

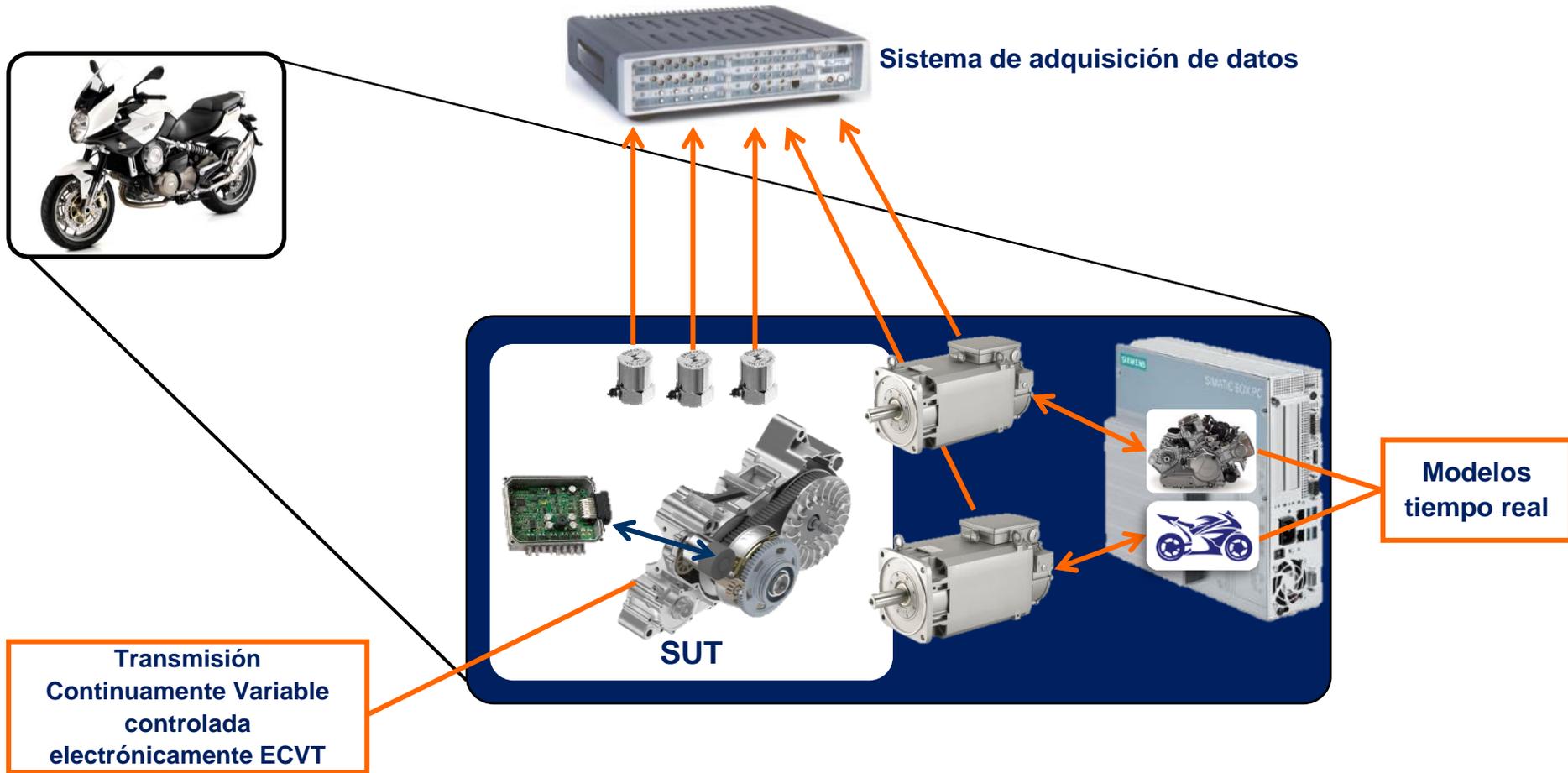
Simulaciones en tiempo real de modelos multi-físicos para ensayos en banco de prueba de máquinas rotativas

Autor: Alejandro Vázquez Fraga

Tutores: Miguel Ángel Naya Villaverde
Roland Pastorino (SISW NV)

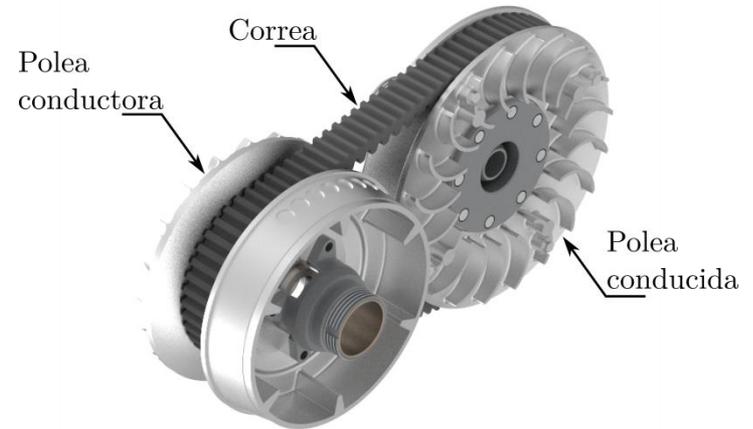
Fecha: Julio 2016

Banco de prueba de demostración



Principio de funcionamiento de una CVT

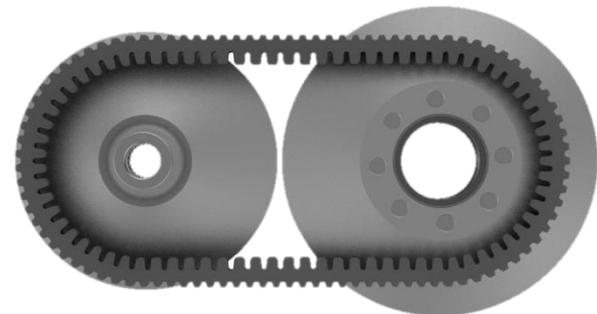
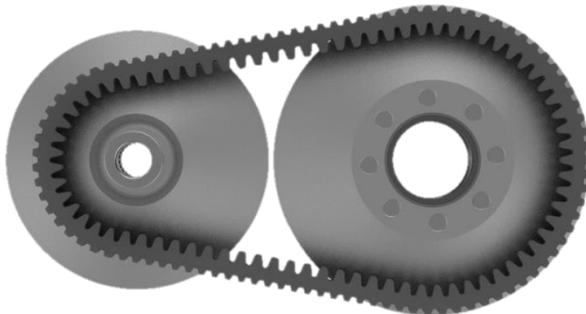
- Poleas con una mitad fija y otra móvil
- Correa con sección en V
- Número infinito de ratios de transmisión entre dos límites



Ratio 2:1



Ratio 1:1



Criterios de diseño para una CVT

Factores de mercado en el sector de la automoción

Bajo consumo de energía



Bajas emisiones



Ruido reducido



Buen rendimiento del motor



Objetivos del desarrollo

- Ligereza y compacidad
- Cambio automático y manual
- Manejo sencillo
- Control de cambio optimizado para el vehículo

Objetivos del proyecto

- **Desarrollo de un banco de prueba de demostración para CVT**
- **Desarrollo de modelos multi-físicos para el control del banco de prueba**
- **Selección de los motores eléctricos para el movimiento del banco de prueba**
- **Modelización dinámica de la CVT de cara a su estudio y optimización**
- **Estudio de técnicas de interconexión entre el sistema ensayado y las simulaciones en tiempo real**

Características del SUT

SECUENCIAL



Maneta en el manillar



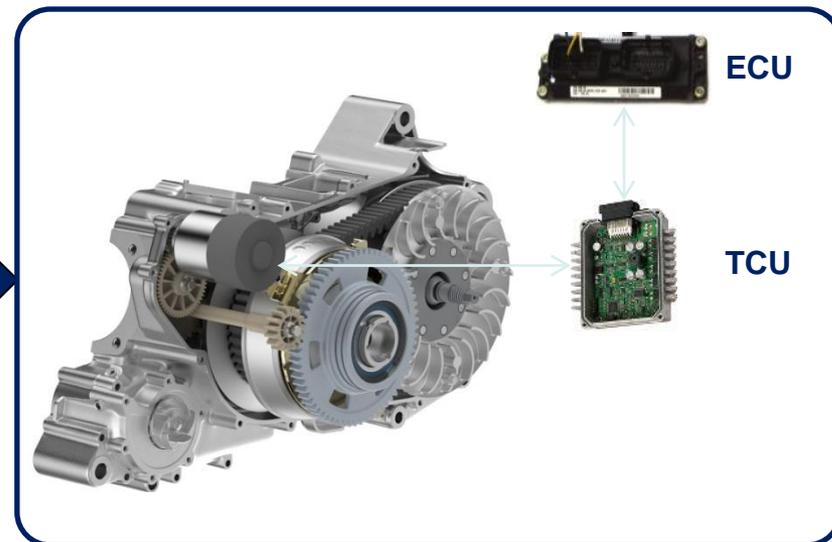
Pedal de cambio



AUTODRIVE



Aprilia Mana 850 GT



Partes de la ECVT

Lado conductor

Correa

Lado conducido

Motor de control



Ejes fijas

Ejes móviles

Embrague

Resorte

Ensayos convencionales



Standard para CVT en
automóviles
J1618_201109

Impulsión

Llano

Pérdidas parásitas

Transitorios

- Maniobra de embragado y deslizamiento
- Durabilidad de la correa

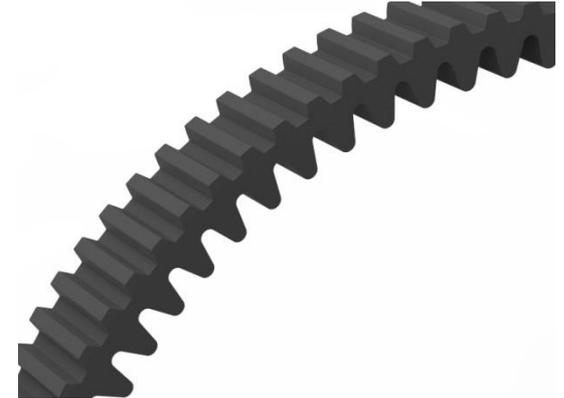
Otros

- Ensayos en componentes específicos
- Comparación entre CVT y caja de engranajes

Limitaciones de los ensayos convencionales

Cantidades difíciles o imposibles de medir

- Tensión de la correa
- Deformación axial y longitudinal de la correa
- Ratio de deslizamiento de la correa
- Trayectoria de la correa
 - Self-locking
 - Wedge-in/out



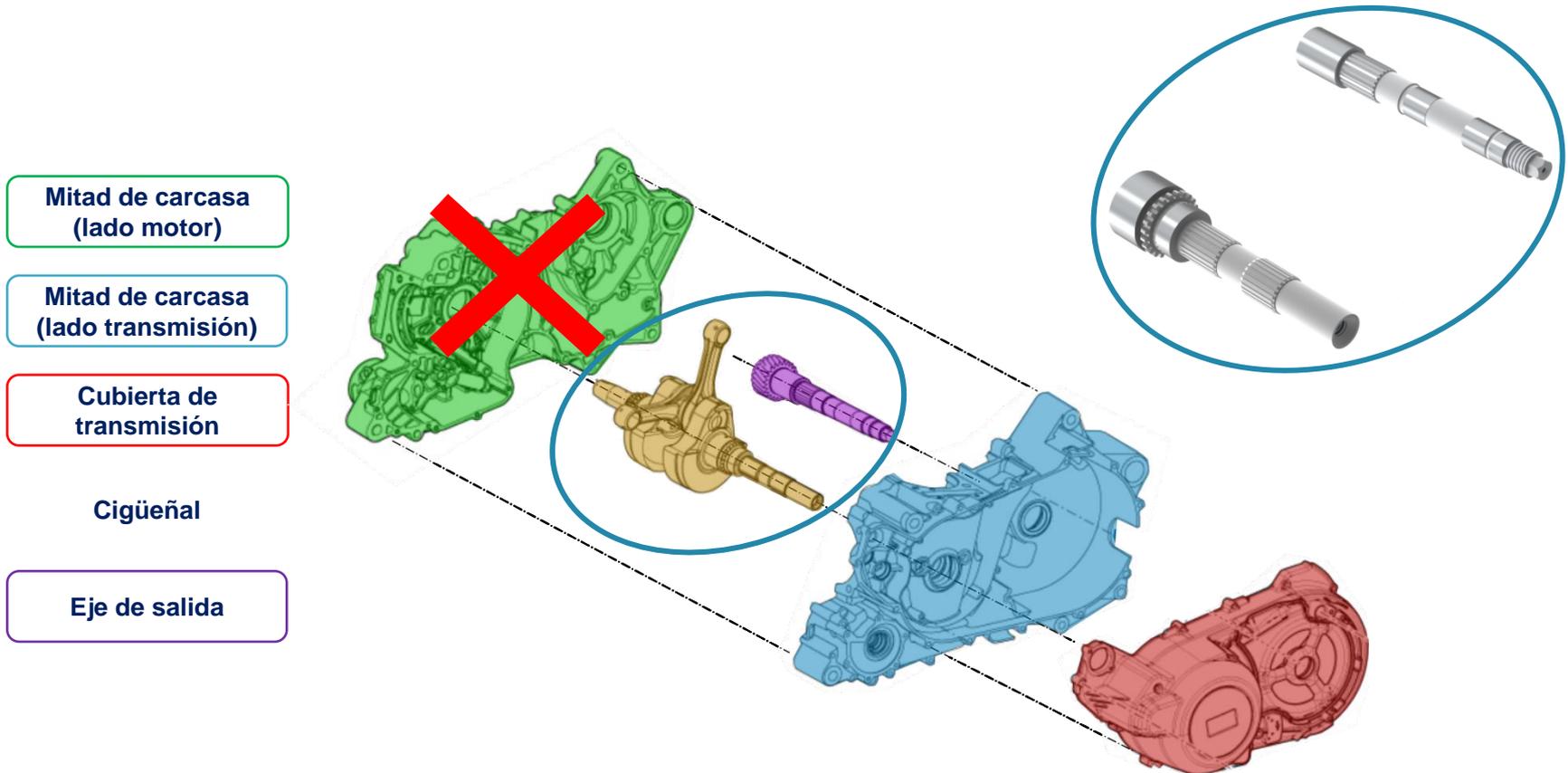
No tienen en cuenta

- Par y comportamiento reales del MCI
- Par real en el eje de salida
- Influencia de la ECVT en el comportamiento del vehículo
- Influencia del vehículo y el motor en el comportamiento de la ECVT



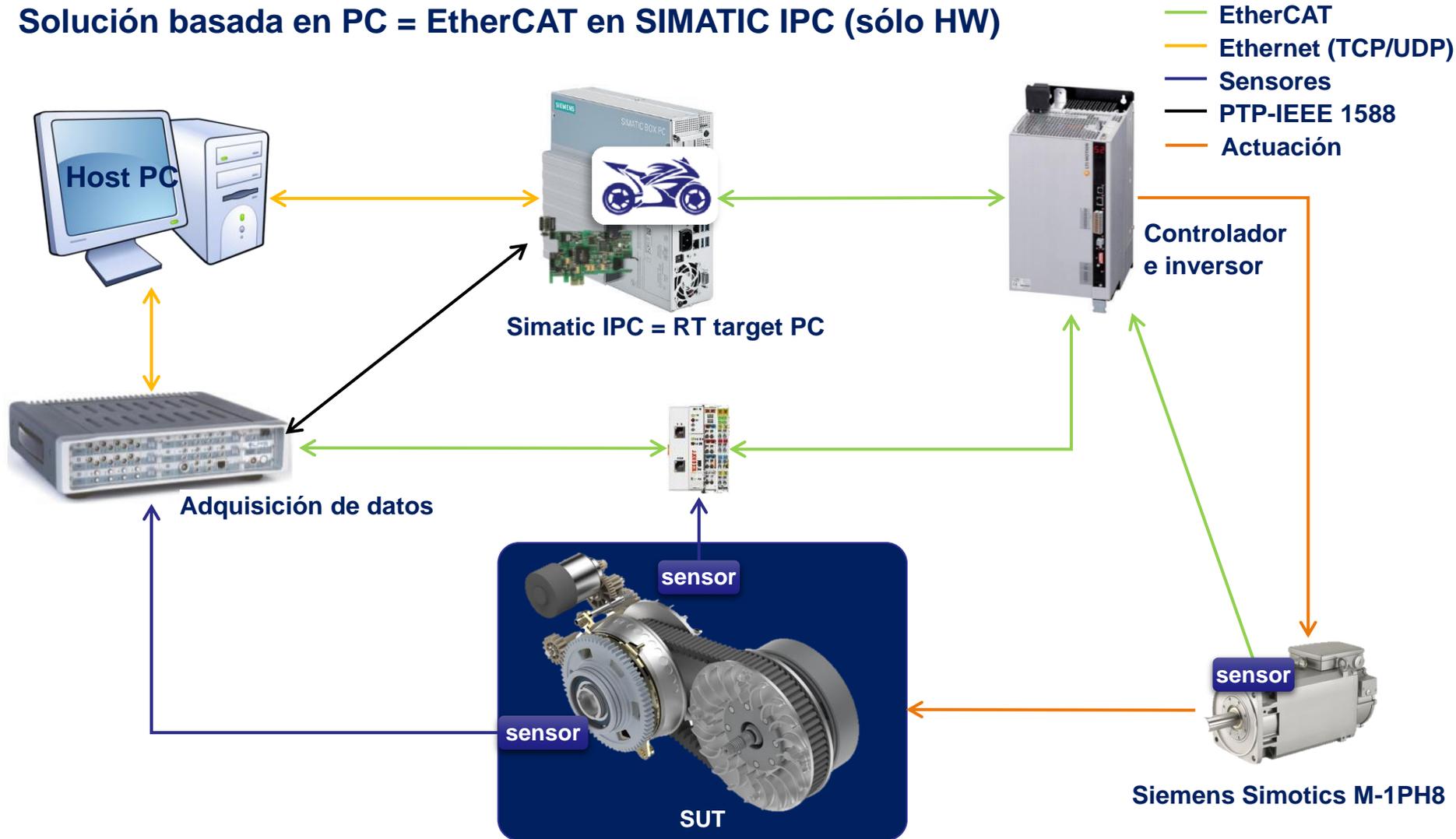
Preparación de la ECVT

- Implementación sencilla / barata
- Evitar la inclusión de sistemas de lubricación



Automatización y actuación

Solución basada en PC = EtherCAT en SIMATIC IPC (sólo HW)



Automatización y actuación

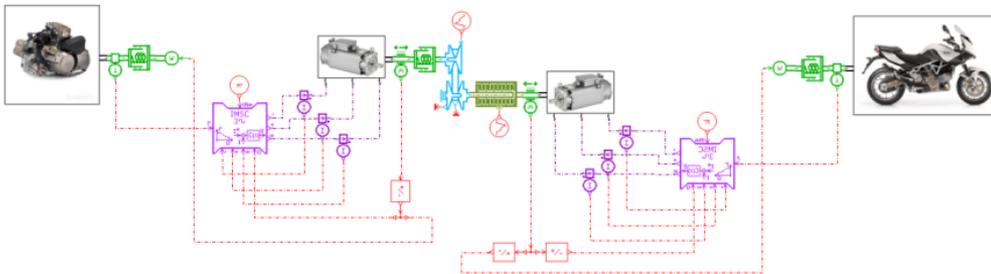
Motores eléctricos

Elección del tipo

- Síncrono ✗ Velocidad de giro máx. = 4500 rpm
- Asíncrono ✓ Velocidad de giro máx. = 17000 rpm

Dimensionamiento y validación del comportamiento

- Simulación del banco de pruebas



Motores seleccionados

- Siemens SIMOTICS 1PH8107



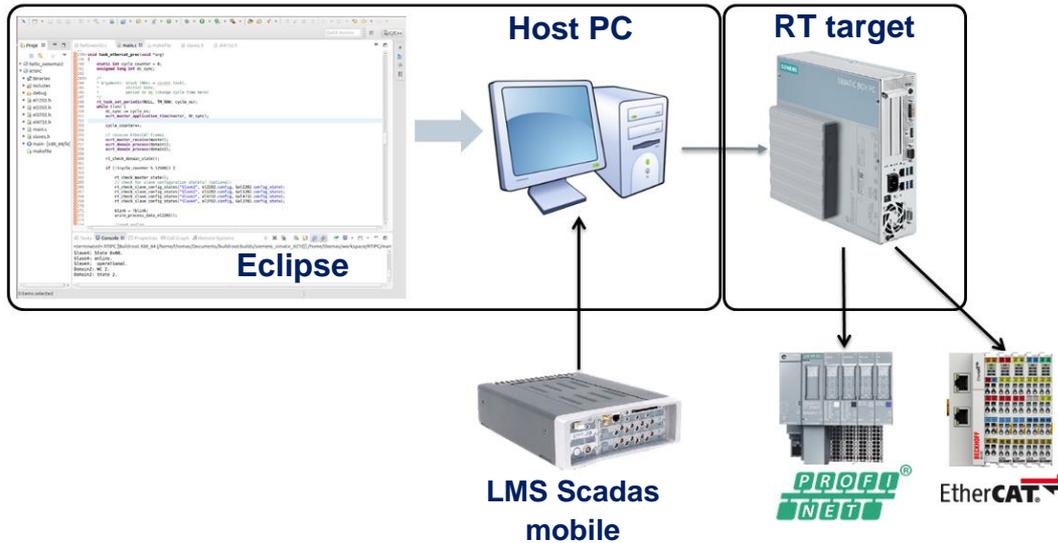
1PH8107-1HM03-2BC1

rated motor power	13 [kW]	13 [kW]
rated motor speed	3300 [1/min]	3300 [1/min]
star/delta	star Y	star Y

SINAMICS

F0300	108	motortype
F0301	11824	motor code number SINAMICS
F0304	314 [V]	rated voltage
F0305	36,7 [A]	rated current
F0307	13 [kW]	rated power
F0308	0,77	motor power factor
F0310	111,7 [Hz]	rated frequency
F0311	3300 [1/min]	rated speed
F0320	21 [A]	rated magnetizing current
F0322	9000 [1/min]	max. permissible speed (mech.)
F0324	18000 [1/min]	max. permissible speed (electrical)
F0326	125 [%]	stall torque correction factor
F0335	1	cooling
F0341	0,0289 [kgm ²]	moment of inertia
F0348	4450 [1/min]	start speed field weakening V _{dc} =600V
F0350	0,08 [Ohm]	stator resistance cold
F0354	0,063 [Ohm]	rotor resistance cold
F0356	0,5300 [mH]	stator leakage inductance
F0358	0,8705 [mH]	rotor leakage inductance
F0360	11,83 [mH]	magnetizing inductance
F0604	150 [°C]	overtemperature alarm threshold

Configuración de desarrollo



RTOS

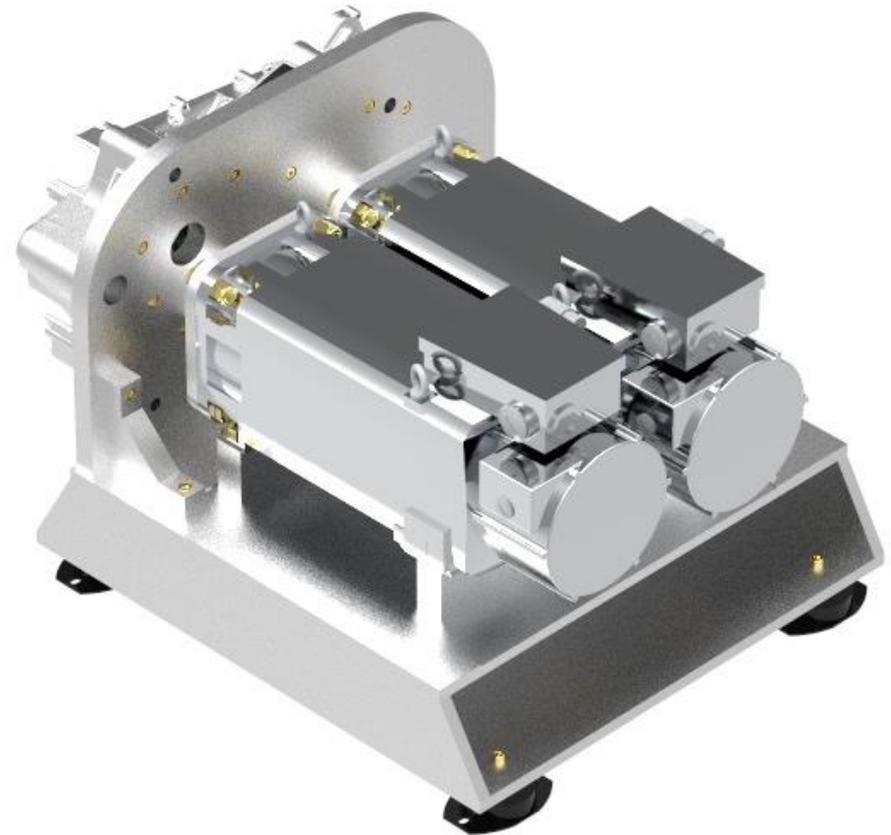
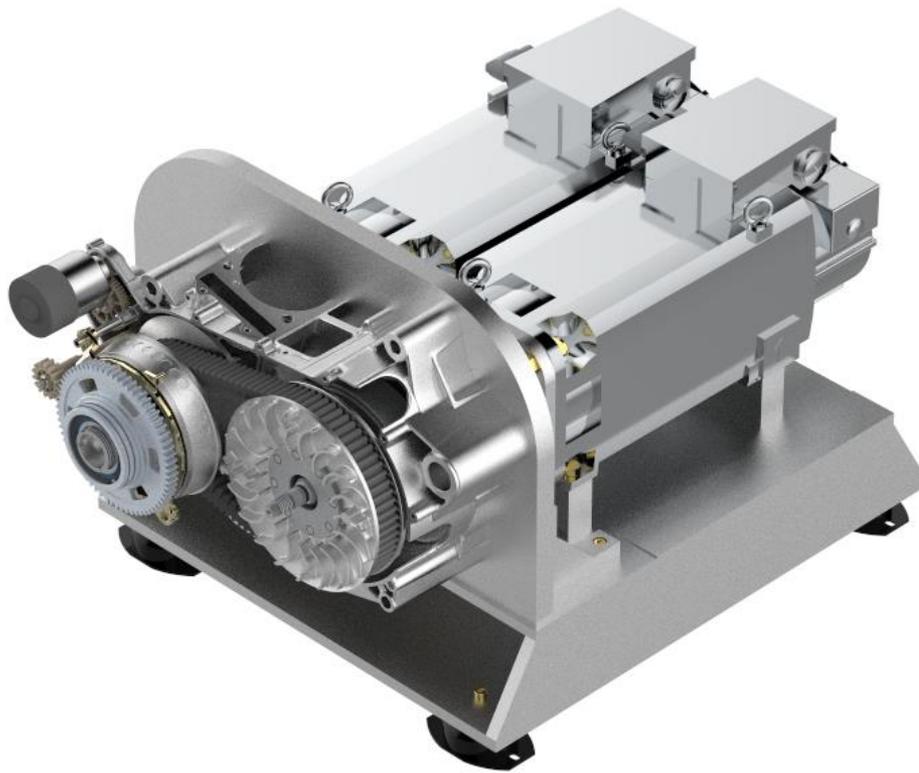
- GNU/ Linux embebido
 - SO minimalista
 - Versión personalizada preparada para el IPC SIMATIC
- Xenomai
 - RTOS
 - Integración directa con GNU/Linux



XENOMAI

Diseño del banco de prueba

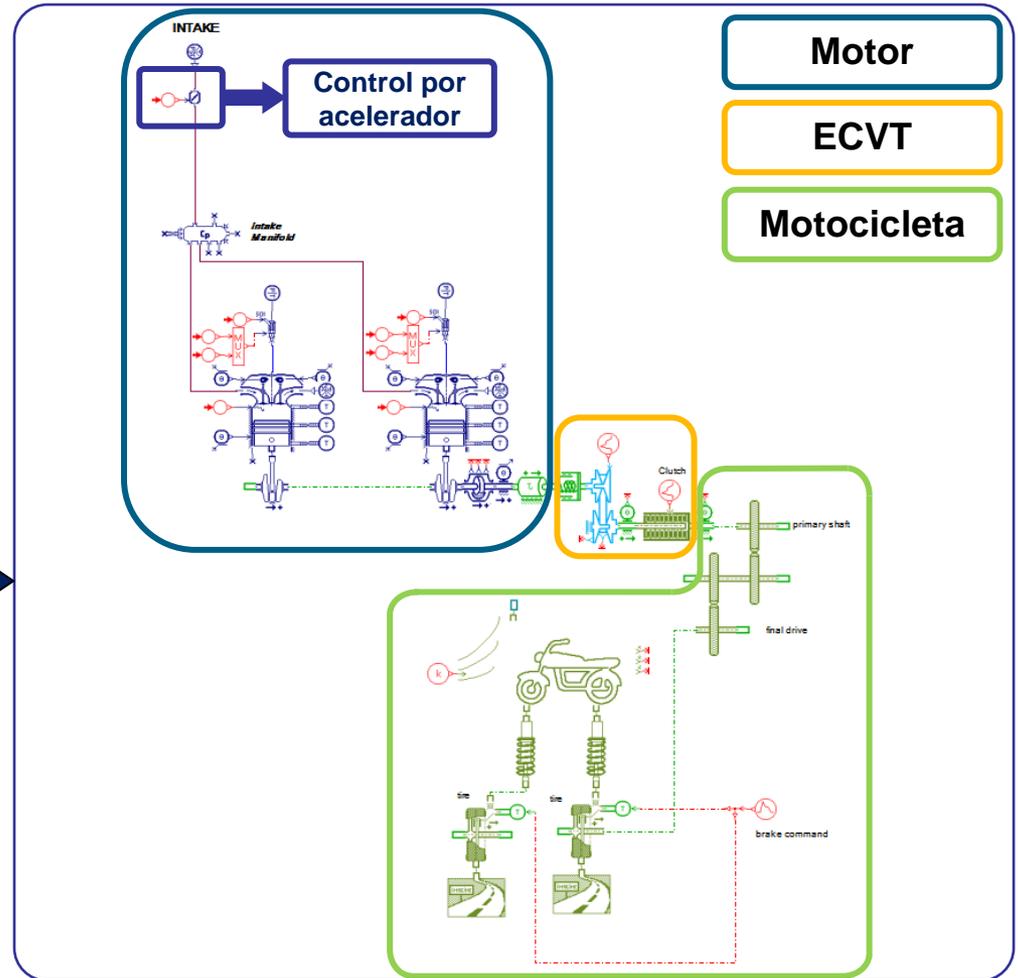
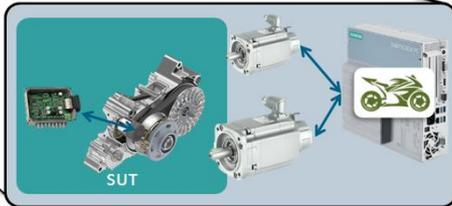
- Ligera y compacta → Soporte de aluminio
- Dimensiones = 60 cm x 85 cm
- Peso = 190.3 kg



Modelos de tiempo real

Modelo de motocicleta: Motor, ECVT, chasis, ruedas y carretera

2 x más rápido que tiempo real en un núcleo de un Intel Xeon E5-1067 3.00 GHz



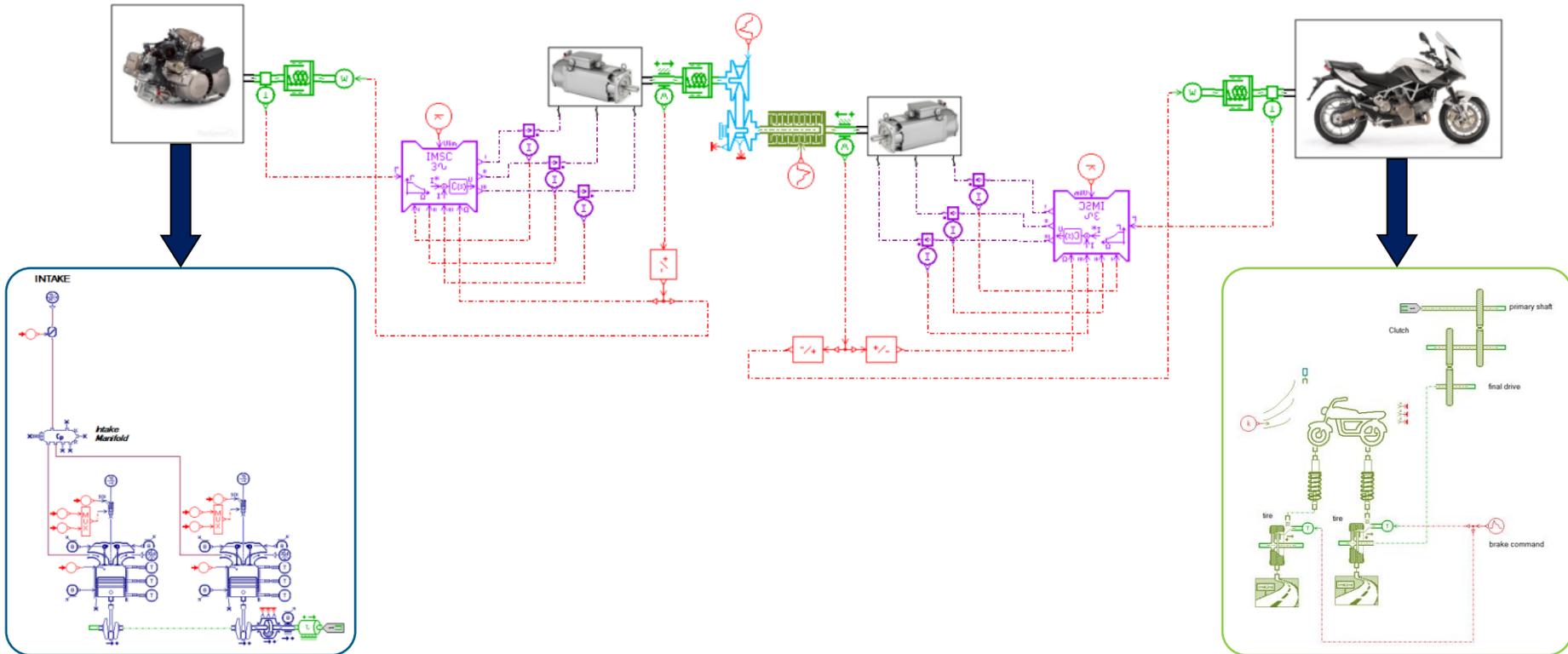
Motor

ECVT

Motocicleta

Banco de prueba virtual

- Dimensionamiento de motores eléctricos
- Validación del comportamiento dinámico

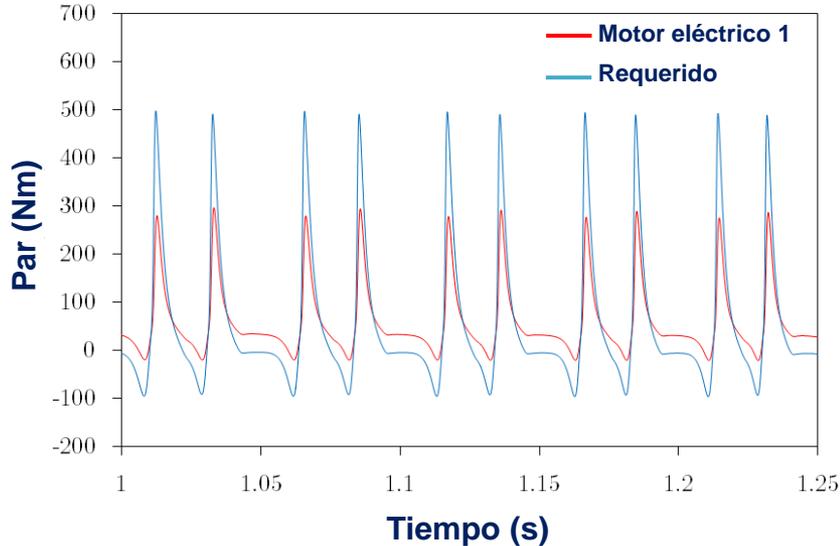


Simulación del banco de prueba virtual

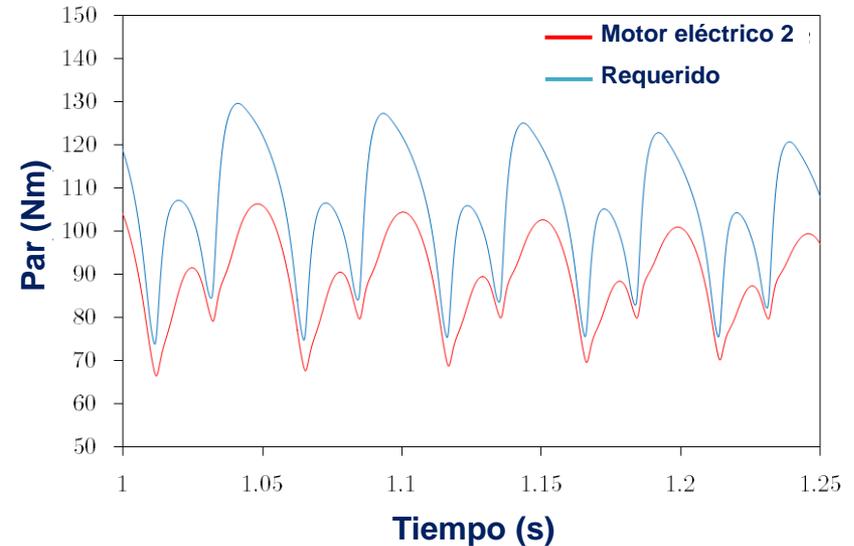
- Varios ensayos realizados con distintos motores
- Objetivo → Demostrador → Se cubre la mayoría de las situaciones

Caso peor → MCI entregando 100% del par

Resultados del modelo de motor



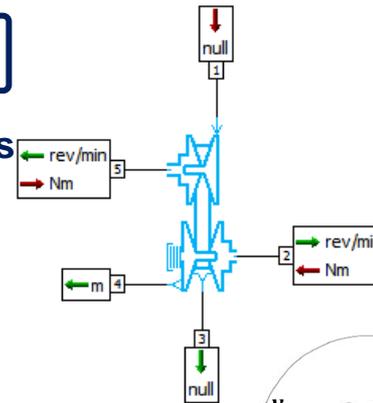
Resultados del modelo de motocicleta



Modelo de ECVT

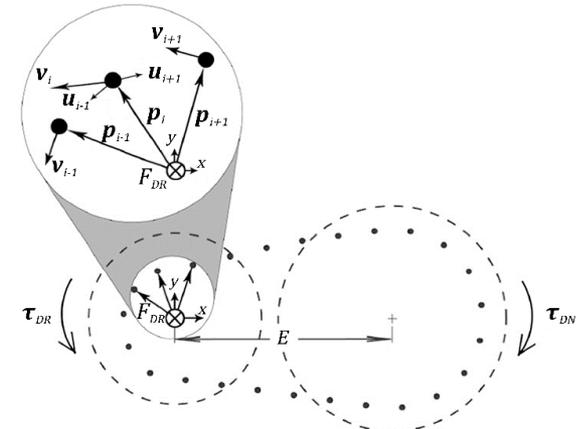
Nuevo modelo dinámico

- Cálculo de cantidades no medibles en ensayos convencionales
- Desarrollado para su empleo en AMESim
- Uso de las librerías BLAS y LAPACK para álgebra lineal con matrices y vectores



Discretización de la correa

- q nodos $\left\{ \begin{array}{l} m = \frac{M_{correa}}{q} \\ l = \frac{L_{correa}}{q} \end{array} \right.$
- 50 nodos
- Posición y velocidad de cada nodo obtenidas empleando las leyes del movimiento de Newton

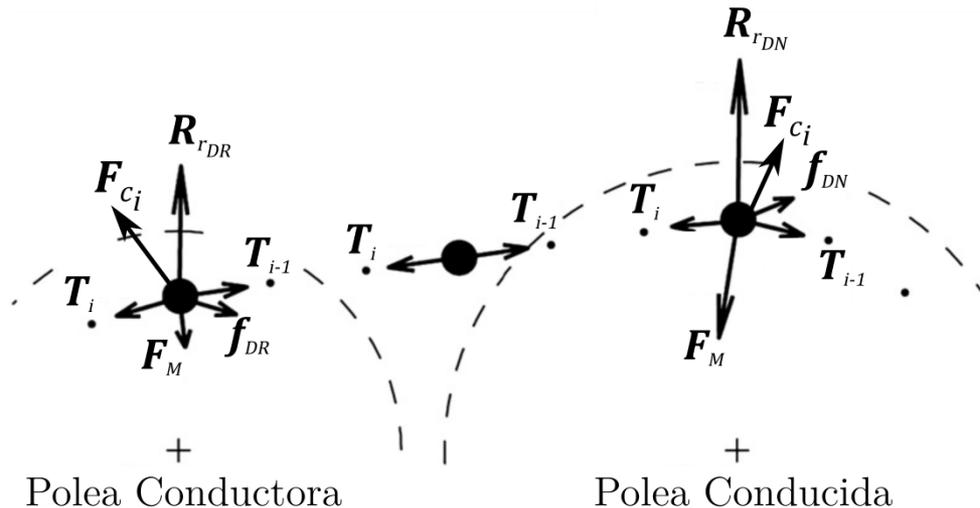
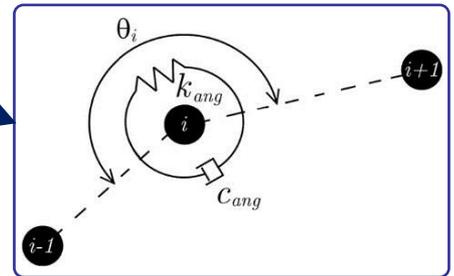
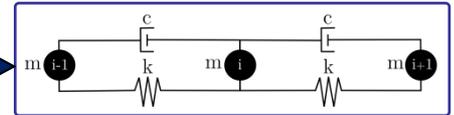


Modelo de ECVT

Nuevo modelo en AMESim

Fuerzas en los nodos

- Resultante radial de la fuerza axial en las poleas: \vec{R}_{rDR} y \vec{R}_{rDN}
- Tensión de los nodos adyacentes: \vec{T}_{i-1} y \vec{T}_{i+1}
- Fuerzas debidas al momento torsor: \vec{F}_M
- Fuerza de fricción con las poleas: \vec{f}_{DR} y \vec{f}_{DN}
- Fuerzas de inercia: \vec{F}_{Ci}



Modelo de ECVT

Parámetros del modelo

- Geometría de la CVT
- Características del material de la correa
- Parámetros de fricción
- Características del muelle trasero

Variables de simulación

- Velocidades de rotación
- Tensión de la correa
- Deformación axial y longitudinal de la correa
- Trayectoria de la correa
 - Self-locking
 - Wedge-in/out

Variables derivadas

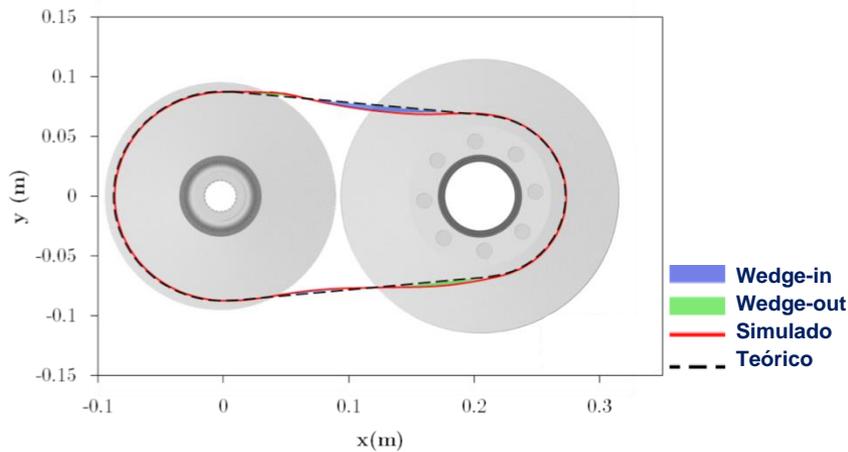
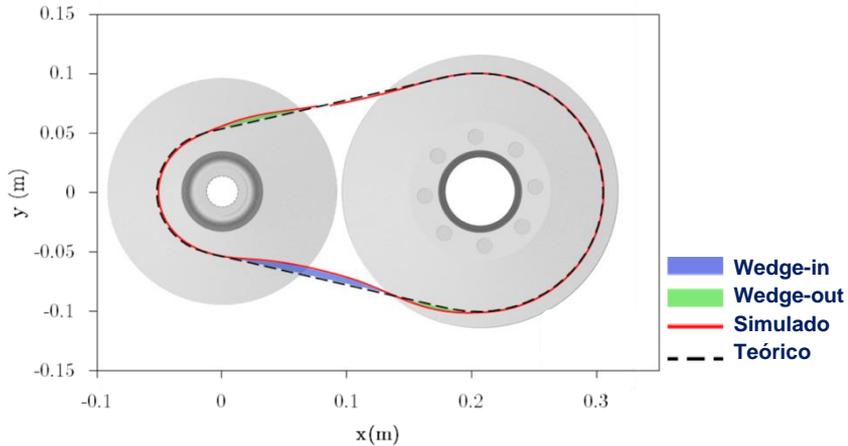
- Ratio de deslizamiento
- Pérdidas de par
- Pérdidas de velocidad
- Eficiencia

Características optimizables

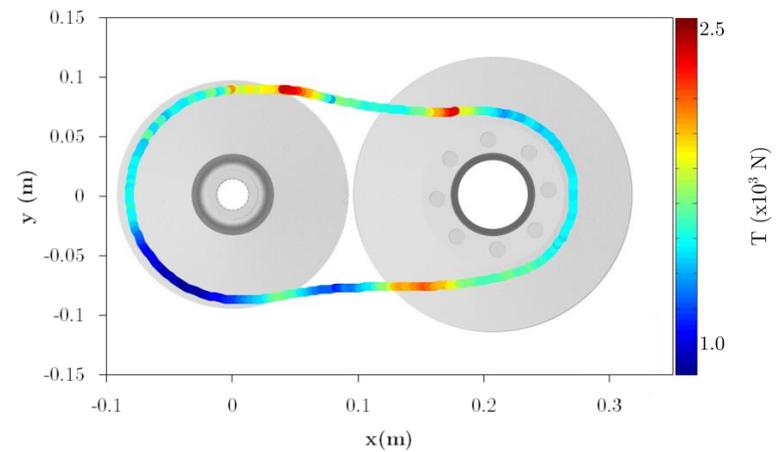
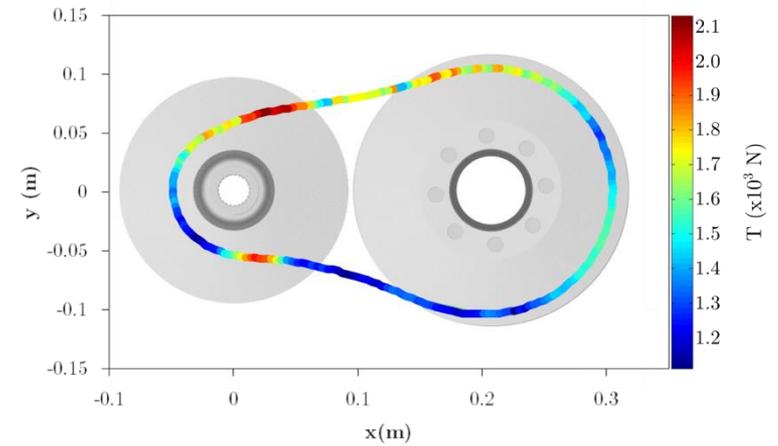
- Control y comportamiento en el cambio
- Maximizar el par transmisible
- Minimizar las pérdidas por fricción
- Geometría y material de los componentes

Resultados de la simulación

Trayectoria de la correa



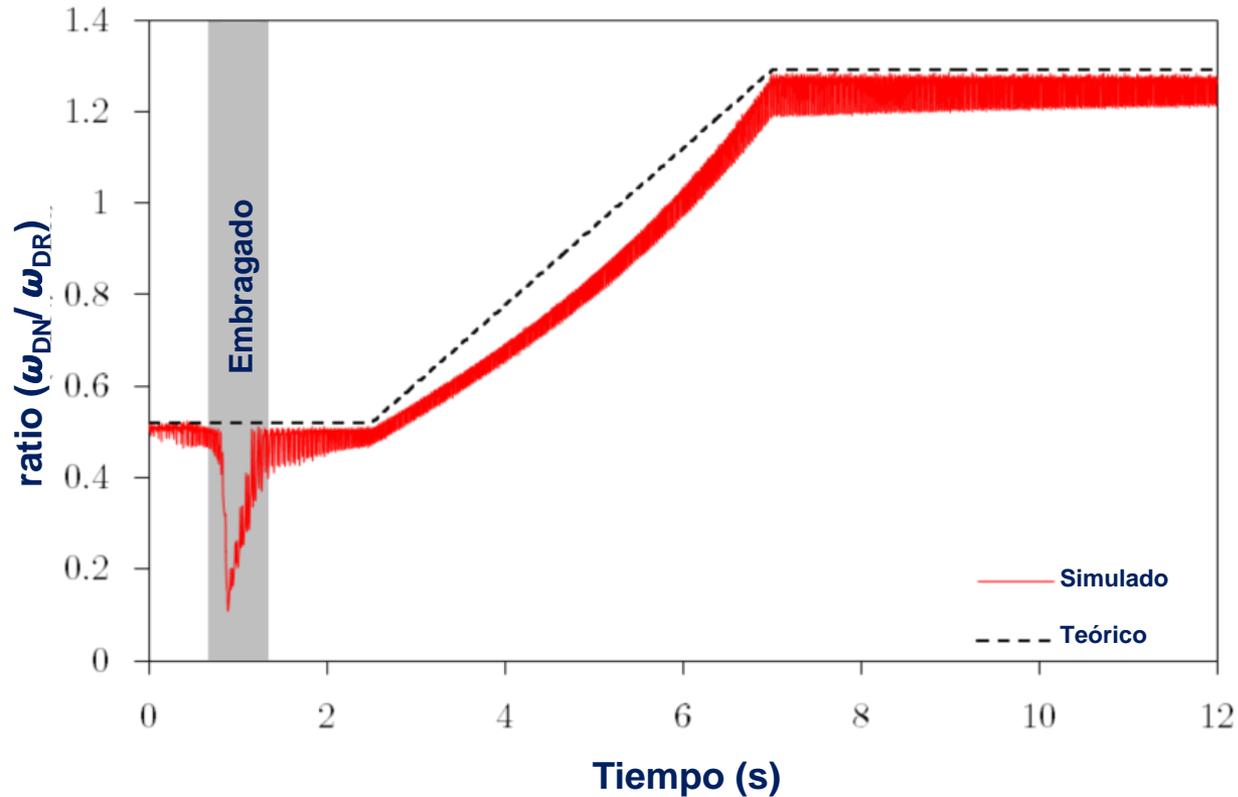
Tensión longitudinal de la correa



Modelo de ECVT

Resultados de la simulación

Ratio de transmisión



Modelo de ECVT



Conclusiones

- **Un modelo de CVT fue desarrollado. Cantidades no medibles pueden ser calculadas con él.**
- **Modelos de simulación de motocicleta y motor fueron desarrollados. Estos son ejecutables en tiempo real y representan la dinámica del sistema.**
- **Un banco de prueba virtual fue desarrollado y empleado para el dimensionamiento y selección de los motores eléctricos.**
- **HW y SW para tiempo real fueron seleccionados y probados.**
- **El soporte y ensamblaje del banco fueron diseñados, obteniendo una configuración de tamaño reducido.**
- **Una visualización 3D de los resultados de simulación fue elaborada.**

- **Fabricación, ensamblaje y puesta en marcha del banco de pruebas.**
- **Finalización del desarrollo del paquete de SW para la plataforma de tiempo real.**
- **Ejecución de un modelo AMESim en la plataforma de tiempo real.**
- **Validación del modelo de CVT en el banco de pruebas.**
- **Desarrollo de un modelo multicuerpo del embrague centrífugo.**
- **Uso de la animación 3D para realidad aumentada en el banco de pruebas.**

Simulaciones en tiempo real de modelos multi-físicos para ensayos en banco de prueba de máquinas rotativas

Autor: Alejandro Vázquez Fraga

Tutores: Miguel Ángel Naya Villaverde
Roland Pastorino (SISW NV)

Fecha: Julio 2016