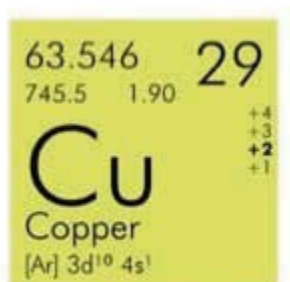

Guía de Innovación Tecnológica en Aplicaciones de Cobre

Orientaciones para la innovación



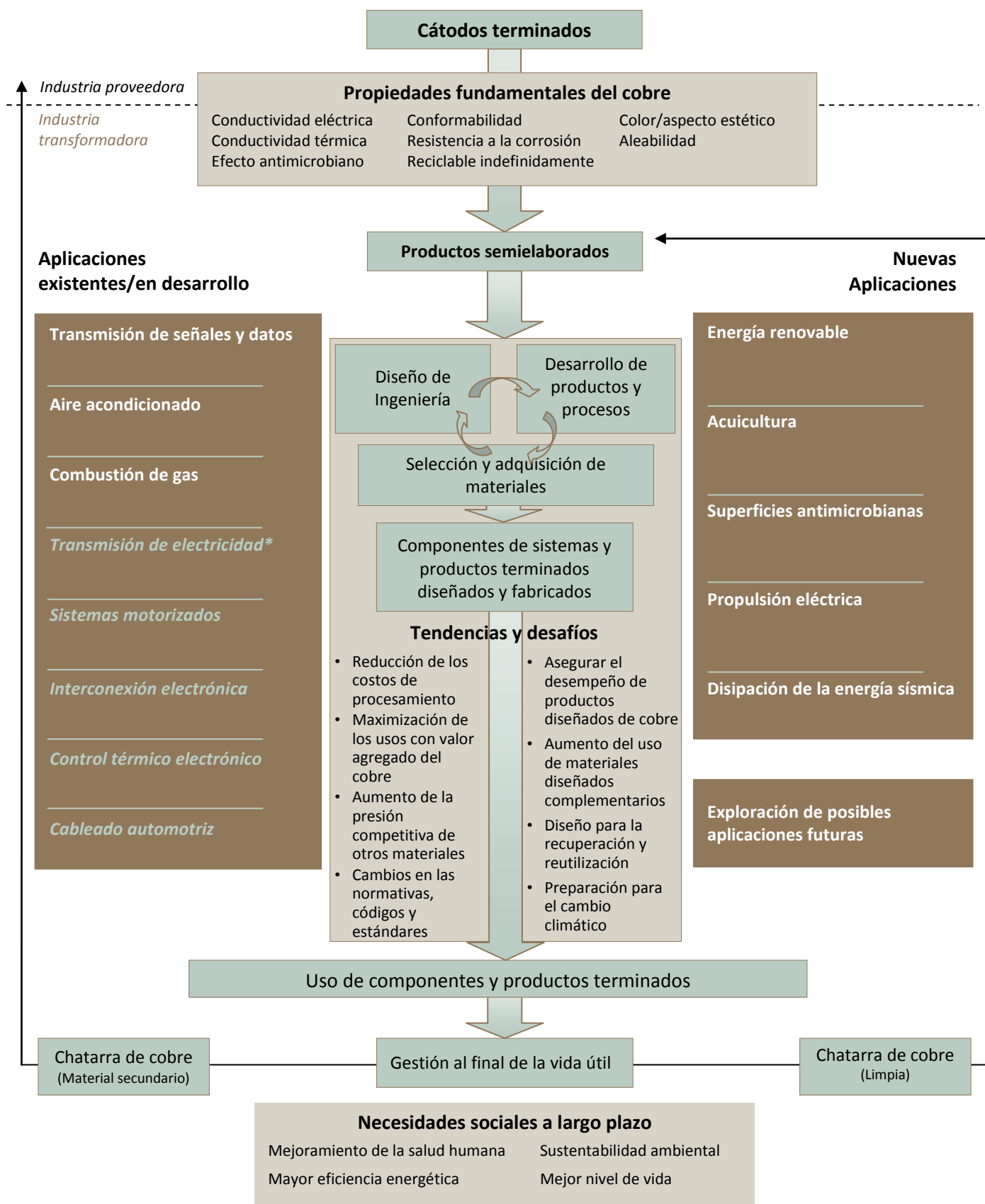
Elaborada por la International Copper Association, Ltd., la alianza de empresas innovadoras de la industria del cobre que promueve los beneficios del metal rojo para un mundo mejor y sustentable.

Marzo de 2011, v. 2.1

Índice

Resumen ejecutivo	4
Impulsar la innovación: las propiedades fundamentales del cobre	6
Prioridades de la guía.....	8
Oportunidades existentes/en desarrollo.....	9
Oportunidades emergentes	12
Implementación	20
Anexo A–La evolución del rotor de cobre moldeado para motores	23
Anexo B–Propiedades fundamentales del cobre	28
Anexo C–Tendencias y desafíos que influyen en el uso del cobre	29
Anexo D–Cobre y sociedad	31
Anexo E–Ciclo de vida del cobre	33
Anexo F–El cobre hoy en día.....	34
Anexo G–Colaboradores	35
Anexo H–Referencias.....	37

Prioridades de I+D



* Los elementos en verde y en cursiva se encontraban en la primera edición de la Guía y actualmente no son prioridades de I+D.

Resumen ejecutivo

Perspectiva global

Es notable la función que ha cumplido el cobre como un componente integral y constante de la vida humana y la civilización¹. Cuenta con una combinación única de propiedades, las cuales gracias a la investigación y creatividad científica han sido aplicadas en algunas de las innovaciones más extraordinarias de la historia: instrumentos de navegación de alta precisión, sistemas eléctricos, distribución de agua potable segura, aire acondicionado y comunicación de datos. Esta Guía de Innovación Tecnológica en Nuevas Aplicaciones de Cobre orienta al lector hacia nuevos avances de la industria del cobre, con posibles aplicaciones globales.

Desde que la International Copper Association (ICA) la presentó en 2007, ha sido una recopilación de conocimientos y una guía para la investigación colaborativa y precompetitiva entre los productores y fabricantes de cobre, las industrias que utilizan cobre, las universidades, los programas gubernamentales, los emprendedores y los expertos en tecnología independientes.

Nuevas orientaciones

El diagrama de la página 3 describe la Guía de Innovación Tecnológica completa de la industria transformadora del cobre. Las áreas en verde y en cursiva representan aplicaciones en las que se han logrado mejoras significativas durante los últimos tres años. Aunque ya no se consideran prioritarias, aún se trabaja para promover el progreso de la tecnología del cobre en estas aplicaciones.

La primera sección de la Guía examina con mayor detenimiento los extremos del diagrama, específicamente la aplicaciones existentes o en desarrollo y las nuevas aplicaciones. El Anexo A ilustra el progreso de la tecnología del cobre a través de la investigación, el desarrollo de procesos y el diseño de ingeniería hasta el uso comercial. Los Anexos B, C y D tratan sobre el área central del diagrama, al describir las propiedades fundamentales del cobre, las tendencias y cambios que influyen en su uso y examinar de qué manera estas características pueden colaborar con el progreso futuro de la sociedad.

Entre las principales aplicaciones existentes o en desarrollo hoy en día están las siguientes:

- **Transmisión de datos y señales**—Los cables a base de cobre con mayor ancho de banda y menor consumo de energía que ofrezcan una instalación y conexión más sencilla fortalecerán la posición competitiva de la industria. Además, el cobre transmite energía y datos a través del mismo cable, lo que simplifica las conexiones de entretenimiento digital, comunicaciones, computación y equipos de seguridad con redes de alta velocidad, y entrega una solución rentable.
- **Sistemas de aire acondicionado**—El precio relativamente menor de los sistemas a base de materiales competidores amenaza el uso del cobre en los intercambiadores de calor de los sistemas de aire acondicionado. Desde la primera versión de la Guía, un equipo de investigadores académicos y de la industria organizados por la ICA ha reducido en un 40 por ciento el contenido de cobre en algunos intercambiadores de calor de sistemas de aire acondicionado con un alto volumen de producción. Este trabajo sigue adelante. El cobre ofrece ventajas en cuanto a la eficiencia energética sustentable, facilidad de fabricación, efecto antimicrobiano y calidad del aire en espacios cerrados. La tendencia a utilizar sistemas más compactos y con una mayor eficiencia energética, junto con el uso cada vez mayor de refrigerantes ecológicos genera tanto consecuencias para el diseño como oportunidades para el cobre, que pueden abordarse con la colaboración en I+D.
- **Equipos de combustión de gas**—Los intercambiadores de calor de cobre se utilizan en calentadores de agua sin tanque compactos de alto rendimiento. Los revestimientos resistentes al ácido diseñados protegen los materiales a base de cobre, lo cual permite aprovechar las extraordinarias propiedades de transferencia de calor de este metal. Existen oportunidades para mejorar el diseño y las tecnologías de fabricación de los intercambiadores de calor, mejorar los revestimientos protectores y expandir el uso de los materiales a base de cobre a una gama más amplia de equipos de combustión de gas de alto nivel de eficiencia.

Las nuevas aplicaciones abren mercados totalmente nuevos para el cobre, ampliando y aumentando su uso. Cada área requiere el desarrollo de tecnologías nuevas y mejoradas basadas en el cobre. Entre las principales nuevas oportunidades están las siguientes:

- **Energía renovable**—Los sistemas solares fotovoltaicos necesitan cobre para el transporte de energía, la conexión a tierra, los aparatos de conexión y los componentes de los sistemas de control. Los sistemas oceánicos pueden obtener beneficios de la resistencia a la bioincrustación y la corrosión de las aleaciones de cobre. La combinación de cobre y PCM (materiales de cambio de fase) está adquiriendo validez como método para mejorar la conductividad de los sistemas térmicos solares.
- **Acuicultura**—Las jaulas de aleaciones de cobre para la acuicultura marina surgen como una solución eficaz para algunos problemas importantes que enfrenta la industria acuícola. Las jaulas normales de materiales sintéticos con revestimientos anti-incrustantes se recubren con organismos marinos después de algunos meses de uso. Las jaulas de aleaciones de cobre permanecen libres de contaminación durante años, lo cual mejora la salud y aumenta el crecimiento de los peces además de eliminar la necesidad de limpiar o reemplazar las jaulas. La resistencia mecánica y la resiliencia de una estructura de aleación de cobre también evitan el ataque de los depredadores y el escape de los peces.
- **Superficies antimicrobianas**—Las superficies de contacto de cobre inhiben el crecimiento de los organismos patógenos dañinos y reducen el riesgo de transmisión de enfermedades. Las superficies de cobre usadas en los equipos médicos de manipulación frecuente en las instalaciones de salud y edificios públicos combaten las bacterias que provocan infecciones dentro de los hospitales, como los peligrosos organismos multiresistentes. Además, el cobre evita el crecimiento del moho que causa malos olores y el que se encuentra en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, y afecta la calidad del aire dentro de los edificios junto con entorpecer el funcionamiento de los sistemas.
- **Propulsión eléctrica**—Los sistemas de propulsión eléctrica automotriz están experimentando un desarrollo considerable que apunta a enfoques de ingeniería más sofisticada, más compactos y eficientes. Los sistemas de propulsión eléctrica incorporan cobre en las baterías, control eléctrico, puntos y tomas de alimentación de recarga, motores y control térmico. Impulsar vehículos eléctricos requiere cambios en la infraestructura eléctrica, que obtendrá beneficios del cobre.
- **Disipación de la energía sísmica**—El daño que los terremotos provocan en los edificios, su equipamiento y ocupantes puede controlarse por medio del uso de dispositivos a base de cobre que aíslan las estructuras de los movimientos del suelo o absorben la energía para limitar el movimiento de las construcciones. Esta nueva área de aplicación requiere aleaciones de cobre superelásticas y la deformación plástica del cobre refinado.

Conceptos para aplicaciones futuras

La industria del cobre, por medio de la ICA, financia la investigación y desarrollo precompetitivos que puedan crear o permitir aplicaciones significativas en el mercado para el cobre, o expandir una aplicación ya existente. Se invita a los lectores a proponer conceptos creativos derivados de los progresos científicos, la transferencia tecnológica o las necesidades comerciales y sociales. Tales propuestas deben identificar el avance necesario y describir un enfoque creíble. Se prefieren plazos relativamente cortos de demostración y/o desarrollo. No obstante, siempre son bienvenidas las propuestas relacionadas con la investigación científica a más largo plazo.

La Guía de Innovación Tecnológica en Nuevas Aplicaciones de Cobre continuará desarrollándose en la medida en que la industria responda a las tendencias sociales, las presiones competitivas, los avances técnicos relacionados y las oportunidades inesperadas. Aunque la actual Guía no cubre todos los senderos tecnológicos, se concentra en las necesidades precompetitivas más prioritarias observadas de la industria del cobre y sus clientes. Identificar y definir nuevas actividades de investigación sigue siendo un desafío. Con ese fin, la tercera sección de este documento esboza planes para la existencia de un proceso administrado por la industria con el objetivo de crear, lanzar y administrar proyectos de aplicaciones de cobre aparte de los descritos en esta Guía.

El éxito de esta Guía será determinado por el número y el alcance de los proyectos colaborativos de I+D que inspire, y los beneficios de los mismos.

Impulsar la innovación: las propiedades fundamentales del cobre

La Guía de Innovación Tecnológica en Nuevas Aplicaciones de Cobre examina desde las minas, fábricas, fundiciones y refinerías hasta los fabricantes, procesadores y manufactureros, y también disciplinas, industrias y aplicaciones específicas (ver el diagrama de Prioridades de I+D). La sustitución de materiales está aumentando en los mercados tradicionales del cobre, y es imperativo que la industria identifique y evalúe activamente las nuevas oportunidades tecnológicas. La Guía apunta a identificar las áreas en las que la investigación y el desarrollo tecnológicos tienen más posibilidades de generar un efecto significativo en el valor del cobre en los mercados emergentes y en desarrollo.

Es notable la función que ha cumplido el cobre como un componente integral y constante de la vida humana y la civilización¹. Las propiedades fundamentales del cobre han satisfecho las necesidades de la sociedad a lo largo de la historia. Para impulsar la innovación, la industria debe continuar explorando dichas propiedades, como las siguientes:



Mina de cobre

- Conductividad eléctrica
- Conductividad térmica
- Efecto antimicrobiano
- Conformabilidad
- Resistencia a la corrosión
- Reutilización indefinida
- Color/aspecto estético
- Facilidad para unir
- Aleabilidad

En la medida en la que la industria avanza, debe colaborar con sus socios para examinar de qué maneras las ventajas intrínsecas del cobre pueden ayudar a la sociedad a aplicar los beneficios del metal rojo en pos de un mundo mejor y más sustentable.



Aleación de cobre de alta tecnología

- El éxito se logrará con el desarrollo de nuevos materiales —aleaciones, materiales compuestos y composiciones— con métodos más rentables para producirlos y procesarlos. La industria de los conectores eléctricos y del encapsulado electrónico son dos ejemplos entre muchos en los que se aplica este enfoque regularmente.
- El éxito será el resultado de la optimización del uso y la fabricación del cobre. El desarrollo de un proceso rentable para el cobre troquelado, patrocinado por la International Copper Association (ICA), es un ejemplo de I+D en colaboración dentro de la industria del cobre (ver Anexo A).
- El éxito se logrará con la innovación que aproveche adecuadamente los atributos del cobre y contrarreste la posible sustitución con materiales alternativos.
- El éxito se logrará con conceptos imaginativos que relacionen al cobre con nuevas aplicaciones y superen los desafíos técnicos.

Ventajas intrínsecas del cobre

Ningún otro metal, ya sea por sí solo o como aleación, ofrece tan eficazmente la cantidad y amplitud de propiedades útiles del cobre. En las próximas décadas, el progreso tecnológico dependerá en gran medida de los materiales avanzados, como los metales, aleaciones, materiales compuestos y otras estructuras, muchas de las cuales podrían contener cobre. Además de su alto rendimiento técnico, estos materiales deben tener una influencia positiva en temas como la salud humana, la eficiencia energética, la sustentabilidad y el nivel de vida. El cobre y los materiales a base de cobre cumplen claramente con estos criterios. El Anexo B ofrece información adicional sobre las propiedades útiles del cobre. El Anexo C trata sobre las tendencias y desafíos que influyen en su uso. El Anexo D ofrece una perspectiva del papel del cobre para satisfacer las necesidades sociales. Nota: los anexos B, C y D siguen el flujo de la sección central del diagrama de la Guía.

De los cátodos al producto terminado: diseño de ingeniería y desarrollo de productos y procesos

Los cátodos de cobre y el cobre reciclado son las materias primas de la industria transformadora del cobre. Las empresas de productos semielaborados procesan estos materiales, frecuentemente con elementos de aleación, para producir una forma intermedia con propiedades adecuadas para la fabricación y el uso final. Estos materiales de cobre con valor agregado luego adquieren la forma exacta del producto final. Los expertos en materiales de las empresas de productos semielaborados y los ingenieros y especialistas en productos de sus clientes interactúan estrechamente a lo largo de los procesos de diseño de ingeniería y desarrollo, para asegurar que la composición y pureza de las aleaciones de cobre logren la funcionalidad y rendimiento deseado en la aplicación final.

La industria del cobre, por medio de sus representantes y los de 28 centros dedicados al cobre en todo el mundo, ofrece a los usuarios un alto nivel de colaboración para seleccionar la solución más efectiva con materiales a base de cobre. A continuación se presentan detalles sobre los principales temas, oportunidades y actividades recomendadas para el cobre, que apoyarán la futura cooperación técnica con los ingenieros de productos y procesos.

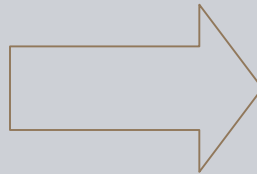


Cátodo de cobre

Transformación visual del cobre



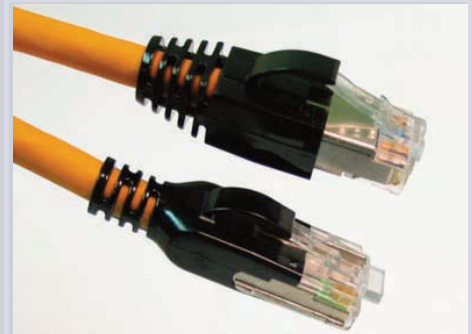
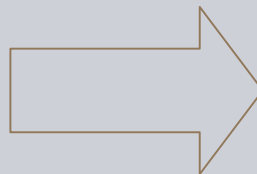
Cobre reciclado



Jaula para peces



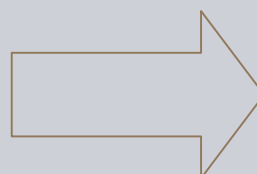
Aleación de cobre laminada



Conectores



Cobre extruido

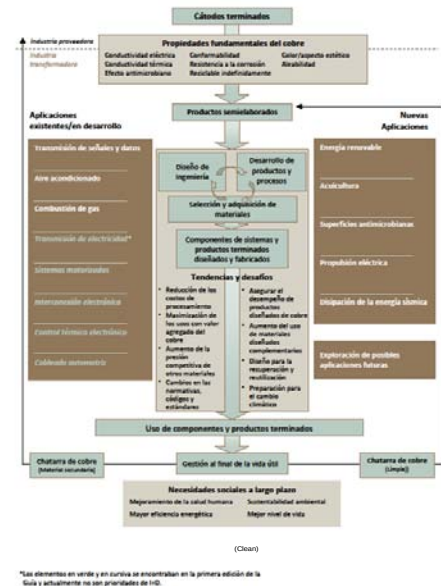


Tubos para aire acondicionado

Prioridades de la Guía

Esta Guía orienta los programas colaborativos y precompetitivos de I+D que benefician a la industria del cobre y a la sociedad. La industria favorece este enfoque colaborativo y precompetitivo porque los costos se distribuyen entre las partes que esperan obtener beneficios, y existe una gama de conocimientos a disposición de los equipos de los proyectos. La ICA busca propuestas de I+D de alta calidad para todas las áreas prioritarias que presentan oportunidades.

- Las asociaciones de la industria del cobre, los productores de productos elaborados y semielaborados, y los fabricantes de productos finales definieron los siguientes criterios para seleccionar actividades prioritarias:
- Las actividades prioritarias deben abordar los problemas técnicos que, de ser resueltos, tendrían un efecto positivo en la utilización del cobre, y los resultados de los esfuerzos de I+D deben demostrar innovación o una mejora sustancial de la tecnología o sector del mercado respectivo.
- Las actividades prioritarias deben estimular la imagen medioambiental y social positiva del cobre. El cobre es esencial para la salud, su uso promueve la eficiencia energética y su capacidad de reutilización es casi inigualable entre todos los materiales de ingeniería.



Clasificación de las oportunidades priorizadas

Las oportunidades priorizadas descritas en esta Guía se agrupan en dos clasificaciones generales: aplicaciones existentes/en desarrollo y nuevas.

Las aplicaciones existentes/en desarrollo mantienen o aumentan los usos actuales a gran escala del cobre. Por lo general, la presión de los costos, la competencia entre los materiales y las limitaciones para el diseño (por ejemplo, la miniaturización) influyen en el uso del cobre en estas aplicaciones. El objetivo consiste en aplicar las propiedades técnicas del cobre para mantener con mayor eficacia la posición privilegiada del cobre.

Las nuevas aplicaciones abren mercados totalmente nuevos para el cobre, ampliando y aumentando su uso. Lo principal es la aplicación creativa de las propiedades del cobre para resolver nuevos problemas tecnológicos. La explotación de su eficacia antimicrobiana para las superficies de contacto y la comercialización de dispositivos de disipación de energía a base de cobre son ejemplos que entran en esta categoría.

Oportunidades existentes/en desarrollo

Transmisión de datos/señales

Más de un 80 por ciento de las interconexiones de equipos que transportan señales en los data centers utilizan cables y conectores de cobre. No obstante, las instalaciones computacionales industriales, comerciales y residenciales siguen demandando una mayor capacidad de ancho de banda. En la mayoría de los casos de comunicación de datos, que suelen ser los enlaces densos de corto alcance, el cobre logra competir con la fibra óptica. En tramos inferiores a 100 m de longitud (más del 99 por ciento de las conexiones en data centers y enlaces horizontales de redes de área local [LAN] son inferiores a 100 m), los cables de cobre con anchos de banda de hasta 10 Gbps están disponibles a una fracción del costo de la fibra óptica y con anchos de banda de hasta 100 Gbps están en desarrollo y han sido demostrados.



Reemplazar el cobre por fibra implica dispositivos de conexión óptico/eléctrico adicionales que reducen el costo y la complejidad. No obstante, el costo de las instalaciones con fibra sigue disminuyendo y la realidad de este mercado exige un desarrollo constante de sistemas de cableado de cobre de mayor velocidad para que el metal pueda seguir compitiendo. Además de proporcionar suficiente ancho de banda, los nuevos cables de cobre deben reducir el consumo eléctrico y ser más simples y resistentes que los sistemas actuales en cuanto a la facilidad de instalación y la conectividad.

Las características claves del cobre son su capacidad para proporcionar energía y datos al mismo tiempo y su capacidad para proporcionar una fuente de energía confiable que permite a los dispositivos de red tales como los teléfonos que funcionan con protocolo de Internet, los puntos de acceso inalámbricos, las cámaras de seguridad, los puertos de red de dispositivos portátiles e incluso las computadoras de bajo consumo, funcionar donde no es posible proporcionar fuentes de energía convencionales tales como cables o tomacorrientes de CA.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Aumento constante de la velocidad de conexión: 10 Gbps (10.000 millones de bits por segundo) está reemplazando los 1 Gbps en los data centers. Para después del año 2020, dominarán los 100 Gbps. Ya se habla incluso de 1 Tbps. • Los proveedores de fibra óptica también siguen promoviendo las soluciones de conexión de datos a alta velocidad, pero con menores reducciones de costo. • Los cables de cobre seguirán siendo competitivos mientras sigan coincidiendo con la fibra en cuanto a velocidad, aunque sea en tramos cortos ($\leq 100\text{m}$). • El consumo eléctrico de los data centers se está convirtiendo en una limitación para el crecimiento.
Oportunidades y actividades recomendadas	
Interfaces de cobre de alta velocidad	• Desarrollar tecnología para maximizar la velocidad de datos por sobre la distancia estándar industrial de 100 m con cables de datos de cobre y conectores de bajo ruido • Apoyar el desarrollo de estándares industriales para las interfaces de cobre y promover el desarrollo de equipo de redes que incluya interfaces de cobre
Energía para dispositivos de red a distancia	• Apoyar el desarrollo de estándares industriales que incorporen la capacidad de proporcionar 30W o más con cables de datos de cobre estándar • Ampliar la disponibilidad de productos de redes que aprovechen los cables disponibles de electricidad sobre datos
Menor consumo eléctrico	• Desarrollar técnicas de señalización de bajo consumo que aprovechen la ventaja de los cables de cobre mejorados para reducir el consumo eléctrico de los data centers y de las redes.

Sistemas de aire acondicionado

Las tecnologías de tubos de cobre de menor diámetro (≤ 5 mm) y de tubos planos ofrecen ventajas considerables tales como reducción de tamaño y de carga de refrigerante, menor costo y mayor eficiencia energética. Las dificultades técnicas son lograr que los tubos de bronce o cobre planos de puertos múltiples sean capaces de soportar una presión de trabajo de 38,6 bar (560 psi) y una presión de rotura que sea tres veces superior a la presión de trabajo. Alcanzar soluciones económicas implica llevar adelante investigación y desarrollo acerca de unión de materiales, fabricación de metales, ingeniería de diseño, transferencia de calor aplicada y desarrollo/optimización de aleaciones.



Actualmente, el R410A y otros hidrofluorocarbonos son los refrigerantes preferidos en las aplicaciones de intercambio de calor para aparatos. Los sistemas que utilizan el refrigerante R410A funcionan a una presión que supera en aproximadamente un 60 por ciento los sistemas similares que utilizan R22. Esto tiene implicaciones y oportunidades de diseño. En el mediano plazo, los nuevos refrigerantes de hidrofluorolefinas (HFO) son los principales candidatos para reemplazar al R410a y al R134 y, en el largo plazo, el dióxido de carbono y el agua pueden convertirse en las alternativas preferidas. El creciente interés por los refrigerantes a base de hidrocarburos tales como el butano y el propano para algunas aplicaciones implica que el cobre debe seguir utilizando refrigerantes ecológicos. Además, otras tecnologías, como la refrigeración magnetocalórica, pueden influir en la cantidad de cobre en estos sistemas a futuro.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Mayor demanda de sistemas de aire acondicionado más eficientes y compactos • Competencia entre materiales intensificada • Menor costo de fabricación • Reducción de la destrucción de la capa de ozono y del calentamiento global mediante el cambio de refrigerantes
Oportunidades y actividades recomendadas	
Líquidos de trabajo ecológicos de próxima generación	• Optimizar los diseños de intercambiadores de calor de cobre MicroGroove™ de diámetro pequeño para la próxima generación de líquidos de trabajo con bajo potencial de calentamiento global y los posibles refrigerantes futuros • Desarrollar configuraciones de tubos con sistemas divididos de transferencia de calor de gas a líquido integrales (por ejemplo, para refrigerante de líquido de trabajo de CO₂ y agua)
Procesos de fabricación	• Aumentar la escala de los procesos de fabricación para producir tubos con canales múltiples planos y redondos e intercambiadores de calor (evaporadores y condensadores) para utilizarse en unidades exclusivamente de enfriamiento y en bombas de calor • Desarrollar un proceso de soldadura a baja temperatura que utilice materiales de soldar de bajo costo para montar intercambiadores de calor fabricados enteramente de cobre con una producción de gran volumen
Eficiencia energética	• Desarrollar evaporadores extremadamente delgados y lograr la unidad de la bobina del soplador para reducir el tamaño y las pérdidas parásitas del soplador en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, según su sigla en inglés) domésticos y en aplicaciones de refrigeración • Desarrollar aletas de transferencia de calor de cobre de mayor rendimiento con calibres delgados • Explorar el uso de calor proveniente de desechos, motores industriales y de la energía solar en los sistemas de aire acondicionado. • Desarrollar y optimizar nuevos conceptos para los sistemas de aire acondicionado que utilizan cobre (Ref: ARPA-E BEETIT http://arpa-e.energy.gov/ProgramsProjects/BEETIT.aspx): 1) sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global; 2) sistemas de aire acondicionado (AC, según su sigla en inglés) con eficiencia energética que tienen un coeficiente de rendimiento (COP, según su sigla en inglés) mayor en climas cálidos y húmedos; y 3) sistemas de AC con compresión de vapor para recircular las cargas de aire con un COP mayor en climas calurosos

Equipo de combustión de gas

Hay un enorme mercado mundial para los intercambiadores de calor que transfieren calor desde los productos de la combustión de combustibles gaseosos hacia el agua en el intervalo de 3 a 300 kilovatios térmicos (kWth). Dichas unidades tienen un amplio uso residencial y comercial en una variedad de aplicaciones de aparatos de calentamiento de agua y calderas para calefacción. La producción anual total de estos aparatos se estima en alrededor de 20+ millones de unidades y millones de estas unidades se producen solamente en China.



El trabajo previo patrocinado por la ICA ha demostrado que el cobre puede protegerse en el ambiente corrosivo y en condensación de ácido y agua que se encuentra en los intercambiadores de calor a gas de alta eficiencia que se utilizan en los calentadores de agua y en las calderas para calefacción. Las tecnologías de revestimiento del cobre se han demostrado en China para una aplicación particular y al menos dos fabricantes atienden a un creciente mercado chino. Los revestimientos duraderos u otros tratamientos de superficies conservan las ventajas intrínsecas del cobre en el diseño y la fabricación de intercambiadores de calor compactos en toda la industria de calentadores de agua y calderas de alta eficiencia.

La oportunidad en desarrollo es:

- reemplazar el uso de intercambiadores de calor hechos de otros materiales por aquellos compuestos de cobre protegido contra la corrosión;
- desarrollar un producto integrado de quemador e intercambiador de calor de cobre con una tecnología de quemadores completamente regulada adecuada para una amplia gama de aplicaciones de mercado.

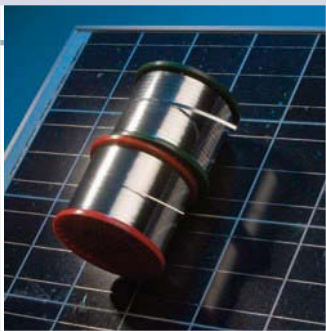
Con el tiempo, los calentadores de agua y las calderas para calefacción de alta eficiencia dominarán el mercado y necesitarán materiales resistentes a la corrosión. Los aspectos económicos de los combustibles y los mandatos gubernamentales en torno a la eficiencia energética impulsarán este cambio.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Creciente demanda y normativa en torno a los sistemas de transferencia de calor más eficientes y compactos y a los revestimientos ecológicos • Creciente competencia entre materiales • Resistencia a los ácidos extremadamente corrosivos • Menor costo de fabricación • Creciente disponibilidad de técnicas de producción de gas natural • Creciente uso de gas natural por su bajo impacto en el calentamiento global
Oportunidades y actividades recomendadas	
Sistemas de intercambio de calor y combustión más eficientes	• Desarrollar revestimientos protectores avanzados para permitir el uso de cobre en aplicaciones de condensación donde los productos de la combustión pueden crear condensado que contenga una mezcla diluida de ácidos carbónico, sulfúrico y nítrico, junto con proporciones variables de ácidos clorhídrico y fluorhídrico. • Explorar y desarrollar una variedad de conceptos de diseño que: - reduzcan el costo de los intercambiadores de calor; - logren una alta confiabilidad durante la operación prolongada; - den cabida a un revestimiento confiable y consistente; - reduzcan la acumulación de residuos y depósitos al interior de los tubos; - no sean susceptibles a la ebullición; - tengan una baja caída de la presión de agua y aire. • Desarrollar un intercambiador de calor de alta y baja temperatura integrado para las calderas. • Desarrollar un paquete integrado de un quemador completamente regulado y un módulo de intercambiador de calor para aplicaciones de OEMs.

Oportunidades emergentes

Energía renovable

El cobre desempeña roles importantes en los sistemas de energía limpia, en particular en generadores, transformadores, sistemas electrónicos de potencia, apartamento, cableado, conexión a tierra, controles y dispositivos protectores utilizados en plantas eólicas, mareomotrices, de biocombustibles, undimotrices, geotérmicas y solares. Los sistemas fotovoltaicos solares necesitan del cobre para las interconexiones de componentes, el transporte de la corriente, la conexión a tierra y una variedad de componentes de los sistemas. Los sistemas de generación de energía eléctrica que tienen como fuente el océano pueden beneficiarse de la resistencia de las aleaciones de cobre a la bioincrustación y a la corrosión y necesitar cables eléctricos submarinos para llevar la electricidad a la costa. El cobre en los sistemas de energía solar puede aplicarse en la generación de electricidad y en los intercambiadores de calor para la desalinización de agua.

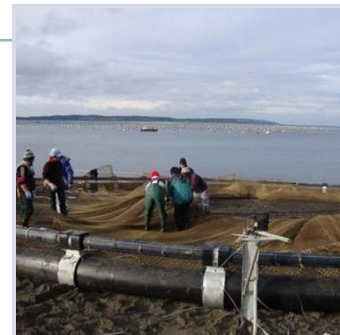


Desarrollar el uso del cobre en esta área puede necesitar de una estrecha cooperación técnica entre la industria del cobre y los tecnólogos de sistemas de energía renovable para asegurarse de seleccionar los materiales, las formas y las técnicas de procesamiento de cobre más adecuadas para cada aplicación.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Creciente interés nacional por mejorar la seguridad/confiabilidad energética • Evitar la volatilidad del mercado y las dificultades de la oferta en relación con los combustibles fósiles • Energía limpia para la protección medioambiental y la mitigación del cambio climático • Acceso a la energía para los pobres del mundo a través de la generación eléctrica descentralizada
Oportunidades y actividades recomendadas	• Explorar el uso de cobre en sistemas avanzados de gran escala o distribuidos para: - energía solar concentrada - generación eólica - energía mareo- y undimotriz - energía solar fotovoltaica - recuperación del calor residual - desalinización de agua - sistemas geotérmicos o de intercambiador aire-suelo • Desarrollar dispositivos compactos de almacenamiento de energía térmica con cambio de fases mejorados con cobre • Explorar el uso de cobre para mejorar el flujo de calor en la lechada de uso geotérmico y en los sistemas de almacenamiento térmico de hormigón • Desarrollar métodos para imprimir dispositivos de toma de corriente de cobre en celdas fotovoltaicas de silicio • Aplicar materiales de aleación de cobre a los sistemas de energía oceánica para dar resistencia contra la corrosión y a la bioincrustación y desarrollar mallas de aleación de cobre para proteger la vida marina de los sistemas móviles • Desarrollar sistemas de desalinización con alimentación eléctrica de fuentes renovables • Investigar métodos fotovoltaicos solares de cobre de bajo costo • Desarrollar y promover los sistemas de energía renovable para electrificación rural fuera de la red en economías en desarrollo • Explorar soluciones de cobre para cocinas en países en desarrollo • Informar a las organizaciones de investigación de gobierno e industria sobre los avances en los materiales de cobre y las técnicas de procesamiento que se aplican a los sistemas de energía renovable

Acuicultura

La acuicultura es una industria mundial que involucra miles de millones de dólares. El agotamiento de las reservas de peces y la creciente demanda de peces de cultivo ha aumentado la acuicultura cercana a la costa y la expansión hacia el medio ambiente en mar abierto. Hay preocupación por el exceso de incrustación en las jaulas de peces con organismos marinos, la diseminación de enfermedades infecciosas, el ataque de depredadores y las posibles amenazas a la salud humana por los antibióticos administrados a los peces cultivados. La combinación de propiedades de las aleaciones de cobre para combatir la bioincrustación y las bacterias, así como su resistencia mecánica, resuelven estos problemas. La propiedad de los metales de cobre para combatir la bioincrustación permite que fluya agua limpia y oxigenada a través de las redes o jaulas para peces y que se lleve los residuos, manteniendo así un entorno saludable. Además, el cobre puede mitigar la propagación de enfermedades infecciosas al prevenir la formación de bioincrustación (es decir, películas de algas, distintos braquiópodos, etc.) que facilitan la proliferación de parásitos y patógenos y con ello se reduce o descarta la necesidad de antibióticos. La resistencia mecánica y resiliencia de una estructura de aleación de cobre también impide los ataques de depredadores o el escape de los peces. A diferencia de las jaulas hechas de materiales sintéticos, las estructuras de aleación de cobre son completamente reciclables al final de su vida útil.



Entre las décadas de 1960 y 1980, la industria del cobre desarrolló diversas jaulas de cobre para acuicultura. Estas jaulas eran rígidas y no era fácil escalarlas a una producción a grandes volúmenes. Las actividades de desarrollo recientes en cuanto a aleaciones de cobre y diseño de jaulas incluyen redes de alambre tejido y soldado y mallas de metal expandido a partir de láminas con una vida útil superior a cuatro años. Las redes de aleación de cobre han permitido una tasa de crecimiento de los peces un 10 por ciento a 15 por ciento más rápida, una reducción de 50 por ciento en la mortalidad de los peces gracias a la mejora en su salud, un uso más eficiente del alimento y un aumento de la rentabilidad para los propietarios de los cultivos.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Expansión mundial de la acuicultura • Necesidad de reducir la pérdida de peces debido a parásitos, depredadores, infecciones y manejo • Alejamiento de las áreas costeras protegidas hacia áreas expuestas a condiciones marítimas más enérgicas • Demanda de los consumidores de una reducción en el uso de antibióticos • Expansión de las jaulas sumergibles de mar abierto
Oportunidades y actividades recomendadas	
Desarrollo de jaulas para peces	• Diseñar jaulas y sistemas de flotación para las condiciones en litoral y mar abierto • Investigar los sistemas sumergidos y las estructuras de flotación que se sumergen según la necesidad • Reducir el peso de las jaulas y a la vez ampliar considerablemente la vida útil • Desarrollar jaulas de bajo costo para mejorar la acuicultura de pequeña escala • Investigar el uso de conexiones flexibles entre paneles semirígidos • Desarrollar redes para viveros que utilicen materiales de cobre
Desarrollo de aleaciones y mallas	• Desarrollar aleaciones con resistencia mejorada al desgaste mecánico • Investigar formas y aleaciones de mallas adecuadas para excluir depredadores • Desarrollar/investigar aleaciones que puedan evitar la adhesión de organismos marinos con liberación óptima de ión cobre • Establecer una cadena de suministro para los materiales de la malla de aleación de cobre
Salud de los peces	• Efectuar actividades de investigación relacionadas con la comprensión de los efectos de la malla de aleación de cobre en el estrés de los peces, los parásitos, los patógenos, el índice de mortalidad, el índice de crecimiento y el índice de conversión de alimentos, así como los niveles de seguridad de la liberación de cobre al entorno marino circundante

Superficies antimicrobianas

Más del 50 por ciento de la población mundial vive en ciudades. Por ello, la propagación de bacterias infecciosas en hospitales y edificios públicos sigue siendo un tema de salud pública. El cobre antimicrobiano es el único material de superficie de contacto certificado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) que mata continuamente más del 99,9 por ciento de las bacterias que provocan infecciones relacionadas con la sanidad a las dos horas de haber entrado en contacto.



Las pruebas de laboratorio patrocinadas por la ICA en favor de la certificación EPA prueban que el cobre es la superficie de contacto más eficaz. Hay ensayos clínicos en curso para determinar el efecto a la carga microbiana en un entorno de uso real y para demostrar que las superficies de cobre rompen la cadena de contagio de enfermedades infecciosas. Tres características principales hacen del cobre (en combinación con la limpieza regular) eficaz:

Mata las bacterias continuamente

- Se comprobó que su eficacia supera con creces al acero inoxidable y a los revestimientos de plata
- Se comprobó que mata continuamente las bacterias que provocan infecciones
- Nunca se gasta

Acción antimicrobiana continua y permanente

- Ausencia de descomposición incluso tras repetidas abrasiones húmedas, y secas y recontaminación
- El empañado natural no afecta su eficacia
- Su uso es seguro

No es dañino para las personas o el medio ambiente

- Acción antimicrobiana inherente, sin aditivos químicos
- Completamente reciclable

La instalación de “superficies de contacto” de aleación de cobre en hospitales, escuelas, sistemas de transporte público y edificios públicos debería reducir el contagio de enfermedades y a la vez generar un mercado nuevo importante para el cobre y sus aleaciones.

En una aplicación relacionada, el cobre inhibe el crecimiento de hongos en sistemas de manipulación de aire, lo que mejora la calidad del aire y promueve la eficiencia del sistema. Las pruebas de laboratorio demuestran que el moho que causa el mal olor no crecen en los materiales de cobre. Después de 24 horas de exposición a superficies de cobre, se observa la muerte total de varias especies comunes de moho. Las pruebas clínicas que respaldan estos hallazgos están en curso.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Creciente resistencia de las bacterias a diversos fármacos • Aumento de los viajes que aumenta los índices y la extensión del contagio de enfermedades • Aumento de los índices de infecciones en hospitales y comunidades • Población que envejece y, por ende, una menor resistencia a las enfermedades • La necesidad de transferir con éxito los datos de laboratorio al entorno clínico
--------------------------------------	--

Oportunidades y Actividades recomendadas	• Estudios científicos para explorar la reducción en el contagio de enfermedades posibilitado por el cobre antimicrobiano en distintos escenarios de alto riesgo • Investigación técnica para ampliar la gama de microorganismos sobre los cuales se conoce la eficacia del cobre antimicrobiano • Desarrollar productos de cobre antimicrobiano para superficies de alto contacto en diversos escenarios de alto riesgo • Desarrollar cobre “inoxidable” y productos de aleación de cobre con propiedades antimicrobianas permanentes • Proporcionar transferencia tecnológica a los posibles fabricantes de materiales antimicrobianos de cobre • Presentar los hallazgos en reuniones científicas y publicarlos en revistas revisadas por expertos • Promover el uso de aletas y colectores de goteo de cobre en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios, vehículos automotores y transporte público
--	---

Propulsión eléctrica

Los sistemas de propulsión eléctrica incorporan el cobre en las baterías, el control eléctrico, los enchufes y cables de recarga, los motores y el manejo térmico. Los sectores ferroviario, marítimo, de construcción civil y de automóviles comprenden mercados importantes que utilizan la tecnología de propulsión eléctrica. El área prioritaria de investigación y desarrollo es la propulsión eléctrica automotriz, donde los sistemas están siendo desarrollados intensamente y se alejan de aquellos sistemas relativamente simples de motor eléctrico hacia métodos más eficientes, compactos y de diseño sofisticado. Las oportunidades adicionales incluyen componentes de cobre para alta capacidad eléctrica y alto manejo térmico en componentes electrónicos de alimentación y baterías, así como la infraestructura para respaldar la recarga de los vehículos eléctricos.



Los diseñadores de vehículos buscan motores más pequeños, económicos y eficientes. El índice de llenado típico (es decir, la densidad por volumen) de las bobinas de cobre en los estatores de máquinas eléctricas bordea el 50 por ciento a 60 por ciento. Un índice de llenado superior al 80 por ciento acelera la transición de los sistemas de transmisión eléctrica para automóviles hacia componentes nuevos que utilizan una mayor proporción de cobre y reduce el tamaño y peso de los componentes.

Cargar una batería de 35 kWh en 10 minutos exige 250 kW. Una estación de carga para cuatro automóviles eléctricos necesitaría 1 MW. La carga rápida descarta la necesidad de un almacenamiento de energía a gran escala y es mucho más atractivo para los consumidores que prefieren cargar sus automóviles en casa o mientras están estacionados. La excelente conductividad térmica del cobre puede ofrecer soluciones de transferencia de calor que mejoren la capacidad de enfriamiento de las estaciones de carga rápida.

Un fabricante estadounidense introdujo el rotor de cobre para motor con inducción de CA (CMR, según su sigla en inglés) en los motores de tracción para camiones militares y comerciales. Algunos fabricantes de automóviles también favorecerían los motores de transmisión con inducción de CA para vehículos de pasajeros, lo que ampliaría el uso de la tecnología CMR y aumentaría considerablemente el uso de cobre. Este método evita el uso de lantánidos (tierras raras) cuya disponibilidad es escasa. (Véase el Anexo A.)

Tendencias, problemas y motivaciones	• Presión para proteger el medio ambiente y mitigar el cambio climático • Creciente aceptación de los vehículos eléctricos por parte de los consumidores, creciente interés en vehículos eléctricos enchufables y vehículos eléctricos híbridos • Mejoras constantes en la tecnología de las baterías • Preocupación por la disponibilidad de tierras raras para las máquinas eléctricas de imán permanente
Oportunidades y actividades recomendadas	• Aumentar el índice de llenado de cobre en las ranuras de laminación del estator de motor para que superen el 80 por ciento • Reducir los costos para producir rotores de cobre fundido para motor • Optimizar los sistemas de propulsión de alto volumen de producción que incorporan rotores de cobre para motor • Explorar la función del cobre en los conceptos de batería avanzada, incluido el manejo térmico • Explorar la necesidad de sistemas de control climático en vehículos eléctricos • Explorar la necesidad de componentes de cobre en la infraestructura de carga • Ampliar la visibilidad de la industria del cobre entre los OEM y proveedores en el sector automotriz

Disipación de energía sísmica

Mantener la solidez estructural de los edificios en zonas sísmicas sigue siendo una dificultad y una tarea vital ya que más del 50 por ciento de la población mundial vive en ciudades. Algunos edificios utilizan amortiguadores sísmicos contruidos con acero y cemento. Sin embargo, estos amortiguadores carecen de elasticidad y no regresarán a su posición original tras un evento sísmico. El daño sísmico causado a los edificios, su contenido y sus ocupantes puede ser controlado a través del uso de dispositivos de cobre que aíslan las estructuras de los movimientos del suelo o absorben la energía para limitar los movimientos de los edificios. Dos sistemas distintos a base de cobre presentan una nueva gama de posibilidades para los dispositivos de disipación de energía.



Los dispositivos de disipación de energía fabricados con aleaciones de cobre superelásticas, tales como el cobre aluminio manganeso (80 por ciento de cobre), ofrecen una elongación de 8 por ciento a 10 por ciento. Esta aleación de alta eficacia también promete un ahorro de costos frente a los materiales de aleación de titanio de la competencia. El cobre recocido se deforma de manera plástica debido a las vibraciones cíclicas manteniendo su alta ductilidad y se considera como material ideal para los componentes de los dispositivos de disipación de energía.

Las pruebas de diseño efectuadas por ingenieros estructurales facilitarán la colocación de los dispositivos de disipación de energía en los modelos de estructura sísmica. Las posibles aplicaciones de los dispositivos de disipación de energía a base de cobre son las estructuras flexibles y vitales tales como los grandes edificios de oficinas, los hospitales, los puentes, las estructuras portuarias y las instalaciones mineras.

Tendencias, problemas y motivaciones	• Protegen los edificios y los ocupantes en las zonas sísmicas • Impiden el derrumbe y la deformación de los edificios • Impiden el derrumbe catastrófico de infraestructura vital • Desarrollar materiales de construcción económicos
Oportunidades y Actividades recomendadas	• Desarrollar un proceso de producción masiva para bloques y varillas de aleación de Cu-Al-Mn que incluya un proceso de tratamiento con calor para alcanzar un gran tamaño granular • Aumentar el diámetro de las varillas más allá de los 15 mm • Desarrollar una comprensión más detallada de la aleación de Cu-Al-Mn superelástica bajo cargas sísmicas típicas • Desarrollar una comprensión más detallada del comportamiento del cobre recocido bajo cargas sísmicas típicas • Diseñar y probar nuevos diseños de EDD, caracterizar su comportamiento y proporcionar a los ingenieros estructurales parámetros de ingeniería para que puedan incorporarlos en los modelos sísmicos • Buscar la colocación de EDD a base de cobre en grandes edificios de oficinas, hospitales, puentes, estructuras portuarias e instalaciones mineras • Explorar las posibles aplicaciones del aislamiento sísmico con cobre además de la disipación de energía • Explorar el uso de cobre superelástico en dispositivos de contrapeso dinámico, por ejemplo, devolviendo los arcos de los puentes al centro de las columnas de apoyo para evitar derrumbes catastróficos

Posibles aplicaciones futuras

Además de las áreas de oportunidad prioritarias que se presentan en este documento, la industria del cobre busca ideas de investigación que prometan nuevas aplicaciones para el cobre. La industria, a través de la International Copper Association, Ltd., y su red de organizaciones de promoción del cobre nacionales/regionales, financia investigaciones precompetitivas que apunten a la creación de aplicaciones nuevas e importantes para el cobre. Se invita a los investigadores académicos o del mundo privado, que trabajan ya sea en investigación básica o aplicada relacionada con el cobre y cuyo trabajo atiende los intereses de la industria del cobre a comunicarse con la ICA para presentar propuestas que indiquen los avances importantes que son necesarios y describan una metodología técnica creíble para obtener logros.



Una buena propuesta tecnológica para el cobre reúne lo siguiente:

- Necesitará una iniciativa de investigación y desarrollo para lograr un avance técnico significativo que haga posible su aplicación a escala mundial.
- Creará una nueva aplicación de mercado o defenderá una aplicación actual del cobre frente a materiales o tecnologías alternativas.
- Ofrecerá un camino despejado hacia la comercialización. Por ejemplo, la ICA ha financiado el desarrollo de un material absorbente de cobre junto con la University of Michigan que está entrando en etapa de comercialización junto a un líder internacional de la industria de petróleo y gas.
- Aplicará los atributos superiores del cobre. El cobre es esencial para la salud, su uso promueve la eficiencia energética y su reciclabilidad es casi insuperable entre todos los materiales de ingeniería.
- Llevará al uso de al menos 10.000 toneladas métricas de cobre anuales a los cinco años de iniciarse. También se dará preferencia a las propuestas con menor volumen de producción, pero un mayor beneficio social. La tecnología con un plazo de entrada al mercado más largo requiere de un mayor impacto en el mercado y una vía más despejada para su comercialización.
- Proporcionará datos sustanciales sobre las aleaciones actuales para nuevas aplicaciones emergentes.

Tendencias, problemas y motivaciones

- Rápido aumento del intercambio de ideas y la colaboración en la creatividad mundial
- Digitalización, comunicación y computación omnipresente
- Simulación y modelado de fenómenos metalúrgicos
- Comprensión científica más profunda de los sistemas vivientes
- Mayor preocupación sobre las consecuencias medioambientales
- Difusión mundial del modelo de inversión de capital de riesgo
- Aplicaciones superficiales de orientación química para el uso en la industria energética

Posibles áreas de exploración	• Circuitos electrónicos impresos usando “tintas” de cobre que sean compatibles con las superficies de silicio y polímero • Mejorar la conductividad eléctrica del cobre un >130 por ciento manteniendo la capacidad de procesarlo en cables para crear un cable “ultraconductor” a temperatura ambiente • Materiales de cobre como catalizador o como sustrato para otros catalizadores para: – Producción de hidrógeno – Transporte de oxígeno – Captura de dióxido de carbono – Captura de gases ácidos – Materiales de compuesto de cobre que contienen distintas formas de fibra o partículas para alcanzar propiedades inusuales o mejoradas • Estructuras con contenido de cobre creadas con nanoingeniería • Iluminación LED • Formas fundamentalmente nuevas de superficies y estructuras de intercambio de calor
Actividades recomendadas	• Investigar y desarrollar materiales avanzados a base de cobre a través de iniciativas de investigación científica gubernamental/privada/académica en distintos países

Implementación

La Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre sigue desarrollándose a medida que la industria reacciona a las tendencias sociales, las presiones de la competencia, los desarrollos técnicos relacionados y las oportunidades imprevistas. Aunque no trata todas las vías tecnológicas del futuro, esta guía se centra en qué creen sus colaboradores que son las necesidades precompetitivas más prioritarias de la industria del cobre y de sus clientes. Así, su fin es guiar la planificación y la implementación de programas de investigación y desarrollo colaborativos que aunarán los esfuerzos de productores y fabricantes de cobre, industrias que utilizan el cobre, universidades, laboratorios públicos, empresarios y tecnólogos independientes.

Muchas de las organizaciones que participaron en la creación de esta guía invierten considerables recursos cada año para desarrollar productos innovadores, nuevas aleaciones de cobre y tecnologías de procesos avanzadas. Su trayectoria de inversiones en tecnología es y seguirá siendo una fuente principal de su propio éxito futuro en el mercado. Al colaborar para desarrollar y perfeccionar esta guía, la industria ha dado pasos en la dirección de importantes transformaciones en la tecnología empresarial.

La ICA tendrá tres funciones en la implementación de la Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre:

- **Actividades de difusión y desarrollo de alianzas** que captarán a personas y organizaciones relevantes para inspirar el desarrollo continuo de ideas respecto de las oportunidades de aplicaciones del cobre y la necesaria investigación y desarrollo.
- **Los foros de implementación de la guía** ofrecerán instancias focalizadas para discutir ideas sobre áreas específicas con oportunidades y la difusión de los hallazgos en las redes creadas.
- **Supervisión de la guía y coordinación de proyectos** implica el manejo de las interacciones administrativas entre las distintas organizaciones que participan en el uso de la Guía. La ICA siempre ha adoptado una función coordinadora en el desarrollo y la implementación de la investigación y el desarrollo de las principales aplicaciones de cobre y seguirá cumpliendo esta función. La ICA también estará a la vanguardia de las iniciativas para reunir cofinanciamiento de terceros tales como gobiernos, organizaciones no gubernamentales y organizaciones pertinentes de la industria.

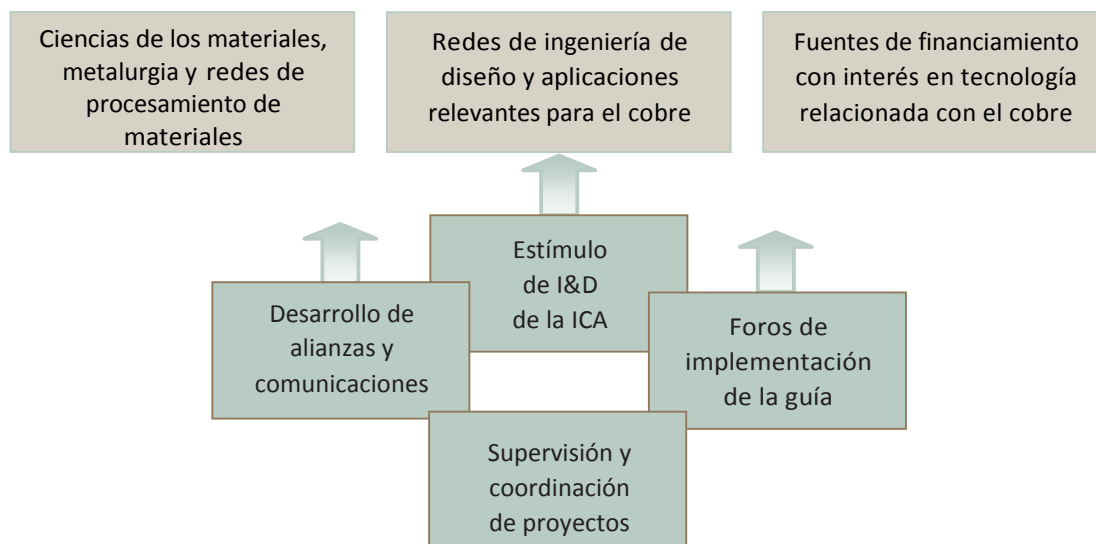
La Figura 1 describe los principales pasos de implementación. Estos pasos están pensados para catalizar el diálogo acerca del cobre y posteriormente lanzar y administrar la investigación científica en torno a proyectos de desarrollo y aplicación del cobre. Un marcado liderazgo y constancia garantizan que no se diluyan las oportunidades importantes. Además, lograr el éxito temprano ayuda a mantener el impulso generado por la guía y convencer a las empresas de que el modelo de colaboración tecnológica puede funcionar.

Desarrollo de alianzas y comunicaciones

Las alianzas de colaboración pondrán a disposición recursos y capacidades de entre los semifabricantes de cobre, los productores de componentes, los fabricantes de sistemas, los OEM, las organizaciones gubernamentales, las universidades, los productores y otros actores. Combinar la experiencia y las perspectivas de todas las facetas de los mercados relacionados con el cobre garantiza que se satisfagan y anticipen sus necesidades. La información y la distribución de costos minimiza la duplicación de iniciativas de desarrollo tecnológico y maximiza los recursos para lograr soluciones eficaces con eficiencia. No se han definido las funciones de las empresas y organizaciones en la implementación de esta guía. Estas funciones se definirán a medida que se diseñan e implementan actividades específicas.

La comunicación constante es importante para mantener a los grupos de la industria de todo el mundo informados y al día acerca de las estrategias y tecnologías eficaces para aumentar la plusvalía de sus productos. Los foros de Internet, los artículos de revistas, los informes publicados, las exposiciones en congresos y las noticias regulares pueden aumentar la conciencia mundial acerca de los últimos avances en la innovación con el cobre.

Figura 1: Catalización de conversaciones sobre el cobre. Conexión de individuos y redes en dominios clave y motivación del pensamiento acerca de la tecnología relacionada con el cobre



Foros de implementación de la guía

Un foro de implementación de la guía puede solicitar ideas nuevas para acelerar el avance de los proyectos más acuciantes. Si se determina que no se está atendiendo una oportunidad particular de la guía mediante las iniciativas en curso, los líderes de la industria del cobre, incluida la ICA, deberán organizar actividades que reúnan a la gama de expertos necesarios para dar ideas creativas sobre posibles respuestas. Esta iniciativa puede orientarse mediante investigación aplicada, comercialización de tecnología, integración de productos, pruebas de campo, capacitación/difusión o cualquier otro medio o método que fomente una actividad en particular.

Antes de lanzar proyectos nuevos, la industria del cobre debe definir con claridad los resultados esperados, los recursos y las capacidades necesarias y la manera en que los resultados contribuirán a lograr una meta en particular. Cada uno de estos factores se integrará en solicitudes de propuestas para pedir soluciones innovadoras y proyectos a universidades, empresas privadas, laboratorios públicos, investigadores o la comunidad técnica.

Supervisión de la guía y coordinación de proyectos

Esta guía invita a las organizaciones y a las personas a participar de maneras que capitalizarán mejor sus diversas habilidades, capacidades y recursos para desarrollar oportunidades. Esto otorga a las empresas y organizaciones la flexibilidad para emprender proyectos que correspondan a sus intereses particulares. Sin embargo, la ausencia de una estructura unificada dificulta la identificación, la organización, el financiamiento y el seguimiento adecuado de las distintas actividades y de sus correspondientes beneficios. Conforme a su misión, la ICA cumplirá esta función proporcionando la supervisión y coordinación adecuadas para dar inicio y proveer de recursos a los proyectos y las actividades.

Misión de ICA:

Promover al cobre como la mejor alternativa en los mercados actuales y en las nuevas aplicaciones dados sus sobresalientes atributos en cuanto a desempeño técnico, valor estético, sustentabilidad y su condición de ser esencial para la vida, así como sus aportes a una mejor calidad de vida.

Pasos siguientes

La guía revisada ofrece a la industria del cobre un conjunto de vías de desarrollo de aplicaciones del cobre. Las iniciativas posteriores pueden ofrecer un conjunto de direcciones más detalladas y una vía eficaz para obtener logros en mercados específicos. Las alianzas de colaboración entre las ciencias de los materiales, la metalurgia y los investigadores del procesamiento de materiales, los ingenieros de aplicaciones y diseño, los fabricantes y los gobiernos pueden generar la energía suficiente y el impulso necesario para llevar al cobre y sus industrias por esas vías.

A medida que la industria busca avanzar, el éxito de esta guía será medido por la cantidad y el alcance de los proyectos de investigación y desarrollo que inspirará y los beneficios acumulados a través de ellos. Beneficios complementarios, pero igualmente importantes, serán la mejora de la percepción del cobre como un material que conecta la vida, es ecológico y presenta avances técnicos.

Anexo A—la evolución del rotor de cobre moldeado a presión para motores

La industria del cobre ha estado invirtiendo en el potencial de los rotores de cobre moldeados a presión para motores durante 15 años. Al igual que en otras actividades de investigación y desarrollo, el objetivo técnico ha cambiado con el tiempo y también sus oportunidades de aplicación. Resolver el desafío técnico inicial fue solo el principio; lanzar esta nueva tecnología ha requerido un esfuerzo constante y las condiciones de mercado adecuadas.

A mediados de la década de 1990 existía gran interés en el desarrollo de motores de inducción AC que fueran más eficientes, ligeros y de menor tamaño para usarlos en sectores industriales y gubernamentales. La aprobación de la ley de política energética de Estados Unidos (US. Energy Policy Act) de 1992 y de legislaciones similares en Europa reflejaban una creciente toma de conciencia de la importancia que tiene la eficiencia de los motores en el marco más amplio del ahorro de energía. Los motores industriales consumen cerca del 40 por ciento de la producción mundial de electricidad, por lo que toda mejora en su eficiencia es importante. La industria respondió a esta legislación con motores más eficientes que usaban mayor cantidad de cobre en el devanado estatórico, reduciendo así las pérdidas resistivas, o de I^2R .

Cuando se inició este proyecto a mediados de los 90, tras décadas de mejoras incrementales en la eficiencia del motor por inducción, había pocas oportunidades técnicas de que pudieran lograrse eficiencias mayores significativas a un costo razonable. El rotor de cobre por moldeo a presión parecía ser el mejor enfoque. El cobre en el rotor reduce las pérdidas resistivas en el motor en un orden del 40 por ciento y tiene el potencial de reducir las pérdidas totales en 10-20 por ciento, comparado con los motores con rotor de aluminio convencionales. Posteriormente se demostró que los motores con rotores de cobre podían ser más pequeños y ligeros y podían funcionar a temperaturas más bajas para disminuir las necesidades de mantenimiento. A pesar de estas ventajas, los métodos de moldeo a presión del cobre no eran rentables para la producción a gran volumen. Además, los fabricantes de motores pedían que el rotor de cobre se fabricara en el equipamiento para moldeo a presión disponible comercialmente.

En busca de la oportunidad

En el año 1996, tras reconocer que el rotor de cobre era una plataforma de diseño sólida para aumentar la eficiencia de los motores por inducción industriales, con lo que se ganaría ahorros de energía y costo en aplicaciones motorizadas, la International Copper Association Ltd. (ICA) comenzó a financiar un proyecto de I+D para crear un rotor de cobre para motor adecuado para la producción en masa. Bajo la dirección de la U.S. Copper Development Association Inc. (CDA), un consorcio formado por fabricantes de motores, industrias de moldeo a presión y representantes del gobierno iniciaron (y financiaron cooperativamente) el programa de Moldeo a Presión de Rotores de Cobre para Motores (Die Cast Copper Motor Rotor).

Desafíos

Los investigadores abordaron los desafíos de reducir el costo de procesamiento y asegurar el desempeño adecuado de los rotores de cobre. Durante el proceso de moldeo a alta presión, los aceros para moldeo convencionales son susceptibles de sufrir agrietamiento (como el cuarteado térmico) debido a la tensión y al desgaste térmico en la fundición, ya que las temperaturas van desde varios cientos de grados hasta el punto de fundición del cobre (alrededor de 1085°C o 1984°F). La vida del moldeo a presión disminuye drásticamente cuando se moldea el cobre comparado con el aluminio, que funde a 660°C y, por tanto, induce una tensión térmica y tracción significativamente menores en el



SEW Eurodrive con rotor tradicional de aluminio (Izquierda); con rotor de cobre (Derecha)

moldeado. También se reconoció que debería modificarse el diseño del rotor y del motor para aplicar el cobre de forma más efectiva.

Soluciones

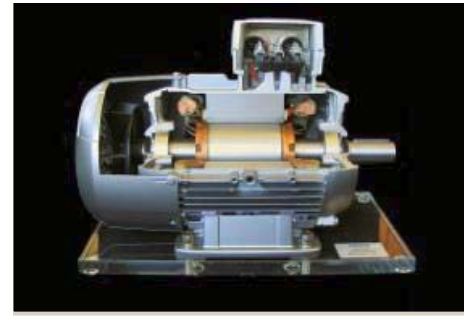
El equipo de investigadores industriales y académicos bajo la dirección de la CDA determinó que era posible reducir el agrietamiento del molde y prolongar su vida útil con dos cambios: mediante el reemplazo de las porciones críticas de molde de acero con una súper aleación en base a níquel, termo resistente y dúctil y el pre-calentamiento del molde a aproximadamente 600°C (1100°F). Estas medidas hicieron que el proceso de moldeo a presión del cobre fuera económicamente viable. También se investigó el diseño del motor. La torsión de arranque se reduce en un rotor conductor de alta conductividad, por lo que se modificó la forma de las barras o ranuras del rotor para mejorar aún más las características de funcionamiento del motor. Esto se hizo para incorporar una barra de inicio que permitiera aprovechar la alta conductividad del cobre, permitiendo al diseñador del rotor usar el "efecto pelicular": la tendencia del flujo de corriente alterna de acumularse en las superficies externas del conductor. A una eficiencia dada, el rotor de cobre usa menos laminado de acero en el rotor y los tubos del estator para ahorrar en costos de materiales, y posiblemente reducir el tamaño general del motor.

La oportunidad en motores industriales estándar

En la primavera del año 2006, Siemens, un importante fabricante mundial de motores, había adoptado la nueva tecnología de rotores de cobre moldeados a presión y había introducido en el mercado una línea de motores industriales súper eficientes. En el plazo de un año, los motores habían logrado amplia aceptación comercial en los Estados Unidos. Estos motores eran hasta dos puntos porcentuales más eficientes que aquellos que cumplían los estándares NEMA Premium™ y ofrecían costos de ciclo de vida útil sustancialmente inferiores. Si bien el costo inicial de comprar un motor con rotor de cobre puede ser más alto que otras soluciones alternativas, el costo de ciclo de vida para un motor menos eficiente supera con mucho el costo de un motor con rotor de cobre. El costo inicial representa solo el 2 por ciento del costo total de propiedad. Los costos de energía, mantenimiento y otras variables constituyen el otro 98 por ciento del costo en la vida útil del motor.

La oportunidad en motores integrales

Varios fabricantes de componentes de sistemas electromecánicos reconocieron el valor de usar un motor con rotor de cobre. Creían que el tamaño total del motor podía reducirse para adaptarse exactamente a los requisitos de sus equipos. En vez de continuar usando exclusivamente motores de rotor de aluminio, un fabricante líder de sistemas de engranajes de cambio motorizados, SEW Eurodrive, decidió reducir las alternativas en su línea de productos y usar motores integrales con moldeo en alrededor de un tercio de su línea de productos. Esto permitió la modificación de los engranajes existentes con motores de alta eficiencia que pudieran caber en el mismo paquete. Esta aplicación comercial a gran escala fue la señal de que el desafío que enfrentaban los rotores de cobre había sido superado. Otros fabricantes siguieron el ejemplo. Las aplicaciones para motores integrales incluyen sistemas



Motor Super-premium de Siemens con rotor de cobre moldeado a presión



Vehículo híbrido militar

electrohidráulicos compactos y ligeros para aviación, compresores de refrigeración y motores de tracción.

La oportunidad en la propulsión automotriz

A medida que aumentaba el interés en los vehículos eléctricos, los ingenieros automotrices reconocieron que necesitaban diseños de motor especiales para satisfacer los complejos requisitos de producción técnicos, de costo y volumen. El interés en usar motores con rotores de cobre moldeados a presión aumentó debido a las inquietudes sobre la disponibilidad de materiales de tierras raras, tales como el neodimio, y el desempeño magnético a temperaturas elevadas. Los estudios técnicos muestran que los motores de inducción podrían tener similar densidad compacta de alta potencia y una mayor eficiencia del sistema en un sistema híbrido paralelo, lo que generó interés en el uso de rotores con moldeo de cobre. Con el financiamiento del gobierno de los Estados Unidos, Baldor Reliance presentó un vehículo militar híbrido que usaba cuatro motores de tracción de muy alta densidad energética y refrigeración por fluidos con rotores de cobre.

En la aplicación de tracción híbrida paralela, el motor con rotor de cobre ofreció ventajas importantes:

- La capacidad de redistribuir pérdidas al estator para un enfriamiento más efectivo debido a su reducido tamaño y peso
- La capacidad de des-excitar cuando no esté funcionando, eliminando así las pérdidas rotatorias y magnéticas en vacío
- El cumplimiento de exigencias de eficiencia en un rango más amplio de cargas y velocidades
- Mejores propiedades mecánicas y resistencia que los motores con rotores de aluminio o con rotores de cobre fabricado
- Uso de cobre y acero de disponibilidad inmediata

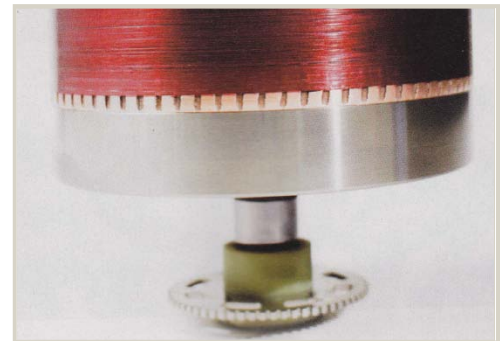
Casi simultáneamente, Tesla Motors presentó su vehículo eléctrico con un sistema transmisor que incluía un motor con un rotor de cobre de 32,5 cm de diámetro con una velocidad operativa máxima de 13.500 RPM, un ondulador de voltaje y paquetes de baterías de iones de litio. (La gran cantidad de cobre en el ondulador, cables, baterías y motor reduce las pérdidas eléctricas y evita el calentamiento en condiciones de alto amperaje). Más fabricantes de automóviles están investigando sistemas transmisores usando motores de inducción para una serie de vehículos con rotores de cobre moldeado a presión. Los millones de automóviles con motor de rotores de cobre en su interior demuestran el éxito del cobre y una contribución importante al transporte sostenible.

Investigación, desarrollo y comercialización continuos

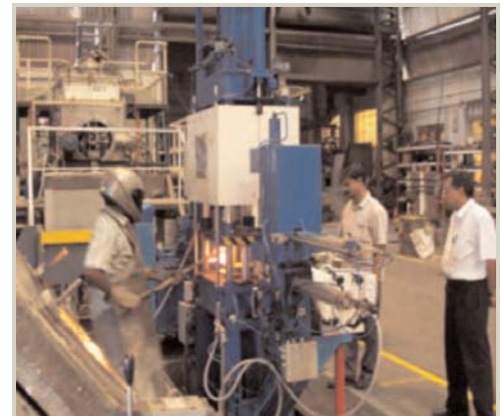
La ICA ha ayudado a desarrollar y transferir la tecnología de motores con rotores de cobre con moldeo a presión a las empresas fabricantes en todo el mundo. La capacidad para producir rotores moldeados para propulsión automotriz existe en Alemania, Francia, Japón, Corea, India, Taiwán, China y los Estados Unidos.



Prensa horizontal CRM



Rotor de cobre para motores en la transmisión de un motor Tesla



Desarrollo tecnológico en NFTDC

La investigación en el proceso de moldeado vertical continúa en el Centro de Desarrollo de Tecnología No Férrea NonFerrous Technology Development Centre (NFTDC) en Hyderabad, India. Este trabajo está patrocinado por la ICA con co-financiamiento del Fondo Común para los Productos Básicos de las Naciones Unidas y por el Fondo Global para el Medio Ambiente (Global Environment Facility, GEF). El equipo técnico del NFTDC ha desarrollado métodos sofisticados y costo-efectivos para el moldeado de rotores de cobre y ahora está otorgando licencias de esta tecnología a la industria para su aplicación en motores industriales y cadenas de transmisión de vehículos.

En 2006, y con el apoyo de la ICA, el Yunnan Copper Group y el Nanyang Explosion Protection Group formaron una empresa conjunta, Yunnan Copper Die Casting Co. Ltd (YCD), para comercializar los motores con rotores de cobre en China. En los últimos cinco años, y después de cientos de experimentos y pruebas, se desarrolló una tecnología sofisticada y madura basada en la prensa horizontal y de la cual ya se han otorgado licencias a la industria. YCD ha producido más de 100 tipos diferentes de rotores para 18 OEMs.

La ICA ha apoyado al gobierno de China en el desarrollo de dos estándares nacionales para motores súper eficientes que incluyen rotores de cobre. Estos son los primeros estándares nacionales del mundo para motores industriales con rotores de cobre.

Proyectos tecnológicos colaborativos

El programa de rotores de cobre para motores Die Cast Copper Motor Rotor encarna los principios y objetivos de la Guía de Innovación Tecnológica en Aplicaciones de Cobre. Como resultado de necesidades tecnológicas bien definidas, la industria ha organizado un esfuerzo colaborativo para financiar e implementar proyectos que produzcan soluciones innovadoras que beneficien a la sociedad en su conjunto.

Hechos

Financiación directa de ICA 1996 – 2010: \$2,1 millones
Co-financiación de la industria y gobiernos: >\$10 millones
Rotores de cobre para motores producidos: >500,000

Principales aprendizajes comerciales/tecnológicos

- El moldeado a presión de rotores de cobre para motores es totalmente factible y comercialmente viable en máquinas de moldeado horizontales y verticales.
- Los diseños de motor y rotor deben ser optimizados para usar los rotores de cobre de forma más efectiva. Sustituir un rotor de cobre por un rotor de aluminio no logra los mayores beneficios.
- El foco inicial en los motores industriales estándar de alta eficiencia, que era lo razonable en 1996, sigue siendo atractivo y económicamente viable. Se requieren mayores mejoras en las eficiencias energéticas necesarias y estándares de rendimiento con energía mínima para ayudar a una mayor penetración de los rotores de moldeado en cobre debido al hecho de que ya se han incorporado otras mejoras de material/diseño. El Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. Department of Energy) y los



Rotores moldeados a presión con prensa vertical en NFTDC



Vista transversal de las barras de rotor y corona de extremo en un rotor de cobre moldeado a presión para motores



Vista transversal de las barras de rotor en un rotor de cobre moldeado a presión para motores

organismos reguladores en otros países están estudiando ahora elevar el estándar de eficiencia mínima para los motores industriales a un rango “súper súper Premium.” Se espera el anuncio de este estándar en los Estados Unidos para 2012 para su adopción en el año 2015.

- Los diseños de motores a medida pueden beneficiarse del uso reducido de material, tamaño compacto y peso más ligero que permite el rotor de cobre para motores. El rotor de cobre moldeado a presión para motores parece ser el más indicado para las necesidades de los sistemas de propulsión automotriz, lo que no fue un objetivo del esfuerzo inicial de desarrollo tecnológico.
- Los sistemas motorizados que usan motores con rotores de cobre moldeados a presión en motores de inducción industriales han dejado de ser una prioridad de investigación para la Guía de Innovación Tecnológica en Aplicaciones de Cobre. Esto se debe a que la atención se ha desviado desde la investigación a la aplicación de ingeniería y la comercialización a gran escala. El desafío de aplicar la tecnología de motor con rotor moldeado a presión en los sistemas de propulsión automotriz sigue siendo un área de atención.



Rotores YCD de cobre moldeados a presión para motores

Anexo B—Propiedades fundamentales del cobre

En forma pura o en aleaciones en literalmente cientos de composiciones diseñadas para cumplir requisitos específicos, los metales a base de cobre ofrecen propiedades óptimas para innumerables productos.

- **Conductividad eléctrica** —El cobre tiene una capacidad de transmitir corriente mejor que la mayoría de otros conductores no superconductores excepto la plata. El cobre del cable para edificios utilizado actualmente tiene una calificación de conductividad superior al 100 por ciento en la clasificación internacional de cobre templado (International Annealed Copper Standard, IACS), el máximo aceptado hace un siglo. La excelente conductividad eléctrica del cobre significa que los motores con los nuevos rotores de cobre pueden ser más pequeños y funcionar a menores temperaturas que los motores tradicionales.
- **Conductividad térmica**—El cobre transmite el calor hasta ocho veces mejor que otros metales usados en ingeniería. Combinado con su inherente alta resistencia a la corrosión y formabilidad inmediata, la conductividad térmica del cobre lo convierte en el metal ideal para los intercambiadores de calor de todos los tipos, incluidos los sistemas solares de calefacción de agua. La calefacción a gas o eléctrica es uno de los gastos de energía más altos para cualquier edificio u hogar. El cobre puede reducir significativamente los costos de la energía.
- **Efecto antimicrobiano**—Las inquietudes sobre las infecciones hospitalarias y aquellas que se originan en el sector de procesamiento de alimentos siguen aumentando. Las propiedades antibacterianas, fungicidas y, hasta cierto punto, antiviral del cobre, los compuestos de cobre y las aleaciones de cobre se conocen desde hace siglos. El cobre, en forma de superficies de cobre o de aleaciones de cobre, es un freno importante a la transmisión de enfermedades fungicidas y bacterianas en el sector salud y en los sistemas de tratamiento de aire.
- **Formabilidad**—La formabilidad del cobre puede reducir el tiempo de instalación y disminuir los costos laborales, particularmente en el sector de tuberías. Los tubos y accesorios se unen fácilmente por soldadura fuerte o blanda, y los accesorios de prensa reducen aún más los tiempos de instalación. El cobre y sus aleaciones están presentes en componentes eléctricos y electrónicos, incluidos interruptores, muelles conductores, conectores y bastidores de conductores. Los productos de cobre forjados en frío o en calor son necesarios para las empresas que requieren confiabilidad y facilidad de maquinabilidad. Una serie de aleaciones de cobre fundido ofrece corrosión a la resistencia así como buena conductividad térmica o eléctrica.
- **Resistencia a la corrosión**—Los metales de cobre pueden resistir el ataque de una amplia gama de ambientes corrosivos, lo que los hace ideales para el uso en aplicaciones en el sector de energía en alta mar, industrias de petróleo y gas en alta mar e instalaciones de desalinización. En la presencia de humedad y una variedad de componentes naturales y atmosféricos artificiales, el cobre desarrolla con el tiempo una patina protectora y atractiva que retiene su funcionalidad durante siglos.
- **Reciclabilidad continua**—El cobre tiene la historia de reciclaje más larga que cualquier otro material. Se estima que el 80 por ciento del cobre extraído durante los últimos 10.000 años sigue en uso en algún lugar todavía hoy. El reciclaje del cobre no resulta en una reducción de calidad o pérdida de propiedades y puede repetirse tanto como sea necesario. El reciclaje protege los recursos naturales, reduce el consumo de energía y evita la pérdida de materiales valiosos.
- **Color/apariencia estética**—El cobre se utiliza cada vez más por su apariencia estética agradable y la amplia paleta de colores que ofrecen sus aleaciones. A medida que el uso del cobre se extiende a las superficies sanitarias, el “aspecto” del cobre ganará mayor aceptación de los consumidores como un metal “saludable”.
- **Facilidad de aleación**—La importancia industrial del cobre ha crecido debido a su facilidad de aleación con otros metales. El resultado es una amplia familia de más de 400 aleaciones en uso actualmente. Este esfuerzo está lejos de haberse agotado.
- **Abundante y disponible**—El cobre es una parte integral de la vida y civilización humana. Las propiedades básicas del cobre han satisfecho las necesidades de la sociedad a través de la historia. El cobre se procesa regularmente mediante métodos de manufactura comunes y está disponible en muchas formas y aleaciones que permiten una producción eficiente.

Anexo C—Tendencias y desafíos que influyen en el uso del cobre

Las tendencias del mercado, las regulaciones e innovaciones siguen influyendo en el uso del cobre. Si bien es imposible predecir el futuro, es posible tener una perspectiva sobre las posibles rutas de desarrollo y prioridades si se consideran las fuerzas económicas, sociales y tecnológicas que influyen en las industrias mundiales del cobre. Para información sobre los mercados de mercado final del cobre, véase el Anexo E.

- **Reducir el costo del procesamiento**—Para seguir siendo competitivos, los fabricantes deben seguir reduciendo su costo de manufactura al tiempo que mantienen una calidad alta. El cobre se procesa rutinariamente mediante métodos de manufactura comunes y está disponible en muchas formas y aleaciones que permiten una producción eficiente. El cobre se adapta a técnicas de procesamiento del conformado final, y algunos productos de cobre pueden ser semi-fabricados usando el método de electro-obtención “ascendente” en la producción de cobre electrolítico.

La capacidad del cobre de ser fabricado como productos conformados o derivados de polvo/metal (P/M) permite una reducción significativa del costo en una variedad de aplicaciones electrónicas. Por ejemplo, los componentes para fundición de fusibles 150-A y 200-A utilizados en el equipamiento de la minería de carbón se convirtieron de una barra de material de cobre maquinada a una pieza de conformado casi final en polvo/metal P/M, lo que permitió ahorrar el 25 por ciento del costo del producto.

- **Maximizar el uso de cobre con valor agregado**—Los fabricantes naturalmente buscan usar la menor cantidad de material consistente con la funcionalidad óptima. Las mejoras en los análisis de ingeniería, métodos de diseño y simulación de procesos permite que los materiales se usen sólo donde sean necesarios. En las aplicaciones de cobre existentes en el mercado, existe la oportunidad de usar menos metal al tiempo que se mantiene o se mejora el rendimiento del producto. Además, el valor del cobre que puede aumentarse por una selección colaborativa de material y proceso, en lo cual la industria del cobre ofrece apoyo técnico y nuevas aleaciones para aplicaciones específicas en la industria general. Por ejemplo, un creciente número de aplicaciones eléctricas requieren nuevas aleaciones que combinen resistencia mecánica y conductividad. El mismo concepto se aplica a las aplicaciones de acuicultura donde se requiere alta resistencia mecánica en combinación con la resistencia a la corrosión y bioincrustación.

La capacidad del cobre para desempeñarse bien incluso cuando se usa en grosores y pesos reducidos es una característica que presenta valor agregado. Por ejemplo, en los tubos de cobre para agua potable, el grosor de las paredes puede reducirse de 1.00 a 0,3 mm sin perjudicar la funcionalidad. En colectores térmicos solares, reducir el grosor de una lámina de cobre de 0,2 mm a 0,12 mm disminuye la cantidad de cobre necesario y, por tanto, reduce su costo de cobre. En las aplicaciones automotrices, la formabilidad y alta conductividad del cobre ayuda a reducir el tamaño de los circuitos, conectores y los mazos de cables.

- **Creciente presión competitiva de otros materiales**—Muchos de los mercados tradicionales del cobre han sido desafiados por metales, compuestos, polímeros, sistemas multi-capa y otros materiales alternativos. El cobre ofrece potenciales mejoras sistémicas y/o ahorros imposibles de conseguir con otros materiales. El desafío del diseñador es hacer el uso más eficiente posible de todos los materiales, incluidos el cobre. Si bien el costo del cobre puede parecer prohibitivo inicialmente, es muy a menudo el material más adecuado para una aplicación específica y el material costo-efectivo a largo plazo. El cobre, con sus características únicas, debe ofrecer mejoras sistémicas no alcanzables con otros materiales, disminuyendo así el efecto de la susceptibilidad al costo en la decisión de compra. Sin embargo, los usuarios finales de cualquier material de insumo, incluido el cobre, enfrentan una presión competitiva constante para mejorar el rendimiento, reducir el costo y demostrar una gestión responsable. Esto lleva a los usuarios finales a intensificar la competencia entre materiales, minimizar el uso del material y concentrarse en aplicaciones de alto valor, lo que impulsa la necesidad de innovación en las aplicaciones de cobre.
- **Cambios en las normativas, códigos y estándares** —La eficiencia energética y los temas de sostenibilidad siguen estando en primer lugar en las agendas de las empresas y de las políticas gubernamentales. El cobre se percibe cada vez más como energético eficiente y reciclable infinitamente.

Se han establecido estándares más altos de eficiencia de motores, y ha crecido el mercado para motores de eficiencia alta, premium y súper-premium. Los motores usan más del 20 por ciento más de cobre en el devanado estático y barras conductoras, comparados con los motores más antiguos de “eficiencia estándar”. Los aumentos de eficiencia también son importantes para el aire acondicionado, red eléctrica e iluminación.

Otras regulaciones que impactan a la industria del cobre son las que afectan al suelo, agua, desechos y sedimentos. Estas regulaciones están llevando a los gobiernos a apoyar investigaciones científicas para entender los posibles efectos medioambientales del uso del cobre.

- **Asegurar el desempeño de los productos fabricados en cobre**—Se aplica cada vez más la simulación por computador para predecir y validar el desempeño del cobre en nuevas aplicaciones. La miniaturización y la integración material impulsará investigación adicional sobre las propiedades mecánicas de los sistemas de tamaño pequeño, el comportamiento de las regiones de superficie y sub-superficie de cobre y sus aleaciones, el fenómeno que afecta la interacción del cobre con otros materiales, y el impacto de una mayor integración de diferentes materiales con la reciclabilidad. El desarrollo y uso de nuevas aleaciones, combinadas con limitaciones de diseño más estrictas, requiere que las propiedades de estas aleaciones (y otros materiales convencionales) sean conocidos o predecibles con gran certeza. Mejorar el control de las propiedades térmicas, eléctricas, físicas y mecánicas también mejora el desempeño del cobre en aplicaciones avanzadas.

Existe una gran cantidad de literatura técnica sobre el cobre disponible de forma gratuita en internet patrocinada por más de dos docenas de organizaciones nacionales y regionales de desarrollo del cobre.

- **Creciente uso de materiales complementarios producidos por ingeniería**—Los materiales que pueden cambiar el desempeño del cobre pueden añadirse a la superficie o incorporarse al cobre. El cobre se combina frecuentemente con otros materiales producidos, y las propiedades del sistema de materiales resultante se adaptan a las necesidades de aplicaciones específicas. Los materiales complementarios aplicados a las superficies de cobre pueden permitir capas más finas de aislamiento eléctrico, protección contra manipulación, protección contra la corrosión y otra serie de cualidades deseables. Las demandas por materiales con mayores coeficientes resistencia-peso han llevado a un mayor interés en los materiales compuestos, en los cuales se agrega un material de refuerzo para aumentar su resistencia y durabilidad, y en algunos casos, conseguir una reducción de peso. El cobre no es intrínsecamente un material con un alto coeficiente resistencia-peso, y no se suele usar cuando se requiere específicamente esta propiedad. Sin embargo, las fórmulas como el material compuesto en base a cobre reforzado con carburo de silicio tiene conductividad térmica y alta resistencia a elevadas temperaturas.
- **Diseño para recuperación y re-utilización**—Los diseños que fomentan la reciclabilidad conservarán el valor del cobre al tiempo que beneficia el medio ambiente. El cobre está entre los metales más eficientemente reciclables en el comercio mundial porque es reciclable al 100 por ciento sin ninguna pérdida en desempeño. El reciclaje cubre el 34 por ciento de la demanda mundial de cobre. Cuando se analizan los costos totales del ciclo de vida, la mayor eficiencia energética y la reciclabilidad del ciclo de vida útil hacen del cobre una alternativa atractiva en aplicaciones asociadas a la energía. El cobre se extrae regularmente de automóviles, artículos electrónicos y edificios al final de su vida útil. Por ello, es importante para los ingenieros considerar cómo se podrán desarmar los productos para recuperar el cobre. Además, durante los procesos de manufactura, algún cobre se convierte en desecho y este material sobrante necesita ser recuperado y reciclado. El material sin contaminar facilita la reutilización.

Anexo D—Cobre y sociedad

El cobre es esencial para los organismos vivos y juega un papel vital en la tecnología moderna. Desde los sistemas de irrigación de los antiguos reyes egipcios hasta inventos revolucionarios como el teléfono celular, el cobre ha contribuido siempre al desarrollo de la sociedad.

Como casi el único elemento usado en la transmisión eléctrica y de datos, el cobre ayudó a impulsar la era de las telecomunicaciones. El teléfono es un excelente ejemplo de cómo el cobre ha acelerado su desarrollo y comercialización. Introducido por primera vez en los años 30, el cable de cobre del teléfono reemplazó al hierro para enviar señales débiles de voz en alta frecuencia a más de 50 millas (80 km. aprox.). Las telecomunicaciones favorecieron al cobre debido a su cable de alta conductividad, uniforme y resistente.

Combinado con su resistencia, la resistencia a la corrosión y su durabilidad, la belleza natural del cobre ha inspirado a innumerables arquitectos y diseñadores para mostrar el metal en las superficies interiores y exteriores de los edificios durante miles de años. El cobre ha recubierto y protegido universidades, instituciones financieras, edificios gubernamentales y lugares de culto construidos hace cientos de años.

El cobre puede ser enrollado en frío en láminas finas y, a pesar de su relativamente alta resistencia (en temple enrollados o moldes tratados con calor en las aleaciones apropiadas), puede ser moldeado rápidamente en componentes de conectores. La combinación única de resistencia y formabilidad hace del cobre y sus aleaciones el material ideal para usar en aplicaciones en que los componentes se estresan debido a acciones repetitivas, tales como los elementos de fijación, conectores eléctricos, resortes e interruptores eléctricos.

Necesidades sociales a largo plazo

Una gran proporción de la población mundial no tiene acceso a electricidad o al agua potable. Adicionalmente, las inquietudes sociales acerca de mejor salud pública, mayor eficiencia energética, sostenibilidad medioambiental y mayores niveles de vida han fomentado el desarrollo de sistemas energéticos más limpios, acuicultura marina, artículos electrónicos portátiles y comunicaciones globales casi ilimitadas. Como reconocimiento del profundo efecto que tiene la tecnología en casi todos los aspectos de la vida, la industria de cobre planea continuar participando en el avance de la tecnología. Al mismo tiempo, deben tomarse medidas para fomentar una mayor integración entre la innovación tecnológica y las más amplias inquietudes sociales, económicas y medioambientales.

- **Mejor salud humana**—El cobre es necesario para el funcionamiento normal de plantas, animales, humanos y micro-organismos. Está incorporado en una variedad de proteínas que desempeñan funciones metabólicas específicas. Debido a que es un metal esencial, varias agencias en todo el mundo han recomendado su inclusión entre los requerimientos dietéticos diarios. El cobre puede controlar el crecimiento de organismos, lo que lo convierte en un efectivo agente antipatógeno y antiplaca en los enjuagues bucales y pastas dentales. Además, las superficies al tacto hechas de cobre ayudan a prevenir las enfermedades mediante el control del crecimiento de bacterias infecciosas.
- **Mayor eficiencia energética**—La energía desperdiciada aumenta los costos para los consumidores y puede tener efectos medioambientales negativos. Las mejoras en la eficiencia energética eléctrica ayudan a garantizar mejores niveles de vida. La conversión a equipos de eficiencia energética, especialmente de los motores con rotores de cobre (CMR) de eficiencia premium y súper-premium, así como los transformadores de cobre de alta eficiencia, reduce los costos y mitiga las emisiones.
- **Sustentabilidad medioambiental**—El reciclaje se ha usado desde hace mucho para minimizar los desechos y conservar recursos valiosos. El cobre es reciclable al 100 por ciento sin pérdida de desempeño. No se "consume" en el sentido de "desgastarse". En su lugar, es usado, reciclado y reutilizado una y otra vez (véase Figura C.1). El cobre tiene la historia de reciclaje más larga que cualquier otro material. Se estima que el 80 por ciento del cobre extraído durante los últimos 10.000 años sigue en uso en algún lugar todavía hoy. El cobre recuperado mediante reciclaje también requiere 75-92 por ciento menos de energía que la cantidad necesaria para convertir el mineral de cobre a metal.
- **Niveles de vida más altos**—La proporción de la población mundial que vive en ciudades con más de 10 millones de habitantes sigue creciendo.

El crecimiento de la población, especialmente cuando se concentra en núcleos que requieren grandes infraestructuras eléctricas, aumenta en gran medida la necesidad de materiales y energía; una necesidad que debería satisfacerse idealmente de manera costo-efectiva y amigable con el medio ambiente.

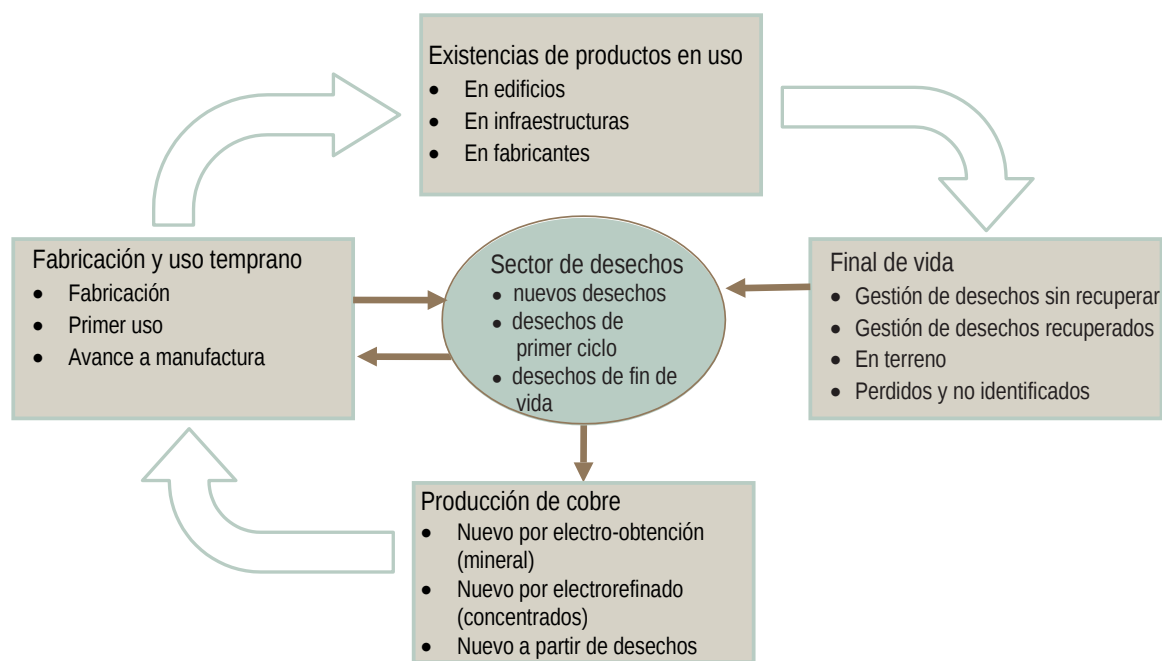
Además, la creciente población de adultos mayores aumenta la demanda de tecnologías que ayuden a corregir las insuficiencias visuales, auditivas, motoras y de otro tipo, para permitir que los adultos mayores sigan viviendo cómodamente como miembros activos de la sociedad. Lograr niveles de vida más altos en el marco de un aumento de población requiere materiales y productos que ayuden al desarrollo sostenible y permitan una mejor calidad de vida para todos. El cobre estimula el desarrollo económico y aumenta los niveles de vida.

Anexo E—Ciclo de vida del cobre

Las prácticas mineras sustentables y una reciclabilidad del 100 por ciento se añaden al valor e importancia del cobre. El amplio rango de propiedades del cobre y las aleaciones de cobre usadas en aplicaciones de productos finales se logra mediante una serie de pasos de procesamiento y puede obtenerse usando cobre de reciente extracción o cobre reciclado. Los materiales de cobre pueden reciclarse repetidamente sin ninguna pérdida de propiedades ni desempeño. También se ha calculado que al menos el 80 por ciento de todo el cobre extraído sigue siendo utilizado, debido a la infinita reciclabilidad del cobre.

- El cobre refinado se origina a través de dos cadenas de proceso muy distintas. La ruta más corta y simple es la electro-obtención, mediante la cual el cobre refinado se forma, casi siempre en la mina, a través de un proceso de lixiviación. La ruta más compleja incorpora refinamiento electrolítico, en el cual el material de cobre es transformado en concentrados en la mina, procesado para hacer cobre ampoloso o ánodos de cobre en la fundición, y después es transformado en cátodos de cobre refinado en la refinería. Tanto en las etapas de fundición y refinería pueden introducirse desechos.
- El cobre refinado y el desecho de alto grado se combinan para su procesamiento en productos fabricados, especialmente alambres, cables eléctricos y productos procesados. El material puede usarse directamente (como en tubería de cañerías), puede pasar por una manufactura de una sola etapa (como las conexiones de cañerías), o a través de uno o más etapas de manufactura intermedia (como el bobinado de alambre usado en el sector automotriz). Una vez que el cobre ha pasado por todas sus etapas de procesamiento comienza su vida útil como producto funcional (en stock). Estos productos se clasifican por el mercado de uso final tales como la construcción de edificios, infraestructuras y manufactura de equipos.
- Al final de la vida útil del producto, pueden pasar tres cosas: Puede ser identificado para recuperación de materiales mediante el sistema de gestión de desechos, puede ser eliminado de manera no productiva o puede permanecer en terreno, y no ser usado nunca más. Los desechos pueden dividirse útilmente entre nuevos desechos, desechos de primer ciclo y desechos de final de vida útil. Las dos primeras categorías se aplican antes de que el cobre comience la vida útil de producto. La distinción entre las dos categorías es importante ya que los desechos nuevos, generados durante la fabricación y procesamiento de primera etapa, es normalmente limpio, mientras que en las etapas posteriores es más probable que los desechos estén contaminados por otros materiales.

FIGURA 2: Modelo de flujo del cobre: Producción, fabricación, stock y final de vida

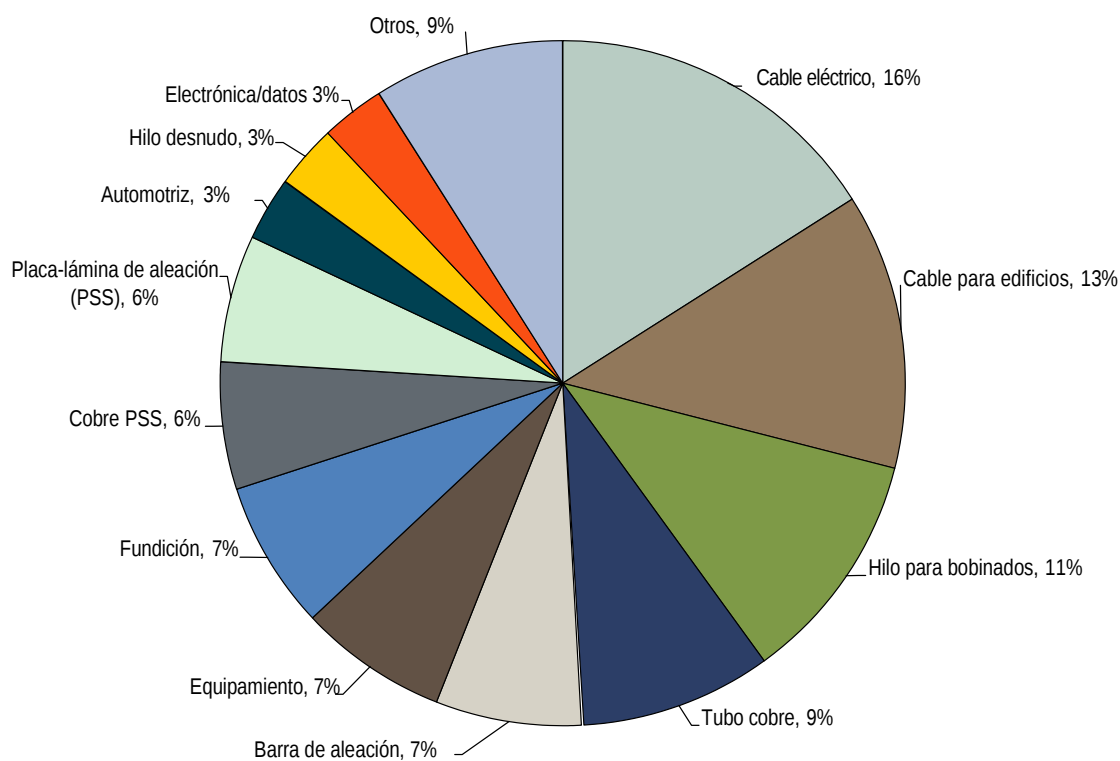


Anexo F—El cobre hoy en día

Durante los últimos 50 años, el uso per cápita del cobre casi se ha duplicado, lo que refleja el papel del cobre en el progreso de la tecnología, la expansión de la actividad económica y los mayores estándares de vida (véase Figura 3). El cobre contribuye a muchos sistemas técnicos en los países desarrollados como la construcción, energía, comunicaciones y transporte. En países menos desarrollados, el cobre apoya elementos estructurales necesarios para elevar los niveles de vida, llevar electricidad, agua limpia y transporte eficiente para apoyar las economías en expansión.

La demanda del cobre deriva principalmente de la transmisión de energía eléctrica. El alambre y cable fabricado con cobre recién refinado cumple las especificaciones de desempeño y seguridad más exigentes. La Figura 3 ilustra los usos finales totales del cobre a nivel mundial, por participación de productos, en 2009. Base: 22.1 millones de toneladas de contenido de cobre.

Figura 3: Mercados de uso final del cobre en 2009



Nota: Las cifras son aproximadas

Fuente: ICA Global End Use Data Set

El cobre se usa principalmente para alambre y cable; sin embargo, también se usa para tuberías y accesorios sanitarios (por ejemplo, distribución de agua). El mercado eléctrico mundial de cobre, que es parcialmente representado por las tres porciones más grandes de la figura circular, es mayor en tamaño que el mercado mundial de productos de latón. Los productos de latón se transforman en productos de aleaciones de cobre forjado. Los productos semi-fabricados son usados por las industrias para hacer bienes terminados y se dividen de acuerdo a su forma física. Del mercado mundial de cobre, el latón es el segundo integrante de mayor tamaño. En el año 2009, el mercado mundial de cobre fue 57 por ciento eléctrico, 36 por ciento de latón y 7 por ciento de fundición y polvo.

Los latones se componen de ocho segmentos: alambre mecánico de aleación; placa, lámina y banda de aleación; bastón, barra y sección de aleación; tubos de aleación; hoja de cobre; placa, lámina y banda de cobre; bastón, barra y sección de cobre; y tubo de cobre.

Una revisión de la participación del cobre en el mercado global en 2009 muestra la fabricación de equipos con el 52 por ciento, construcción de edificios con el 33 por ciento e infraestructura con el 15 por ciento.

Anexo G—Colaboradores

La International Copper Association agradece y reconoce la importante contribución de las siguientes personas y patrocinadores asociados en la preparación de la presente guía de aplicaciones tecnológicas del cobre 2010.

Colaboradores:

Advanced Technology Institute
Mike Stebbins

Amira International Ltd.
Joe Cucuzza

Arubis
Jo Rogiers

BHP Billiton
Cleve Lightfoot

Codelco-Chile.
Jürgen Leibbrandt

Consultor, editor
Konrad Kundig

Consultores
Steve Bone
Dale Peters
Derek Tyler
Jean-Marie Welter

Copper Development Association
Andy Kireta Jr.
Harold Michels
Bob Weed

Copper Development Centre, Australia
John Fennell

Deutsches Kupferinstitut
Anton Klassert

European Copper Institute
Colin Bennett
Nigel Cotton
Hans De Keulenaer
John Schonenberger

Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc
Stephen Higgins

Golden Dragon Precise Copper Tube Group Inc
Deng Bin

International Copper Association, Ltd.
John Mollet
Tony Lea

International Wrought Copper Council
Mark Lovett

Kinghorn, Hilbert & Associates
Ted Kinghorn

KME Group
Christoph Geyer
Heinz Klenen
Armando Sbrana

LS-Nikko Copper
Jeong-Ha Lee

Luvata
Warren Bartel
Ed Rottmann

Mitsubishi Materials Corporation Metals Company
Kazumasa Hori

Nexans
Eric Lawrence
Michel Rousseau

Revere Copper Products, Inc.
Thomas O'Shaughnessy

Wieland-Werke, AG
Uwe Hofmann
Gerhard Schuez

Yazaki Corporation
Akibumi Sato

Yunnan Copper Industry (Group) Co., Ltd.
Wang Qin

Patrocinador:

The International Copper Association, Ltd.

Patrocinadores asociados:

Anglo American Chile Ltd.
Antofagasta Minerals
Aurubis
BHP Billiton
Boliden AB
Chinalco Luoyang Copper
Corporación Nacional del Cobre de Chile
Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi
Compañía Minera Zaldívar
Freeport McMoRan Copper & Gold
Golden Dragon Precise Copper Tube
Halcor S.A.
International Wrought Copper Council
Kennecott Utah Copper Corp.
KGHM Polska Miedź
KME Group
LS-Nikko Copper
Luvata
Mexicana de Cobre
Mexicana de Cananea
Mitsubishi Materials Corporation
Mueller Industries Inc.
Nexans
Outotec Oyj
Palabora Mining Company
Pan Pacific Copper Products, Inc.
Revere Copper Products Inc.
Rio Tinto Plc
Sociedad Contractual Minera el Abra
Southern Copper Corporation
Sumitomo Metal Mining Co.
Teck Resources
Tenke Fungurume
Wieland-Werke AG
Xstrata Copper
Yunnan Copper Industry (Group) Co., Ltd.

Coordinadores:

International Copper Association, Ltd.
Hal Stillman
Kevin Krizman
Nicole Witoslawski

Facilitadores (Guía 2007):

Energetics Incorporated
Katie Jereza
Ross Brindle

Anexo H—Referencias

1. Smolders, Jan A. Foreword to Civilization and Copper (Prológo sobre civilización y cobre); The Codelco Collection by Lebbrandt, Alexander, p. 3. Translation by the International Copper Association, Ltd. (ICA). Santiago, Chile: Codelco, 2001.
2. AMIRA International Ltd. Copper Technology Roadmap Summary.(guía resumen sobre tecnología del cobre) Melbourne, Australia: AMIRA International Ltd,2004, <http://www.amira.com.au/documents/copperrm/public.htm>
3. Bittencourt, Sergio, De Keulenaer, Hans, and McDermott, Mike. VÉASE Roadmap. New York, NY: International Copper Association, Ltd., 2004.
4. Copper Development Centre, Australia Limited (CDC). Building Construction Technology Roadmap—Executive Summary (guía de tecnología de construcción – resumen ejecutivo). Melbourne, Australia: CDC, 2004, http://www.copper.com.au/cdc/technology_Roadmap/Roadmap/exec_summ.pdf
5. Lea, Tony. “ICA network survey on demand and substitution; 2006 developments and emerging trends.” (estudio de ICA sobre demanda y sustitución, desarrollos y tendencias emergentes 2006) Documento interno, ICA, 2007.
6. Hoffmann, Uwe. “Recent Developments in High Performance Strip Alloys for Connectors.” (avances recientes en bandas de aleaciones de alto desempeño para conectores) Trabajo presentado en el seminario técnico anual para el International Wrought Copper Council (IWCC) Technical Seminar Presentation, Tokyo, Japan 2005.
7. Sato, Akibumi. “Electric Distribution System for Automotive Application.” (sistema de distribución eléctrica para aplicación automotriz) Trabajo presentado en una reunión semianual para la IWCC, Nuremberg, Alemania, Septiembre de 2006.
8. Klassert, Anton. “Change of Paradigm Activity.” (cambio del paradigma de actividad) Progress Report, Deutsches Kupferinstitut, September 2007.
9. CRU. “ICA Substitution Analysis 2007.” (Análisis de sustitución 2007 de la asociación internacional del cobre ICA) Documento interno, ICA, 2007.
10. ICA “Copper & Clean Technology” (cobre y tecnología limpia) presentación de trabajo en PowerPoint, ICA, 2007.
11. ICA, “Copper—Future Themes.”(cobre, temas futuros) Estudio preliminar para su discusión, ICA 2006.
12. ICA. “Impact Matrix.” (Matriz de impacto) Presentación de trabajo en Power Point, ICA, 2006.
13. ICA. “Long-term Drivers for Copper—Asia” (impulsores a largo plazo del cobre en Asia) mesa de trabajo, ICA, 2006.
14. ICA. “Long-term Drivers for Copper Use—Europe.” (impulsores a largo plazo del uso de cobre en Europa) Documento de trabajo, ICA, 2006.
15. ICA. “Project Posters Jan 07 rev3” Documento de trabajo, ICA, 2006.
16. ICA. “Strategic Plan 2007 - 2011.” (Plan estratégico para 2007-2011) Documento de trabajo, ICA, 2006.