentro de las siguientes categorías: Dispositivo de Gestión (MD), Dispositivos Lógicos (LD) o dispositivos de E/S (D-E/S). Un PSS con la capacidad de SafetyBUS p contendrá las tres unidades del dispositivo lógico. Los dispositivos tales como terminales de válvula, protectores de la luz y módulos E/S descentralizados (SB DI8O8 de PSS) tendrán solamente la parte de D-E/S.

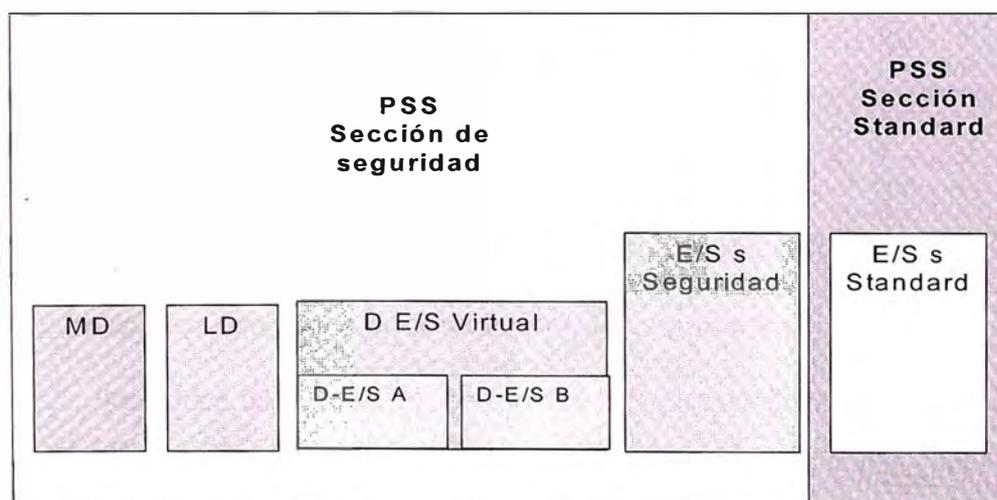


Figura 3.6 Unidades de dispositivo lógico de un PSS

### 3.4.1. El dispositivo de gestión (MD)

El MD es la base de la red SafetyBUS p y, el nombre lo dice, es responsable de la gerencia del bus. No está implicado en la transferencia de datos útiles. Sus funciones principales son las siguientes:

Comunicación de la estructura de bus y definición de la velocidad de transmisión.

Configuración de los nodos

Inicializa la prueba de conexión de todos los nodos (Inicio del bus)

Realiza la prueba de conexión durante la operación (la supervisión del latido) .

Inicia los grupos de E/S.

Explora la pila de error de bus y prepara la información de diagnóstico.

Cada red de SafetyBUS p debe tener un MD, pero solamente un MD debe estar activo en el bus.

### 3.4.2. El dispositivo Lógico

Un LD procesa datos de la E/S local y está involucrado en la transferencia de los datos útiles. Sus funciones principales son las siguientes:

Establece una conexión con los D-E/S locales durante la configuración

Realiza una prueba de la conexión con los D-E/S locales. asignados durante la configuración

Evalúa. las entradas de los D-E/S locales

Controla las salidas de los D-E/S locales

Procesa el programa de usuario.

Al menos un LD debe estar disponible en SafetyBUS p para realizar las funciones de control.

### 3.4.3. Dispositivos E/S

Los D- E/S son generalmente los participantes del bus que tienen los datos de entrada y de salida pero no están involucrados en el tratamiento lógico de la información. Proporcionan datos de E/S como utilidad a los participantes del bus con funciones complejas.

Un D-E/S se sitúa en un nodo de bus descentralizado con una interfaz para el nivel de sensor/actuador, en cada caso la imagen de entrada que el D-E/S proporciona es la imagen del dispositivo de entrada conectado. También puede estar ubicado en un nodo con funciones complejas (p.e. PSS), en este caso la imagen de la entrada es la imagen de un rango interno de memoria dentro del nodo. Esto se conoce como D-E/S virtual.

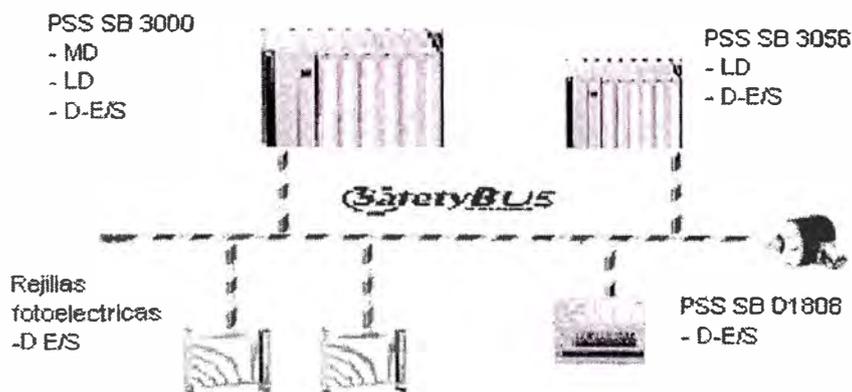


Figura 3.7 Dispositivos típicos del SafetyBUS p

Los D- E/S pueden ser por lo tanto:

Los módulos de entrada

Los módulos de salida

Los módulos de entrada y salida

Los D-E/S virtuales (PSS)

Cada D-E/S realizan independientemente todas las pruebas y funciones de supervisión necesarias para alcanzar la categoría requerida, es decir los D-E/S se supervisan a si mismo. Cada D-E/S también tiene su propia pila de error, que se puede ver a través de un dispositivo de programación (PC), o se pueden leer vía un requerimiento de diagnóstico en línea.

#### **3.4.4. Grupos de E/S**

Los D-E/S siempre se asignan a un grupo de E/S, que en SafetyBUS p puede ser hasta un máximo de 32. Los grupos se forman de acuerdo a un orden físico y funcional, para restringir las fallas funcionales y regulares las reacciones ante la presencia de dicha falla. Por ejemplo, si un participante del bus dentro de un grupo de E/S falla, sólo los participantes que pertenecen a ése grupo particular de E/S-se pondrán fuera de servicio, y con esto se aumenta considerablemente la disponibilidad de la planta.

Un ejemplo típico de un grupo de E/S-se muestra en la figura 3.8. En este ejemplo, el bus contiene varios LDs con diferentes grupos de E/S.

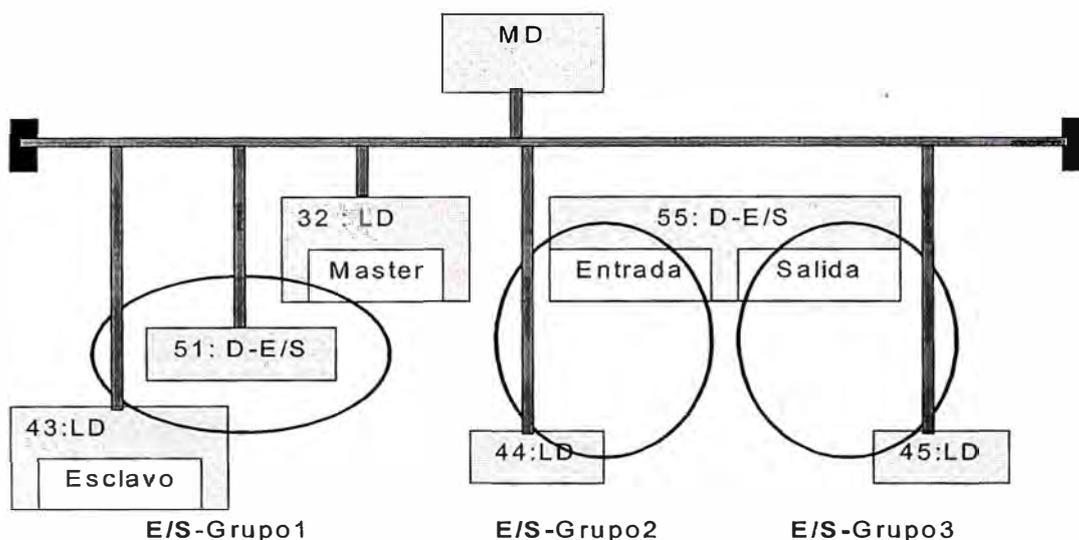


Figura 3.8 Grupo típico de E/S.

El grupo 1 de E/S: El LD con la dirección de dispositivo 32 se define como LD maestro. Esto significa que tiene acceso de lectura/escritura al D-E/S 51. El LD con la dirección de dispositivo 43 se define como esclavo LD. Esto significa que tiene solamente acceso de lectura al D-E/S 51.

Los grupos 2 y 3 de E/S : En el D-E/S 55 (p.e. PSS DI808) hay una división lógica en la asignación de entradas y salidas. Las entradas del D-E/S 55 pertenecen al grupo 2 E/S y están asignadas a LD 44. Si ocurre un error en el grupo 2 E/S sólo se cerrará el grupo 2 E/S (con seguridad). El grupo 3 E/S todavía estará completamente operativo. Las salidas en el D E/S 55 pertenecen al grupo 3 E/S y se asignan a LD 45. Si ocurre un error en el grupo 3 E/S-3, sólo se cerrará este grupo (con seguridad). El grupo 2 E/S-está completamente operativo.

### **3.4.5. Derechos de acceso**

El acceso a los datos del SafetyBUS p está controlado por los niveles de autoridad establecidos en la programación del SafetyBUS p. Existen ciertas funciones del SafetyBUS p que solo pueden accederse vía el MD, y son las siguientes:

La configuración del bus

El mantenimiento

Lectura de la pila de error de los dispositivos

Lectura del ID de fábrica de cada participante de bus individual.

Lectura del listado de configuración.

#### **Derechos de acceso al Maestro-LD:**

Un Maestro –LD está habilitado para leer las entradas y escribir las salidas en los D-E/S localizados en el grupo de E/S. El Maestro-LD tiene por lo tanto, acceso de lectura/escritura a todos los D-E/S localizados en su grupo. La conexión cruzada entre los maestros LD no esta permitido. Esto significa que dos Maestro-LDs, en el cual se activan los D-E/S virtuales, no puede tener acceso de lectura/escritura a cada uno de los otros D-E/S virtuales.

#### **Las derechas de acceso al LD-esclavo**

Cuando un Maestro-LD se configura en un grupo E/S, los otros LDs, automáticamente obtienen estado esclavo. Un LD Esclavo tiene acceso de lectura a todos los D-E/S dentro de su grupo de E/S

### 3.5. Router SafetyBUS p

En general, en todo sistema, la cantidad de los nodos, la longitud total del cable y la velocidad de transmisión están limitadas por las condiciones físicas. Estas restricciones en SafetyBUS, se salvan parcialmente con la ayuda de un Router. El PSS SB Router1 divide la arquitectura del SafetyBUS en dos segmentos lógicos A y B separados. Los segmentos del bus pueden trabajar a distintas velocidades de transmisión. Las velocidades de transmisión tienen que estar ajustadas a las respectivas longitudes de cable en el segmento de bus correspondiente.

Mediante la división en segmentos de bus se pueden lograr las siguientes mejoras: Reducción de la longitud total del cable, aumento de la velocidad de transmisión, reducción de la carga del bus mediante filtrado de tramas en el Router y alcance de una mayor longitud del cable empleando varios Routers.

El router detectará automáticamente si se ha conectado o retirado un dispositivo del bus. Las pautas con respecto al funcionamiento del cable y a la velocidad de transmisión siguen siendo válidas dentro de los segmentos individuales del bus, pero el funcionamiento de cables más largos se puede lograr conectando routers en serie, según lo demostrado en la figura 3.9

El uso de un router es particularmente ventajoso en segmentos que intercambian comparativamente poca información ó que son separados por una distancia larga, por ejemplo, el cableado del automóvil, acoplamiento de tanques o aplicaciones de presión.

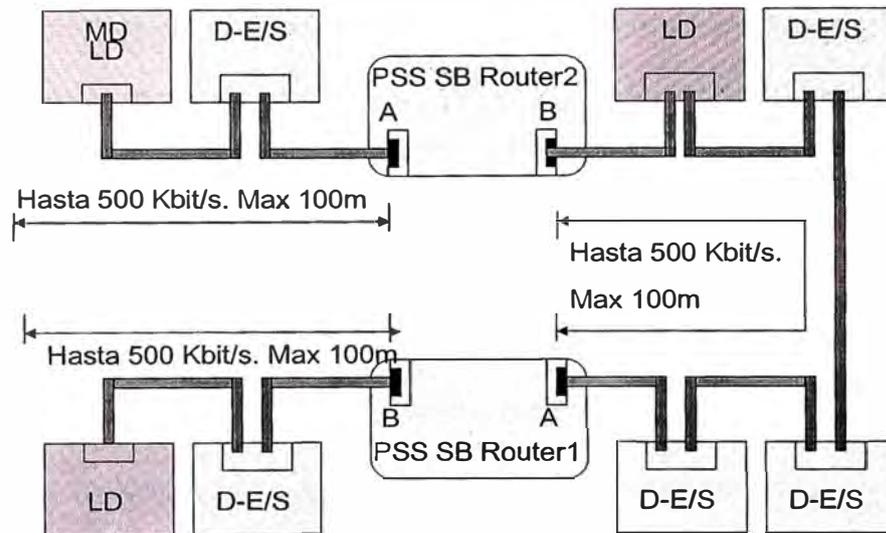


Figura 3.9 Router en serie para incrementar la longitud del Bus

### 3.6. Bridge en SafetyBUS p

El Bridge de SafetyBUS p (PSS SB BRIDGE) habilita el intercambio de información entre dos redes de seguridad SafetyBUS p completamente independientes (D- E/S A y D-E/S B), incrementando así, el número de participantes en el bus (máx. 64 participantes del bus en cada red). También aumenta la longitud total del bus en función de la velocidad de transmisión (por ej. 500 kbit/s para máx. 100 m por cada red), incrementa la disponibilidad de la planta reaccionando ante un error, independientemente en cada red. Y reduce el tiempo de reacción en ambas redes SafetyBUS p.

El Bridge se registra en cada una de las dos redes SafetyBUS p como nodo, por lo tanto ocupa una dirección de dispositivo en ambas redes. La dirección de dispositivo ocupada en la red A no debe coincidir con la de la red B. En ambas redes SafetyBUS p se puede trabajar con diferentes velocidades de transmisión. El Bridge se sincroniza automáticamente con la velocidad de transmisión existente en la

respectiva red SafetyBUS p. Para el intercambio de datos hay disponibles en cada una de las redes SafetyBUS p, 32 entradas/32 salidas digitales (virtuales).

El bridge utiliza un bloque funcional estándar, el SB 250, que organiza el intercambio de datos y gestiona las funciones del control y evalúa el programa de aplicación. El SB 250 está incluido en el paquete de software FS SB BRIDGE, que proporciona dos modos de operación definidos para el bridge:

Operación en un grupo E/S-(A y B están en el mismo grupo E/S)

Operación en dos grupos E/S- (A y B están en diferentes grupos E/S)

### **3.6.1. Operación en un solo grupo E/S**

Existen dos palabras disponibles para el emisor y receptor de datos. Se reservan dos bits en cada palabra para el protocolo de comunicaciones. El grupo E/S Maestro LD envía datos desde una red SafetyBUS p a dos parámetros del SB 250. El SB 250 escribe automáticamente el dato de envío en la salida del D-E/S virtual del bridge. Luego el Bridge transfiere los datos a la entrada del D-E/S virtual de la otra red SafetyBUS p. El SB 250 de esta red extrae automáticamente los datos recibidos desde las entradas del D-E/S virtual del bridge y lo pone a disposición de los grupos E/S-LD del parámetro de salida del SB 250.

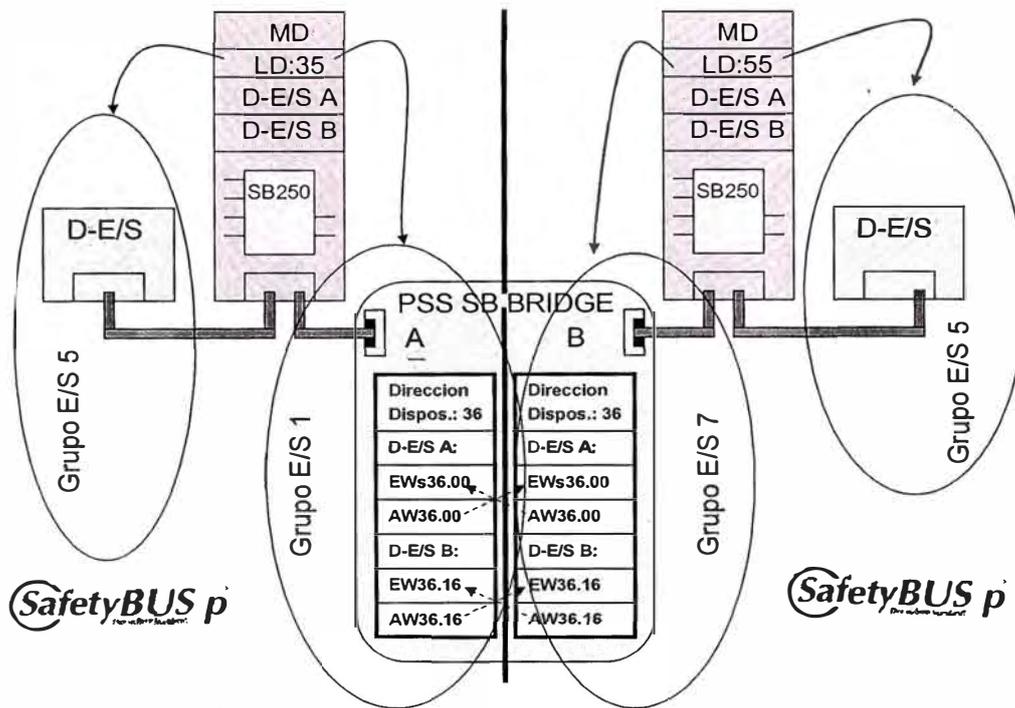


Figura 3.10 Intercambio de datos típicos en un grupo E/S

### 3.6.2. Operación en los dos grupos E/S

Cada grupo E/S tiene una palabra para los datos de envío y otra palabra para los datos de recepción. Dos bits son reservados en cada uno de ellos para el protocolo de comunicaciones. El grupo E/S Maestro LD envía datos desde una red de SafetyBUS p hacia un parámetro de entrada en el SB 250. El SB 250 escribe automáticamente los datos de envío en las salidas del E/SD virtual del bridge. El bridge entonces transfiere los datos internamente a las entradas en el E/SD virtual de la otra red de SafetyBUS p. El SB 250 en esta red extrae automáticamente los datos de la recepción de las entradas en el E/SD virtual del bridge y lo pone a disposición del grupo E/S-respectivo LD en el SB 250 parámetros de salida del SB250.

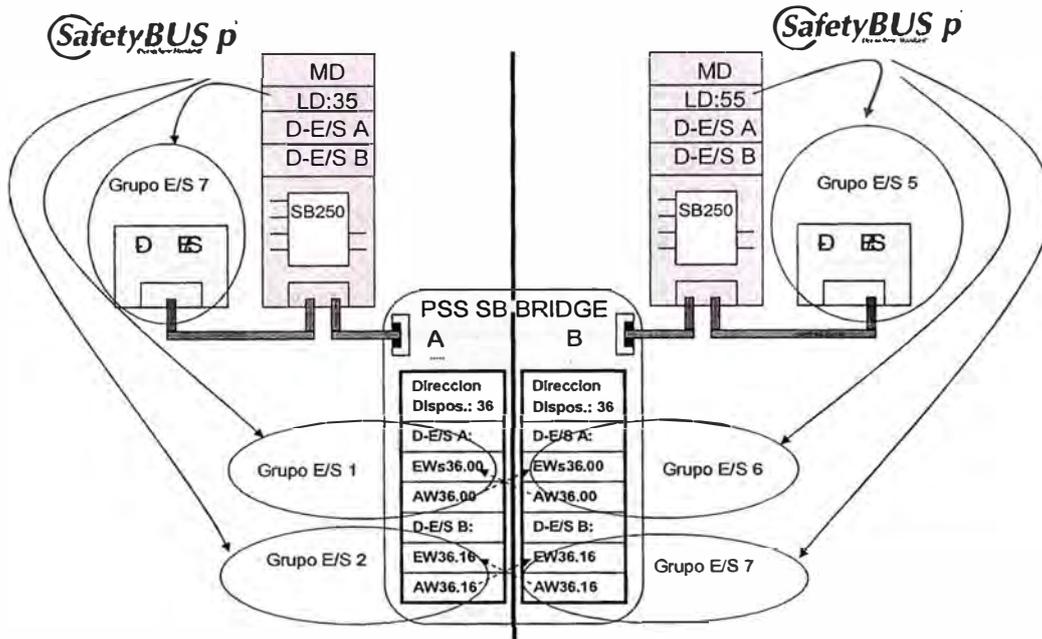


Figura 3.11 Intercambio típico de datos en dos grupos ESD

### 3.6.3. Tiempo de reacción del Bus

El tiempo de reacción del bus cubre el período entre el momento en que una señal aparece hasta el momento en el cual el sistema responde. Esto significa que el tiempo de reacción del bus se extiende desde el punto en el cual la entrada cambia (p.e. cambio de la señal a la entrada de D-E/S) hasta el punto en el cual la salida es seteada/reseteada (p.e. cambio de la señal en la salida del D-E/S). Por lo tanto el tiempo de reacción del bus incluirá el siguiente:

Tiempo de filtrado de entrada.

Tiempo de procesamiento del nodo del bus (Entrada).

Tiempo de la transmisión por el bus hacia el LD.(e.g. PSS).

Tiempo de procesamiento dentro del LD (en un PSS esto depende del tiempo de exploración).

Tiempo de transmisión por el bus hasta el nodo (salidas).

- Tiempo de procesamiento del nodo (salidas).
- Tiempo de respuesta, hasta que la salida es seteada/reseteada nuevamente.

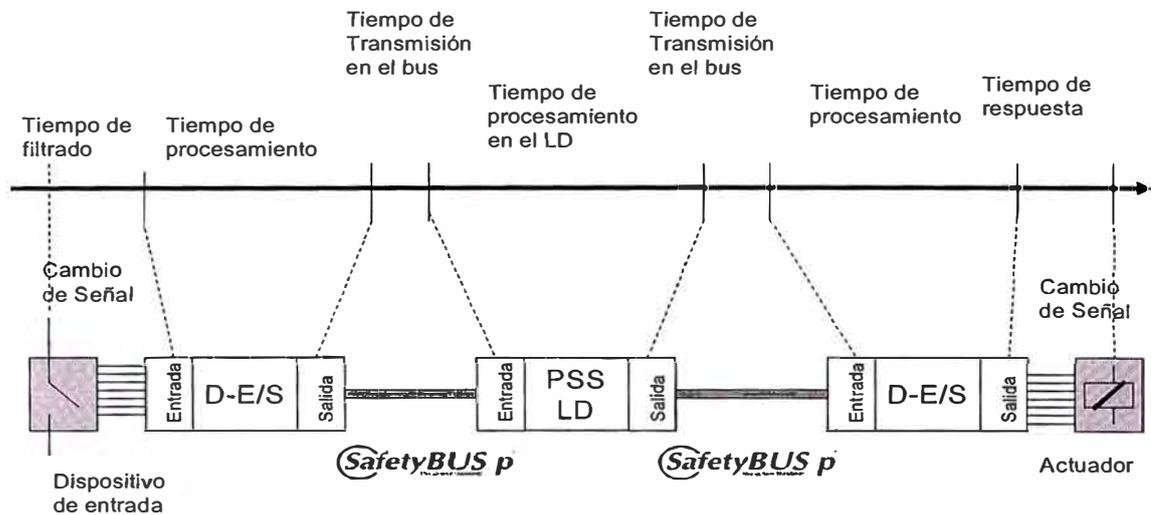


Figura 3.12 Tiempo de reacción máximo del bus

El tiempo de reacción máximo del bus está determinado por cada tiempo de reacción de los componentes individuales instalados en el bus. Muchos son los factores que intervienen en la definición del tiempo de reacción del SafetyBUS p, principalmente los participantes del bus, la configuración y la aplicación.

### 3.7. Estructura de la Trama

Las tramas del SafetyBUS p tiene un máximo de 8 bytes de longitud y consiste principalmente de una cabecera para identificar el tipo de trama, la dirección del destino, 4 bytes de datos validos y el byte de CRC. Las tramas se priorizan usando el identificador de CAN de 11 bits. La trama que tiene en el identificador el primer bit igual a "1" no es evaluado por SafetyBUS p. El identificador contiene 8 prioridades de mensaje y la dirección de envío. El identificador y el telegrama de CAN son partes componentes de la trama estandar del CAN.

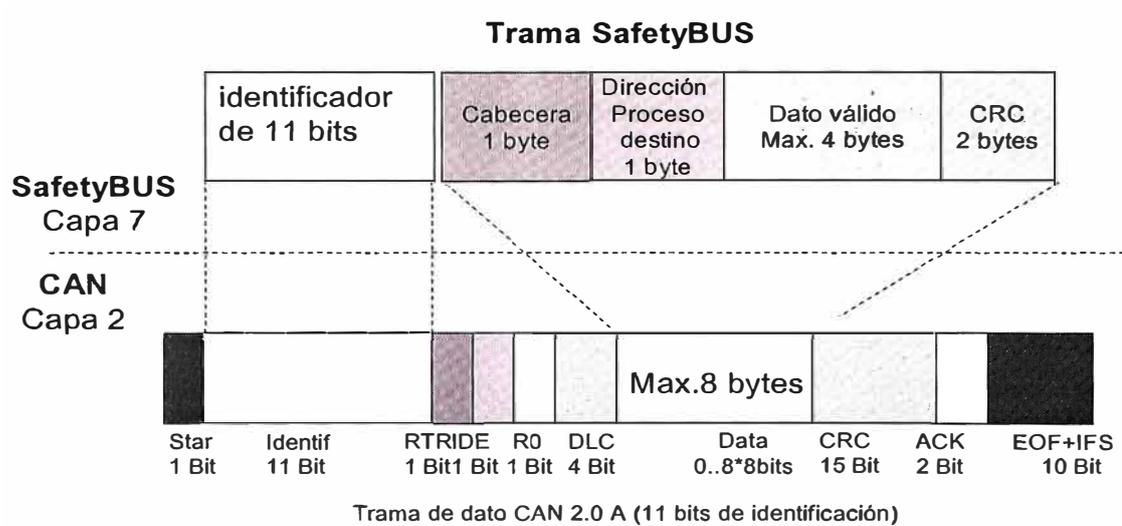


Figura 3.13 Tramas SafetyBUS dentro la trama del CAN

Las tramas de SafetyBUS p se diferencian entre las tramas de difusión, multicast y Par-a-Par. Las tramas de difusión son enviados a todos los destinatarios, las tramas multicast tienen varios destinatarios y las tramas Par a Par tienen un solo destinatario. Las tramas también se pueden agrupar con respecto a su función. Sobre un nivel de SafetyBUS p, existen los siguientes grupos de funciones con diferentes prioridades:

Prueba de Conexión

Configuración

Parada

Gestión del error

Transferencia de bit

Telegramas del grupo de difusión

Transferencia de byte

Transferencia de bloques de datos.

### **3.8. Características de la gestión de errores**

Se requieren extensas mediciones de detección de fallas para utilizar el CAN como un medio de transporte de datos relativamente seguros. La estructura de la trama del SafetyBUS p y la forma en que es gestionada, garantiza la detección segura de los siguientes errores:

Pérdida

Repetición

Inserción

Corrupción

Retardo

No todas las mediciones de detección de falla de los errores arriba mencionados se utilizan en toda la trama. Si ocurre un error, el grupo E/S afectado será parado, incluso bloqueado para no comenzar. Una medida general para salvaguardar la transferencia de las tramas es incluir la dirección de destino. Esto significa que cada receptor puede detectar si el mensaje está dirigido o no para él. Las tramas con una dirección diferente no serán procesadas

#### **3.8.1. Detectando pérdida de datos**

En muchos casos, el receptor enviará una trama de reconocimiento para confirmar que ha recibido el mensaje. Si no se recibe la trama de reconocimiento, puede asumirse que la trama se ha perdido en el camino. Las tramas de reconocimiento son supervisados generalmente con temporizaciones.

### **3.8.2. Detectando repetición e inserción**

Para el caso de las tramas controladas por eventos, el error es detectado por la inclusión de un contador de eventos. El estado del contador de eventos sobre la trama enviada se compara con el contador de eventos en la trama de reconocimiento. Esto significa que las tramas de respuesta pueden ser validadas con claridad. Para el caso de tramas de prueba de conexión, un código clave se incorpora en la trama en vez del contador de eventos. El resto del procedimiento es idéntico al del contador de eventos.

### **3.8.3. Detectando corrupción de datos.**

Así como se asegura la transferencia de las tramas, se debe garantizar la seguridad de los datos transferidos. En este caso el procedimiento utilizado es común con la transferencia serial de datos, el chequeo de errores CRC. El campo de chequeo del CRC (control por redundancia cíclico) tiene un ancho de 16 bits.

### **3.8.4. Detección de retardos**

En la programación del sistema de bus se incorporan temporizadores para habilitar la supervisión dinámica de la comunicación. Los temporizadores se utilizan para supervisar las tramas dentro de la prueba de conexión (tiempo de vida de supervisión). El temporizador del evento se utiliza para comprobar si el receptor ha reconocido los bits de datos a tiempo. El temporizador del dominio supervisa la transferencia de los campos de datos.

### 3.9. Chipset

El Chipset PSS SB CHIPSET0 del SafetyBUS p sirve para facilitar la implementación de servidores SafetyBUS p. Se encarga de la interfase del bus (BIP) y organiza por lo tanto el intercambio de datos entre el bus y el servidor.

En recepción: los datos son recibidos desde el SafetyBUS vía la unidad de protocolo de datos (Protocol Data Unit, PDU), se extraen los datos relevantes y luego se envía a la aplicación como un mensaje de información vía el puerto multifuncional (MFP)

En la operación de envío: el mensaje de información provenientes de la aplicación se escribe en el Chipset del Safety-BUS p, vía el puerto multifuncional (MFP). Ahí es convertido en una adecuada unidad de datos (PDU) y se envía a través del bus. La comunicación entre el MFP y la aplicación se realiza en forma redundante por medio de dos Chips A y B del Chipset. El sincronismo entre la aplicación y el Chipset es realizado por los buffer de memoria FIFO de transmisión y recepción; ambas pueden guardar tres informaciones.

Además de la transmisión y recepción de datos, el Chipset ejecuta las pruebas de seguridad relevante. Si se determina un error de transmisión, el Chipset dispara la desconexión del grupo al cual pertenece el servidor del SafetyBUS p.

Cada participante del SafetyBUS p tiene una identificación de dispositivo. Dicha identificación contiene la identificación del fabricante y los datos del dispositivo. La identificación de fabricante es otorgada por el Club International SafetyBUS p. Los dispositivos deben pasar por la pruebas de conformidad.

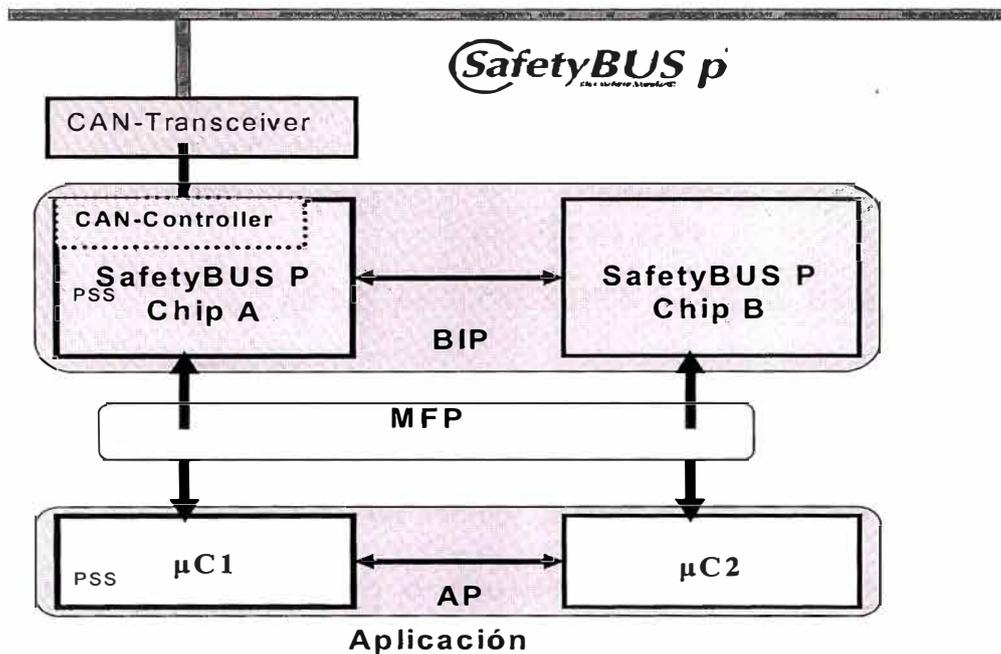


Figura 3.14 Chipset del SafetyBUS p

Es responsabilidad del usuario/fabricante del dispositivo, asegurarse de que el MFP está operando en forma segura. El Chipset asegura que los datos usables de los usuarios encajen en una trama de SafetyBUS p. También asegura que los datos usables destinados al dispositivo se extraigan de la trama SafetyBUS p.

El Chipset está diseñado para resolver los requerimientos de la categoría 4 según el EN 954-1 y la clase de exigencia 6 según DIN V 19 250.

Para que el sistema entero cumpla con los requisitos de la categoría 4 o la clase de exigencia 6, la aplicación (en el lado del dispositivo) debe estar diseñada con las mismas normas. Estas normas de la aplicación particular debe también resolver los requerimientos del SafetyBUS p, las pautas en el manual de implementación del D-E/S y cualquier otra condición de las entidades normativas.

## CAPÍTULO IV

### APLICACIONES DEL SAFETY BUS P

#### 4.1. Ventajas y beneficios del SafetyBus p

Actualmente con más de 80.000 nodos, el sistema de bus seguro y abierto SafetyBUS p se utiliza en numerosas aplicaciones y sectores. Una infinidad de usuarios se benefician día a día con las ventajas económicas como por ejemplo:

Tiempos de respuesta mucho más cortos que con sistemas de bus de campo gracias a la transmisión orientada al evento, que transporta simultáneamente los datos estándar y los datos orientados a la seguridad.

Tiempos de parada cortos de la planta o máquinas como consecuencia de la formación de grupos E/S y la opción de realizar diagnósticos integrados.

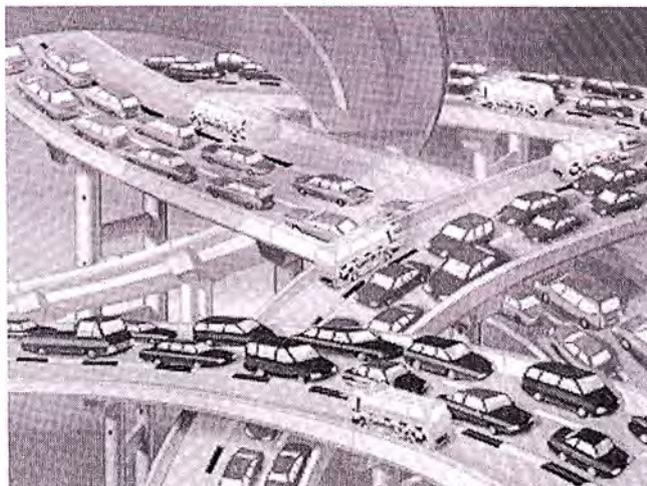


Figura 4.1 Representación de los carriles del Safety BUS

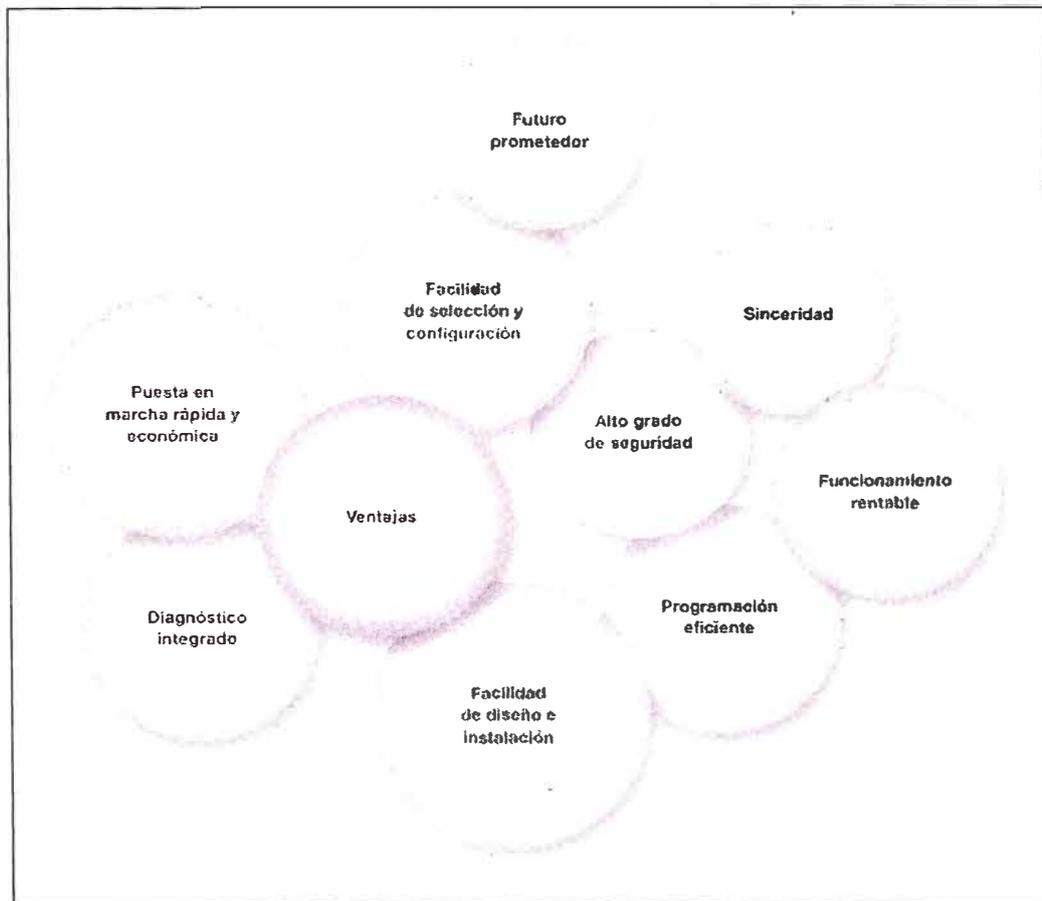


Figura 4.2 Representación de los carriles del Safety BUS p

Sistema de seguridad homologado por BG para la categoría 4 según EN 954-1 y por TUV según AK6 DIN V 19 250, que además cumple los requerimientos de CEM de la norma BWS EN 61496-1

Menor requerimiento de cableado gracias a la descentralización

Alto grado de flexibilidad para ampliaciones de la planta

Interconexión descentralizada y segura de sensores y actuadores; ya sean robots, rejas fotoeléctricas u otros dispositivos de protección, los sistemas de seguridad de otros fabricantes pueden interconectarse con toda seguridad, directamente o vía módulos E/S descentralizados

Minimización de fallas eléctricas debido una estructura de red inteligente

Conexión con todos los sistemas de bus de campo estándar existentes

Facilidad de selección, configuración, diseño e instalación programación eficiente y bloques de software fácilmente incorporables.

#### **4.2. Ejemplos de aplicación para sistemas de bus seguros**

Allí donde la seguridad, la economía y la disponibilidad juegan un papel importante es donde se ve más claras las ventajas de SafetyBUS p. Los campos de aplicación de SafetyBUS p son muy variados y van desde la industria automovilística, pasando por la tecnología alimentaria hasta la automatización de aeropuertos. A continuación se mencionan algunos ejemplos donde es posible la aplicación del SafetyBUS p.

##### **4.2.1. Industria automovilística**

La tecnología de control seguro se encuentra en todas las áreas de producción de una fábrica de automóviles. En este sector tan innovador, asociado a los productos de calidad, está la tecnología de producción correspondiente. Los pequeños ciclos de vida de los productos, que a menudo no van más allá de los 5 años, requiere un alto grado de flexibilidad sin perder de vista el aspecto económico. Sea en la obra pesada o en la prensa, se trate del esmaltado o de la técnica de transporte, el concepto de seguridad descentralizado SafetyBUS p hace posible reducir el trabajo de instalación y simplifica la puesta de servicio en planta. Las secuencias del proceso de producción pueden controlarse y coordinarse de modo seguro por medio de SafetyBUS p. El sistema de bus seguro SafetyBUS p permite por ejemplo el

funcionamiento parcial de una planta, lo cual significa que en caso de averías, trabajos de mantenimiento o remodelaciones de una planta sólo son necesarios tiempos mínimos de parada, y ello sólo en partes de la planta.



Figura 4.3 Las industrias automovilísticas aplican el SafetyBUS p

#### 4.2.2. Tecnología alimentaria

Existen pocos sectores donde el embalaje, entarimado y apilado de los artículos son tan diversos como en el sector alimentario. Junto a los requisitos de higiene prescritas, es importante la supervisión de la seguridad de los procesos de automatización. El diseño modular de las línea, requieren la aplicación de los mas variados dispositivos de seguridad, tales como parada de emergencia, puertas de protección, rejas fotoeléctricas con funciones muting etc., y aquí es donde resulta evidente la ventajas del sistema de bus seguro SafetyBUS p. Entre ellas está la considerable reducción del volumen de los armarios de distribución, las cómodas posibilidades de diagnóstico y la sencilla puesta en servicio de unidades de producción y de transporte de los diferentes fabricantes.

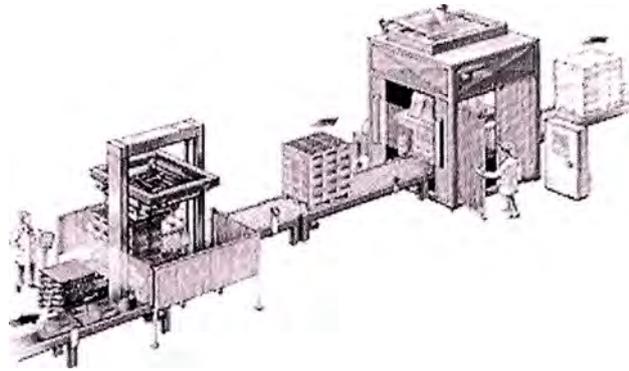


Figura 4.4 Tecnología alimentaria aplicando el SafetyBUS p

#### 4.2.3. Automatización en aeropuertos

La eficacia y la máxima disponibilidad son esenciales en los sistemas automatizados de los aeropuertos -Transporte de equipajes y mercaderías, terminales de facturación, centro de correo aéreo etc - Hombres, cartas o equipajes, todo tiene que transportarse segura y rápidamente al lugar correcto. SafetyBUS p representa la solución para las funciones de control orientadas a la seguridad para grandes distancias. Gracias a posibilidades ampliadas de diagnóstico es posible localizar averías del modo más rápido y reducir así considerablemente los tiempos de parada, y es posible efectuar trabajos de mantenimiento sin necesidad de detener la totalidad de la instalación.



Figura 4.5 Automatización de Aeropuerto - SafetyBUS p

#### 4.2.4. Carpintería de la Madera

Los procesos de producción en la industria de la carpintería de madera traen consigo un alto potencial de peligrosidad, tanto en las estaciones de procesamiento como en los dispositivos de transporte. El sistema de bus seguro SafetyBUS p cumple no sólo con los máximos requerimientos de seguridad, sino que reduce también considerablemente el cableado en plantas amplias, ya que los datos orientados a la seguridad son transmitidos al sistema de control a través de un sólo cable de bus. La puesta de servicio en planta, además, resulta simplificada, ya que en instalaciones que tienen componentes de diferentes fabricantes sólo hay que conectar mutuamente por medio del cable del bus SafetyBUS p cada una de las estaciones de elaboración, ya cableadas y con módulos descentralizados E/S equipadas por los correspondientes fabricantes.

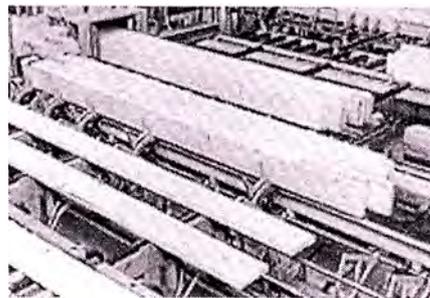


Figura 4.6 Carpintería de madera - SafetyBUS p

#### 4.2.5. Funiculares

Los pasajeros confían en que los funiculares, teleféricos y ascensores les transporten de modo seguro y fiable. La particular demanda por los funiculares aéreos, tales como hacer el puente entre la estación de la montaña y la del valle o superar los trayectos difícilmente accesibles, requieren de un concepto de seguridad

especialmente adecuado. Aquí el SafetyBUS p habilita un diseño flexible del sistema y reduce los costos por medio de la simplificación del cableado. Por ejemplo los datos orientados a la seguridad pueden transmitirse por fibras ópticas, las cuales pueden ser incorporadas en el cable de tracción.

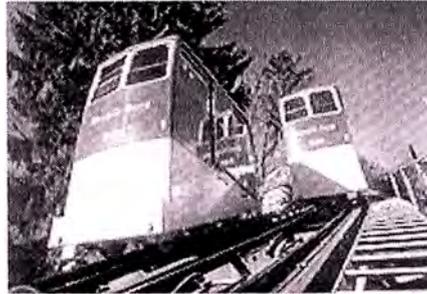


Figura 4.7 Los funiculares aplican el SafetyBUS p

#### 4.2.6. Almacén de estantes elevados

El almacén de estantes elevados se compone de una parte de entrada y otra de salida, las cuales están unidas entre sí. Los autómatas de seguridad de la familia de sistemas PSS supervisan correspondientemente la parte de entrada y la de salida y están conectados con los módulos descentralizados in situ a través del SafetyBUS p. Los dispositivos de seguridad del entorno, tales como parada de emergencia, puertas de protección y barreras fotoeléctricas, conmutadores de banda e interruptores de llave para el puentado de dispositivos de seguridad, son supervisados por el sistema de bus seguro SafetyBUS p. Los CPUs de los autómatas de seguridad PSS se comunican a través del módulo de software "Acoplamiento seguro". La comunicación con el control estándar de la instalación tiene lugar por medio de un sistema de bus estándar, por ejemplo Inter bus o Profibus.



Figura 4.8 Los almacenes de estantes elevados - SafetyBUS p

## **CAPÍTULO V**

### **EQUIPOS Y ACCESORIOS SAFETY BUS P**

A continuación se ha elaborado una vista general de los componentes de la familia de sistemas PSS y del sistema de bus abierto SafetyBUS p. Para encontrar los datos técnicos más actuales puede acceder a [www.pilz.com](http://www.pilz.com) que contiene las hojas de datos técnicos para descargar en varios idiomas.

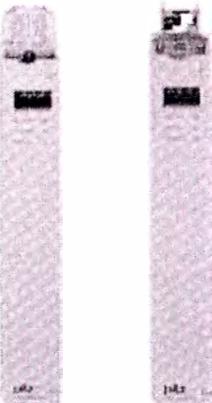
#### **5.1. Autómatas de seguridad modular para SafetyBUS p**

Los autómatas de seguridad PSS 3000 y PSS 3100 están estructurados modularmente y son así aplicables de modo flexible. Aparte de las funciones orientadas a la seguridad, es posible asumir las tareas estándar de control de una máquina, de una instalación o de un proceso. En conjunción con el sistema de bus seguro y abierto SafetyBUS p, los autómatas de seguridad programables ofrecen una seguridad económica con una alta flexibilidad.

### 5.1.1. Unidad central con conexión SafetyBUS p

#### PSS SB CPU 3, PSS1 SB CPU 3

Unidad central con algoritmos de comprobación y modo de construcción redundante para la construcción de controles orientados a la seguridad con conexión al SafetyBUS p.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión SafetyBUS p</li> <li>• Certificados de homologación de tipos para tarjetas Fail-safe</li> <li>• Unidad central de alto rendimiento con procesamiento ultrarrápido de programas</li> <li>• Procesamiento sin reacción de un programa Fail-safe (FS) y un programa estándar (ST)</li> <li>• Componentes verificados para las principales funciones, como por ejemplo parada de emergencia, reducen los tiempos de desarrollo y de puesta en marcha</li> <li>• Interface de comunicación programable y disponible a voluntad.</li> </ul>
---	---

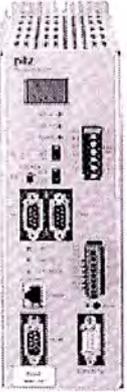
## **5.2. Autómatas de seguridad compactos para SafetyBUS p**

Los autómatas de seguridad compactos de la familia de sistemas PSS con conexión de SafetyBUS p permiten realizar un control completo orientado a la seguridad de una máquina, de una instalación o de un proceso. Están contruidos como controles compactos dentro de una carcasa y ofrecen una solución segura y económica para aplicaciones centrales y descentralizadas orientadas a la seguridad sobre una base electrónica.

### 5.2.1. PSS SB 3006 ETH

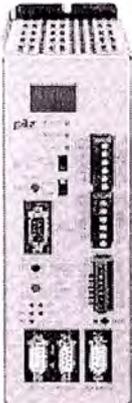
Autómata de seguridad en compacto modo de construcción con interfase de SafetyBUS p y de Ethernet.

Gracias a su estructura diversitaria de 3 canales es apropiado para funciones orientadas a la seguridad.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones Fail-safe según EN 954-1, 03/97 hasta cat. 4 y DIN V 19 250, 05/94 hasta AK 6</li> <li>• Interface SafetyBUS p</li> <li>• Interface Ethernet 10BaseT</li> <li>• 6 entradas digitales hasta cat. 2 (en conexión con salidas de tacto hasta cat. 4)</li> <li>• Salidas de tacto separadas</li> <li>• Para funciones orientadas a la seguridad y para funciones estándar</li> <li>• Poco requerimiento de espacio</li> <li>• Alta velocidad de procesamiento para secuencias de campo crítico</li> <li>• Es posible conectar un acoplador de conductor de onda de luz al SafetyBUS p.</li> </ul>
---	---

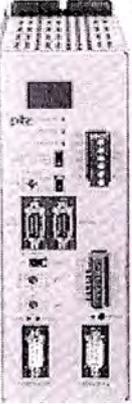
### 5.2.2. PSS SB 3006 IBS-S

Autómatas de seguridad en compacto modo de construcción con interface de SafetyBUS p y de Interbus-S. Gracias a su estructura diversitaria de 3 canales es apropiado para funciones orientadas a la seguridad.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de seguridad completo y sin lagunas para todas las exigencias</li> <li>• Aplicaciones Fail-safe según EN 954-1, 11/94 hasta cat. 4 y DIN V 19 250, 01/89 hasta AK 6</li> <li>• Interface SafetyBUS p</li> <li>• Interface Interbus-S (incl. PCP)</li> <li>• 6 entradas digitales hasta cat. 2 (en conexión con salidas de tacto hasta cat. 4)</li> <li>• Salidas de tacto separadas</li> <li>• Para funciones orientadas a la seguridad y para funciones estándar</li> <li>• Poco requerimiento de espacio</li> <li>• Alta velocidad de procesamiento para secuencias de campo crítico</li> <li>• Es posible la conexión de un transformador electroóptico al interface Interbus.</li> </ul>
--	--

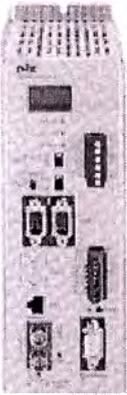
### 5.2.3. PSS SB 3006 DP-S

Autómatas de seguridad en compacto modo de construcción con interface de SafetyBUS p y de Profibus-DP. Gracias a su estructura diversitaria de 3 canales es apropiado para funciones orientadas a la seguridad.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de seguridad completo y sin lagunas para todas las exigencias</li> <li>• Aplicaciones Fail-safe según EN 954-1, 11/94 hasta cat. 4 y DIN V 19 250, 01/89 hasta AK 6</li> <li>• Interface SafetyBUS p</li> <li>• Interface Profibus-DP</li> <li>• Interface de usuario RS 232 adicional</li> <li>• 6 entradas digitales hasta cat. 2 (en conexión con salidas de tacto hasta cat. 4)</li> <li>• 2 salidas de tacto separadas</li> <li>• Para funciones orientadas a la seguridad y para funciones estándar</li> <li>• Poco requerimiento de espacio</li> <li>• Alta velocidad de procesamiento para secuencias de campo crítico.</li> </ul>
---	--

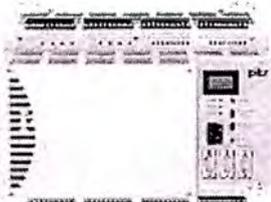
#### 5.2.4. PSS SB 3006 CN-A

Autómata de seguridad en compacto modo de construcción con interface de SafetyBUS p y de ControlNet. Gracias a su estructura diversitaria de 3 canales es apropiado para funciones orientadas a la seguridad.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de seguridad completo y sin lagunas para todas las exigencias</li> <li>• Aplicaciones Fail-safe según EN 954-1, 11/94 hasta cat. 4 y DIN V 19 250, 01/89 hasta AK 6</li> <li>• Interface SafetyBUS p e Interface ControlNet</li> <li>• Bus redundante</li> <li>• Direcciones de bus configurables</li> <li>• Visualización de diagnóstico</li> <li>• 6 entradas digitales hasta cat. 2 (en conexión con salidas de tacto hasta cat. 4)</li> <li>• Salidas de tacto separadas</li> <li>• Para funciones orientadas a la seguridad y para funciones estándar</li> <li>• Poco requerimiento de espacio y alta velocidad de procesamiento para secuencias de campo crítico.</li> </ul>
---	--

### 5.2.5. PSS SB 3056

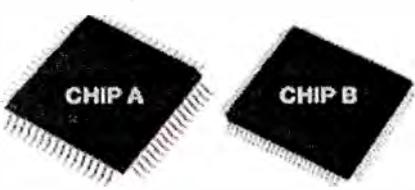
Autómata de seguridad descentralizado en modo de construcción compacto, apropiado para funciones orientadas a la seguridad gracias a su estructura diversitaria de 3 canales.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Conexión SafetyBUS p</li><li>• Concepto de seguridad completo y sin lagunas para todas las exigencias</li><li>• Aplicaciones Fail-safe según EN 954-1, 11/94 hasta cat. 4 y DIN V 19 250, 01/89 hasta AK 6</li><li>• Para funciones orientadas a la seguridad y para funciones estándar</li><li>• Poco requerimiento de espacio</li><li>• Alta velocidad de procesamiento para secuencias de campo crítico.</li></ul>
--	---

### 5.3. Accesorios para SafetyBUS p

#### Chipset : PSS SB CHIPSET0

Chipset que permite el enlace al SafetyBUS p de las aplicaciones orientadas a la seguridad.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Doblemente redundante, acoplamiento variado al SafetyBUS p</li><li>• Diseño del Chipset para aplicaciones hasta la categoría 4 según EN 954-1 y clase de requerimiento 6 según DIN V 19 250.</li><li>• Interface unificado para la comunicación entre aplicación e interface de SafetyBUS p</li><li>• Posibilidad de una transmisión segura de datos de parámetros.</li></ul>
---	---

### 5.3.1. Reflectómetro para SafetyBUS p

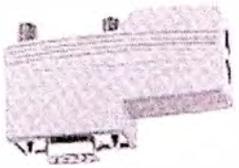
#### REFLECTÓMETRO PSS SB

Dispositivo para comprobar las propiedades físicas del SafetyBUS p (capa física).

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Realización de pruebas de cableado, pruebas de señales, mediciones de longitud y mediciones en tiempo real</li><li>• Registro de los resultados de las comprobaciones en un dispositivo portátil compatible con PC independiente de red gracias a funcionamiento con batería disponible con panel de control en alemán, inglés y francés.</li></ul>
--	---

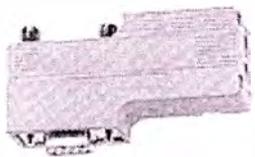
### 5.3.2. PSS SB SUB-D0 - conector de bus

Conector para la conexión de participantes de SafetyBUS p a un cable de bus (Cu).

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia de terminación enroscable (adjunta)</li> <li>• Descarga de tracción atornillada.</li> </ul>
---	--

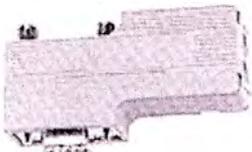
### 5.3.3. SS SB SUB-D1 - conector de bus

Conector para la conexión de participantes de SafetyBUS p a un cable de bus (Cu).

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia de terminación conectable desde fuera (separación automática del thread de salida del bus)</li> <li>• Descarga de tracción integrada</li> <li>• Robusta carcasa de plástico.</li> </ul>
---	--

#### 5.3.4. PSS SB SUB-D3 - conector de bus

Conector para la conexión de participantes de SafetyBUS p a un cable de bus (Cu)

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia de terminación conectable desde fuera (separación automática del thread de salida del bus)</li> <li>• Descarga de tracción integrada</li> <li>• Robusta carcasa de plástico</li> <li>• Tendido recto de cable</li> <li>• Longitud de corte de los conductores uniforme.</li> </ul>
---	---

#### 5.3.5. PSS SB SUB-FO1 - conector de bus

Conector para la conexión de participantes de SafetyBUS p a un cable de bus (Cu).

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características</li> <li>• Convertidor de conductor de onda de luz con transferencia de datos con fibra óptica de índice de gradiente 50/125<math>\mu</math> o 62,5/125<math>\mu</math></li> <li>• Conexión óptica: ST</li> <li>• Se requiere una tensión de alimentación de 5 V DC</li> <li>• Robusta carcasa de plástico.</li> </ul>
---	---

### 5.3.6. PSS SB BUSCABLE0

Cable de bus.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• De tres líneas</li><li>• Para transmisión de datos</li><li>• Para instalaciones fijas (p.ej canal de cables).</li></ul>
---	---

### 5.3.7. PSS SB BUSCABLE0 MOVE

Cable de bus.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De tres líneas</li> <li>• Para transmisión de datos</li> <li>• Para instalaciones flexibles (p.ej cadenas de arrastre).</li> </ul>
---	---

### 5.3.8. PSS SB BUSCABLE0 HC

Cable de bus.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De 4 líneas más línea de apantallamiento</li> <li>• Para transmisión de datos</li> <li>• Líneas integradas para el suministro de módulos de campo (High Current)</li> <li>• Para instalaciones fijas (p.ej canal de cables).</li> </ul>
---	--

### 5.3.9. PSS SB BUSCABLE0 LC

Cable de bus.

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• De 4 líneas más línea de apantallamiento</li><li>• Para transmisión de datos</li><li>• Líneas integradas para el suministro de módulos de campo (Low Current)</li><li>• Para instalaciones fijas (p.ej canal de cables.</li></ul>
---	---

## 5.4. Dispositivos de PARADA DE EMERGENCIA

### Supervisores de puertas protectoras, dispositivos de barrera fotoeléctrica

El PNOZ es primer dispositivo mundial de PARADA DE EMERGENCIA, así como también el que más frecuentemente se emplea en todo el mundo. Los supervisores de puertas protectoras garantizan una desconexión fiable al abrir una puerta de protección de movimientos que son fuente de peligro

Los dispositivos de protección sin contacto (BWS) son sistemas ópticos que se instalan delante de una fuente de peligro de tal manera que cuando detectan una aproximación (de una persona) se detiene el movimiento peligroso.

#### 5.4.1. Supervisores de puertas protectoras

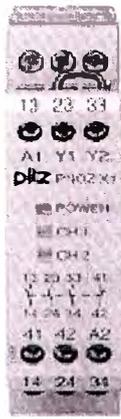
Dispositivos de PARADA DE EMERGENCIA, supervisores de puertas protectoras, Categoría 4, EN 954-1 PNOZ X2P

Dispositivo de PARADA DE EMERGENCIA y supervisor de puerta protectora según VDE 0113-1, 11/98 y EN 60204-1, 12/97

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modo de conexión bicanal con detección de derivaciones</li> <li>• Tensión de alimentación: 24 V AC/DC, 48 ... 240 V AC/DC</li> <li>• Tensión de alimentación 48 ...240 V AC/DC: Circuito de entrada con separación galvánica</li> <li>• A elección, rearme automático o supervisado</li> <li>• Bornes de conexión enchufables</li> </ul>
---	---

### 5.4.2. Supervisores de puertas protectoras, Categoría 2, EN 954-1 PNOZ X1

Dispositivo de PARADA DE EMERGENCIA y supervisor de puerta protectora según VDE 0113-1, 11/98, EN 60204-1, 12/97 e IEC 204-1, 11/98

	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excitación monocanal</li> <li>• Tensión de alimentación: 24 V AC/DC</li> <li>• 3 contactos normalmente abiertos y 1 contacto normalmente cerrado en 22,5 mm de ancho</li> </ul>
---	--

### 5.4.3. Supervisor de puertas protectoras, categoría 4, EN 954-1-PNOZ e1p

Un dispositivo universalmente aplicable de la familia de productos PNOZelog, que cubre todas las aplicaciones de seguridad según EN 954-1 desde PARADA DE EMERGENCIA hasta barreras fotoeléctricas.

#### Características

- A elección, rearme supervisado o automático
- 2 salidas de seguridad en técnica de semiconductores
- 1 salida auxiliar en técnica de semiconductores
- Salida auxiliar conmutable como salida de diagnóstico
- Supervisión de derivaciones seleccionable
- Aplicaciones según EN 954-1, 7/96, categoría 2, 3 ó 4
- Autocomprobación después de poner UB
- Autosupervisión permanente

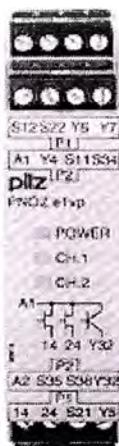


- Comprobación de desconexión periódica de todas las salidas de seguridad
- Carcasa de construcción estrecha de 22,5 mm
- Bornes insertables

#### 5.4.4. Supervisor de puertas protectoras, categoría 4, EN 954-1 - PNOZ e1vp

Un dispositivo universalmente aplicable que cubre todas las aplicaciones de seguridad según EN 954-1 desde PARADA DE EMERGENCIA hasta barreras fotoeléctricas. Característica adicional: La función de retardo

##### Características



- Funciones igual que PNOZ e1p
- El primer PNOZ del mundo con la categoría de seguridad 4: Salida inmediata de seguridad (categoría 4) y salida retardada de seguridad (categoría 4)
- 16 tiempos seleccionables
- Posibilidades de vinculación lógica (Y/O)

#### 5.5. Control Muting

'Muting' es el puentado automático, seguro y transitorio de una barra inmaterial de seguridad (EN 61496-1 A.7).

Muting se emplea a menudo para transportar material dentro de una zona peligrosa o para sacarlo de la misma. Los sensores muting sirven para la detección

segura de ese material. Para ello, la mayoría de las veces, se puentean transitoriamente barreras o cortinas fotoeléctricas, y lámparas muting señalizan este estado.

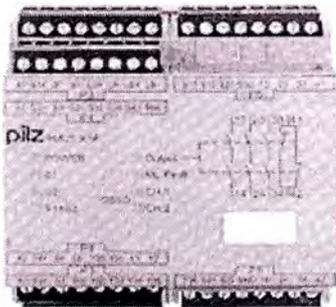
El dispositivo de seguridad PMUT X1P puede funcionar, independientemente del fabricante, con sensores muting tales como barreras fotoeléctricas, interruptores de aproximación, iniciadores inductivos y conmutadores mecánicos

### 5.5.1. Control Muting, categoría 4 según EN 954-1 PMUT X1P

Dispositivo para el puentado durante un tiempo breve de funciones de seguridad (Muting) según EN 61 496-1

#### Características

- Hasta 4 sensores muting
- Supervisión de las lámparas muting
- Conmutación de las lámparas muting
- Muting paralelo y serie
- Supervisión de simultaneidad
- 5 salidas por semiconductor
- Entrada de reset
- Función de "marcha libre" en caso de avería por medio de un interruptor de llave
- Indicadores de estado LED
- Bornes insertables



## 5.6. Dispositivos de mando a dos manos

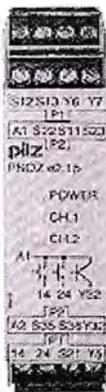
Los polifacéticos relés de dos manos de Pilz supervisan el accionamiento seguro de soluciones de manejo a dos manos en prensas y máquinas comparablemente peligrosas y garantizan que ambas manos se encuentran fuera de la zona de peligro al accionar la máquina

### 5.6.1. Clase de exigencia IIC según EN 574 - PNOZ e2.1p

El dispositivo de seguridad electrónico de la familia de productos PNOZelog

#### Características

- El dispositivo es adecuado para su montaje en controles para prensas para el trabajo de metales como módulo de simultaneidad.
- Salidas en técnica de semiconductores: 2 salidas de seguridad 1 salida auxiliar y 2 salidas de impulso
- Salida auxiliar conmutable como salida de diagnóstico
- Entradas Y y entrada O para la vinculación lógica de varios dispositivos PNOZelog
- Supervisión de derivaciones mediante salidas de impulso
- Indicación de estado
- Circuito de realimentación para la vigilancia de contactores externos
- Tensión de alimentación: 24 V DC



### **5.7. Dispositivos de alfombra de seguridad**

Las alfombras de seguridad son los únicos dispositivos de seguridad que no funcionan con contactos de guía forzosa, sino mediante contactos de trabajo. Las alfombras de seguridad son utilizadas por ello principalmente, por así decir, como protecciones secundarias. Esto es, el límite a la zona de seguridad se vigila por medio de un BWS en tanto que el suelo de detrás lo es por medio de una alfombra de seguridad.

### 5.7.1. Alfombrillas de seguridad

#### Categoría 3 según EN 954-1PNOZ e4.1p

Dispositivo de evaluación para alfombrillas de seguridad según EN 1760-1 y DIN EN ISO 13 856-1, 08/01

#### Características

- Ámbito de aplicaciones según EN 954-1, 07/96, categoría 3
- Para la conexión de alfombrillas de seguridad Mayser  
Modelo: SM/BK
- Adecuado para conectar como dispositivo de evaluación a PSS/SafetyBUS p/PNOZmulti
- Salida auxiliar conmutable como salida de diagnóstico
- Una entrada Y y una entrada O para la vinculación Y/O de varios dispositivos PNOZelog
- Autosupervisión permanente
- Disponible con/sin función de reposición
- Tensión de alimentación: 24 V DC
- Salidas: en técnica de semiconductores, 2 salidas de seguridad, 1 salida auxiliar
- Poder de corte: DC1: 24 V/2 A
- Dimensiones (Al x An x P) 87 x 22,5 x 121 mm



## 5.8. Relés temporizadores seguros

Los relés temporizadores seguros de Pilz evitan, en conjunción con dispositivos de PARADA DE EMERGENCIA y supervisores de puertas protectoras también de Pilz, el acceso a la máquina antes de que hayan finalizado los movimientos peligrosos

### 5.8.1. Relé temporizador de reacción retardada PZA

Relé temporizador de reacción retardada según VDE 0113-1, 11/98, EN 60204-1, 12/97, EN 1088, 12/97 y IEC 204-1, 11/98



#### Características

- Circuitos temporales autosupervisados
- Liberación de dispositivos de protección bloqueados después de un tiempo seguro

## 5.9. Dispositivos de supervisión de seguridad

Por medio de los dispositivos de supervisión se lleva a cabo una vigilancia segura de las revoluciones, de la parada y del control de marcha por inercia, y ellos impiden también el acceso a la máquina antes de que hayan finalizado los movimientos peligrosos.

### 5.9.1. Parada PSWZ X1P

Supervisores de parada según VDE 0113, 11/98, EN 60204-1, 12/97, EN 1088 apartado 7.4 y IEC 204-1, 11/98

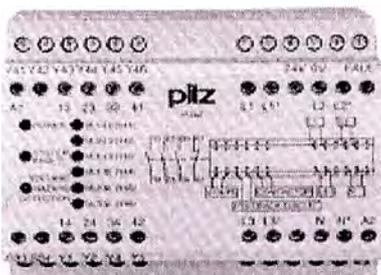
#### Características

- Supervisión segura de paradas Excitación
- Excitación monocanal o bicanal
- No se precisan componentes externos
- Supervisión de simultaneidad
- Notificación de error si se rebasa la simultaneidad
- Entrada de reset
- Detección de rotura de conductor
- Aptitud condicionada para funcionamiento con convertidor de frecuencia
- Autocomprobación automática
- Bornes de conexión enchufables (bornes de tornillo o de muelle)



### 5.9.2. Supervisor de tensión

Según VDE 0113, EN 60204-1, EN 1088 y IEC 204-1



#### Características

- Supervisa con seguridad la tensión en redes de corriente trifásica
- Supervisa redundantemente la liberación de instalaciones
- Detecta la presencia de tensiones residuales
- Detección de rotura de conductor
- Autocomprobación automática
- Rearme automático o manual

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El sistema Safety Bus establece una comunicación segura en una red de sensores y actuadores binarios con aplicaciones en seguridad industrial.

La mayoría de los sistemas de bus establecidos en el sector industrial no cumplen con los requerimientos de una interconexión "segura". Por esta razón es necesario completar el espectro de los buses de campo con los sistemas de bus seguros. La interconexión orientada a la seguridad le ofrece al usuario las mismas ventajas a las que ya se está acostumbrado con los sistemas de bus de campo tradicionales.

El protocolo abierto del sistema de bus seguro SafetyBUS p posibilita el enlace de diversos módulos de campo de otros fabricantes. Además de ello, con ayuda de un sistema de bus seguro es posible interconectar controles orientados a la seguridad de la familia de sistemas PSS.

Se recomienda continuar con la investigación del sistema de bus seguro SafetyBUS , y difundir las ventajas de su aplicación . Las empresas nacionales requieren de sistemas automáticos seguros que le ayuden a aumentar su producción, reducir sus costos y mejorar su calidad, de manera que pueda ser competitiva en esta era de la globalización.

## **APÉNDICE A: GLOSARIO**

### **Definiciones en redes de comunicación**

#### **BWS Berührungslos Wirkende Schutzeinrichtungen**

Dispositivos de protección sin contacto. Son sistemas ópticos que se instalan delante de una fuente de peligro de tal manera que cuando detectan una aproximación (de una persona) se detiene el movimiento peligroso.

#### **DATOS**

Información útil que se pretende intercambiar entre sistemas (Ej. texto o datos numéricos).

#### **CONTROL**

Información adicional necesaria para facilitar la comunicación y/o la interpretación de los mensajes.

#### **MENSAJE**

Conjunto de bits que engloban datos y control, emitidos desde un sistema a otro.

#### **NODO o ESTACION**

Terminal de enlace en una red o punto de enlace entre redes de distinto rango.

#### **PROTOCOLO**

Conjunto de reglas para determinar que sistema debe emitir y cual debe recibir. Normalmente se engloban aquí las señales que se emplean en los conductores y las reglas de interpretación de los bits de control y datos.

#### **BUS**

Conjunto de conductores compartidos por dos o más sistemas. La comunicación a través de un bus implica que sólo uno de los terminales conectados podrá enviar datos en un instante determinado.

### **CSMA/CD+CR**

Carrier Sense, Multiple Access/Colission Detection + Collision Resolution" (Acceso múltiple con detección de portadora, detección de colisión más resolución de colisión).

### **COMUNICACION SERIE**

La información se transmite por unos pocos conductores bit a bit.

### **COMUNICACION PARALELO**

Emplea más conductores que la comunicación serie, para poder transmitir de forma simultanea dos o más bits de información.

### **CONEXION PUNTO A PUNTO**

Conexión en la que intervienen sólo dos terminales o sistemas, cada uno a un extremo de la línea de comunicación.

### **CONEXION MULTIPUNTO**

Conexión de más de dos terminales o sistemas a una misma línea o bus.

### **EMC Compatibilidad electromagnética**

Es la aptitud de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en un ambiente electromagnético, sin introducir perturbaciones intolerables en ese ambiente o en otros equipos y soportar las producidas por otros equipos del mismo ambiente de trabajo.

### **ENLACE SIMPLE**

Comunicación entre dos terminales que sólo permite flujo de datos en un sentido (de emisor a receptor).

### **ENLACE HALF DUPLEX**

Comunicación entre dos terminales que permite flujo de datos en ambos sentidos, pero no simultáneamente, empleando los mismos cables.

### **ENLACE FULL DUPLEX**

Comunicación entre dos terminales con posibilidad de flujo simultáneo de datos en ambos sentidos. Requiere líneas independientes de transmisión y recepción.

### **PSS**

Sistema de seguridad programable

### **TERMINAL**

Equipo que dispone al menos de un canal para transmitir y/o recibir información digital.

### **WAN**

Wide Area Network, red de área amplia que comunica terminales alejados a través de líneas telefónicas o enlaces de uso público.

### **MAESTRO**

Es un dispositivo o sistema que tiene el control de la línea de comunicación, estableciendo que sistemas deben responder.

### **ESCLAVO**

Es un dispositivo o sistema a las órdenes de un maestro, sólo puede enviar datos o recibirlos si el sistema maestro lo indica.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] "Autómatas programables" Joseph Balcells, José Luis Romeral Serie Mundo Electrónico, Marcombo editores.

[2]"Profibus Overview" Siemens AUT PDF disponible en su servidor Web.

[3] "Redes locales en entornos industriales: Buses de campo", Sirgo J.A, Universidad de Oviedo, 1997.

[4] [www.fieldbus.org](http://www.fieldbus.org) , Fieldbus Organization.

[5] [www.safetybus.com](http://www.safetybus.com)

[6] [www.pilz.com](http://www.pilz.com)