

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 ¿Qué es MIDI?**

Si se va a hablar de MIDI lo mejor es comenzar a estudiarlo desde el principio. La palabra MIDI es un acrónimo de "**M**usical **I**nstrument **D**igital **I**nterface", es decir Interfaz Digital para instrumentos musicales.

Actualmente, esta definición dada por primera vez en el año de 1981 queda un poco corta; en efecto, MIDI es mucho más que una interfaz: es todo un sistema de interconexión que incluye especificaciones físicas y lógicas (hardware y software) que permiten a diferentes instrumentos musicales, de distintos fabricantes, interconectarse y comunicarse entre sí mediante el uso de un maestro o secuenciador. (Apéndice C)

El protocolo MIDI es un estándar que, aunque todavía tiene diferencias entre los fabricantes, cumple ciertos requisitos mínimos; de forma que todo aparato que ostente dicha etiqueta debe respetarlos.

Contrariamente a lo que se piensa, no sólo los sintetizadores u órganos musicales son capaces de utilizar este protocolo, sino también otros instrumentos como guitarras y ciertos instrumentos de cuerda, así como dispositivos no musicales, como por ejemplo luces, mezcladoras digitales, en fin casi cualquier dispositivo digital utilizado en el medio del espectáculo posee el estándar MIDI.

Debemos poner mucho énfasis en aclarar el hecho de que MIDI no produce sonidos propios ni graba audio digital, sino que contiene instrucciones para que los dispositivos a

los que controla reproduzcan los sonidos y/o tareas solicitadas. Es comparable, en el campo de la computación al sistema PostScript pero, aplicado a la música y periféricos.

## 2.2 Breve historia de MIDI

Hablemos primero de los sintetizadores, elemento importantísimo para la creación de música MIDI. Todo empezó en los años setenta, cuando el científico Robert A. Moog, lanzó al mercado un instrumento electrónico para crear piezas musicales llamado **sintetizador**. Los primeros instrumentos electrónicos ya habían aparecido desde 1920, por lo que Moog solo esperaba vender algunos cientos de unidades como curiosidad para algunos músicos de vanguardia, pero 13 mil unidades más tarde se dio cuenta que había cometido un pequeño error, se le olvidó ponerle un teclado[14].



**Figura 1.** Moog Circa 77 [14]

Así es, los primeros sintetizadores en el mundo no usaban teclado. El sistema consistía de una unidad que generaba sonido y era controlada por pulsos eléctricos para disparar el sonido y por voltajes variables que controlaban el tono. Estas eran señales analógicas y la tecnología era electrónica de bulbos.[14]

Fue a principios de los años 80 cuando la tecnología de los sintetizadores había conseguido importantes resultados, desde el lograr imitar a un instrumento acústico, hasta crear sonidos inexistentes y extraños, solo encontrados en la propia imaginación del artista.

Sin embargo, uno de los problemas que permanecían sin solucionar era la incompatibilidad entre diferentes instrumentos, incluso de la misma marca.

Si consideramos que los sintetizadores eran monofónicos (o sea capaces de producir una sola nota a un tiempo), podemos imaginar que estos aparatos no eran competencia para los verdaderos instrumentos acústicos, ya que éstos pueden ser capaces de utilizar un sin fin de notas a la vez. Este problema ocasionó que en 1981, los científicos Dave Smith y Chet Wood de la empresa Sequential Circuit, se propusieran a realizar un medio de comunicación entre instrumentos musicales que fuese respetado por todos los fabricantes. La idea básica era permitir hacer sonar a más de un aparato a la vez, creando así un instrumento polifónico (producción de varias notas al mismo tiempo) por el sistema de adición de varios componentes.

Las especificaciones se prepararon a mediados de 1982 y se publicaron a finales del mismo año bajo el título *The Complete SCI MIDI* abreviándose el nombre a M.I.D.I. (Musical Instruments Digital Interface). El primer sintetizador que salió al mercado ostentando el logotipo MIDI fue el *Prophet 600* de Sequential Circuit, a mediados del 83.[15]



**Figura 2.** Prophet 600 [16]

Una prueba del éxito de MIDI es que en el año 2001, sigue siendo el estándar que respetan todos los instrumentos (y otros dispositivos) que ostentan el logotipo. El sistema es simple de instalar en los aparatos y su estructura sencilla, barata y efectiva, permite que sea factible su instalación en cualquier producto, desde los más económicos hasta los más costosos.

## **2.3 Componentes básicos de un sistema MIDI**

Con anterioridad se han mencionado brevemente conceptos como el de “secuenciador” y “sintetizador” que ciertamente corresponden a dos de los dispositivos más utilizados en el mundo del MIDI para crear música, pero también es importante conocer un poco más de ambos, así como de los componentes indispensables para conformar una estación de trabajo MIDI y los conceptos necesarios para su comprensión.

### **2.3.1. Secuencias**

La música en la actualidad, o cuando menos en su gran mayoría, es ejecutada a través de partituras las cuales contienen toda la información que el músico necesita para ejecutar la melodía. Cada partitura está escrita para cada instrumento en específico, así pues, en una orquesta existen diversas partituras para ajustarse al instrumento requerido. Pues bien, en MIDI existe una gran partitura a la que llamaremos **secuencia**, la cuál contiene toda la información que el dispositivo MIDI requiere para ejecutar la melodía. La diferencia con la partitura es que una secuencia no solamente puede almacenar notas, sino también diversos comandos o **controladores** para ser ejecutados por un reproductor MIDI, así como la información respectiva no solo de uno, sino de todos los instrumentos.

### **2.3.2 Sintetizador**

Aunque es posible realizar una secuencia con dispositivos como el *mouse* y el teclado de una computadora común, es mejor utilizar un sintetizador para realizar dichas tareas. Este mecanismo crea un sonido a partir de ondas elementales (sintetizadores FM) o de muestras previamente grabadas reproducidas a una velocidad variable (sintetizadores *wavetable*) (Apéndice C). De manera simple podemos decir que un sintetizador es aquel instrumento capaz de editar, crear y reproducir sonidos; generalmente incluyen teclas para accionar los sonidos, sin embargo existen versiones sin teclas.

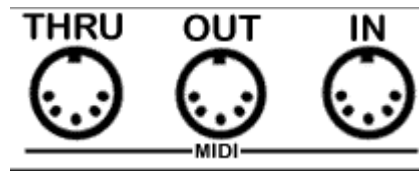
### **2.3.3 Secuenciador**

El secuenciador forma el pilar principal del sistema MIDI. Éste es un dispositivo capaz de leer o escribir una secuencia en tiempo real. Puede estar conformado por un dispositivo externo, como algún teclado que incluya este sistema, o tal vez un módulo de hardware especializado en secuenciación. Actualmente los músicos están optando por mecanismos más robustos y poderosos, tales como CPUs controlados por software que pueda cumplir con este propósito, tal es el caso de *Sonar* [17]. En resumen, el secuenciador lee una secuencia MIDI y la convierte en una sucesión de mensajes que envía a través de un cable para que el sintetizador la ejecute.

## 2.4 Envío de información MIDI

Esencialmente el sistema MIDI consiste en un puerto serial semejante al que se encuentra en las computadoras, y consta de mensajes formados por 1, 2 o 3 bytes transmitidos a una velocidad de 31.25 Kbaudios o KBits/seg. Como en la mayoría de las transferencias que se realizan por computadora, los mensajes se transmiten bit por bit.

Se utiliza un puerto para recepción de datos ó MIDI IN y otro para transmisión o MIDI OUT. Además la mayor parte de los aparatos cuentan con una salida llamada MIDI THRU, que retransmite la señal que viene de MIDI IN, lo que hace posible interconectar varios instrumentos. Básicamente, puede decirse que con el protocolo MIDI un dispositivo maestro controla a otro esclavo o conjunto de ellos para que ejecuten una interpretación musical.



**Figura 3.** Puertos MIDI IN, MIDI OUT y MIDI THRU [14]

El cable que se utiliza es un cable DIN de 5 puntas, la punta 3 es tierra, y las puntas 2 y 4 son la señal eléctrica. Teóricamente no debería ser necesaria la conexión de tierra excepto para el blindaje, pero algunos aparatos la necesitan.

El proceso para generar sonido es el siguiente: se envía un mensaje MIDI de **ON** el cual requiere del número de canal, el número de la nota que va del 0 al 127, el volumen, también llamado velocidad con valores de 1 a 127, porque depende de con que velocidad se oprime la tecla, y finalmente la duración, es decir cuantos ticks durará la nota encendida.

Cabe mencionar que según el estándar oficial se manejan números de canal de 1 a 16, sin embargo para su almacenaje se emplean canales de 0 a 15.

Obviamente, con este sistema es imposible que un acorde toque todas las notas al mismo tiempo, pero la velocidad de transmisión es tal, que recibimos la ilusión de que tocan simultáneamente. El envío de cada nota requiere menos de un milisegundo, pero si se envían muchas notas al mismo tiempo puede llegar a haber un retraso apreciable en la última nota.

En resumen puede decirse que la interfaz digital MIDI se comunica con los dispositivos a través de **mensajes** los cuales son enviados a través de una interfaz física que es conectada desde el dispositivo maestro o controlador al dispositivo esclavo.

#### **2.4.1 Definición de Mensaje MIDI.**

Podemos decir de manera simple que un mensaje MIDI es todo aquel evento generado por un controlador (apéndice A), es decir, cada vez que alguien toca una tecla de un piano electrónico, gira la rueda de modulación de un sintetizador o simplemente presiona un pedal se genera un mensaje. Éste consta de un comando y ciertos datos asociados (que pueden ser uno, varios o ninguno, en función de la acción realizada). Como existen diferentes acciones que se pueden realizar sobre un controlador MIDI, existirán diferentes tipos de mensaje para describir dichas acciones.

#### **2.4.2 Envío de mensajes MIDI.**

El envío de datos MIDI se logra cuando el instrumento transmisor presenta en su puerto MIDI OUT un comando o mensaje que especifica una acción a ejecutarse y el

instrumento que lo recibe ejecuta el comando si está dentro de sus posibilidades, en caso contrario éste es ignorado.

Cada mensaje MIDI está codificado en una cadena de datos digitales. Los datos MIDI se organizan en bytes de 8 bits (o "palabras") precedidos de un start bit (siempre "0") y seguidas de un stop bit (siempre "1"). Estos últimos permiten al microprocesador del instrumento receptor distinguir el final de un byte del comienzo del siguiente.

Los bytes de datos MIDI se combinan en mensajes, que consisten en un status byte seguido de uno o varios data bytes. Los status byte definen el tipo de comando que se transmite (note on, pitch bend, patch change, etc.) y su primer bit es siempre "1". Los data bytes indican información específica respecto del comando del status byte (key velocity, valor del pitch bend, número de patch, etc.) y su primer bit es siempre "0".

## **2.5 Comprendiendo los estándares MIDI.**

Inicialmente, como ya se ha venido mencionando con anterioridad, el protocolo MIDI fue creado como un medio para unificar los diversos criterios establecidos por los fabricantes de los instrumentos musicales. Sin embargo, MIDI permite aún cierta flexibilidad en el manejo de datos, haciéndolo útil para controlar características especiales que contienen los instrumentos de cada marca específica, pero menos útil en su función inicial: la unificación. Lo anterior significa que cualquier empresa que se dedique a la construcción de dispositivos MIDI puede crear un sistema de almacenaje de datos tal que, sea reconocible únicamente por su sistema aunque se siga el protocolo MIDI.



El estándar General MIDI (GM) nace entonces para unificar todos los criterios establecidos por los fabricantes, seguido de un sistema de almacenaje llamado Standard Midi File (SMF) que en conjunción proporcionan al usuario la portabilidad tan anhelada.

### **2.5.1 Estándar General Midi (GM).**

Por causas conocidas únicamente por el fabricante los sintetizadores organizan sus bancos de sonidos de forma diferente. Es decir, es posible que el usuario active el sonido de piano, por ejemplo, digitando el número 1, y sin embargo este mismo número podría ser una guitarra en otro dispositivo.

El mapeo (Apéndice C) de los sonidos era diferente en cada sintetizador, lo que ocasionaba que la secuencia o melodía grabada se escuchara completamente distorsionada. Para solucionar este problema, los fabricantes de sintetizadores decidieron adoptar un estándar que consistía en que todos los sintetizadores fabricados bajo el sello GM usarían un conjunto común de 128 sonidos, organizados en 16 grupos de 8: pianos y órganos, guitarras, percusión, cuerdas, viento madera, viento de metal, sintéticos, efectos especiales, etc. Así mismo, se crea un mapa de batería en el cual las percusiones estuvieran enumeradas de igual forma en todos los dispositivos que ostentaban el logotipo GM, utilizando el canal 10 para su ejecución. (Ver apéndice B para una lista detallada de los instrumentos General Midi)



Figura 4. Logotipo de General Midi. [18]

De este modo, si un compositor usa el banco de sonidos General MIDI, puede estar seguro de que su creación sonará correctamente en cualquier equipo GM.

### **2.5.2 Archivo MIDI estándar (SMF)**

Como ya habíamos comentado, cada sistema utilizaba su propio formato para almacenar las secuencias MIDI, no existía un control, ni un método fácil para establecer la portabilidad que se necesitaba. La solución a este problema llegó gracias a la introducción del fichero midi estándar, al que llamaremos SMF por su significado en inglés *Standard Midi File*. Este nuevo medio de almacenaje no solamente logró resolver la escasez de portabilidad, sino también se impuso en todas las plataformas conocidas, tal es el caso de Macintosh, PC, Amiga, etc., e incluso en la mayoría de los "secuenciadores hard" (es decir, no basados en ordenadores, sino en equipos independientes)

Luego entonces, una secuencia creada bajo el estándar GM usando el protocolo MIDI y grabado dentro de un SMF, puede ser leída en cualquier dispositivo no importando la plataforma que se use para su reproducción, siempre y cuando sea compatible con estos estándares.

Esta tesis finalmente, será capaz de analizar cualquier archivo MIDI, siempre y cuando éste se haya grabado dentro de un SMF y lo reproducirá en un módulo generador de tonos, pudiendo ser compatible con General MIDI.

## 2.6 Cómo se convierte la música en matemática.

Los sonidos musicales son producidos por algunos procesos físicos que tienen un carácter periódico [19]. Aunque son distintos entre sí, es posible representar estos procesos bajo un mismo modelo matemático, para lo cual es necesario tomar ciertas características que posean en común. La "altura" o frecuencia, representa la cualidad que se está buscando. Imaginémos una cuerda que al ser tocada vibra, dando oscilaciones en las proximidades de su posición de reposo o equilibrio. Cuanto más oscilaciones da en un período de tiempo, más alta será la frecuencia del sonido producido, y más aguda o "alta" será la nota musical resultante. La magnitud de la frecuencia se mide en Hertz (Hz), que es simplemente el número de oscilaciones o ciclos por segundo. En la música, las frecuencias absolutas no son tan importantes, como sí lo son las relaciones de frecuencia entre diferentes sonidos, las cuales denominaremos intervalos o distancias. Una melodía puede ser tocada con instrumentos de sonido grave o agudo, o en diferentes "octavas", sin dejar de ser la misma melodía, siempre y cuando las distancias entre las notas sean preservadas.

La distancia musical que separa alguna nota de la de la nota base o **etalón**, la denominaremos **escala** (pitch en inglés).[19] Existen diversos tipos de escalas, cuyos nombres no mencionaremos por carecer de importancia en este momento, sin embargo podemos mencionar que el protocolo MIDI presenta una numerología empleada para acceder a las diferentes notas de éstas:

Números de nota												
Octava	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
2	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
3	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
4	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
5	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
6	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
7	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
8	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
9	120	121	122	123	124	125	126	127				

**Tabla 1.** Números de nota empleados en MIDI. [20]

Como nos podemos cuenta la matemática tiene gran influencia dentro de todos los sonidos que escuchamos diariamente. Es así entonces, como MIDI utiliza bases matemáticas para convertir la música en números, los cuales son finalmente interpretados por la computadora de nuestra elección.

La interpretación de una secuencia producida en MIDI requiere de un sistema que traduzca nuevamente los datos almacenados en música, a lo que llamaremos **generador de tonos**.

## 2.7 Descripción de un generador de tonos.

Básicamente podemos decir que un generador de sonido (tonos), recibe información MIDI por el puerto MIDI IN que posteriormente es transformada en sonidos audibles. Nos enfocaremos principalmente en describir los dos tipos más importantes de generadores de tonos conocidos: sintetizadores y muestreadores o samplers.

- **Sintetizador.** Como su nombre lo indica, produce un sonido puramente sintético generado por el procesado analógico o digital de una o varias señales simples. Éstas pueden ser ondas triangulares, de dientes de sierra, sinusoidales, cuadradas, etc. En la creación de voces o sonidos, son empleados procesos de modulación, envolventes, distorsión y filtrado frecuencial entre otros. De la misma forma se emplean diversas síntesis para lograr el resultado final, como por ejemplo armónica, aditiva, analógica, digital y FM. (Apéndice C) Los sonidos resultantes son guardados en bancos definidos por el fabricante y algunas veces por el usuario.[22]
- **Muestreador o sampler.** La principal diferencia con respecto a un sintetizador es que este tipo de generador no parte de una onda simple sino de una onda grabada. Es decir, en un sintetizador utilizaríamos varias frecuencias para conseguir un sonido artificial de guitarra, por ejemplo, pero en un sampler bastaría con grabar cada nota directamente de la guitarra a la memoria del mismo. Necesitan mucho más espacio para almacenar los sonidos pero se obtienen sonidos mucho más reales. Los samplers también aplican filtros, envolventes y otros procesos a la señal para dar mayor expresividad al sonido.[22]

Algunos módulos de sonido, como el Roland Sound Canvas (ver figura 5) utilizado en esta tesis mezclan la síntesis con el muestreo para lograr sonidos más reales y puros.



**Figura 5.** Generador de tonos Roland Sound Canvas. [21]

Una conexión entre la computadora y el generador de tonos es necesaria ahora para lograr la reproducción de la secuencia, es entonces cuando surge el concepto de Interfaz MIDI.

## **2.8 Aplicaciones Midi en Macintosh**

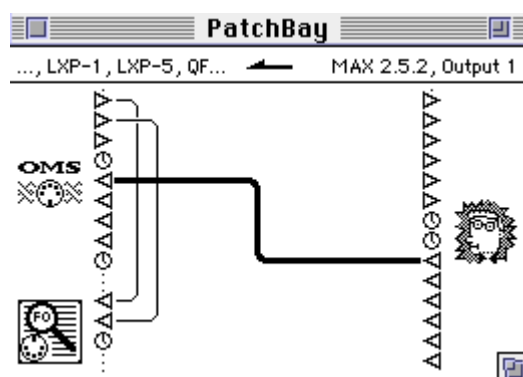
Macintosh es una buena plataforma para construir aplicaciones que tengan relación con la música. Ciertos instrumentos musicales contienen, además de los puertos estándar midi (in, out y thru), un puerto serial Mini-Din 8 bajo el protocolo RS-422 exclusivo de Mac. El dispositivo MIDI se conecta a través de éste usando únicamente el puerto de impresión o modem ordinario localizado en casi cualquier Macintosh.

La construcción de una aplicación MIDI en Mac se puede efectuar usando diversas herramientas como CMU Midi Toolkit, MIDIBasic o MIDIPascal de Altech Systems, etc. Sin embargo la mejor forma de lograr una perfecta interacción entre software y hardware sigue siendo Apple Midi Manager.

### **2.8.1 Descripción de Apple Midi Manager.**

Midi manager data desde 1989 cuando Apple Computer se da cuenta de que el mercado profesional de la música se merecía su atención. Midi Management Tools (nombre correcto de Midi Manager) proveía al sistema Macintosh de una extensión que le permitía a las aplicaciones MIDI acceder el hardware a un alto nivel. De hecho, las

aplicaciones creadas en Midi Manager pueden comunicarse entre sí de forma transparente, y son capaces, en teoría, de trabajar con nuevos tipos de hardware siempre y cuando los proveedores del mismo proporcionen los drivers adecuados en sus productos para poder comunicarse con Midi Manager. Este último proporciona, además, servicios de transferencia de datos (incluyendo análisis de mensajes) y algunas funciones respetables de tiempo.



**Figura 6.** Aplicación PatchBay de Midi Manager. [23]

## 2.9 Sistemas de tiempo real.

Generalmente se encuentran en todas partes, su presencia es muchas veces imperceptible a pesar de que forman parte de nuestra vida cotidiana. Son parte esencial, por ejemplo, en el suministro de energía eléctrica, tráfico aéreo, circulación de trenes, etc.

Estos sistemas informáticos tienen algo en común: están íntimamente ligados a otros sistemas, con los que se relacionan continuamente, intercambiando datos y señales de muy diversos tipos, y realizando funciones de control en sentido amplio sobre los mismos. De hecho se puede hablar, en la mayoría de los casos, de un único sistema con dos

subsistemas: sistema controlado o entorno, y sistema de control. El sistema controlado (teléfono, automóvil, red eléctrica, etc.) tiene una dinámica propia que, en general, sólo se puede modificar de forma limitada, actuando sobre el sistema por medio de unos dispositivos denominados actuadores. El sistema de control, por el contrario, se suele realizar mediante un computador cuya programación es mucho más flexible. Por tanto, es éste el que debe adaptar su funcionamiento al del sistema controlado, del que recibe información a través de un conjunto de sensores, actuando sobre el mismo de forma que el comportamiento global del sistema tenga unas propiedades determinadas, que constituyen su especificación.

En la mayoría de los casos es necesario que las acciones de control se efectúen dentro de unos intervalos de tiempo bien definidos, con objeto de que el estado del sistema controlado, que tiene su dinámica propia, no evolucione hacia valores incorrectos o indeseables. No basta, pues, que el funcionamiento del sistema de control sea correcto desde un punto de vista lógico, es decir, que el cálculo de las salidas del sistema a partir de sus entradas y de su estado interno sea correcto, sino que además debe ser correcto desde un punto de vista temporal. De nada sirve realizar la acción si se hace demasiado tarde o demasiado pronto. Por tanto, el tiempo en que se ejecutan las acciones del sistema es relevante semánticamente. Esta característica difiere totalmente de lo que es habitual en otros tipos de sistemas informáticos y justifica la denominación de sistemas de tiempo real que suelen recibir estos sistemas. Podemos definir entonces que: *un sistema de tiempo real es un sistema informático que interacciona repetidamente con su entorno, sobre el que realiza acciones de control que se producen dentro de intervalos de tiempo bien definidos.*



### 2.9.1 Propiedades temporales

El hecho de que las acciones del sistema se deban efectuar dentro de intervalos de tiempo determinados hace que el diseño y realización de sistemas de tiempo real presente un problema. Es importante resaltar que no se trata simplemente de que el sistema sea rápido, aunque esto desde luego ayuda a cumplir los requisitos de tiempo, sino de que sea determinista, es decir que su comportamiento temporal sea el adecuado en cualquier circunstancia, incluso cuando el sistema esté sobrecargado. Generalmente las propiedades temporales se expresan mediante dos tipos de requisitos que se aplican a cada una de las actividades del sistema: esquema de activación y plazo de ejecución de la actividad,

- a. Esquema de activación.** Indica cuándo se debe ejecutar cada actividad. La activación puede ser periódica o aperiódica. En el primer caso, la actividad se ejecuta regularmente, con un período bien definido. En el segundo caso, se ejecuta de forma irregular, en respuesta a un suceso del entorno o del propio sistema de tiempo real. La activación aperiódica se caracteriza mediante la exigencia de una separación mínima entre dos sucesos consecutivos, mediante un número máximo de sucesos en un intervalo de tiempo determinado, o mediante una distribución estadística del suceso de activación. En el primer caso se suele hablar de activación esporádica.
- b. Plazo de ejecución de la actividad.** Marca el límite de tiempo para la terminación de la actividad cada vez que se ejecuta.

Estos requisitos se pueden interpretar de varias maneras. En algunos sistemas, llamados críticos (hard real-time systems), es inadmisibles que determinadas acciones (no necesariamente todas) terminen fuera de plazo ni una sola vez. En otros sistemas,

denominados acríticos (soft real-time systems), se puede admitir que se violen algunos plazos de vez en cuando sin más consecuencia que un empeoramiento en la calidad del funcionamiento del sistema. Obviamente, los primeros son considerablemente más difíciles de diseñar y realizar que los segundos.