



PROCESADORES DIGITALES DE SEÑALES (DSPs) Y APLICACIONES

Por: Larry Escobar
2017



TEMARIO GENERAL

UNO

- **Presentación**
- **Generalidades del PDS y DSPs**
- **Aplicaciones del PDS y DSPs**
- **Marcas y familias de DSPs**

CUATRO

- **Unidad de Control**
- **Interrupciones**
- **Periféricos**
- **Utilización de CCS**

DOS

- **Características de los DSPs**
- **Arquitectura de los DSPs**
- **Diseño de un DSP**
- **Pipeline**
- **Mapa de memoria**
- **Unidad central de proceso**

TRES

- **Modos de direccionamiento**
- **Unidades ALU y MAC**
- **Programación en lenguaje ensamblador y algebraico**

CINCO

- **Programación en lenguaje C**
- **Ejemplos**
- **Aplicaciones**



TEMA UNO

- Presentación
- Generalidades del Procesamiento Digital de señales (PDS)
- Fundamentos del (PDS)
- Enfoques del PDS
- Sistema básico de PDS
- Aplicaciones del PDS, DSPs y Tiempo real
- Otras soluciones
- Los procesadores digitales de señales (DSPs)
- Marcas, familias, desempeños y comparaciones
- Selección de un DSP



PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES (PDS)

El PDS es un área de la ingeniería que agrupa un conjunto de operaciones que se aplican sobre señales discretas, estas operaciones se describen como transformaciones matemáticas.

Algunos objetivos:

- Proveer una mejor aproximación del análisis o estimación del contenido de la información.
- Analizar, representar, transformar, manipular señales y el contenido de la información.



FUNDAMENTOS DEL PDS

Señales y sistemas

Matemáticas Discretas

Probabilidad y Estadística

Variable compleja, Transformada Z (TZ) y TZI

Análisis de espectral:

Transformada de Fourier en el Tiempo Discreto (DTFT)

Transformada Discreta de Fourier (DFT)

Transformada Rápida de Fourier (FFT)

Métodos paramétricos y no paramétricos

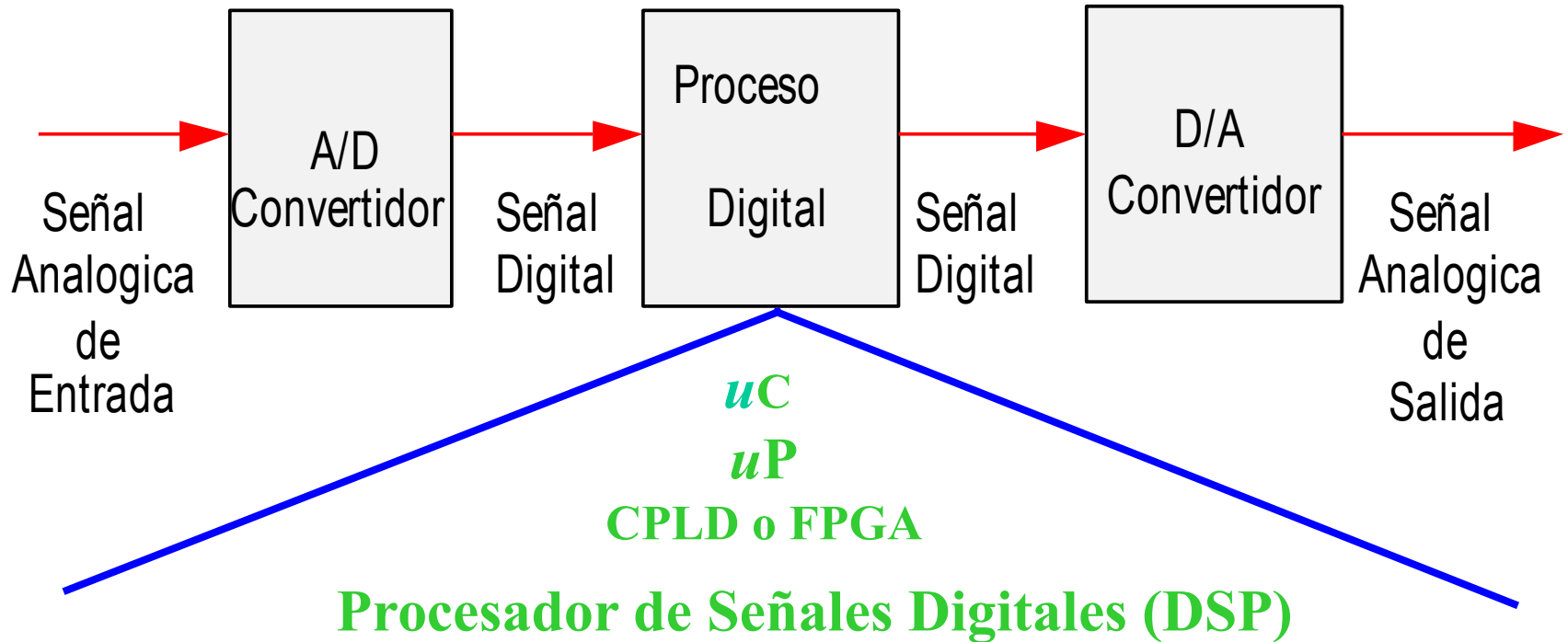
Transformada Coseno

Filtros digitales

Estimación de parámetros

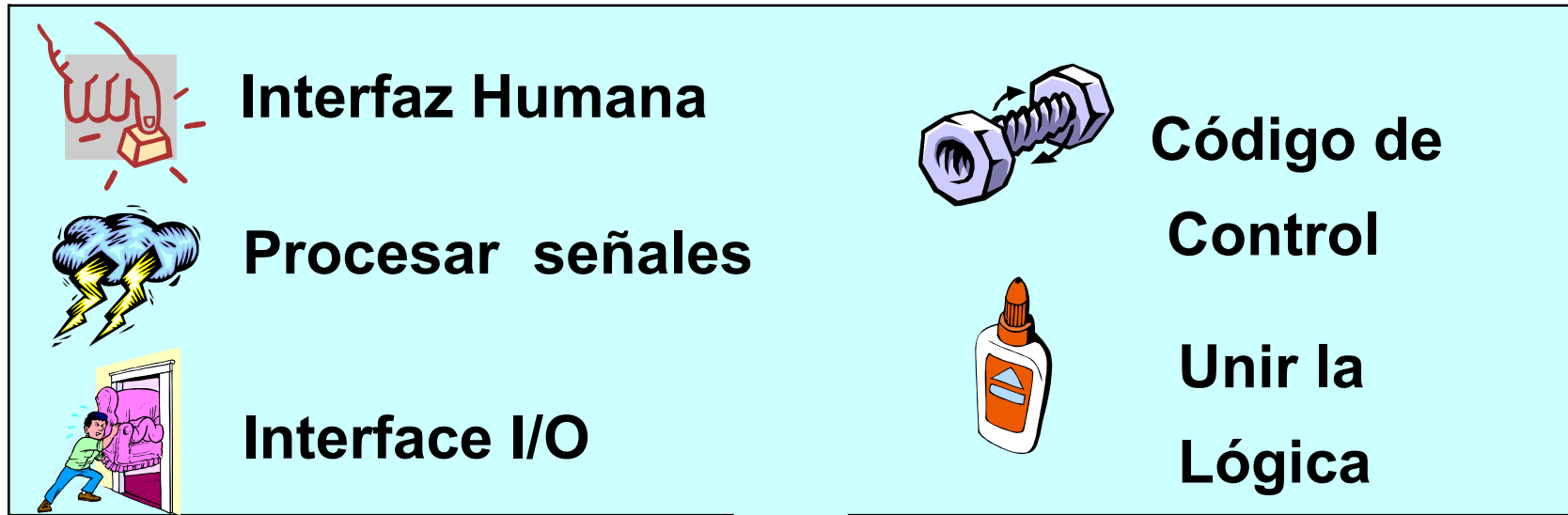


SISTEMA BASICO DE PDS





DESARROLLO DE UNA SOLUCION





¿Porqué procesar digitalmente?

- Existen procesos que son muy difíciles o casi imposibles de realizar por analógicamente
- Ejemplos:
 - Filtros FIR con fase lineal
 - Filtrado Adaptable
- El procesamiento analógico es realizado con: resistores, capacitores, inductores, etc.

La tolerancia inherente de estas componentes, temperatura, cambios de voltaje y vibraciones mecánicas pueden afectar el desempeño de los circuitos analógicos



¿Porqué utilizar DSPs?

- Son flexibles y es fácil realizar cambios en la aplicación
- Los DSPs reducen:
 - La susceptibilidad al ruido
 - La cantidad de chips
 - Tiempo de desarrollo
 - Costos
 - Consumo de potencia



Desventajas de los DSPs

- Las señales de alta frecuencia no pueden procesarse digitalmente porque:
 - Un convertidor Analógico-Digital (ADC) no puede trabajar a “altas velocidades”
 - Una aplicación puede ser difícil de realizarse en “tiempo real”



APLICACIONES DEL PDS y DSPs

PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Convolución
Encriptado, Energía
Codificación, Decodificación
Compresión, Expansión
Procesamiento homomórfico
Ley μ , Ley A, Conversión,
Correlación
Análisis de transitorios

FILTRADO DIGITAL

Respuesta finita al impulso (FIR)
Respuesta infinita al impulso (IIR)
Lattice-Ladder
Windowing
Filtrado adaptable
Eliminación de ruido
Generación de señales

TELECOMUNICACIONES

Modulación
Modems, Telefonía celular
Múltiplexión de canales
Igualación de canal
Cancelación de eco
Video conferencia
Espectro esparcido
Líneas de repetición

ANÁLISIS ESPECTRAL

Transformada rápida de Fourier (FFT)
Transformada discreta de Fourier (DF)
Transformada coseno
Modelo moving average (MA)
Modelo autorregresivo (AR)
Modelo ARMA

PROCESAMIENTO NUMÉRICO

Operaciones matriciales
Funciones trascendentales
Funciones no lineales
generación de números aleatorios
Aproximaciones numéricas

VOZ

Filtrado
Reconocimiento
Texto a voz
Síntesis de voz
Correo de voz
Comandos de voz



APLICACIONES DEL PDS y DSPs

CONTROL

Drives de discos
Máquinas
Impresora laser
Motores
Robots
Servo mecanismos
Control numérico
Monitoreo en línea
Seguridad en accesos

MILITARES

Procesamiento de imágenes
Comandos por voz
Guía de misiles
Navegación
Radar, Sonar
Comunicaciones seguras
Seguimiento de objetos

IMÁGENES

Filtrado
Rotación en 3-D
Animación
Realce
Compresión
Reconocimiento de patrones
Compresión y transmisión
Visión de robots
Estaciones de trabajo

MEDICINA

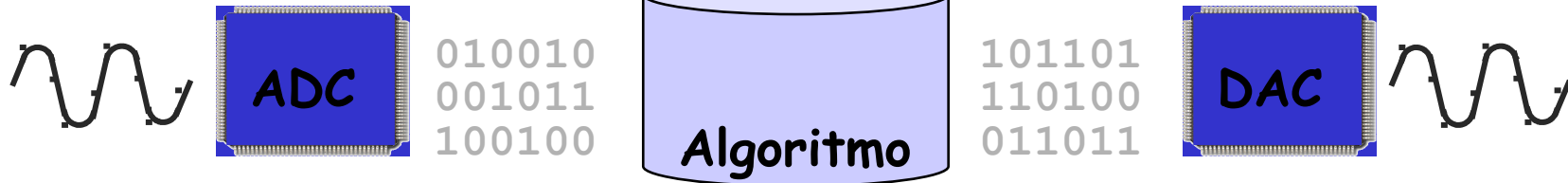
Diagnóstico de equipo
Monitoreo fetal
Monitoreo de pacientes
Equipo de ultrasonido
Prótesis
Equipos para el oído

OTRAS

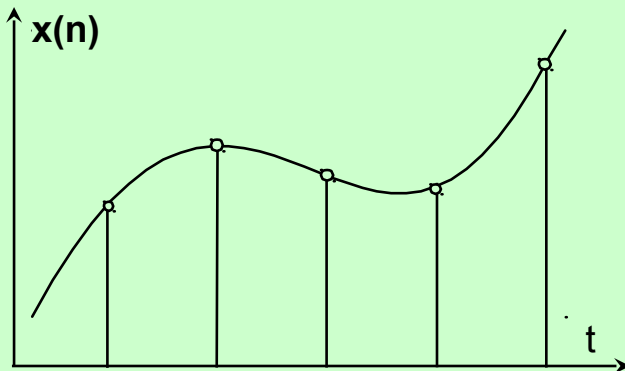
Radio y TV digital
Juguetes
Síntesis de música
Potencia
Máquinas
Detección por radar
Posicionamiento global
Análisis de vibraciones
Detección de minerales
Windowing
Transformada de Hilbert



Algoritmo Básico de PDS



Muestreo de una señal analógica



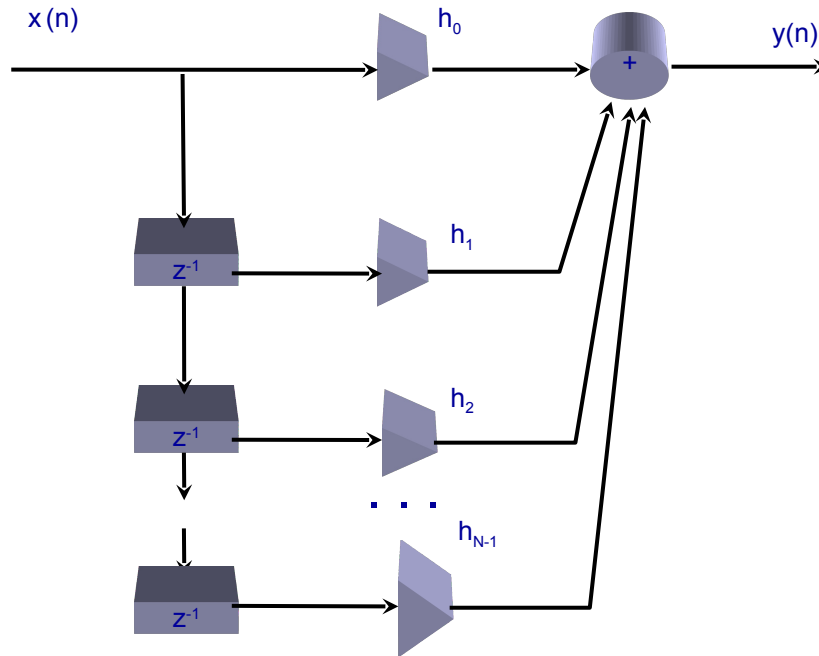
La mayoría de los algoritmos de PDS utilizan la operación convolución:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i)h(n-i)$$

```
for (i = 0; i < N-1; i++) {  
    sum += h[i] * x[i] }  
}
```



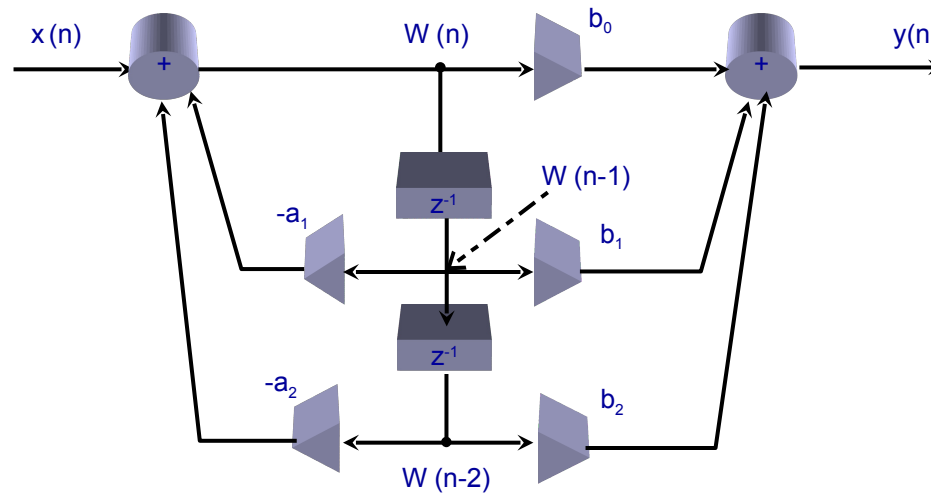
APLICACIONES TÍPICAS DE LOS DSPs, un filtro FIR



$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) x(n-k)$$

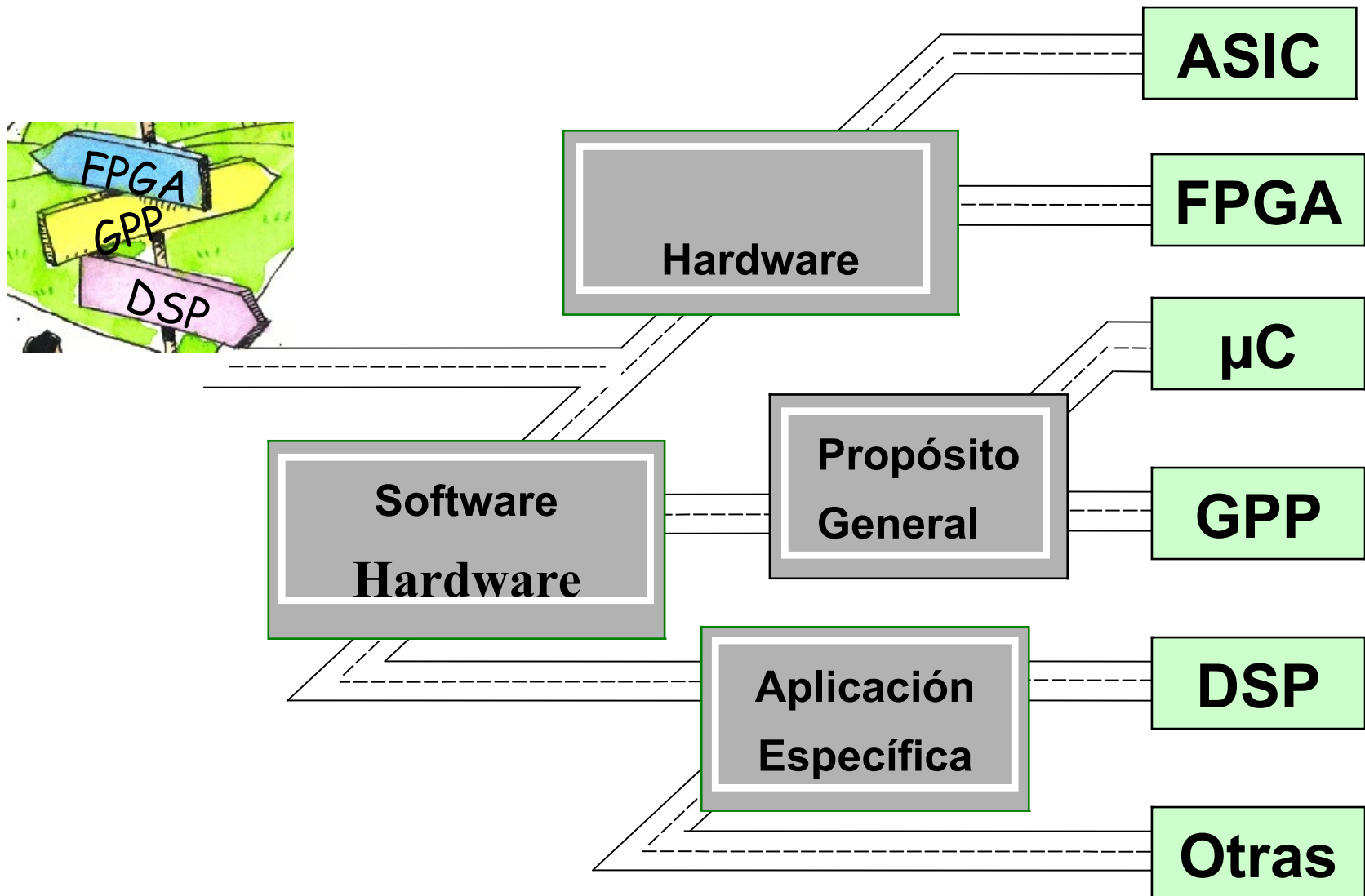


APLICACIONES TÍPICAS DE LOS DSPs, un filtro IIR



$$y(n) = \sum_{i=0}^{q-1} b(i)x(n-i) - \sum_{i=1}^{p-1} a(i)y(n-i)$$

MUCHAS APLICACIONES – MUCHAS SOLUCIONES



Procesadores de Propósito General (GPP)



XSCALE



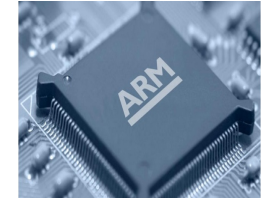
INTEL



Hitachi



PowerPC



FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none">➤ Ambiente de diseño amigable➤ Alto nivel para Sistemas Operativos➤ Periféricos robustos para comunicaciones➤ Capacidad para control y depuración de código
P D S	<ul style="list-style-type: none">➤ De regular a bueno
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">➤ PC, estaciones de trabajo, PDA

Microcontroladores (μ C)



PICs



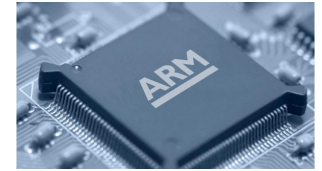
68HC11, 12, 16



MCS51



MSP430



FORTALEZAS

- Buenos periféricos de control
- Intermedio para Sistemas Operativos
- Bajo costo
- Memoria FLASH integrada
- Pueden ser de baja potencia

PDS

- De pobre a regular

Aplicaciones

- Control incrustado, aplicaciones domésticas, autos, etc.

Arreglos de compuertas programables (FPGA)



FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none">➤ Cálculos muy rápidos➤ Excelentes en el diseño de soporte de herramientas➤ Algún CPLD es requerido en algún diseño➤ Capacidad para sintetizar cualquier periférico➤ Fáciles para el desarrollo➤ Flexibles y reprogramables
PDS	<ul style="list-style-type: none">➤ Excelentes por su velocidad y procesamiento en paralelo
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">➤ Unir lógicas, aceleradores de Hardware, radar, arreglo de sensores, diseño de Hardware específico

Procesadores Digitales de Señales (DSPs)



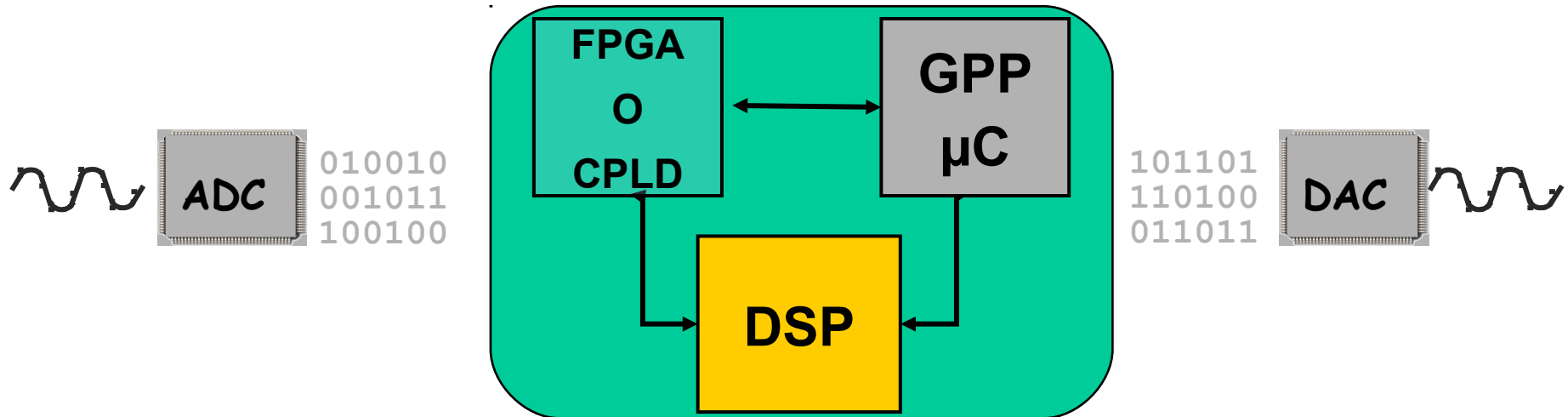
C2000/C5000/C6000

DSP56xxx/StarCore

FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none">➤ Arquitectura optimizada para calcular algoritmos de PDS➤ Excelente relación MIPS / mW / Costo➤ Compiladores Eficientes, se pueden programar todo en C➤ Sistemas Operativos en Tiempo Real➤ Pueden ser de muy baja potencia
PDS	<ul style="list-style-type: none">➤ De buenos a excelentes
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">➤ Tel. Celulares, telecomunicaciones, cámaras digitales➤ DSL/cable/modems, audio/video, multimedia

Sin embargo, las aplicaciones actuales requieren una solución combinada

Solución General de Procesamiento de Señales



- ◆ Cada dispositivo debe realizar muy bien su tarea para alcanzar una mayor eficiencia del sistema en costo/potencia/desempeño
- ◆ En el sistema final existen varios factores para incorporar estos dispositivos:

- Velocidad de muestreo
- Necesidades de memoria/periféricos
- Requerimientos de potencia
- Disponibilidad de los algoritmos
- Transferencia de tareas
- Cantidad de código
- Ambientes de desarrollo
- O/S o RTOS
- Capacidades de depurar
- Costo del sistema



ASIC vs. DSPs

- Application Specific Integrated Circuits (ASICs) son diseñados para una aplicación muy específica.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Alto desempeño• Poca área de silicio• Bajo consumo de potencia• Reducción de ruido en sistemas• Bajo costo del sistema	<ul style="list-style-type: none">• Alta inversión• Poca flexibilidad• Mucho tiempo para su diseño

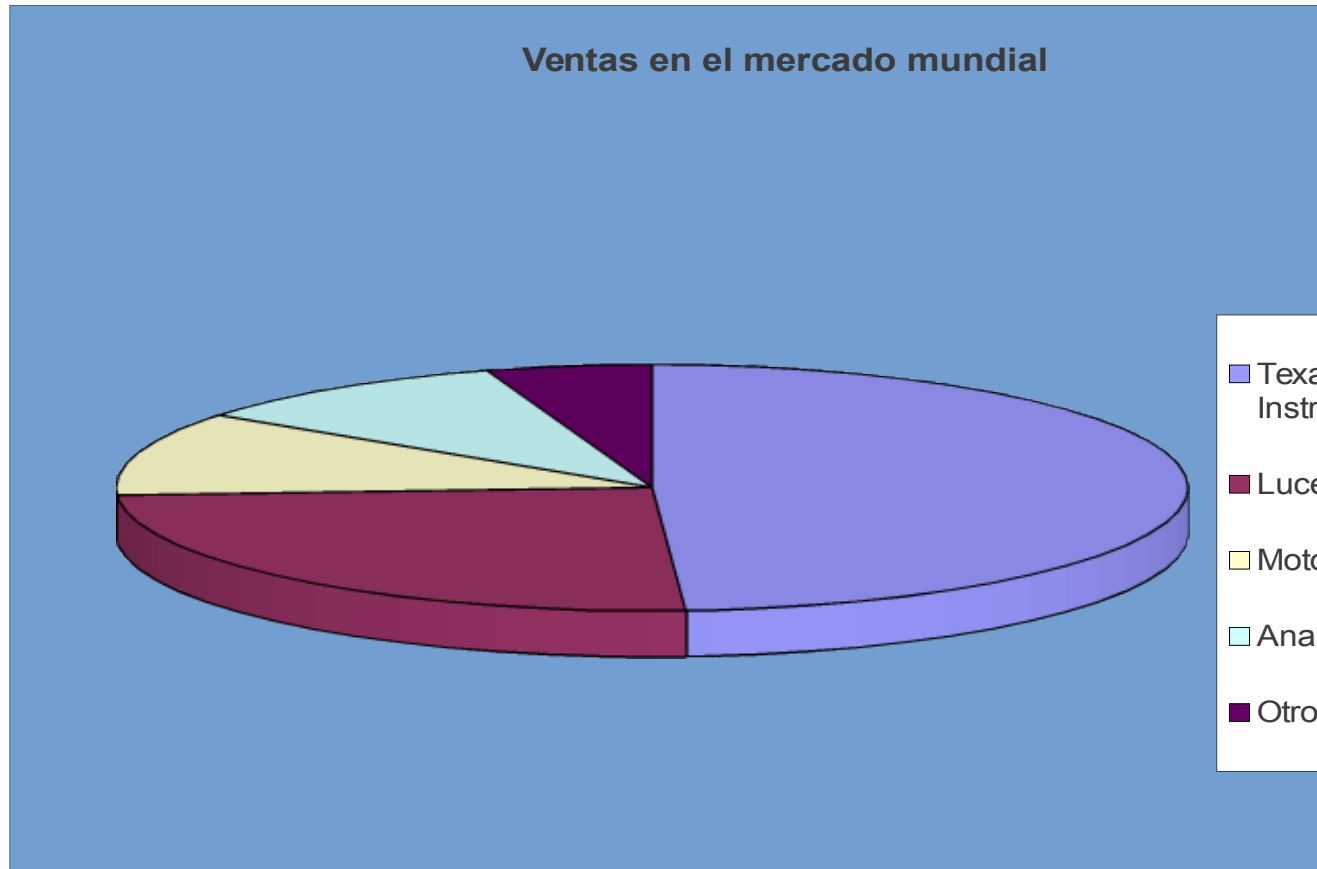


¿Porqué utilizar DSPs?

- Los **DSPs** se utilizan cuando se requiere:
 - Minimizar costos
 - Minimizar tamaños
 - Bajo consumo de potencia
 - Procesar algunas señales de “alta” frecuencia en tiempo real
- Un **procesador GPP** se utiliza cuando se requiere:
 - Mucha memoria
 - Sistemas operativos avanzados



Marcas de DSPs y Mercado

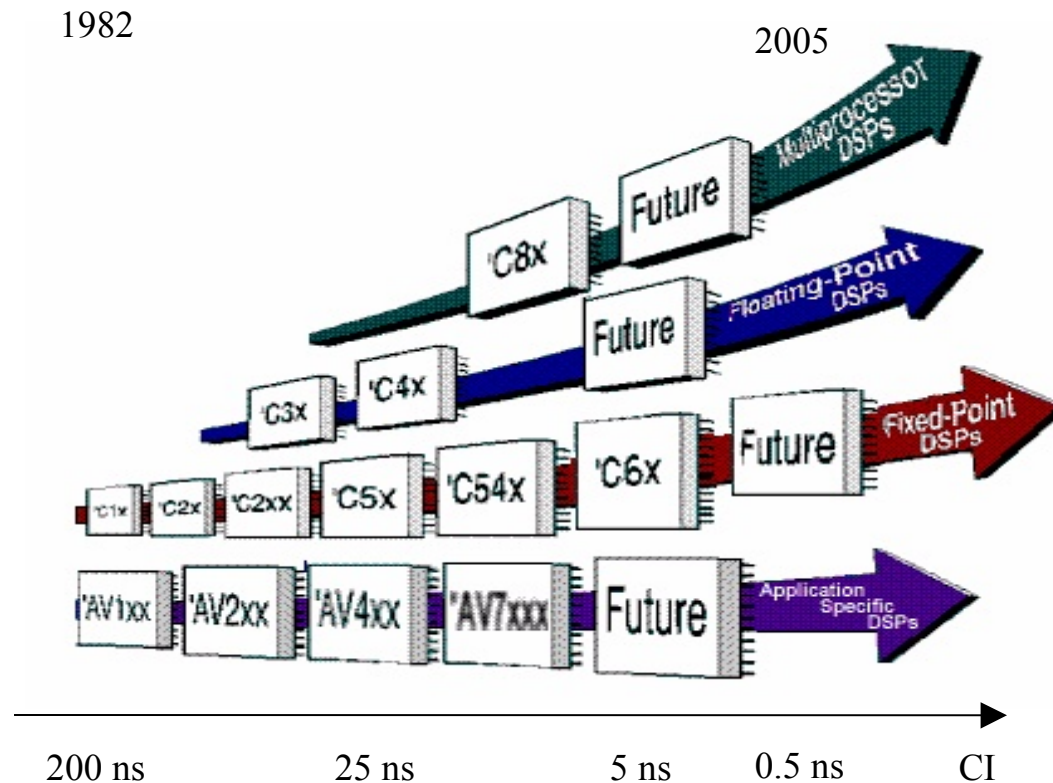


2000



Familias de DSPs

TMS320 de Texas Instruments

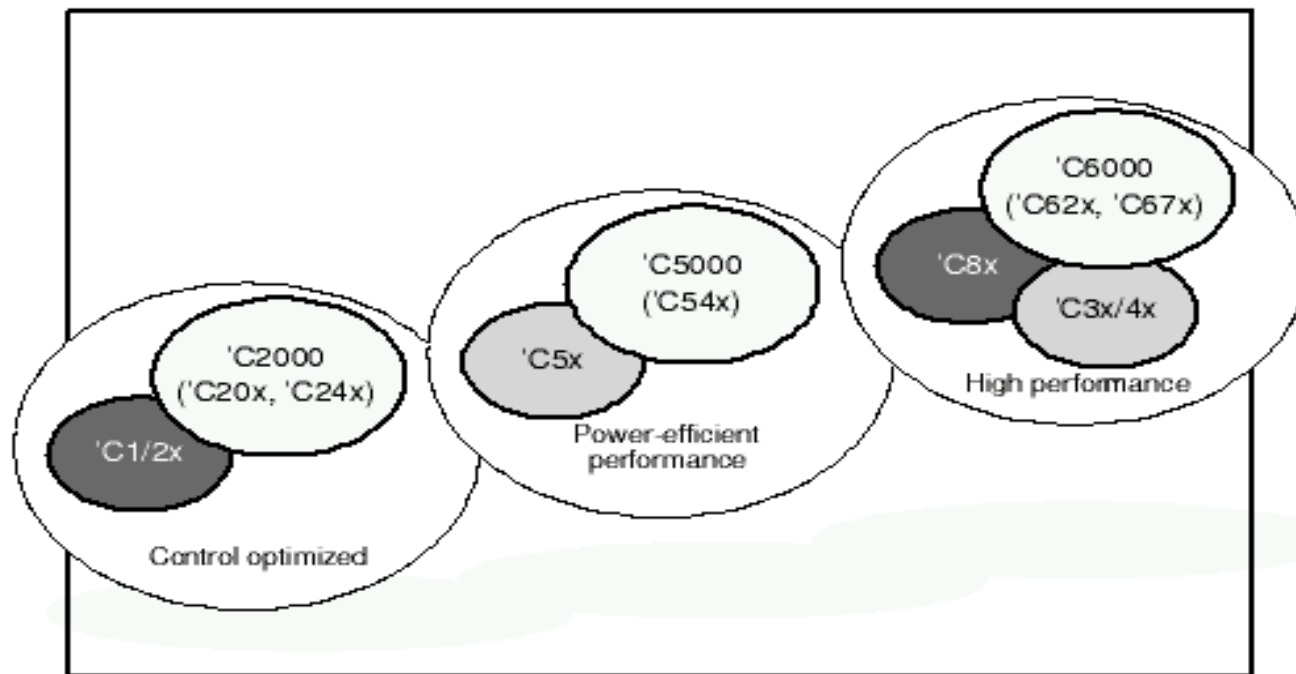




Familias de DSPs

TMS320 de Texas Instruments

TMS320 Family





Familias de DSPs TMS320 de Texas Instruments

C28000

Bajo Costo

Sistemas de control

- ♦ Control de motores
- ♦ Almacenamiento
- ♦ Sistemas de control digital

C5000

Eficiencia

Mayor MIPS por Watt/Dollar/Tamaño

- ♦ Teléfonos celulares
- ♦ Reproductores de MP3
- ♦ Cámaras Digitales
- ♦ Modems
- ♦ Telefonía
- ♦ VoIP
- ♦ Voz

C6000

Alto desempeño

Multi-Canal y Multi-Funciones

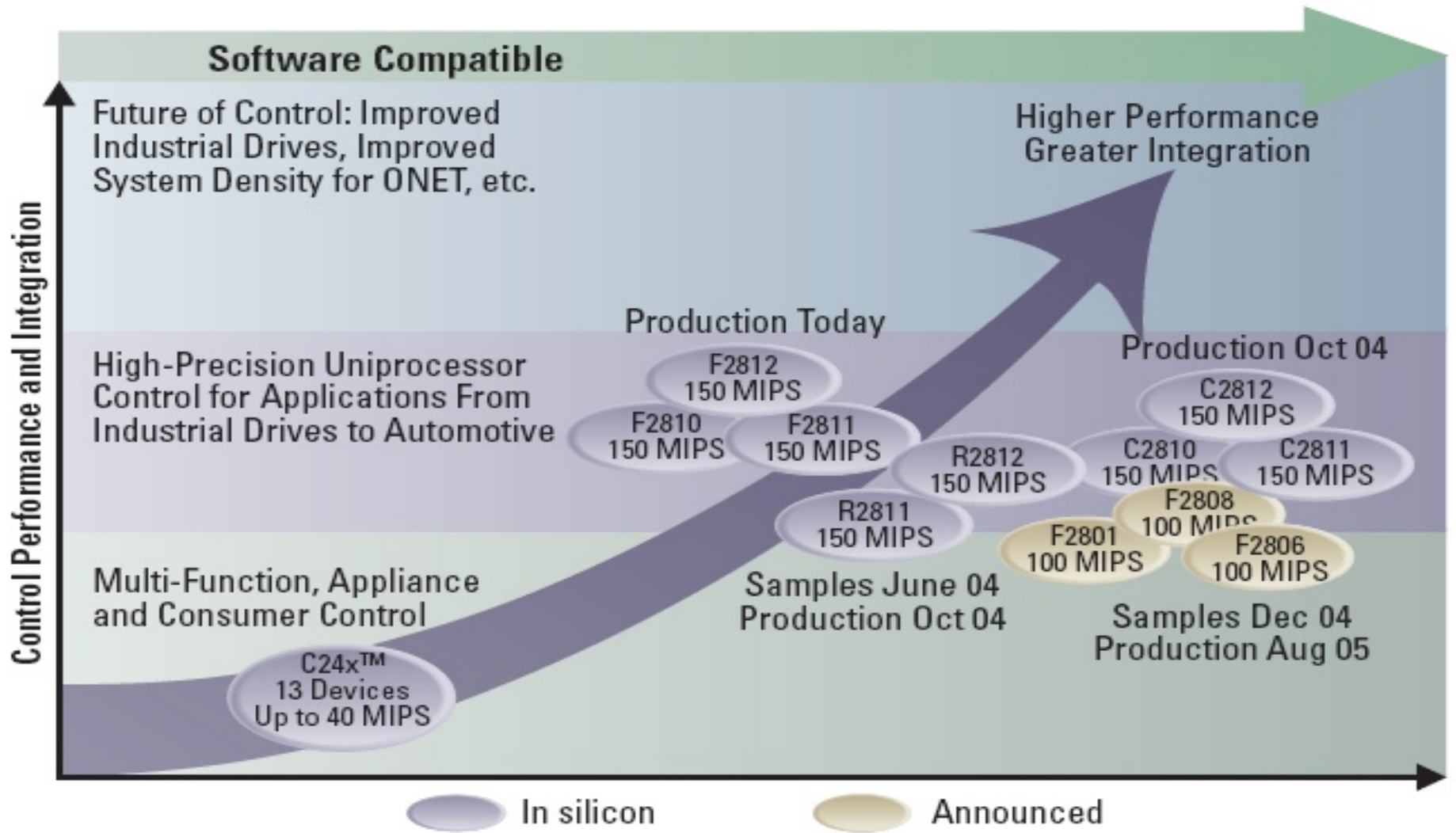
- ♦ Infraestructura de Comunicaciones
- ♦ Estaciones inalámbricas
- ♦ DSL
- ♦ Imágenes
- ♦ Servidores de Multi-media
- ♦ Video

Mundo de los DSPs C2000

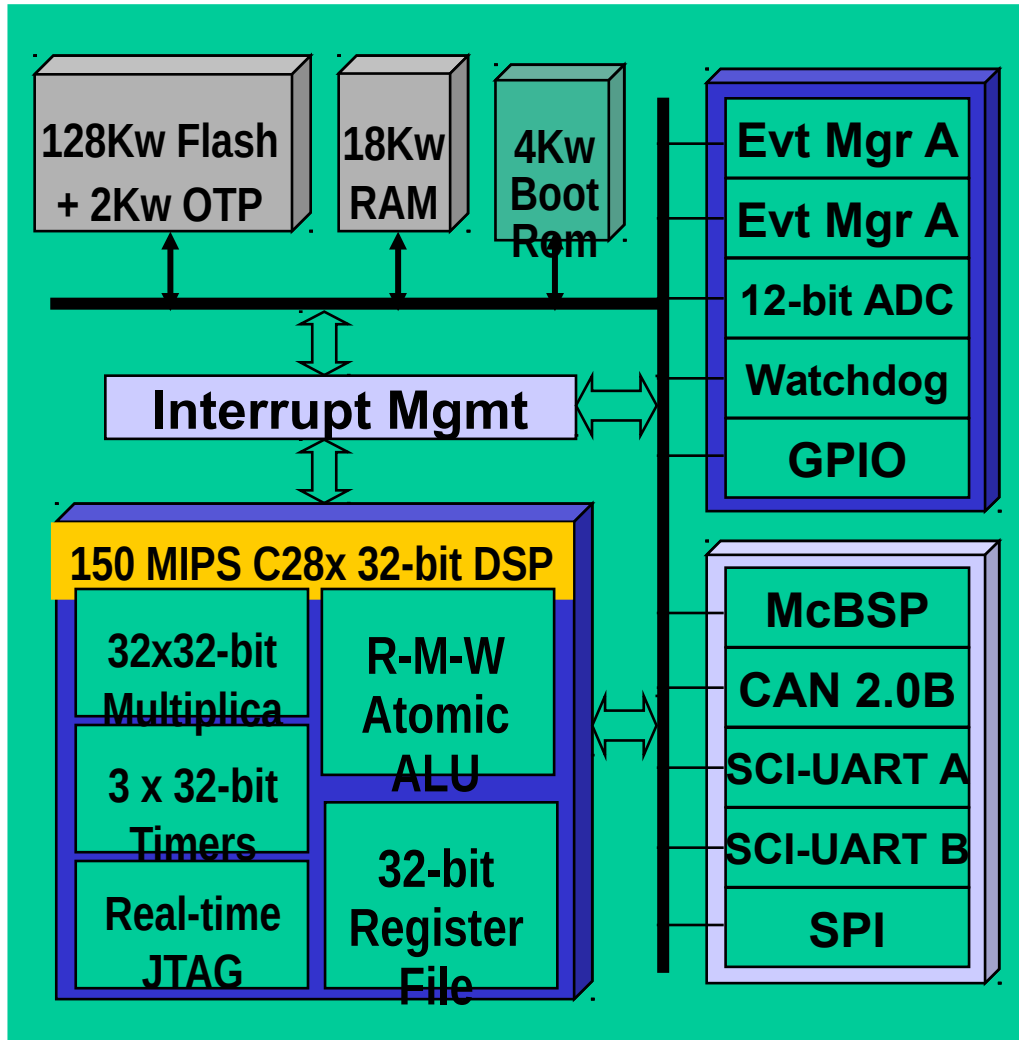


- ◆ **Es el centro de muchas aplicaciones Incrustadas en control**
 - Manejadores de discos
 - Servo-mecanismos
 - Manejadores de motores industriales
 - Fuentes ininterrumpibles de potencia
 - Electrodomésticos
 - Autos
 - ◆ **Es un microcontrolador con un poderoso DSP**
 - ◆ **La nueva generación de DSPs C28x es de código totalmente compatible**
-

Desempeños y comparación de DSPs TMS320



Arquitectura del DSP TMS320F2812



Desempeño y Memoria

- 150 MHz (300 MMACs)
- MAC en un ciclo $32 \times 32 = 32$ MAC (o dos de 16)
- Cero estados de espera para RAM
- Un ciclo para leer-operar-escribir
- 128 K palabras en memoria Flash

Control y Periféricos

- 12.5 MSPS 12-bit ADC (16 canales)
- Auto Secuenciador en 16 conversiones
- Puertos estándares

Aplicaciones Específicas

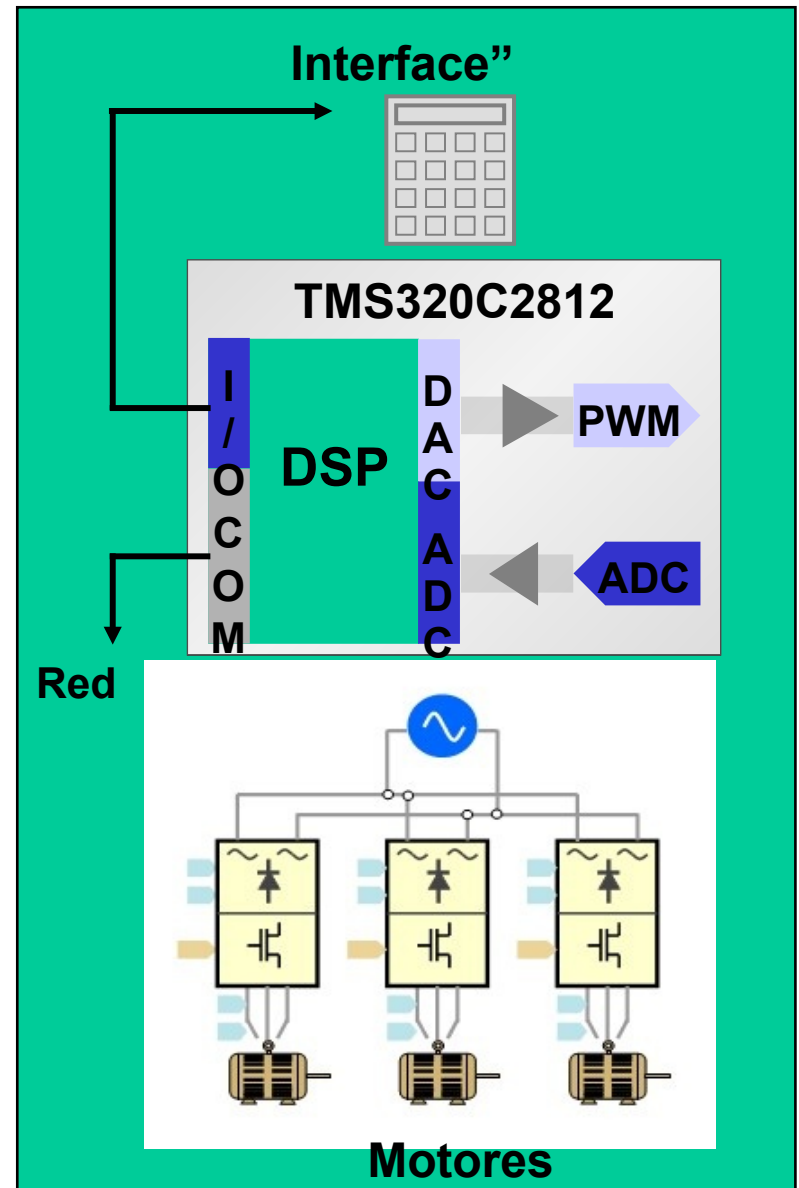
- Consumibles (impresoras, copadoras)
- Autos (motores, sensores, sincronías)
- Medicina (análisis, sensores)
- Industrial (robots, automatización)

Aplicación a control de Motores

- ◆ **Manejo de eventos**
 - Maneja tres salidas PWM
 - Retroalimentación para controlar dirección y velocidad
- ◆ **ADC (12-bit 16 canales)**
 - Mide: voltaje, corriente, temperatura, presión, factor de potencia
- ◆ **Comunicación I/O**
 - Envía información a una red CAN
 - Utiliza: GPIO, McBSP, SPI

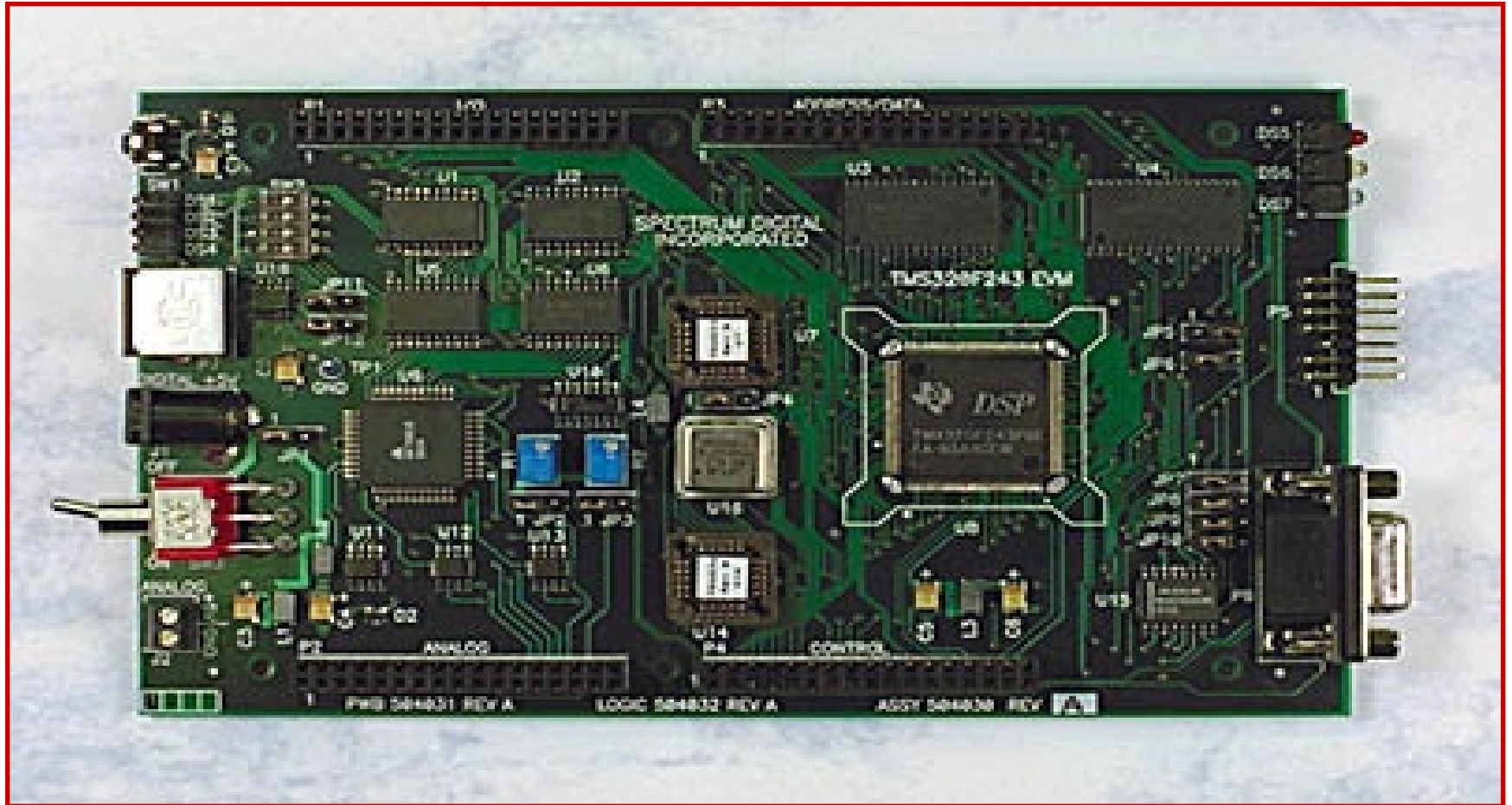
Algoritmos

- basados sobre el tipo de motor
- PID, filtrado adaptable, control difuso





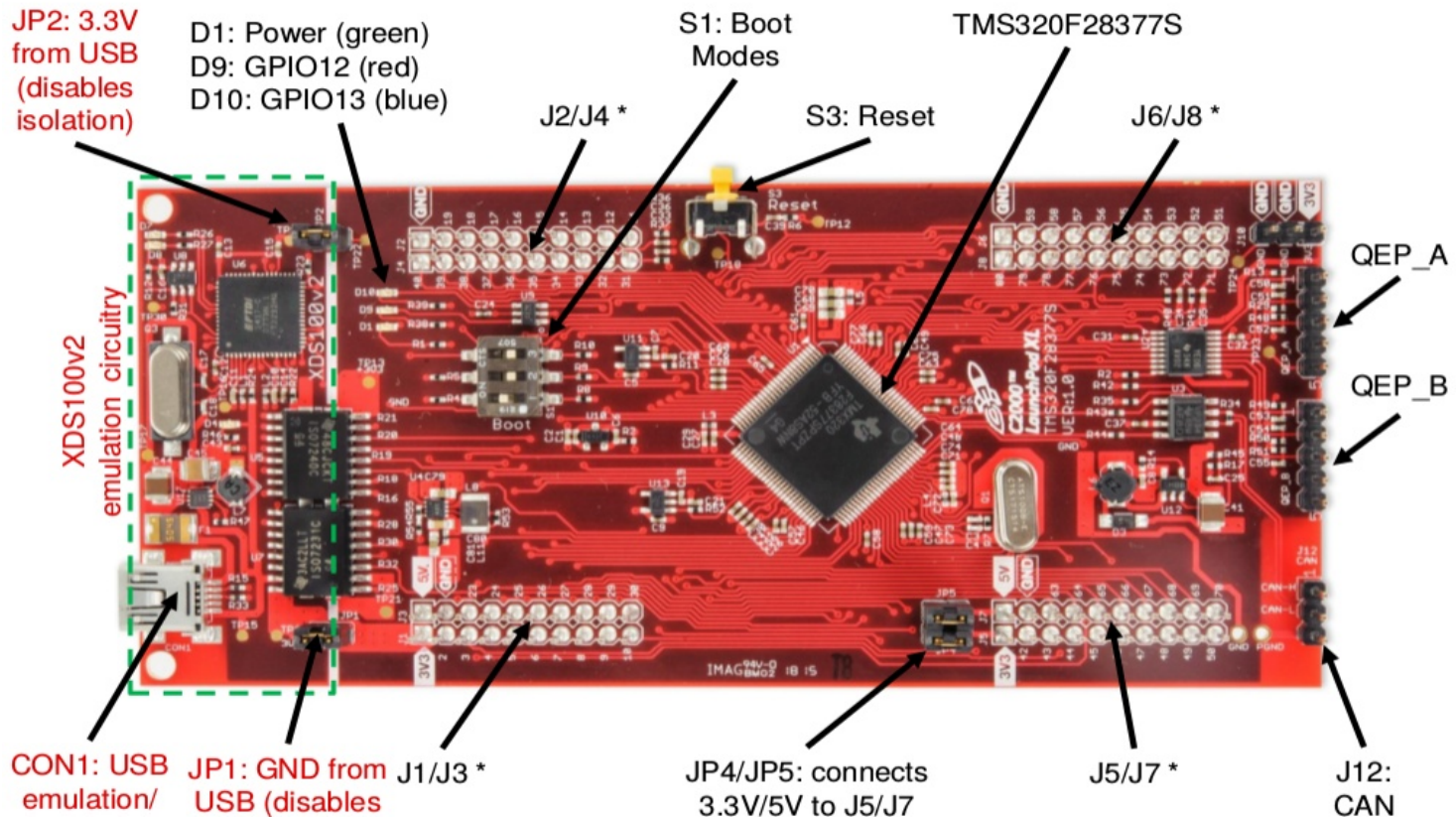
Tarjeta de Desarrollo del DSP TMS320C243





Tarjeta de Desarrollo del DSP TMS320F28377s

F28377S LaunchPad





C5000 DSPs

Mundo de los DSPs C5000

- ◆ El mundo de los DSPs más eficientes en manejo de potencia

- ◆ Los DSPs más populares

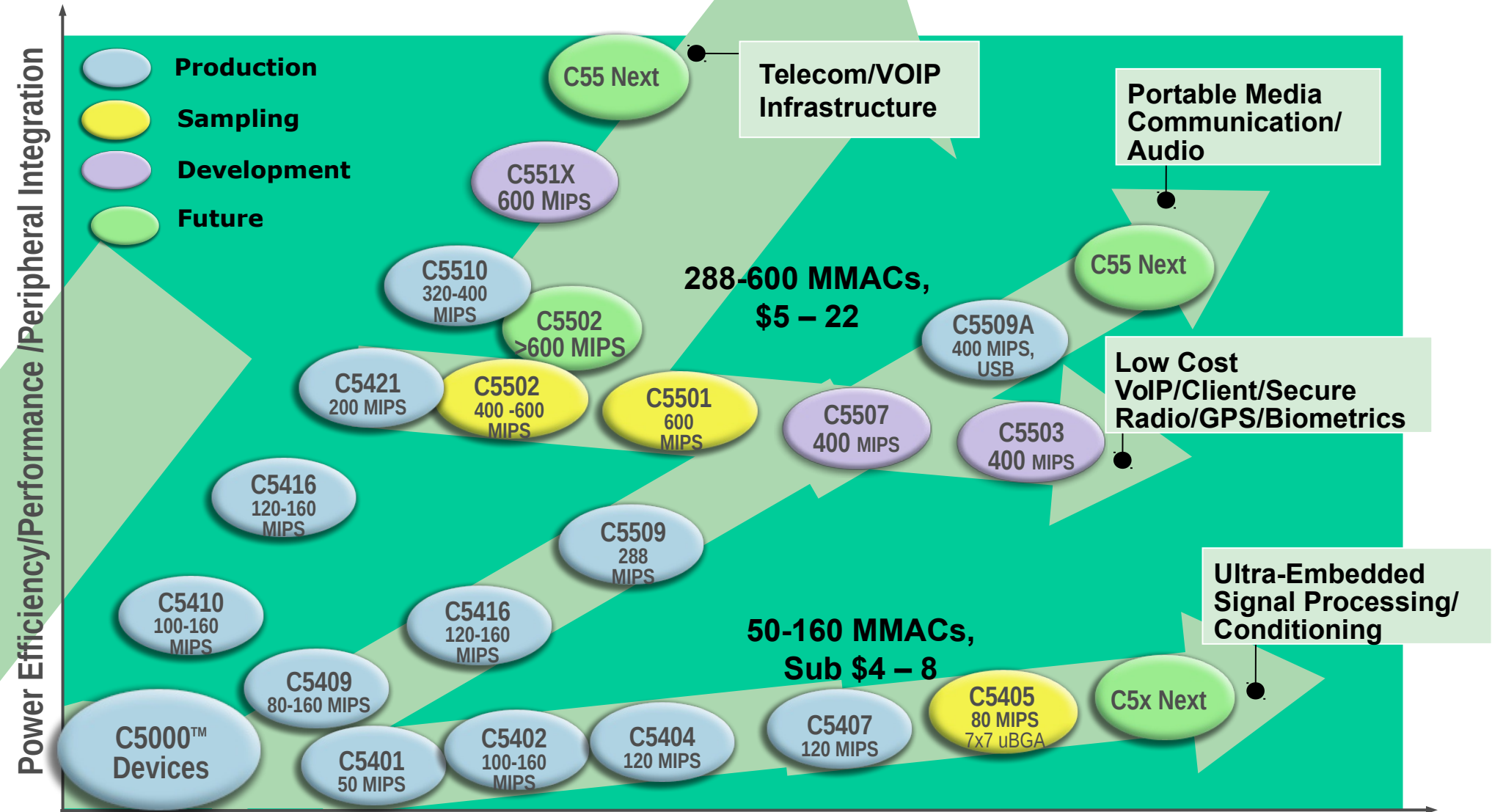
- Más de un un billon vendidos

- ◆ El corazón de la mayoría de aplicaciones portátiles

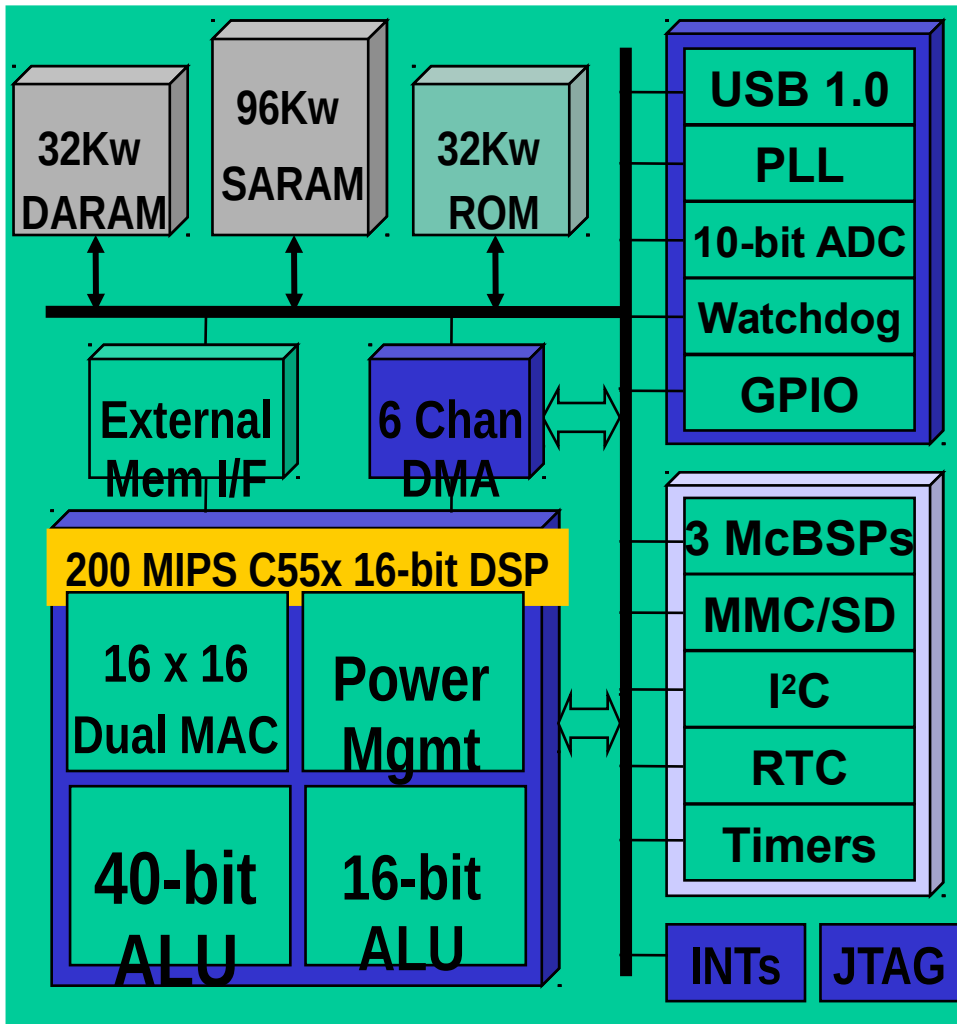
- Terminales inalámbricas, radios, aplicaciones GPS
- Cámaras, scanners
- Analizadores de huellas digitales
- Internet, audio y reproductores MP3
- Teléfonos celulares
- Redes



Desempeños y comparación de DSPs TMS3205000



Arquitectura TMS320VC5509



Desempeño y Memoria

- 200 MHz (400 MMACs)
- Dos MACs (16x16) en un ciclo de Ins.
- Cero estados de espera, DARAM
- Interfaz EMIF de 32-bit
- 24k Instrucciones en Cache

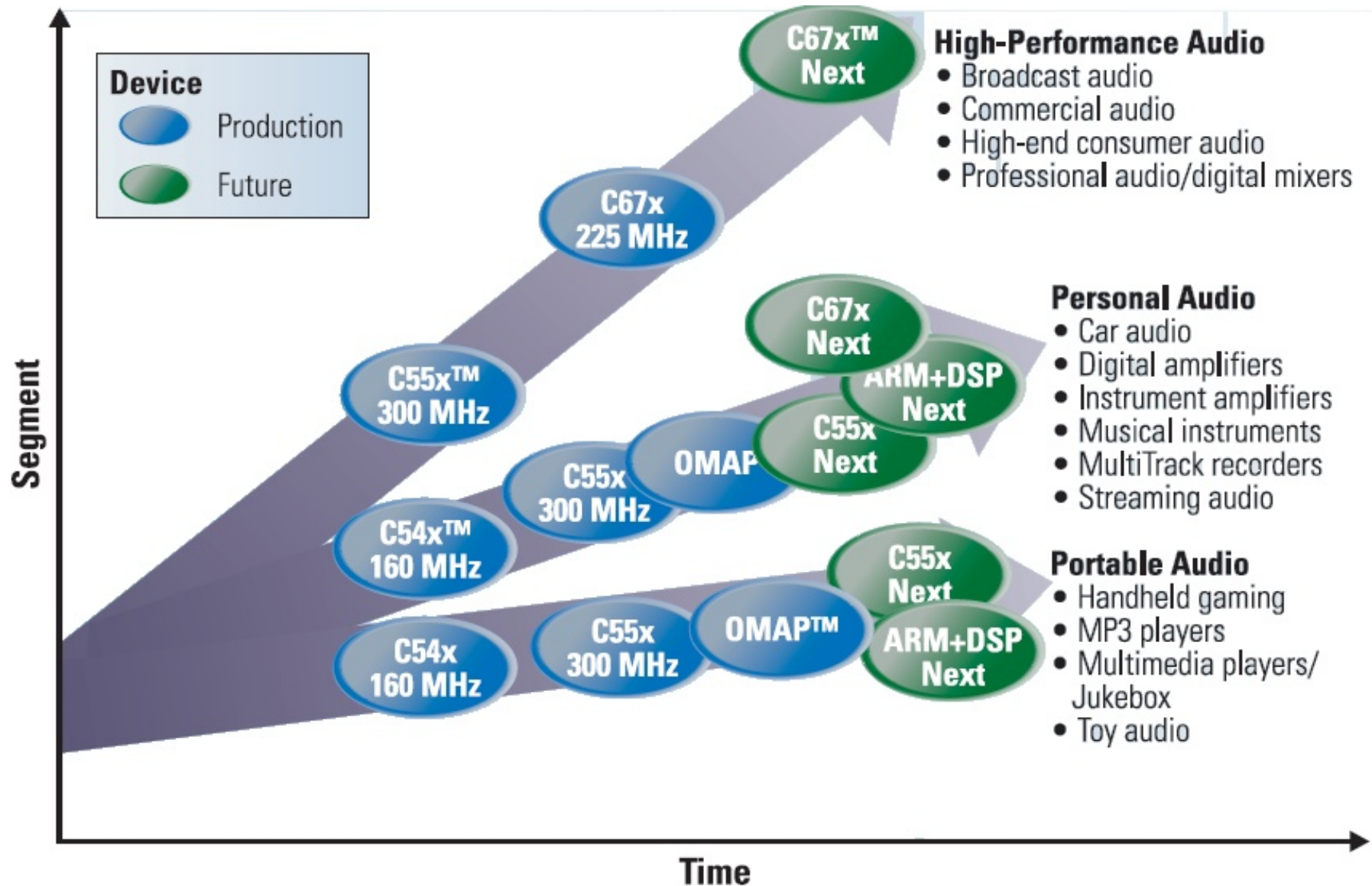
Comunicaciones

- 6 Canales de DMA
- ADC de 10 bits con $t_c = 500 \text{ ns}$
- Multimedia
- Interfaz USB, reloj de tiempo real, I²C

Aplicaciones

- Equipos portátiles
- Consumibles (MP3, cámaras digitales)
- Seguridad, VoIP, fax, modem

Desempeños y comparación de DSPs TMS320



Aplicación: Análisis de huella digital

◆ Perifericos

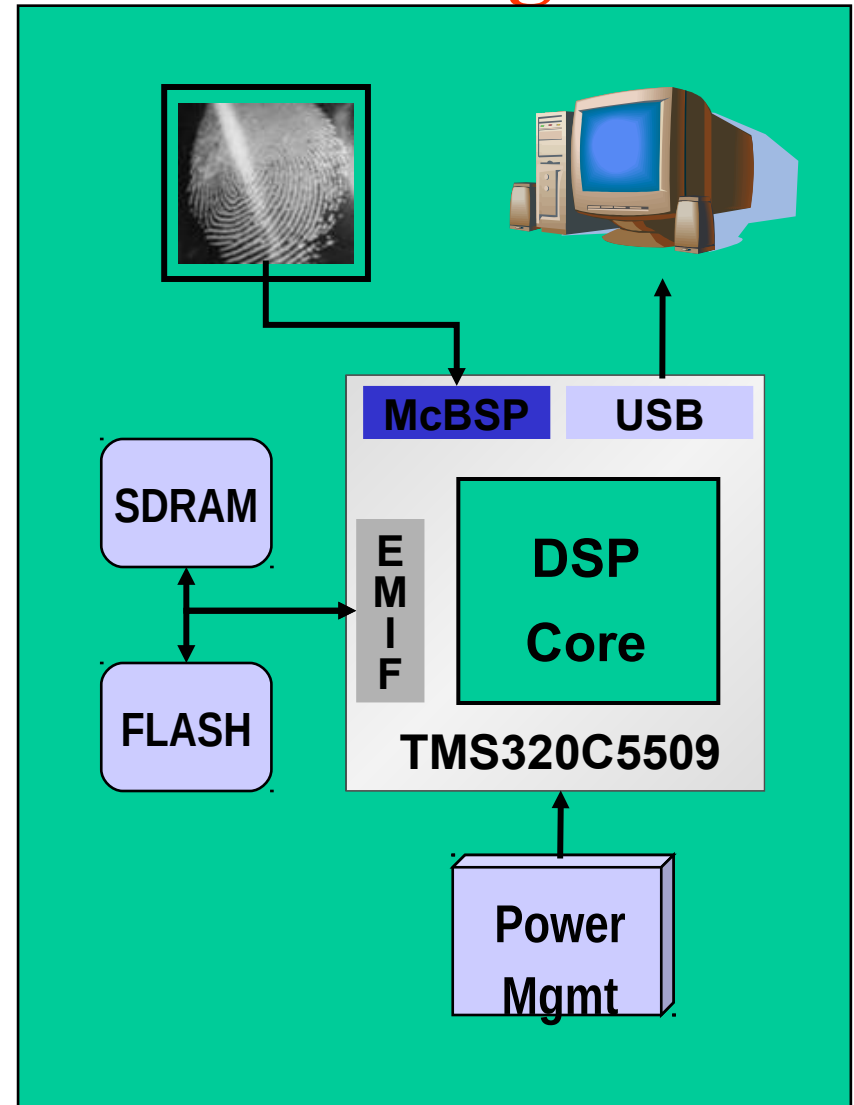
- McBSP: para capturar datos del sensor
- USB: Pasa datos al host para autentificarlos

◆ Memoria

- FLASH: Para datos imagen de la huellas
- SDRAM: captura de la huella

Algoritmos de Imágenes

- Compresión (JPEG, etc)
- Realce de imágenes
- Extracción de características
- Reconocimiento



Familia de DSPs C5000

C55x™ DSP



EDN 2000 DSP

DSP Product of the Year
Internet Telephony

Best DSP
Microprocessor Report

C54x™ DSP

World's Most Popular DSP
Over 500 Million Shipped
\$5 Billion in Design-ins

Multicore
DSP RISC

C55x™
Multicore

C55x™ DSP
+ RISC

C5441
532 MIPS

C5421
200 MIPS

C5420
200 MIPS

C5471
C54x™+ARM7

C5470
C54x™+ARM7

C55x™ DSP

C5510
320-400
MIPS

C5509
288-400
MIPS

C5502
400 MIPS

C5409
80-160
MIPS

C5410
100-160
MIPS

C5416
120-160
MIPS

C5401
50 MIPS

C5402
100-160
MIPS

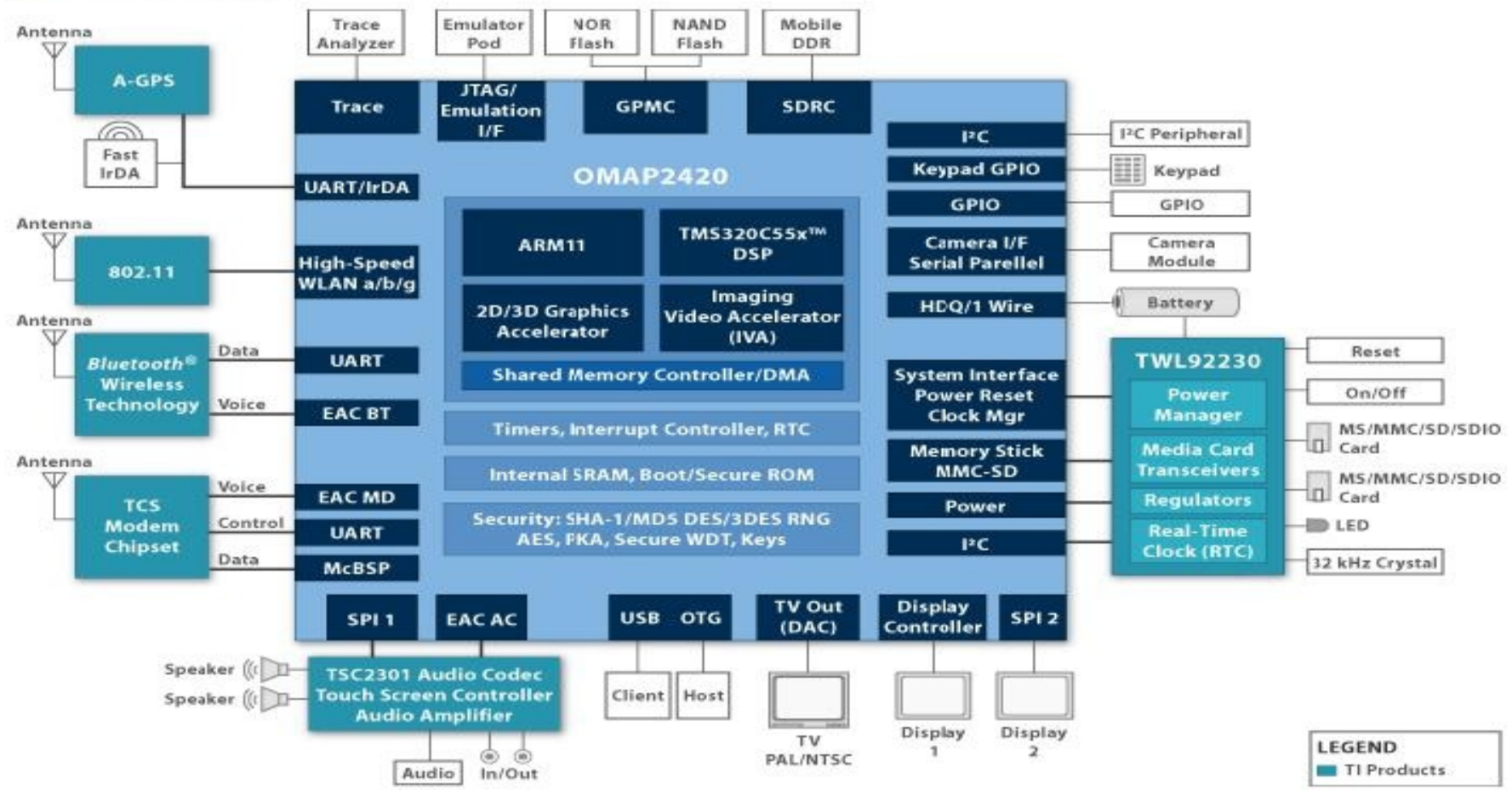
C5404
120
MIPS

C5407
120 MIPS



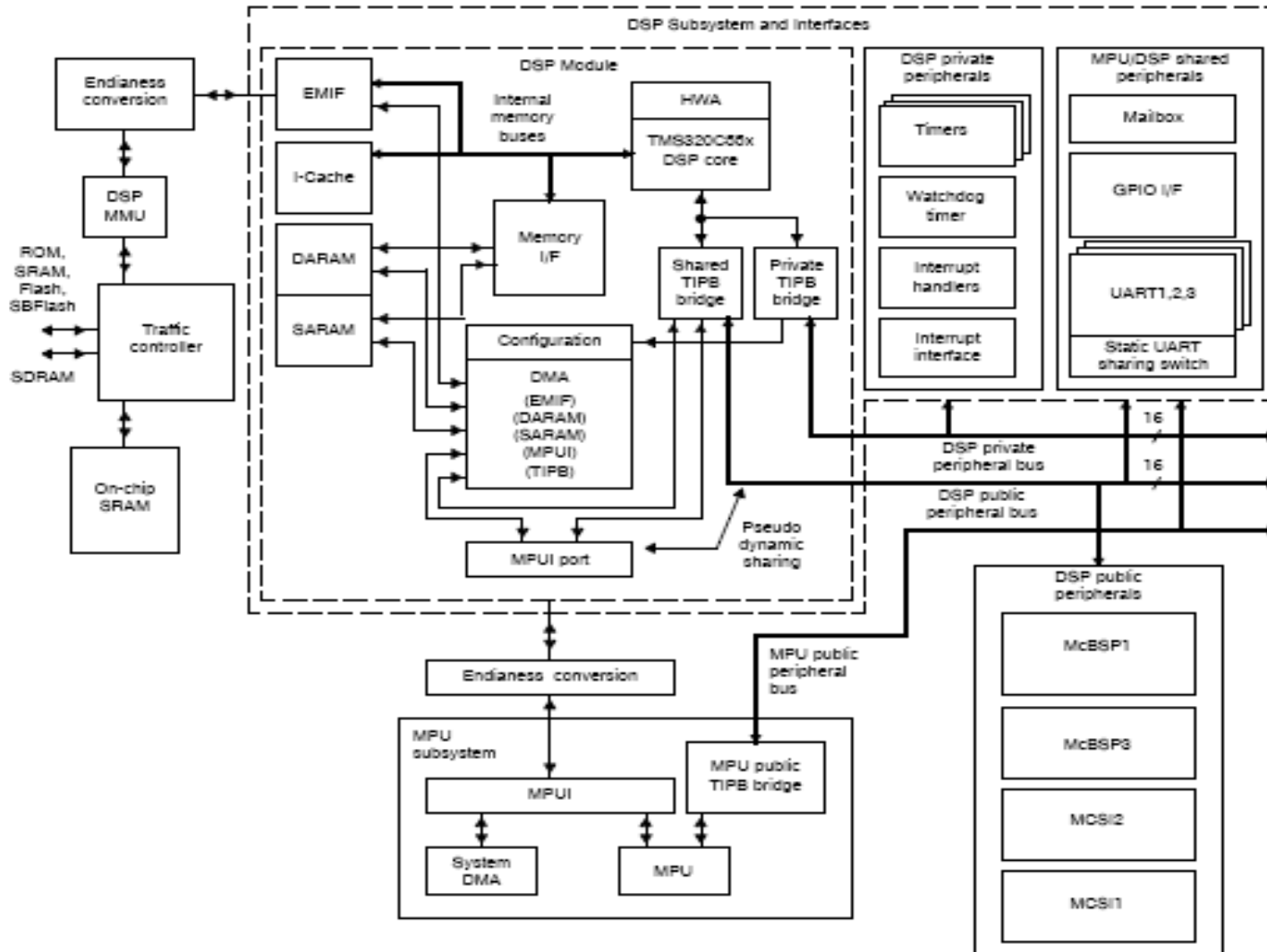
SISTEMA DE COMUNICACIONES CON OMAP 2420

High-Performance: OMAP2420



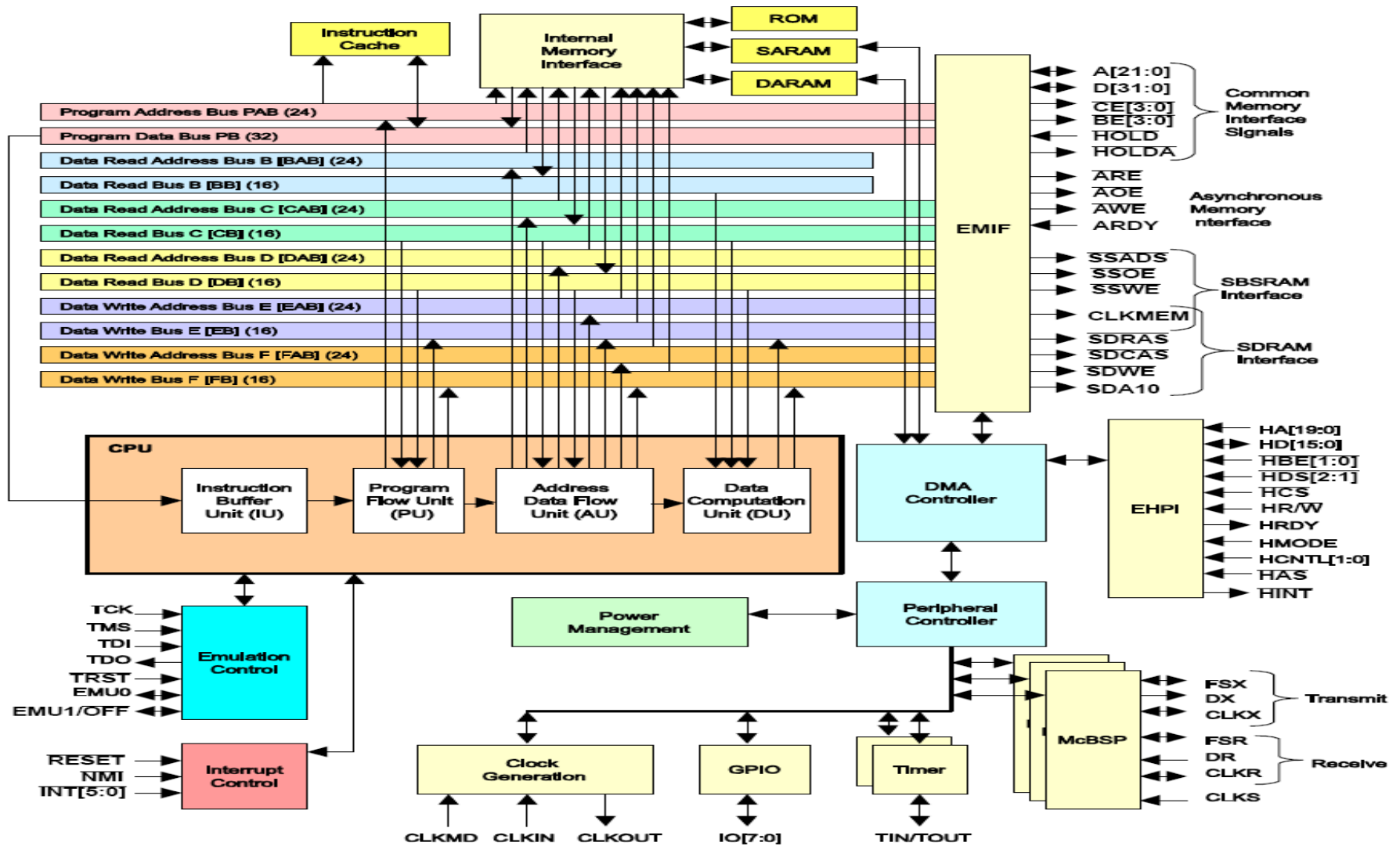


OMAP 5910



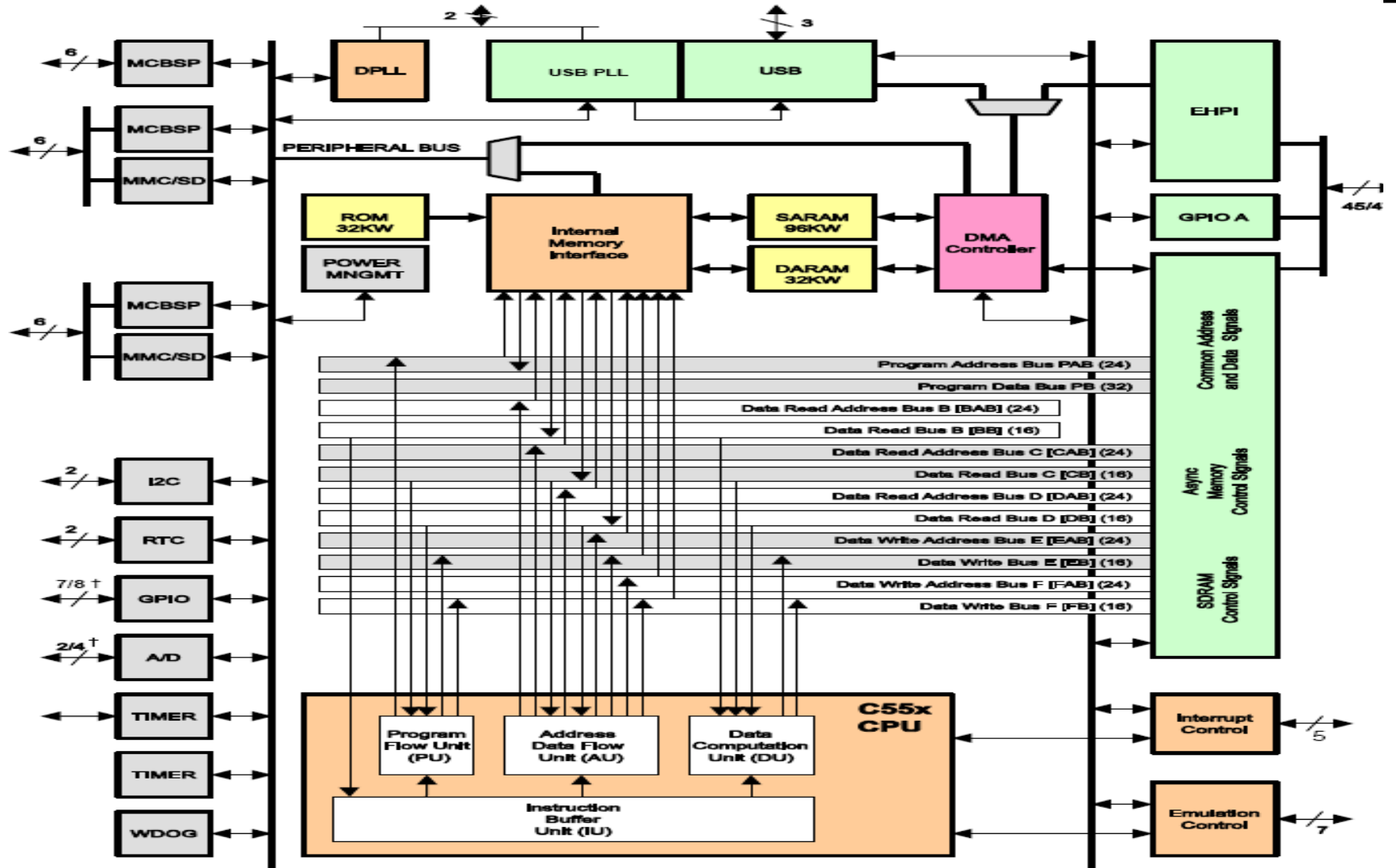


ARQUITECTURA DEL DSP TMS320C5510





ARQUITECTURA DEL DSP TMS320C5509





TARJETA DEL DSP TMS320C5402





C6000 DSPs

Mundo de los DSPs C6000

◆ El mundo de los DSPs de alto desempeño

- Velocidades de hasta 1GHz

◆ Es el centro de nuevas soluciones para comunicaciones de gran ancho de banda y comunicaciones de equipos de video

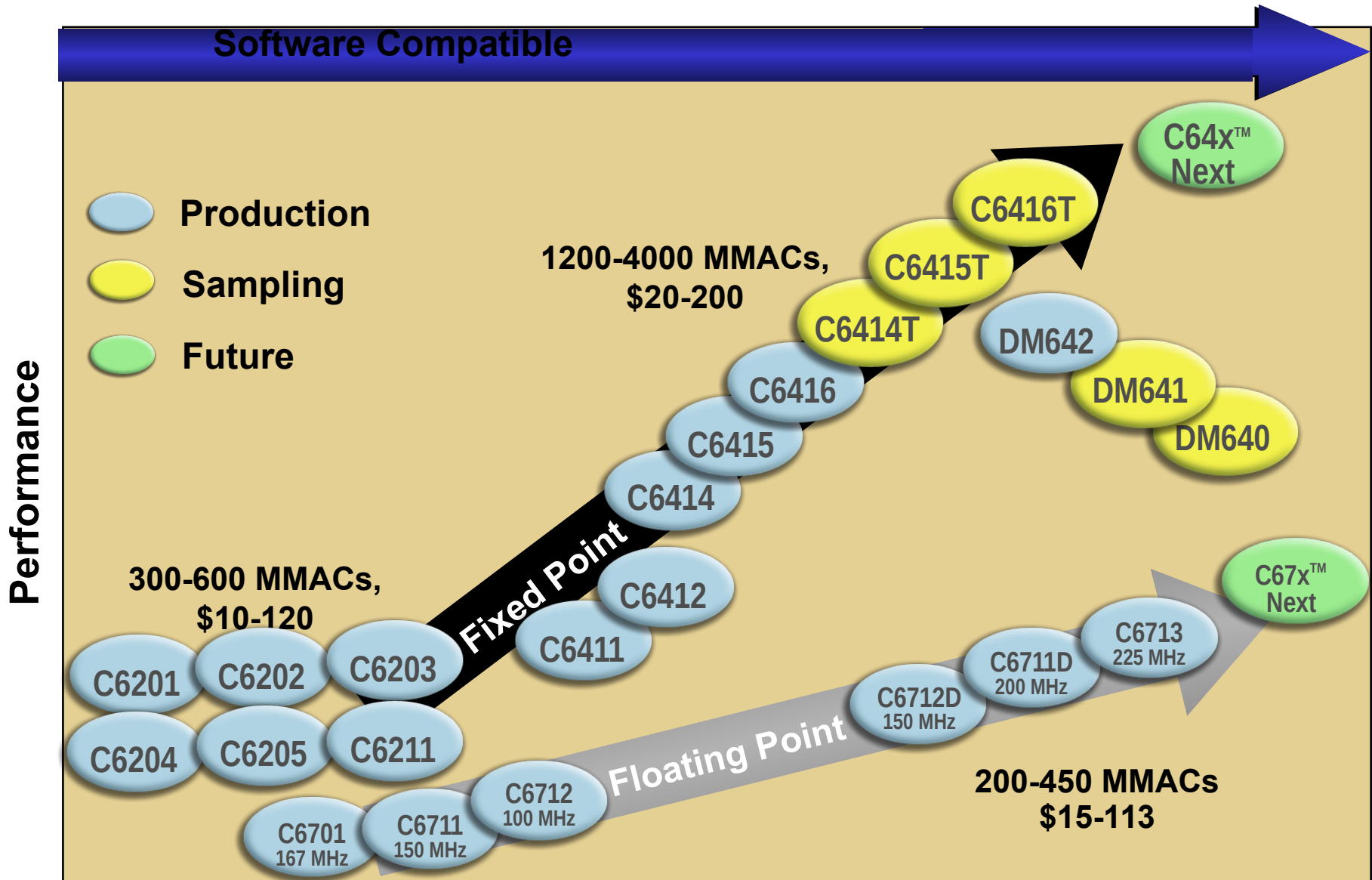
- Estaciones de sistemas inalámbricos
- DSL
- Radio digital
- Servidores de Imágenes y video

◆ Millones vendidos

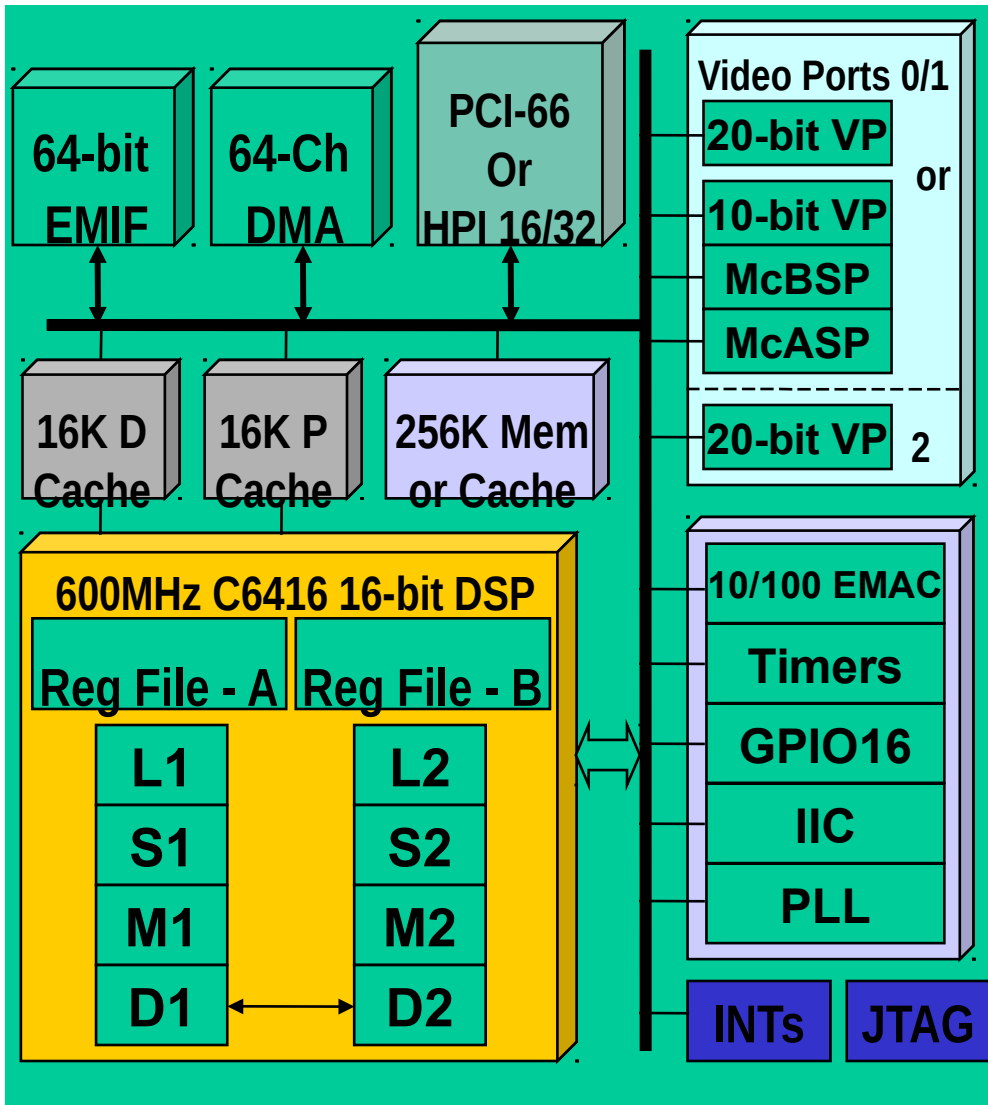
◆ Las nuevas generaciones de DSPs C64x DSP son totalmente compatibles en código



Desempeños y comparación de DSPs TMS3206000



Arquitectura del DSP TMS320DM642



Desempeño y Memoria

- 600 MHz (4800 MMACs a 8 b), 1.2-1.4V
- 16KB L1 de cache para programa y dato
- 256KB L2 de cache o memoria interna
- 64-bit EMIF

Comunicaciones

- Puertos de captura/despliega video
- 64-CH DMA
- 10/100 Ethernet MAC
- McASP – 8 canales para audio stereo

Aplicaciones

- Video, video digital
- IP video telefono
- Juego interactivos, transmisión de video

Aplicación: Vigilancia por Video

◆ I / O

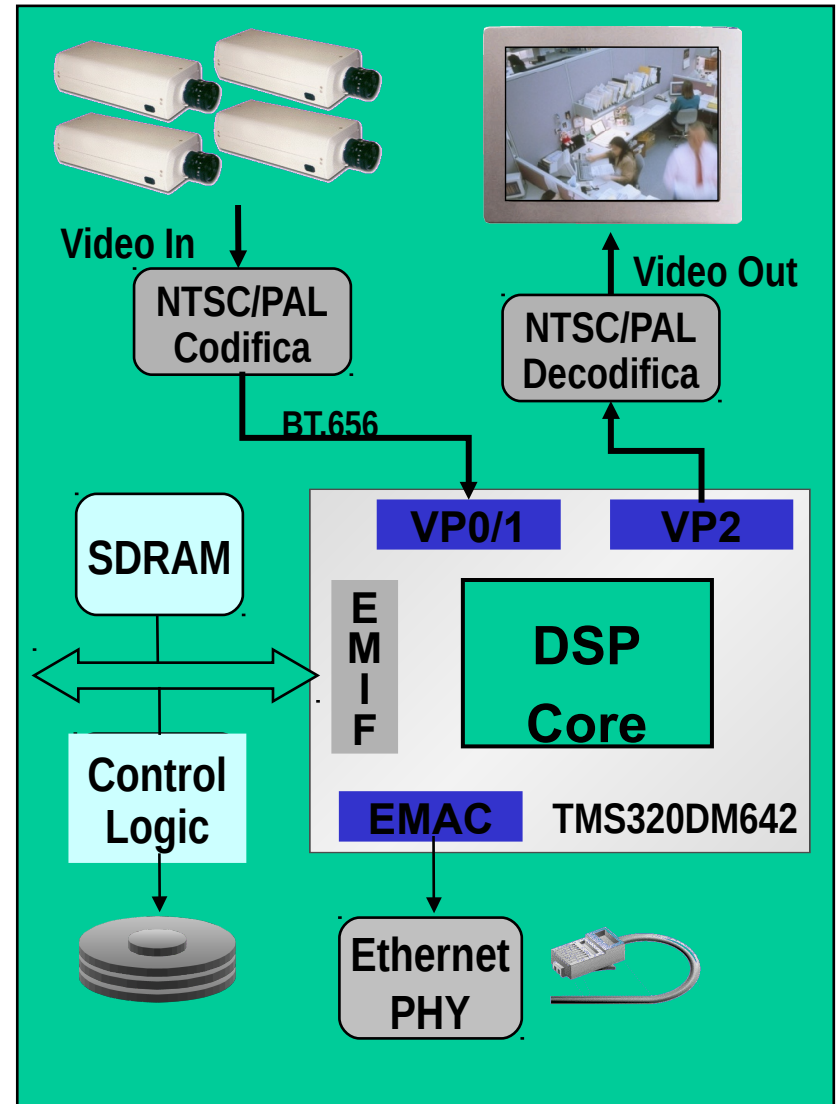
- Codifica / decodifica: analogo ↔ digital
- EMAC: Salida de video a red Ethernet 10/100 Mbs
- VP0/1: captura/almacena/envía audio y video digital

◆ Memoria

- SDRAM: Para algoritmos de codificación
- Memoria interna: para algoritmos críticos y datos
- Lógica de control: interfaz a HDD

Algoritmos de video

- Decodificador MPEG4 (hasta 4 canales a 720x480 pixels, 30 cuadros/s)
- Posible encode/decode MPEG4 simultáneo
- Encriptado de Video
- Formateo y análisis de video

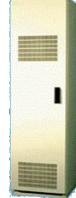


Otros dispositivos recientes de TI

C6416



- Coprocesador Viterbi (hasta 500 canales de voz a 8kbps)
- Turbo coprocesador (hasta 35 canales de datos 384 kbps)
- Sistema wireless/telecom



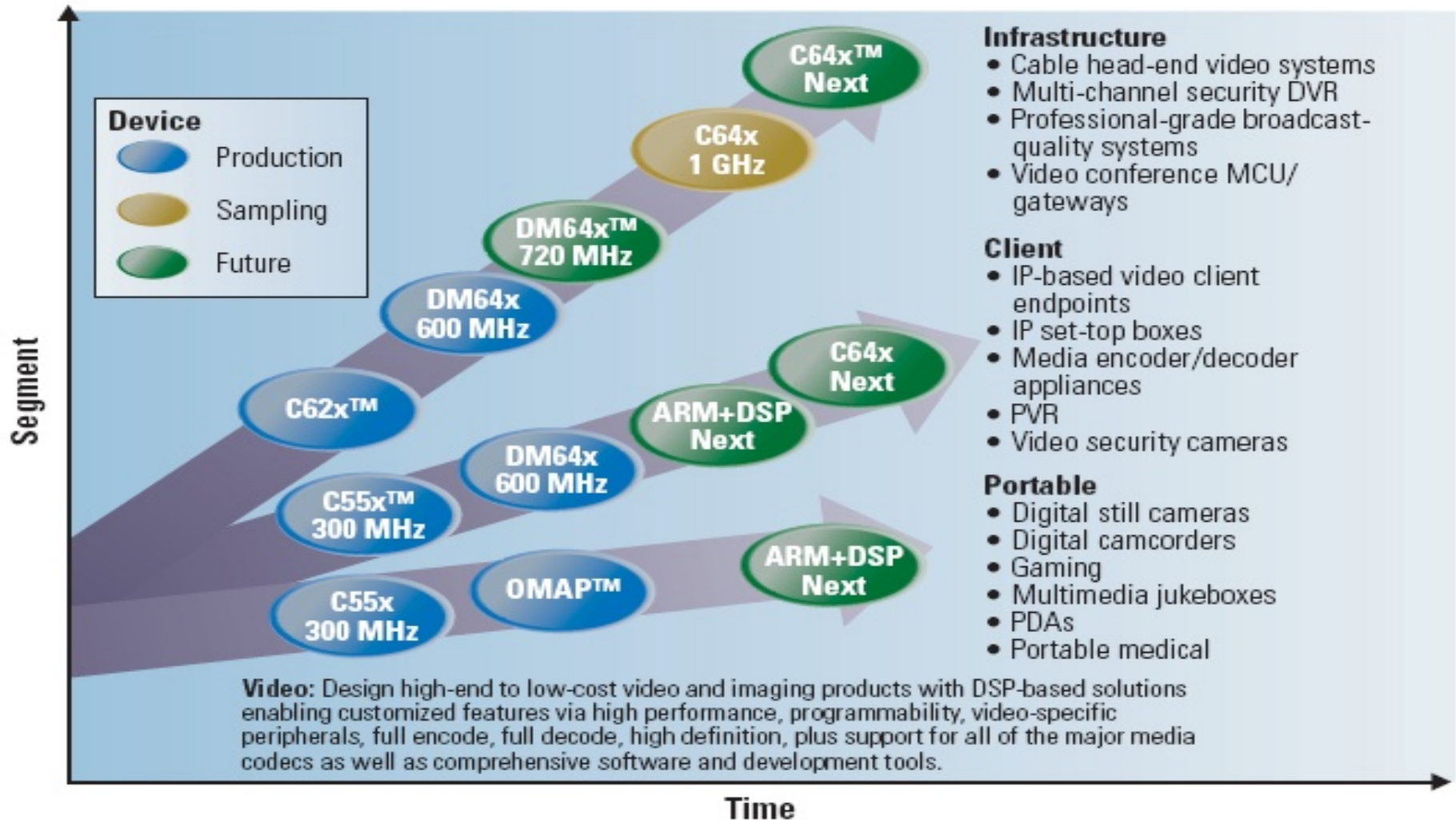
C6713



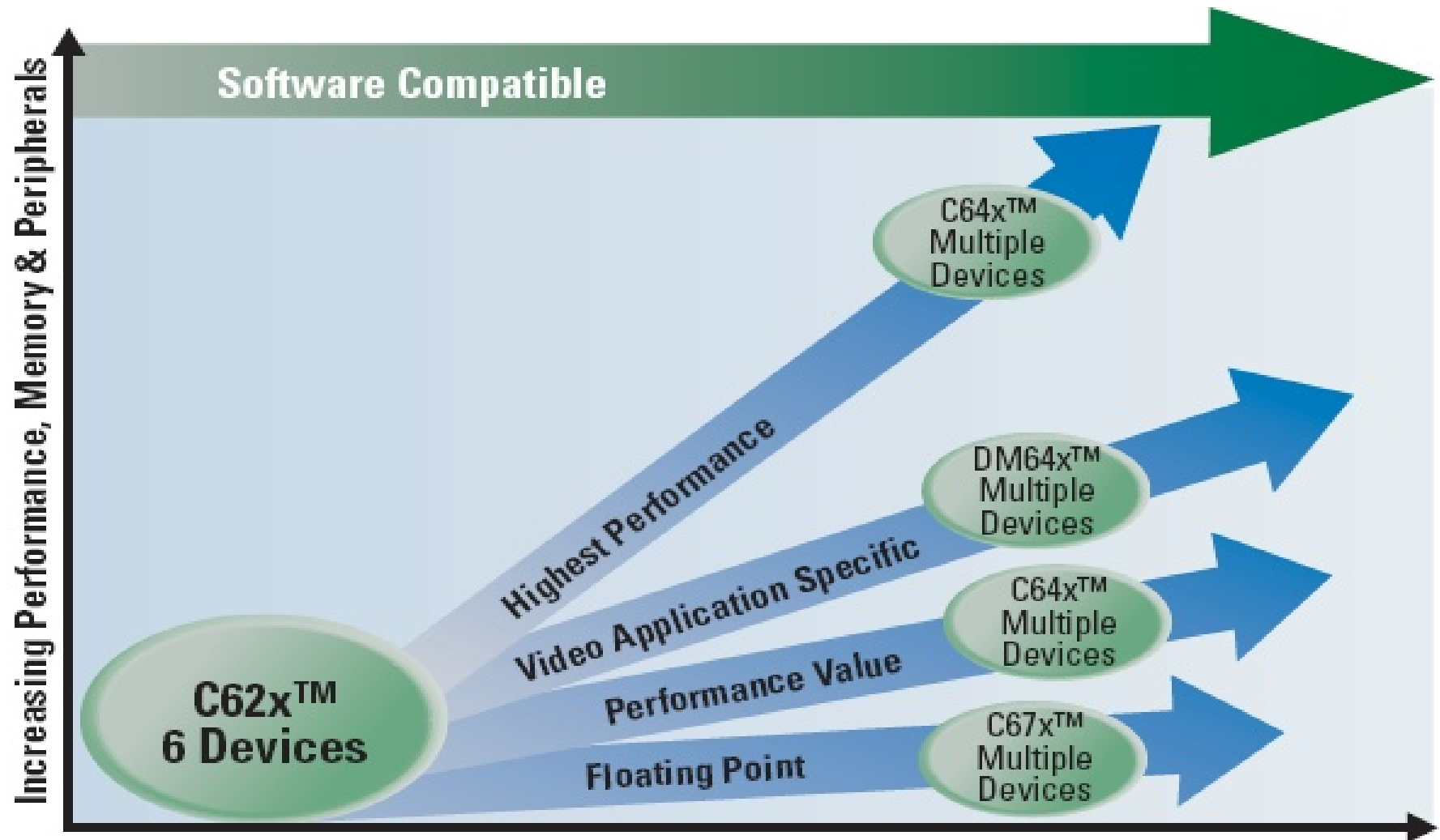
- 450 MMACs
- 2 32x32 MACs en flotante /ciclo
- 64-bit IEEE DP (2 cyc)
- Alto desempeño para audio
- Alta precisión en control de motores



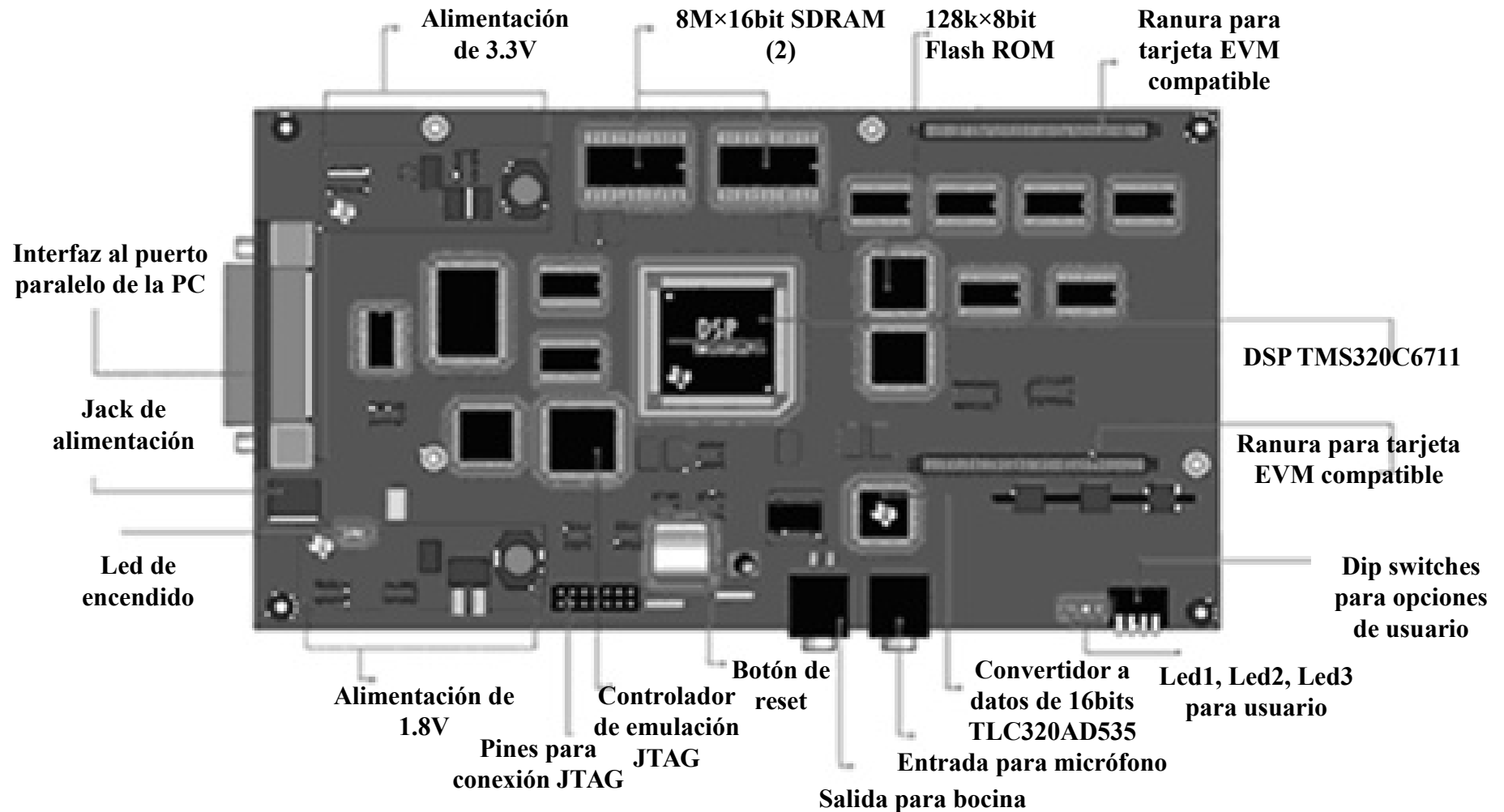
Desempeños y comparación de DSPs TMS320



Desempeños y comparación de DSPs TMS320



Tarjeta DSK del DSP TMS320C6711





Comparaciones de desempeño entre DSPs

DSP	MIPS	MAC (ns)
TMS320C2xx	40 - 20	25 a 50
TMS320C5x	80 - 28	12.5 a 35
TMS320C2xxx	400 - 100	2.5 a 10
TMS320C5xxx	400 - 100	2.5 a 10
TMS320C6xxx	4,000 - 200	0.25 a 5

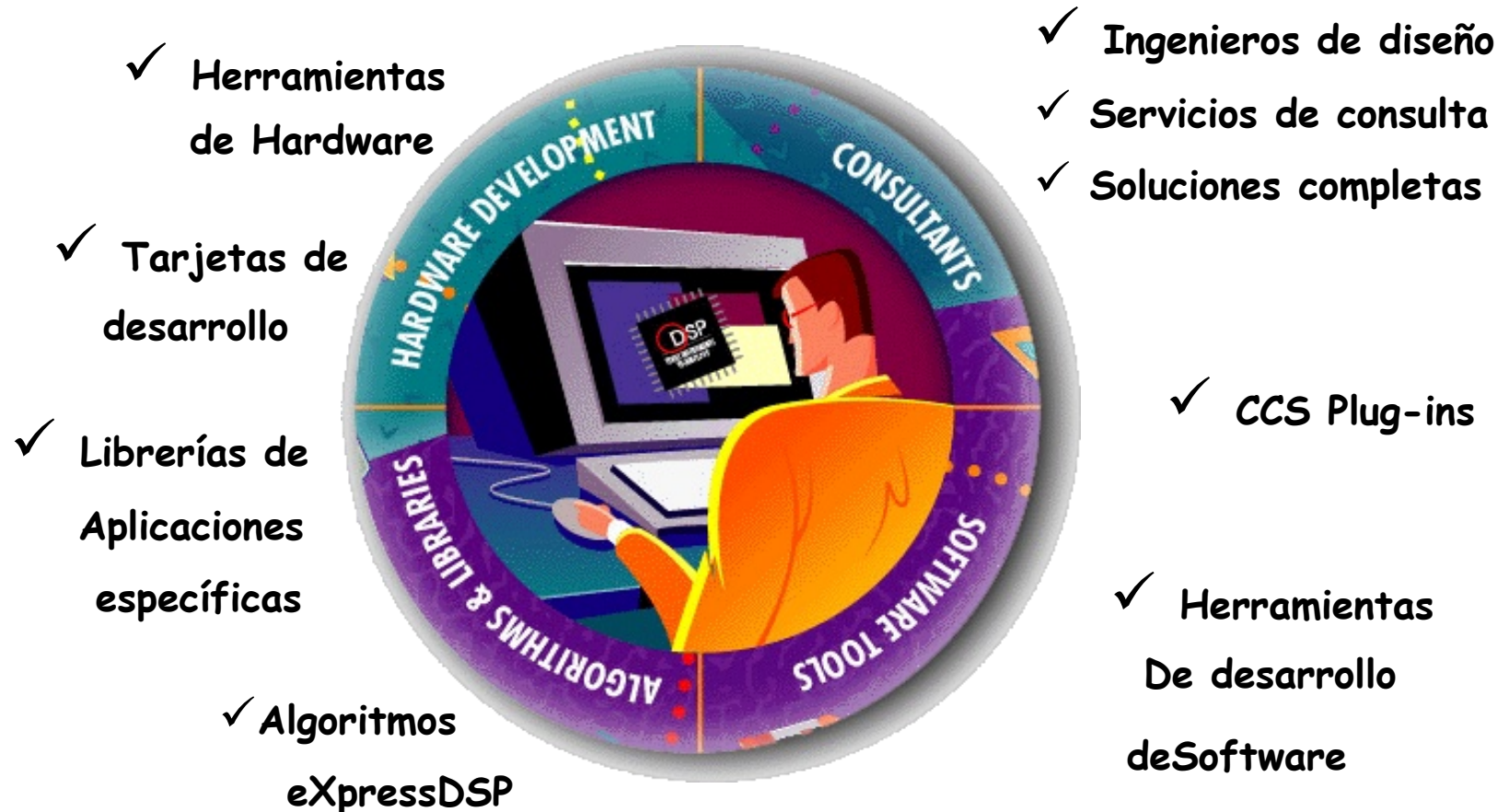
DSP	#MACs/ciclo	#MMACs
C2812	2 @ 150MHz	300
C5502	2 @ 300MHz	600
C6416	4 @ 720MHz <i>(1GHz)</i>	2880 <i>(4000)</i>

MAC (multiplicación-acumulación, 16x16 punto fijo)
MMAC (millones de MACs por segundo)

Herramientas y Terceras Partes

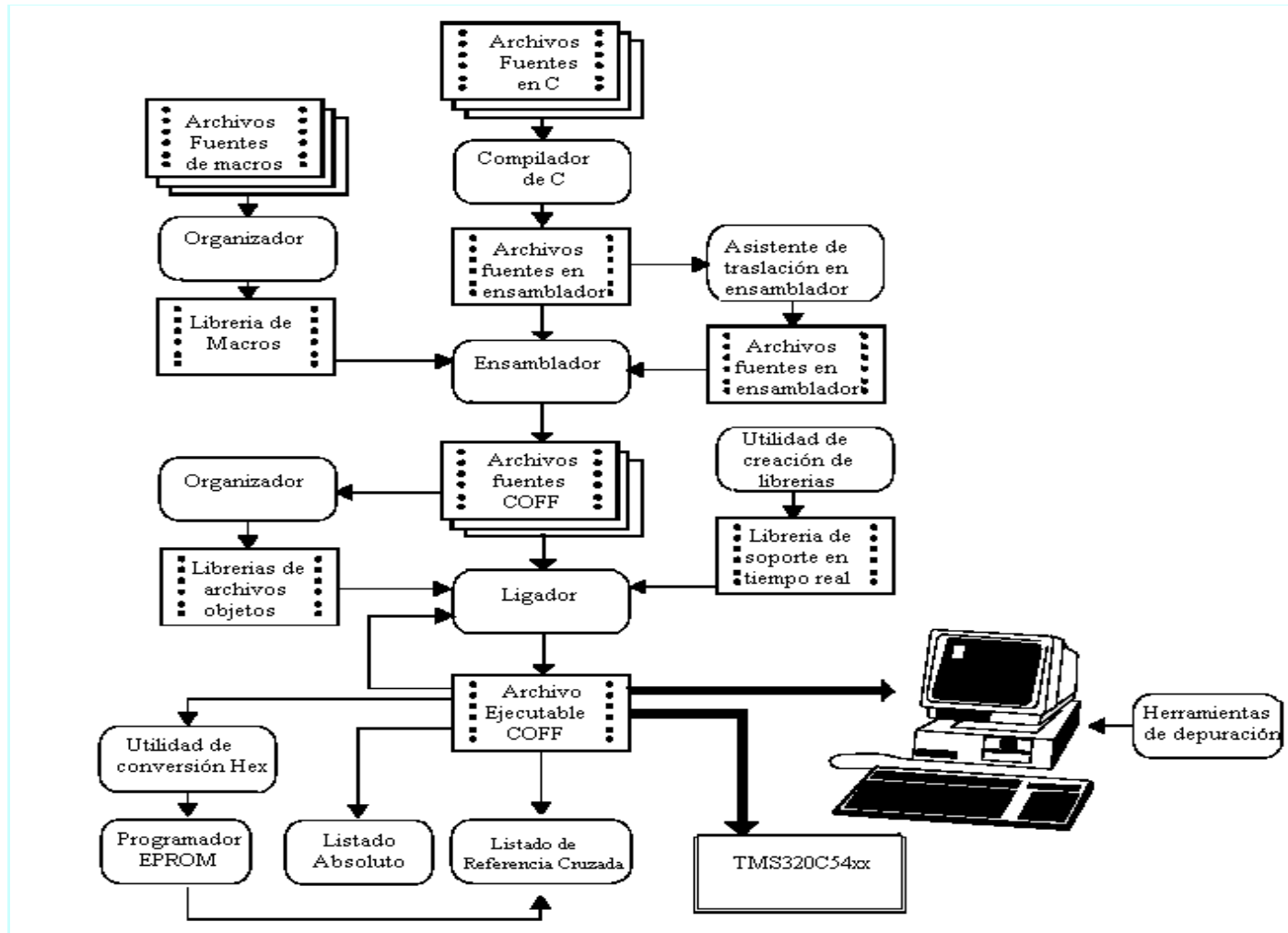
◆ Beneficios:

- Reduce el tiempo de mercadeo
- Soluciones a bajo costo
- Areas específicas de expertos
- Soluciones hardware/software completas





Herramientas





Ambiente integrado CCS V2.0

IC54x Parallel Port (Texas Instruments)/CPU_1 - C54X - Code Composer Studio

File Edit View Project Debug Profiler GEL Option Tools DSP/BIOS Window Help

gen_sen.pjt Custom

Files

- GEL files
- Projects
 - gen_sen.pjt
 - DSP/BIOS Config
 - gen_sen.cmd
 - Generated Files
 - Include
 - Libraries
 - rts.lib
 - Source
 - gen_sen.c

```
Disassembly
0000:01C8 6B04 ADDM 1h,4h
0000:01CA 0804 SUB 4h,A
0000:01CB F846 BC L1,AGT
0000:01CD L2
0000:01CD F073 B L2
0000:01CF cos
0000:01CF 4A11 PSHM 11h
0000:01D0 F0E1 SFTL A,1,A
0000:01D1 EEF8 FRAME -8
0000:01D2 F0FF SFTL A,-1,A
0000:01D3 4E02 DST A,2h
0000:01D4 56F8 DLD *(.data)
0000:01D6 4E00 DST A,0h
0000:01D7 5602 DLD 2h,A
0000:01D8 F074 CALL F$$COMPA
0000:01DA F7B8 SSBX SXM
0000:01DB 10E8 LD *(8h),A
```

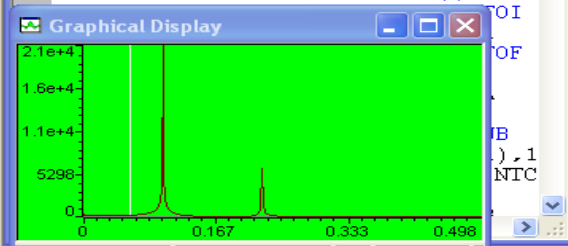
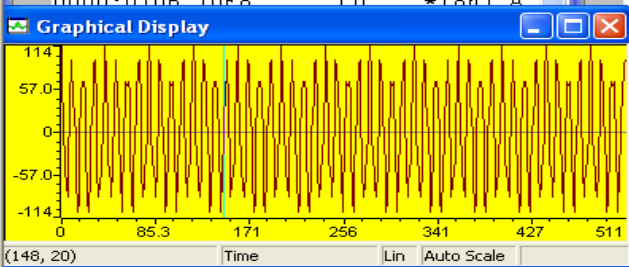
```
gen_sen.c
#include <math.h>

#define T 0.000125 // 8000 Hz
#define f1 800 // 800 Hz
#define f2 1800 // 1800 Hz
#define f3 3300 // 3300 Hz
#define PI 3.1415926
#define dos_pi_f1_T (2*PI*f1*T) // 2*pi*f1/Fs
#define dos_pi_f2_T (2*PI*f2*T) // 2*pi*f2/Fs
#define dos_pi_f3_T (2*PI*f3*T) // 2*pi*f3/Fs
#define a1 0.7 // Magnitud de onda 1
#define a2 0.2 // Magnitud " 2
#define a3 0.333 // Magnitud " 3
#define N 512

const int sineTable[5]={0x01,0x02,0x03,0x04,5};
static unsigned int n=0;
volatile int x[N];

void main() {
float temp;
int i;
for (i=0; i<N; i++)
{
temp = a1*cos((double)dos_pi_f1_T*n);
temp += a2*cos((double)dos_pi_f2_T*n);
// temp += a3*cos((double)dos_pi_f3_T*n);

n++;
x[i] = (int)(0x0007f*temp+0.5); // queda en locc ?
}
while(1) {}
}
```





Ambiente integrado CCS V6.1

The screenshot displays the CCS V6.1 IDE interface. The main window is titled "CCS Edit - NombreDelProyecto/Archivo.asm - Code Composer Studio". The menu bar includes File, Edit, View, Navigate, Project, Run, Scripts, Window, and Help. The Project Explorer on the left shows a project named "NombreDelProyecto [Active]" with subfolders for Includes, Debug, targetConfigs, and Archivo.asm. The "New" menu is open, showing options like Project..., CCS Project, Energia Sketch, File (highlighted), File from Template, Folder, Class, Header File, Source File, Target Configuration File, and Other... The "New File" dialog is also open, showing the parent folder "NombreDelProyecto" and the file name "Ejemplo0.asm".

File

Create a new file resource.

Enter or select the parent folder:

NombreDelProyecto

File name: Ejemplo0.asm

Advanced >>

Finish Cancel



Parámetros para seleccionar un DSP

Formato Aritmetico (16, 32 bits)
Punto Flotante Extendido (64 bits)
Aritmética Extendida (40-56 bits)
Desempeño (MIPS / MFLOPS)
**Número de multiplicadores
por Hardware**
Número de registros
Memoria cache
**Canales I/O, Puertos seriales
(Número/velocidad)**

Canales DMA
Soporte de Multiprocesos
Manejo de potencia
Temporizadores (Número/velocidad)
Costo
Empaquetado
**Interface de control de memoria
extendida**
JTAG



Resumen del Tema

UNO

¿Qué vimos ?



Resumen

- Generalidades del Procesamiento Digital de señales (PDS)
- Fundamentos del (PDS)
- Enfoques del PDS
- Sistema básico de PDS
- Aplicaciones del PDS, DSPs y Tiempo real
- Otras soluciones
- Los procesadores digitales de señales (DSPs)
- Marcas, familias, desempeños y comparaciones
- Selección de un DSP