iPOLYCOND

conductive polymers

Español

Imagina que ...

Tu teléfono móvil está sobre el escritorio, cerca del altavoz del ordenador. Unos segundos antes de recibir una llamada o un mensaje de texto, se escucha un zumbido. ¿Es que el altavoz puede predecir el futuro? De ninguna manera. Lo que pasa es que el cable conectado al altavoz actúa como una antena que recoge y amplifica la señal que recibe de la red de telefonía móvil. Este es un ejemplo típico de interferencia electromagnética entre componentes electrónicos que constata la existencia de campos electromagnéticos a nuestro alrededor.

Para resguardar dispositivos electrónicos de interferencias electromagnéticas no deseadas, normalmente se coloca un material protector entre la fuente del campo electromagnético y el componente susceptible.

Los compuestos plásticos conductores descritos en el proyecto iPolyCond se encuentran entre aquellos materiales capaces de servir de escudo contra interferencias electromagnéticas (EMI, *electromagnetic interference*) y proteger de descargas electrostáticas (ESD, *electrostatic discharge*). Este manual trata sobre algunos antecedentes y aspectos prácticos de los compuestos de polímero conductor con propósitos de protección.

iPOLYCOND conductive polymers

Contenidos

El reto ...
la interferencia electromagnética 4

La solución ...
los compuestos plásticos conductores 6

Comparación con otras soluciones alternativas 9

Diseño y procesado 10

Propiedades de los materiales típicos de iPolycond 12

Aplicaciones 14

iPOLYCOND conductive polymers

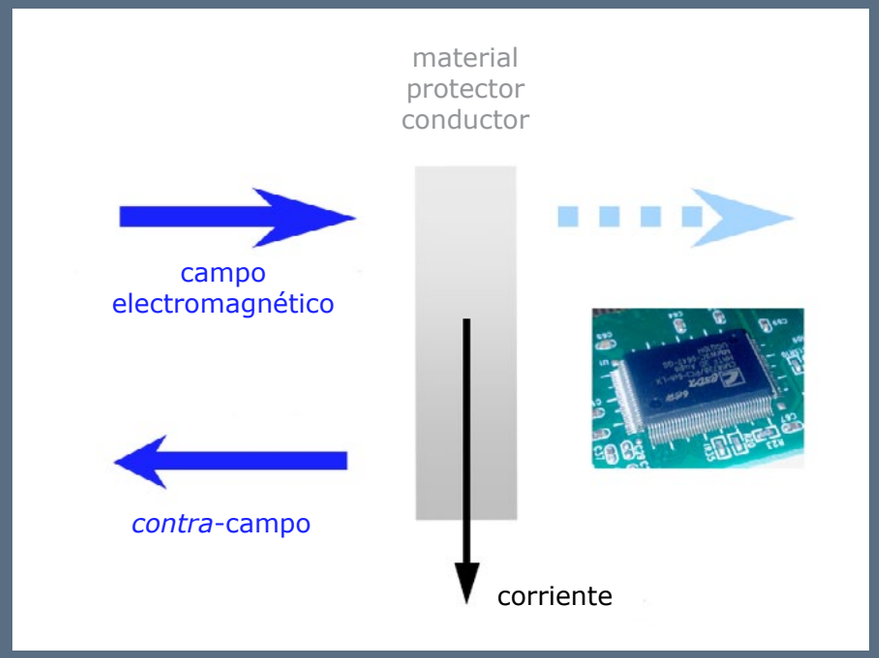
El reto ...

la interferencia electromagnética

Los efectos no deseados de interferencias electromagnéticas ocurren cuando un dispositivo susceptible recibe radiación electromagnética emitida (de forma intencionada o no) por otros dispositivos eléctricos o electrónicos como microondas, ordenadores inalámbricos, radios y teléfonos móviles. Como resultado de ello, los dispositivos afectados por la radiación funcionan mal o fallan.

Los efectos de las interferencias electromagnéticas son cada vez mayores debido a la demanda de dispositivos electrónicos de alta velocidad que funcionen a frecuencias más altas, el uso más intensivo de componentes electrónicos en ordenadores, equipos de comunicación y coches, por ejemplo, y la miniaturización de tales componentes. Los teléfonos móviles o teléfonos multiusos (*smartphones*) por lo general funcionan entre los 800 y 4900 MHz y alrededor de los 2 GHz en el caso de la transmisión de datos a través de los Sistemas Universales de Telecomunicaciones Móviles (*UMTS, Universal Mobile Telecommunications Systems*). Los componentes electrónicos compactos y densamente aglomerados producen más ruido electrónico.

Estas tendencias indican la necesidad de proteger los componentes contra interferencias electromagnéticas (EMI) para reducir las posibilidades de que estos componentes se afecten entre ellos o por otros dispositivos externos. Los efectos de las interferencias electromagnéticas pueden reducirse mediante la colocación de un material protector entre la fuente del campo electromagnético y el componente. Esta protección puede conseguirse haciendo que la carcasa de los componentes electrónicos sea electrónicamente conductora.



La conductividad eléctrica es un prerrequisito de un material protector contra interferencias electromagnéticas. Esto se debe al fenómeno físico de los campos eléctricos y la variación de estos campos induciendo corrientes en el material conductor eléctrico de protección. Por turnos, estas corrientes generan campos contarios que contrarrestan y debilitan (o anulan, en el caso ideal) los campos aplicados al principio. En el caso más ideal, los campos externos se quedan fuera del material protector y los campos internos permanecen dentro.

Ya que la protección contra las EMI está compuesta por contribuciones reflectantes y absorbentes, tanto la conductividad en el volumen del material protector como el espesor del material serán de gran importancia. En la práctica, el grado de protección también está sujeto al tamaño y la forma de las aperturas de la carcasa protectora. Por ejemplo, a una frecuencia de 5 GHz la apertura debe ser menor de 52 mm para conseguir una protección efectiva contra las EMI.

La protección contra las descargas electrostáticas (ESD) en dispositivos electrónicos está muy relacionada con la de las EMI. La ESD es la transferencia incontrolada de carga estática entre dos objetos con diferente potencial eléctrico. Para la protección contra ESD es importante la conductividad superficial para habilitar una descarga rápida y controlada de carga estática.

La solución ...

los compuestos plásticos conductores

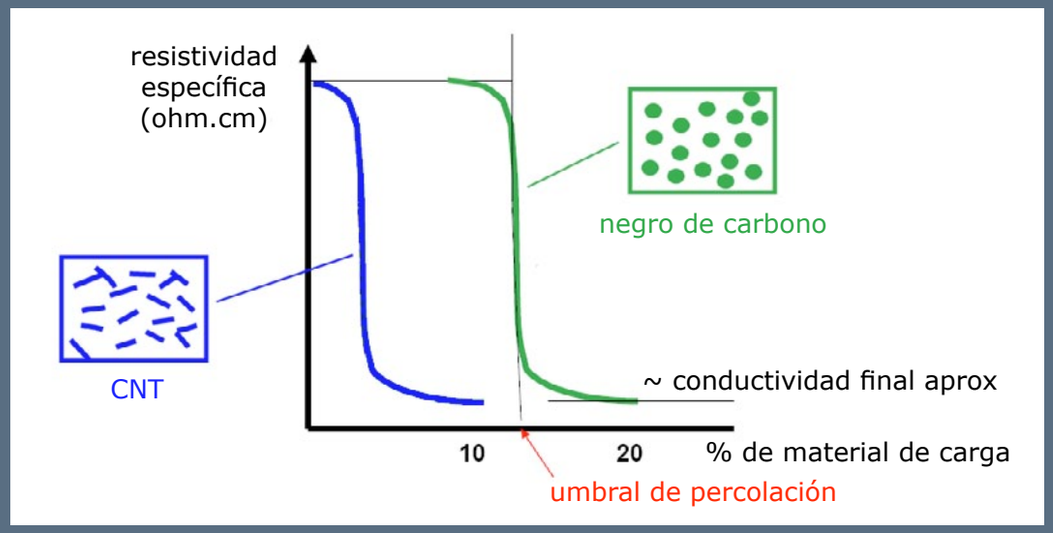
Las carcasas para productos electrónicos (p. ej. ordenadores o dispositivos de comunicación) y equipos comerciales (incluyendo dispositivos para el procesamiento de pagos) a menudo están fabricados en plásticos de ingeniería. Un problema concreto en cuanto a la protección es que los plásticos generalmente tienen excelentes propiedades de aislamiento eléctrico (son de gran utilidad en el recubrimiento de cables para su aislamiento). Con una típica resistividad eléctrica de 10^{14} ohm.cm, estos plásticos de ingeniería no pueden proteger dispositivos electrónicos de la radiación electromagnética. Para la protección contra las EMI la conductividad debe ser $>10^{-2}$ $ohm^{-1}.cm^{-1}$, dando como resultado una resistividad (volumétrica) de $<10^{2}$ ohm.cm.

Si se carga la matriz de un plástico de ingeniería con pequeñas fracciones de material conductor eléctrico, se combina la disponibilidad de una carcasa fabricada de material protector con las ventajas de las técnicas tradicionales de procesado de polímeros. Estas ventajas incluyen el uso de equipo de compounding existente (lo que supone no tener que realizar nuevas inversiones) y la facilidad de fabricar formas complejas y de reducido tamaño mediante un proceso de un solo paso.

Se pueden utilizar varios materiales. Tradicionalmente se han usado partículas de metal o de negro de carbono como cargas conductoras. El empleo de un alto nivel de estas cargas puede ir en detrimento de la procesabilidad, la densidad y calidad superficial del material, el coste y las propiedades mecánicas del producto moldeado y puede causar desgaste en el equipo de procesado. Por lo tanto, una solución interesante sería el uso de materiales de carga novedosos como nanotubos de carbono (*CNT, carbon nanotubes*) conductores con un contenido de carga lo menor posible. De esta forma se proporcionara al material la conductividad y la estabilidad mecánica suficiente, al mismo tiempo que se conservarán las propiedades de procesado originales del plástico.

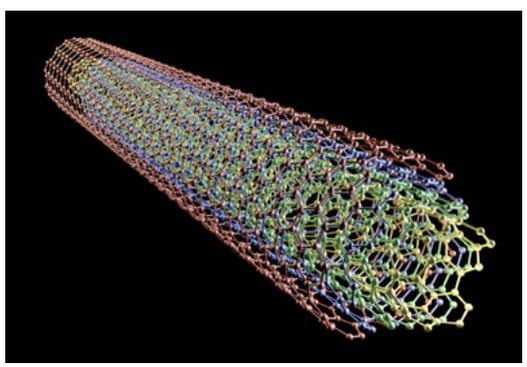
Cuando la concentración de partículas eléctricamente conductoras de un compuesto excede un cierto nivel (el umbral de percolación), las partículas en entran en contacto entre sí y forman un camino continuo en el material por el que viajan los electrones. De esta manera, el compuesto se ha convertido en un material eléctricamente conductor. La conductividad del material de carga supondrá el límite máximo de conductividad eléctrica de todo el compuesto.

El umbral de percolación es dependiente de la forma de las partículas conductoras. Para las cargas de forma esférica tradicionales con distribución aleatoria, se debe añadir ~10–20% antes de que el compuesto adquiera propiedades de conducción eléctrica. Cuanto mayor sea la relación de aspecto (relación longitud-diámetro) de las partículas, menor será la concentración para que tenga lugar la percolación. Los CNT con un diámetro de unos pocos nanómetros y una longitud de micrómetros (es decir, una alta relación de aspecto) pueden formar una red conductora a fracciones de volumen mucho menor (y costes potencialmente menores) que los materiales de carga tradicionales más baratos como la fibra de carbono y el negro de carbono.



Polímeros	Beneficios/propiedades de estos polímero con CNT
Polipropileno (PP)	Buena tenacidad posible
Poliamida 12 (PA 12)	Recubrimiento de cable, alta resistencia química
Poliamida 6/66 (PA 6/66)	Duro, fácil de moldear, alta resistencia a las temperaturas
Policarbonato (PC)	Propiedades mucho mejores que las obtenibles con negro de carbono
Policarbonato/Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (PC/ABS)	Muy buena tenacidad y buena aptitud para el moldeo
Policarbonato/Polibutilen-tereftalato (PC/PBT)	Muy buena tenacidad para carcasa con resistencia a los rayos UV
Sulfuro de polifenileno (PPS) cargado de vidrio	Muy buena rigidez y muy alta resistencia a las temperaturas
Poliuretano (PU) termoestable	Moldeos de (muy) gran tamaño

La incorporación de pequeñas fracciones de cargas eléctricamente conductoras no metálicas novedosas, a una matriz de plástico no conductor mediante un proceso de compounding de un paso forma la base de los compuestos de polímero conductor. Los materiales de carga conductores usados en este caso son nanotubos de carbono (CNT). Los CNT son conocidos por su conductividad eléctrica, especialmente aquellos con composición de pared múltiple (nanotubos de carbono de pared múltiple [*multi-wall carbon nanotubes, MWCNT*]), que podrían describirse como múltiples capas de grafito enrolladas sobre sí mismas.



Comparación con otras soluciones alternativas

Debido a su alta conductividad eléctrica (~10^6 $ohm^{-1}.cm^{-1}$), los metales son particularmente adecuados como material de protección contra campos electromagnéticos. Puede tratarse de una protección metálica completa independiente, pero también un revestimiento conductor (p. ej. el níquel) aplicado en forma de aerosol, pintado o por reacción química sobre un material de soporte como el plástico. Otra opción es la incorporación de polvo o fibras metálicas (acero inoxidable [*Stainless steel, SS*] como carga conductora en la matriz de un plástico.

Sin embargo, hay algunos inconvenientes en el uso de metales como material protector. El peso de este material puede ser un tema importante en el caso de protecciones enteras de metal y matrices de plástico con un alto contenido de carga de metal, sobre todo en aplicaciones en las que debe haber la menor masa posible. Además, los metales son propensos a la corrosión. Para producir revestimientos metálicos, se deben aplicar al menos dos técnicas de procesado, una para el soporte y otra para el revestimiento, que puede ser costoso. También será difícil aplicar estos recubrimientos en objetos con formas difíciles. Asimismo, la adhesión a largo plazo del revestimiento al soporte tiene que ser de confianza.

Diseño y procesado

La técnica más común para dar forma a productos plásticos complejos (p. ej. carcasas para aplicaciones electrónicas) es la de moldeo por inyección. Se pueden variar numerosos parámetros en el proceso de moldeo por inyección y muchos de ellos pueden suponer un efecto positivo (+), negativo (-) o neutral (0) en la capacidad de protección del producto:

Parámetro	Resistividad volumétrica	Resistividad superficial	Reflexión
Aumento de temperatura del molde	-	+	0
Temperatura del molde por encima de la T_g (temperatura de transición vítrea)	-	+	-
Aumento de la velocidad de inyección	---	++	-
Disminución del grosor de pared			++
Aumento de la distancia a la entrada			+
Textura superficial		0	
Dirección del flujo		-	

Para minimizar el desgaste durante el llenado del molde, es aconsejable evitar las esquinas afiladas en las piezas de plástico e intentar facilitar el flujo reemplazándolas por otras redondeadas. Como parte del efecto del desgaste de la pieza, debemos minimizar las esquinas afiladas en la etapa de diseño, dándoles radios generosos para agilizar el flujo de la mezcla conductora.

La combinación del uso de velocidades bajas con una entrada de inyección más amplia facilita el flujo del plástico conductor hacia el interior de la cavidad. De este modo, es posible asegurar el completo llenado de la cavidad sin la necesidad de incrementar la velocidad de inyección. Los perfiles de velocidad mayor elevan la posibilidad de que se den casos de cizallamiento en la pieza inyectada.

Es posible cubrir toda la variedad de grosor de piezas habituales que se usan en la industria del moldeo termoplástico. El empleo de piezas con mayor o menor espesor se determinará por las propiedades finales o requisitos especiales necesarios durante su uso. Los mejores valores de reflexión se obtuvieron en las piezas menos gruesas.

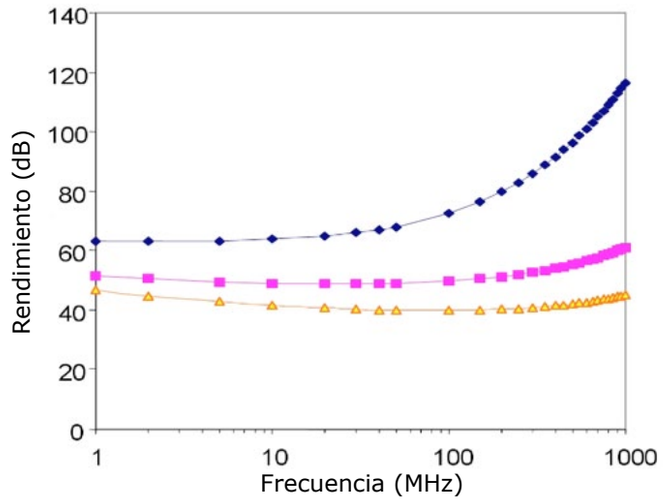
Para compuestos cargados con fibras metálicas y nanotubos de carbono, es necesario evitar las longitudes de flujo extremadamente largas, ya que cuanto más largo sea el flujo, mayor será el cizallamiento causado en el compuesto, provocando una pérdida en le integridad de fibra.

Basándonos en nuestra experiencia, los moldes deberían diseñarse para minimizar la turbulencia de la mezcla, siendo necesarias entradas y canales de colada mayores que los empleados para resinas sin carga y parecidos a los utilizados para otros materiales cargados con fibras.

Las directrices para introducción de materiales con cargas conductoras incluyen una profundidad mínima del agujero de colada de 1,5 mm, con una preferencia de profundidad entre 2,3 y 2,5 mm. Como resultado, no se recomiendan las entradas capilares, las submarinas o las subentradas y se prefieren las de tipo lengüeta o las de boquilla directa. Las entradas múltiples serán necesarias para conseguir la mayor dispersión posible.

Se recomiendan bebederos completamente circulares para un flujo óptimo, ya que se minimiza el número de curvas y giros para prevenir la rotura del concentrado. También es aconsejable utilizar pozos de tapón frío al final de los ángulos de 90º.

Propiedades de los materiales típicos de iPolyCond



Nanotubo de policarbonato de iPolyCond y material híbrido de fibra de SS

Policarbonato + fibras de acero inoxidable

Compuesto de nanotubos de policarbonato

Propiedades eléctricas

Resistividad volumétrica (ohm.cm)	Resistencia superficial (kohm/sq)	Reflexión (%)	Rendimiento de la protección a 100 MHz (dB)
7×10^{-3}	100	76	37
700	10-1000	69	34
320	900	69	34
6	10-50	86	47
90	20-200	61	31
0.8	10-50	89	53
1000	20-2000	62	31

Material	
9103	PP + CNT
9104	PP + CNT/híbrido
9303	PC/ABS + CNT
9603	PC/PBT + CNT
9604	PC/PBT + CNT + SS
9703	PC + CNT
9704	PC + CNT + SS
9705	PC + CNT retardante de llama

Propiedades mecánicas

Esfuerzo de tracción a la rotura (MPa)	Deformación por tracción a la rotura (%)	Módulo de tensión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Resistencia al impacto (kJ/m^2)
20.6	80	1010	942	42
15.9	20.3	990	1020	9.3
41	18.9	2633	2075	21.1
47.9	13	2520	2339	36.7
60.3	4.3	2450	2840	10.1
61.9	8.0	2570	2703	7.1
64.9	7.1	2700	3020	8.8
65.0	12	2700	3100	11.0

Aplicaciones

Pieza de automoción con propiedades de protección contra EMI

Carcasa original: Metal (alto nivel de protección, producción cara, pesada, limitaciones de diseño)

Solución de iPolyCond: Polipropileno con polianilina y nanotubos de carbono con la protección contra EMI requerida

Mejoras: Flexibilidad en el diseño, reducción de peso, un 25 % más barato, reciclable

Dispositivo para la monitorización de presión sanguínea

Carcasa original: PC/ABS cargado con fibras de acero inoxidable (difícil de fabricar, el producto final falló debido a las pobres propiedades físicas)

Solución de iPolyCond: PC/ABS cargado con nanotubos de carbono, con una protección de al menos 30 dB

Mejoras: Dureza, reciclabilidad, facilidad de fabricación, mejor calidad superficial

Aplicaciones

Radio militar con alto nivel de protección contra EMI

Carcasa original: Metal (alto nivel de protección, producción cara, pesada, limitaciones de diseño)

Solución de iPolyCond: PC/PBT con nanotubos de carbono y fibras de acero inoxidable con una protección de 60 dB

Mejoras: Dureza, moldeado fácil, reducción de peso de un 60 %, 40 % más barato

Enchufe de toma de tierra

Original: Clavijas de latón (caras, producto de especialista)

Solución de iPolyCond: Policarbonato con nanotubos de carbono

Mejoras: Facilidad de fabricación, reducción de peso de un 80 %, el enchufe es un 40 % más barato, reciclable

iPOLYCOND conductive polymers

Education and Culture DG

Lifelong Learning Programme

Este manual ha sido financiado con la ayuda de la Comisión Europea. En este documentos se reflejan solamente los puntos de vista de los autores que contribuyen y la Comisión no se hace responsable del uso que se haga de la información contenida.

iSmithers
http://www.ismithers.net

British Plastics Federation
http://www.bpf.co.uk

Chemical Research Center - Hungarian Academy of Sciences
http://www.chemres.hu

VTT
http://www.vtt.fi

Asociación de Investigación de Materiales Plásticos
http://www.aimplas.es

TBA Electro Conductive Products
http://www.tbaecp.co.uk

Faperin
http://www.faperin.com

Promolding
http://www.promolding.nl

Betase
http://www.betase.nl

EuPC
http://www.plasticsconverters.eu

iPOLYCOND
conductive polymers

http://www.ipolycond.org