



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



DEPARTAMENTO DE
ELECTRONICA

ELECTRONICA INDUSTRIAL

Capítulo I: Introducción a la electrónica de potencia

Marcelo A. Pérez

Segundo Semestre, 2016

Porque es necesario convertir la energía eléctrica

- Adaptación entre generación, transmisión y distribución
- Los equipos electrónicos tienen distintas características
- Los procesos industriales emplean la energía de diferente manera

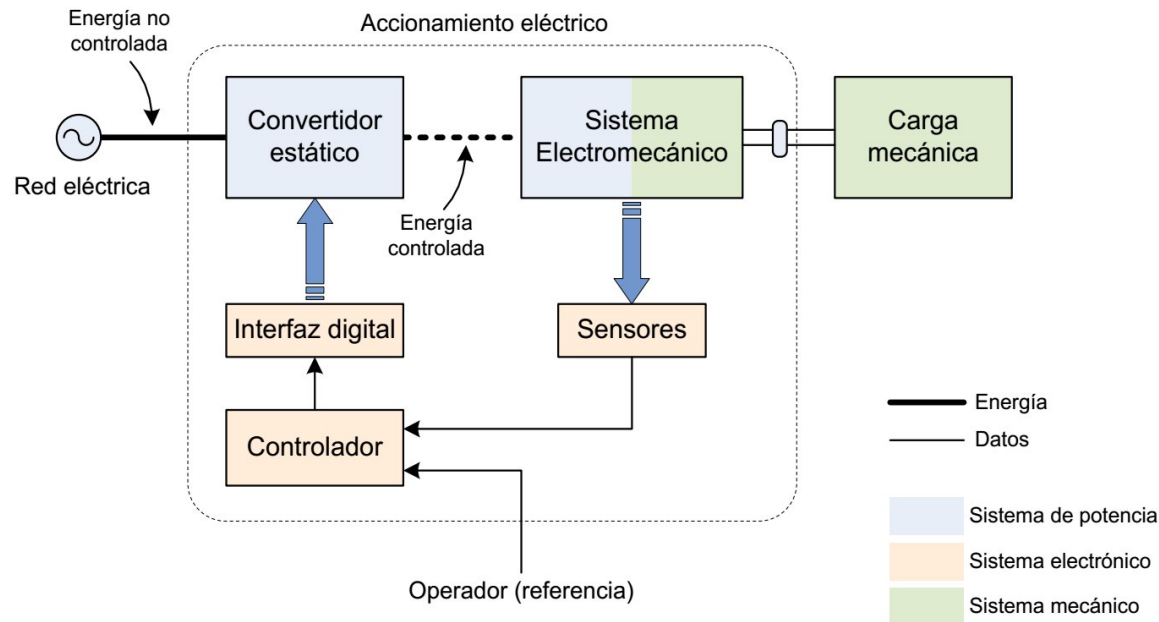


Convertidor estático de potencia

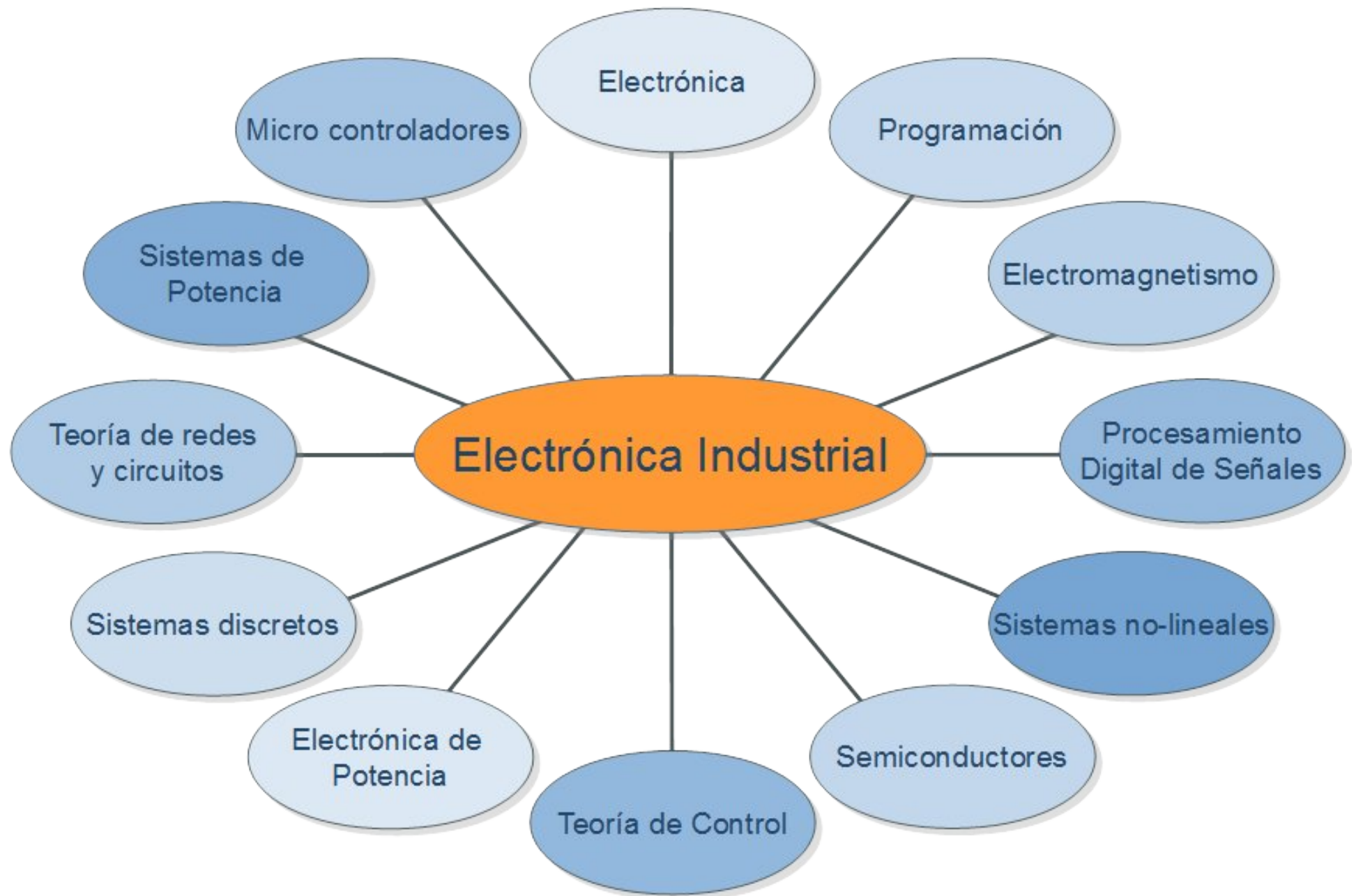
- Es un circuito electrónico, formado por semiconductores y componentes pasivos (condensadores e inductancias).
- Su función es convertir la potencia eléctrica de un estado fijo (amplitud y frecuencia), a otro arbitrario (puede ser incluso variable).
- Las figuras de merito en la conversión de potencia son la eficiencia, la calidad de la energía, costo, confiabilidad y la densidad de potencia.
- El tipo de convertidor a emplear dependerá fuertemente de la aplicación industrial.



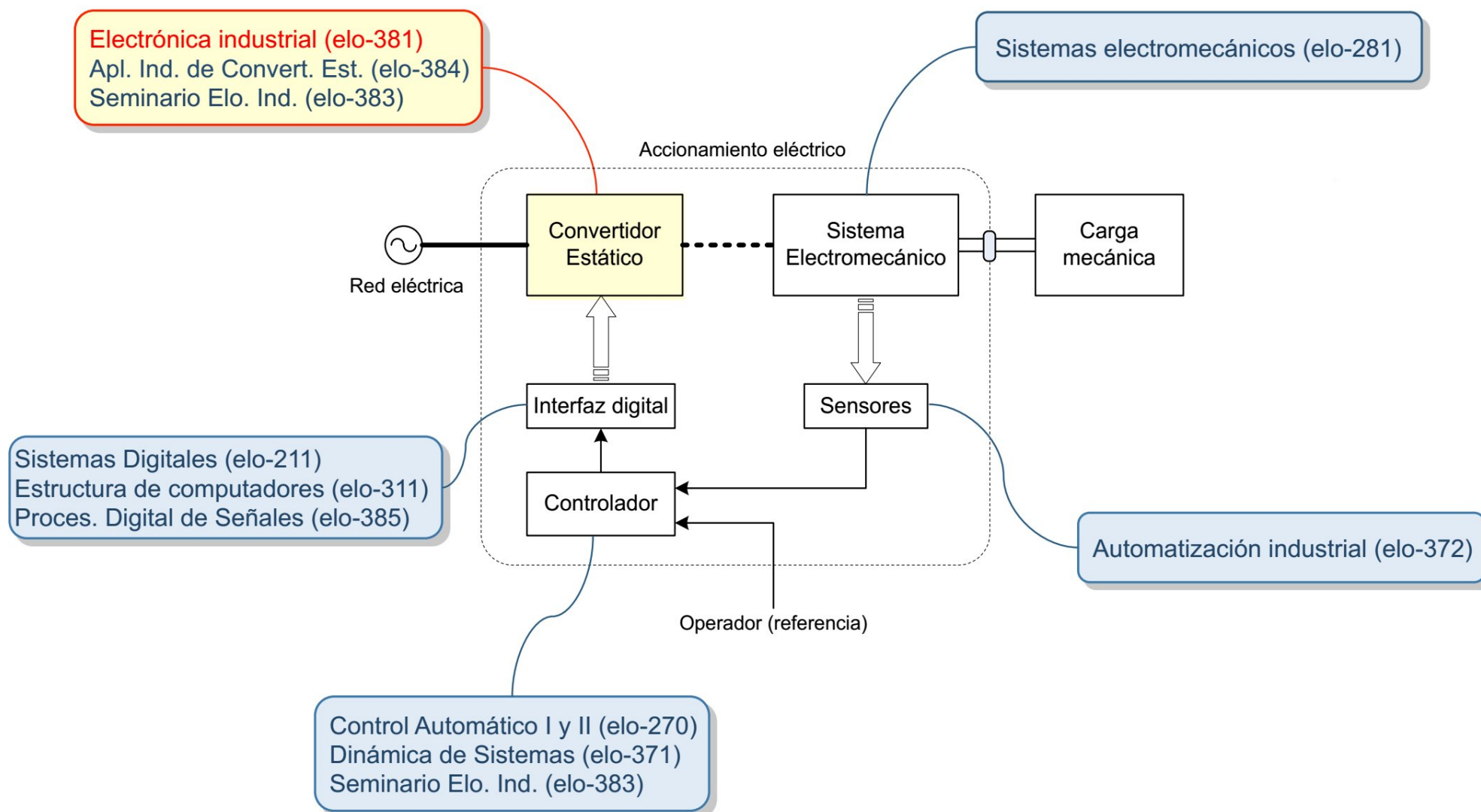
Accionamiento eléctrico



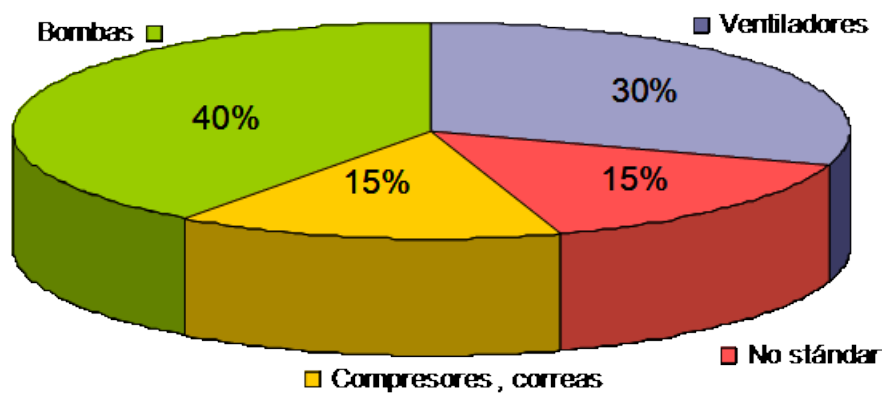
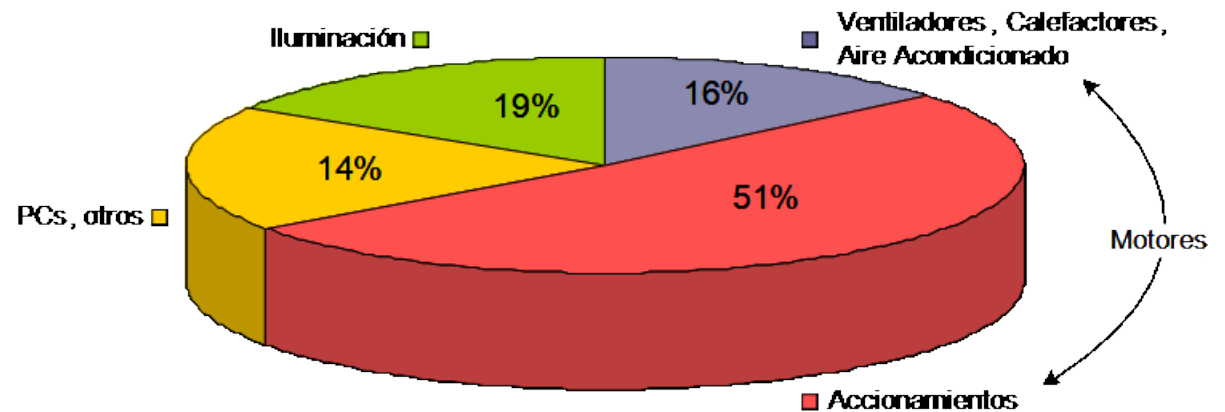
- **Convertidor estático:** Encargado de acondicionar la energía (rectificador, inversor, etc.).
- **Sistema electromecánico:** Transforma la energía eléctrica en mecánica (motores, imanes, etc.).
- **Sensores:** Miden las variables del sistema (tacómetros, voltímetros, amperímetros, etc.).
- **Controlador:** Conduce al actuador, el sistema electromecánico y la carga según se requiera.
- **Interfaz digital:** acondiciona las señales de control para su uso en el convertidor



Relación con otras asignaturas de la malla

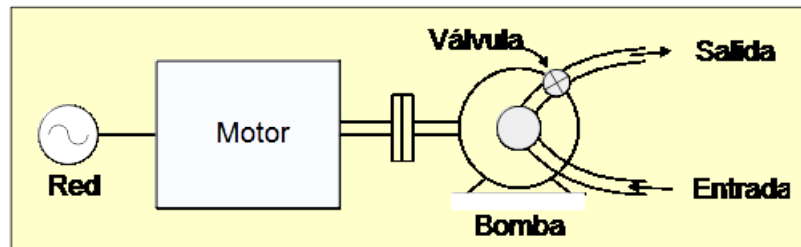


Impacto industrial de la conversión de potencia



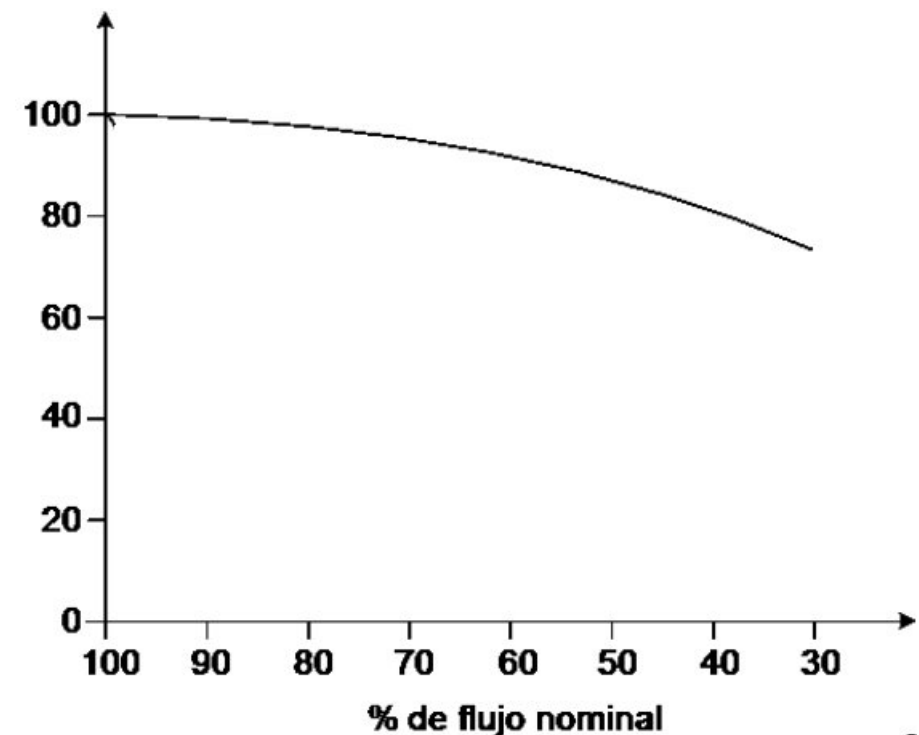
- Aplicaciones especiales, demanda alto nivel de ingeniería y desarrollo tecnológico.
- Los convertidores son pieza clave en estos procesos

Ejemplo industrial: Bomba

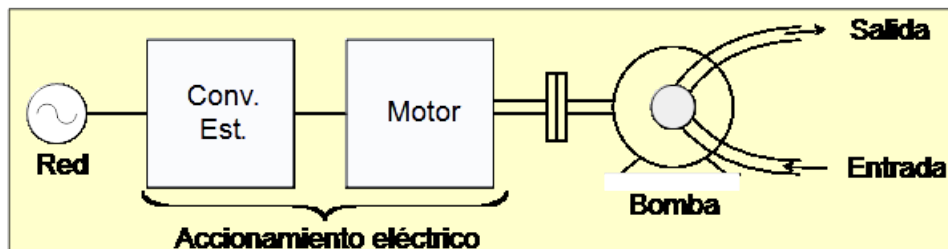


La bomba con válvula consume una cantidad constante de energía. La cual no es aprovechada en otros puntos de operación, donde la energía es absorbida por la válvula.

- Menor costo
- Menos complejo
- Menos eficiente (alto costo a largo plazo)
- Operación imprecisa
- Pobre calidad de la energía eléctrica
- Más propenso a fallas (estrés mecánico)

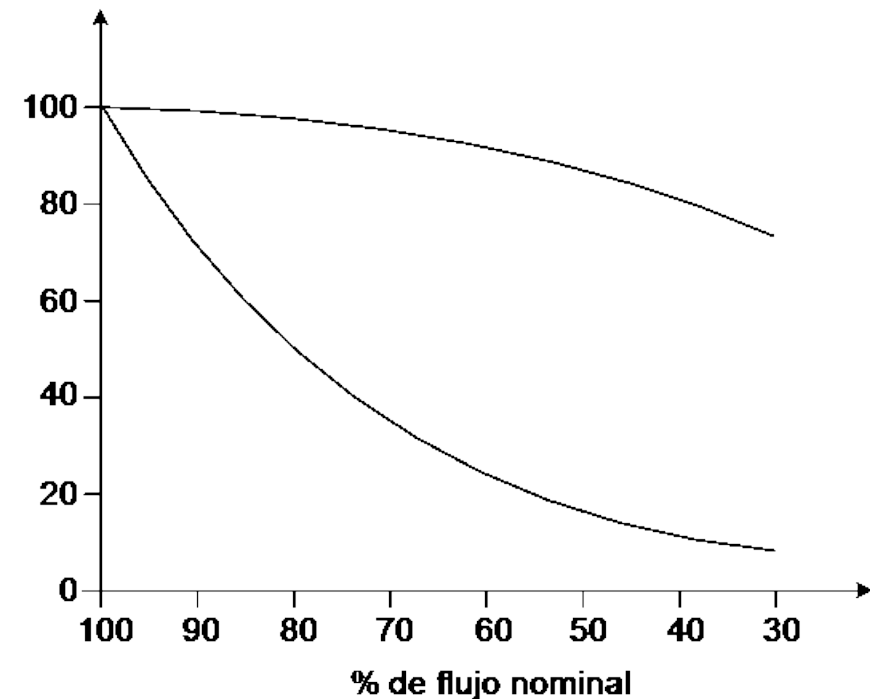


Ejemplo industrial: Bomba



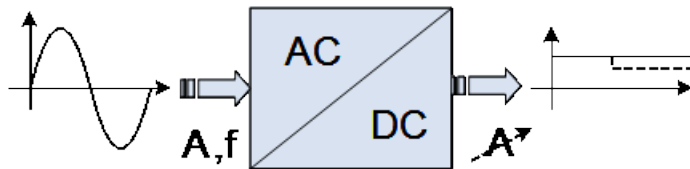
- Mayor costo inicial
- Más complejo
- Más eficiente (menor costo a largo plazo)
- Operación precisa
- Alta calidad de la energía eléctrica
- Menos propenso a fallas (estrés mecánico)

El accionamiento es más eficiente para rangos variables de operación.

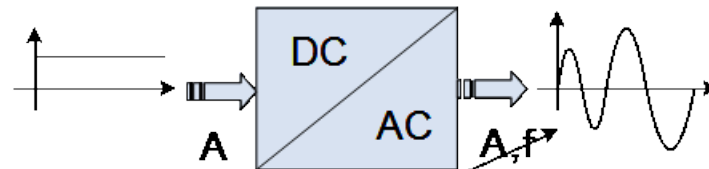


Tipos de conversión estática

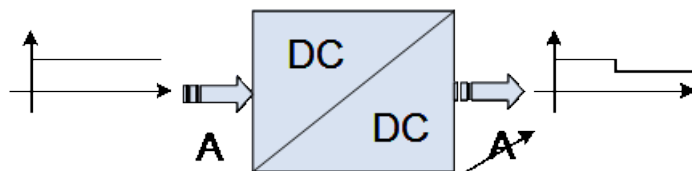
Rectificación



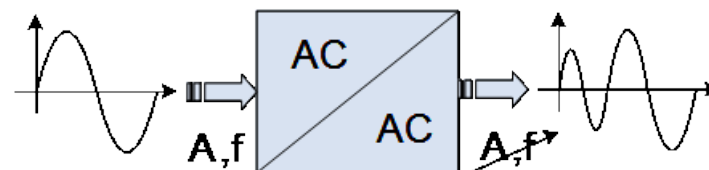
Inversión



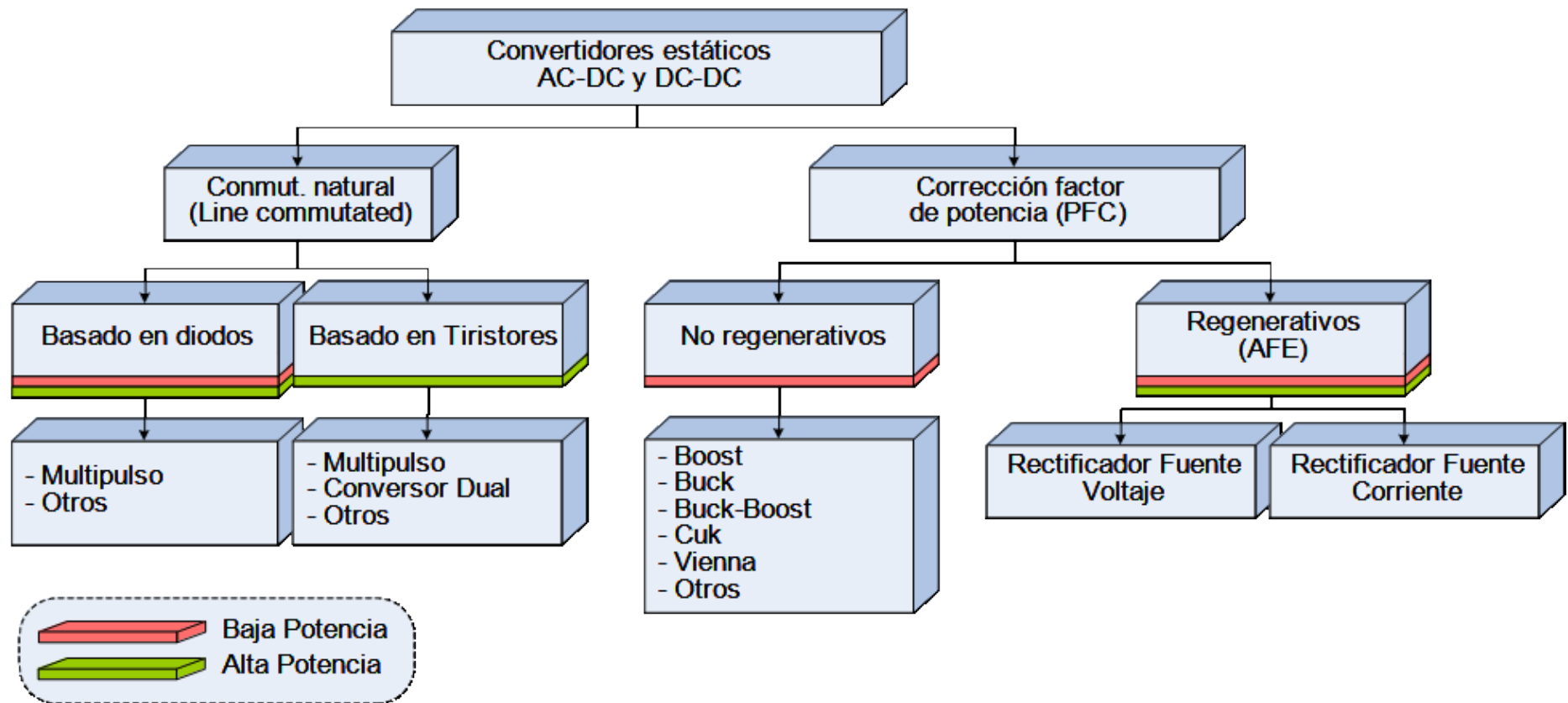
Conversión DC



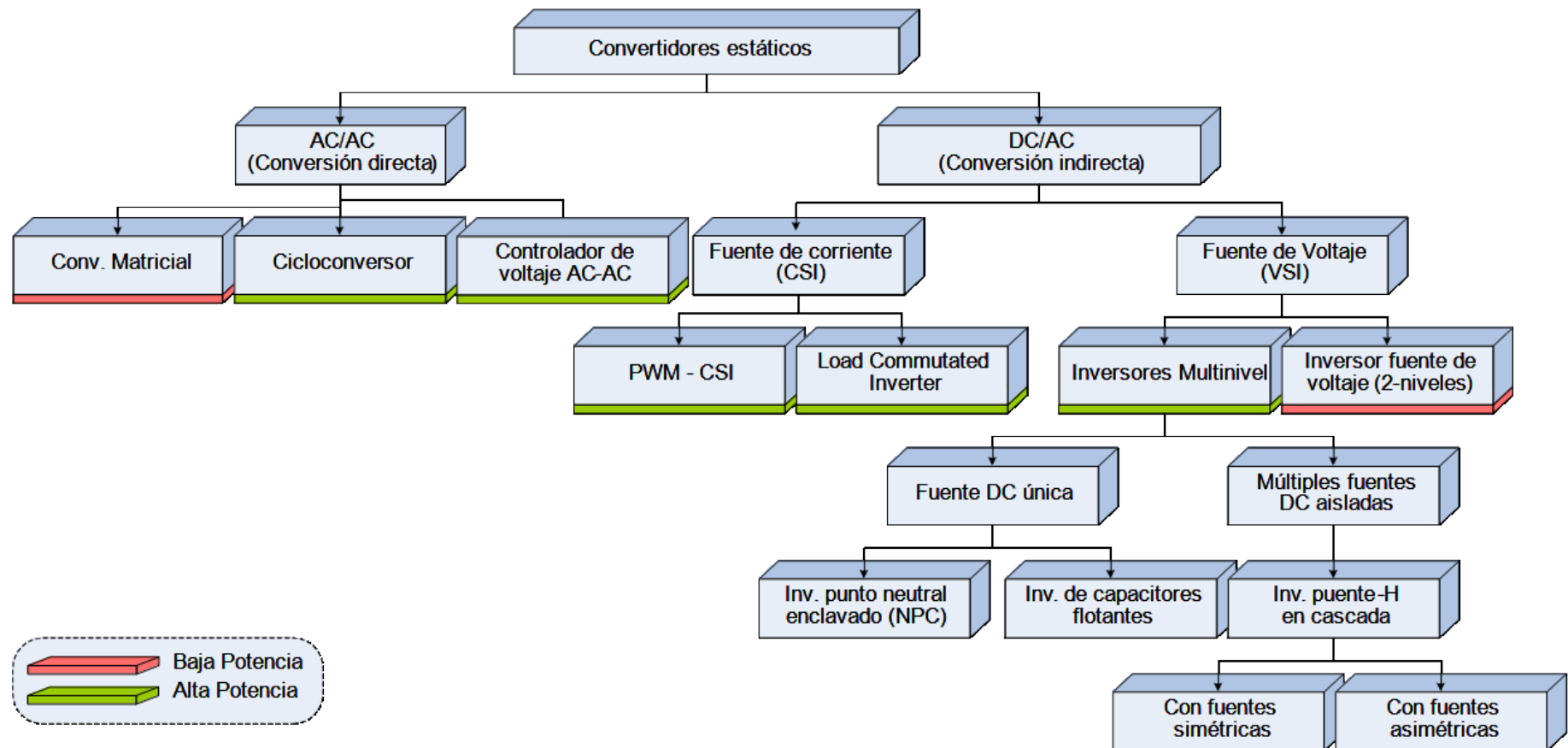
Conversión directa



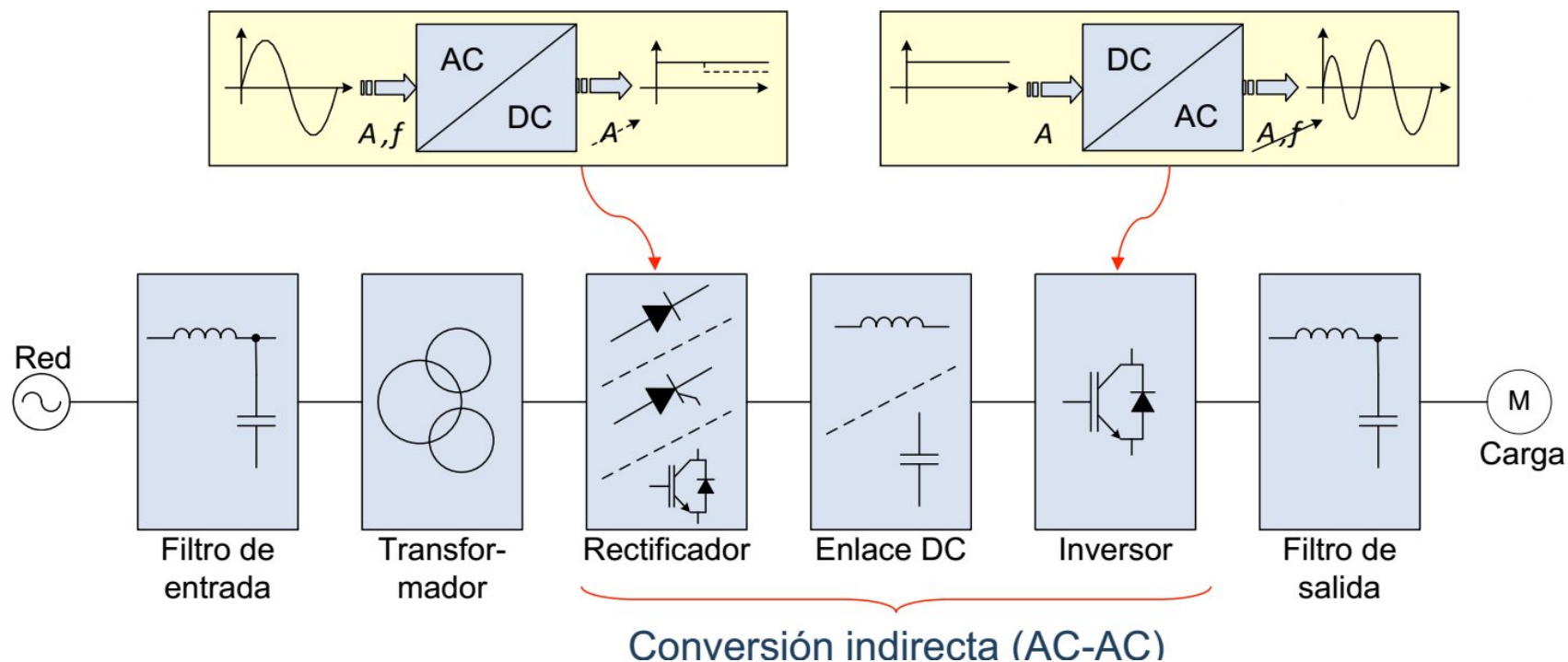
Tipos de conversión estática



Tipos de conversión estática

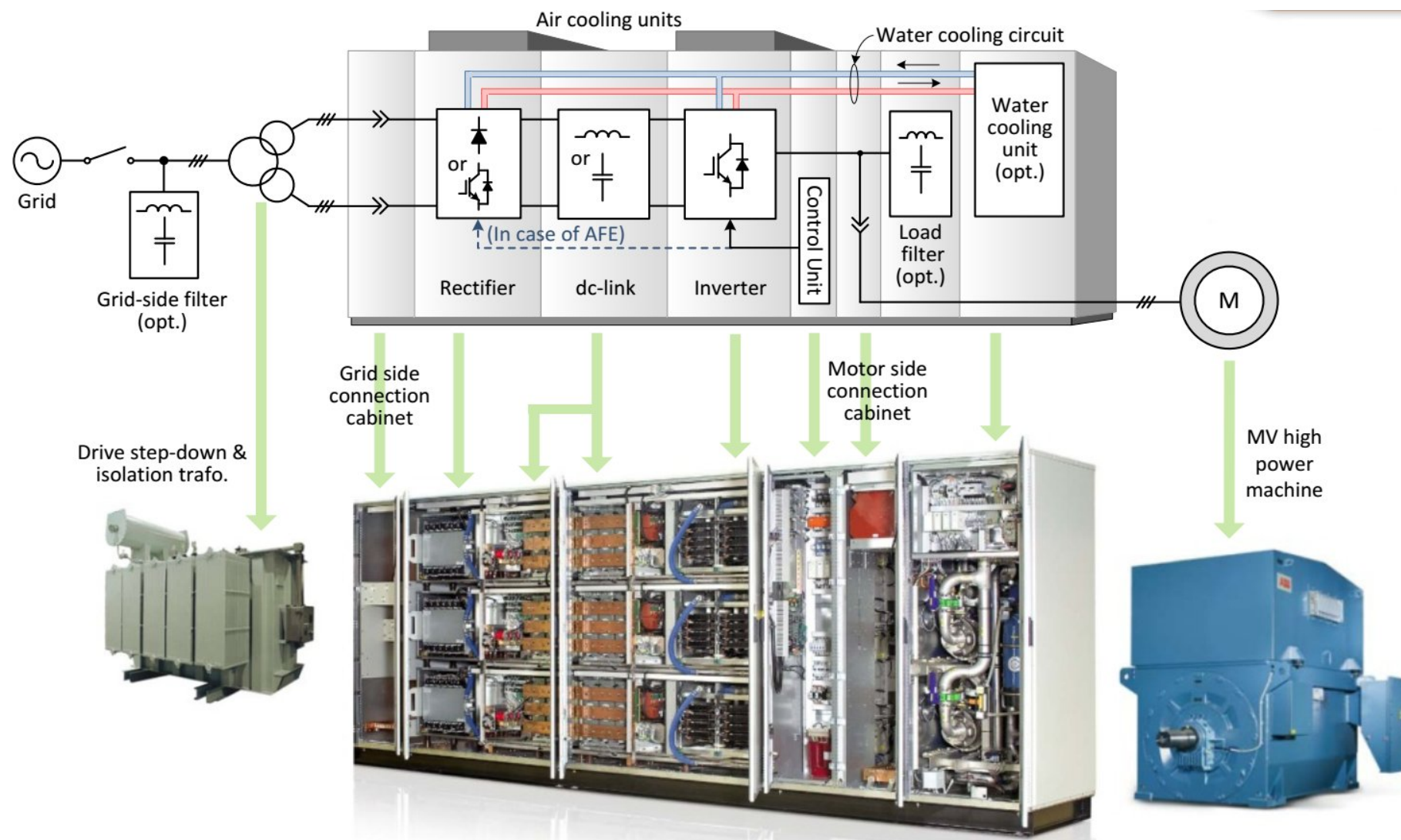


Sistemas de conversión mixto



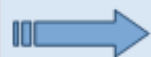
- Esquema es el más común en accionamientos de velocidad variable.
- Tanto el filtro de entrada como el de salida son opcionales.
- Si el enlace DC es inductivo se trata de una configuración fuente de corriente.
- Si el enlace DC es capacitivo se trata de una configuración fuente de voltaje.

Sistemas de conversión mixto



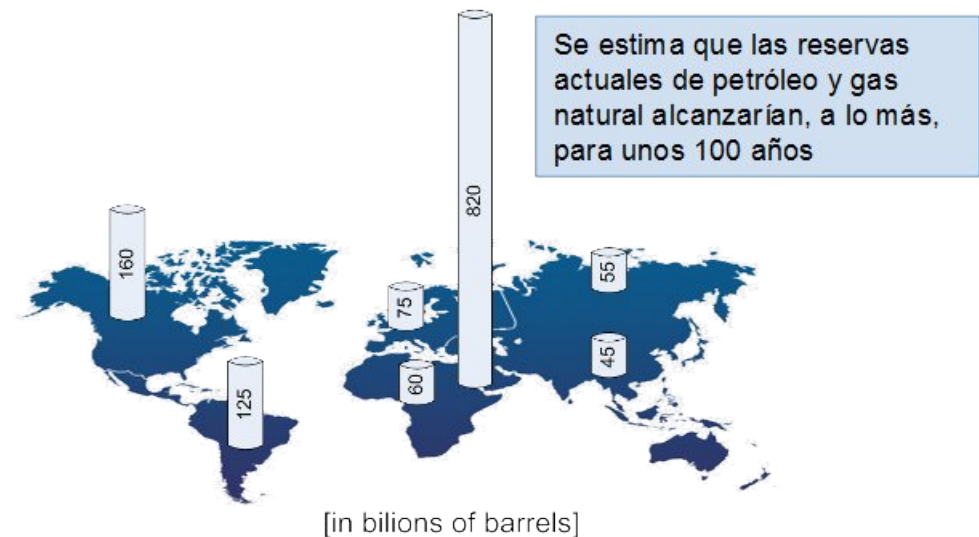
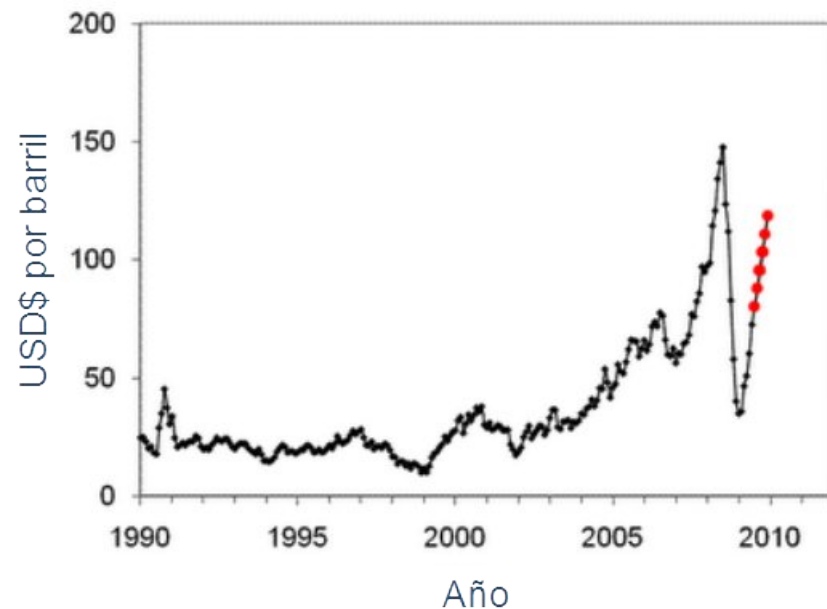
Aplicaciones

Industria	Transporte	Energía eléctrica	Otras
Robótica (Líneas de producción continua)	Autos eléctricos	Conv. energía eólica	UPS, UPS cinemáticas
Bombas y compresores (Ind. Petroquímica)	Autos y camiones híbridos	Conv. energía fotovoltaica	Aplicaciones militares (submarinos, tanques, artillería)
Correas, ventiladores, hornos, soldadura	Trenes, metros y tranvías eléctricos	Conv. energía de mareas y olas	Aplicaciones en astronomía (posición de telescopios)
Iluminación (Elec. Balasts) Refrigeración y calefacción	Barcos y submarinos eléctricos o híbridos	Filtros activos, transmisión DC alto voltaje (HVDC)	Resonancia magnética nuclear
Accionamientos velocidad variable (Industria manufacturera)	Accionamientos aeronáuticos (More electric aircraft)		etc.
Aplicaciones mineras			

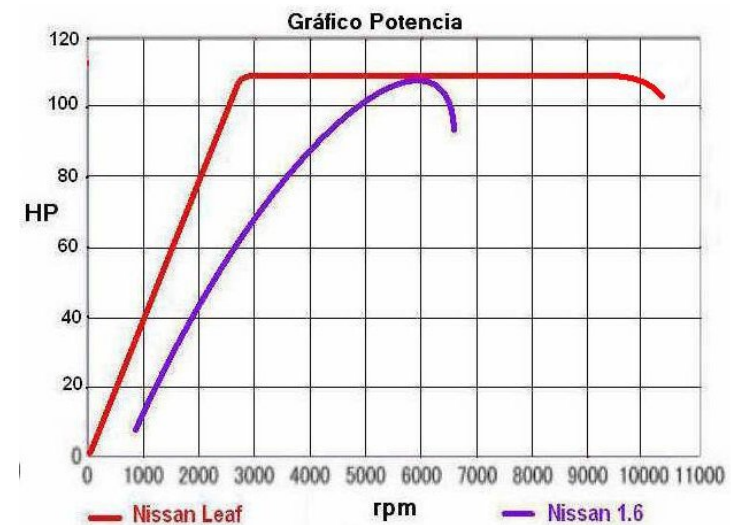


Los convertidores estáticos habilitan procesos industriales al servicio de la sociedad!

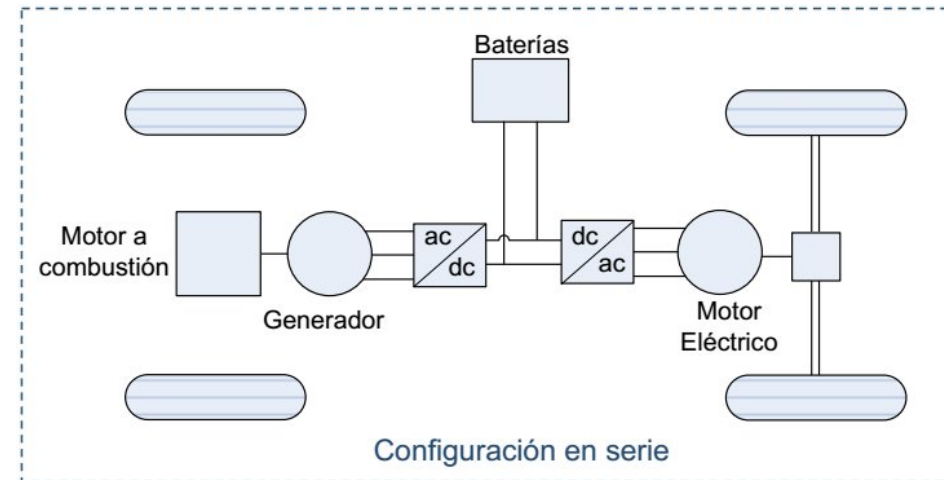
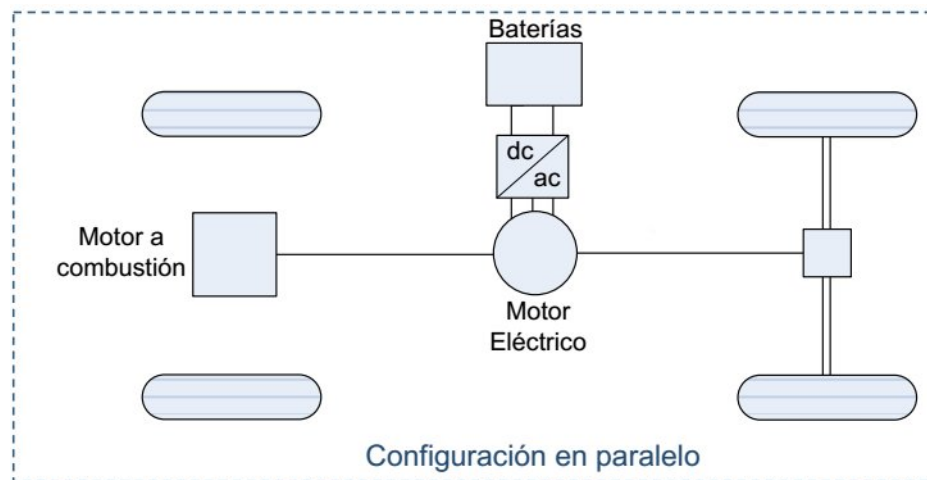
Aplicaciones: Autos eléctricos



- Escasez de combustible y creciente costo amenazan al sector automotriz
- Los autos híbridos economizan combustible (app. 30 a 40 km/l)
- Alta autonomía (combustible) y eficiencia (motor eléctrico)



Aplicaciones: Autos eléctricos



Configuración paralelo:

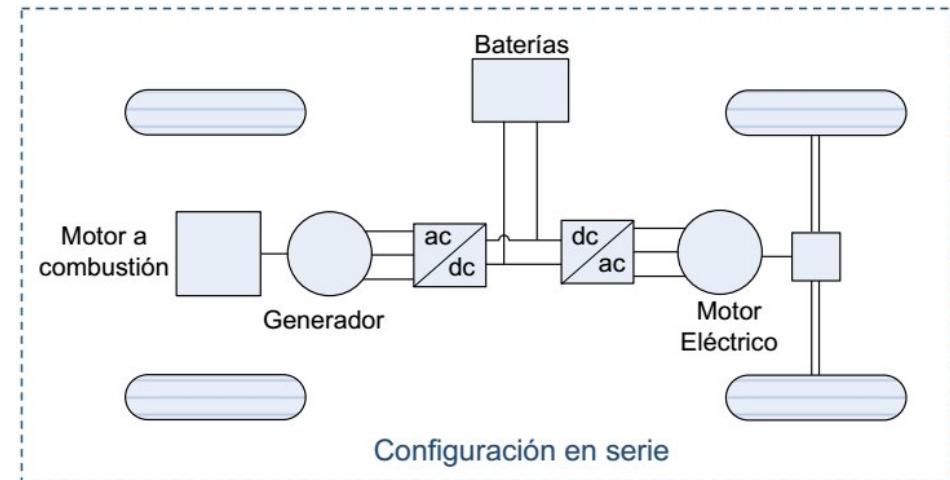
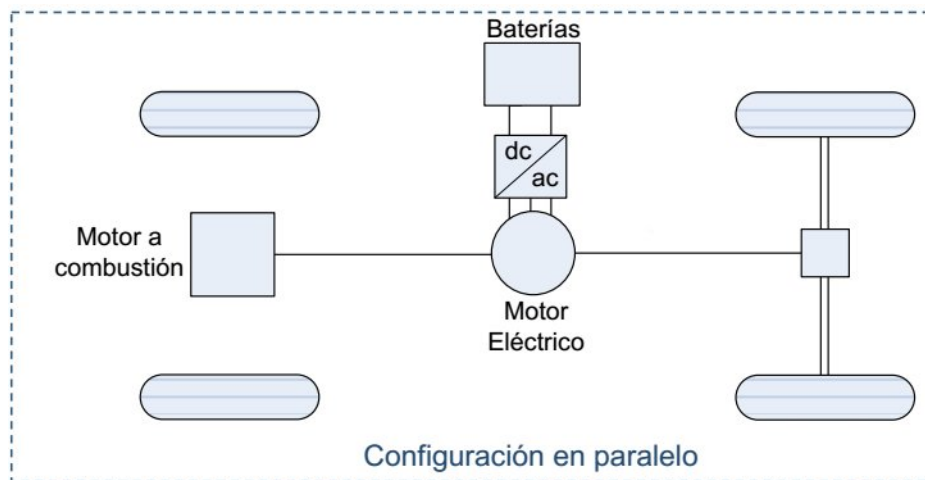
- Un motor a combustión acoplado a un motor eléctrico
- Baterías para almacenar energía eléctrica

Cuando es necesario el motor a combustión le entrega energía al eje mecánico y al motor eléctrico, quien opera como generador cargando la batería. Luego se apaga la combustión y opera el motor eléctrico.

Cuando el vehículo frena, el motor eléctrico se transforma en generador, y devuelve la energía cinética del frenado a la batería, economizando aun más combustible.

El motor a combustión opera cuando el nivel de la batería baja y genera electricidad que se entrega a la batería.

Aplicaciones: Autos eléctricos



Configuración serie:

- Un motor a combustión acoplado a un generador eléctrico
- Baterías para almacenar energía eléctrica
- Motor eléctrico para la tracción

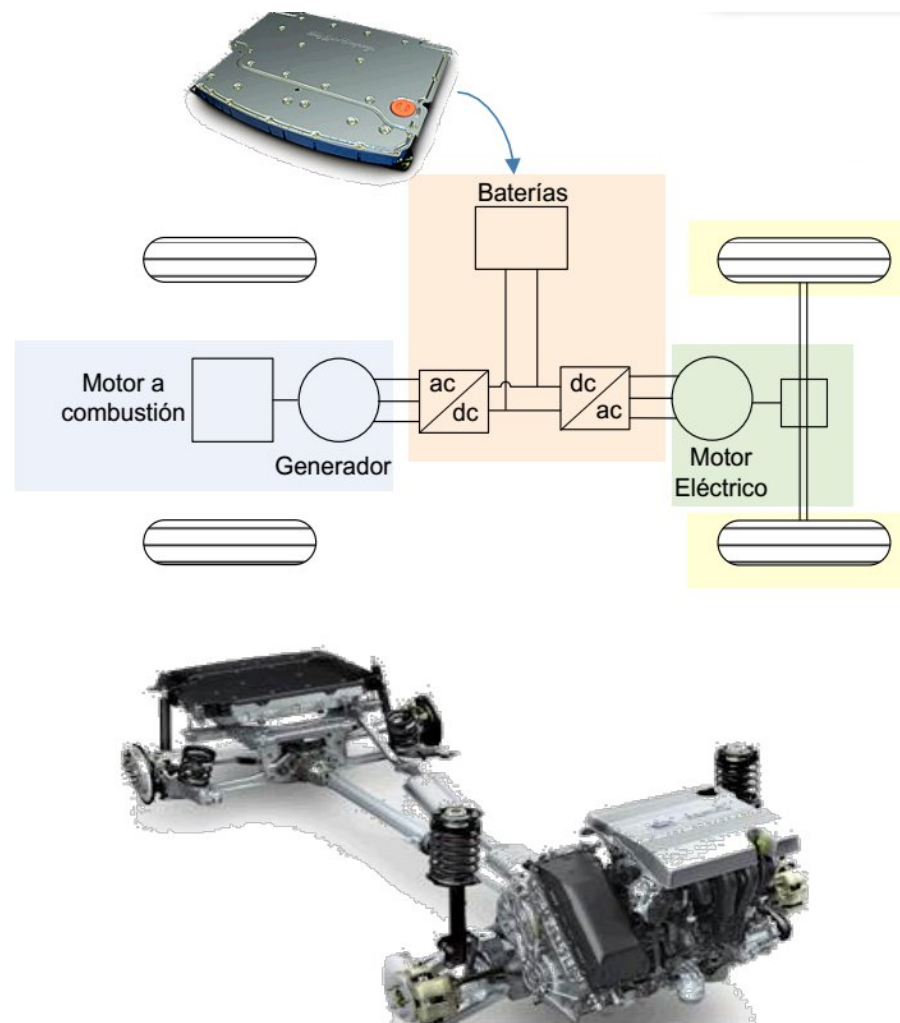
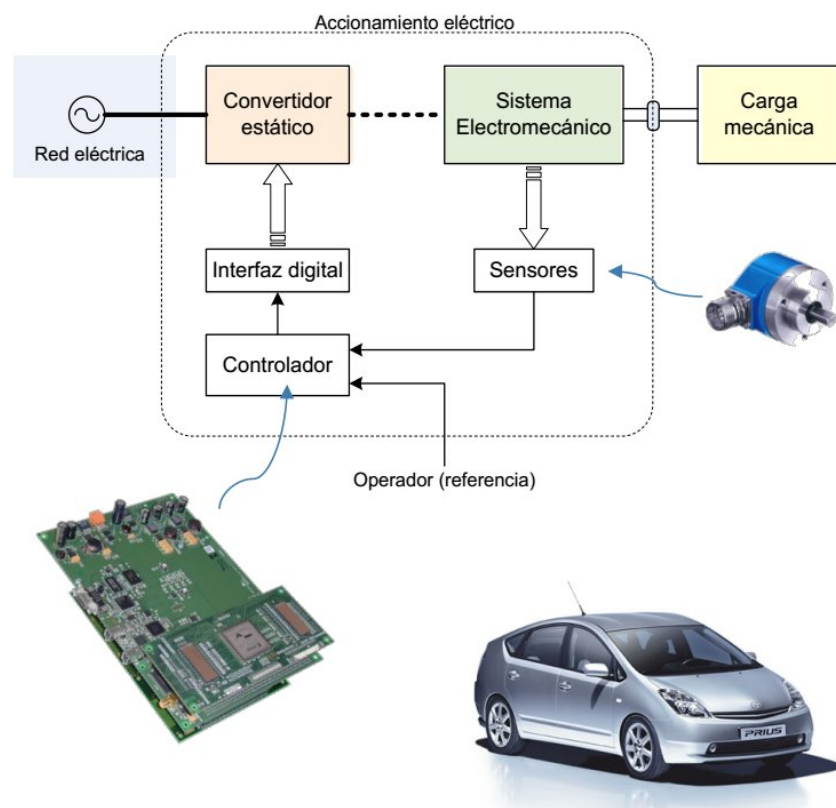
El motor a combustión opera a una velocidad fija (óptima en eficiencia) para generar energía eléctrica.

El motor eléctrico opera en todo el rango de velocidades ya que es más eficiente que el de combustión.

Cuando se alcanza el nivel nominal de la batería, se deja de usar combustible.

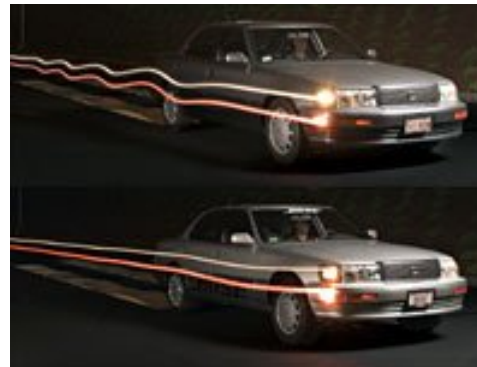
El motor eléctrico produce el movimiento a partir de la energía eléctrica almacenada en la batería.

Aplicaciones: Autos eléctricos



Aplicaciones: Amortiguación activa

- La amortiguación del automóvil se realiza mediante el control de un motor lineal.
- Cuando se detecta un surco, el motor se extiende.
- Cuando se detecta una elevación el motor se contrae regenerando la energía a la batería.
- Se necesita 1/3 de la energía de un sistema de aire acondicionado para que pueda operar.



Aplicaciones: Trenes eléctricos de alta velocidad

Son el medio de transporte ideal para:

Ciudades y países separados por distancias medias (entre 100 y 500 [Km])

Flujo grande y constante de personas

Condiciones geográficas aceptables

Son rápidos, seguros, limpios y en algunos casos silenciosos.

Han permitido la integración social en Europa.

Países pioneros en su desarrollo: Alemania, Francia, España y Japón.

Se necesita voluntad política para su desarrollo (elevado costo de desarrollo e instalación).



ICE (InterCity Express)
Alemania



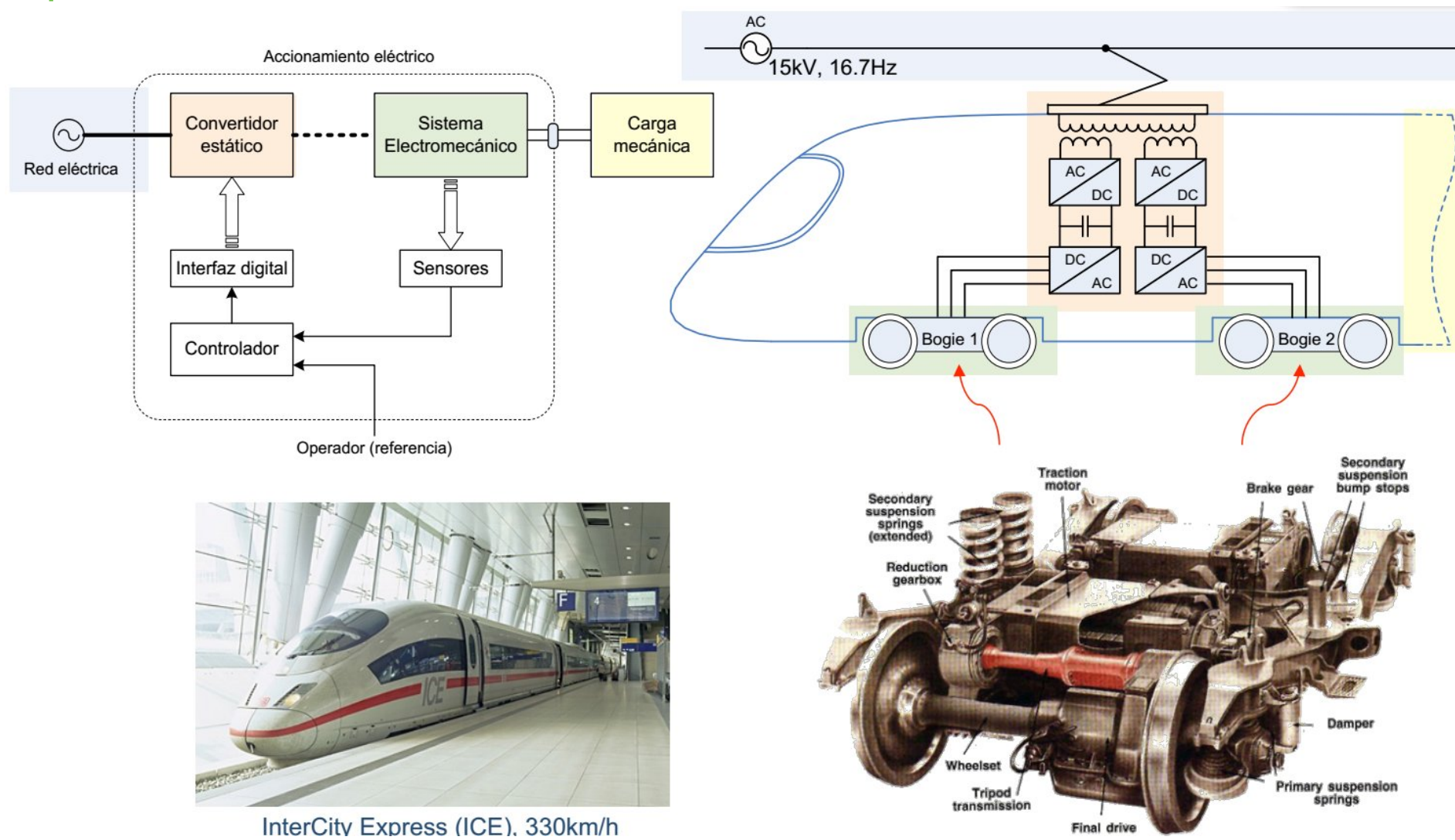
Shinkansen (Tren bala)
Japón



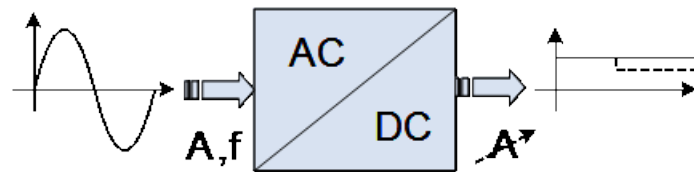
TGV (Train Grand Vitesse)
Francia



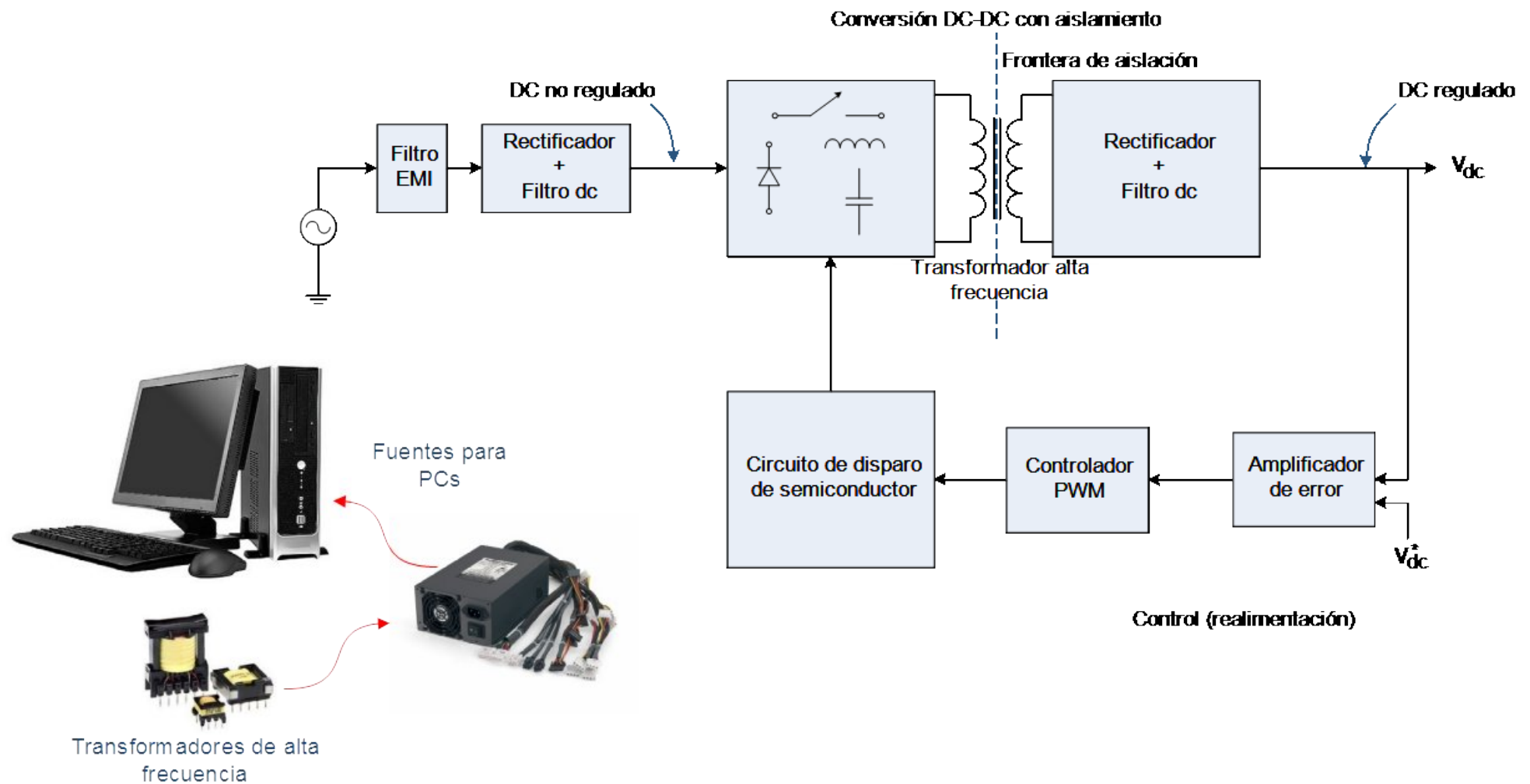
Aplicaciones: Trenes eléctricos de alta velocidad



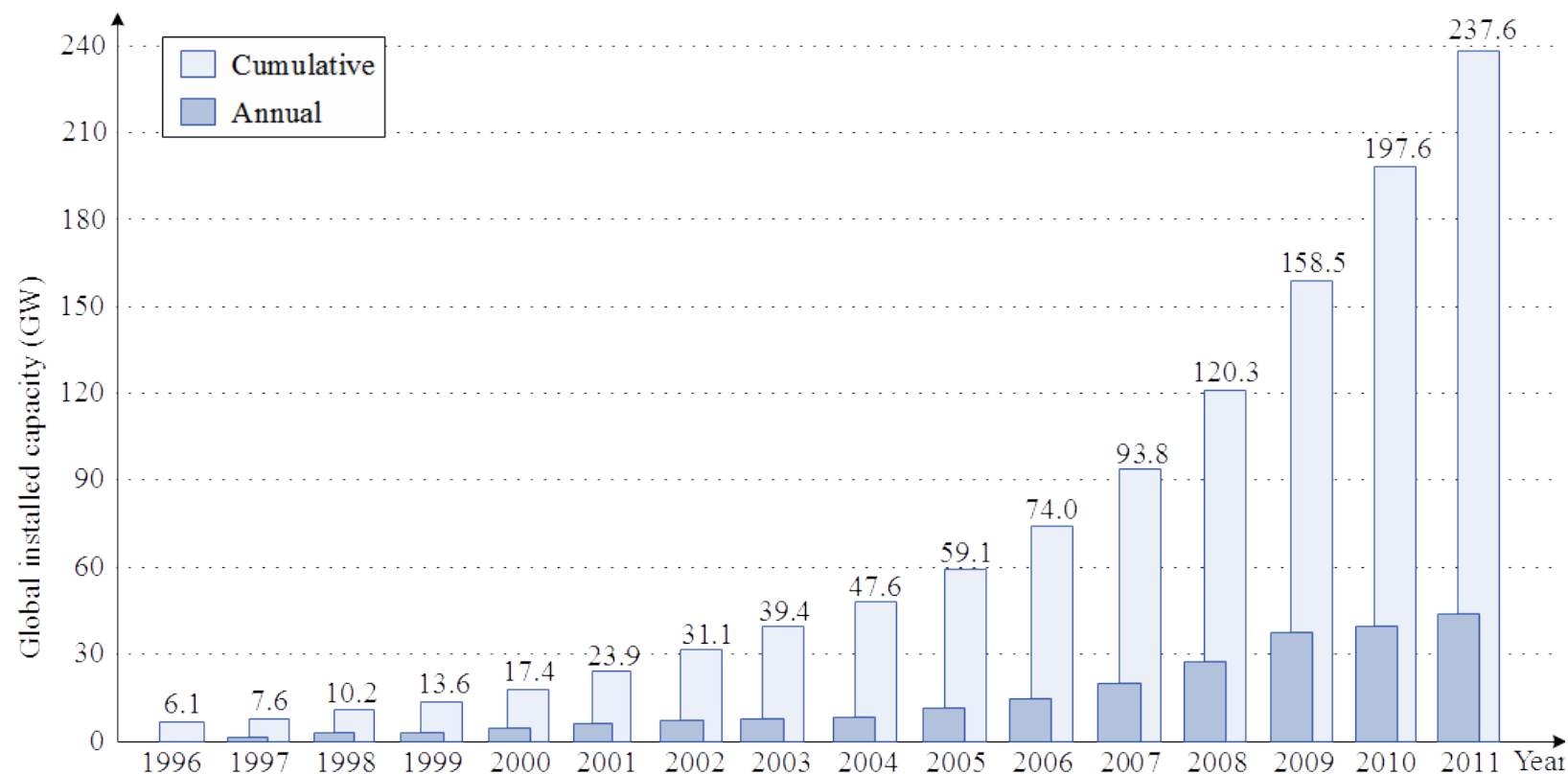
Aplicaciones: Electrónica doméstica



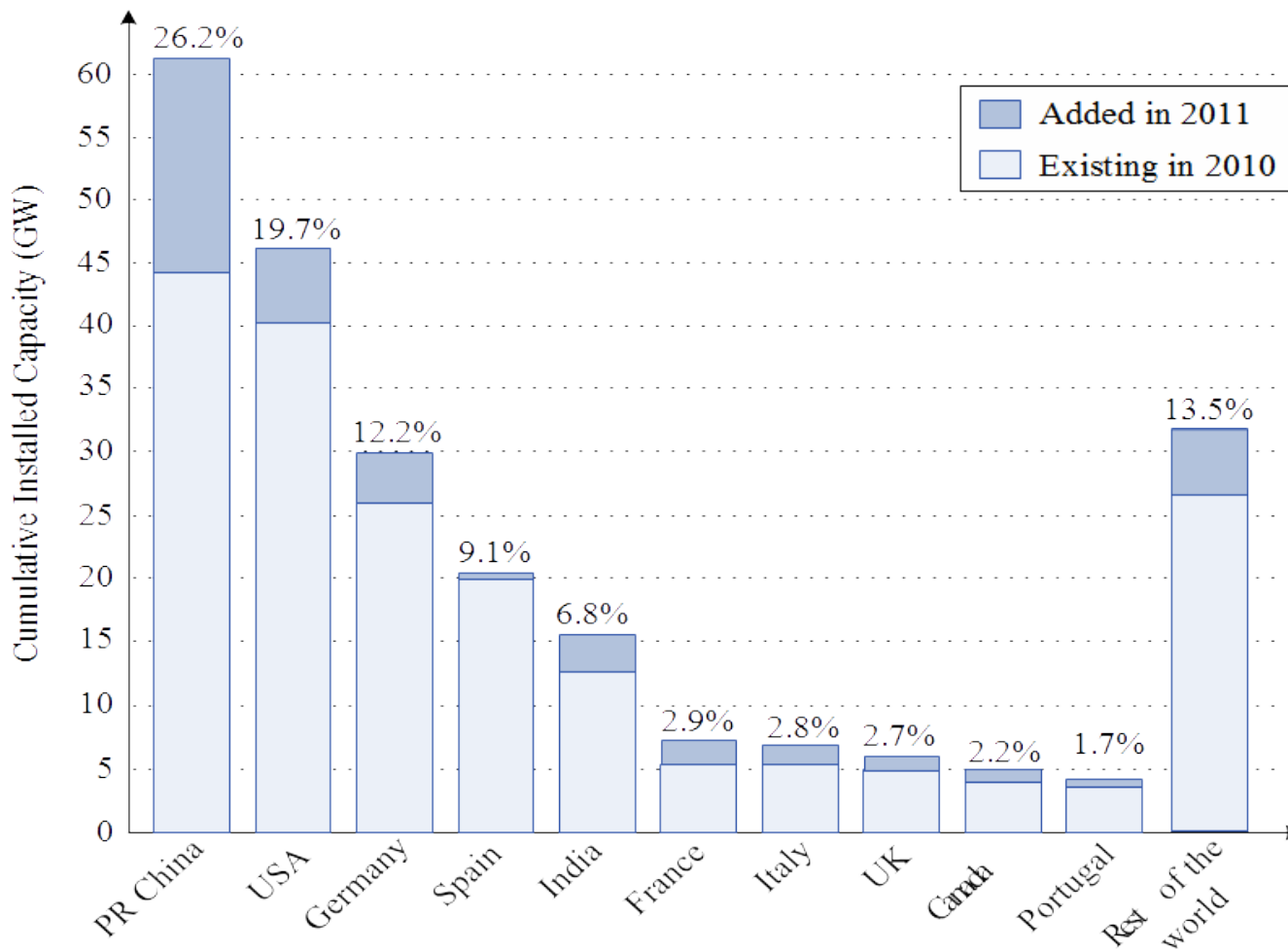
Aplicaciones: Electrónica doméstica



Aplicaciones: Energía eólica

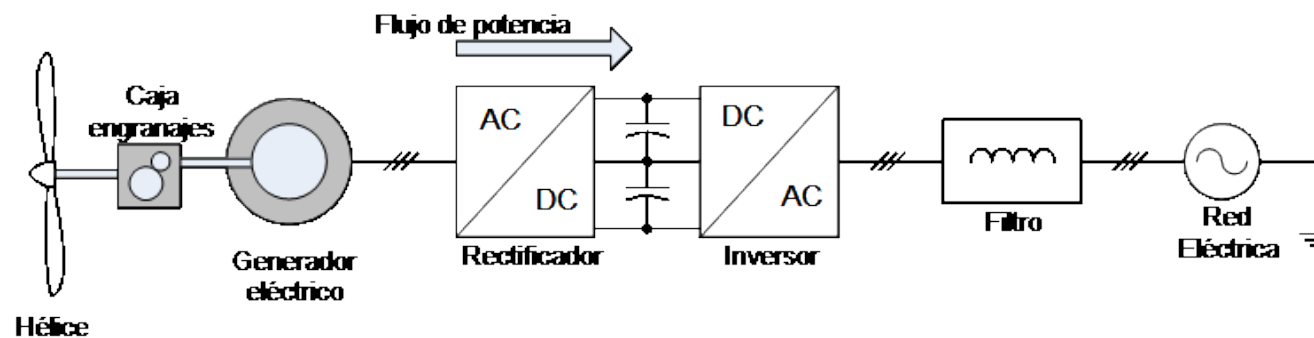


Aplicaciones: Energía eólica

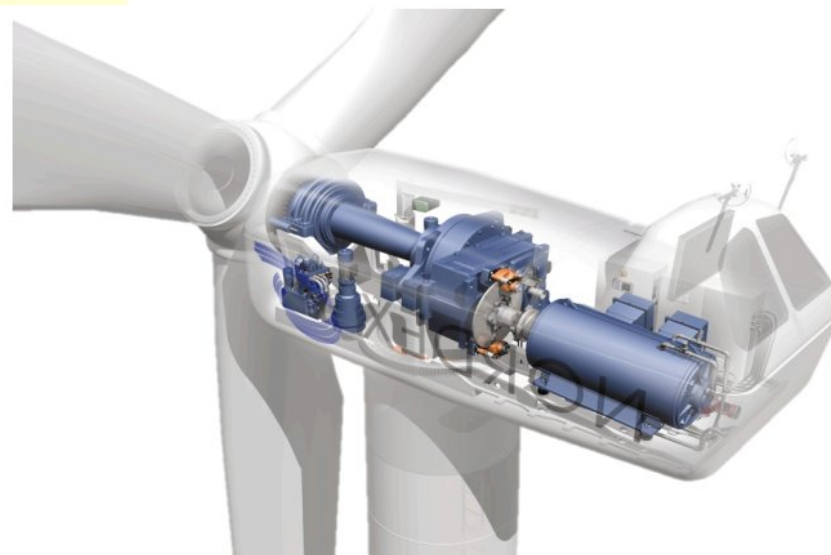
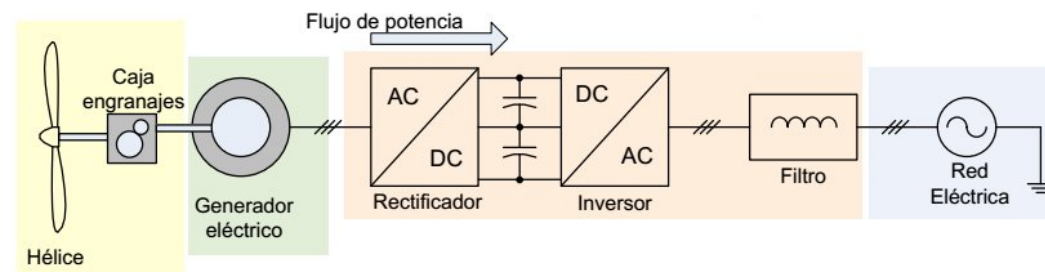
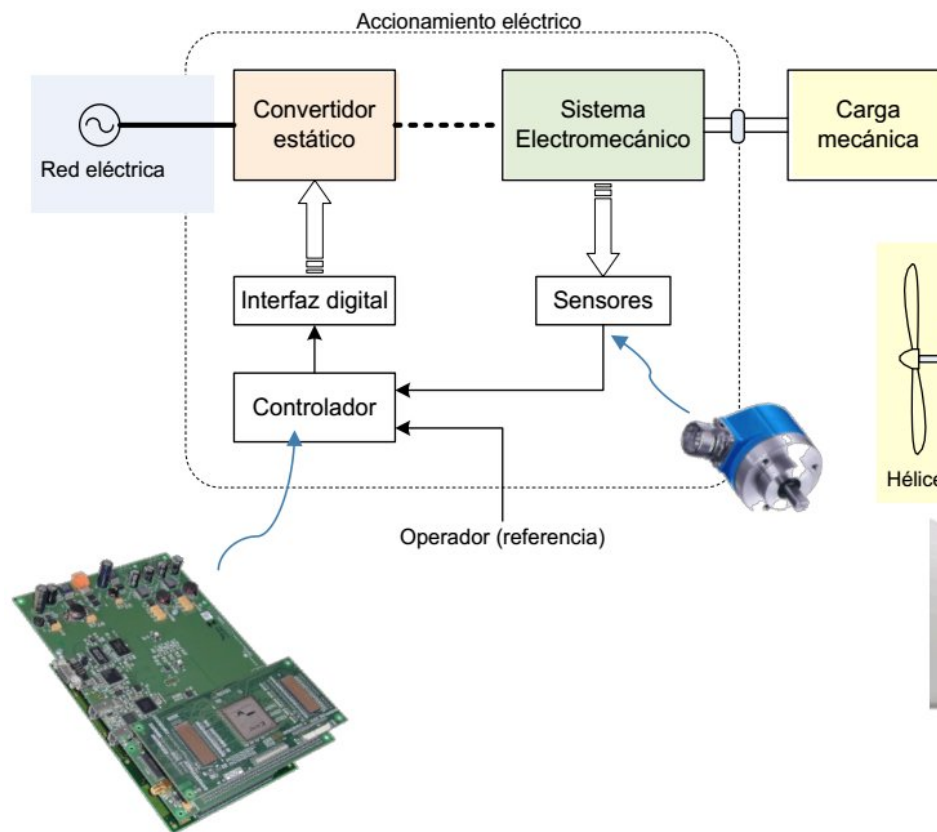


Aplicaciones: Energía eólica

- Cuando el viento incide sobre la hélice del molino la curvatura de las aspas, similares a las alas de un avión, producen una diferencia de presión entre la cara anterior y posterior de cada aspa, lo que produce una fuerza resultante en una dirección.
- La suma de las fuerzas sobre las aspas produce un torque giratorio.
- La hélice gira y mueve el generador eléctrico acoplado al eje (podría haber una caja de engranajes adicional)
- La energía es acondicionada por los convertidores de potencia, para que posea la frecuencia y amplitud deseada.
- Un filtro elimina componentes armónicos no deseados, y finalmente la energía es inyectada a la red.



Aplicaciones: Energía eólica



- Los accionamientos eléctricos permiten flujo de potencia en ambos sentidos!

Aplicaciones: Energía solar

- Usos de la energía solar:
 - Iluminación
 - Calor (energía solar térmica)
 - Generación eléctrica



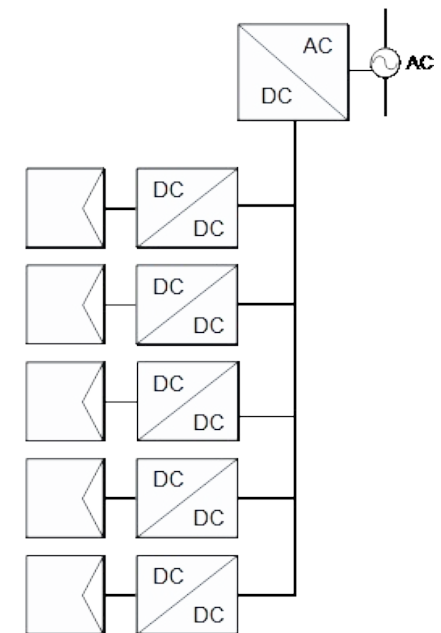
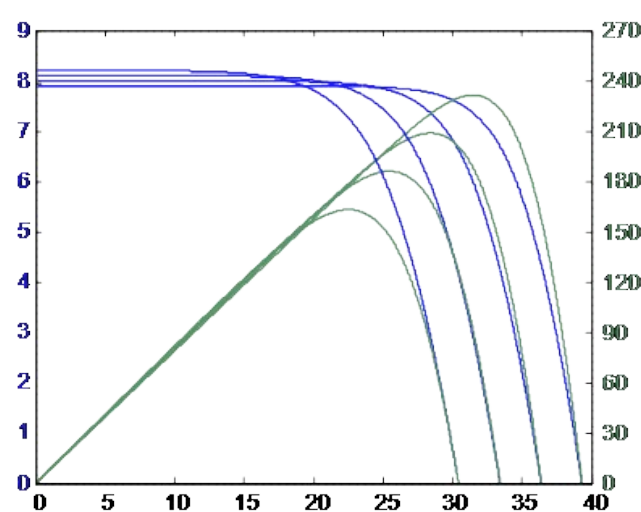
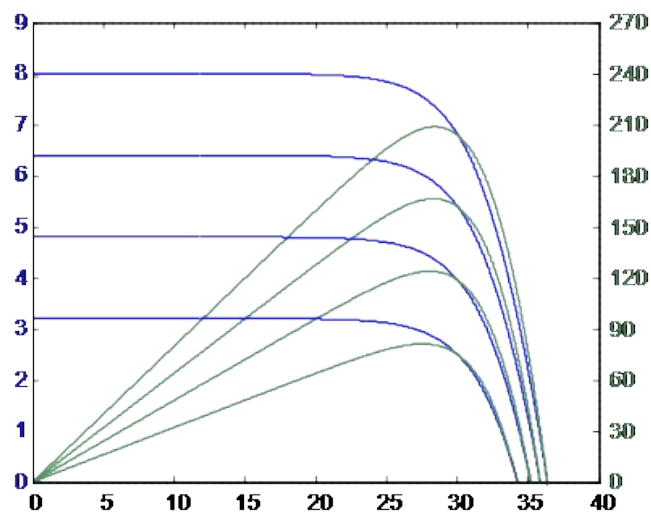
Concentración térmica

Fotovoltaica

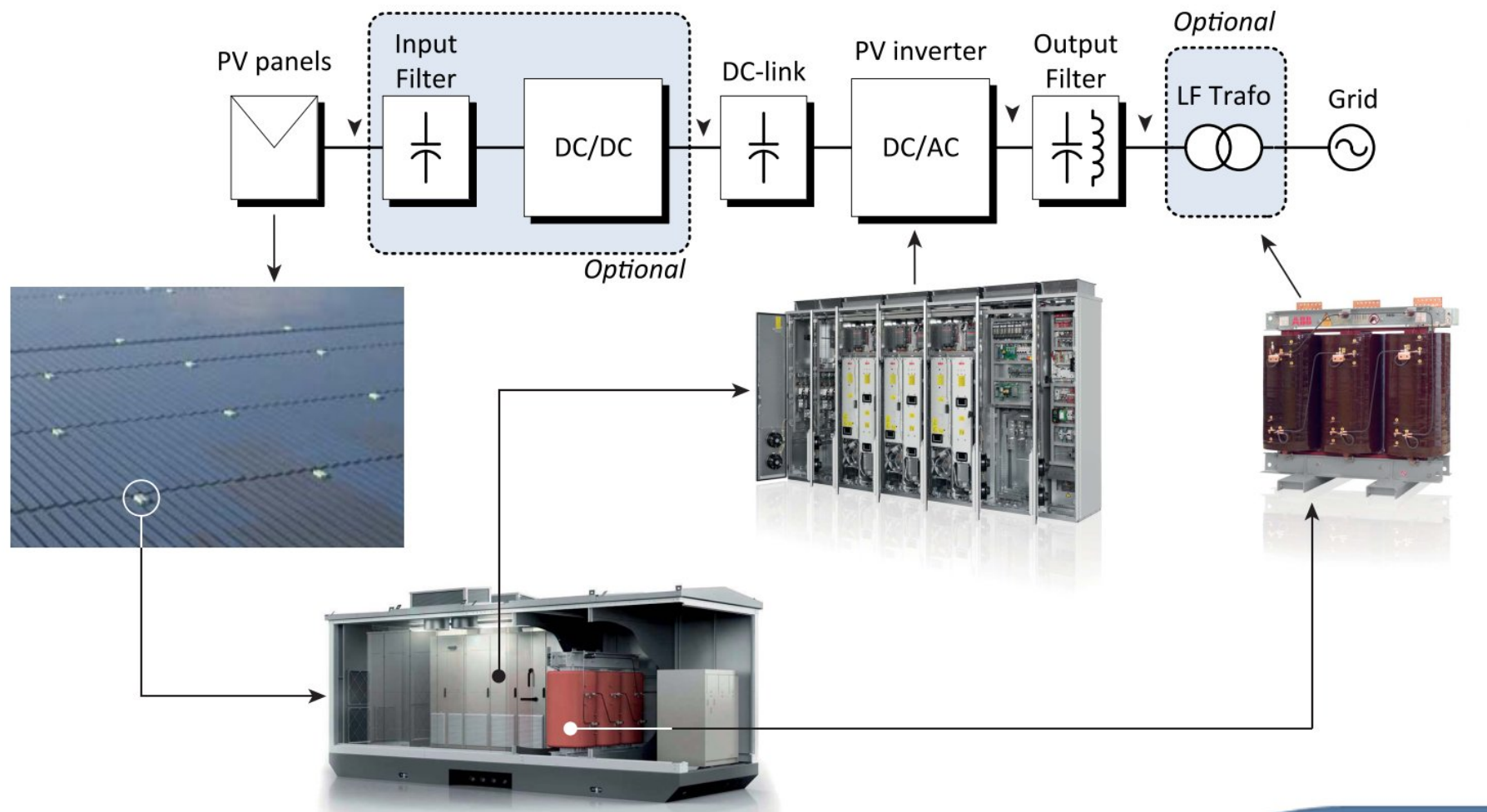
Uso de electrón-
ica de potencia

Aplicaciones: Energía solar

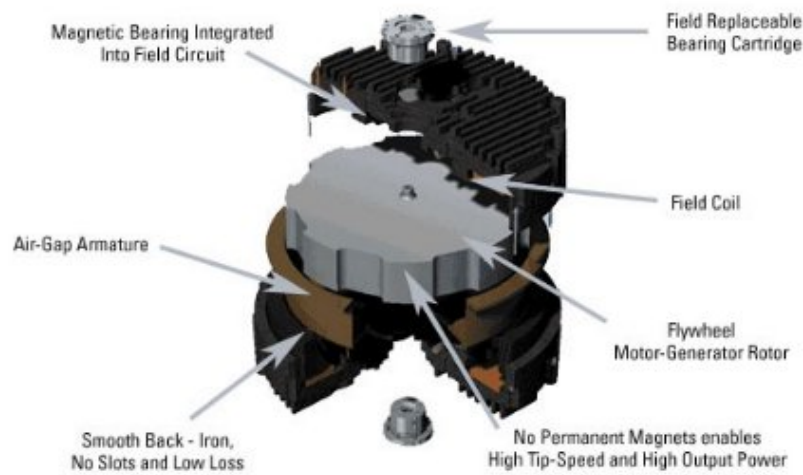
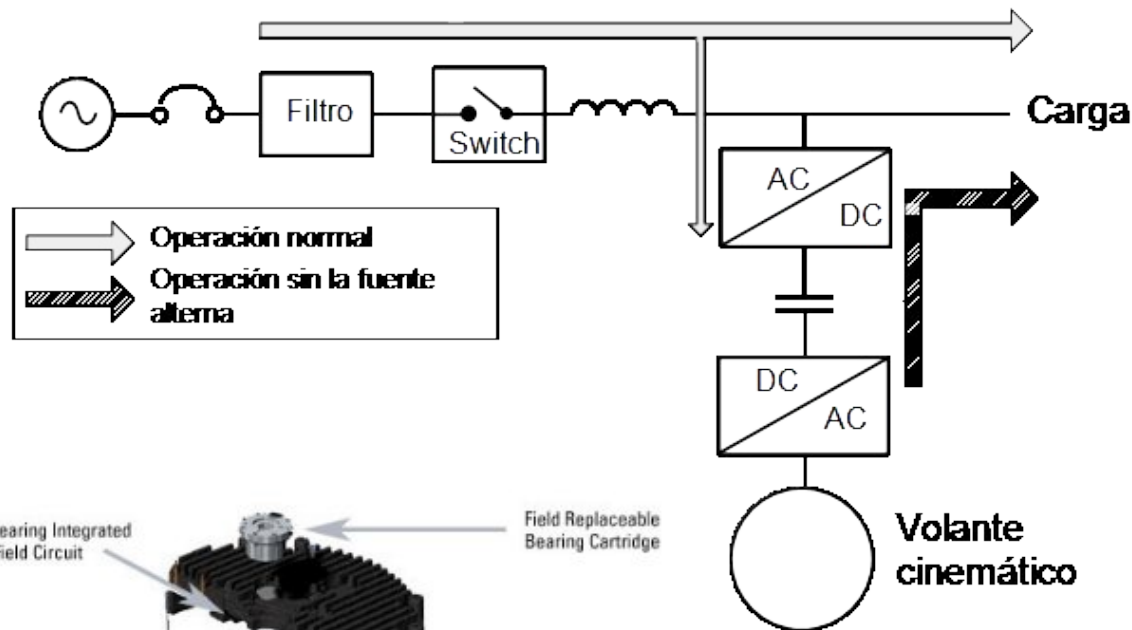
- El punto de operación en el cual se obtiene la mayor potencia en el panel varia con las condiciones de temperatura y radiación
- Es necesario cambiar constantemente este punto de operación para obtener la máxima cantidad de energía (Maximum power point tracking - MPPT)
- Es necesario controlar que la potencia entregada a la red eléctrica tenga una calidad de energía requerida.
- Distintas combinaciones de convertidores de potencia son utilizados para estos fines



Aplicaciones: Energía solar

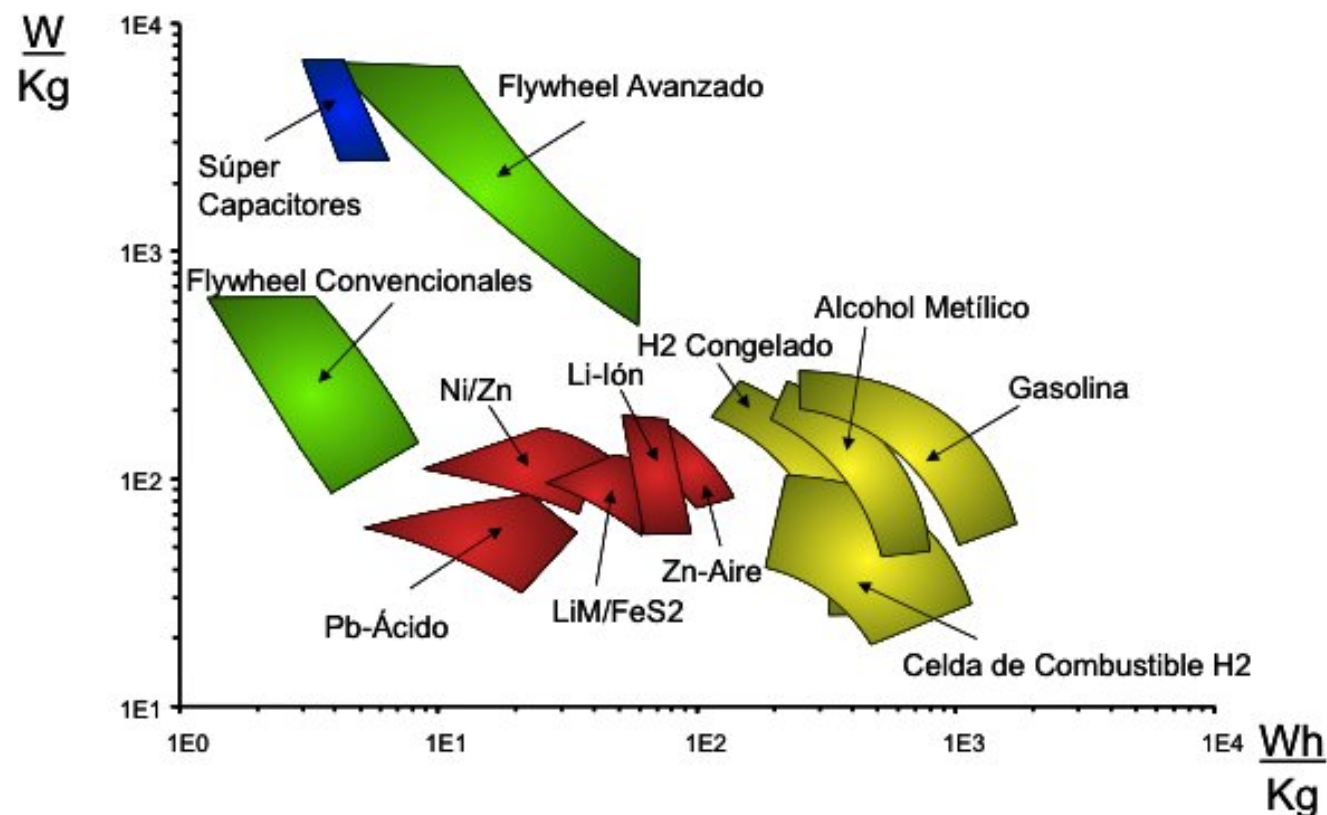


Aplicaciones: Almacenamiento mediante volante cinemático



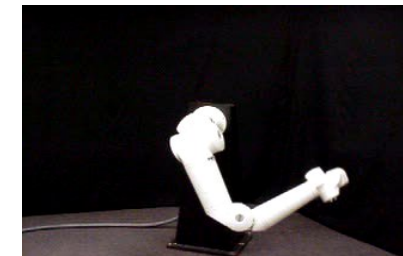
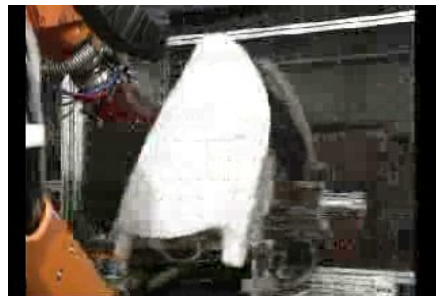
Aplicaciones: Almacenamiento eléctrica

- Las tecnologías de almacenamiento poseen distintas características de operación.
- Los convertidores de potencia son necesarios para integrar estas tecnologías en las aplicaciones.

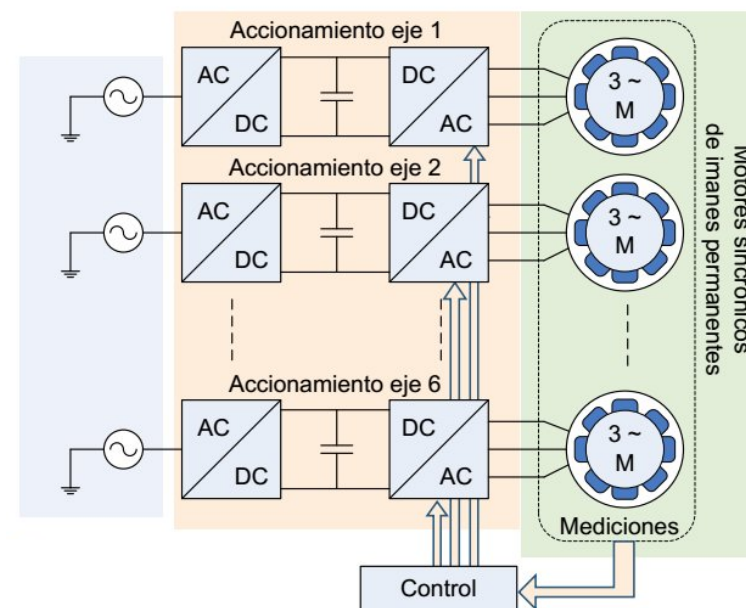
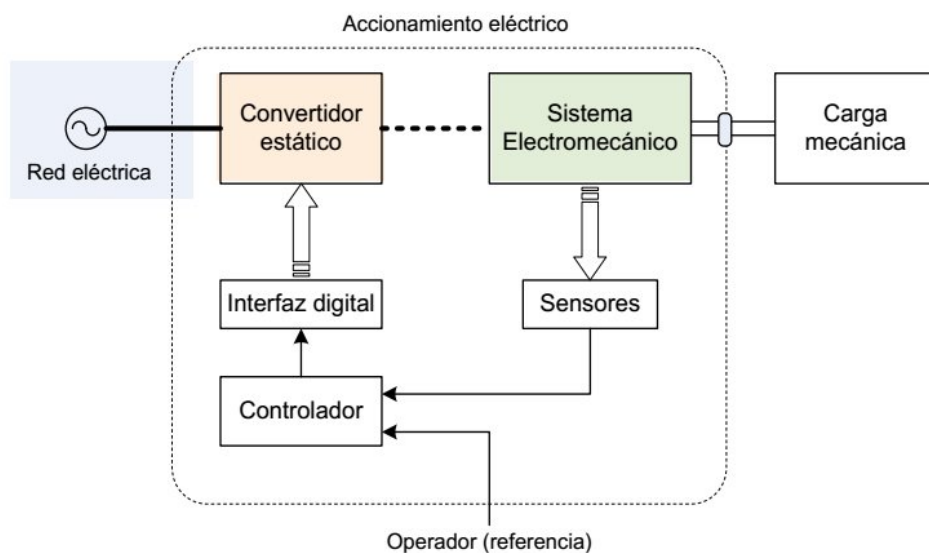


Aplicaciones: Robótica

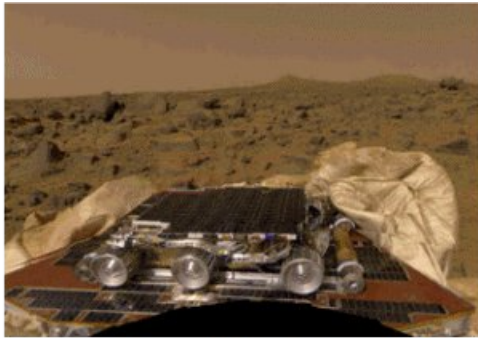
- Mayor productividad
- Menores costos
- Regulaciones laborales más exigentes
- Capacidad superior al ser humano (motricidad, precisión, velocidad, continuidad laboral, etc.)
- Factibilidad (ambientes o condiciones donde no pueden operar humanos)



Aplicaciones: Robótica



Aplicaciones: Robótica



Pathfinder (NASA) en Marte



Ala voladora autónoma (NASA)



Mascota (Sony)



Camiones mineros automatizados

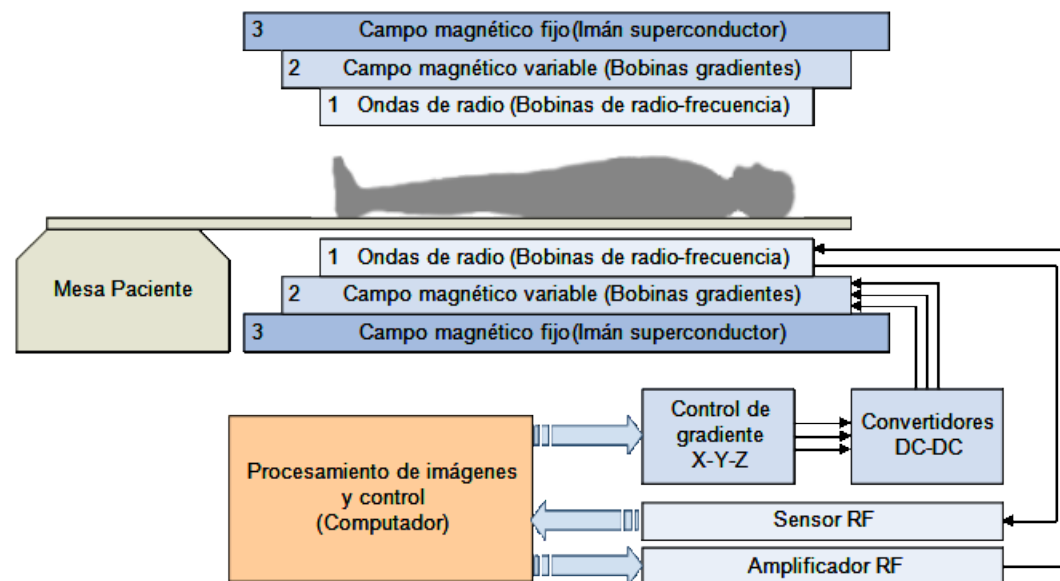
Aplicaciones: Medicina (MRI)

- Los seres vivos se componen principalmente de átomos de Hidrógeno (agua y grasa), los cuales son muy susceptibles a alinearse cuando se encuentran inmersos en un campo magnético.
- Lo anterior se logra al estimularlos con señales de radiofrecuencia (RF) específicas para el hidrógeno (entre 15 y 80[MHz]).
- Cuando el pulso de RF termina, vuelven a su estado inicial de alineamiento eliminando la energía almacenada, emitiendo una señal de la misma frecuencia que la absorbida.
- Si se mide esta señal y se procesa adecuadamente, se puede reconstruir una imagen a partir de la concentración de átomos de hidrógeno y los tejidos que conforman.



Aplicaciones: Medicina (MRI)

- Se emplea un imán superconductor refrigerado en Helio líquido (a sólo 4.2°K) para generar un campo magnético fijo entre 0.5 y 5 [Tesla] ($1[\text{Tesla}] = 10.000 \text{ gauss}$, campo de la tierra es de 0,5 [gauss]). Con él se polarizan los átomos de hidrogeno.
- Tres bobinas dispuestas ortogonalmente entre si (X,Y,Z) generan un campo magnético adicional (mas pequeño) para perturbar el principal en una área localizada, con esto se puede aislar y detectar un punto en particular. Las corrientes son controladas para realizar un barrido secuencial del paciente.



Aplicaciones: Medicina (MRI)

- Las bobinas de RF emiten las señales específicas para el hidrogeno y reciben las respuestas de los átomos.
- El computador reconstruye la imagen a partir de la información recibida y las coordenadas de la muestra.

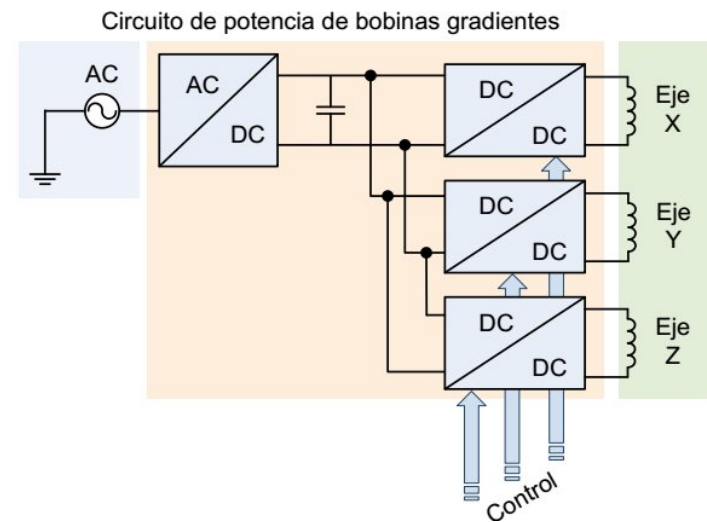
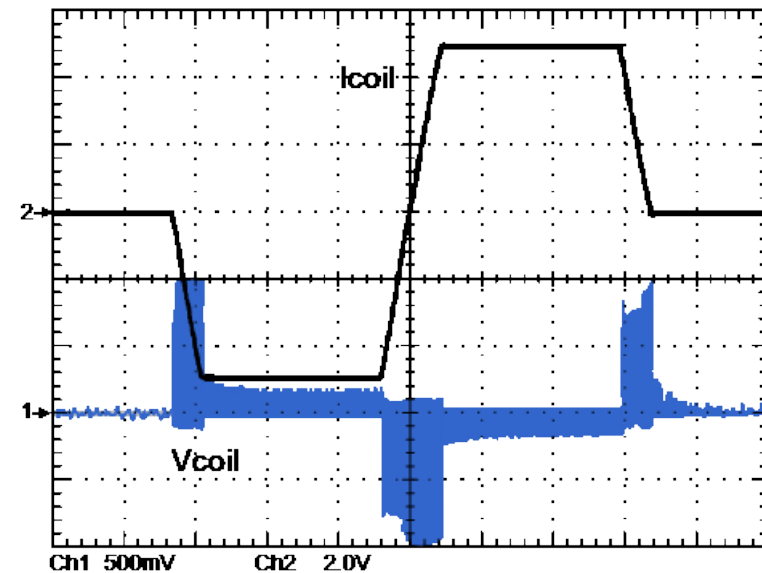
Las bobinas son operadas con varias centenas de volts y amperes.

Errores de corriente deben ser menor a 1[A].

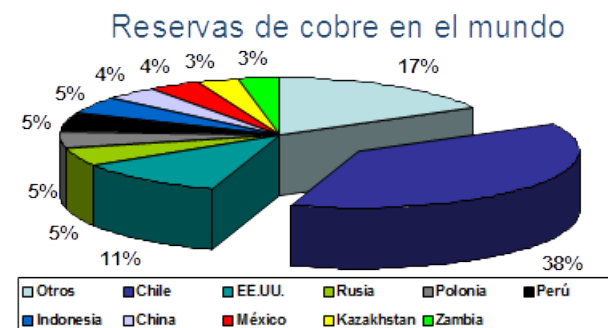
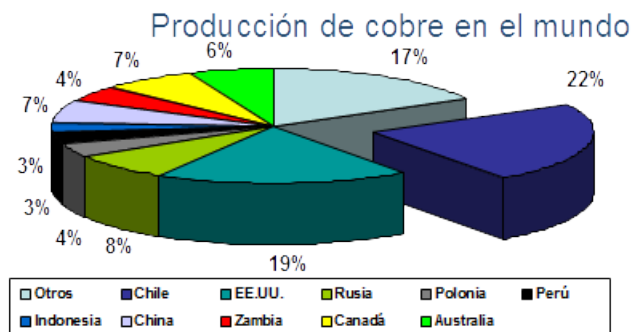
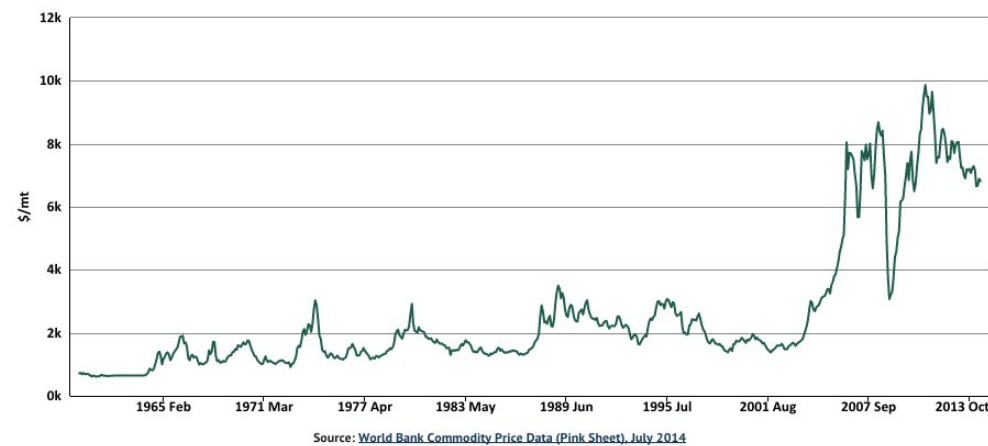
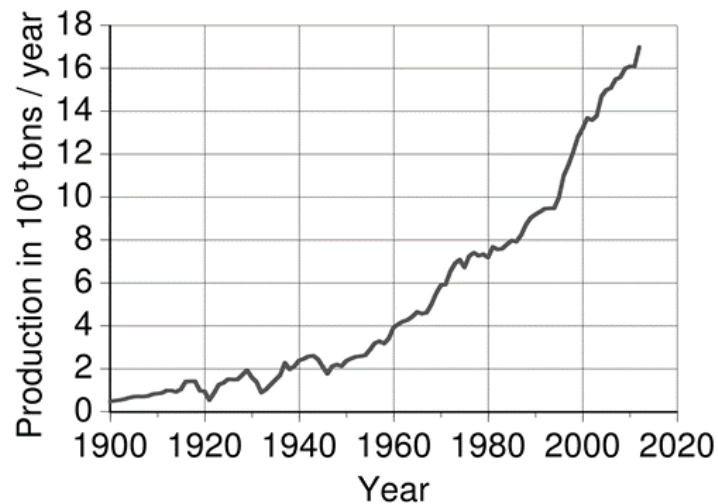
Rango dinámico de ± 50 [A] y 0.3 [A/us] de *slew rate*.

Rápida respuesta dinámica de alta potencia.

Escala gráfico: I_{coil} : 20[A/div] , V_{coil} : 500[V/div], Tiempo: 400[us/div]

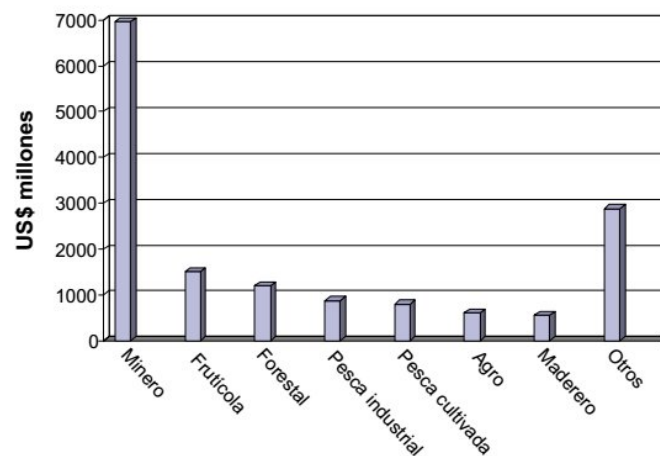


Aplicaciones: Minería

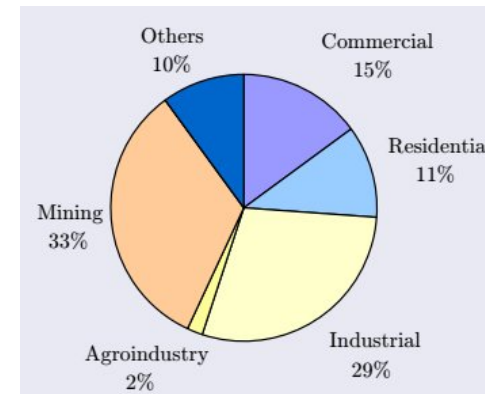


Aplicaciones: Minería

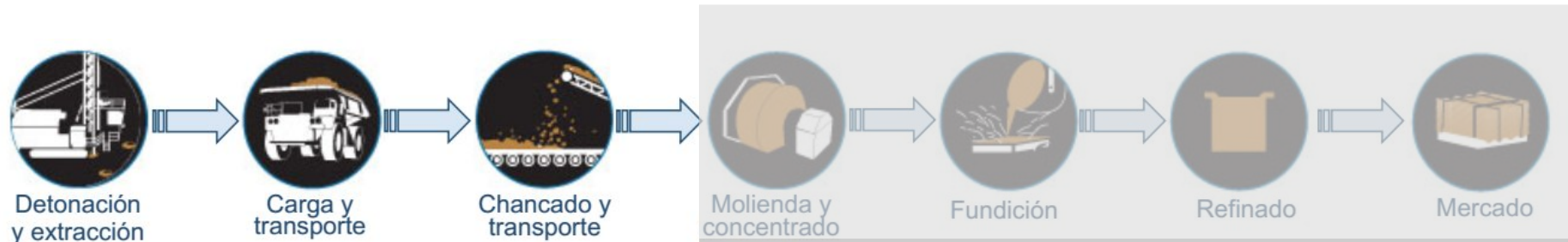
Participación en las exportaciones según sector:



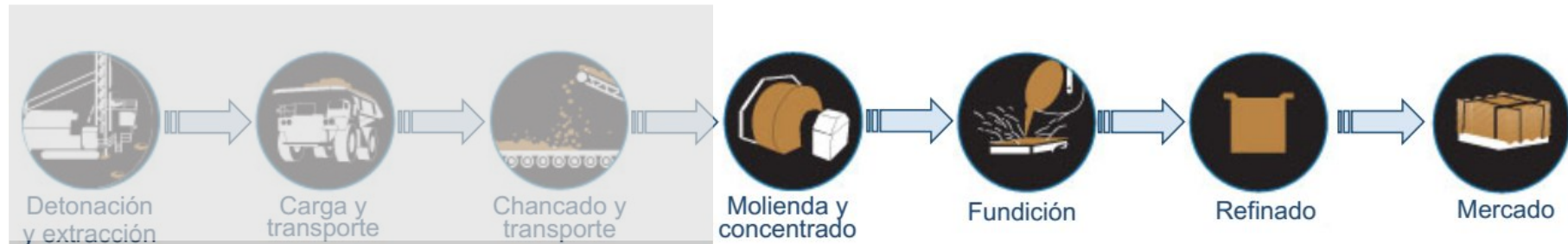
Consumo de energía



Aplicaciones: Minería



Aplicaciones: Minería



Aplicaciones: Minería (palas eléctricas)

Pueden cargar hasta 100 toneladas de mineral en una sola pala

Acelera y desacelera una gran masa de material, por ello consume y regenera mucha energía, por lo que el control de la energía es crítico para su funcionamiento

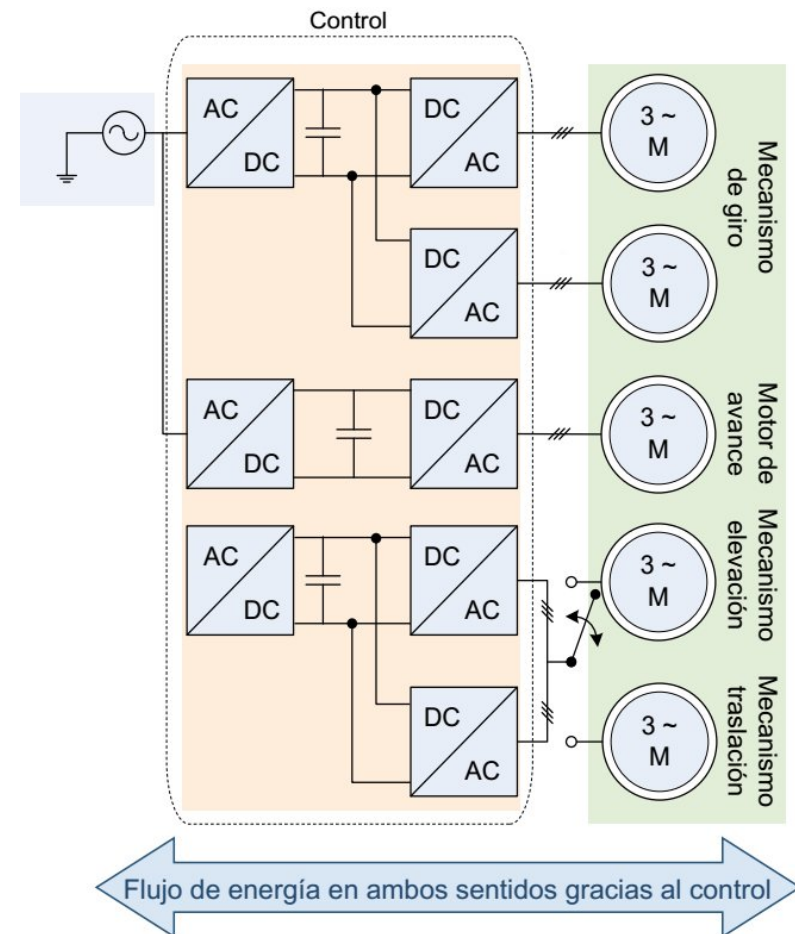
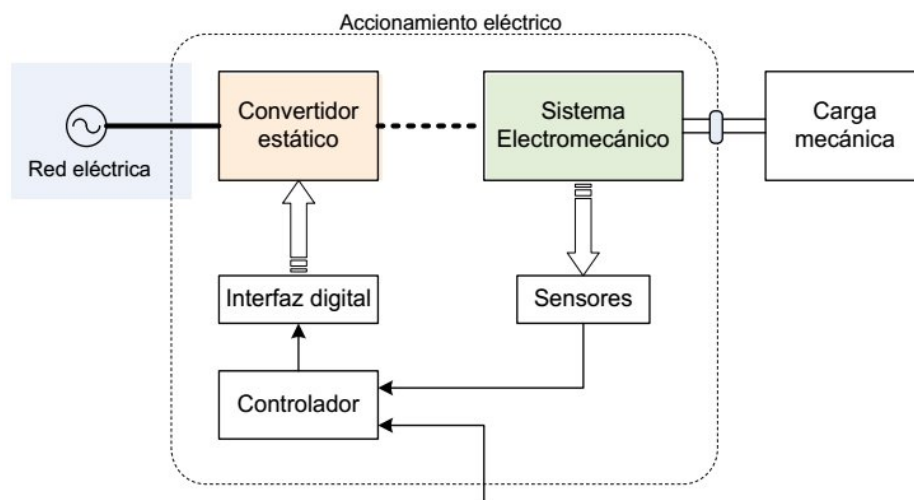
Resumen de operación y flujo de potencia:

1. El balde es cargado y sube con mineral
2. La cabina gira hacia el camión
3. Frenado de la cabina (Regeneración)
4. Descarga del mineral y posterior elevación del balde
5. La cabina gira hacia el mineral
6. Frenado de la cabina (Regeneración)
7. El balde baja (Regeneración)



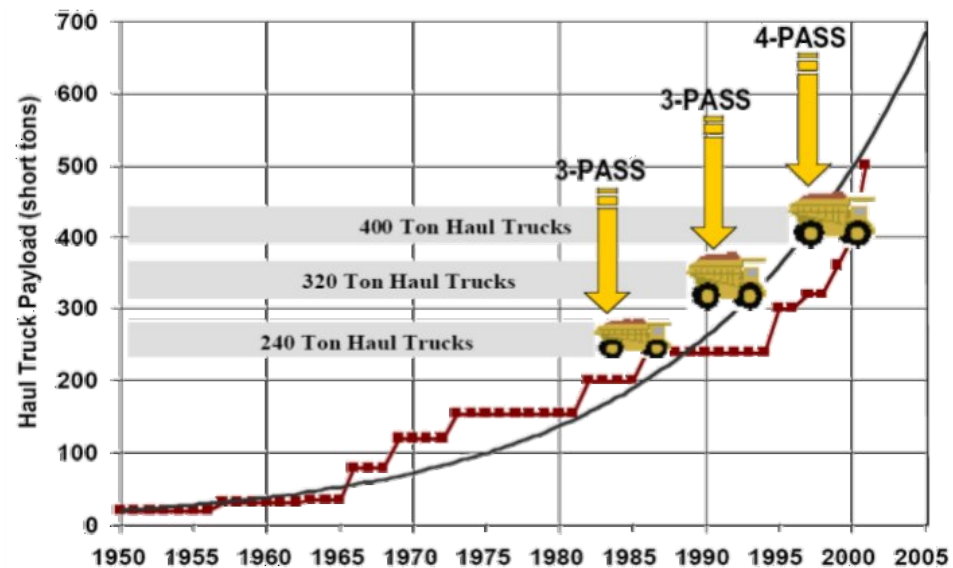
Aplicaciones: Minería (palas eléctricas)

Son máquinas enormes que poseen varios accionamientos eléctricos de muy alta potencia
Se dice que es el robot más grande del mundo

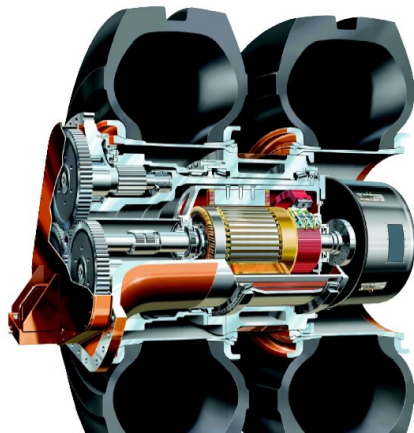
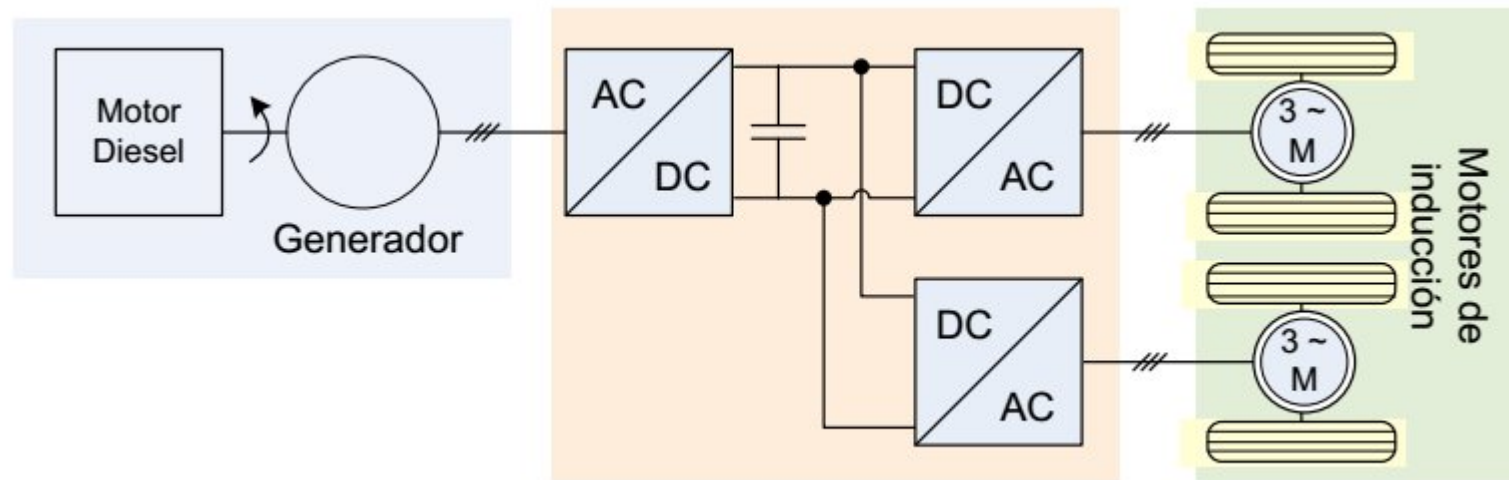


Aplicaciones: Minería (camiones híbridos)

Crecimiento sostenido de la capacidad de carga



Aplicaciones: Minería (camiones híbridos)



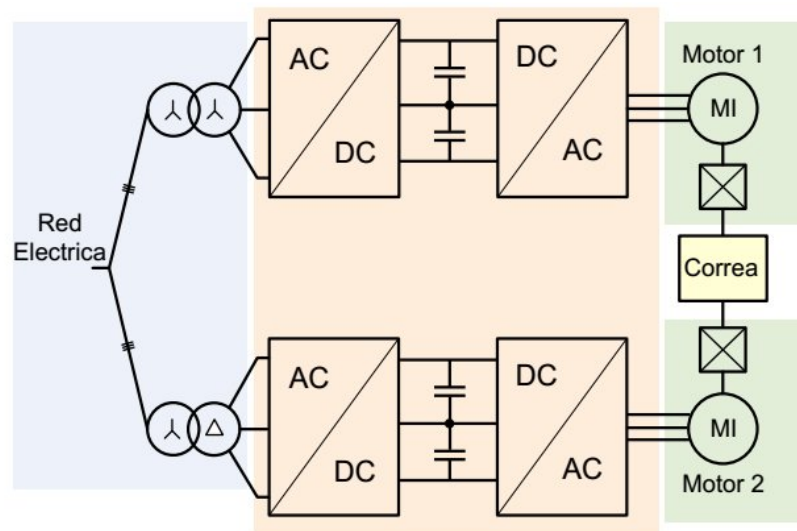
Aplicaciones: Minería (correas regenerativas)



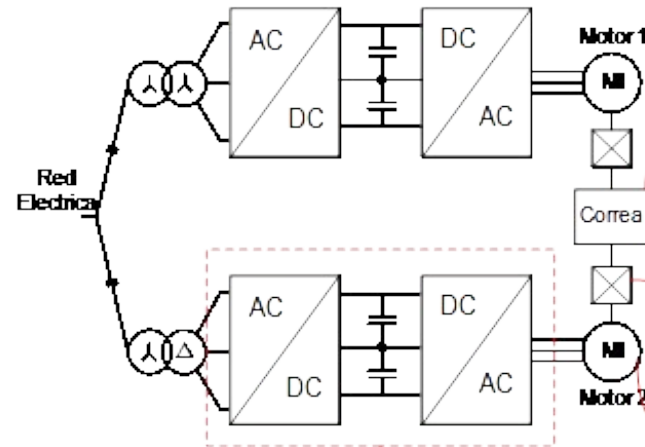
- La cinta se divide en tres secciones de largos (5905[m], 5281[m] y 1467[m])
- La inclinación promedio es de 11% (hasta 24% en algunos lugares)
- La mina está localizada a 1307[m] sobre la ubicación del concentrador
- Capacidad de transporte: 5800[ton/h] de mineral
- Gran parte del trayecto es bajo tierra

Aplicaciones: Minería (correas regenerativas)

- Dos motores son usados para accionar una de cada correa
- Cada accionamiento es de 2500[kW]
- La energía potencial del mineral es utilizada para generar electricidad



Aplicaciones: Minería (correas regenerativas)





UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



DEPARTAMENTO DE
ELECTRONICA