

Introducción a la serie C2000 real-time de Texas Instruments

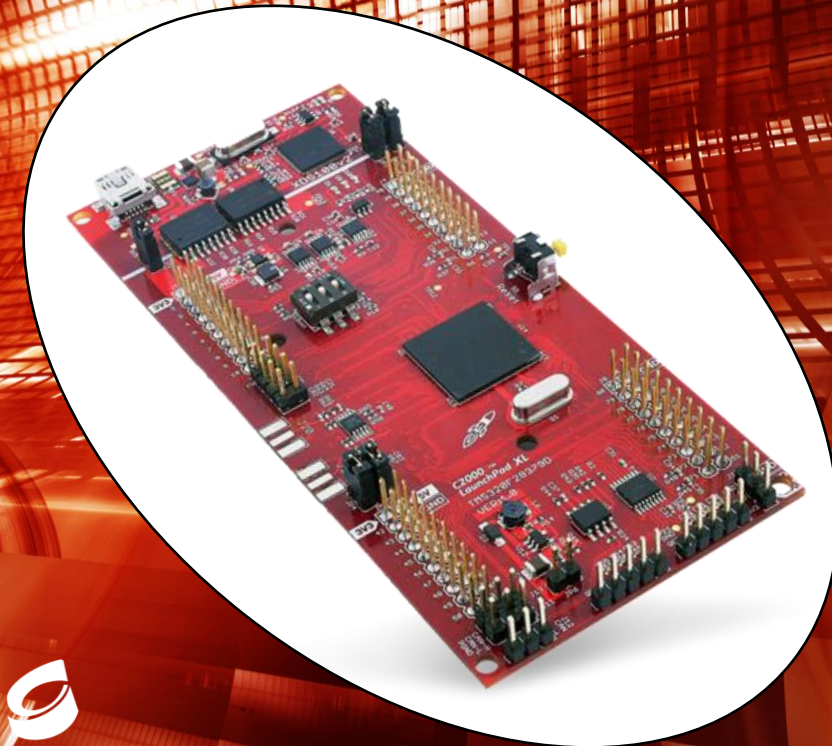


Sanchez H. Godo
Instructor MMJ

Universidad Privada del Norte - Lima Norte
IEEE Student Branch



A Student Chapter of the IEEE Circuits and Systems Society



Introducción a la serie C2000 real-time de Texas Instruments

Sanchez H. Godo

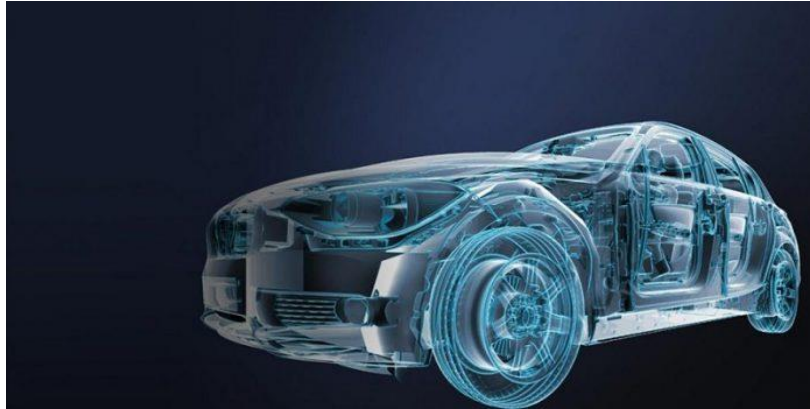
"La innovación distingue a los líderes de los seguidores"

Contenido

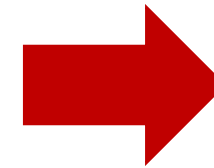
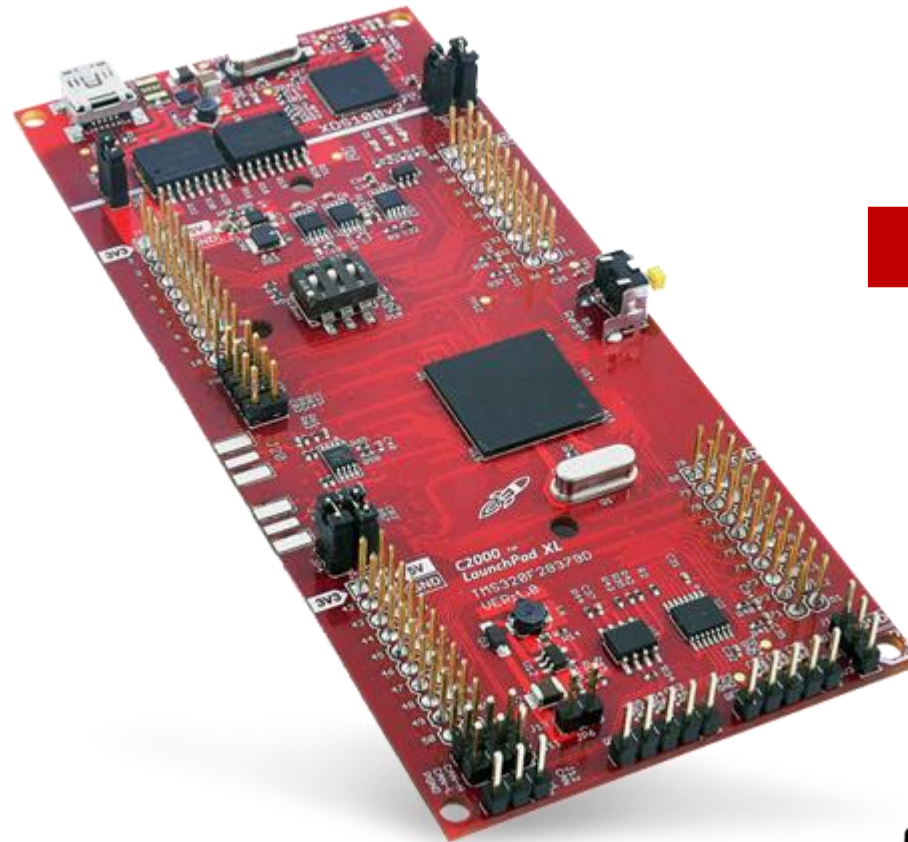
- Microcontrolador Real Time
- Herramientas de Desarrollo
- Características de la serie C2000
- Aplicaciones de la serie C2000
- Ejemplos



¿Qué tiene en común?

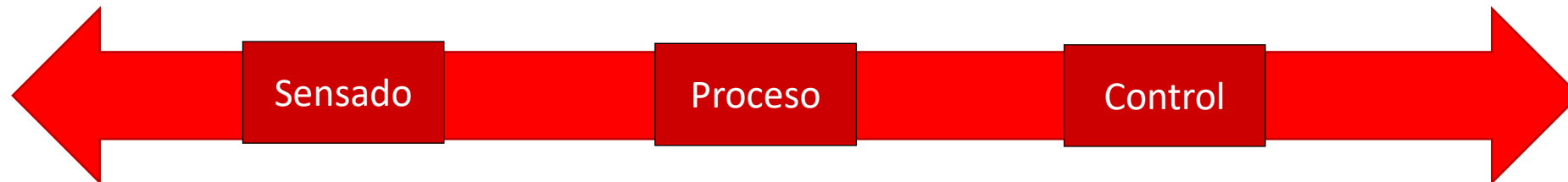


Todos necesitan la potencia de un
Microcontrolador de Tiempo Real, para
un control avanzando de los sistemas y
conversión de potencia digital

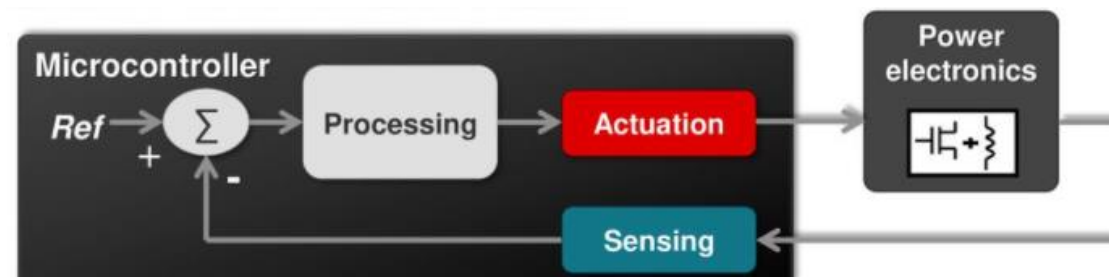
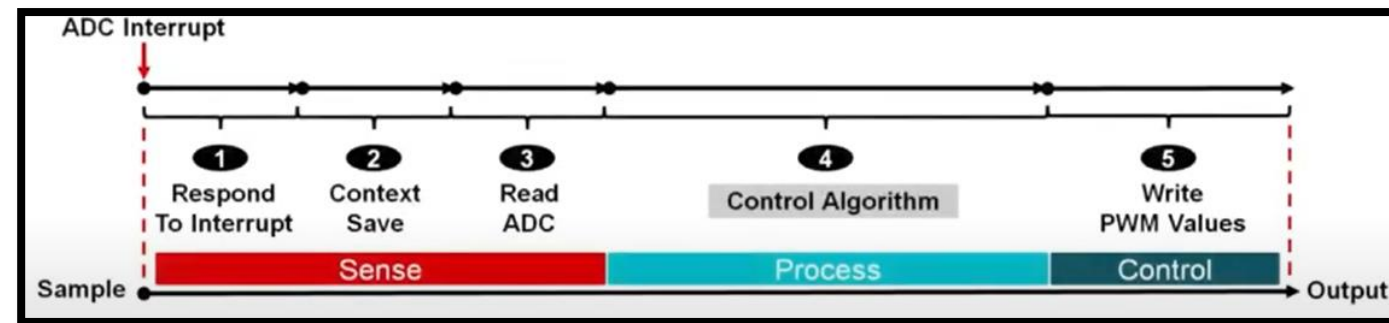


¿Que es un uC
en tiempo real?

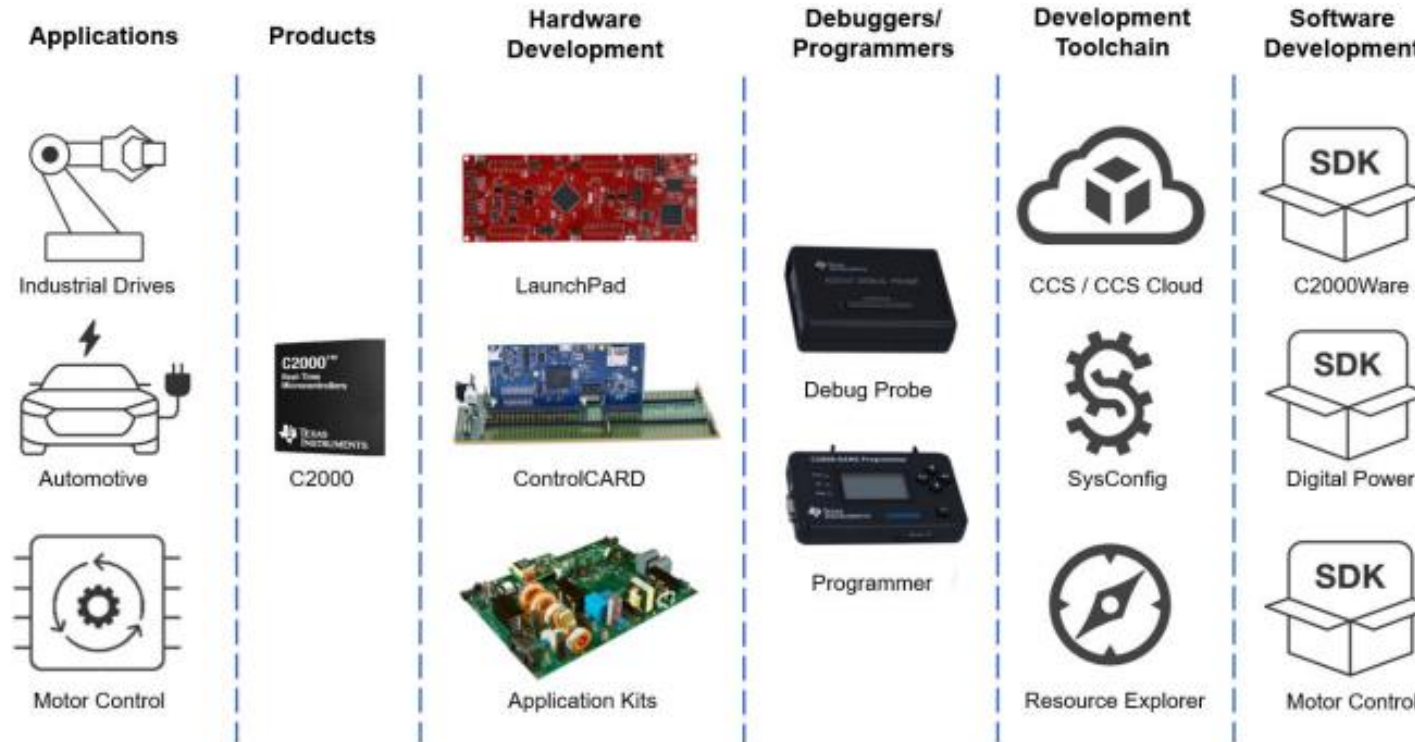
Microcontrolador Real-Time



Cadenas de Señales en Tiempo Real

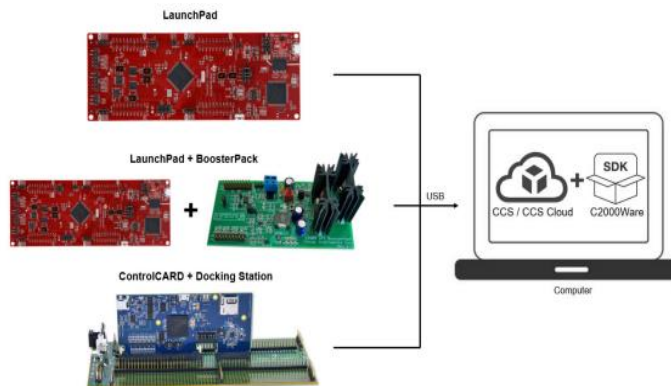


Ecosystem C200

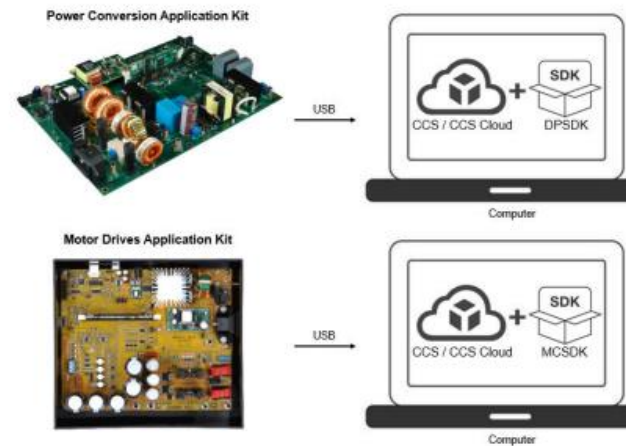


Niveles dentro del Ecosistema

Entry Level



Intermediate Level



Advanced Level



Herramientas de Hardware

1.- LaunchPad



[link](#)

2.- BoosterPack



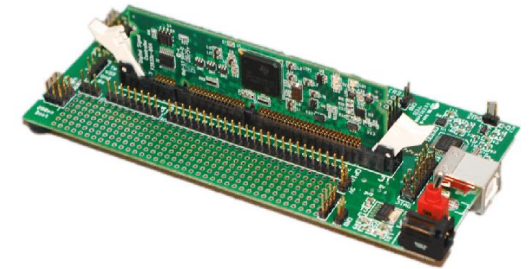
[link](#)

3.-ControlCARD



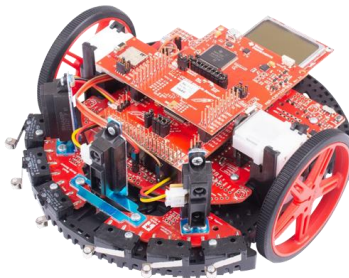
[link](#)

4.-Experimenter Kit



[link](#)

5.- Application Kit



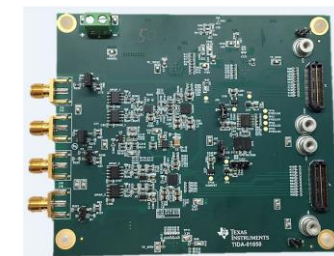
[link](#)

6.- Reference Designs



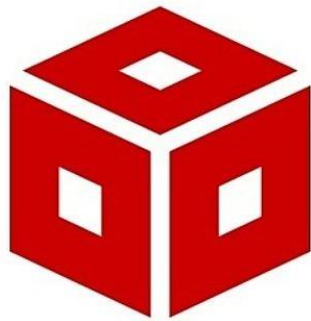
[link](#)

7.- Custom Design



[link](#)

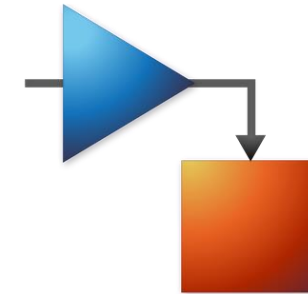
Software de Desarrollo



Code Composer Studio



ControlSUITE



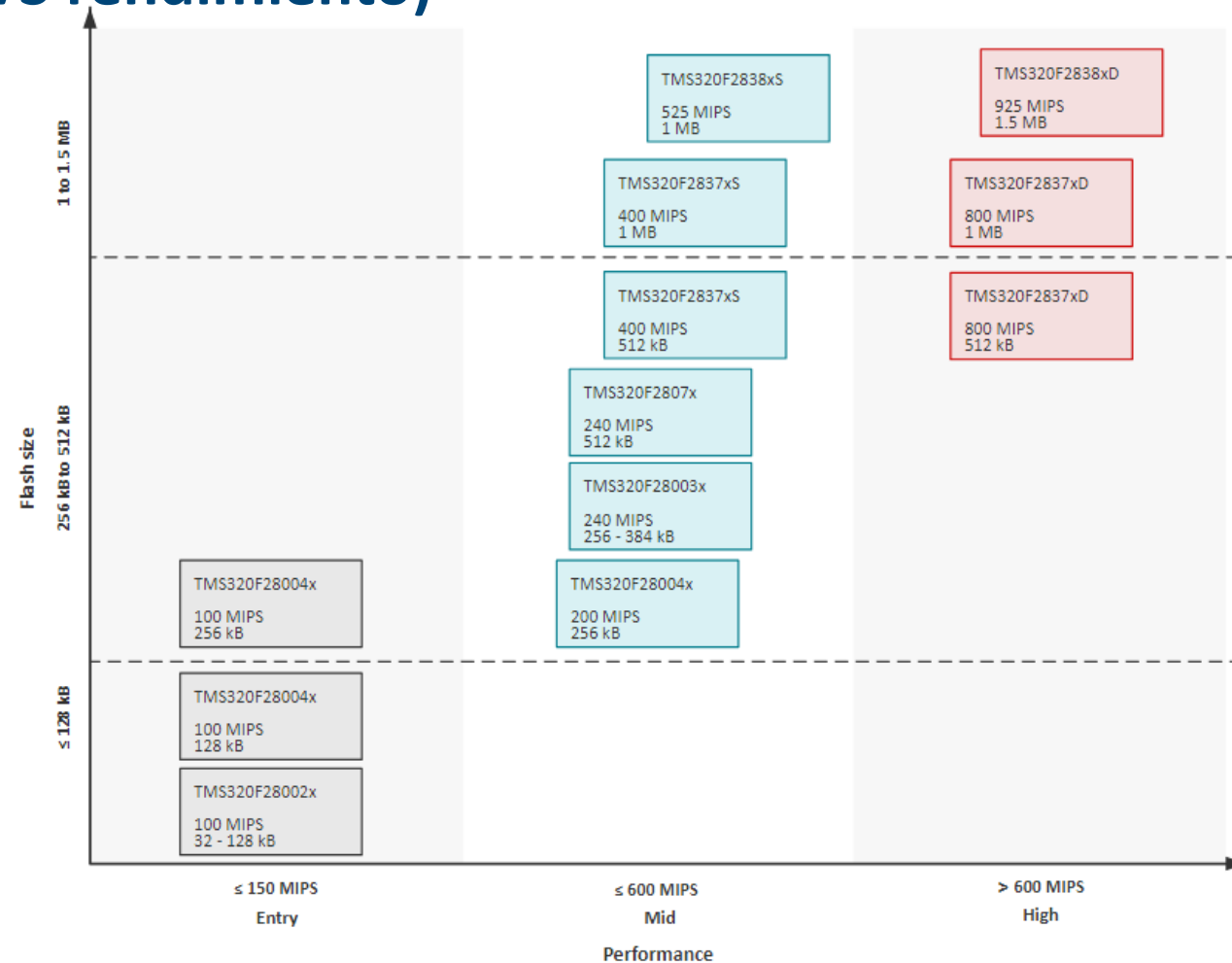
Simulink



SOFTWARE DEVELOPMENT KIT (SDK)

C2000WARE-DIGITALPOWER-SDK —

Microcontroladores C2000 (memoria flash VS rendimiento)



C2000 – Características Generales

- Sense:
 - ✓ ADC 12-16 bits
 - ✓ Quadrature Encoder
 - ✓ Capture Logic
 - ✓ Comparadores Analogicos
 - ✓ DAC

- Control:
 - ✓ PWM de resolución de 150pS
 - ✓ Alta frecuencia de Conmutación
 - ✓ Habilitando dispositivos de SiC & GaN



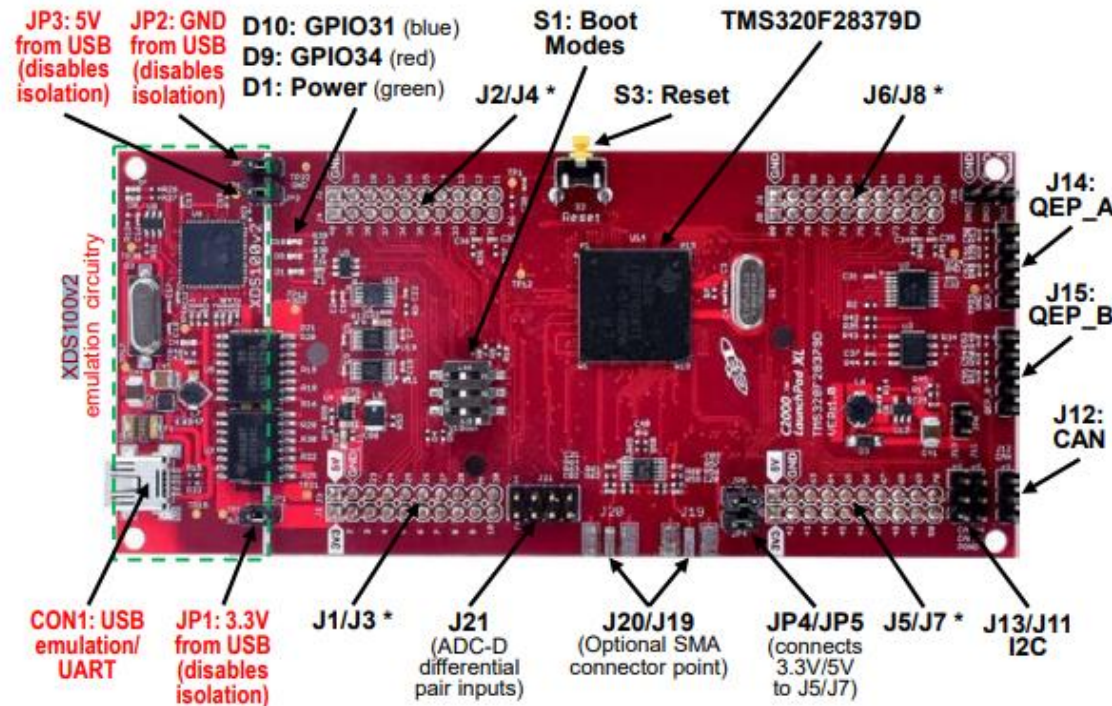
- Processing:
 - ✓ Arquitectura de Múltiples Núcleos
 - ✓ optimizado para el control matemático
 - ✓ DSP de punto flotante

- Interface:
 - ✓ CAN, CAN-FD, LIN, FSI, UART, SPI, I2C, PMBus, 10/100 Ethernet MAC, EtherCAT, EMIF

F28x7x Piccolo / Delfino Comparison

C2000- LAUNCHXL F28379D

F28379D LaunchPad



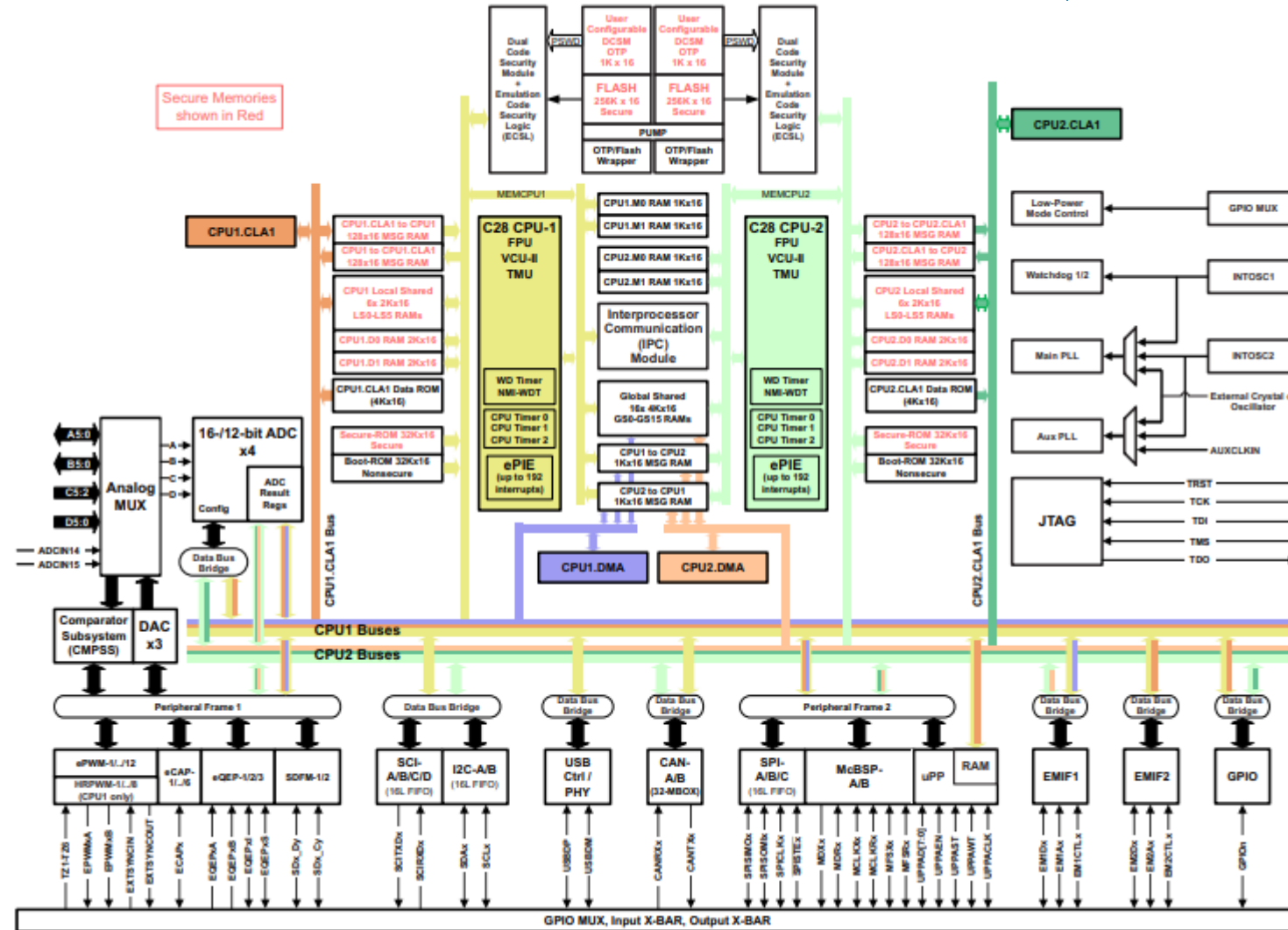
F2807x / F2837xS / F2837xD Comparison

	F2807x	F2837xS	F2837xD
C28x CPUs	1	1	2
Clock	120 MHz	200 MHz	200 MHz
Flash / RAM / OTP	256Kw / 50Kw / 2Kw	512Kw / 82Kw / 2Kw	512Kw / 102Kw / 2Kw
On-chip Oscillators	✓	✓	✓
Watchdog Timer	✓	✓	✓
ADC	Three 12-bit	Four 12/16-bit	Four 12/16-bit
Buffered DAC	3	3	3
Analog COMP w/DAC	✓	✓	✓
FPU	✓	✓	✓ (each CPU)
6-Channel DMA	✓	✓	✓ (each CPU)
CLA	✓	✓	✓ (each CPU)
VCU / TMU	- / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓ (each CPU)
ePWM / HRPWM	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
eCAP / HRCAP	✓ / -	✓ / -	✓ / -
eQEP	✓	✓	✓
SCI / SPI / I2C	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
CAN / McBSP / USB	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
UPP	-	✓	✓
EMIF	1	2	2

F2806x / F2833x / F2837xD Comparison

	F2806x	F2833x	F2837xD
C28x CPUs	1	1	2
Clock	90 MHz	150 MHz	200 MHz
Flash / RAM / OTP	128Kw / 50Kw / 1Kw	256Kw / 34Kw / 1Kw	512Kw / 102Kw / 2Kw
On-chip Oscillators	✓	-	✓
Watchdog Timer	✓	✓	✓
ADC	One 12-bit (SOC)	One 12-bit (SEQ)	Four 12/16-bit (SOC)
Buffered DAC	-	-	3
Analog COMP w/DAC	✓	-	✓
FPU	✓	✓	✓ (each CPU)
6-Channel DMA	✓	✓	✓ (each CPU)
CLA	✓	-	✓ (each CPU)
VCU / TMU	✓ / -	- / -	✓ / ✓ (each CPU)
ePWM / HRPWM	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
eCAP / HRCAP	✓ / ✓	✓ / -	✓ / -
eQEP	✓	✓	✓
SCI / SPI / I2C	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
CAN / McBSP / USB	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / -	✓ / ✓ / ✓
UPP	-	-	✓
EMIF	-	1	2

Diagrama de Bloques

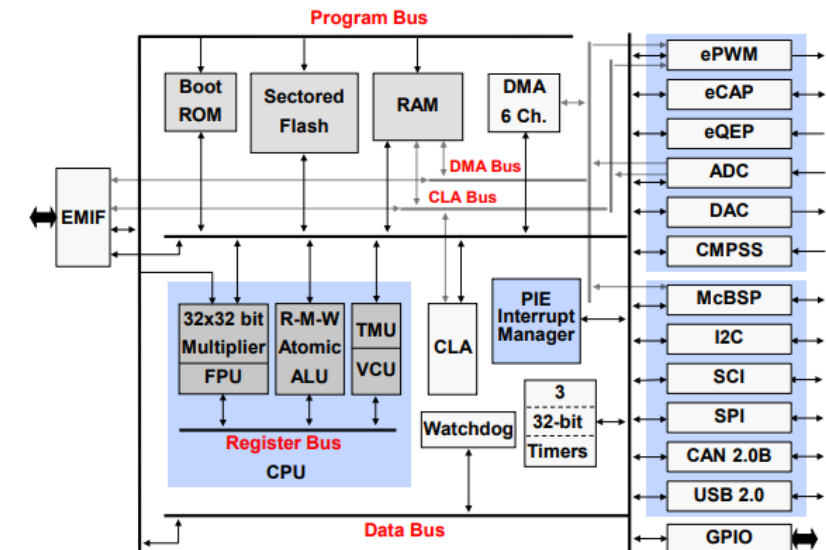


C2000 - Core

- ▶ El MCU real – time C2000 utiliza el núcleo C28x DSP como unidad principal de procesamiento.
- ▶ Los componentes adicionales de este subsistema se describen a continuación:
 - **Control Law Accelerator (CLA):** un coprocesador de coma flotante de 32 bits basado en una máquina de estado capaz de ejecución de código independiente del núcleo principal C28x DSP
 - Instrucciones ampliadas de C28x:
 - **Unidad de punto flotante (FPU):** Admite operaciones de punto flotante de 32 bits y en dispositivos seleccionados admite 64 bits punto flotante.
 - **Unidad matemática trigonométrica (TMU):** Proporciona instrucciones intrínsecas para respaldar las matemáticas trigonométricas que se encuentran comúnmente en .
 - **Unidad Viterbi y CRC (VCU):** reducción del recuento de ciclos tanto para Viterbi como para la verificación de redundancia cíclica (CRC) operaciones que se encuentran en ecuaciones matemáticas complejas.

$$\text{Park} \quad \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_o \end{bmatrix}$$

TMS320F28x7x Core Block Diagram

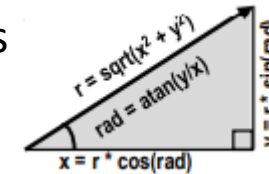


[link](#)

C2000 - Trigonometric Math Unit (TMU)



Agrega instrucciones al FPU para calcular mediante operaciones trigonométricas



Operation	Instruction	Exe Cycles	Result Latency	FPU Cycles w/o TMU
$Z = Y/X$	DIVF32 Rz, Ry, Rx	1	5	~24
$Y = \text{sqrt}(X)$	SQRTF32 Ry, Rx	1	5	~26
$Y = \sin(X/2\pi)$	SINPUF32 Ry, Rx	1	4	~33
$Y = \cos(X/2\pi)$	COSPUF32 Ry, Rx	1	4	~33
$Y = \text{atan}(X)/2\pi$	ATANPUF32 Ry, Rx	1	4	~53
Instruction To	QUADF32 Rw, Rz, Ry, Rx	3	11	~90
Support ATAN2	ATANPUF32 Ra, Rz			
Calculation	ADDF32 Rb, Ra, Rw			
$Y = X * 2\pi$	MPY2PIF32 Ry, Rx	1	2	~4
$Y = X * 1/2\pi$	DIV2PIF32 Ry, Rx	1	2	~4

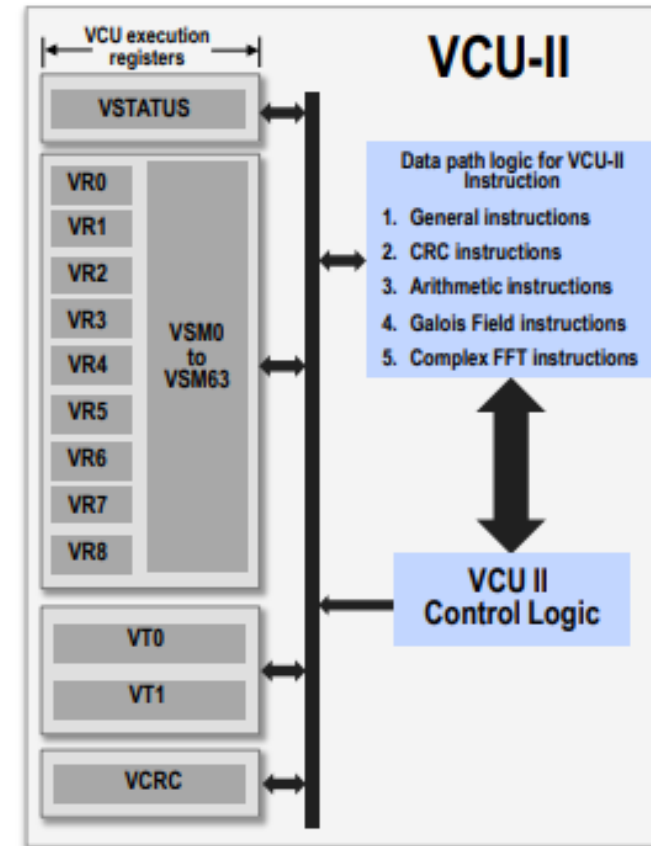
Soporte natural en C y C++.

Impacto significativo en el rendimiento de algoritmos como:

- Estacionamiento / Estacionamiento inverso
- Transformada DQ0 e inversa DQ0
- Space Vector GEN
- FFT Magnitud y cálculos de fase

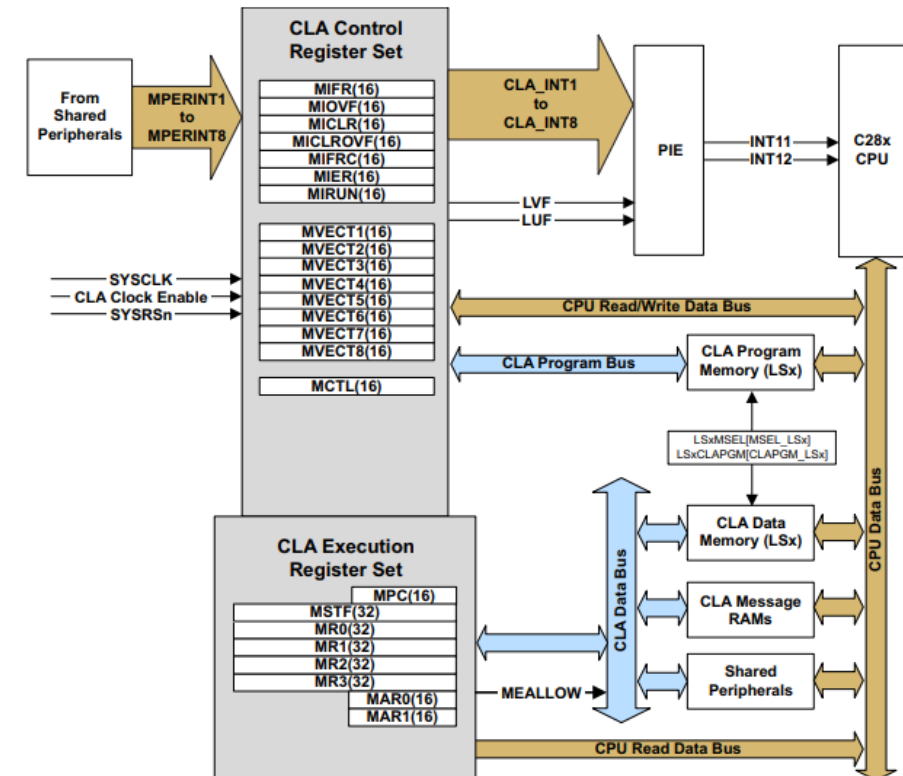
C2000 -Viterbi / Complex Math Unit (VCU)

- ▶ Operaciones de Viterbi
- ▶ Decodificar Comunicaciones
- ▶ Matemática Compleja
- ▶ FFT de punto fijo de 16 bits
- ▶ Filtros Complejos
- ▶ Aplicaciones de Radar



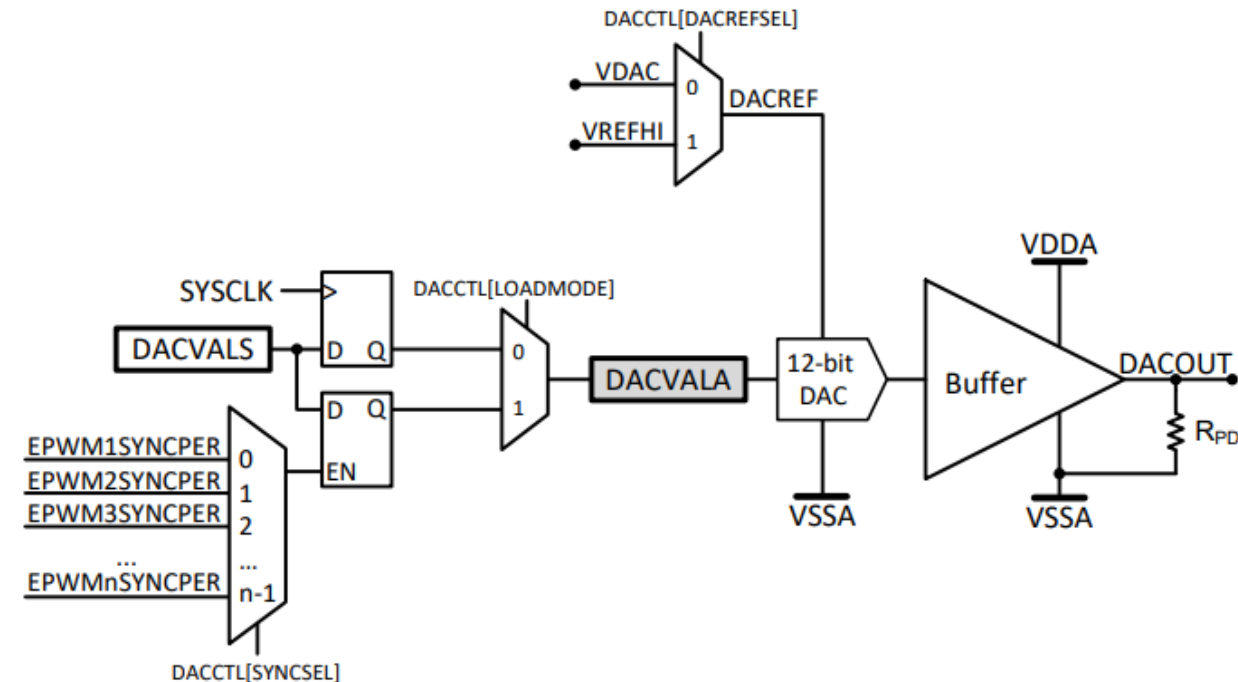
C2000 - Control Law Accelerator (CLA)

- El Acelerador de Ley de Control (CLA) Tipo-1 es un dispositivo de coma flotante de 32 bits independiente y completamente programable. La latencia de interrupción baja del CLA le permite leer muestras de ADC "justo a tiempo". Mediante el uso de CLA para dar servicio bucles de control de tiempo crítico, la CPU principal está libre para realizar otras tareas del sistema, como comunicaciones y diagnósticos



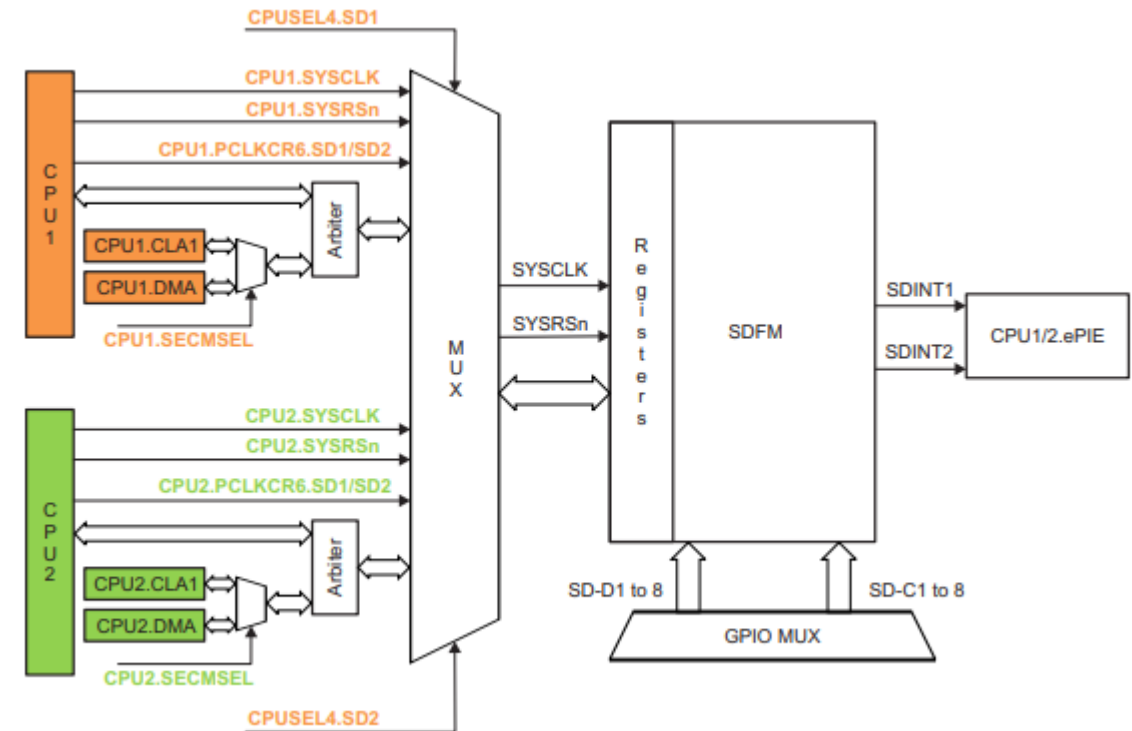
C2000 - Buffered Digital to Analog Converter (DAC)

- El módulo DAC con búfer consta de un DAC interno de 12 bits y un búfer de salida analógica que puede conducir una carga externa. Una resistencia pull-down integrada en la salida DAC ayuda a proporcionar un conocido voltaje del pin cuando el búfer de salida está deshabilitado. Esta resistencia desplegable no se puede desactivar y permanece como un componente pasivo en el pin, incluso para otras funciones pinmux compartidas.
- DAC interno programable de 12 bits
- Fuente de voltaje de referencia seleccionable
- Resistencia pull-down en salida
- Capacidad para sincronizar con EPWMSYNCPER



C2000 - Sigma Delta Filter Module (SDFM)

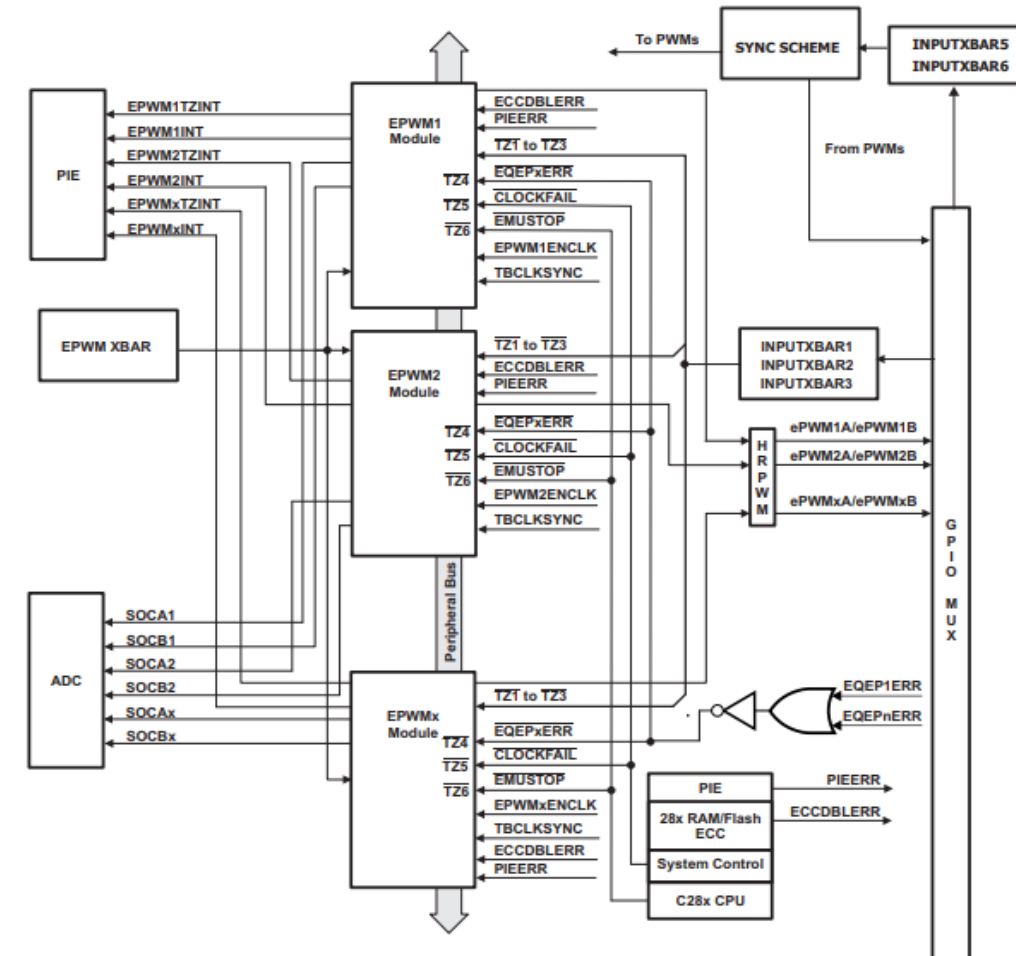
- Este capítulo describe el módulo de filtro sigma delta (SDFM). El SDFM es un filtro digital de cuatro canales diseñado específicamente para la medición de corriente y la decodificación de la posición del resolver en el control de motores aplicaciones.
- Cada canal de entrada puede recibir un flujo de bits modulador delta-sigma ($\Delta\Sigma$) independiente. El
- Los flujos de bits se procesan mediante cuatro filtros de diezmo digital programables individualmente.
- El conjunto de filtros incluye un comparador rápido (filtro secundario) para comparaciones de umbrales digitales inmediatas para sobrecorriente y supervisión de subcorriente y detección de cruce de ceros



C2000 - Enhanced Pulse Width Modulator (EPWM)

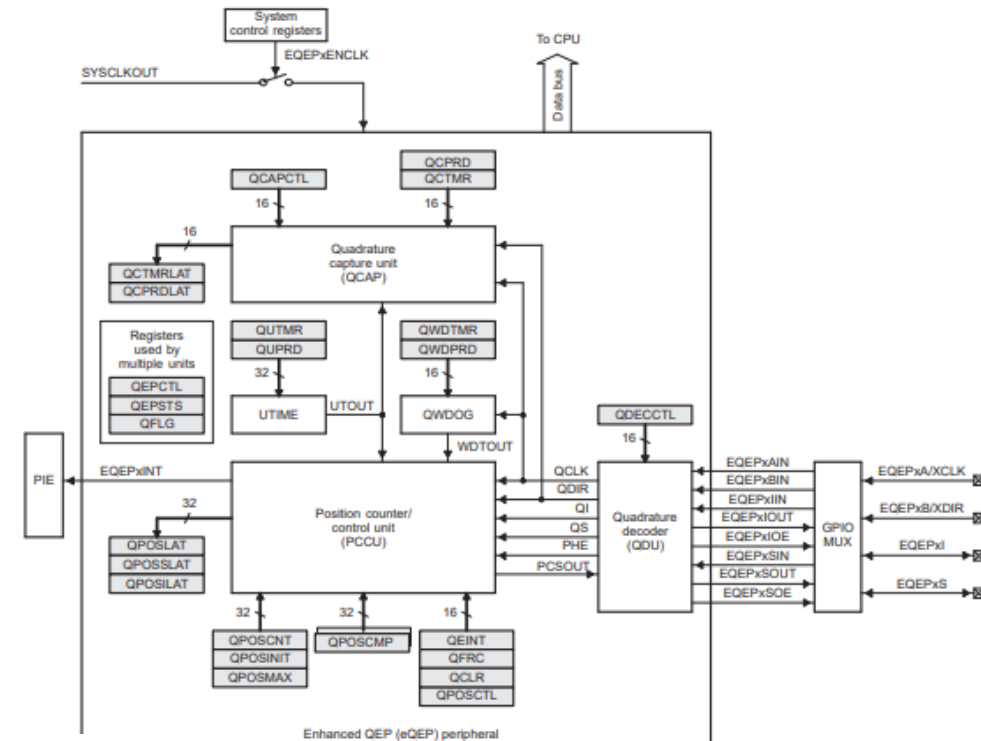
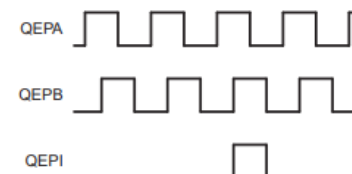
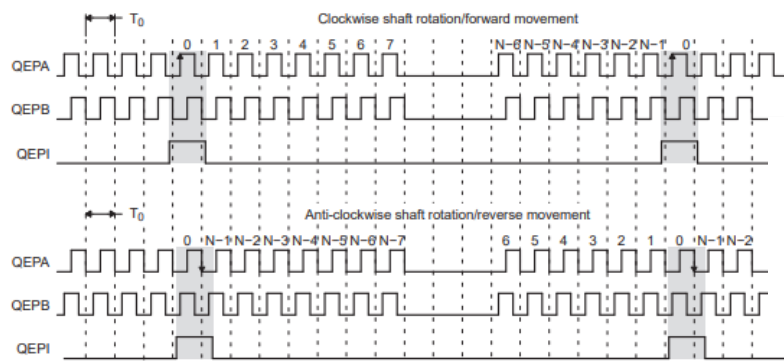
Cada módulo ePWM admite las siguientes características:

- Contador de base de tiempo dedicado de 16 bits con control de período y frecuencia
- Dos salidas PWM (EPWMxA y EPWMxB) que se pueden utilizar en las siguientes configuraciones:
 - Dos salidas PWM independientes con operación de un solo borde
 - Dos salidas PWM independientes con operación simétrica de doble borde
 - Una salida PWM independiente con operación asimétrica de doble borde
- Soporte de control de fase programable para funcionamiento con retraso o adelanto en relación con otros módulos ePWM.
- Generación de banda muerta con control de retardo de flanco ascendente y descendente independiente.
- Asignación de zona de disparo programable de disparo ciclo por ciclo y disparo único en condiciones de falla.
- Una condición de disparo puede forzar niveles lógicos de estado de impedancia alta, baja o alta en las salidas PWM.
- Todos los eventos pueden desencadenar interrupciones de la CPU y el inicio de conversión (SOC) de ADC



C2000 -Enhanced Quadrature Encoder Pulse (eQEP)

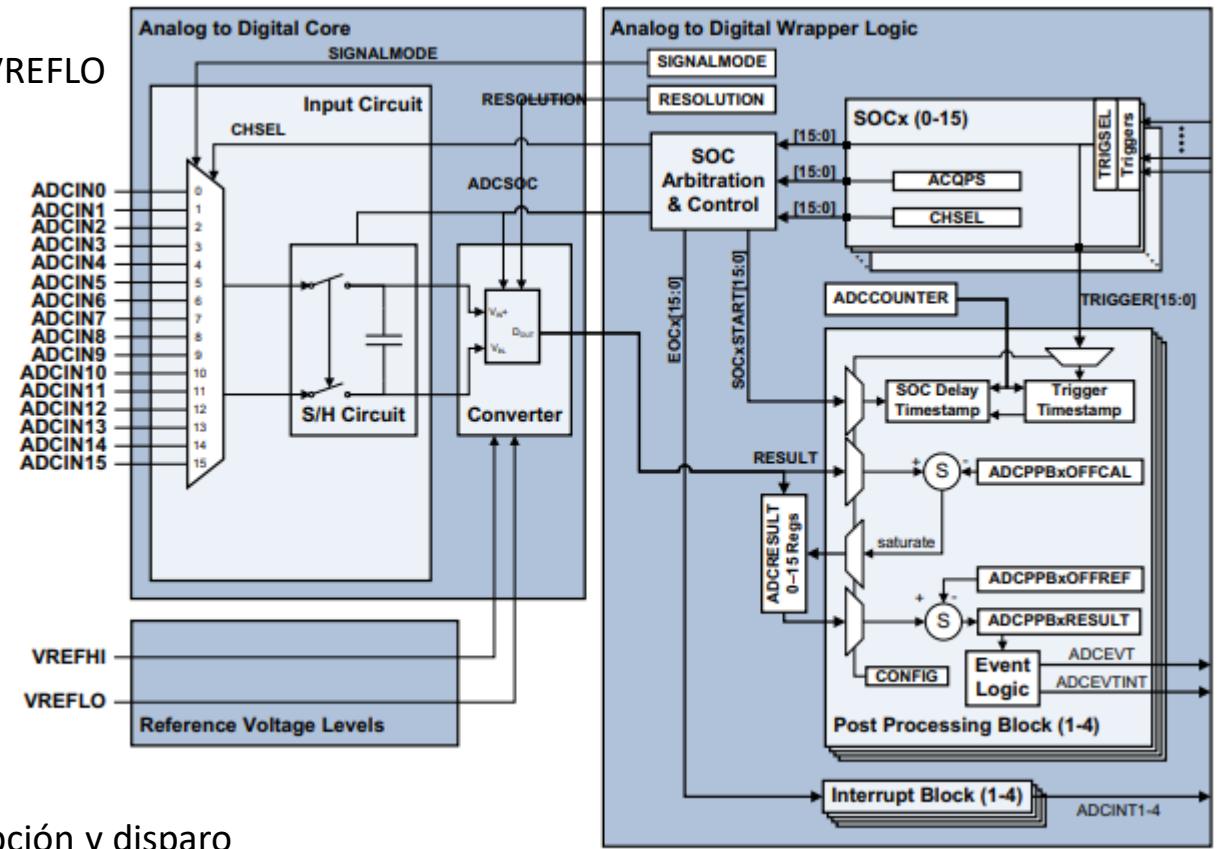
Un disco codificador incremental se modela con una pista de ranuras a lo largo de su periferia, Estas ranuras crean un patrón alterno de líneas oscuras y claras. El recuento de discos se define como el número de pares de líneas claras y oscuras que se producen por revolución (líneas por revolución). Como regla, una segunda pista es agregado para generar una señal que ocurre una vez por revolución (señal de índice: QEPI), que se puede utilizar para indicar una posición absoluta. Lo



C2000 - Analog-to-Digital Converter (ADC)

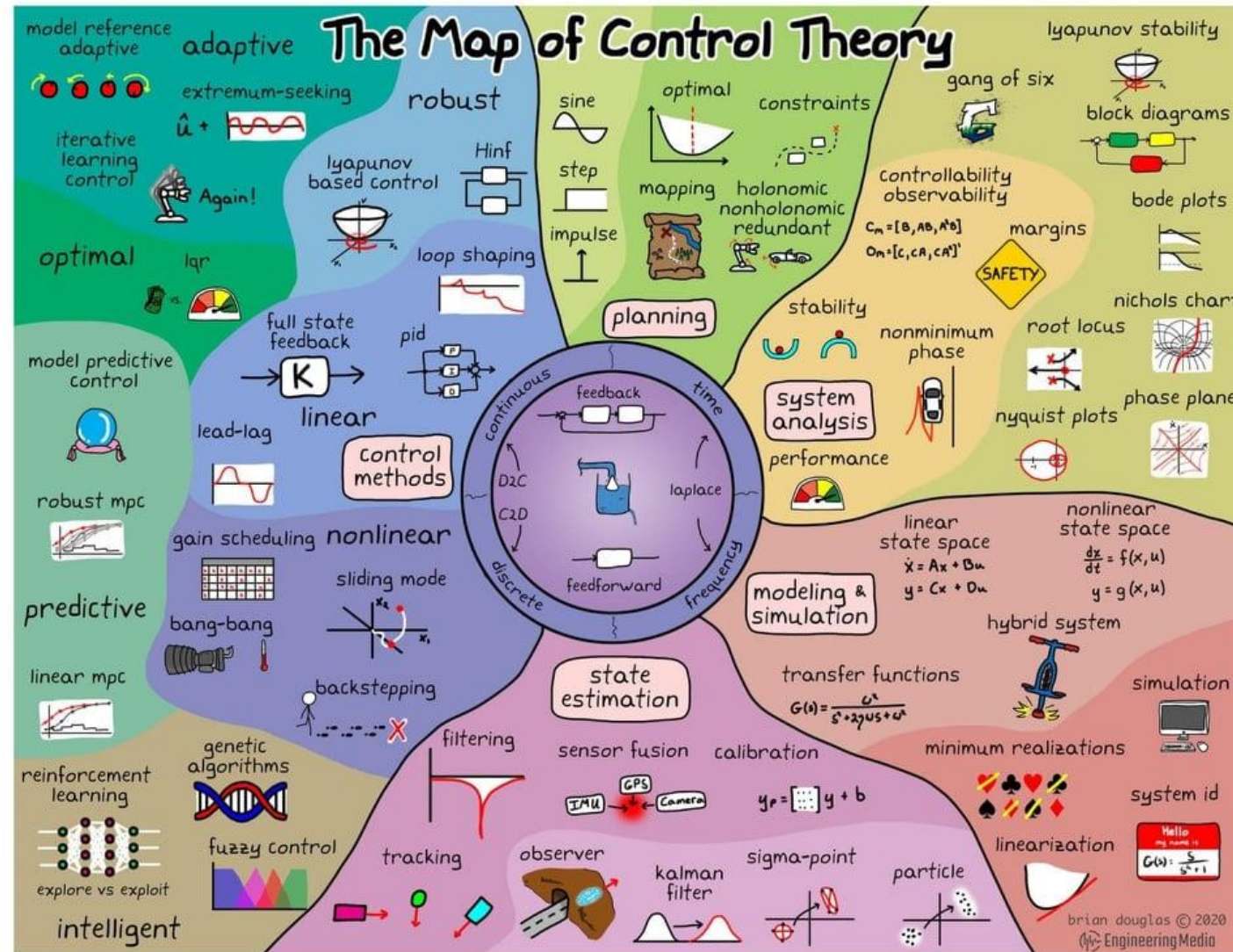
Cada ADC tiene las siguientes características:

- Resolución seleccionable de 12 bits o 16 bits
 - Referencia externa radiométrica establecida por los pines VREFHI y VREFLO
 - Conversiones de señales diferenciales (solo modo de 16 bits)
 - Conversiones de señales de un solo extremo (solo modo de 12 bits)
 - Multiplexor de entrada con hasta 16 canales (unipolar) u 8 canales (diferencial)
 - 16 SOC configurables
 - 16 registros de resultados direccionables individualmente
 - Varias fuentes de activación
 - S / W - software de inicio inmediato
 - Todos los ePWM - ADCSOC A o B
 - Temporizadores de CPU 0/1/2 (de cada núcleo C28x presente)
 - Cuatro interrupciones PIE flexibles
 - Modo de ráfaga
 - Cuatro bloques de posprocesamiento, cada uno con:
 - Calibración de compensación de saturación
 - Error en el cálculo del punto de ajuste
 - Comparación alto, bajo y de cruce por cero, con capacidad de interrupción y disparo ePWM
 - Captura de retardo de disparo a muestra
-
- El diagrama de pines muestra una columna de pines de entrada etiquetados como ADCIN0, ADCIN1, ADCIN2, ADCIN3, ADCIN4, ADCIN5, ADCIN6, ADCIN7, ADCIN8, ADCIN9, ADCIN10, ADCIN11, ADCIN12, ADCIN13, ADCIN14 y ADCIN15. A la derecha de esta columna, se muestran los pines VREFHI y VREFLO, con el texto "Reference" debajo de ellos. En la parte superior derecha, se indica "Analog to Digital Converter".



C2000 - Aplicaciones

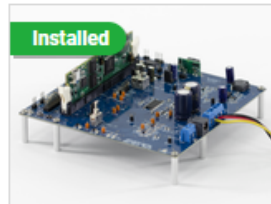
- Radar de medio / corto alcance
- Control del motor del inversor de tracción
- Control de motores comerciales grandes de HVAC
- Equipo de clasificación automatizado
- Control CNC
- Estación de carga de CA (pila)
- Estación de carga de CC (pila)
- Módulo de potencia de la estación de carga de vehículos eléctricos
- Sistema de conversión de energía de almacenamiento de energía (PCS)
- Optimizador de energía solar
- Inversor de cadena
- Control de motor e inversor
- Cargador integrado (OBC) e inalámbrico
- Controlador de segmento de motor lineal
- Módulo de control de servodrive
- Accionamiento de motor BLDC con entrada de CA
- Accionamiento de motor BLDC con entrada de CC
- AC-DC industrial
- SAI trifásico



C2000 – Matlab Code Generator

Tienen que tener instalados:

- Code Composer
- ControlSUITE
- Matlab



Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors by MathWorks Embedded Coder Team

STAFF

Generate code optimized for C2000 MCU.

Embedded Coder® Support Package for **Texas** Instruments C2000™ Processors enables you to run Simulink® models on TI C2000 MCUs. Embedded Coder automatically generates C code for your algorithms and

Hardware Support



42.5K Downloads ⓘ

Updated 22 Sep 2021

Muchas Gracias

Telf: 943874659

Correo: gssanchezh@ieee.org

Github: [/GodoSanchezH](#)