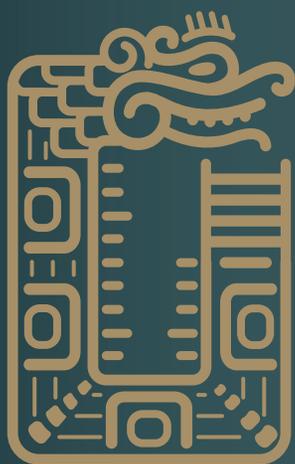


KAANBAL

**PROGRAMA DE
TRANSFERENCIA
DE CONOCIMIENTO**

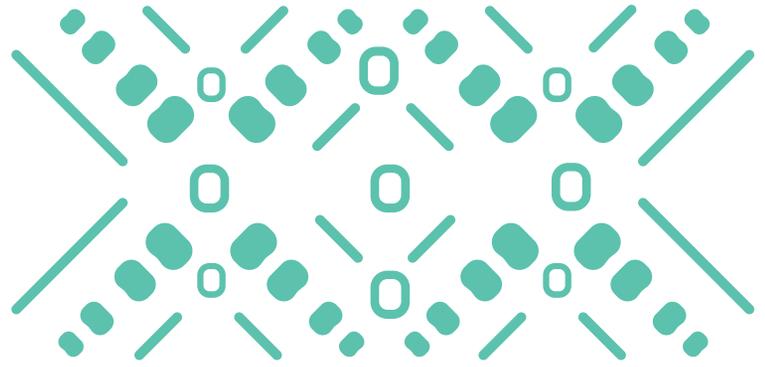


**TREN
MAYA**
TSÍIMIN K'ÁAK

Lección 2



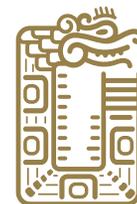
Lección 2



CURSO 4

Energía Eléctrica

con Isaac Fonseca Monrreal



**TREN
MAYA**
TSÍIMIN K'ÁAK

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Sistema eléctrico ferroviario</i>	.....	4
<i>Imagen 2: Central Generadora de energía</i>	.....	5
<i>Imagen 3: Línea eléctrica de transporte</i>	.....	5
<i>Imagen 4: Subestación eléctrica de transporte</i>	.....	6
<i>Imagen 5: Sistema Eléctrico, líneas de transporte, subestación de transporte y red de distribución.</i>	.....	6
<i>Imagen 6: Líneas de distribución de energía eléctrica a 22Kv (Kilovoltio)</i>	.....	7
<i>Imagen 7: Subestación eléctrica de distribución</i>	.....	7
<i>Imagen 8: Ejemplo del sistema de línea aérea de contacto (Catenaria)</i>	.....	8
<i>Imagen 9: Semiconductores de potencia</i>	.....	9
<i>Imagen 10: Diodo de potencia</i>	.....	10
<i>Imagen 11: Tiristor de Potencia</i>	.....	10
<i>Imagen 12: Tiristor de potencia GTO</i>	.....	11
<i>Imagen 13: Transistor IGBT</i>	.....	11
<i>Imagen 14: Pantógrafo, partes principales</i>	.....	12
<i>Imagen 15: Eje con caja de transmisión (reductor) montada</i>	.....	13
<i>Imagen 16: Estator de un motor eléctrico</i>	.....	13
<i>Imagen 17: Rotor de un motor eléctrico</i>	.....	14
<i>Imagen 18: Motor de corriente continua</i>	.....	15
<i>Imagen 19: Motor Síncrono</i>	.....	15
<i>Imagen 20: Motor Asíncrono de CA</i>	.....	16

Lección 2

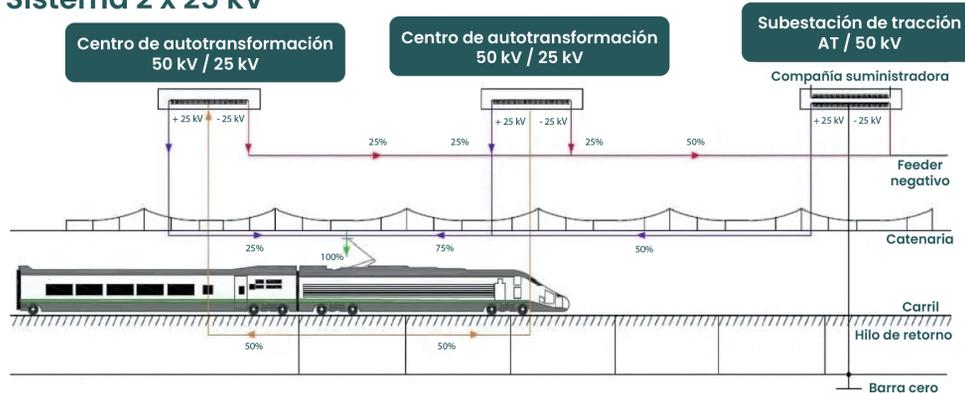
SISTEMA ELÉCTRICO FERROVIARIO

Se entiende por electrificación ferroviaria al conjunto de instalaciones necesarias para un sistema de tracción eléctrica. Podemos considerar como elementos fundamentales a los siguientes:

- Fuentes de energía o centrales de generación de energía eléctrica.
- Líneas eléctricas de transporte en alta tensión.
- Subestaciones de tracción eléctrica, tanto para sistemas de corriente alterna como continua.
- Línea Aérea de Contacto (Catenaria) y sus sistemas o elementos asociados como son los Feeders o cables de alimentación entre la subestación de tracción y la línea aérea de contacto.
- Componentes propios del material rodante principalmente pantógrafos y motores eléctricos de tracción.

Imagen 1: Sistema eléctrico ferroviario

Sistema 2 x 25 kV



Geotren. (2019). Plan de electrificación de 2019. Geotren. <https://www.geotren.es/blog/plan-de-electrificacion-de-2019/>

Centrales de generación de energía

Estas centrales generan energía eléctrica de forma masiva en determinados puntos geográficos del país. Un generador de corriente alterna o alternador, es una máquina rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica alternativa. Son más sencillos de construir un generador de corriente continua, dicho generador tiene como principio de funcionamiento, que el número de líneas de inducción que atraviesan las bobinas esté sometido a variaciones periódicas. La mayor parte de estas máquinas se construyen para una frecuencia industrial de 50 o 60 Hz.

Imagen 2: Central Generadora de energía



Referencia: Concepto.de. (s. f.). Generación eléctrica. Concepto.de. <https://concepto.de/generacion-electrica>

Línea eléctrica de transporte

Su función es el transporte de grandes potencias desde las centrales a los centros de carga y a los grandes consumidores industriales, esto es, aquellos que sobrepasan los límites corrientes y económicos de las líneas de distribución.

Normalmente los valores de tensión eléctrica de estas líneas son iguales o superiores a 220 kV (Kilovoltio). En algunos casos también se considera red de transporte líneas con 132 kV (e incluso menores según las particularidades existentes).

Imagen 3: Línea eléctrica de transporte



Referencia: Pelandintecno. (2012). El transporte de energía eléctrica. Blogger. <https://pelandintecno.blogspot.-com/2012/03/el-transporte-de-energia-electrica.html>

Subestación eléctrica de transporte

Con el objetivo de asegurar un funcionamiento seguro de las instalaciones conectadas a la red eléctrica de transporte, se intercala la subestación eléctrica de transporte entre dicha red y red eléctrica de distribución. Todo ello garantiza el buen funcionamiento del sistema eléctrico en su conjunto dotándolo, además, de los elementos imprescindibles para el cumplimiento de las exigencias de los distintos procedimientos de operación.

En efecto, al igual que cualquier subestación, la subestación eléctrica de transporte dispone de elementos de maniobra, equipos de control, equipos de medida, equipos de protección, señalización y en ocasiones transformadores de potencia para reducir la tensión eléctrica de transporte a la de distribución.

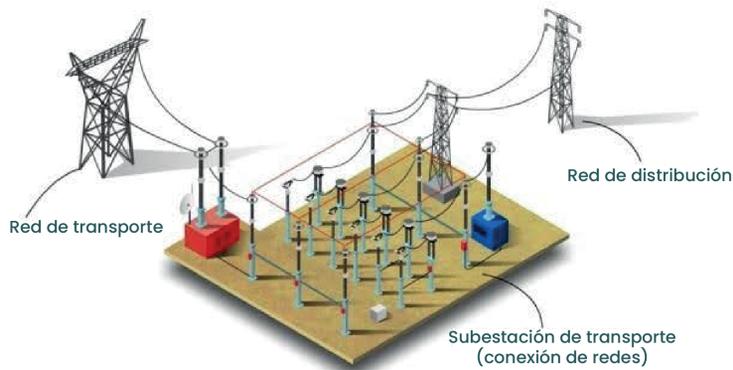
Mediante todos ellos es posible conectar y desconectar los diferentes circuitos y despejar las faltas rápida y selectivamente, etcétera. Como ocurre con la línea eléctrica de transporte, esta subestación es responsabilidad del operador técnico del sistema de transporte.

Imagen 4: Subestación eléctrica de transporte



Referencia: CYMISA. (s.f). Subestaciones. <https://www.cymisa.com/areas-de-negocio/transporte-de-energia-electrica/subestaciones/>

Imagen 5: Sistema Eléctrico, líneas de transporte, subestación de transporte y red de distribución.



Referencia: Global Electricity. (s. f.). Centrales eléctricas. Wordpress. <https://globalelectricity.wordpress.com/category/centrales-electricas/>

Línea y subestación eléctrica de distribución

Este tipo de líneas transportan potencias medias desde las subestaciones de transporte a la gran mayoría de consumidores. Normalmente disponen de valores de tensión iguales o inferiores a 132 kV (Kilovoltio). Se trata también de líneas aéreas soportadas por apoyos metálicos de celosía y conductores de aluminio. La red de distribución es propiedad y es administrada por las compañías eléctricas privadas que operan en el territorio nacional.

Cabe destacar que las compañías ferroviarias también disponen de líneas de distribución (por ejemplo, en España ADIF dispone de unos 2,800 kilómetros) que, como ya se ha explicado, son las que se conectan a las líneas ferroviarias convencionales. Igualmente, las subestaciones eléctricas trifásicas (que conectan la red de distribución con las subestaciones de tracción) también son en este caso propiedad de las compañías ferroviarias.

Imagen 6: Líneas de distribución de energía eléctrica a 22Kv (Kilovoltio)



Referencia: Freepik. (s.f). Líneas de distribución de energía eléctrica de 22 kV. En Freepik.

Imagen 7: Subestación eléctrica de distribución



Referencia: RTE. (s.f.). Tipos de subestaciones eléctricas. RTE México. <https://rte.mx/tipos-de-subestaciones-electricas>

Línea aérea de contacto

El sistema de línea aérea de contacto se compone de las siguientes partes:

- Catenaria: formada por cable sustentador, hilo de contacto, falso sustentador o péndola en “Y” y péndolas equipotenciales.
- Elementos de sustentación: cimentaciones, ménsulas, postes y pórticos.
- Elementos de conexión: seccionadores, cables.
- Circuito de retorno y protecciones.

Características generales

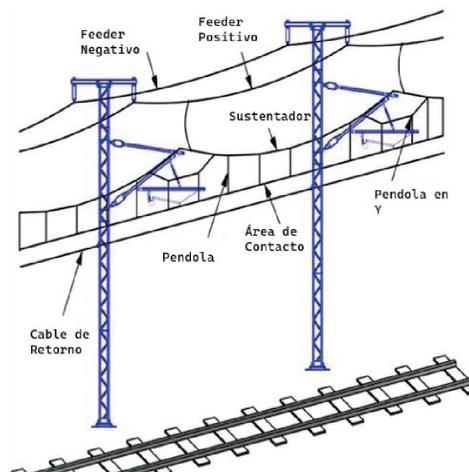
- Es un sistema de catenaria simple poligonal atirantada en todos los perfiles, vertical, con péndola en “Y”, sin flecha en el hilo de contacto y formada por un sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales, compensada mecánicamente y apta para circular a 350 km/h.

- Dispone de un sistema de compensación mecánica de forma independiente para el sustentador y el hilo de contacto.
- Está diseñada para sistemas de alimentación en 25 kV (Kilovoltio), 50 Hz (hercio o hertz), tanto en 1x25 kV como en 2x25 kV.
- Utiliza como sistema de retorno de tracción un cable de retorno aéreo y un carril principal de retorno. El cable de retorno normalmente utilizado es un cable Aluminio -Acero LA 110 mm² (milímetro cuadrado) (94AL1/22ST1A), acorde a la norma UNE-EN 50182.
- Cumple con las dimensiones de gálibo de acuerdo con la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la «Instrucción ferroviaria

Tipología de los conductores adoptada para la línea aérea de contacto C-350

- Sustentador: Cable de Cobre de 95 mm². (milímetro cuadrado) C 95 UNE 207015:2013.
- Hilo de contacto: Cu Mg 0,5 BC-150 mm² (milímetro cuadrado) UNE-EN 50149:2012.
- Péndolas de Bronce II de 16 mm². (milímetro cuadrado)
- Péndola en "Y" (falso sustentador) de Bronce II de 35 mm². (milímetro cuadrado)

Imagen 8: Ejemplo del sistema de línea aérea de contacto (Catenaria)



Referencia: Inserail. (s.f). PlusRail: Railway network design, analysis, and optimization. <https://inserail.es/en/proyecto/plus-rail-railway-network-design-analysis-and-optimization>

Convertidores estáticos de energía dentro del material rodante

Los convertidores estáticos de energía dentro del material rodante son aquellos componentes que ayudan a controlar la corriente y tensiones eléctricas que entran a los trenes, los más conocidos son los siguientes:

Semiconductores de potencia

En lo que se refiere a la tecnología eléctrica, a mediados de los años sesenta se comienza a aplicar el semiconductor de potencia en la tracción ferroviaria, conservando todavía el motor de tracción de corriente continua que, hasta ese momento, era el que normalmente se empleaba. Esta revolución de la tracción comienza con la aplicación del diodo de silicio y posteriormente, durante los años setenta, con la del tiristor GTO.

Los semiconductores de potencia produjeron un punto de inflexión en el desarrollo de la tracción eléctrica ferroviaria, al igual que ocurrió en otros campos industriales. Su principal beneficio se debió al hecho de permitir regular, de una manera más eficiente, la alimentación eléctrica a los motores, además de introducir ventajas operativas como la reducción del tamaño de los dispositivos, algo fundamental para las aplicaciones asociadas al material rodante.

Imagen 9: Semiconductores de potencia



Referencia: E-Guash. (s.f.). Semiconductores de potencia. E-Guash. <https://www.e-guash.com/es/power-electronics-items/semiconductores-de-potencia/>

El Diodo

El primer semiconductor desarrollado, el diodo, fue un dispositivo que no permitía el control de la señal, posibilitando únicamente la circulación de la corriente en un sentido. El montaje adecuado de varios diodos permitió desarrollar el puente rectificador, utilizado para convertir una corriente alterna en una corriente continua.

Este montaje permitió afianzar el desarrollo de la tracción eléctrica en corriente alterna, al poder utilizar fácilmente los motores de tracción de corriente continua. Del mismo modo, a nivel de la infraestructura, estos puentes rectificadores de diodos han sido los más empleados en las subestaciones eléctricas de tracción que alimentan las líneas de corriente continua.

Imagen 10: Diodo de potencia



Referencia: Poweralia. (s.f). Baterías NiCd Ventiladas (VLA) para Aplicaciones Industriales. <https://www.poweralia.com/es/products/6050>

El Tiristor

Un tiristor es un semiconductor que tiene un cable auxiliar de control que permite aplicar un impulso de control. Antes de aplicar dicho impulso, el tiristor está bloqueado y no permite el paso de la corriente eléctrica en ningún sentido, pero al aplicar el impulso, el tiristor se desbloquea o enciende y empieza a funcionar como si fuese un diodo. Para bloquear de nuevo el tiristor, es necesario conseguir que la corriente deje de circular un instante, produciéndose así su extinción o apagado.

Los tiristores permitieron construir puentes rectificadores controlados, en los que los diodos fueron sustituidos por tiristores. La ventaja de estos puentes controlados es que, mediante los impulsos de control de los tiristores, podía regularse la tensión continua aplicada a los motores de tracción de corriente continua, sin necesidad de regular la tensión en un transformador de tomas variables, como se hacía anteriormente con los diodos.

Imagen 11: Tiristor de Potencia



Referencia: Poweralia. (s.f). N1075LN180. <https://www.poweralia.com/n1075ln180>

Debido a que el tiristor tampoco permitía que la corriente alterna tuviera un corte cuando el usuario lo precisaba, en los años ochenta y noventa se unieron al tiristor varios dispositivos con capacidad de corte:

- Tiristor de Corte de Puerta (GTO).
- Transistor Bipolar con Puerta Aislada (IGBT).

Tiristor GTO

Un tiristor GTO tiene dos cables auxiliares de control uno para encenderlo y otro para bloquearlo, por lo que su funcionamiento es comparable al de un interruptor electromecánico que se cierra y se abre con gran rapidez.

Imagen 12: Tiristor de potencia GTO



Referencia: Poweralia. (n.d.). S0500KC25Y. <https://www.poweralia.com/s0500kc25y>
Transistor IGBT

Transistor IGBT

El transistor IGBT, cuyo funcionamiento es similar al tiristor GTO, tiene la gran ventaja de que su cierre y apertura se efectúa con mayor rapidez, es decir, posee una frecuencia de conmutación u operación mayor, lo cual permite reducir el peso y volumen del equipo de potencia, mejorando las características de funcionamiento. Cabe mencionar que el Material Rodante de Tren Maya dentro de su diseño está considerado la utilización del transistor IGBT a fin de controlar mejor la energía eléctrica durante su recorrido.

Imagen 13: Transistor IGBT



Referencia: Embarcados. (n.d.). Principios básicos do IGBT. Embarcados. <https://embarcados.com.br/principios-basicos-do-igbt/>

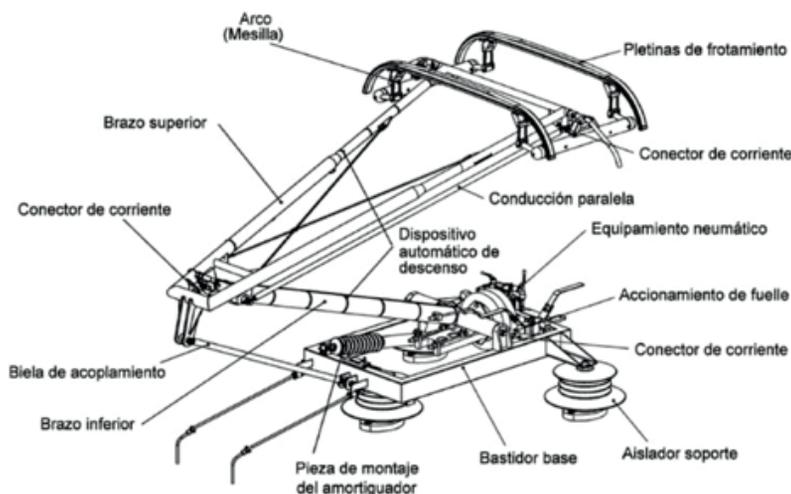
Pantógrafo

El pantógrafo es el dispositivo que posibilita la captación de energía eléctrica del hilo de contacto permitiendo transmitir la corriente al sistema eléctrico del vehículo.

Los pantógrafos instalados en el material rodante están diseñados para ejercer una fuerza de contacto media en el hilo de contacto dentro de un intervalo especificado en la cláusula "4.2.12 de la ETI de Energía" (depende de la velocidad del vehículo y del tipo de línea aérea de contacto), a fin de asegurar la calidad de captación de corriente, de modo que no se produzcan arcos indebidos y de limitar el desgaste y los riesgos sobre los frotadores. El ajuste de la fuerza de contacto se hace cuando se efectúan ensayos dinámicos.

El pantógrafo, conforme a lo establecido en la ETI de material rodante, es un componente de interoperabilidad y precisa de una evaluación de conformidad del componente de interoperabilidad independiente de la homologación del vehículo o de sus subsistemas.

Imagen 14: Pantógrafo, partes principales



Referencia: Álvarez, Í. (2020). Título del artículo. Técnica Vía Libre. https://tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/-VLT06_02-%C3%8Dcaro_%C3%81lvarez.pdf

Motores eléctricos de tracción

Continuando con lo visto en la lección 1, los motores eléctricos de tracción son máquinas eléctricas rotatorias que convierten la energía eléctrica que los alimenta, en energía mecánica de rotación mediante una caja de transmisión (Reductor) montada en el eje del bogie.

Imagen 15: Eje con caja de transmisión (reductor) montada

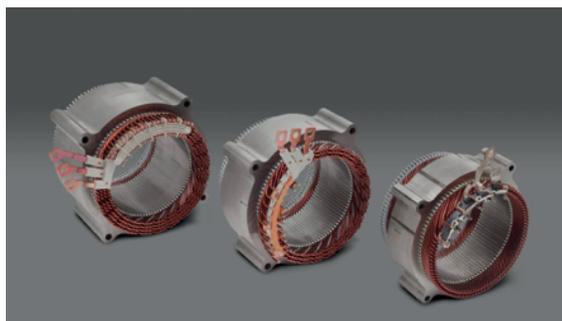


Ejemplo de eje de rueda de tren con reductora montada en fábrica, <https://www.shutterstock.com/es/search/mantenimiento-ferroviario>

Se componen principalmente de dos partes:

Estator: parte estática que da soporte mecánico al motor. Contiene los polos que generan el campo magnético rotatorio que hace mover el rotor. Estos polos pueden generarse a través de devanados sobre los que se hace circular la corriente eléctrica de alimentación o por imanes permanentes. Los devanados o los imanes permanentes se apoyan sobre un núcleo magnético de chapa magnética mediante el cual se cierra el campo magnético. Normalmente, actúa como inductor, siendo el inductor de un motor la parte que almacena la energía magnética.

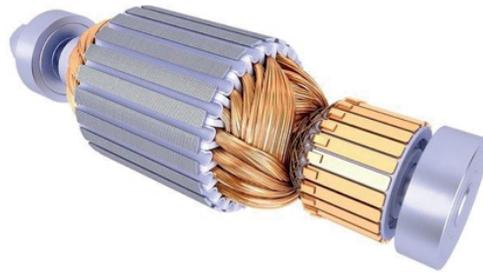
Imagen 16: Estator de un motor eléctrico



Referencia: Diario Motor. (s.f.). ¿Qué es el estator?. Diario Motor. <https://www.diariomotor.com/que-es/estator/>

Rotor: parte móvil, de forma cilíndrica, que gira en torno a un eje, cuenta también con un devanado o imanes permanentes y un núcleo magnético. El devanado puede ser alimentado externamente a través de un sistema de delgas y colector con escobillas o no necesitar alimentación como en el caso del rotor de jaula de ardilla. Normalmente, actúa como inducido, siendo el inducido de un motor la parte en donde la energía electromagnética se convierte en energía mecánica.

Imagen 17: Rotor de un motor eléctrico

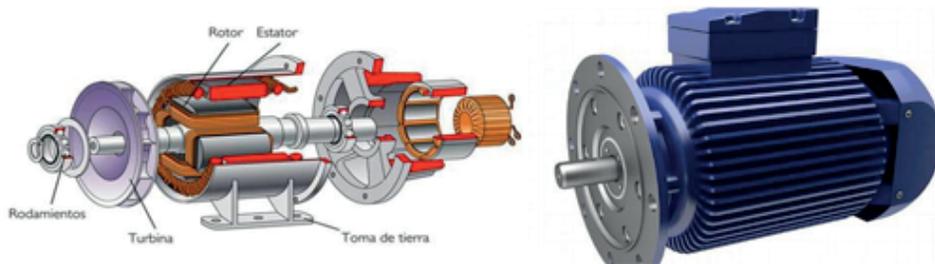


Referencia: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/rotor-electric-motor-model-1679893>

Motor de corriente continua (CC)

Se utilizaron desde los inicios de la tracción eléctrica. El motor de cc (corriente continua) que se utiliza en tracción eléctrica ferroviaria es el motor con excitación en serie, ya que es ideal para tracción eléctrica por tener un par mecánico alto para velocidades bajas y un par bajo para velocidades altas.

Imagen 18: Motor de corriente continua



Referencia: TurboSquid. (s.f). Rotor electric motor model [3D model]. TurboSquid. <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/rotor-electric-motor-model-1679893>

Motor síncrono

Se empezaron a utilizar a mediados de los años 1980 con la aparición de los onduladores de corriente. Son motores de ca (corriente alterna), en donde la velocidad angular del rotor es igual a la velocidad angular del campo magnético generado en el estator, que a su vez es directamente proporcional a la frecuencia de la corriente de alimentación.

Está formado por un estator que hace normalmente las funciones de inductor y un rotor que hace las funciones de inducido.

El rotor o inducido tiene un eje sobre el que se monta un conjunto de chapas magnéticas sobre la que va un devanado distribuido alimentado por corriente continua que genera varios polos. La fuente de alimentación continua es independiente y la corriente pasa al rotor a través de un colector con dos escobillas que van frotando dos anillos que están en el rotor, de modo que no hay conmutaciones. Es un electroimán con campo magnético constante.

Imagen 19: Motor Síncrono



Referencia: Getriebebau Nord GmbH & Co. KG. (s.f). Getriebebau Nord: Product page. DirectIndustry. <https://www.directindustry.es/prod/getriebebau-nord-gmbh-co-kg/product-4808-2022899.html>

Motor asíncrono de corriente alterna (ca)

El motor asíncrono, también llamado de inducción de ca (corriente alterna), es un motor alimentado por una red alterna monofásica o trifásica. Está formado por un estator que hace normalmente las funciones de inductor y un rotor, que hace las funciones de inducido.

El rotor de jaula de ardilla está formado por un conjunto de chapas magnéticas apiladas, formando un cilindro con unas ranuras en el exterior donde se coloca unos conductores puestos en cortocircuito por dos anillos colocados en ambos extremos del cilindro. No precisa de un colector de anillos con escobillas para alimentar el rotor.

El estator que actúa como inductor está formado por un apilamiento de chapas magnéticas que actúan de núcleo magnético en donde hay unas ranuras en cuyo interior se introduce el devanado trifásico distribuido.

Imagen 20: Motor Asíncrono de CA



Referencia: DirectIndustry. (s.f). Motor para aplicaciones ferroviarias. DirectIndustry. <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/motor-aplicaciones-ferroviarias-153524.html>

Bibliografía

Tema	Recomendación
Sistema de Energía Eléctrica Lección 2	ERA | European Union Agency for Railways. Reglamento (UE) No 1302/2014 de la Comisión de 18.11.14 sobre la especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de material rodante «locomotoras y material rodante de viajeros» del sistema ferroviario en la Unión Europea.
	Villén J, La pastora C. El ferrocarril regional y las comunidades autónomas. Ponencia en el Congreso Ferroviaria 98. 1998.
	García A, Cillero A, Jericó P. Operación de trenes de viajeros. Claves para la gestión avanzada del ferrocarril. Colección técnica. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011.
	Martínez JC. Tecnologías específicas de electrificación en ferrocarriles de Alta Velocidad. Colección técnica. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2011.
	Artículo La digitalización del ferrocarril, Ignacio Jorge Iglesias Díaz
	Ingeniería Ferroviaria, Francisco Javier González Fernández, Julio Fuentes Losa, UNED
	Aplicaciones ferroviarias, Compatibilidad electromagnética, Norma EN 50121, 2017.
	<i>Aplicaciones ferroviarias. Tracción eléctrica. Motores lineales asíncronos de tipo devanado primario corto, alimentados por convertidores, Norma EN 61377.</i>