

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Objetivo del análisis

- Hacer una comparativa entre tracción eléctrica en AC y tracción eléctrica en DC.
- Eficiencia y ahorro energético.
- Comparativa en rendimiento de distintos tipos de tracción eléctrica.

Tecnología AC frente a tecnología DC

- La empresa ABB incorpora la tecnología AC en la década de los 70
 - Para competir con el control chopper de DC
- Imposición de la tecnología AC

Análisis de adherencia

- Coeficiente de fricción rueda – riel.
- Según la UIC → 40 % y 45 % (en condiciones optima de vía)
- Características de Adherencia → El aprovechamiento de las características de adherencia disponible aprovechables en cada momento.
- La capacidad de adherencia varia ampliamente entre distintas unidades.

Dependiendo :

- El equipo de tracción.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- Sistema de control.
 - 18 % → 20 % para las primeras unidades de DC sin sistema de antipatinaje.
 - 37 % → 40 % para sistemas de tracción trifásica controlado por microprocesador.
- Tres factores hacen que las cadenas de tracción trifásicas tengan alto coeficiente de adherencia.

Primer factor.

- Con el motor DC durante el proceso de patinaje la velocidad de la rueda puede incrementarse en un 10 %
- La única forma de corregirlo es disminuyendo el esfuerzo tractivo.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- La máxima adherencia se consigue con márgenes de adherencia segura muy por debajo del valor máximo teórico.

Segundo factor

- En los sistemas de AC
 - La velocidad del motor AC es impuesta por la frecuencia del convertidor (Vel. de sincronismo) menos el resbalamiento del 2%

El motor DC utiliza un combinador por etapas, lo que hace que por cada etapa el motor reciba distintos niveles de tensión y desarrolle distintos niveles de potencia.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Si bien el motor DC es muy fácil controlar la potencia que desarrolla en cada etapa, esta no es constante y de punto en punto varia su esfuerzo de tracción significativamente.

- En el motor AC se puede controlar el par en un nivel concreto y tener una fuerza de tracción constante.

Tercera razón

- Compensación de transferencia de peso.

Durante la tracción se produce una transferencia de peso de los ejes traseros hacia los delanteros. Cuando se alcanzan los valores máximos de tracción esa transferencia es de un 20%.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

El esfuerzo de tracción aplicable \approx Peso adherente

- En un sistema DC el esfuerzo de tracción será limitado por la capacidad de adherencia del boguie mas liviano.
- Como conclusión: La combinación de eliminación de patinaje junto con la compensación de la transferencia de peso, provee en un sistema de tracción AC, una adherencia de entre el 37 % y el 39 % contra el 18 % al 20 % del sistema DC .
- Por lo tanto las cadenas de tracción AC pueden garantizar el mismo esfuerzo de tracción que las cadenas DC con la mitad del pes adherente ó con la misma carga por eje puede ofrecer el doble de fuerza de tracción.

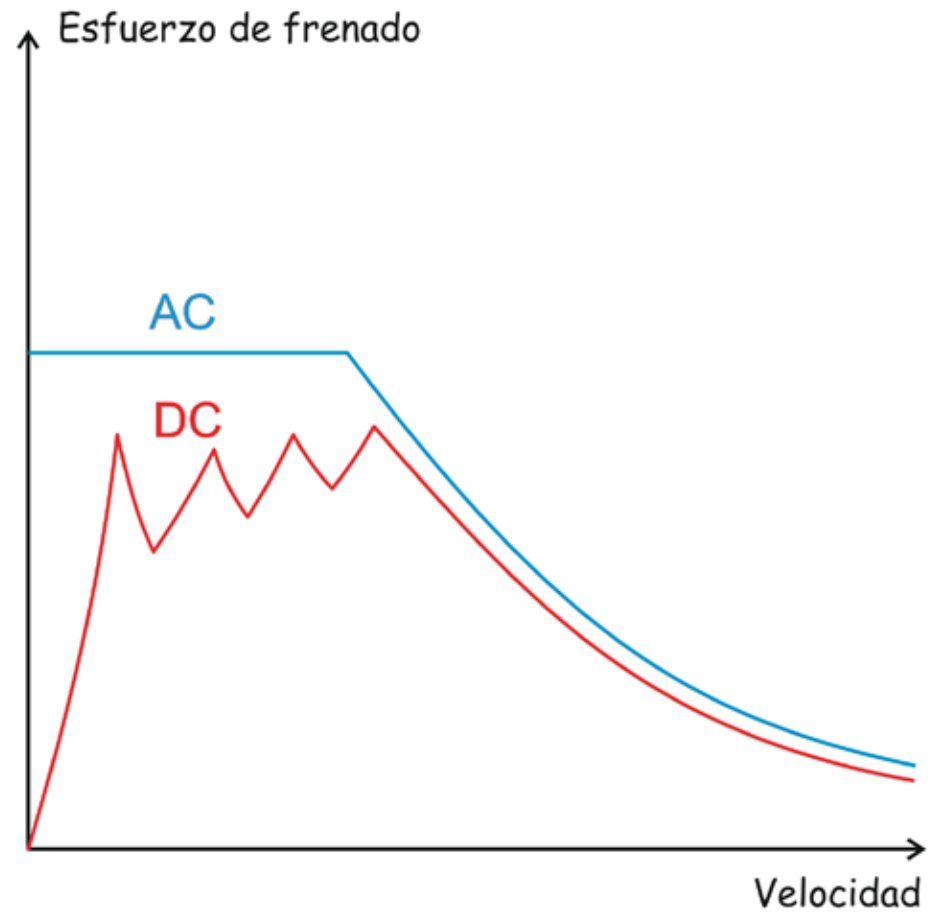
Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Frenado electrodinámico

- También el esfuerzo de frenado es función de la adherencia disponible.
- El freno eléctrico en locomotoras y unidades eléctricas con cadenas de tracción en AC pueden realizar el mismo esfuerzo de frenado que las cadenas DC con la mitad del peso adherente.
- Las cadenas de tracción AC permiten la deceleración hasta llegar a la velocidad cero.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Frenado electrodinámico



Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Frenado recuperativo

- Para cadenas de tracción en DC .
 - Se precisan contactores de potencia de maniobra.
 - Perdida de fiabilidad.
 - Habitualmente la energía recuperada es disipada en un resistor.
 - El equipo DC no puede imponer una tensión constante durante todo el proceso de frenado.

Frenado recuperativo

- Para cadenas de tracción en AC trifásica.
- Los motores trifásicos generan tensión a partir de la energía cinética sin necesidad de dispositivos electromecánicos.
- El convertidor modifica la consigna de frecuencia y par impuesta al motor trifásico, cambiando el signo de la potencia y comenzando el proceso de frenado. (siempre y cuando la red de alimentación sea receptiva)
- En una cadena de tracción AC el recupero de energía es del 66%

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Fiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad

- Los sistemas de cadenas de tracción AC tienen ventajas considerables frente a los de DC.

- Los índices de RAMS para los vehículos AC superan grandemente a los de DC.
- Con los costos de mantenimiento y índice LCC ocurre lo contrario.

Las cadena de AC ofrecen:

- Mayores índices de fiabilidad MTBF

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- Mayores índices de fiabilidad.
 - § Mucho menor cantidad de dispositivos electromecánicos.
 - § Utilización de componentes de estado sólido.
 - § Detección de averías por medio de sistemas de diagnósticos.
 - Menores costos de mano de obra.
 - Motor asíncronos el mantenimiento es reducido.(lubricación de rodamientos)
- En un sistema DC (locomotora) 2.5 €/Km.
En un Sistema AC (locomotora) 0.7 €/Km.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- Las cadenas de tracción AC tienen alta prestación durante largos periodos de tiempo a bajas velocidades.
- Las cadenas de tracción DC durante un largo periodo de tiempo recalientan.

Cadenas de DC en régimen continuo a partir de 20 Km/H.

Cadenas de AC en régimen continuo desde 0 Km/h.

Eficiencia de las cadenas de tracción AC.

Comparativa entre las maquinas destinadas a la tracción eléctrica.

- Maquina de corriente continua (DC)

- Son simples y fiables, si son bien mantenidos.
- Permiten altos par de arranque.

Inconvenientes:

- Tienen colector, que producen flashes, necesitan mucho mantenimiento.
- Muy sensibles a la polución , sobre todo al polvo de grafito.
- Maquinas muy pesadas y voluminosas.
- Sensibles a las calentamiento (deformación del colector)
- Tienden a embalsarse.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- Bobinado del rotor costoso.
- Elevados costos de mantenimiento.
- Rendimiento inferior a las maquinas AC. Rendimientos entre 90 a 94 %

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

- Maquina Síncrona convencional

Principales cualidades.

- Maquina fácil de controlar.
- Permite controlar su excitación por separado.
- Sus devanados de estator de corriente alterna son controlados por un convertidor con algoritmo de control sencillo.
- Posee anillos rozantes, con un mantenimiento muy inferior al motor DC.
- Su velocidad máxima esta impuesta por la frecuencia del convertidor de tracción.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Principales inconvenientes:

- Posee escobillas sobre anillos rozantes, pero el mantenimiento es de menor costo que el motor DC.
- Sensible a la polución y humedad.
- Maquinas pesadas y voluminosas – la relación Potencia /Peso y Potencia /Volumen es inferior a las de maquinas asincrónicas.
- Son sensibles a los sobrecalentamientos, sobre todo el rotor.
- Costos de mantenimiento, inferiores a los motores DC, pero inferiores a las de las maquinas asincrónicas.
- Su rendimiento oscila entre el 92% y el 94 %

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Maquina asíncrona – Rotor de jaula de ardilla

Factores intrínsecos.

- No posee colector.
- No es afectado por la polución y la humedad.
- Mayor relación Potencia / Peso y Potencia / Volumen que otros tipos de motores.
- Posibilidades de mayores sobrecargas.
- Su diseño permite soportar armónicos producidos por los convertidores.
- Alta capacidad térmica.
- Construcción compacta.
- Menor ruido mecánico , por su diseño magnético
- Mayor rendimiento que la maquina DC y sincronica . Entre 93% y 95%.

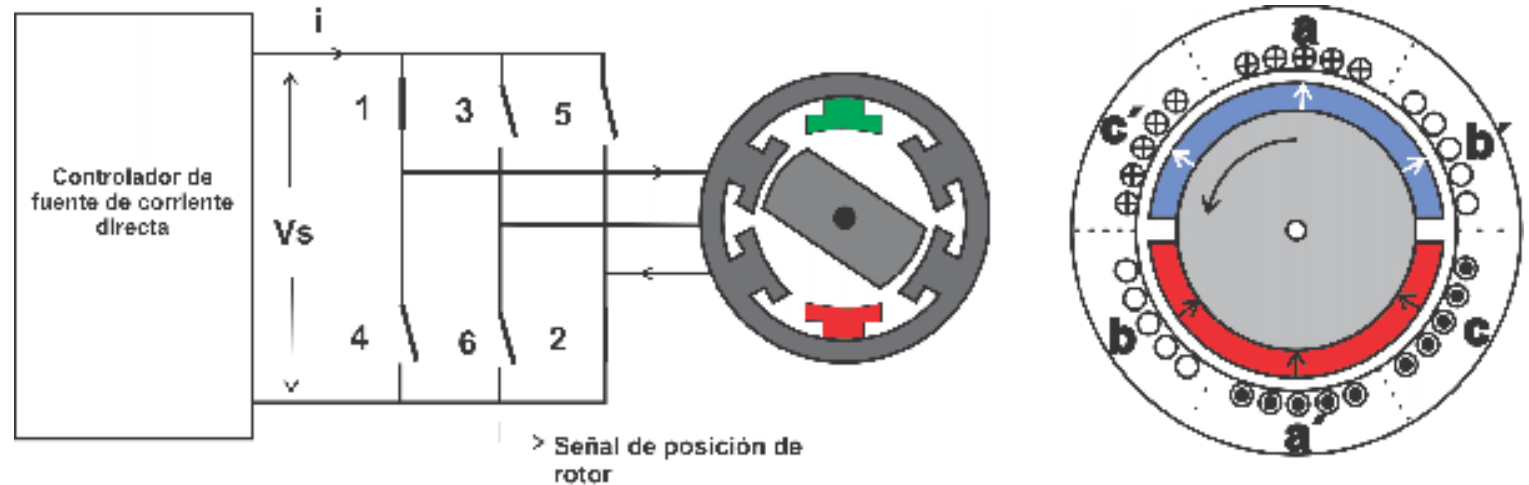
Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Maquina Síncrona – Imanes permanentes.

- Motores de tipo experimentales.
- No precisa de elementos de conmutación (como la maquina asincrónica)
- Requiere que los algoritmos de control sea mas complejo que los correspondientes a los motores sincrónicos.
- Los valores de rendimientos en estas maquinas oscilan entre el 97,2 % y el 97,6 %.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Motor sincrónico de imanes permanentes.

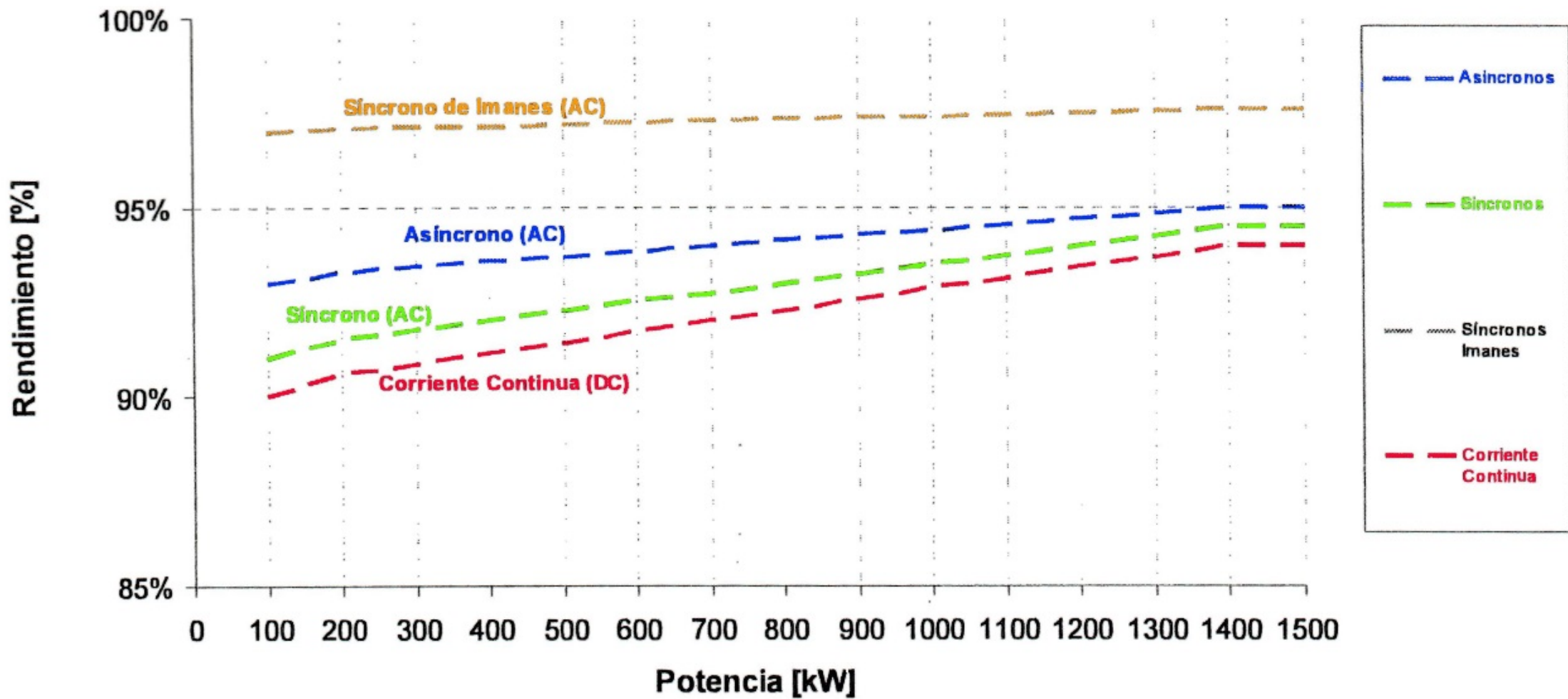


El rotor tiene dos imanes que cubren cada uno aprox. 180° del perímetro del rotor y producen una [densidad](#) de flujo quasi-rectangular en el [hierro](#).

El estator tiene un bobinado trifásico, donde los conductores de cada fase están distribuidos uniformemente en porciones de arcos de 60° .

El sistema de [potencia](#) conectará una fuente controlada de corriente a los bobinados del estator, de manera que en cada momento conectemos 2 fases del bobinado. Cada imán del rotor interactúa con 2 arcos de 60° por los que circule corriente.

Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC



Análisis comparativo entre cadenas de tracción DC y cadenas de tracción AC

Comparativa de pesos.

Considerando como base motores de 400Kw en eje.

Tipo de maquina	Peso
Maquina síncrona convencional	1300 Kg.
Maquina Asíncrona de jaula de ardilla	1050 Kg.
Maquina Síncrona de imanes permanentes	650 Kg.

Análisis comparativo entre transformadores de tracción monofásicos

Transformador principal.

Función: Adaptar la tensión de catenaria (alterna monofásica) para alimentar al equipo de tracción de potencia.

- Todo transformador de aplicación ferroviaria, deberá presentar una impedancia en corto circuito adecuada a la frecuencia de conmutación. **Para limitar el rizado de la corriente.**
- Para que un transformador tenga el mayor rendimiento posible.
 - La reactancia de cortocircuito tiene que ser la mas baja posible.
 - Eso se logra: Manteniendo una tensión de salida del transformador alta, y aumentando la frecuencia de conmutación.

Análisis comparativo entre transformadores de tracción monofásicos

Transformador de 15 Kv 16 2/3 Hz

- Estos trabajan con una reducida masa del circuito magnético, por imposición de peso en el diseño.
- Alta densidad de flujo (β) , provoca altas pérdidas en el transformador.
- El rendimiento de estos transformadores oscilan entre el 89% y el 94 %

Análisis comparativo entre transformadores de tracción monofásicos

Transformador de 25 KV 50 Hz

- Trabajan con masas de circuitos magnéticos similares a los de 15 Kv 16 2/3 Hz
- Trabaja con densidad de flujo (β) mas moderado lo que permite una disminución de las perdidas en el transformador.
- El rango de eficiencia oscila entre 92% al 96%.

Análisis comparativo entre convertidores de tracción

Convertidores de tracción .

Choppers : Para alimentar motores de corriente continua

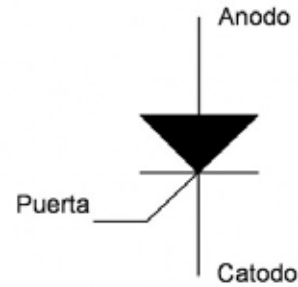
Inversores: De circuito intermedio de fuente de corriente para alimentar motores de inducción.

Inversores: De circuito intermedio de fuente de tensión.

El tipo de semiconductor condiciona la complejidad del sistema de control y los circuitos de potencia.

Análisis comparativo entre convertidores de tracción

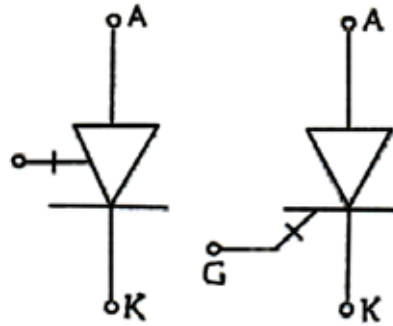
El tiristor.



- Su conducción se logra por pulso aplicado entre puerta – cátodo.
- Su bloqueo en circuitos de DC no se puede lograr en forma natural.
 - Se requería de circuitos auxiliares de potencia y tiristores auxiliares.
- Sus circuitos era complejos con cantidad de elementos elevados.
 - Fiabilidad baja.
 - Frecuencias de conmutación bajas (cientos de Hercios)

Análisis comparativo entre convertidores de tracción

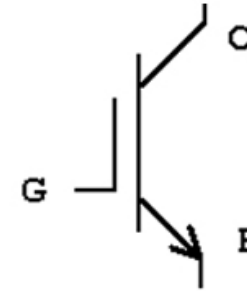
El GTO (Gate Turn Off).



- Su conducción y su bloqueo se logra por pulso aplicado entre puerta – cátodo.
- Su circuito de control de compuerta requerían de amplificadores que entregasen una corriente de un 20 % de la corriente entre Anodo y catodo del GTO.
- Se incorpora Snubers asimétricos.
- Su rendimiento es del 95 %.
- Su frecuencia de conmutación esta entre 200 y 300 Hz

Análisis comparativo entre convertidores de tracción

EL IGBT (Transistor bipolar de puerta aislada).



- Presenta mas perdidas que el GTO en conducción.
- Permite frecuencias de conmutación de varios KHz
- Su control se realiza por tensión de puerta ($\pm 15V$)
- Aumenta el rendimiento del convertidor , oscilando alrededor del 98,5%.

La tensión ánodo –cátodo del GTO es del orden 0,3V variando con la corriente que conduce.

La tensión colector emisor es de 3V para IGBTs de 6,5 KV