

1 Introducción

En la actualidad, el Procesamiento Digital de Señales a tenido un gran desarrollo debido al avance en la tecnología de circuitos electrónicos que han permitido el manejo de señales de una manera económica, confiable y precisa. Además, la flexibilidad otorgada por los sistemas digitales en sus aspectos *hardware-software* ha permitido que una gran cantidad de funciones que anteriormente se realizaban con una circuitería analógica dedicada a cada función específica, se realicen actualmente de manera digital, utilizando como base un *hardware* fijo (procesador) y confeccionando el *software* a la medida de acuerdo con la aplicación requerida, lo cual permite utilizar un mismo *hardware* en una infinidad de aplicaciones, variando únicamente el *software*.

El procesamiento digital de señales es actualmente uno de los campos de la electrónica mas utilizado en la mayoría de los procesamientos electrónicos de señales. En este capítulo se intenta mostrar un panorama global de los aspectos involucrados en el procesamiento digital de señales, así como la interrelación de los mismos, con el objeto de proporcionar una vista de conjunto del campo de estudio que abarca dicho procesamiento.

Es posible que muchos de los conceptos mencionados en este capítulo, no sean comprensibles para los estudiantes que por primera vez estudian este tema, sin embargo, se recomienda su lectura para obtener una primera aproximación al mismo. En los capítulos siguientes se explican con mas detalle cada uno de los aspectos aquí mencionados, pudiendo recurrir constantemente a esta introducción con el fin de ubicar, dentro del tema general del procesamiento digital de señales, cada uno de los temas estudiados y, de esta manera, se pueda facilitar mas la comprensión de los mismos.

1.1 Panorama general del procesamiento digital de señales

Las *señales en tiempo discreto* o *señales discretas* junto con los *sistemas discretos*, constituyen los campos de estudio del procesamiento digital de señales, como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Campos de estudio del procesamiento digital de señales

La relación entre las *señales discretas* y los *sistemas discretos* es la que se muestra en el sistema de procesamiento de señales presentado en la Figura 1.2. En esta figura aparecen, como ejemplo, las señales continuas $x_c(t)$ y $x_a(t)$ como señales de entrada y $y(t)$ como señal de salida; las señales discretas $x_o(t)$ y $y_{DA}(t)$ y las secuencias $x^o(n)$ y $y^o(n)$. El *sistema discreto* lo constituye básicamente el bloque llamado PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES, el cual actúa sobre la secuencia de entrada $x^o(n)$, la transforma de acuerdo a una cierta aplicación, y la transforma en la secuencia de salida $y^o(n)$. Los demás bloques permiten convertir las señales continuas en secuencias discretas y viceversa.

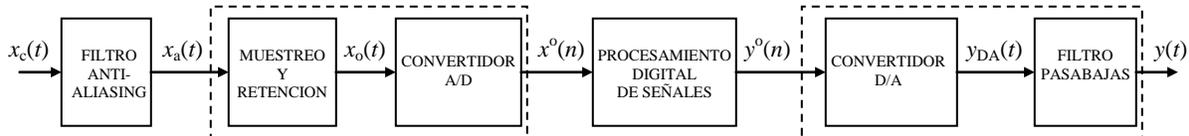
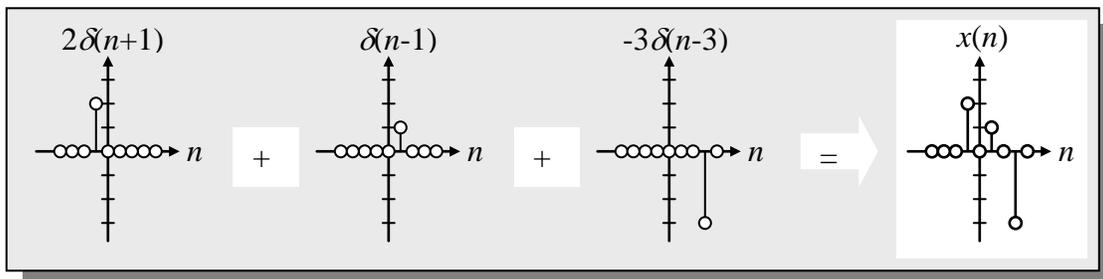
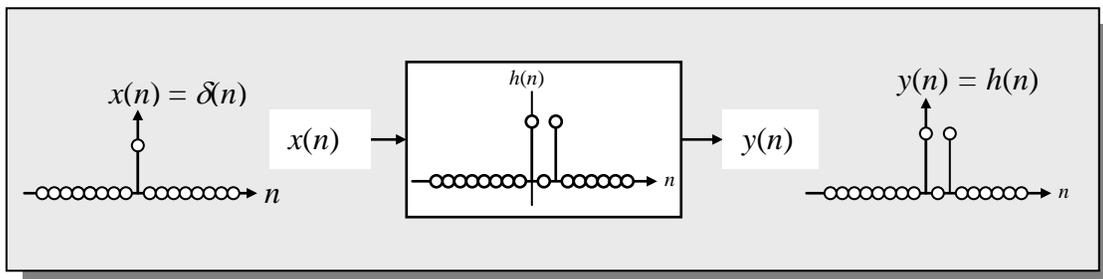


Figura 1.2 Sistema completo de procesamiento digital de señales

Las *señales discretas* más usadas en los sistemas de procesamiento digital, son aquellas que se pueden representar como una combinación lineal de la *secuencia impulso*, mientras que los *sistemas discretos* más usados para el procesamiento de este tipo de señales, son aquellos cuyo comportamiento se representa mediante su *respuesta al impulso unitario* (sistemas lineales invariantes en el tiempo). En la Figura 1.3 se muestra gráficamente, mediante un ejemplo, una *señal discreta* y un *sistema discreto*, ambos elementos basados en la *secuencia impulso unitario* $\delta(n)$.



(a) Señal discreta $x(n)$ como una combinación lineal de secuencias impulso desplazadas



(b) Sistema discreto $h(n)$ caracterizado por su respuesta a la secuencia impulso unitario

Figura 1.3 Ejemplo de (a) una *señal discreta* $x(n)$ y (b) un *sistema discreto* $h(n)$.

Por lo anteriormente expuesto, la *secuencia impulso* constituye el fundamento matemático tanto para las *señales discretas* como para los *sistemas discretos*.

Las señales y sistemas discretos pueden estudiarse desde dos aspectos diferentes, a los cuales se les llamará *dominios* en estos apuntes: el *dominio temporal* (tiempo discreto) y el *dominio frecuencial*. Ambos *dominios* se encuentran estrechamente relacionados, sin embargo, cada uno de ellos, permite estudiar diferentes características de una *señal discreta* o de un *sistema discreto*.

El *dominio temporal* abarca el estudio de las *señales y sistemas discretos* representados mediante *secuencias* de la *función impulso*. Para el caso de los *sistemas discretos*, éstos se caracterizan por su respuesta a la secuencia impulso unitario.

El *dominio frecuencial* abarca el estudio de las *señales y sistemas discretos* representadas a través de su *contenido espectral*. Para el caso de las *señales discretas* el contenido espectral se refiere a las componentes sinusoidales presentes en la señal misma. Para el caso de los *sistemas discretos* el contenido espectral consiste en su *respuesta en frecuencia* a señales sinusoidales de frecuencia variable.

Ambos dominios, el temporal y el frecuencial, se encuentran estrechamente relacionados entre sí, como se muestra en el ejemplo gráfico representado en la Figura 1.4.

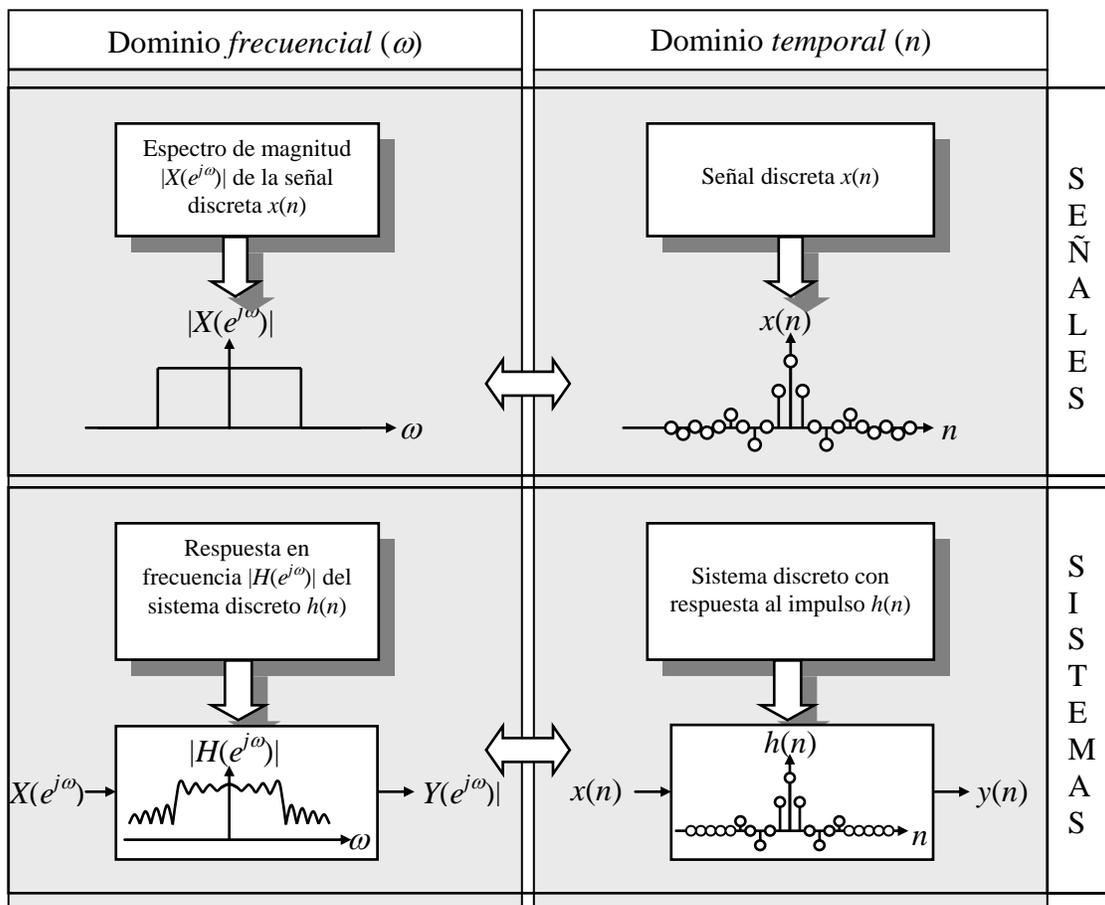


Figura 1.4 Ejemplo gráfico de la representación de *señales y sistemas discretos* en el *dominio temporal* y en el *dominio frecuencial*.

Los *sistemas discretos* se caracterizan por tener una cierta repuesta temporal al impulso unitario. Cuando dicha repuesta al impulso genera una secuencia infinita, al *sistema* se le conoce como *sistema IIR (Respuesta Infinita al Impulso)*, mientras que si se genera una secuencia finita como repuesta al impulso, al *sistema* se le conoce como *sistema FIR (Respuesta Finita al Impulso)*. En la Figura 1.5 se muestra un ejemplo gráfico de los dos tipos de repuesta mencionados.

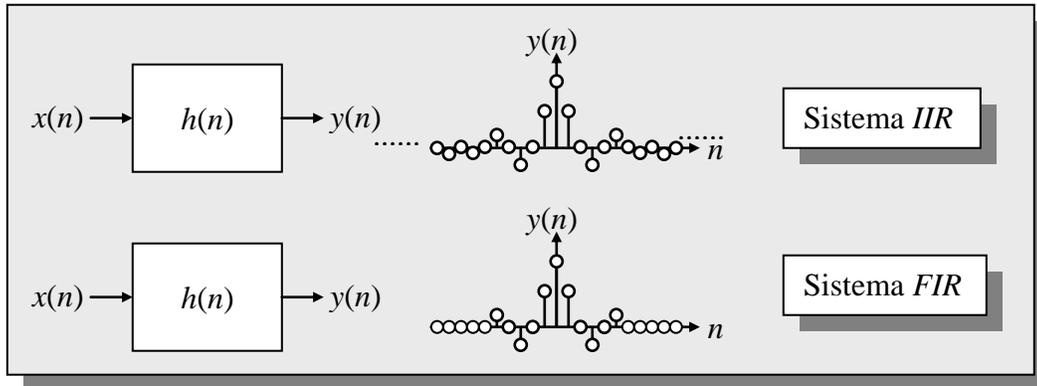


Figura 1.5 Ejemplos de sistemas *IIR* y *FIR*

Tanto los sistemas *IIR* como los *FIR*, se pueden modelar matemáticamente mediante *ecuaciones en diferencias*, las cuales son expresiones que relacionan la entrada y la salida del *sistema*, como se muestra en la Figura 1.6. Las *ecuaciones en diferencias* que caracterizan a los *sistemas discretos*, permiten construir físicamente a dichos sistemas, además de poder determinar la repuesta de éstos a las secuencias de entrada que se les aplique. Para conocer la repuesta de un *sistema discreto* a una determinada secuencia de entrada, se resuelve la *ecuación en diferencias* que define al sistema para dicha secuencia de entrada.

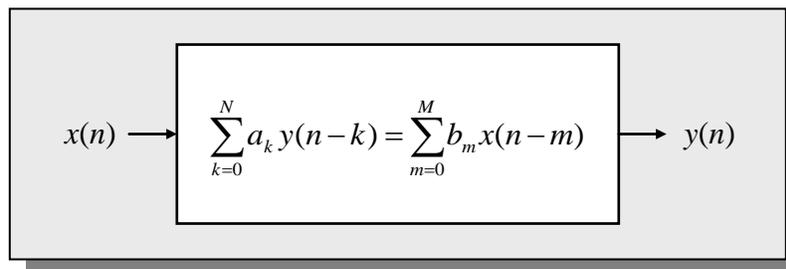


Figura 1.6 Ecuación en diferencias lineal y de coeficientes constantes como modelo matemático de un sistema discreto lineal e invariante en el tiempo.

Las *señales discretas* y los *sistemas discretos* modelados, ya sea a través de su *respuesta al impulso unitario* ó mediante su *ecuación en diferencias* correspondiente, se pueden trasladar a un dominio matemático abstracto mediante la *Transformada Z*, la cual tiene por objetivo permitir el estudio de dichas señales y sistemas mediante cálculos y análisis que, en algunos casos, resultarían mas complejos de realizar en el dominio del tiempo discreto. La *Transformada Z Inversa* permite regresar al dominio del tiempo discreto n los análisis y estudios realizados en el dominio de la variable compleja z , ya sea a un *sistema discreto* o a una *señal discreta*. En la Figura 1.7 se muestra gráficamente el proceso descrito anteriormente.

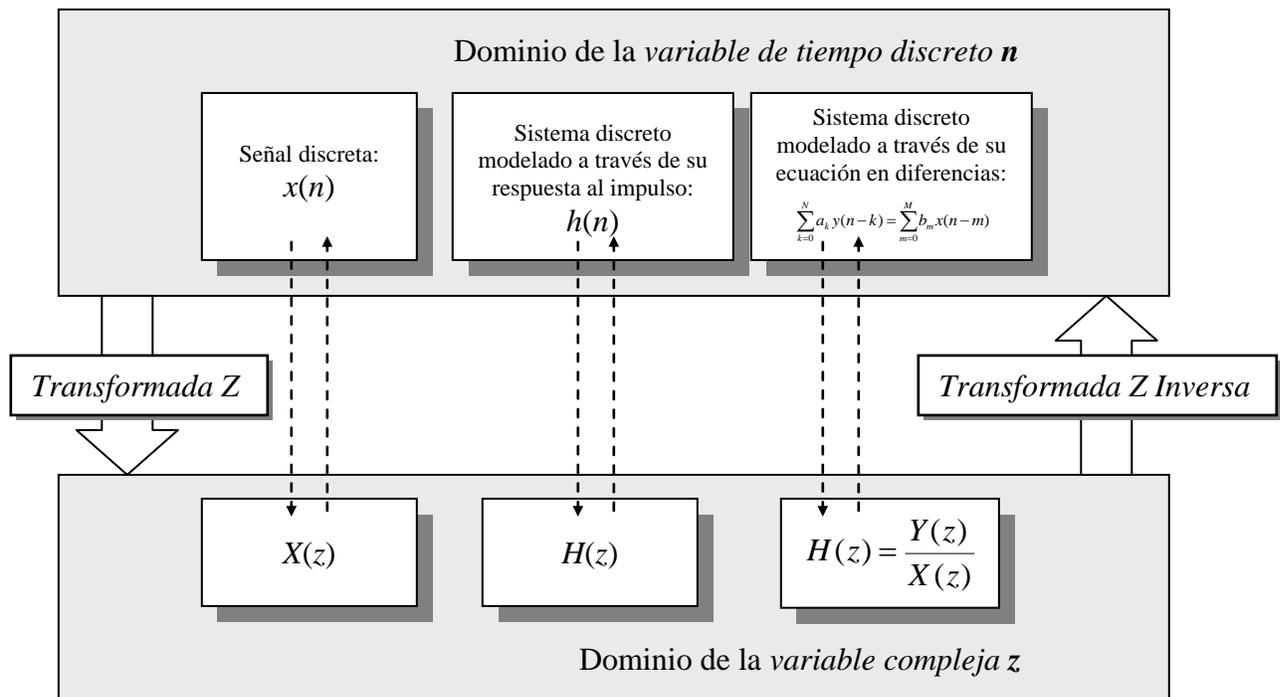


Figura 1.7 Transformada Z y Transformada Z Inversa aplicada a señales discretas y a sistemas discretos

Las *señales discretas* y los *sistemas discretos* también se pueden analizar en el *dominio frecuencial*, mediante la *Transformada de Fourier*, la cual permite obtener el *espectro de frecuencia* de una *señal discreta* o la *respuesta en frecuencia* de un *sistema discreto*, como se muestra en la Figura 1.8. La *Transformada de Fourier* constituye un caso particular de la *Transformada Z*.

En el *dominio frecuencial*, los *sistemas discretos* pueden ser estudiados como *filtros digitales*, los cuales tendrán propiedades y métodos de diseño propios, dependiendo si se trata de *sistemas discretos IIR* o *FIR*.

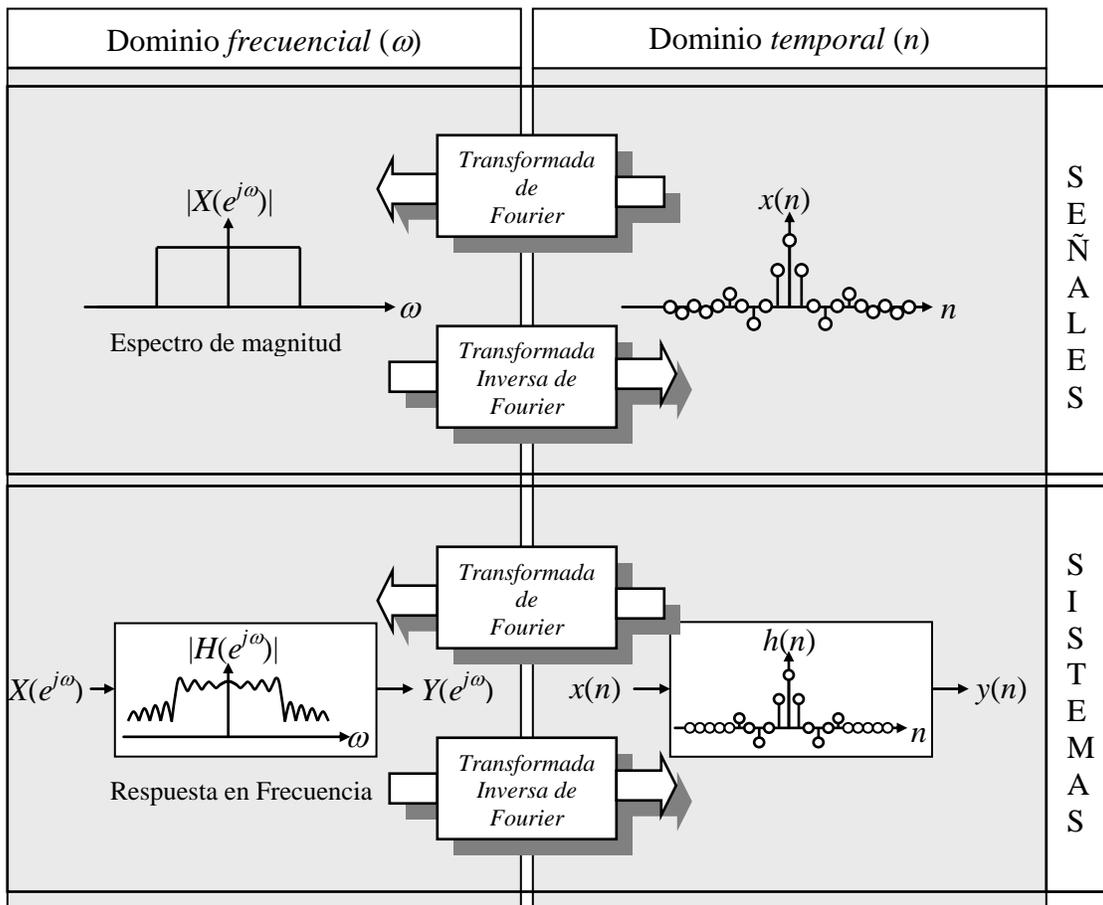


Figura 1.8 Ejemplo gráfico de la aplicación de la *Transformada de Fourier* a señales y sistemas discretos

Los *filtros digitales IIR* generalmente se diseñan aproximando su *respuesta en frecuencia* a una respuesta en frecuencia ideal, es decir, se diseñan principalmente en el *dominio frecuencial*, mientras que los *filtros digitales FIR*, por su parte, se diseñan aproximando su *respuesta impulsional* a una respuesta impulsional ideal, es decir, a diferencia de los *filtros IIR*, este tipo de filtros se diseñan principalmente en el *dominio temporal*. En las Figuras 1.9 y 1.10 se presenta un ejemplo gráfico del proceso de diseño de filtros *IIR* y *FIR* respectivamente.

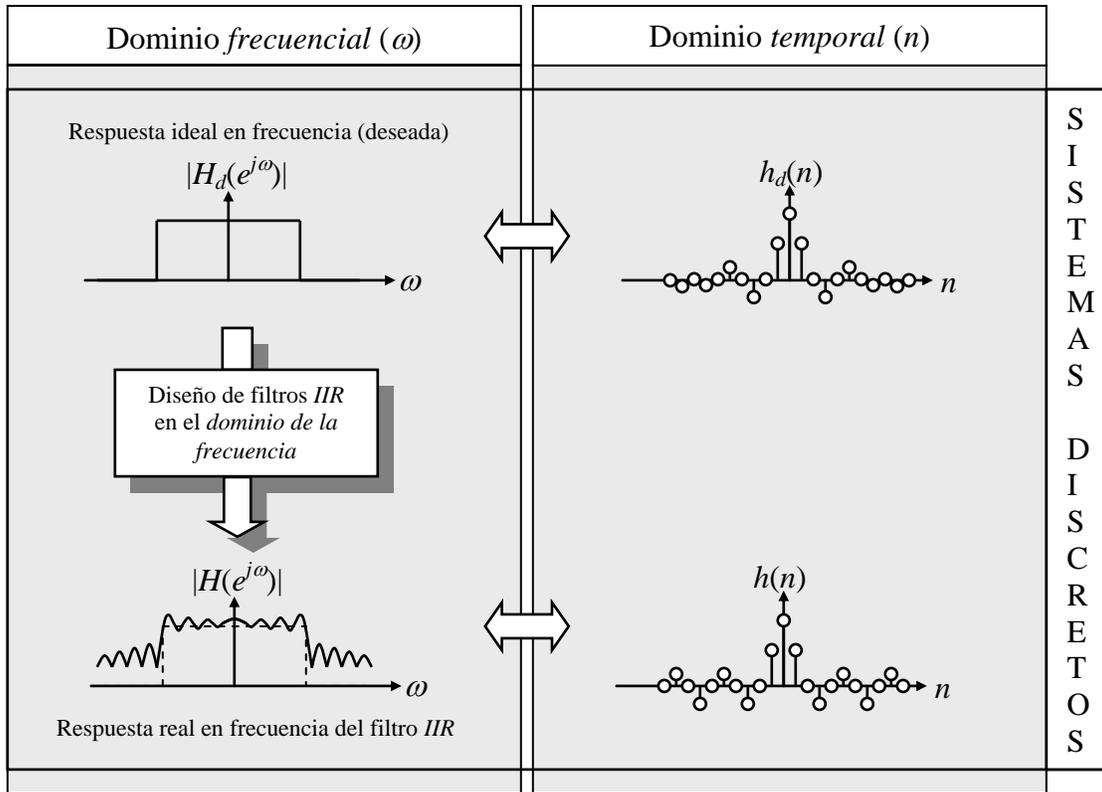


Figura 1.9 Diseño de filtros *IIR*

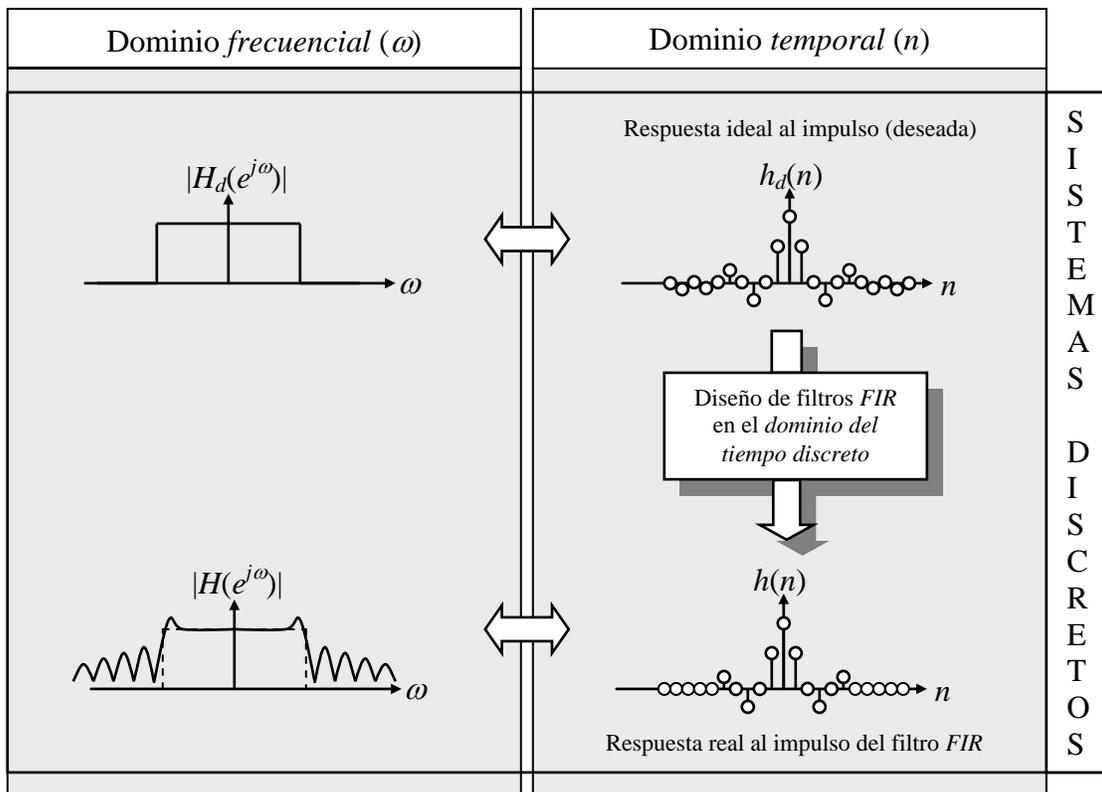


Figura 1.10 Diseño de filtros *FIR*