

Equipos generadores de señal

- Introducción
- Generadores de función analógicos
- Generadores de función digitales: DDS y AWG

Equipos generadores de señal

Introducción

- Los generadores de función también se denominan sintetizadores de función o multifunción y pueden generar distintas formas de onda con gran precisión en rangos de frecuencias desde mHz hasta decenas de MHz
- Se pueden clasificar en dos categorías básicas:
 - **Generadores de función analógicos**
 - Utilizan un VCO para generar una forma de onda triangular de frecuencia variable. De esta se obtienen las formas de onda sinusoidal y cuadrada.
 - **Generadores de función digitales**
 - Utilizan un convertidor D/A para generar la forma de onda desde valores almacenados en una memoria. Normalmente estos generadores sólo suministran señales seno y cuadradas a máxima frecuencia y las señales triangular y otras formas de onda a mucha menor frecuencia

Equipos generadores de señal

Introducción

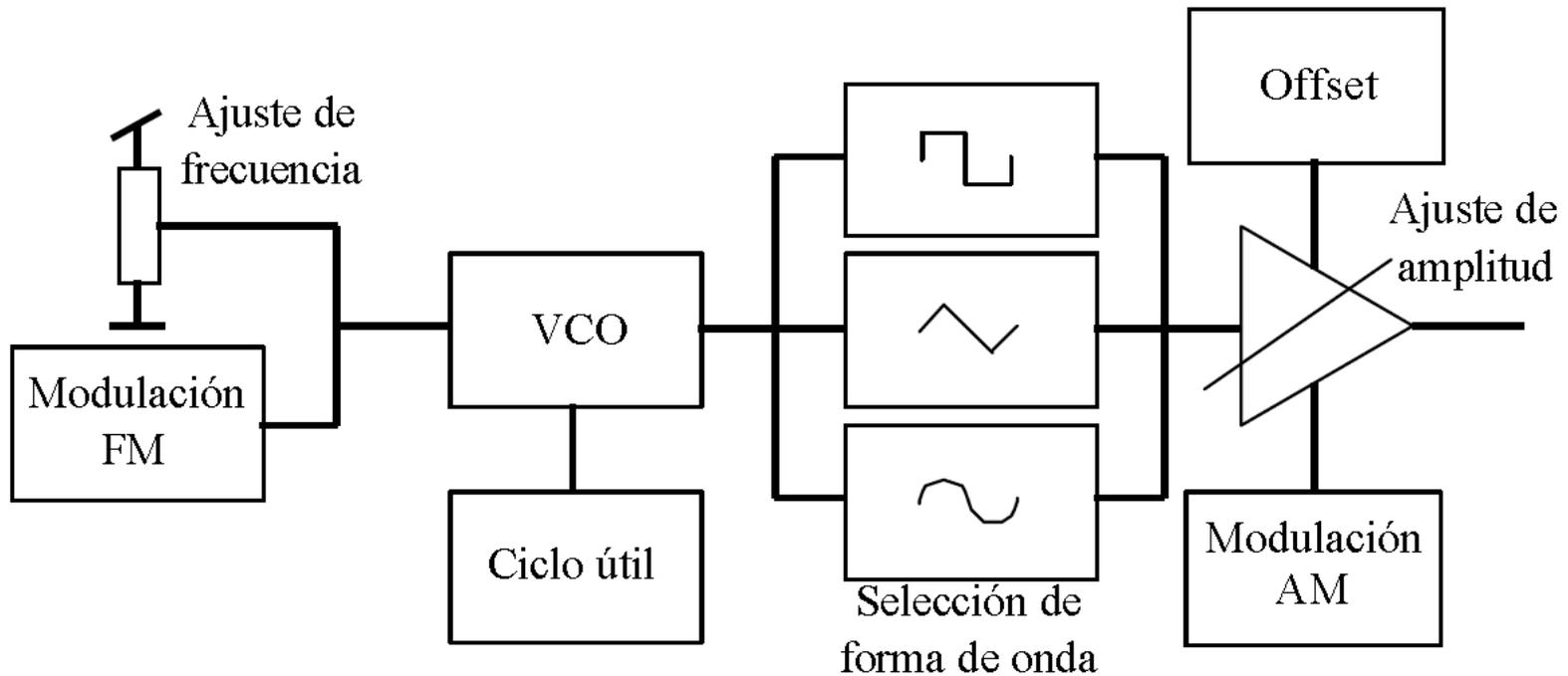
- Los generadores de función usuales presentan las siguientes opcionalidades:
 - Forma de onda seleccionable (sinusoidal, triangular, rectangular)
 - Control del ciclo de trabajo de la señal de salida
 - Control de nivel dc de offset en la salida
 - Control externo de la frecuencia de salida (modulación FM, barridos, etc)
 - Control externo de la amplitud de salida (modulación AM, ráfagas, etc)
 - Impedancia de salida seleccionable (50Ω, alta impedancia, etc)
 - Salida auxiliar de nivel lógico TTL, CMOS, etc
 - Interfaces LAN, USB, GPIB, etc



Equipos generadores de señal

Generadores de función analógicos

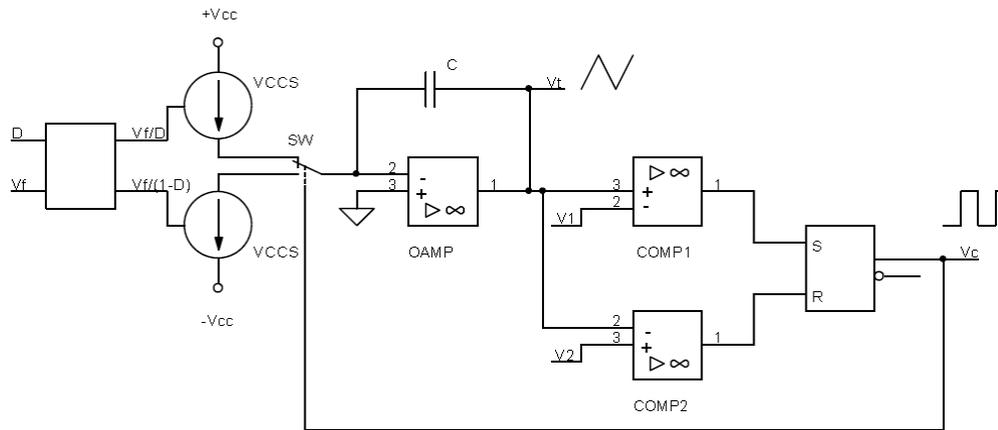
- Diagrama de bloques



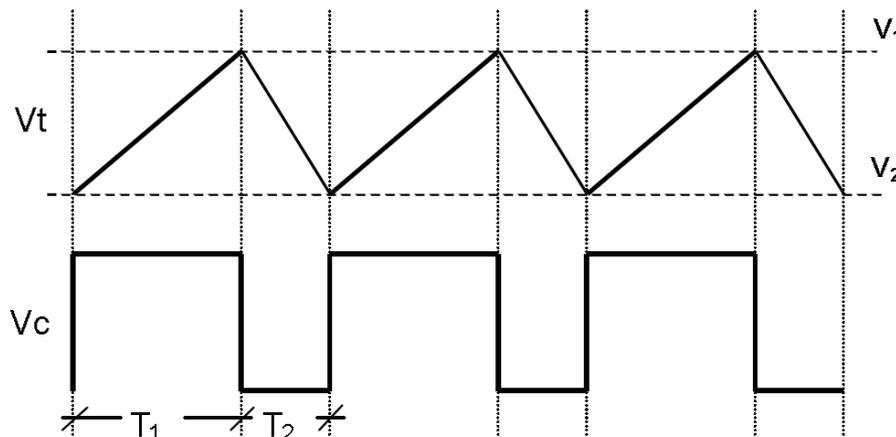
Equipos generadores de señal

Generadores de función analógicos

- VCO**



VCCS: $i_{out} = kv_{in}$
 D: duty cycle $D = T_1 / (T_1 + T_2)$ $0 \leq D \leq 1$



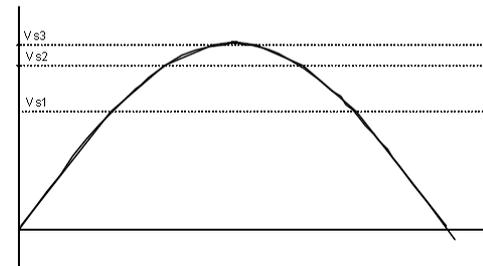
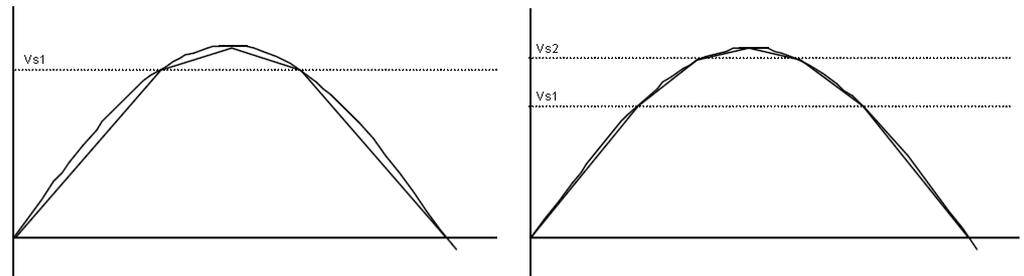
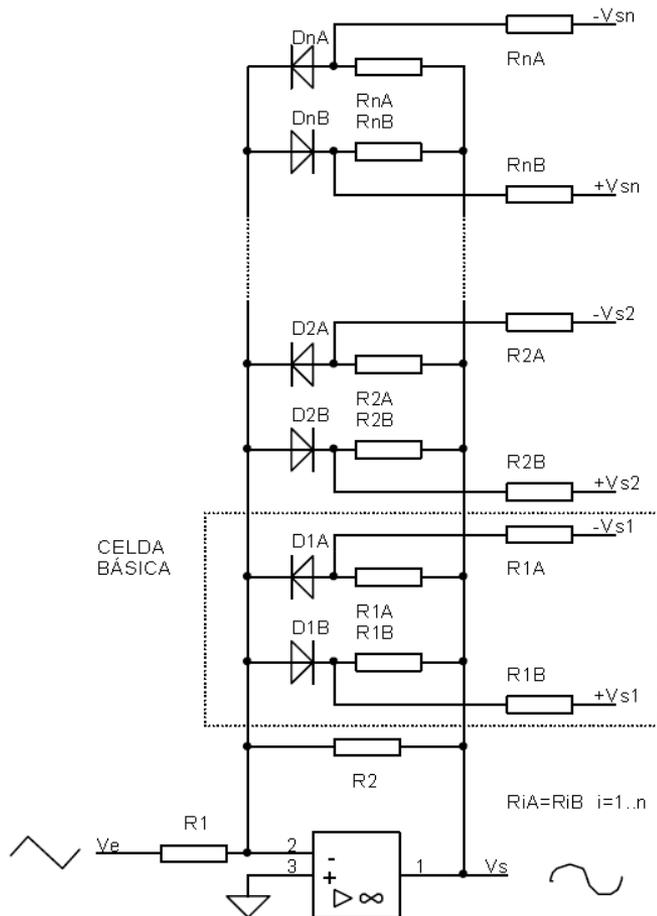
$$T_1 = \frac{C(V_1 - V_2)}{kV_f} (1 - D) \quad T_2 = \frac{C(V_1 - V_2)}{kV_f}$$

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} = \frac{kV_f}{C(V_1 - V_2)}$$

Equipos generadores de señal

Generadores de función analógicos

- Sintetizador sinusoidal**



Equipos generadores de señal

Generadores de función analógicos

- **Características básicas**

- Proporcionan un control simple e instantáneo de frecuencia y amplitud
- La frecuencia máxima de trabajo es la misma para señales sinusoidales que triangulares y rampa
- El precio de partida de un generador de función analógico es inferior a uno digital

The TG120, TG210 and TG300 are pure analogue generators. The TG550 is an analogue generator with digital frequency locking.



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- La técnica más usual en este tipo de generadores de formas de onda analógicas es la **Síntesis Digital Directa (DDS)**

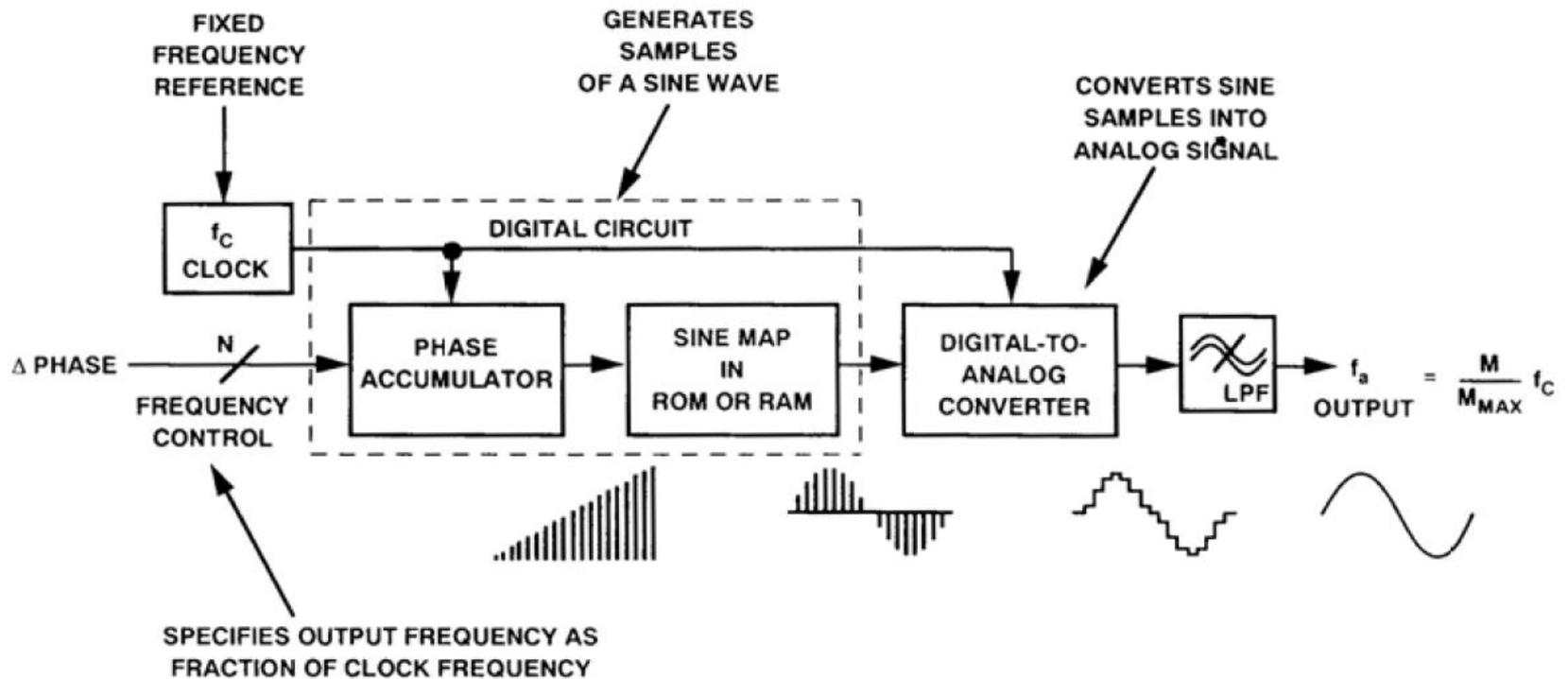


Diagrama de bloques de un generador DDS

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **Generador de función DDS**

- Tiene dos entradas : una digital de N bits y magnitud M (Δ Phase) para control de la frecuencia de salida y una señal de reloj de referencia interna f_c

- La salida del sintetizador es una señal seno analógica con frecuencia f_o donde:

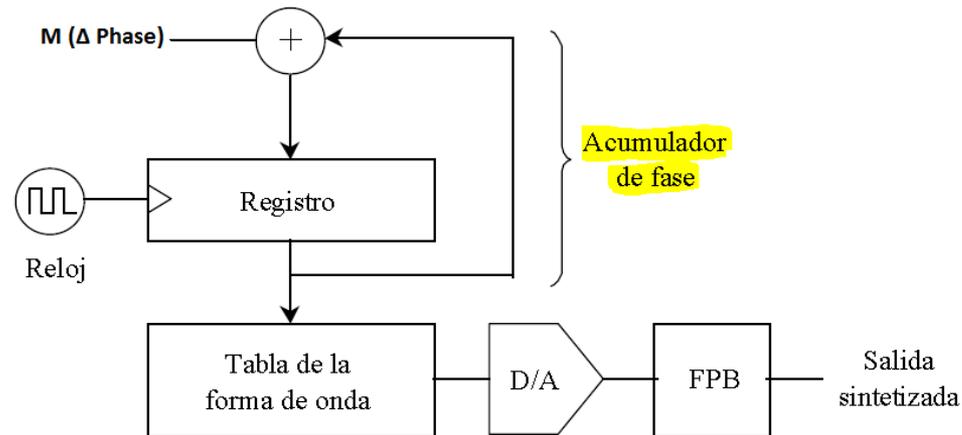
$$f_o = \frac{M}{2^N} f_c$$

- La resolución en frecuencia viene determinada por el nº de bits N
- En implementaciones reales de DDS, usualmente N (24-48). Para N= 48, significa que para frecuencia de reloj de 100MHz (típicamente 1 MHz, 50MHz, 100MHz o más) la resolución puede alcanzar el rango de μ Hz
- Consta de cuatro bloques fácilmente distinguibles: Acumulador de fase, convertidor de fase a seno , ambos digitales, un DAC y filtro.

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: Acumulador de fase**

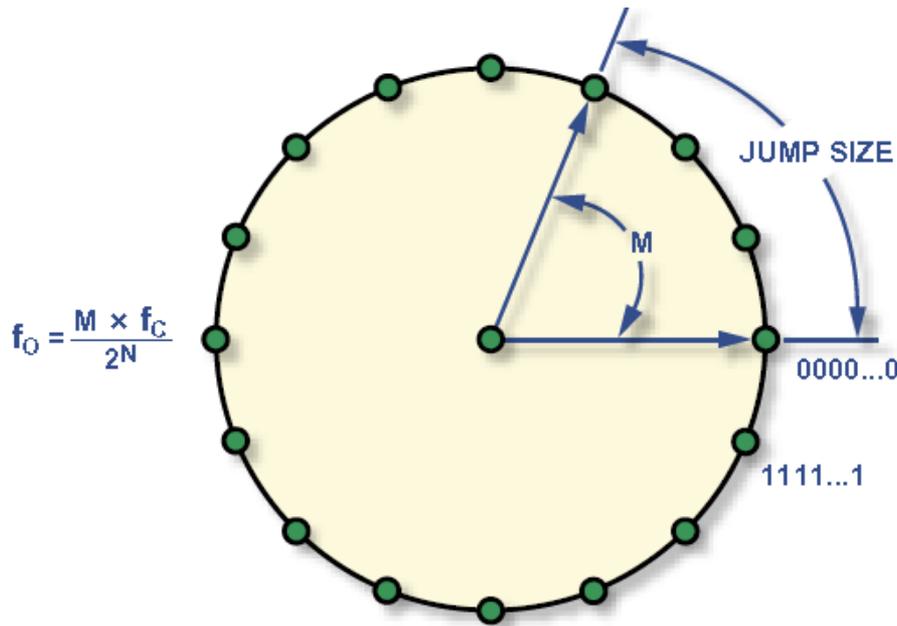


- El acumulador de fase simplemente es un sumador digital con incremento de cuenta programable por $M (\Delta \text{Phase})$.
- $M (\Delta \text{Phase})$ representa el salto en fase que tiene lugar en la forma de onda de salida con cada ciclo de reloj.
- Con cada ciclo de reloj, la salida del acumulador de fase representa la fase de la onda seno de salida: todos ceros representan 0 radianes y todos unos representan 2π .
- La salida del acumulador de fase es una rampa digital con una frecuencia igual a la del seno de salida.

Equipos generadores de señal

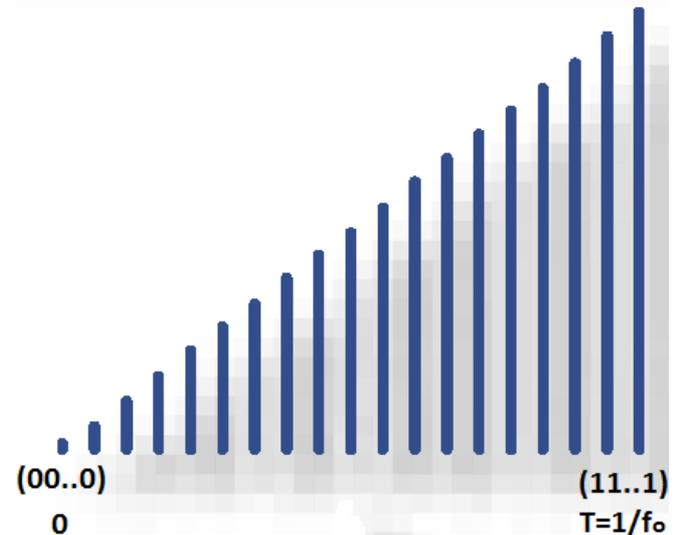
Generadores de función digitales

- **DDS: Acumulador de fase**



Anillo representativo de la fase y rampa digital de salida

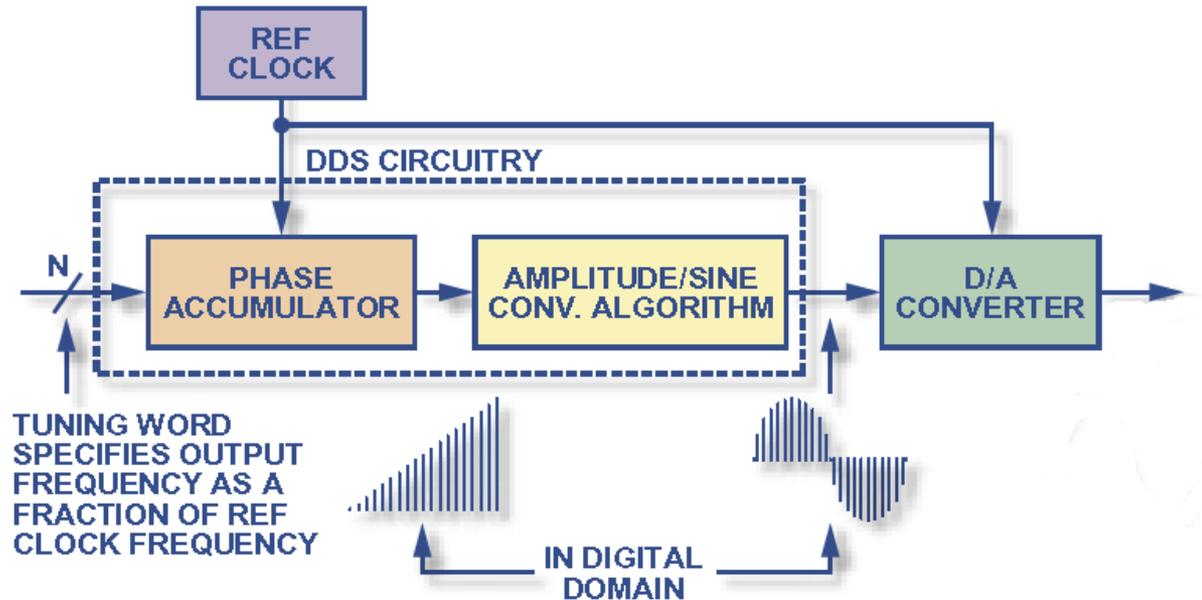
<u>n</u>	<u>NUMBER OF POINTS</u>
8	256
12	4096
16	65535
20	1048576
24	16777216
28	268435456
32	4294967296
48	281474976710656



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: Convertidor de fase a seno**



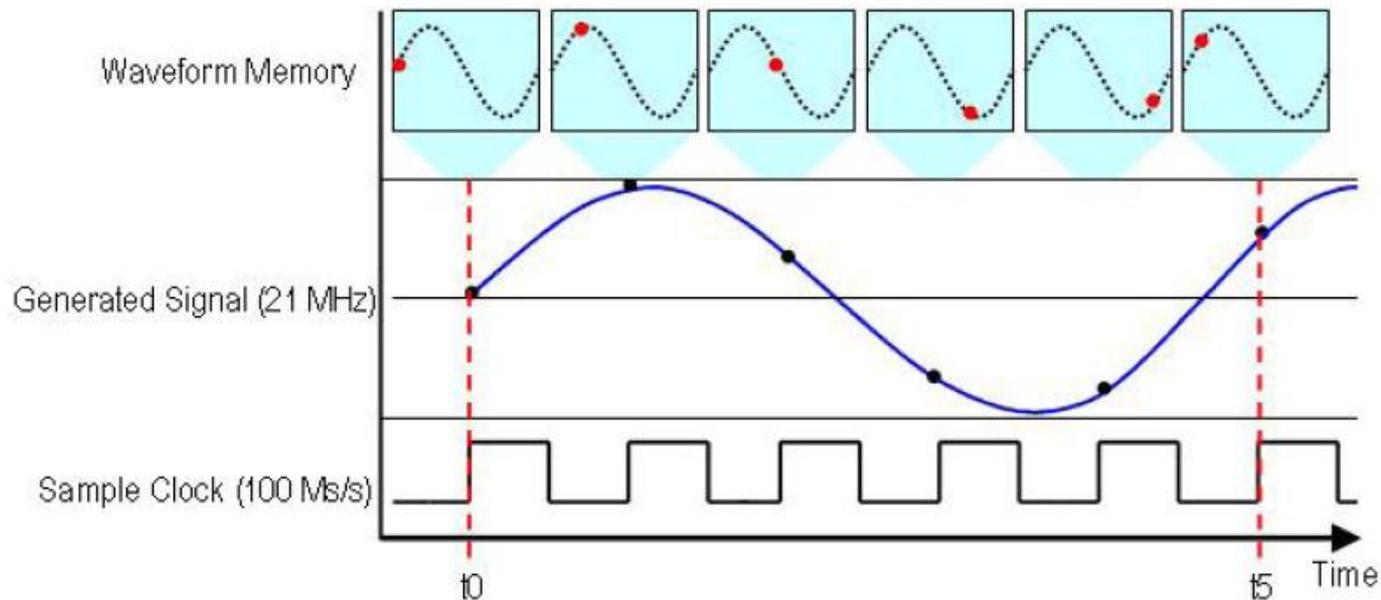
- En este convertidor se encuentran almacenados, en una tabla (ROM o RAM), los valores fase/magnitud de un periodo de la forma de onda. En otra posible arquitectura se pueden calcular la magnitud de la onda mediante un algoritmo digital para hacer más rápida la conversión o reducir el tamaño del circuito.

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: Convertidor de fase a seno**

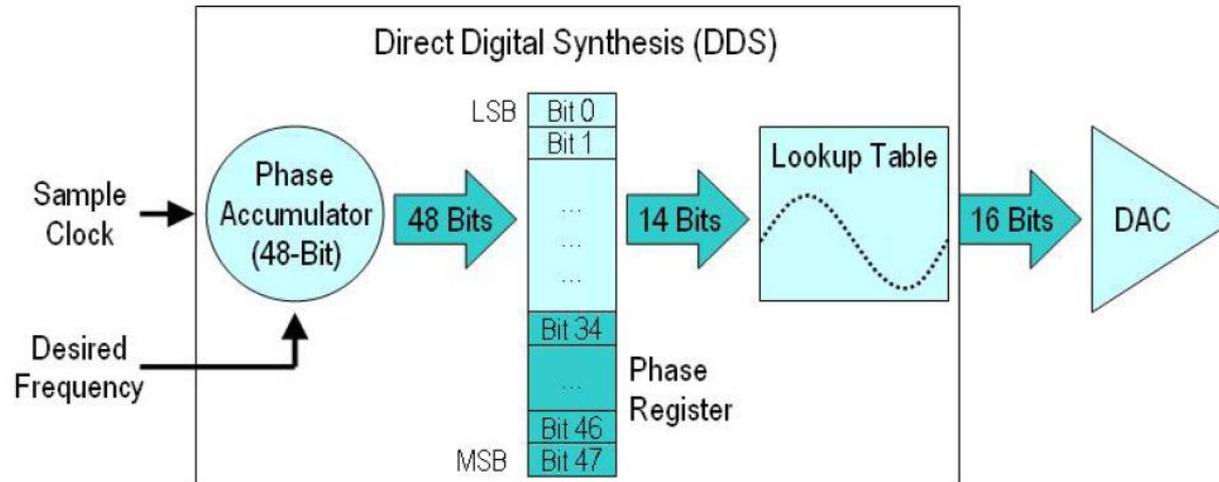
- Cuando se genera la señal, el DAC no genera cada punto almacenado en la tabla. El DAC salta valores para producir la “frecuencia de muestreo” deseada que cumpla Nyquist. En la figura se ilustra un ejemplo para generar una señal de 21MHz con frecuencia de muestreo de 100Ms/s



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: Convertidor de fase a seno**



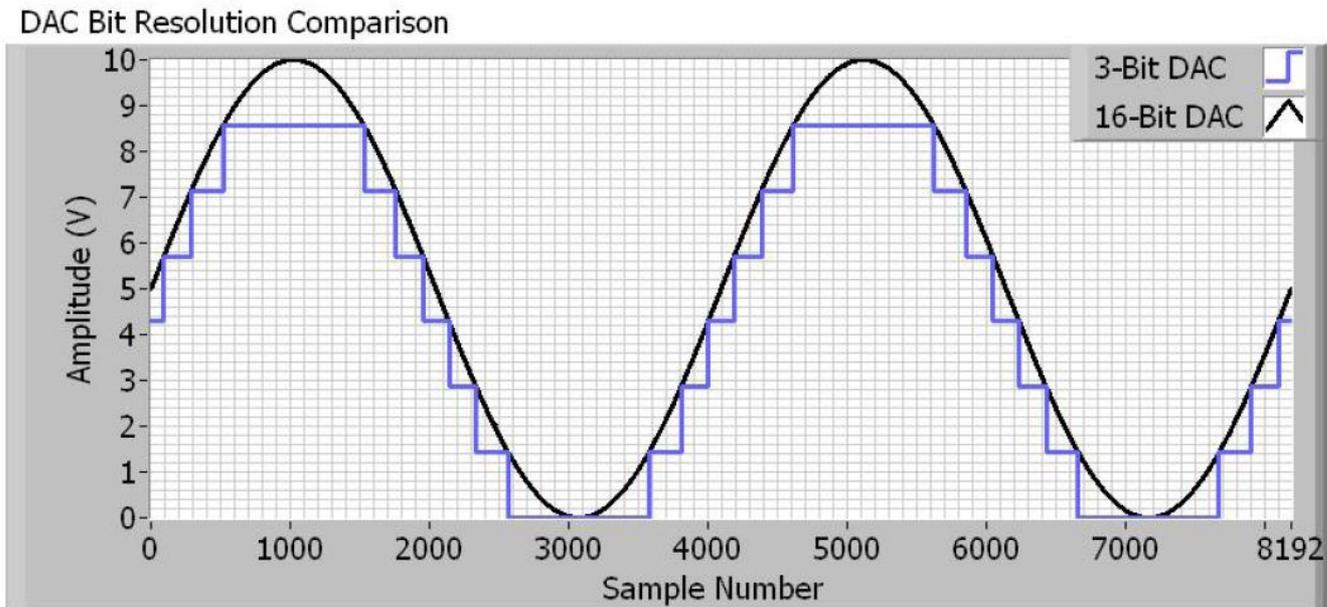
- En la figura se ilustra como el acumulados de fase compara la frecuencia de reloj y frecuencia deseada para incrementar la fase registrada. No todos los bits de salida del acumulador de fase pasan a la tabla. Normalmente son truncados y se utilizan los más significativos, en este caso 14. Esto permite simplificar la tabla de fases sin afectar a la resolución en frecuencia. El truncamiento sólo incorpora un pequeño pero aceptable ruido de fase en la salida.
- Si representamos en la tabla la forma de onda con 2^{14} (16384 puntos) incrementos de fase, el DDS es capaz de generar señales muy precisas en frecuencia . Con acumulador de fases de 48 bits se consiguen precisiones superiores al μHz .

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: DAC y resolución**

- La resolución en amplitud del generador está determinada por la del DAC que incorpora ya que limita los niveles discretos de tensión de la salida.
- En la figura se ilustra la diferencia entre un DAC con “n” 3 bits o 16 bits.



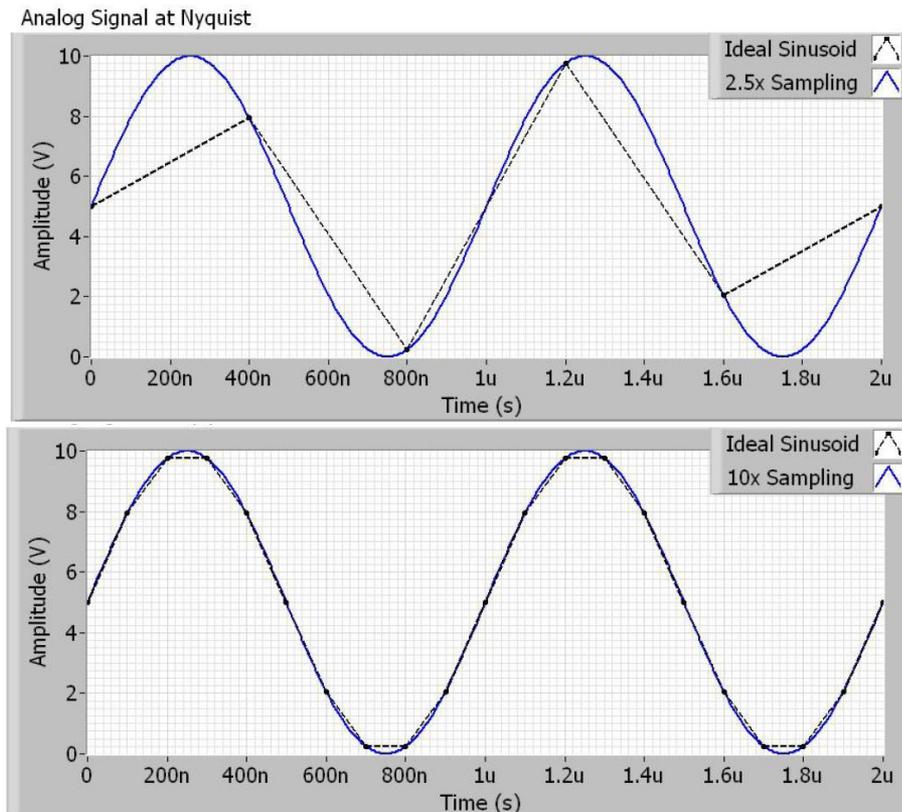
$$\text{Resolución} = \frac{\text{Rango}}{2^n - 1}$$

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: DAC y frecuencia de muestreo**

- La frecuencia de muestreo de un generador de función determina la frecuencia máxima que se puede generar. El criterio de Nyquist establece que para una señal sinusoidal la f_m debe ser al menos el doble para representar su frecuencia exactamente. Sin embargo para representar la forma de la señal es necesario muestrear al menos 10 veces su frecuencia.

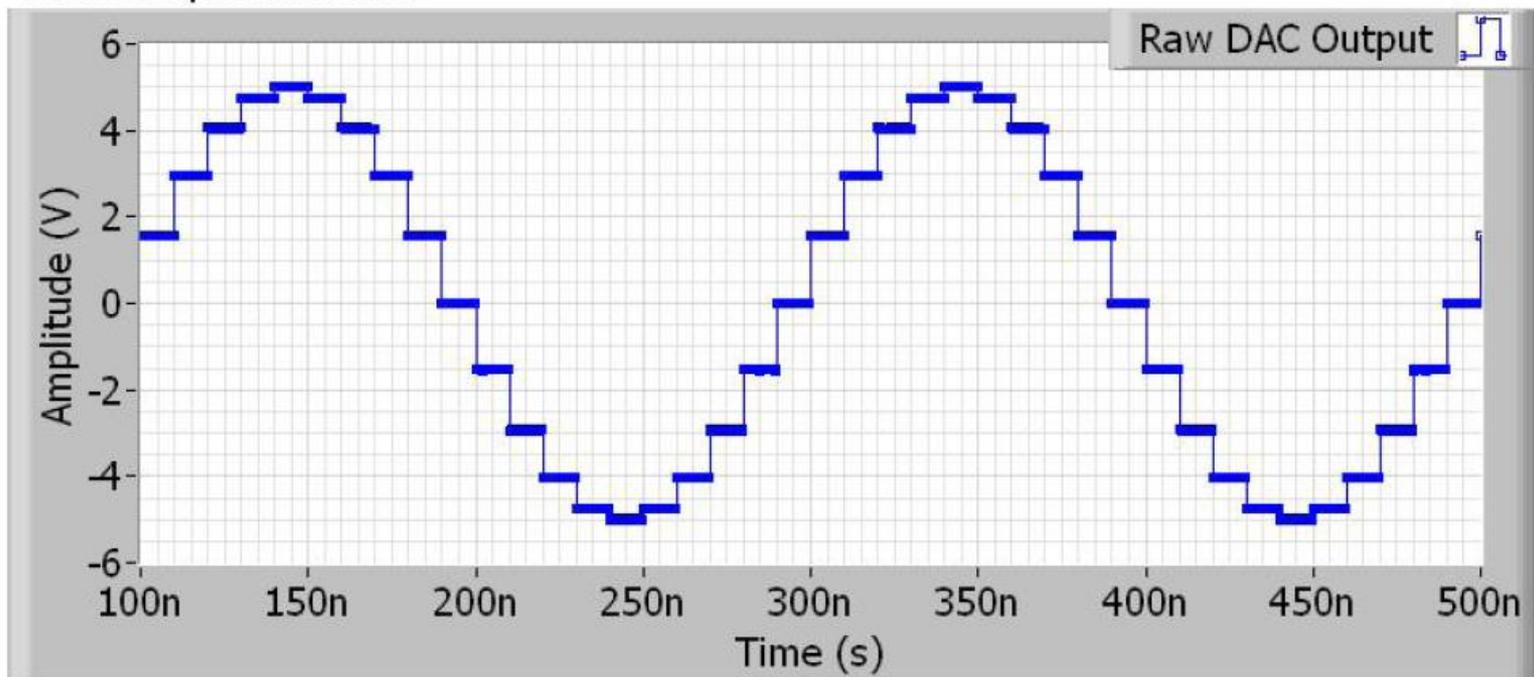


Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: DAC y filtro**
- La conversión digital/análogo utiliza la técnica sample&hold y da lugar a una señal en el **dominio del tiempo** “en escalera”. En la figura se ilustra la situación de un seno muestreado 20x su frecuencia.

DAC Sample and Hold



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: DAC y filtro**

- En el **dominio de la frecuencia**, debido al mecanismo S/H en la salida del DAC se crean imágenes en alta frecuencia, del seno original, en mas o menos múltiplos de la frecuencia de muestreo. En la figura se muestra la situación en la generación de una senoide de 30MHz muestreada a 100MHz. Se observan imágenes a 70MHz, 130MHz, 170MHz, 230MHz, etc. Recordemos que a su vez la amplitud se ve afectada por la envolvente del espectro.

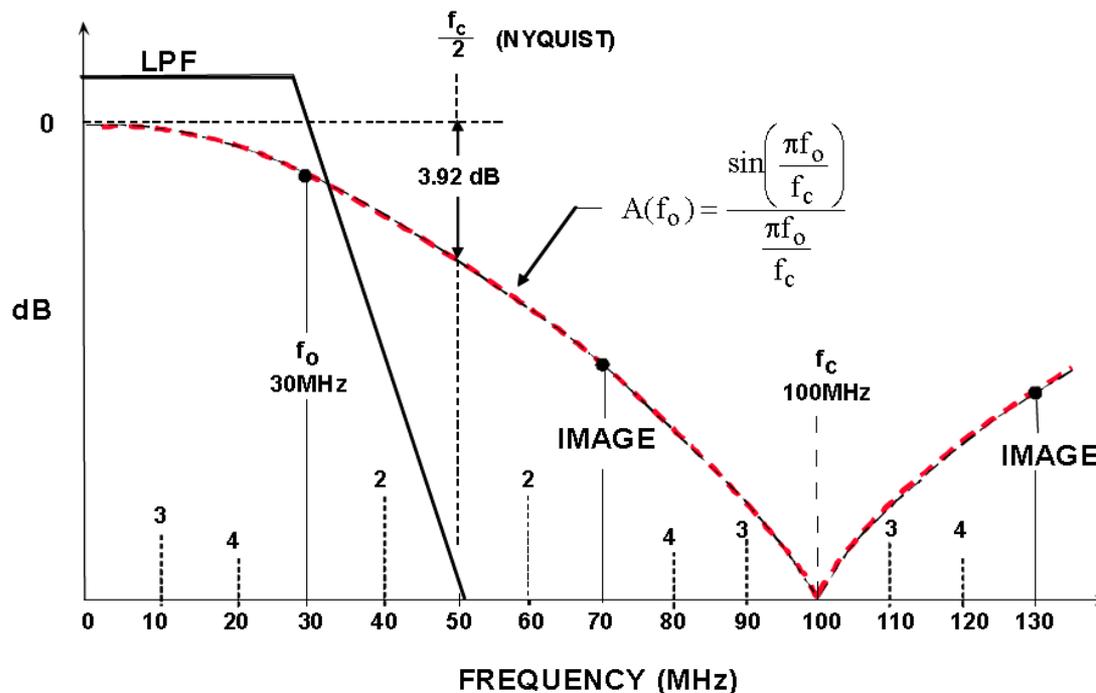


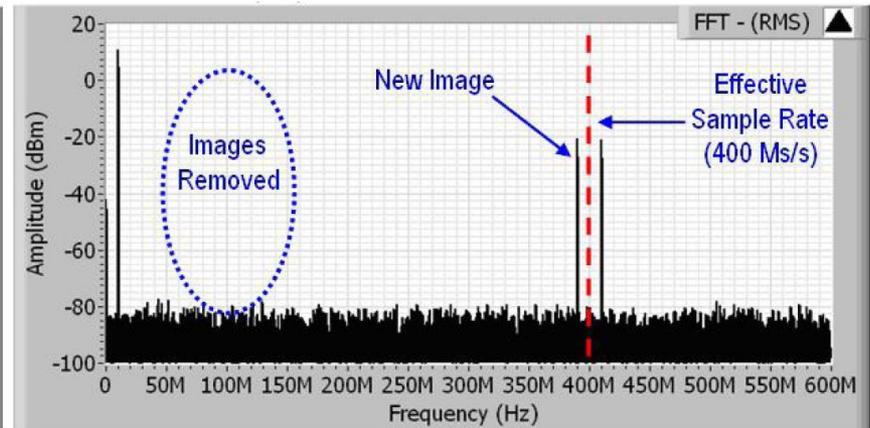
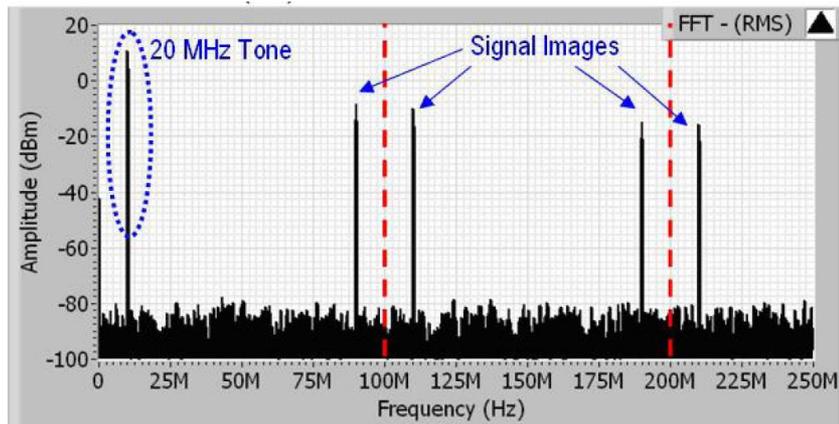
Figure 5: Aliasing in a DDS System

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **DDS: DAC y filtro**

- La eliminación (atenuación a niveles inferiores al ruido de fondo) de las frecuencias imagen se realiza con filtros paso bajo analógicos y/o digitales. En muchas situaciones para facilitar este filtrado se recurre a la interpolación de valores de la señal S/H con el fin de incrementar la frecuencia de muestreo “aparente”.
- En las siguientes figuras se muestra la generación de una señal de 20 MHz con muestreo real de 100MHz y con interpolación x4, es decir frecuencia de muestreo “aparente” de 400MHz.



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **Características básicas**

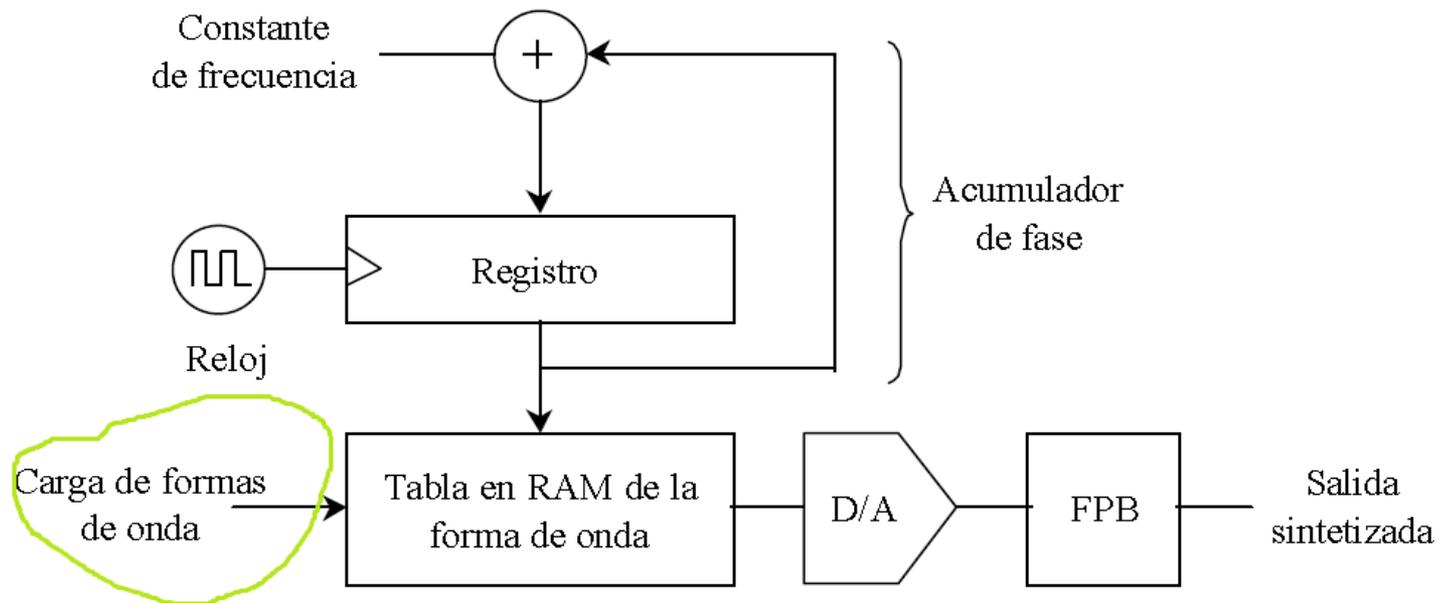
- Los generadores digitales obtienen la frecuencia de la forma de onda de un oscilador de cristal de cuarzo altamente estable (crystal clock) mediante técnicas digitales. Esto conlleva mayor exactitud y estabilidad en frecuencia que en un generador analógico.
- La técnica más usual DDS permite alta pureza espectral y bajo ruido de fase junto con barridos en frecuencia más amplios.
- Los generadores digitales pueden ser capaces de generar un número mucho mayor de formas de onda estándar.
- Normalmente estos generadores ofrecen sólo señales seno y cuadrada hasta la máxima frecuencia del generador. Señales triangulares y otras formas de onda están limitadas en frecuencia a una pequeña fracción de la frecuencia máxima para senoidales.

	NI 5406	NI 5402	NI 5401	NI 5404	NI 6653
General					
Type	Function Generator	Function Generator	Function Generator	Clock and Frequency Generator	Timing and Multi-chassis Synchronization
Bus Type	PXI and PCI	PXI and PCI	PXI and PCI	PXI	PXI
Bandwidth	40 MHz	20 MHz	16 MHz	105 MHz	105 MHz
DAC Resolution	16 bits	14 bits	12 bits	-	-
Output Voltage Range	10 V _{pp}	10 V _{pp}	10 V _{pp}	2 V _{pp}	2 V _{pp}
Max Sine Wave	40 MHz	20 MHz	16 MHz	105 MHz	105 MHz
Max Square Wave	40 MHz	20 MHz	1 MHz	105 MHz	105 MHz
Max Triangle/Ramp	5 MHz	1 MHz	1 MHz	-	-
Frequency Resolution	.355 μ Hz	.355 μ Hz	9.31 mHz	1.07 μ Hz	1.1 Hz
Advanced Features					
Frequency Hopping and Sweeping	Best	Best	Good	-	-
Triggers	Best	Best	Good	-	-
Arbitrary Function Memory	32 kB	32 kB	32 kB	-	-

Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

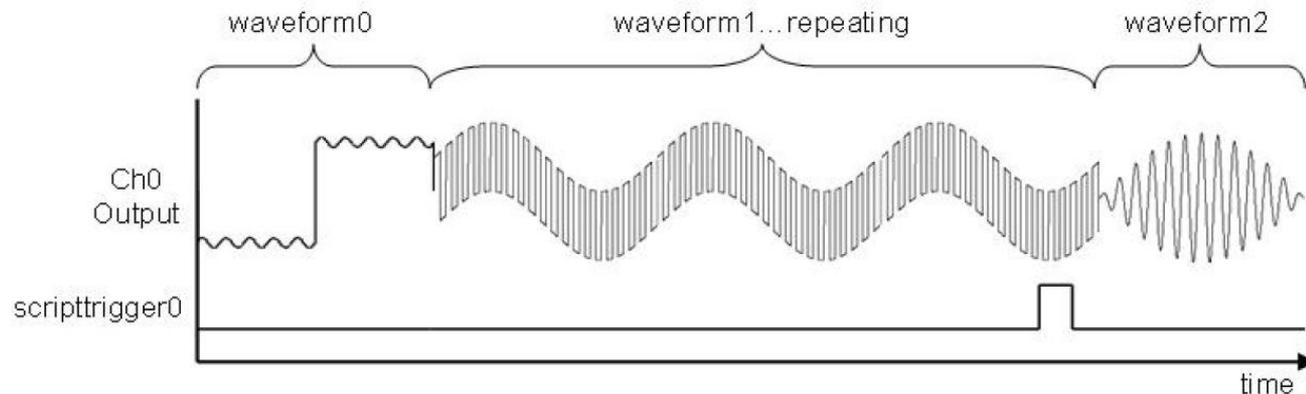
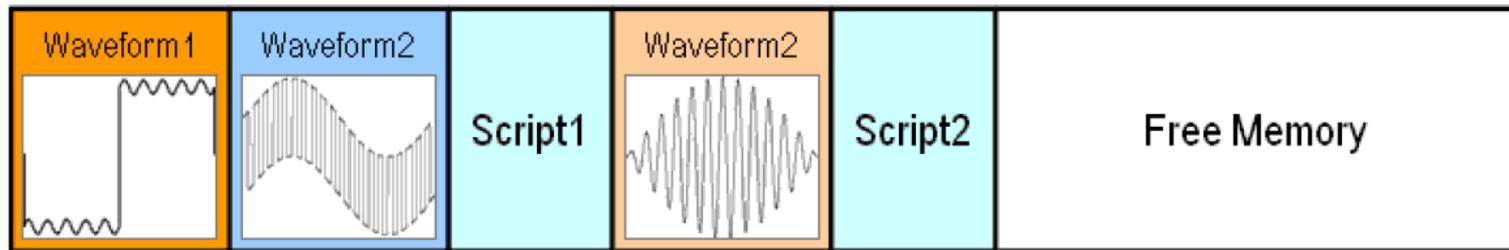
- **AWG (Arbitrary waveform generator)**
- El diagrama de bloques es semejante al de un generador de función DDS pero con dos importantes diferencias.
 - La tabla RAM está pensada para generar grandes y complejas formas de onda. Esto requiere mayor capacidad de memoria donde se almacenan dichas formas e instrucciones de secuenciación.
 - Sofisticados sistema de disparo para secuenciaciones más complejas



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **AWG (Arbitrary waveform generator)**
- Permite generar señales con formas de onda almacenadas o con otras adquiridas mediante diversas herramientas (Cálculo matemático, simulación, etc) o equipos electrónicos digitales (Osciloscopios, Analizadores, etc).



Equipos generadores de señal

Generadores de función digitales

- **AWG (Arbitrary waveform generator)**
- **Características basicas**

	Arbitrary Waveform Generators	Function Generators
General		
Bus Type	PXI and PCI	PXI and PCI
Sampling Rate	Up to 200 MS/s	Up to 300 MS/s
Bandwidth	Up to 80 MHz	Up to 105 MHz
DAC Resolution	Up to 16 bits	Up to 16 bits
Memory Depth	Up to 512 MB	Up to 32 kB
Output Voltage Range	Up to ± 6 V	Up to ± 5 V
Number of Channels	1	1
Dynamic Performance	Best	Best
Clocking	Divide by N, High Res, or External	Internal or External
Advanced Features		
Waveform Generation Capabilities	Best	Better
Frequency Hopping and Sweeping	Good	Best
Waveform Linking and Looping	Best	-
Triggers	Best	Best
Markers	Best	-
Streaming	Best	-

Equipos generadores de señal

- Referencias:
- Analog Devices MT-085 Tutorial
- National Instruments-Tutorial-5516-5521-5535-2990-3348