# *Contenido*


**Unidad Básica de Comunicación Serial en un Microcontrolador**
M. en C. Juan Carlos Herrera Lozada (CIDETEC IPN), Ing. Ian Ilizaliturri Flores
(Alumno de la Maestría en Tecnología de Cómputo del CIDETEC IPN), Ing. Mario Morales Castillo
(Alumno de la Maestría en Tecnología Avanzada del CICATA-Legaria IPN)
3

**Ingeniería de Software:**
**Flexibilidad en el Diseño**
M. en C. Sergio Fuenlabrada Velázquez, MSI Edna Martha Miranda Chávez,
Ing. Mario Alberto Sesma Martínez (UPIICSA-IPN)
8

**Introducción a la Realidad Virtual**
M. en C. Mauricio Olguín Carbajal, M. en C. Israel Rivera Zárate (CIDETEC - IPN),
Erika Hernández Montañez (Alumna PIFI CIDETEC - IPN).
11

**Inteligencia Aplicada a los Portales Académicos**
**(Principios de Usabilidad)**
M. en C. Elizabeth Acosta Gonzaga, Lic. Adauto Israel Ortiz, (CIDETEC-IPN); M. en C. Abraham
Gordillo Mejía, Profesor de la UPIICSA-IPN.
16

**Modulación por Ancho de Pulsos en Lógica Programable**
M. en C. Juan Carlos González Robles, M. en C. Juan Carlos Herrera Lozada,
Ing. Patricia Pérez Romero, (CIDETEC-IPN).
26

**El Formato abc para Composición Musical**
M. en C. Jesús Antonio Álvarez Cedillo, M. en C. Elizabeth Acosta Gonzaga,
Ing. Patricia Pérez Romero, (CIDETEC – IPN)
31

# Unidad Básica de Comunicación Serial en un Microcontrolador

*M. en C. Juan Carlos Herrera Lozada*
*Investigador del CIDETEC IPN*
*Ian Ilizaliturri Flores*
*Alumno de la Maestría en Tecnología de Cómputo del CIDETEC IPN*
*Mario Morales Castillo*
*Alumno de la Maestría en Tecnología Avanzada del CICATA IPN (Legaria)*

El presente artículo infiere el diseño de una unidad de comunicación serial implementada con un microcontrolador. La funcionalidad de este prototipo permite enviar y recibir datos de cualquier sistema de cómputo que soporte el estándar RS-232, dado que su generalidad permite adaptarlo a cualquier aplicación sin cambios drásticos. Este trabajo expone los resultados preliminares del proyecto *"Sistemas de Control para Motores, Supervisados por Computadoras de Bolsillo"* que se desarrolla actualmente en el CIDETEC - IPN.

### *Introducción*

Los microcontroladores actuales normalmente cuentan con un módulo funcional de comunicación serie ***USART/SCI*** *(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter/Serial Comunication Interface);* en caso contrario éste puede implementarse en la mayoría de sus funciones mediante software. Este módulo se utiliza ampliamente en sistemas de cómputo en general, por lo que el microcontrolador visto como un *core* o unidad básica puede establecer comunicación de manera simple con el procesador del equipo y acceder a los recursos del sistema completo.

El medio de transmisión para la interfaz *USART* requiere de al menos dos vías, por lo que la complejidad, costos y el uso de terminales del microcontrolador se reducen; esta interfaz tiene dos modos de comunicación: asíncrona o síncrona. La primera es *full duplex* con una vía RX (Recepción) y otra TX (Transmisión), la segunda interfaz es *half duplex*, utiliza una vía de CLK (reloj) y otra de DT (Transmisión de datos), con sus configuraciones por dispositivo como maestro o esclavo. En los microcontroladores también pueden existir otros módulos de comunicación serie como el *SPI (Serial Peripherial Interface)* o *I2C (Inter.-Integrated Circuit)* que son de tipo síncrono.

Cuando el módulo *USART* maneja la comunicación en modo asíncrono se denomina ***UART*** *(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)*. Para establecer comunicación mediante el *UART* se requiere que los parámetros sean iguales para TX y RX; estos parámetros son: número de bits del dato, número de bits de paro *(stop)*, velocidad de transmisión (en baudios), control de paridad y niveles lógicos utilizados. La línea que transmite los datos en serie está inicialmente en estado alto; al comenzar la transferencia se envía un bit "0" lógico o *bit de inicio*. Tras él irán los bits de datos a transmitir (en ocasiones son 8, 7, 6 o 5): estos bits están espaciados con un intervalo temporal fijo y preciso, ligado a la velocidad de transmisión que se esté empleando.

Posteriormente podría venir un bit de paridad que indica si se ha enviado un número par o impar de bits con un nivel lógico alto en la palabra; al final aparecerá un bit (a veces un bit y medio ó dos bits) a "1" lógico, representando los bits de paro. Medio bit significa que la señal correspondiente en el tiempo a un bit dura la mitad; realmente, en comunicaciones se utiliza el término baudio para hacer referencia a las velocidades y por lo general, un baudio equivale a un bit por segundo. La presencia de los bits de inicio y parada permite sincronizar la estación emisora con la receptora, haciendo que los relojes de ambas vayan a la par, por eso el tipo de transmisión se denomina asíncrona por paquete y síncrona por bit.

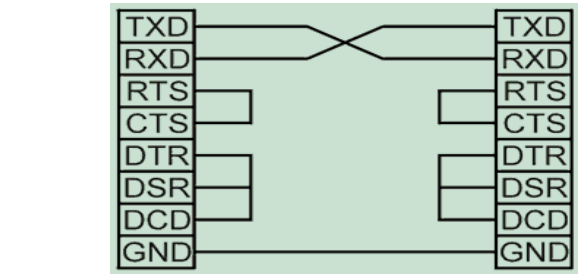
Existen varios estándares de comunicación serie asíncrona, que emplean tensiones diferenciadas apropiadas para distancias largas entre dispositivos como RS-422, RS-485 u otros que emplean niveles de tensión para la inmunidad a ruido, tal como RS-232. El *UART* tiene compatibilidad con este último en su tercera versión, denominada con "C".

### Estándar Rs-232c

Propuesto por la *Asociación de Industrias Electrónicas (**EIA**)*, realizándose posteriormente una versión internacional por el ***CCITT*** *(Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony)* conocida como V.24 con pocas diferencias entre ambas. El estándar estipula las características mecánicas, eléctricas y de un protocolo orientado al enlace físico punto a punto. Las características eléctricas ofrecen alta inmunidad a ruido, y una distancia de enlace de hasta 16 metros dependiendo de la velocidad de transmisión utilizada. Los niveles de voltaje aplicado para el 0 lógico están en el rango de +3V a +15V, y para el 1 lógico se tiene un rango de -3V a -15V; de -3V a +3V se tiene una zona de transición. Este estándar cuenta con dos tipos de conectores físicos: el conector DB9 y el conector DB25. La **Tabla 1** muestra la configuración física de las terminales para ambos casos.

### *Diseño del Prototipo*

El *core* diseñado está dispuesto como enlace entre el sistema de cómputo y una aplicación externa (monitoreo de señales, adquisición de datos, sistemas de control, etc.). El microcontrolador intercambia información con el equipo de cómputo vía el puerto serie. Por ejemplo, una PC común utiliza circuitos integrados *UART* tales como el 8250, el 16450, el 16550, etc.; cada uno de estos con sus variantes en máxima velocidad de comunicación, elementos de almacenamiento, control de flujo de datos, funcionalidad adicional y en el cumplimiento de la norma RS-232C; por ello, adecuar los requerimientos de la unidad básica de comunicación serial (microcontrolador programado como tal) no representa mayor problema.



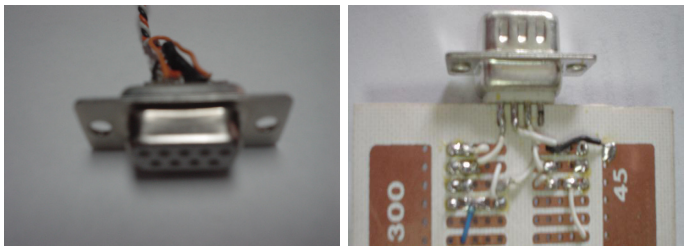



**Figura 1. Cable Null-Modem de 3 hilos.**

### Construcción del Cable

Para la comunicación serial simplificada, considerando la robustez que pueda presentar el diseño, se requiere un cable *Null – Modem* de 3 hilos, interconectando las señales sobrantes en el mismo conector DB9, tal y como se aprecia en la **Figura 1**. Este procedimiento emula el protocolo CTS/RTS y DSR/DTR por hardware; para controlar el flujo de datos se recurre al protocolo de software XON/XOFF.

| Pin DB9 | Pin DB25 | Nombre | Dirección | Descripción |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 8 | CD | Entrada | Detección de portadora |
| 2 | 3 | RxD | Entrada | Recepción de datos |
| 3 | 2 | TxD | Salida | Transmisión de datos |
| 4 | 20 | DTR | Salida | Terminal de datos preparadas |
| 5 | 7 | GND | - | Masa del sistema |
| 6 | 6 | DSR | Entrada | Set de datos preparados |
| 7 | 4 | RTS | Salida | Petición para enviar |
| 8 | 5 | CTS | Entrada | Listo para enviar |
| 9 | 22 | RI | Entrada | Indicador de llamada |

**Tabla 1. Pines de los conectores DB9 y DB25.**

### Unidad Serial Implementada en Microcontrolador

Es posible utilizar cualquier microcontrolador considerando algunas excepciones que se mencionan posteriormente. Para unificar la metodología se utilizó primeramente el microcontrolador *PIC16F628A* de *Microchip*, debido a que es un dispositivo de bajo costo y que se consigue fácilmente en el mercado nacional; las características de este circuito integrado son: 2048x14 bits en memoria de código, 224x8 bits en memoria de datos, 128x8 bits en memoria EEPROM, una frecuencia de trabajo máxima de 20MHz, 16 puertos E/S, dos comparadores analógicos, *USART* y un módulo PWM de 10 bits. El módulo *USART* incluido tiene una memoria FIFO, ***BRG*** *(Baud Rate Generador)* y control de paridad. Se recomienda acceder a la hoja de especificaciones de este microcontrolador para profundizar en el mismo.

### Programación en PicBasic Pro

Para la programación del microcontrolador se utiliza ***PICBASIC PRO,*** el cual utiliza un lenguaje de alto nivel que disminuye considerablemente la complejidad y el tiempo de diseño.

| símbolo | valor | baudios | modos |
|---|---|---|---|
| T2400 | 0 | 2400 | TTL Lógica Positiva |
| T1200 | 1 | 1200 | |
| T9600 | 2 | 9600† | |
| T300 | 3 | 300 | |
| N2400 | 4 | 2400 | TTL Lógica Invertida |
| N1200 | 5 | 1200 | |
| N9600 | 6 | 9600† | |
| N300 | 7 | 300 | |
| OT2400 | 8 | 2400 | Drenaje Abierto |
| OT1200 | 9 | 1200 | |
| OT9600 | 10 | 9600† | |
| OT300 | 11 | 300 | |
| ON2400 | 12 | 2400 | Fuente Abierta |
| ON1200 | 13 | 1200 | |
| ON9600 | 14 | 9600† | |
| ON300 | 15 | 300 | |

**Tabla 2. Modos de transmisión aceptados por SERIN y SEROUT.**

Este lenguaje contiene dos instrucciones básicas para la comunicación serial bajo un protocolo simple: ***SERIN*** *y* ***SEROUT*** (comunicación serial asíncrona para entrada/salida). El compilador, así como el manual de usuario y algunos tutoriales, se pueden obtener directamente del sitio web del fabricante *http://www.melabs.com/pbpdemo.htm*.

La sintaxis de la instrucción de entrada serial *SERIN* es la siguiente:

```
SERIN Pin, Mode, {Timeout,Label,}{[Qual...],}
{Item...}
```

En ella se indica la recepción de datos sobre la terminal (pin) indicada (de acuerdo a la distribución de pines del microcontrolador) en el formato estándar asíncrono que utiliza 8 bits de datos, sin bit de paridad y un solo bit de paro *(8N1)*. El modo selecciona la frecuencia de transmisión y el tipo de la misma de acuerdo a la **Tabla 2**. ***Mode*** (*p.e. T2400* para indicar el baudaje) está definido en el archivo *MODEDEFS.BAS*, que se incluye utilizando la línea *Include "modedefs.bas"*

La sintaxis de la instrucción para la salida serial *SEROUT* es:

```
SEROUT Pin, Mode,[Item[,Item...]]
```

Esta instrucción envía los datos de manera serial a través del pin indicado, utilizando el mismo formato estándar de la instrucción *SERIN*. Para utilizar el protocolo RS-232 completo con la interfaz *USART* (no sólo tres hilos, sino todos los del conector), se utilizan *HSERIN* y *HSEROUT*. Es este caso será necesario definir los parámetros de la comunicación y construir el cable adecuado.

### *Aplicación con Comunicación Completa*

El circuito de la **Figura 2** muestra al microcontrolador PIC16F628A conectado a un motor CD. El bloque denominado *TERMINAL* representa a la interfaz de usuario, que permite enviar datos hacia el microcontrolador y visualizar los datos recibidos. Esta terminal puede ser propietaria, o es posible diseñarla con Visual Basic, C, o algún otro lenguaje que permita acceso al puerto serie. En este trabajo se utilizaron dos terminales, una para simulación (*contenida en la herramienta software ISIS de Proteus*) y otra para pruebas físicas que se descargó de *http://bray.velenje.cx/avr/terminal/*.

El código programado destina tiempo de proceso para establecer parámetros iniciales de funcionamiento que se estipulan en correspondencia al manejo de una *USART* en protocolo completo. En este circuito, la velocidad de giro y el paro del motor pueden manejarse en cualquier momento mediante la terminal. Obsérvese que el control del motor se realiza a través de la instrucción *HPWM* que permite modular el ancho del pulso y obtener un equivalente analógico en voltaje para reducir o aumentar la velocidad del motor.

El circuito integrado *MAX232* permite acoplar los voltajes de la *USART* y el PIC (opción más recomendable), aunque los microcontroladores de *Microchip* permiten acoplar los voltajes sin necesidad de un dispositivo adicional.

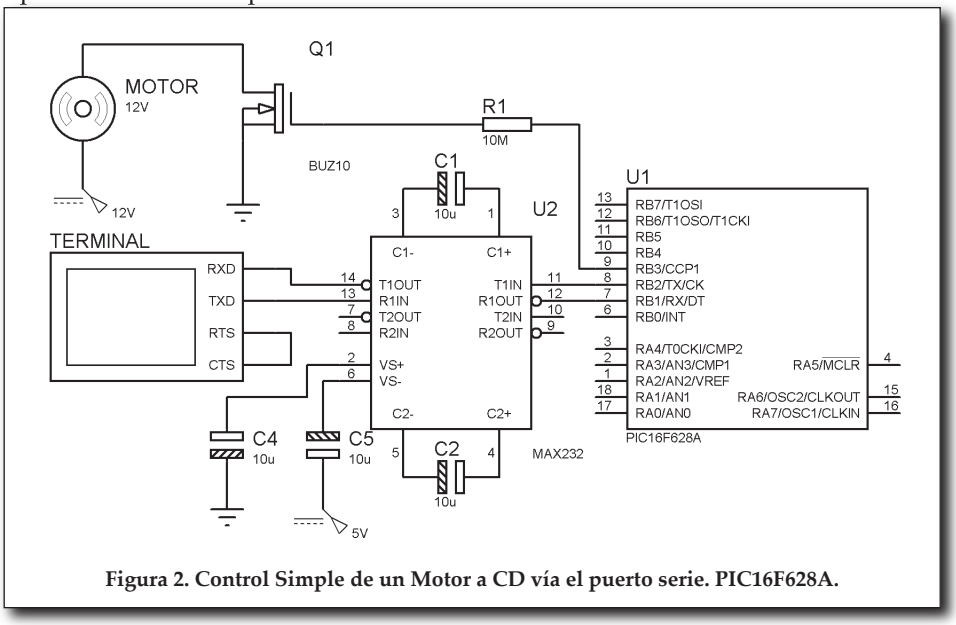



**Figura 2. Control Simple de un Motor a CD vía el puerto serie. PIC16F628A.**

```
Include "modedefs.bas"
'BITS DE CONFIGURACION DEL MICRO-
CONTROLADOR
@ DEVICE MCLR_OFF, INTRC_OSC,
WDT_OFF,
@ DEVICE LVP_OFF, BOD_OFF, PWRT_
OFF, PROTECT_OFF

'CONFIGURACION DE TERMINALES
DEFINE HSER_BAUD 2400    'VELOCI-
DAD
DEFINE HSER_SPBRG 25
DEFINE HSER_BITS 8    'BITS DE DATOS

'DECLARACION DE VARIABLES
RESPUESTA VAR BYTE

'PROGRAMA PRINCIPAL
HSEROUT ["CONTROL DE VELOCIDAD
PARA MOTOR DC",10,13]
INICIO: HSEROUT ["INTRODUZCA OPCIÓN
DE VELOCIDAD 1 2 3, STOP 0",10,13]
HSERIN [str RESPUESTA \1\"A"]
HSEROUT [RESPUESTA,10,13]
SELECT CASE RESPUESTA
CASE 49    'Velocidad 1
 HPWM 1,85,245
case 50    'Velocidad 2
 HPWM 1,170,245
case 51    'Velocidad total
 HPWM 1,255,245
case 48    'Paro de motor
 HPWM 1,0,245
end select
GOTO INICIO
END
```

### *Aplicación con Comunicación Simplificada*

El microcontrolador utilizado en el circuito de la **Figura 3** es un *PIC12C508A*, que cuenta con 768x12 bits en memoria de código, 25x8 bits en memoria de datos, frecuencia máxima de 4MHz, 6 líneas de E/S y 8 pines. Este dispositivo no tiene módulos *PWM* y *USART,* por lo que su funcionamiento debe ser programado en su totalidad y tomando tiempo de procesamiento para su utilización. En el caso de la función *PWM,* sólo se utiliza para poder procesar la siguiente acción; en la comunicación no se utilizó el circuito de acoplamiento de voltajes, por lo que el estado de transición en 0v o menos en RS-232C es tomado en el microcontrolador como "0" lógico y cualquier voltaje arriba de 5v es tomado como "1" lógico; en el RS-232 los 0v del microcontrolador son tomados como "1" lógico y los 5v equivalen a "0". El no adecuar el acoplamiento de voltajes aumenta los errores y reduce la velocidad en la comunicación.

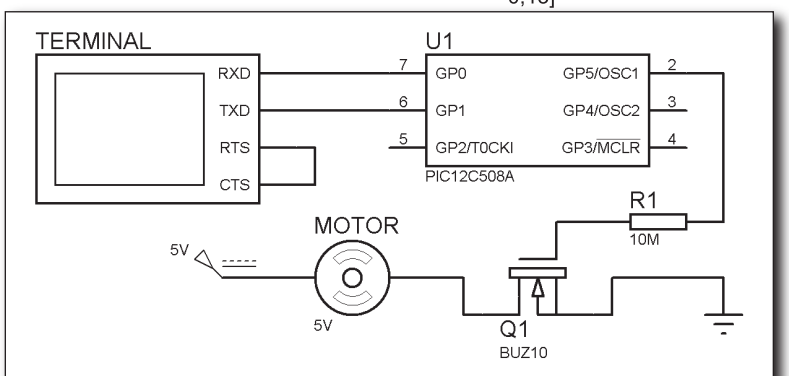



**Figura 3. Control Simple de un Motor a CD vía el puerto serie. PIC12C508A.**

```
Include "modedefs.bas"
@ DEVICE MCLR_OFF,INTRC_OSC,WDT_
OFF,PROTECT_OFF

'DECLARACIÓN DE VARIABLES
RESPUESTA var byte
VELOCIDAD VAR BYTE
TIEMPO VAR BYTE

'PROGRAMA PRINCIPAL
VELOCIDAD = 0
SEROUT GPIO.0,N2400,["CONTROL DE
VELOCIDAD PARA MOTOR DC",10,13]
INICIO: SEROUT GPIO.0,N2400,["DEME
LA VELOCIDAD 1 2 3 PARO POR TIEM-
PO",10,13]

SERIN GPIO.1,N2400,[],RESPUESTA'Espe
ra para respuesta
SEROUT GPIO.0,N2400,[RESPUESTA,1
0,13]
 SELECT CASE RESPUESTA
CASE 49    'Velocidad 1
 VELOCIDAD = 85
case 50    'Velocidad 2
 VELOCIDAD = 179
case 51    'Velocidad total
 VELOCIDAD = 255
end select
 FOR TIEMPO = 1 TO 5 ' Micro
4MHz,5ms*255*5 = 6 seg
 PWM GPIO.5,VELOCIDAD,255
 NEXT TIEMPO
 PWM GPIO.5,0,1
SEROUT GPIO.0,N2400,["FIN DE
PWM",10,13]
GOTO INICIO
END
```

### *Conclusiones*

La transmisión serial resulta fácil de implementar, además de que es segura y de bajo costo. En el caso de un microcontrolador como interfaz hardware de intercambio con cualquier sistema de cómputo (principalmente PC's, y computadoras de bolsillo), es viable considerar las propuestas realizadas en este trabajo, ya que se adaptan a cualquier aplicación similar, debido a que la unidad básica de comunicación serie es la misma en todo momento.

Se mostraron dos aplicaciones que utilizan el *core* diseñado; por un lado un microcontrolador de la gama media con un dispositivo adicional para el acoplamiento de voltajes para la transmisión; por otro, un microcontrolador de la gama baja y sin acoplamiento de voltajes, con lo que se tiene una referencia mayor para realizar otras aproximaciones (ver F**igura 4**).

La utilización de la herramienta PICBASIC PRO para la programación de microcontroladores facilita en gran medida el diseño, aunque cabe considerar que si se obtiene, a través del compilador, el ensamblador equivalente y posteriormente el

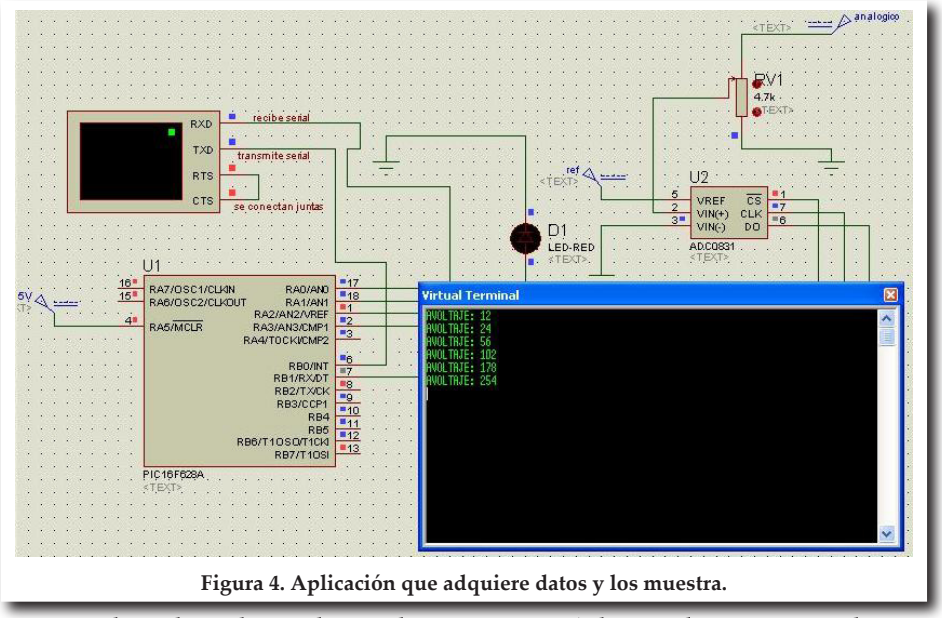



**Figura 4. Aplicación que adquiere datos y los muestra.**

archivo hexadecimal con el que se programará el microcontrolador, éste último implica un uso mayor de la memoria del dispositivo comparado con un diseño total en ensamblador. Aún así, el lenguaje de alto nivel resulta un recurso ampliamente socorrido por estudiantes y diseñadores profesionales.

Con respecto al proyecto que dio pie a este artículo, *"Sistemas de Control para Motores Supervisados por Computadoras de Bolsillo"*, cabe mencionar que la portabilidad y el poder de procesamiento de un ***PDA***

*(Asistente Personal Digital)* permiten concebir a estos dispositivos como sistemas altamente rentables para analizar datos en campo, sin la necesidad de otros aparatos de monitoreo y medición. La propuesta es programar bajo *Microsoft Windows CE* (actualmente *Windows Mobile*) para estudiar la factibilidad de la implementación de sistemas de control, idealmente de motores a CD, motores a pasos y servomotores, controlados por la Pocket PC vía el puerto serie y el protocolo RS-232.

Adicionalmente, se plantean pruebas utilizando la comunicación *RF* (radiofrecuencia) y la tendencia actual hacia *RFID* de identificación inalámbrica; ambas coinciden en el esquema de transmisión serial. La tecnología *RFID* reconoce códigos válidos a través de una señal de radiofrecuencia en un esquema de emisor - receptor tipo wireless (inalámbrico). En la actualidad existen innumerables aplicaciones que van desde sustituir un lector de código de barras, hasta descontar saldos en cuentas (tarjetas del Metrobús y boletos del metro, de la Ciudad de México).

### *Bibliografía*


[1] Iovine, John; *PIC Microcontroller Project Book*, Mc Graw Hill, Segunda edición

[2] Jose M. Angulo Usategui; *Microcontroladores PIC: primera y segunda parte*. Tercera edición. Mc Graw Hill

[3] *Manual de PIC16F628/628A/648A*. Microchip, Inc.

[4] *Manual de PicBasic Pro Compiler.* MicrioEnginnering Labs. Inc.

[5] http://www.cidetec.ipn.mx/pofesores/jcrls/

[6] http://www.todopic.com.ar/pbp_sp/

# Ingeniería de Software: Flexibilidad en el Diseño

*MCC. Sergio Fuenlabrada Velázquez*
*MSI Edna Martha Miranda Chávez*
*Ing. Mario Alberto Sesma Martínez*
*Profesores de la UPIICSA-IPN*

El presente trabajo surge del proyecto de investigación *Desarrollo de Software con Interfaces Parametrizables de Fácil Utilización*, con clave CGPI 2003/1673, registrado en la Coordinación General de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional.

## *Introducción*

El desarrollo de un país se mide de acuerdo con el nivel educativo de sus habitantes, ya que éste permite incrementar el bienestar social, las expectativas de vida y fomentar las actividades creativas e innovadoras. El sistema educativo de cada país es diferente, pues responde a su propio contexto, situación social, política y económica; sin embargo, hay elementos comunes que permiten compararlos entre sí, como son los niveles de calidad, equidad, pertenencia, eficiencia, relevancia, vigencia, congruencia, suficiencia, viabilidad y participación de los diferentes sectores.

El modelo educativo está integrado por un conjunto de actividades dirigidas tanto a la formación de profesionales y personas con alto grado de instrucción, como al desarrollo del conocimiento humanístico, científico y tecnológico, agrupadas en una unidad programática con la denominación de carrera profesional, programa de posgrado o programa de investigación. Los modelos han sido objeto de muchas investigaciones y propuestas, con las más diversas tendencias, mismas que no se tocarán a detalle en el presente trabajo por corresponder propiamente a especialistas en educación. El enfoque con que se tratará el tema es el de cómo las tecnologías de información pueden apoyar a un modelo educativo.

## *Hipótesis y Desarrollo*

La integración del software como herramienta para el desarrollo de las actividades humanas ha llegado a un punto tal, que la necesidad de una adaptación más rápida a los requerimientos cambiantes del entorno de cualquier organización es fundamental.

La tecnología actual influye y condiciona la forma de educar, pero al mismo tiempo, nosotros podemos condicionar a la tecnología. Lo importante es dejar de hablar de hardware y software, e ir más allá; analizar las diferentes alternativas que la tecnología ofrece y relacionarlas con el tipo de educación que se pretende dar a los alumnos.

Las organizaciones requieren Sistemas de Información dinámicos, que modifiquen su comportamiento de acuerdo al contexto y fomenten el aprendizaje, por lo que se necesita establecer una estrategia que produzca software altamente flexible.

Para lograr este dinamismo se debe considerar la estructura y organización del software a construir, establecer los requerimientos a satisfacer y tener una estrategia metodológica tal como la Ingeniería de Sotfware para garantizar la calidad esperada.

La presente investigación tiene como base la hipótesis de que un modelo educativo apoyado en tecnologías de información puede incidir en la mejora de la capacidad de lectura, lógica matemática y la capacidad motriz fina y gruesa. Esto es importante en casos como los niños con síndrome de Down, quienes tienen como característica una disminución en su capacidad tanto intelectual como física; además, su percepción del mundo es diferente y en la mayoría de los casos particular.

La comprobación de esta hipótesis requirió establecer una estrategia para generar software altamente parametrizable, con flexibilidad tal que permita *calibrarlo* de acuerdo a las necesidades particulares y personalidad del usuario final; asumimos como parametrizable la capacidad de

modificar el comportamiento de los principales elementos del software: información y procesos.

Para aplicar las tecnologías de la información en una institución educativa, se requiere algo más que comprar computadoras nuevas y crear un sitio de red. El éxito del uso de la tecnología en el proceso enseñanza-aprendizaje depende en mucho de la capacidad de introducir cambios en la forma de visualizar su aplicación por el personal docente, a fin de desarrollar e implantar planes de estudio concretos, innovadores y con visión a futuro, tomando en cuenta no sólo los cambios producidos en la tecnología, sino también los cambios en la sociedad, para proporcionar a los egresados conocimientos que les permitan colocarse y desarrollarse profesionalmente.

El proceso para la generación, actualización y difusión de programas de estudio se consideró altamente factible para verificar la flexibilidad del software. Un punto que se detectó en el desarrollo del proyecto de investigación fue la necesidad de sistematizar la aplicación de cuestionarios, por lo cual se determinó construir un prototipo que permitiera facilitar este proceso.

El desarrollo de prototipos de software requiere utilizar una estrategia que permita determinar su nivel de adecuación y cumplimiento de los requerimientos establecidos, lo que hace necesario el manejo de un catalogo de versiones que permiten conocer este nivel.

### *Métodos Experimentales*

Para articular el desarrollo de los prototipos es necesario establecer algunas consideraciones conceptuales, mismas que se incluyen a continuación. Un sistema es un conjunto de elementos que están interrelacionados con un objetivo común, los cuales tienen una organización y una estructura; dicha organización permite:

**a.** Establecer un conjunto de relaciones entre los componentes del sistema.

**b.** Determinar la participación de los componentes en la contribución total de la unidad sistema.

**c.** Delinear su forma en cualquier instante dado, la cual deberá conservarse a pesar de los cambios.

**d.** Establecer una identidad en propiedad como unidad y un marco de referencia.

Por su parte la estructura de los sistemas permite:

**a.** La presencia de interacciones en los componentes, todo esto en un espacio proporcionado.

**b.** Determinar el espacio de todas las posibles clases de iteración y que puedan ser afectadas por el entorno.

**c.** Que el sistema pueda cambiar de estructura sin perder su identidad, siempre y cuando su organización se conserve.

El manejo de la información se puede realizar considerando tres enfoques diferentes: el sintáctico, el semántico y el pragmático. Por su parte, el procesamiento puede ser: selectivo, de agregación y de cálculo.

### *Estructura de Diseño de Software Flexible*

En la **Figura 1** se muestra la estructura del proceso de creación de software:

1. El entorno modifica al sistema (organización) a través del cambio.
2. El cambio provoca en la organización un problema, entendido éste como el obstáculo físico o lógico que evita lograr un objetivo.
3. El obstáculo provoca la necesidad de eliminarlo.
4. Esta necesidad y el contexto de la organización establecen los requerimientos.
5. Lo anterior lleva al Ingeniero de Software a buscar un tipo de solución al problema:

   **a.** Disolución: Busca eliminar las causas (cambio) del problema.

   **b.** Resolución: Resuelve los síntomas del problema.

   **c.** Solución: Mantiene bajo control al problema.

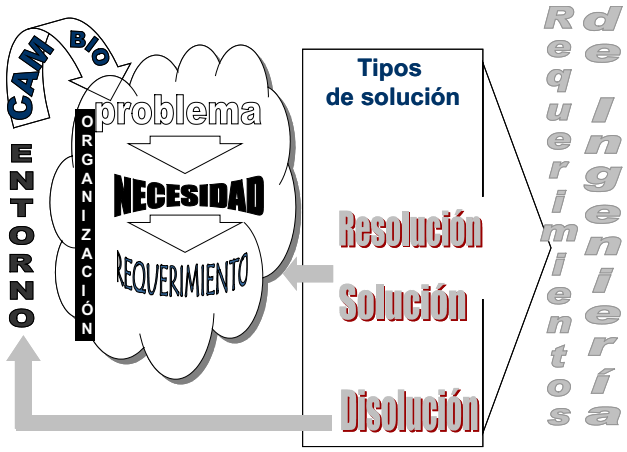



**Figura 1. Estructura de diseño de software flexible.**

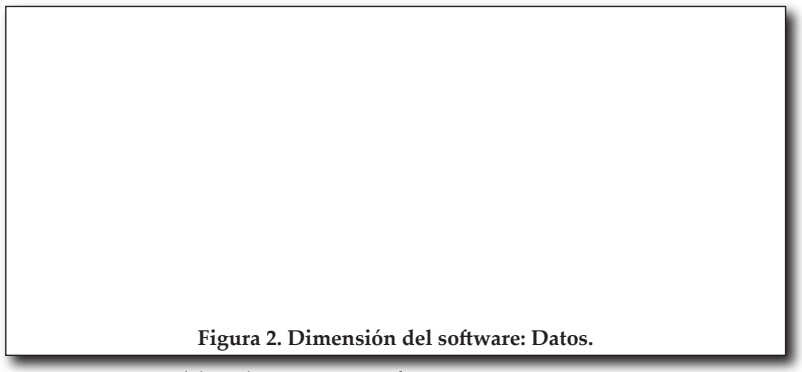


**Figura 2. Dimensión del software: Datos.**

6. Una vez establecida esta situación se determinan los requerimientos funcionales y no funcionales.

7. Se identifican los elementos que forman el software:

   **a. Los datos**. Establecen la estructura, considerando cuatro bases de datos, como lo muestra la **Figura 2**.: los datos, los parámetros, las reglas de negocio y el conocimiento.

   **b. Los procesos**. Establecen el comportamiento del software.

   **c. El tiempo.** Indica cuando sucede cada uno de los elementos del software.

## *Conclusiones*

En conclusión, para poder comprobar el objetivo de demostrar que a través del uso del software con interfases parametrizables y de fácil calibración se ayuda al desarrollo de las personas, se crearon tres prototipos:

1. **Sistema de Programas de Estudio**, que automatiza el proceso de generación, actualización y difusión de los programas de estudio de cualquier escuela de nivel superior. Prototipo de software versión 1.

2. Cuestionario en Red, que sistematiza la gestión de cuestionarios desde su creación, aplicación y evaluación de resultados; permite implementar cualquier tipo de cuestionarios en red. Prototipo de software versión 1.1.

3. **Mi amigo Down,** que integra un modelo educativo que induce la capacidad de lectura y lógica matemática. Se señala como versión 0, debido a que no se ha podido concretar alguna prueba de campo durante este periodo, que permita evaluar la validez del prototipo. Prototipo de software educativo versión 0.

## *Referencias*


[1] PFleeger, Shari Lawarence; *Ingeniería de software, teoría y práctica*; Prentice Hall, 2002.

[2] Sommerville, Ian; *Ingeniería de Software*, Pearson; 2001.

[3] Acholes, Checkland; *La metodología de los sistemas suaves en acción*; Noriega Editores, 1994.

[4] Reporte del proyecto de investigación, *Desarrollo de software con interfaces parametrizables de fácil utilización* con clave CGPI2003/1673, registrado en la Coordinación General de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional, 2004.

# Introducción a la Realidad Virtual

*M. en C. Mauricio Olguín Carbajal,*
*M. en C. Israel Rivera Zárate*
*Profesores Investigadores CIDETEC - IPN.*

*Erika Hernández Montañez*
*Alumna PIFI CIDETEC - IPN.*

Es difícil encontrar un área donde no se usen simulaciones por computadora; un ejemplo es la contabilidad, donde se simulan presupuestos, inversiones y nóminas para determinar los gastos corrientes. Incluso se ha dicho que la ciencia ha dejado de ser una experiencia real; el diseñador electrónico ya no se da toques eléctricos, ya que antes de probar un diseño, primero lo simula con un paquete. El biólogo no necesita dedicar días enteros a la disección, y los ingenieros pueden diseñar todas las partes de un automóvil y probarlas antes de fundir cualquier pieza.

Todos pueden desempeñarse al frente de una computadora o de un sistema de cómputo paralelo (entre mas potencia mejor), de forma que es posible simular casi cualquier fenómeno.

Una forma de simulación sin precedentes es la realidad virtual, en ella, la simulación toma una nueva dimensión, ya que no son solo cálculos de números, ni simulaciones planas de datos, ni imágenes estáticas o video preempacado (como es el caso de la multimedia). Son simulaciones de audio, y video en tiempo real.

## *Historia*

Muchas personas asumen que la realidad virtual es un desarrollo reciente, nacido en los albores de la década de 1990. El hecho es que los conceptos básicos han estado presentes desde 1950, y los primeros sistemas aparecieron mucho antes de la llegada del hombre a la luna.

A finales de la década de 1950, Morton Heilig (1926-1997) diseñó la primera experiencia multisensorial virtual, desarrollando un equipo denominado "Sensorama", (**Figura 1.)**; con un aspecto que nos recuerda a las actuales máquinas de videojuegos (*Arcades*), el Sensorama combinaba video, audio, vibración, viento e incluso olores empacados.

Otro de los precedentes más notables es la industria del cine. Desde siempre, la cinematografía ha intentado crear formatos de imagen y sonido que hicieran creer al espectador que se encontraba formando parte de la escena. De este intento han surgido tecnologías como el Cinemascope o el más moderno Omnimax, así como sistemas de sonido del tipo Dolby Surround. Por todas partes empiezan a surgir equipos de desarrollo trabajando en lo que era la tecnología de la realidad virtual, y se empiezan a ver los primeros resultados comerciales.

**Figura 1. El Sensorama de Heilig**

La **Tabla 1** resume los principales eventos relacionados con el desarrollo de tecnología de realidad virtual.

A partir de aquí se entra de lleno a la carrera comercial, los sistemas de realidad virtual comienzan a popularizarse y muchos productos empiezan a invadir el mercado; en forma paralela se crea un cierto movimiento cultural conocido como el Cyberpunk. La estética y la temática del Cyberpunk han llegado en los últimos años a la televisión y al cine, quizás los mejores ejemplos son: "Tron", "Blade Runer", y "Matrix", (**Figura 2**.)

| Año | Evento |
|---|---|
| 1950-1956 | Morton Heilig desarrolla un equipo denominado “Sensorama” |
| 1962 | Morton Heilig patentó el HMD |
| 1965 | Iván Sutherland inventa el término “El Despliegue Máximo” (*Ultimate Display*) |
| 1968 | HMD de Iván Sutherland, HMD con gráficos por computadora |
| 1968 | Sistema de rastreo mecánico de la posición de la cabeza, de Iván Sutherland |
| 1970 | La NASA diseña y fabrica el primer sistema de realidad virtual |
| 1975 | Sistema de botones virtuales *Knowltown* |
| 1980 | La Compañía StereoGraphics desarrolla las gafas de visión estéreo |
| 1982 | Thomas Zimmerman patenta un guante electrónico |
| 1983 | Krueguer Videoplace, Sistema de reconocimiento de gráficos, movimientos y gestos |
| 1984 | Sistema Ames de la NASA |
| 1984 | William Gibson publica "Neuromancer", una novela de ciencia ficción donde el mundo real interactúa con el mundo virtual, introduciendo el termino ciberespacio |
| 1985 | USAF (US Air Force), simulador de cabina de vuelo (*Cockpit*) |
| 1985 | Jaron Liner acuña el término Realidad Virtual, en el centro VLP de investigación |
| 1987 | La compañía inglesa Dimensión Internacional desarrolla un software de construcción de mundos tridimensionales para P.C. |
| 1988 | Scott Foster inventa un dispositivo para la generación de sonido tridimensional |
| 1989 | ATARI saca al mercado la primera máquina de galería de vídeo juegos con tecnología 3D (*Battlezone*). En este mismo año Autodesk presenta su primer sistema de realidad virtual para P.C. |

**Tabla 1. Principales Aportaciones en el desarrollo de tecnologías de Realidad Virtual.**

### *¿Que es la realidad virtual?*

Realidad Virtual (RV) es la simulación de un ambiente real o imaginario que puede ser experimentado en tres dimensiones, proporcionando una experiencia interactiva completa en tiempo real con video, sonido e incluso retroalimentación táctil.

Cuando se usa un sistema de RV todo parece simple; para lograr esta aparente sencillez, el sistema de RV tiene una cantidad enorme de trabajo por hacer.

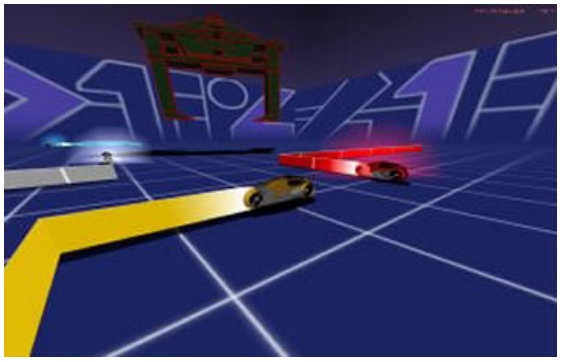


**Figura 2. Escena de la película Tron.**

Cada sistema de RV tiene que llevar a cabo las siguientes funciones básicas:

- Calcular las estructuras de datos, dimensiones, texturas y sombreado de los objetos virtuales.
- Mantener seguimiento de cada objeto en el entorno virtual.
- Almacenar y actualizar los datos sobre la localización de cada objeto y su apariencia.
- Simular el comportamiento de los objetos.
- Renderizar (dibujar) el mundo en tres dimensiones.
- Generar los sonidos de los objetos virtuales.
- Permitir al usuario navegar a través del entorno virtual.
- Proporcionar al usuario algunos medios para interactuar con objetos en el entorno.
- Todo lo anterior en tiempo real (30 imágenes por segundo).

Con el objetivo de lograr algunas de estas tareas de manera efectiva, es necesario contar con hardware especializado. En particular, navegar e interactuar con el ambiente es más completo mediante el uso de dispositivos especiales de entrada.

Un sistema de cómputo típico se muestra en la **Figura 3**. Adicionalmente a la computadora existen dispositivos de entrada de datos (teclado, control de juegos, ratón, etc.) y dispositivos de salida (monitor y bocinas).

Un sistema RV tiene una estructura parecida, como puede verse en la **Figura 4**. Las similitudes son obvias, pero las diferencias son las que importan. En lugar de teclado, ratón y control de juegos, se encuentran dispositivos tales como guantes, sistemas de rastreo y de retroalimentación táctil, mientras que un casco sustituye al monitor y a las bocinas.

Este es el punto importante: lo que convierte a una computadora en un sistema de RV son los periféricos que se adicionan y el software que ejecuta. Obviamente, es necesario usar un

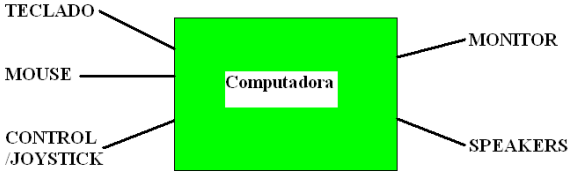



**Figura 3. Elementos de un sistema típico de cómputo.**

procesador de alta velocidad (con un acelerador de gráficos 3D), pero son los dispositivos de entrada y salida los que realmente cuentan.

## *Interfaces*

### Grados de libertad

Existen muchos dispositivos para la realidad virtual, pero lo que todos ellos tienen en común es que manejan grados de libertad; así, un buen periferico de RV debe contar con 6 grados de libertad (*DOF – Degrees Of Freedom*). De éstos, tres grados corresponden a las traslaciones en los ejes coordenados del mundo virtual, es decir, X, Y, y Z, Adelante-atrás, Izquierda-Derecha y Arriba-Abajo. Los otros tres grados de libertad corresponden a los giros en cada eje coordenado, denominados como *pitch*, *yaw* y *roll*. (**Figura 5**.)

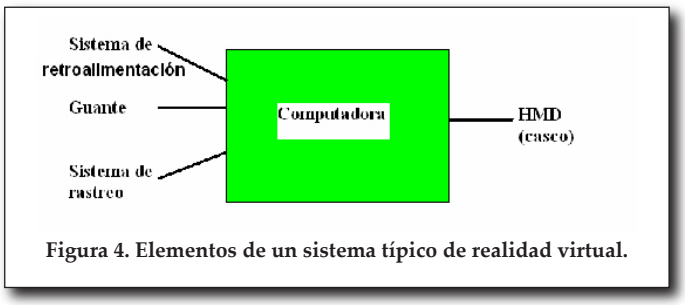



**Figura 4. Elementos de un sistema típico de realidad virtual.**

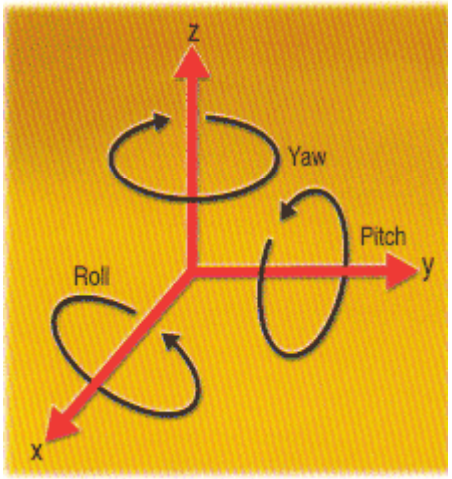



**Figura 5. Movimientos característicos en dispositivos con 6 grados de libertad.**

### Controles Con 6 Grados de Libertad

El primer control diseñado con 6 grados de libertad fue la innovadora "bola espacial" (SpaceBall). (**Figura 6**.) La bola espacial es una esfera del tamaño de una pelota de tenis, que puede ser jalada o empujada, así como girarse en cualquier dirección. El resultado es una interfaz muy natural de 6 grados de libertad, aunque puede ser incómoda para manipular objetos.

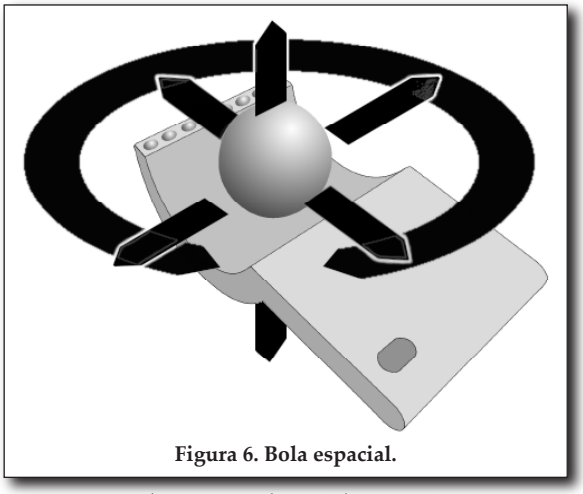


**Figura 6. Bola espacial.**

### Guante

Todos los guantes funcionan básicamente de la misma forma: el usuario se pone un guante que tiene sensores de flexión construidos en cada dedo; cuando los dedos se cierran, los sensores reportan esa información a la computadora, la cual actualiza la representación virtual de la mano. La computadora puede también reconocer varias gesticulaciones hechas con el guante e interpretarlas; por ejemplo, un ademán de señalar puede interpretarse como "avanzar en esa dirección", y un ademán de sujetar puede significar "agarrar este objeto". (**Figura 7**.)

Existen básicamente dos tecnologías para la detección del doblado: La más simple (usada en el PowerGlove original y el nuevo Powerglove de PC) consiste en tiras de plástico con metal conductor, el cual cambia su resistencia cuando se flexionan los dedos. La otra técnica (usada en el primer guante de RV, el DataGlove DLP) es una línea de fibra óptica con algo de la cobertura exterior retirada. Cuando la fibra se dobla, parte de la luz se escapa, debido a las partes sin cobertura, y el fotodetector, en el extremo más lejano del guante, recibe menos luz. (**Figura 8**.)

Además de la flexión, los guantes incluyen algún sistema de rastreo, normalmente ultrasónico o magnético. Sin importar la técnica usada, los guantes representan una interfaz muy natural e intuitiva para sistemas de Realidad Virtual. Actualmente están desarrollándose trajes completos para la medición de cualquier ángulo de unión de nuestro cuerpo, permitiendo que ingrese algo más que solo las manos y la cabeza.

### Sistemas de Despliegue

La computadora necesita ser capaz de mostrar el mundo virtual, ya que el proceso de inmersión es altamente visual. Existen tres tipos básicos: ventana en el mundo, sistemas

**Figura 7. Guante con sensores de reflexión.**

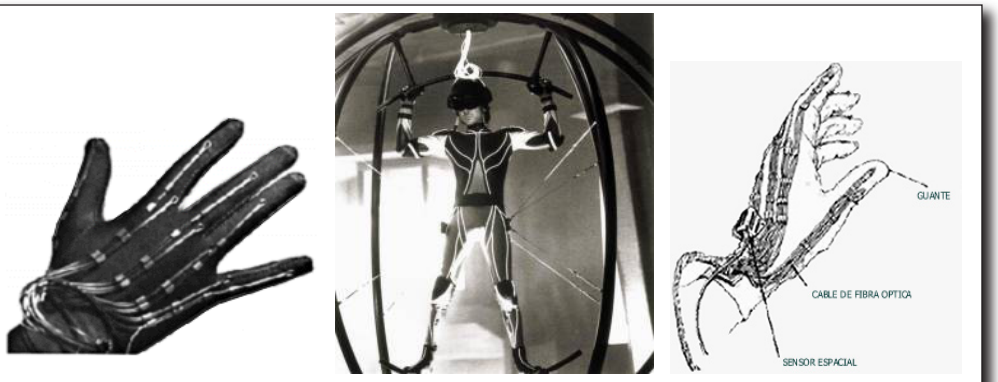



**Figura 8. Guante de realidad virtual realizado con fibra óptica.**

basados en proyección y HMD.

### Ventanas en el mundo

El sistema de despliegue más sencillo que existe utiliza al monitor de computadora como una ventana que observa al interior del mundo virtual, aunque tiene la desventaja de que no existe un verdadero sentimiento de inmersión.

Se pueden hacer esfuerzos para aumentar dicho sentimiento; por ejemplo, es posible presentar las imágenes en forma estereoscópica. Existen dos técnicas básicas, los *shuter glasses* y la separación óptica. Ambas técnicas funcionan presentando imágenes ligeramente diferentes en cada ojo, de tal forma que el cerebro sea capaz de unir ambas y generar una sensación de profundidad. (**Figura 9**.)

Los sistemas de ventana son más efectivos si se colocan en el contexto de una cabina; esto debido a que el usuario está rodeado por la cabina, lo que aumenta la sensación de estar en un mundo diferente.

### Sistemas de proyección

Un sistema de proyección sencillo solo coloca la visión de un mundo virtual en una pantalla de proyección. El tamaño de la pantalla sirve para incrementar la sensación de inmersión, tal y como lo hace el cine. Un sistema de proyección con cabina o caverna involucra el uso de múltiples proyectores y pantallas que rodean al usuario en tres o cuatro lados. Existe un proyector por cada pantalla, de forma tal que el usuario se sienta rodeado por el mundo.

Los sistemas de cabina son muy útiles para grupos pequeños de usuarios (**Figura 10**), ya que cada uno puede ver al mundo de forma simultánea. Sin embargo, tienen ciertas desventajas: requieren múltiples sistemas de proyección y grandes cantidades de poder de cómputo para generar todas esas imágenes al mismo tiempo, así como mucho espacio físico para el sistema en general. Estas limitaciones hacen poco practicas a las cabinas para el uso casero, pero para museos, escuelas, industria y otros sitios son ideales. Las cabinas son estereoscópicas por medio del uso de los *shutter glasses*.

**Figura 9. Imagen estereoscópica.**

### Cascos o HMD

Un HMD (**Figura 11**) es una combinación de 4 elementos:

- Una o dos pantallas de despliegue
- Elementos de óptica
- Conjunto de audífonos estereo
- Un sistema de rastreo

Vamos a concentrarnos en los sistemas de despliegue; existen dos tipos en los HMD: CTR y LCD.

#### *Sistemas CRT (Tubo de Rayos Catódicos)*

Un CRT es un tubo de imagen, igual a los de un monitor de computadora. Un rayo de electrones se emite desde un electrodo (cátodo) y es barrido en la pantalla gracias a un conjunto de campos magnéticos y eléctricos.

Los CRT tienen una alta resolución, la cual es útil para los dispositivos portátiles, los HMD. Sin embargo, tienden a ser pesados (por el vidrio, las bobinas, y circuitería) y requieren altos niveles de voltaje y fuertes campos magnéticos muy cerca de la cabeza del usuario.

A pesar de estas limitaciones, muchos de los sistemas de tecnología

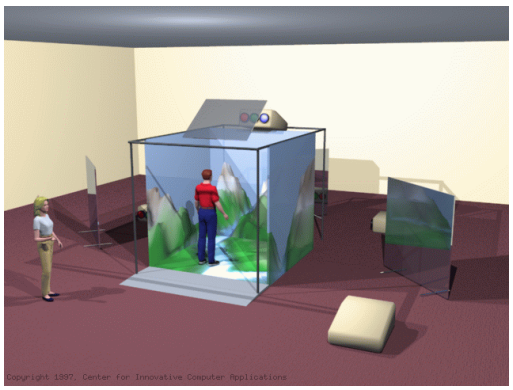


**Figura 10. Sistema de cabina.**

**Figura 11. Sistema de despliegue basado en casco.**

de punta disponibles comercialmente usan CRT (**Figura 12**). En algunos casos se usa un sistema de fósforo blanco, y el color se produce, mediante una rueda de colores o un dispositivo denominado filtro *PI-CELL*. En cualquier caso, la aproximación es la misma: el componente rojo de la imagen se muestra primero (en blanco y negro), con un filtro rojo enfrente de el, seguido por el verde, y finalmente el azul. El cerebro fusiona los tres componentes en una imagen a color RGB.

### *Dispositivos LCD*

Las pantallas LCD se usan actualmente en casi cualquier ámbito; por ejemplo en televisiones, monitores, pantallas gigantes, teléfonos celulares, etc. (**Figura 13.**) Son paneles planos, compuestos de un arreglo de pixeles (puntos de color) controlado electrónicamente.

Existen muchas ventajas de los LCD sobre los CRT: son menos caros, pesan mucho menos, y no requieren altos voltajes para su funcionamiento. Desafortunadamente, tienden a manejar resoluciones no muy altas, de forma que las imágenes tienden a verse granuladas. Es posible colocar filtros difusores en los dispositivos LCD para suavizar los bordes de los pixeles.

## *Conclusiones*

Los sistemas de realidad virtual han sido elementos de aprendizaje de un costo medio a elevado, pero gracias a los avances actuales de la tecnología se están volviendo cada vez mas accesibles, y mas comunes

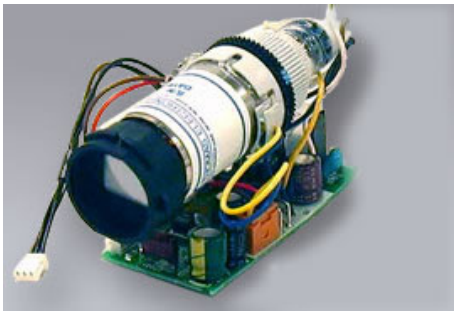


**Figura 12. Tubo de rayos catódicos.**

en los hogares (Xbox, playstation3, PC con aceleradores 3D) y en la industria; por lo tanto, el tener un área de investigación de tecnologías de realidad virtual se vuelve una necesidad en los centros de investigación de las universidades. El CIDETEC cuenta con una línea de investigación enfocada a la RV, para poder realizar desarrollos y aplicaciones en esta

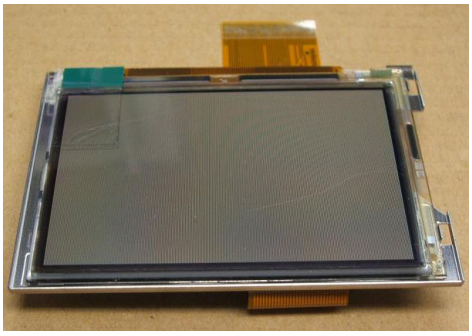


**Figura 13. Pantalla LCD.**

tecnología.

## *Bibliografía*


- Stephen Matsuba, Bernie Roehl.Using VRML. Editorial QUE. 1996.
- Joe Gradecki. The virtual reality construction Kit. John Wiley &Sons, Inc. 1994.
- Jonathan Cohen. History **of** Virtual Reality. http://www.cs.jhu.edu/~cohen/VW2000/Lectures/History.color.pdf
- Scott Tate. Virtual Reality: A historic perspective. http://ei.cs.vt.edu/~**history**/Tate.VR.html

# Inteligencia Aplicada a los Portales Académicos (Principios de Usabilidad)

*M. en C. Elizabeth Acosta Gonzaga,*
*Lic. Adauto Israel Ortiz*
*Profesores del CIDETEC-IPN.*
*M. en C. Abraham Gordillo Mejía ,*
*Profesor de la UPIICSA-IPN.*

La práctica de utilizar páginas de red, sitios y portales (para fines del presente articulo utilizaremos los tres términos como sinónimos) en todas las organizaciones, incluyendo instituciones educativas, es un paso muy importante en la actualización necesaria en el uso de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación), considerando que proporcionan elementos de ventaja competitiva al permitirles mostrar al público y a la sociedad "el lado virtual de la organización", las 24 horas del día.

El éxito de los portales en Internet radica en su enfoque hacia el usuario común, estructurando los contenidos de forma inteligente para ser localizados fácilmente desde la primera página; por ello, diseñar un portal requiere adherirse a principios de ***usabilidad*** (la facilidad con que se utiliza un sitio de red), aplicando además metodologías de trabajo en etapas específicas durante la construcción del portal.

### ¿Qué es un portal?

Un portal es un espacio de ***información*** e ***interacción*** en Internet ,con acceso a múltiples fuentes de información y servicios estructurados de forma inteligente para ser utilizados ***fácilmente*** por el ***usuario común*** desde la primera página.

Actualmente, la mayoría de los portales se limitan a mostrar datos, pero omiten servicios tan sencillos como la retroalimentación o intercambio de información para evitar ir a oficinas físicas, o tan complejos como un trámite completo en línea que incluya pagos.

Muchos de los autonombrados "portales" contienen información valiosa; el problema es que varias de las páginas en las que se encuentran están tan ocultas en el interior, por lo que pocos usuarios las aprovechan; en algunos casos una pieza de información nunca ha sido consultada y solo la conocen los propios diseñadores que pusieron dicho contenido en Internet. Este fenómeno refleja la falta de una estructura inteligente en la ubicación de la información.

Un portal exitoso debe estar diseñado con el usuario final en mente. Esto implica que los diseñadores se pongan en los zapatos del usuario a quién está destinado el sitio, estructurando y aportando contenidos que sean fáciles de ubicar y comprender. Es muy común ver contenidos burocráticos difíciles de entender y que se diseñan de acuerdo a la estructura de la organización, sin considerar que normalmente al público no le interesa o no sabe sobre los nombres o áreas de dicha organización.

Por lo tanto, un portal es el activo más importante y costoso de la organización. La página principal del sitio, un espacio del tamaño de la pantalla es la superficie más cara; vale más que un metro cuadrado de oficina, que la impresión de un folleto o un anuncio en la TV, pues su impacto es global y continuo.

Desde una empresa como Microsoft hasta la dependencia más pequeña, todas tienen una sola página principal, pero pocas son las organizaciones que invierten en aprovechar este espacio tan importante. Ni siquiera se hace un estudio de usabilidad o diagnóstico, gastando más en otros aspectos tan diversos como el diseño de un templete o la renta de un salón para eventos.

Estos elementos darán una ventaja competitiva a la organización si realmente cumple el objetivo de proporcionar la información oportuna, completa y precisa que el público desea encontrar, no podemos olvidar aquel eslogan que dice "información que no se localiza, no se entiende, es incompleta, imprecisa, obsoleta o irrelevante…NO ES ÚTIL". No se trata de diseñar páginas de manera que nos parezcan bonitas y que traten de impresionar al consejo administrativo o a los clientes, o bien para que la empresa pueda decir "nos encontramos en Internet".

### ¿Qué es la Usabilidad?

La usabilidad es una característica que mide **qué tan intuitiva y fácil** de usar es una página de red para el usuario final. Para esto se miden tres aspectos principales, como se muestra en la **Figura 1**; la finalidad es que el público **visite, aproveche y regrese nuevamente** al sitio, incrementando el éxito del la organización en Internet.

Un portal que utiliza los beneficios de la usabilidad puede:

- Incrementar visitas de forma sustancial (puede aumentar hasta un 100% tras rediseñar el sitio).
- Reducir tiempos y costos para el usuario y para la organización.
- Transparentar la información (al localizarla de manera más fácil).
- Agilizar la distribución y manejo preciso de información.

En el mundo real, el cliente compra, y luego conoce a fondo todo lo que el producto o servicio le puede ofrecer durante el uso. En Internet, un visitante primero busca información oportuna acerca del producto o servicio; si ésta no se encuentra fácilmente o no se presenta de forma adecuada, el cliente simplemente sale del sitio y busca otra opción; difícilmente regresará de nuevo y su organización pierde clientes potenciales.

**Figura 1. Elementos básicos que miden la usabilidad.**

| Objetivo | Problemática y área de oportunidad |
|---|---|
| Uso inadecuado de PDFs | Cuando se muestra un PDF, generalmene se abre en la misma ventana y sin avisar al usuario sobre el tamaño del archivo, el número de páginas del documento y una ficha breve que describa los contenidos. Esto puede ser frustrante para los usuarios pues se pierde tiempo en averiguar de qué se trata el documento o cancelar la apertura del mismo. |
| Minimización de número de "clicks" para encontrar un trámite ó servicio | Entre los portales gubernamentales es típico tener que hacer **6-8 "clicks"** para **encontrar** un **trámite específico**. Mediante una adecuada estructuración y clasificación la mayoría de los trámites pueden encontrarse en 2-3 "clicks". |
| Tipografía correcta en un sitio web | Contrario a la mejor práctica en papel de usar el **tipo de letra** "Times New Roman", esta tipografía es difícil de leer en Internet. Lo más recomendable es **usar "Verdana" o "Trebouchet"** . |
| Facilidad de impresión y captura de agendas y eventos | En sitios de eventos y congresos es frecuente la **dificultad** de poder **copiar la agenda ó imprimirla** debido a que ella está en flash ó dentro de un marco (frame), cuando ella debería de estar en una tabla sin marcos ni flash. |
| Animación y gráficas vs. información | La gran mayoría de sitios, portales e intranets cometen el **error de usar animaciones y exceso de gráficas**. Ello frustra al usuario que espera y desespera para poder consultar información útil. La utilidad de información y facilidad de acceso es la razón primordial por la cual un sitio se usa y visita recurrentemente |

Así entonces, es importante detectar cuales son lo principales errores que se cometen en una página de red, los que se traducen en oportunidades de mejora mediante técnicas de evaluación. Estos errores nos llevan a realizar una reingeniería en sitios y portales a fin de revertir malos efectos de la comunicación con el público y reposicionar la página o sitio en el mercado.

### Estándares en los que se basa la Usabilidad

#### Definición ISO 9241-11

El estándar ISO 9241 (*Ergonomic requirements for office work with visual display terminals –VDT*) [ISO93a], describe los requisitos ergonómicos para trabajo de oficina con terminales de despliegue y explica algunos de los principios básicos subyacentes. El borrador internacional del estándar ISO/DIS 9241-11 *(Guidance on Usability)* [ISO93b] define como especificar y medir la usabilidad de productos y aquellos factores que tienen un efecto en ella.

La usabilidad, de acuerdo al estándar ISO/DIS 9241-11 es: "*La extensión para la que un producto puede ser usado por usuarios específicos, para lograr metas especificas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto de uso especifico*". Para determinar o medir la usabilidad es necesario identificar las metas de efectividad, eficiencia y satisfacción, así como separar los componentes del contexto de uso en subcomponentes con atributos medibles y verificables:

- **Eficacia:** se define en términos de exactitud y completitud con que usuarios determinados pueden lograr metas específicas en ambientes particulares.
- **Eficiencia:** se refiere a los recursos gastados en relación con la eficacia, es decir recursos de tiempo, financieros y humanos.
- **Satisfacción:** evalúa la comodidad y la aceptabilidad del trabajo del sistema para sus usuarios y otras personas afectadas por su uso.

Los componentes y su interrelación se ilustran en la **Figura 2**.

### Definición ISO 9241

Esta norma define la usabilidad en términos de la **calidad del trabajo** de un sistema en uso, la cual depende de todos los aspectos que pueden influir en el uso de un producto en el mundo real: factores organizacionales (prácticas de trabajo, ubicación o apariencia de un producto), diferencias individuales entre usuarios (factores culturales y preferencias), experiencia, etc.

Esta aproximación tiene la ventaja de concentrarse en el propósito real de diseño de una aplicación, que es encontrar las necesidades de usuarios reales ejecutando tareas reales en un ambiente técnico, físico y de organización real.

### Definición ISO/IEC 9126

De acuerdo al estándar ISO/IEC 9126 *(Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for the User)* [ISO91], usabilidad es un atributo de la calidad del software. El término se utiliza para referirse a la capacidad de un producto de ser usado fácilmente. Esto corresponde a la definición de usabilidad como parte de la calidad del software, siendo ésta definida por el estándar como: *"Un conjunto de atributos de software que se sostienen en el esfuerzo necesitado para el uso y en la valoración individual de tal uso por un conjunto de usuarios declarados o implicados"*.

En la parte ISO 9126-1[ISO01] de este estándar, la usabilidad se analiza en términos de su comprensibilidad, aprendizaje, operabilidad, atractividad y complacencia, tal como se describe a continuación [BEV97]:

- **Comprensibilidad**, define la capacidad del producto de software para permitir al usuario entender si éste es adecuado, y como puede usarse para tareas y condiciones de uso particulares.

- **Aprendizaje**, se refiere a la capacidad del producto de software en permitir a los usuarios aprender a utilizar sus aplicaciones.

- **Operabilidad**, se define como la capacidad del producto para permitir al usuario operarlo y controlarlo. Aspectos de conformidad, mutabilidad, adaptabilidad e instalación pueden afectar a la operabilidad. Asi mismo, éste atributo corresponde a la tolerancia de error y conformidad con las expectativas del usuario. En un sistema sobre el que opera un usuario, la combinación de funcionalidad, confiabilidad, usabilidad y eficiencia pueden medirse externamente por la calidad de uso.

- **Atractivo**, está referido a los atributos pensados para hacer el software más atrayente al usuario, tal como el uso de colores y la naturaleza del diseño grafico.

- **Conformidad a estándares y pautas**, relacionado con la capacidad del producto para adherirse a estándares, convenciones, guías de estilo o regulaciones relacionadas con la usabilidad.

En la **Figura 3**, se muestran los factores claves de calidad de acuerdo a ISO 9126 [ISO91], con la inclusión de la usabilidad como factor de calidad.

### Portales Académicos

Es cierto que en nuestro país existen pocos portales académicos; sin embargo, es una tendencia mundial creciente donde existen diversos estándares, metodologías y tecnologías que se utilizan para su diseño y construcción [AAAA].

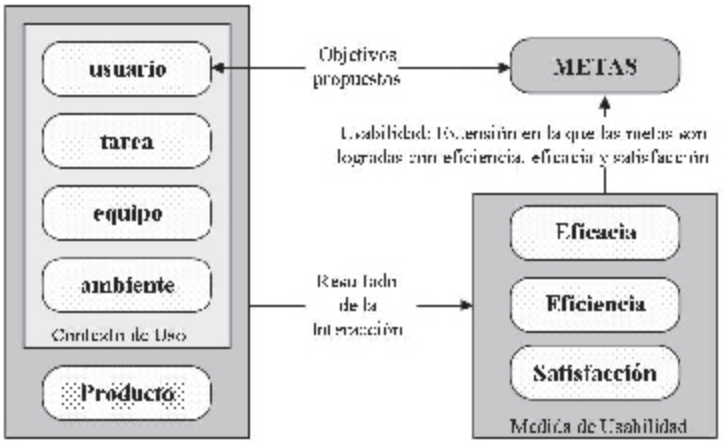



**Figura 2. Componentes y relaciones a medir en una evaluación de usabilidad.**

Por otro lado, la gran cantidad de información disponible en Internet, la complejidad y heterogeneidad de la misma, junto con las distintas características de los usuarios que acceden a dicha información, así como la gran competencia en la red hacen crítico que el desarrollo de aplicaciones basadas en red, y de manera particular los sitios educativos, deban contemplar no solo aspectos de funcionalidad sino también de usabilidad, tomando en cuenta que estas aplicaciones no solo deben tener como objetivo

poner a disposición de los usuarios información exacta, sino orientarlo adecuadamente en su búsqueda, indicando los caminos más apropiados para cada usuario de acuerdo con sus objetivos, sus conocimientos previos o sus necesidades y perfiles.

La usabilidad en este contexto se enmarca en una pregunta sobre si una aplicación educativa es lo suficientemente buena para satisfacer las necesidades y requerimientos del usuario. Es decir, la usabilidad corresponde a una variable en el marco de la aceptación práctica de un sitio de red educativo. Así, para que un sitio se utilice para alcanzar alguna tarea tiene que cumplir con criterios de utilización (es decir, refiriéndose a la funcionalidad, puede hacer lo que se necesita) y usabilidad (que tan bien los usuarios pueden usar esa funcionalidad del sitio).

La usabilidad considera todos los aspectos de un sitio educativo, con el que el usuario puede interactuar, así como sus principales criterios de evaluación (aprendizaje, operabilidad, comunicación, contenido, etc.). Por ejemplo, el sitio debe cumplir una funcionalidad de presentar determinado tipo de contenido, pero este contenido debe aparecer de una manera atractiva y sencilla al usuario; además, que el aprendizaje de su uso y navegación sea intuitivo y fácil.

Muchos autores han investigado y propuesto recomendaciones para el desarrollo de aplicaciones usables ([NIE90a], [NIE94a], [SHN98], entre otros), y algunos han trabajado sobre la evaluación de la usabilidad de sitios educativos [GON03], [CAR02]. Sin embargo, la mayoría de las organizaciones no siguen estos principios actualmente.

Si se toma en cuenta la diversidad de dominios de aplicación basados en red: entretenimiento, comerciales, educación, etc.; una mala usabilidad en sitios comerciales puede significar simplemente que el usuario busque otro lugar. Sin embargo, en el caso de sitios educativos el problema es más serio, ya que una mala usabilidad puede repercutir fuertemente en los objetivos del aprendizaje.

Es decir, los requisitos de usabilidad de un sitio comercial de herramientas de carpintería orientado a aquellos profesionales del área o personas aficionadas a la misma, cuyo interés esta centrado en encontrar un producto determinado al mejor precio, es diferente de los requisitos del sitio de alguna institución educativa; en principio, ya que la motivación de los usuarios es diferente, lo mismo que su perfil y las metas a alcanzar. Así, el proceso de evaluación de usabilidad de un sitio comercial no será el mismo que el de un sitio educativo, aunque ambos buscan cubrir un servicio, lograr la satisfacción del usuario y en algunos casos ambos pretendan lograr dividendos económicos.

Los portales educativos tienen un añadido fundamental que es la transmisión y adquisición del conocimiento. Por ende, un factor importante de evaluación es el aspecto educativo y su presentación de contenidos.

La consideración de la usabilidad como un factor importante en el desarrollo de aplicaciones de red ha ido en aumento en los últimos años. Basándose en el fundamento teórico de la usabilidad de software tradicional y en los principios establecidos por los estándares internacionales y en la experiencia adquirida en el diseño e implementación, se han desarrollado metodologías y guías para la generación de aplicaciones con criterios de usabilidad. Estas metodologías permiten realizar una evaluación de usabilidad, limitada a aspectos específicos de la misma, y enfocada a sitios comerciales, y aunque se señala su extensión a sitios educativos, los criterios considerados no se ajustan a los requisitos de usabilidad de estas aplicaciones.

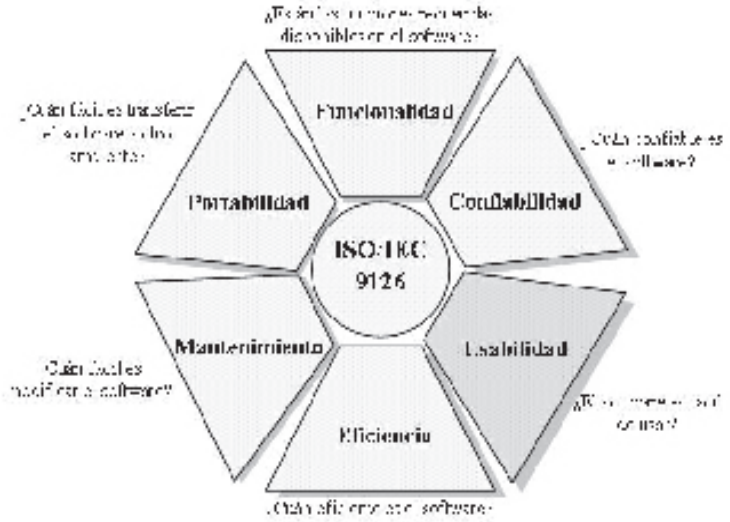



**Figura 3. Elementos básicos de calidad de software.**

### *Evaluación de Portales Académicos Asociando Usabilidad*

Existen diversas metodologías dirigidas a sitios comerciales, dando relevancia a la evaluación de la usabilidad, ya que es la parte metodológica que se considera para optimizar sitios y poder rediseñarlos. Para los fines de este artículo nos basamos en el criterio anterior, es decir, suponiendo que ya existe un sitio y se tiene la necesidad de evaluarlo, por lo que se requiere realizar las siguientes actividades:

### Diagnóstico del sitio

El diagnóstico del sitio incluye la evaluación de al menos dos aspectos: el estratégico (ayuda a captar la atención de los usuarios, en nuestro caso estudiantes) y el de usabilidad con un reporte detallado de las virtudes, desventajas, errores y mejoras potenciales.

#### I. Evaluación de aspectos estratégicos de la página

Entre los aspectos estratégicos a evaluar destaca el cumplimiento de:

- **Objetivos de la organización**: ¿ayuda el sitio a incrementar la comunicación entre autoridades-profesores-alumnos, apoya realmente los procesos de transmisión de información, genera esquemas de aprendizaje?
- **Objetivos de los usuarios**: ¿apoya a los alumnos en su aprendizaje, a los profesores en su cátedra, a las autoridades a administrar el campus?

#### II. Evaluación de la usabilidad

La metodología que se propone para esta evaluación comprende las siguientes etapas:

- Análisis
- Diseño y desarrollo
- Resultados

La etapa de diseño comprende a su vez dos subniveles: evaluación de usuarios y evaluación de expertos, tal y como se aprecia en la **Figura 4**.

Etapa de Análisis

Esta etapa define el dominio de la evaluación, realizando el análisis de los requisitos y las especificaciones que perfilarán dicho proceso.

• Primero se define el dominio de la aplicación de evaluación, a partir de las taxonomías contempladas; dentro del dominio educativo existen diferentes clases, por lo que es necesario especificar el tipo concreto a evaluar. Así, Marqués [MAR02b] y Area [ARE03] coinciden en señalar que la naturaleza y finalidad del sitio establece la diferencia entre los tipos de sitios educativos. Si la finalidad es de naturaleza informativa, diseñada para obtener información o datos pedagógicos o didácticos, deberá permitir la obtención de datos sobre la institución que oferta el servicio, la oferta de cursos, profesores, etc. Por otro lado, si su finalidad es pedagógica o formativa se genera un proceso determinado de enseñanza aprendizaje, que incluye temas, textos, actividades, evaluaciones, etc.

Así, atendiendo a la taxonomía propuesta por Area [ARE03], los sitios de red educativos se clasifican en cuatro grandes grupos, tal como se muestra en la **Figura 5:**

• Redes institucionales. Aquellos sitios que pertenecen a una institución, asociación o empresa relacionada con la educación. Ofrecen principalmente servicio informativo sobre la propia organización y las actividades, servicios o recursos que ofrece.

- Tiendas virtuales, puntos de

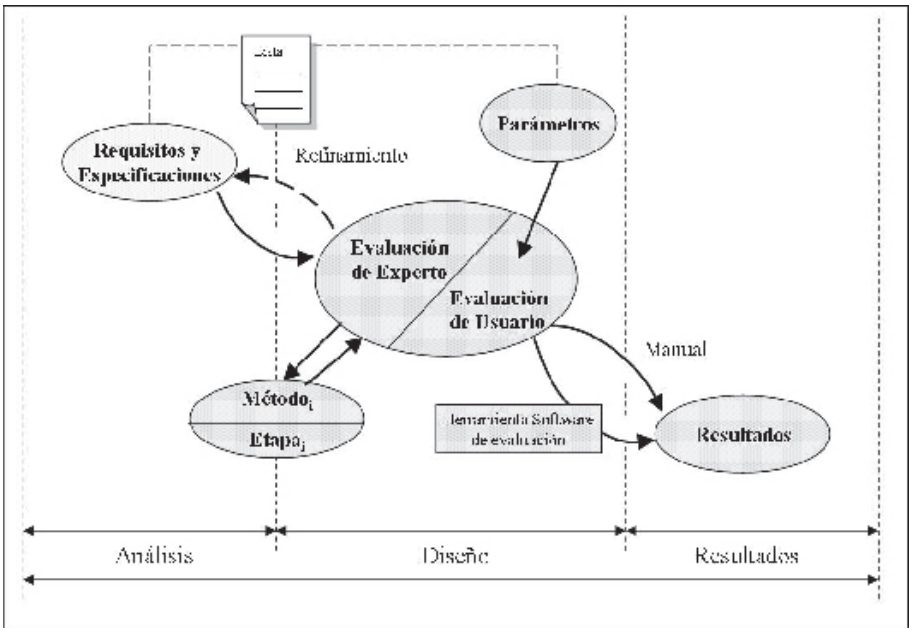



**Figura 4. Etapas de evaluación de los aspectos de usabilidad.**

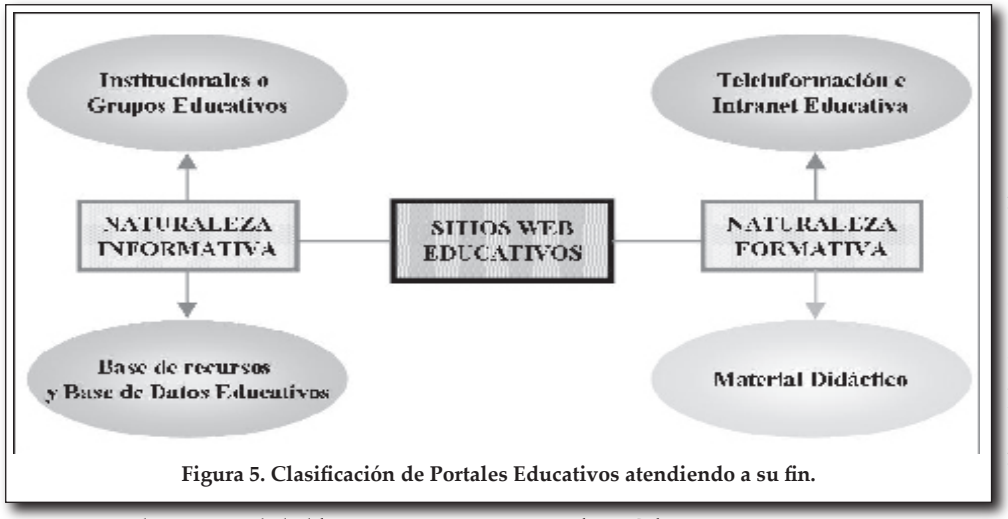



**Figura 5. Clasificación de Portales Educativos atendiendo a su fin.**

venta de material didáctico.

- Redes de presentación para profesores, centros educativos y escuelas.

- Portales multi-servicios.

• Redes de recursos y bases de datos de tipo educativo. Estos sitios son de naturaleza informativa, proporcionan al usuario enlaces, documentos, direcciones, recursos, software, etc., clasificados en:

- Centros de recursos
- Bibliotecas
- Buscadores
- Listas de recursos

• Entornos de teleformación e intranets educativas. Ofrecen un entorno o escenario virtual restringido, usualmente con contraseña, para el desarrollo de alguna actividad de enseñanza. Son sitios dedicados a la teleformación o educación a distancia empleando los recursos de Internet, que utilizan software especial para su creación (*RedCT, Learning Space, Luvit*, entre otros). Este tipo de entornos se desarrollan mayoritariamente por universidades para la oferta de cursos virtuales, por empresas dedicadas a la teleformación o *e-learning* o por centros virtuales de formación de directivos.

- Entornos tutoriales de teleformación. Ofrecen asesoramiento, clases tutoriales, cursos y hasta carreras completas.

- Entornos de comunicación interpersonal que integran listas de distribución temática, chats, servicios de transmisión de archivos, etc.

• Materiales didácticos en red. Denominados también sitios tutoriales o docentes; estan diseñados específicamente para su uso en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Son materiales curriculares en formato digital que utilizan la Internet como un medio de difusión y de acceso. Suelen ser elaborados por los mismos profesores.

• En segundo lugar, se hace un análisis de la audiencia de este tipo de aplicaciones. Aquí es importante señalar, que en el caso de aplicaciones tradicionales, normalmente el perfil del usuario esta definido claramente, lo que facilita el proceso de evaluación; mientras que en las aplicaciones basadas en red, el perfil del usuario es muy variado. Por ello, el enfoque que se propone se orienta al análisis de la audiencia en función, de la edad, ya que ésta es una variable importante cuando se determina el diseño de los contenidos del sitio.

• En tercer lugar, se analizan los pasos del ciclo de desarrollo de productos de software, a fin de especificar las posibles etapas de aplicación de la evaluación. Como se señaló anteriormente, el dominio de evaluación de la metodología estará limitado no solo por el tipo de aplicación educativa, sino también por la fase del ciclo de desarrollo . Por consiguiente, también es importante establecer en qué etapas será posible utilizar la metodología en el dominio señalado, tal como se muestra en la **Figura 6** y se explica a continuación:

**Diseño, desarrollo e implementación**. El objetivo de estas etapas es corregir y perfeccionar el recurso red educativo antes de su lanzamiento definitivo; esta evaluación tiende a centrarse en aspectos tanto computacionales como los relacionados a la interacción hombre-máquina y su facilidad de uso.

**Sistema**. Cuando el sistema se ha terminado y durante su utilización real por los usuarios es posible evaluar los requisitos de usabilidad necesarios realizando un mejoramiento en los mismos, y de esta forma cumplir con los objetivos de la red educativa.

Es importante tener en cuenta que las mejoras propuestas al nivel de sistema en uso dan como resultado plantear el rediseño de toda la aplicación, o incluso tener que crear una nueva. Por ello, es necesario considerar que los sitios de red, y en especial los educativos, pueden ser evaluados en la medida que exista un prototipo en línea a fin de que los evaluadores (expertos o usuarios finales) puedan realizar este proceso.

La **Figura 6** nos muestra que la evaluación y medición pueden realizarse a partir de la implementación de una unidad, de todo el sistema o cuando el sistema está en uso para evaluar el nivel de diseño o el de requisito. Sin embargo, conforme se

aplique la evaluación en cada una de las unidades se logrará que las evaluaciones al sistema completo sirvan para comprobar si el nivel de usabilidad alcanzado coincide con los objetivos inicialmente propuestos o, en el peor de los casos, que se requieran cambios mínimos.

• En cuarto lugar, se hace un análisis de las metas de evaluación de la usabilidad tanto a nivel de experto como a nivel de usuario, especificando los métodos de inspección más adecuados. A nivel experto los métodos más utilizados son:

1. Evaluación heurística
2. Inspección de consistencia
3. Inspección de estándares
4. Inspección de guías de comprobación

Los criterios necesarios para aplicar la evaluación de usuarios finales pueden ser complicados, debido a la escasa convergencia entre los diferentes autores e investigadores. Sin embargo, después del estudio realizado por [ALV03b], en el que se analizan diferentes criterios así como el grado de convergencia entre ellos, se ha determinado una lista de criterios basada en la combinación cruzada de los estándares ISO 9241[ISO93a] e ISO 9126[ISO91].

Dado que el dominio de evaluación esta constituido por las aplicaciones educativas, será necesario contemplar criterios que involucren aspectos referidos a dicho dominio; algunos de ellos se indican en la **Figura 7**.

### Etapa de Diseño

Esta etapa integra la realización y entrega de prototipos, agrupados a su vez en tres etapas específicas, tal y como se muestra en la **Figura 8**.

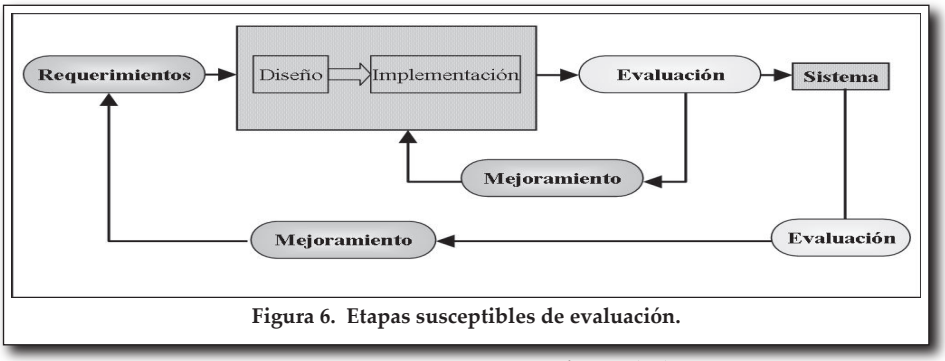



**Figura 6. Etapas susceptibles de evaluación.**

#### Etapa 1: Insumos para el (re)diseño del sitio

En esta etapa obtenemos la información necesaria para (re)diseñar un sitio de acuerdo a la información de la etapa de análisis y objetivos de la organización, las necesidades de los usuarios finales y las características de sitios similares de la competencia. Entre ellos destacan:

- Diagnóstico del sitio. (Explicado anteriormente).
- Estudios comparativos, *Benchmark*. Este tipo de estudios permite conocer el estado actual y comparar de manera sistematizada las distintas características de sitios similares, permitiendo desarrollar el proyecto sin tener que reinventar, reduciendo así costos y tiempos. El *Benchmark* es un mecanismo muy importante para garantizar que la estrategia en Internet resulte no sólo exitosa sino que coloque al proyecto en una posición estratégica.
- Taller de Visión. Este es el paso más importante para definir la estrategia y alcances que deberá tener el sitio, con contenidos y servicios útiles que contribuyan a su éxito.

#### Etapa 2: Diseño ejecutivo

El diseño ejecutivo contiene los planos de construcción de las principales páginas del Portal, así como los tipos de contenido que lo integrarán. El diseño ejecutivo se compone típicamente de:

- Armado esquemático (*blueprints*) de las páginas principales.
- Mapa del sitio.
- Prototipo gráfico.

#### Etapa 3: Desarrollo y operación

Esta etapa corresponde a la construcción del sitio, atendiendo a los diseños realizados, utilizando diversas Tecnologías de Información, y entendiendo la operación como los trabajos propios de arranque del sitio, con la publicación y las pruebas iniciales de trabajo y comunicación.

Una actividad muy importante en esta etapa de arranque es dejar perfectamente definido el posicionamiento del sitio en buscadores, para que aparezca en los primeros lugares en los resultados de búsquedas incorporando campos llamados *metatags* en el código del sitio.

### Etapa de Resultados

Esta etapa incluye las subetapas de operación y mantenimiento, las que se definen y derivan de las etapas de análisis, diseño y desarrollo, entendiendo en esta última que ya se realizaron los diversos estudios de:

- Inteligencia en estructura.
- Inteligencia en diseño.
- Inteligencia en contenidos.
- Inteligencia en mejores prácticas.
- Selección del *hosting*

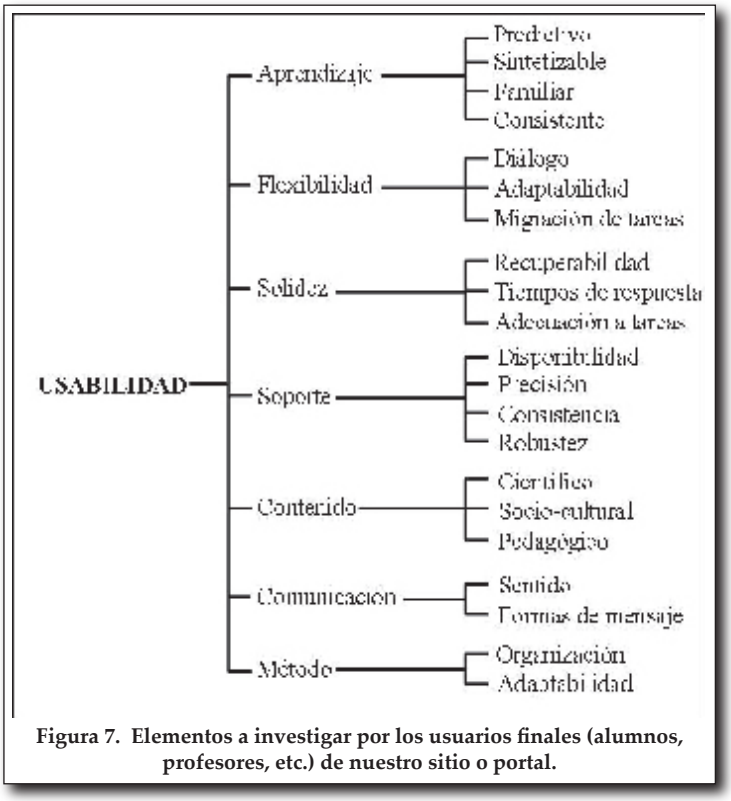



**Figura 7. Elementos a investigar por los usuarios finales (alumnos, profesores, etc.) de nuestro sitio o portal.**

De manera particular, mencionaremos la importancia de la operación que forma parte de esta fase, en donde se verán los resultados de la metodología aplicada a la usabilidad. La inteligencia en operación evalúa el desempeño del sitio a través de la adecuada actualización de los activos del portal y la evidencia de dicha actualización, entre otros; incorpora:

• Supervisión de desarrollo. El sitio requiere personal que este monitoreando su funcionamiento y uso.

• Procesos de administración del sitio. El mayor problema con los sitios es que una vez creados se consideran terminados, y típicamente se dejan en línea sin cambios que mantengan fresca y actualizada la información. Para evitarlo, se debe trabajar una matriz de procesos, actividades, tareas y responsables específicos para alimentar y actualizar el sitio desde una óptica estratégica (no técnica).

## *Conclusiones*

La métrica de usabilidad proporciona disciplina al diseño y desarrollo de portales comerciales y educativos, especialmente a estos últimos, ya que se han convertido en apoyos didácticos muy poderosos para los profesores y en ocasiones son el alma misma de una carrera o de una asignatura.

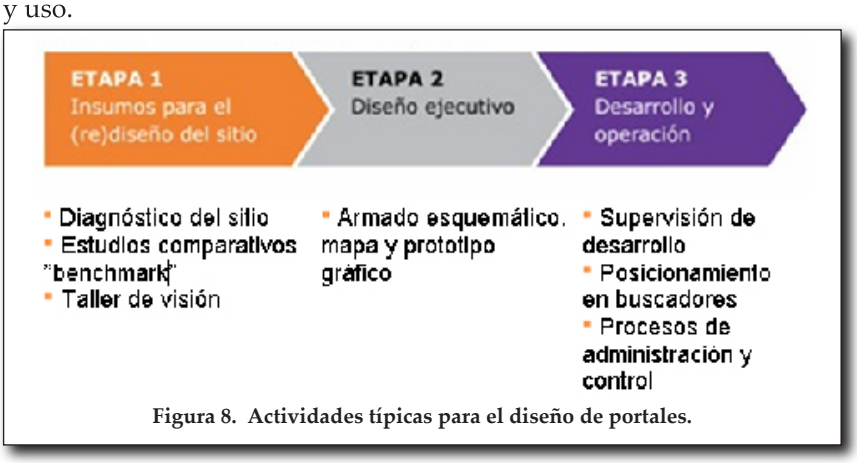



**Figura 8. Actividades típicas para el diseño de portales.**

Sin embargo, es necesario contar con metodologías que guíen este trabajo, y aunque existen algunas de ellas, éstas son diversas y con pocos puntos en común; esta situación nos ha llevado a realizar esta propuesta porque en la UPIICSA y en otras instituciones educativas se están realizando diversos proyectos por profesores de manera aislada, sin la asesoría técnica del área de informática y de especialistas, convirtiendo una tarea ardua en una acción poco productiva y sin mayor impacto.

## *Referencias y Bibliografía*

[AAAA] Alva Obeso, María Elena; Tesis Doctoral. *Metodología de Medición y Evaluación de la Usabilidad en Sitios Red Educativos.* Presentada en Oviedo, España 2005.

[ALV03b] Alva, M.; Martínez, A.; Cueva, J.; Sagástegui, H.: *Usabilidad: Medición a través de Métodos y Herramientas*. Readings in Interacción 2003. España 2003.

[ARE03] Area, M.: *De los Sitios Educativos al Material Didáctico*. Artículo publicado en la revista: Comunicación y pedagogía, nº 188, pp. 32-38. Universidad de La Laguna, España 2003.

[BEV93] Bevan, N.; Bogomolni, I.: *Incorporating User Quality Requirements in the Software Development Process*- Serco Usability Services, TW11 0DU, UK + Israel Aircraft Industries Ltd, Ben Gurion International Airport, 70100, Israel 1993.

[BEV97] Bevan, N.: Azuma, M.: *Quality in Use: Incorporating*

*Human Factors into the Software Engineering Lifecycle*. In: Proceedings of the Third IEEE International Software Engineering Standards Symposium and Forum ISESS'97), p169-179. USA 1997.

[GON03] González, M.: *Evaluación de Software Educativo: Orientaciones para su uso Pedagógico*. Proyecto Conexiones Colombia. Revisado en Noviembre de 2003.

[CAR02] Carvalho, A.: *Usability Testing of Educational Software Methods, Techniques and Evaluators*. 3º Simposio Internacional de Informática Educativa. Portugal 2002.

[ISO01] ISO/IEC 9126: *Software Engineering – Product Quality. Part 1: 2001 – Parts 2 to 4:* International Organization for Standardization, Geneva.

[ISO91] ISO 9126: *Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for their Use*. (1991)

[ISO93a] ISO 9241: *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals* (parts 1 to 17)(1993).

[ISO93b] ISO CD 9241-11: *Guidelines for Specifying and Measuring Usability.* (1993)

[MAR02b] Marqués, P.: *Los Portales Educativos: Ficha para su Catalogación y Evaluación*. Departamento de Pedagogía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona, España 2002.

[NIE90a] Nielsen, J.: *Big Paybacks from Discount. Usability Engineering*. IEEE Software, 7, 3 (May), pp. 107-108, USA 1990.

[NIE94a] Nielsen J.: *Heuristic Evaluation*. In Nielsen, J., and Mack, R.L. (Eds.), Usability Inspection Methods, John Wiley & Sons, USA 1994.

[SHN98] Shneiderman, B.: *Designing the User Interface*. Reading MA: Addison-Wesley. USA1998.

# Modulación por Ancho de Pulsos en Lógica Programable

*M. en C. Juan Carlos Herrera Lozada,*
*M. en C. Juan Carlos González Robles,*
*Ing. Patricia Pérez Romero,*
*Profesores del CIDETEC – IPN*

El presente trabajo muestra el diseño de una unidad ***PWM*** (*Pulse Width Modulation*, Modulación por Ancho de Pulso ) en lógica programable. Se analiza particularmente la realización del hardware de un Convertidor Digital – Analógico embebido en un PLD.

## *Introducción*

Actualmente, los convertidores de señal digital a analógica colocados a la salida de un sistema de procesamiento digital se diseñan de forma embebida (interna). Existen diferentes alternativas para realizar la conversión; sin embargo, la tendencia es considerar diseños de bajo costo sin sacrificar la versatilidad del módulo convertidor. Una unidad *PWM* es básicamente un *DAC* (*Digital- Analog Converter,* Convertidor Digital-Analógico) fácil de implementar y que se puede utilizar en sistemas que no requieran una gran velocidad de muestreo, tales como el control de motores, la variación de voltaje en diversas aplicaciones o, en algunos casos, el manejo de señales acústicas de baja calidad.

Es importante reconocer las diferentes alternativas en la implementación; por lo general, se utiliza algún microcontrolador o driver monolítico con funcionamiento específico; si este fuera el caso, sólo es necesario configurar los registros respectivos para acceder a dicha funcionalidad. En este trabajo se consideran dispositivos de lógica programable, dado que presentan alternativas de costo reducido (como en el caso de un GAL), con magnífico desempeño y velocidad, reconfigurables y adaptables a aplicaciones simples o complejas (utilizando FPGA o CPLD).

## *Teoría de la Pwm*

La modulación por ancho de pulsos consiste en una técnica que compara una señal de referencia con una señal moduladora de mayor frecuencia, con la intención de que la intersección entre ambas señales genere los instantes de conmutación de la salida *PWM*. Una unidad de estas características asigna cierta duración de tiempo en alto o en bajo a un dato digital de *n* bits, que se considera salida de la etapa procesadora. Lo anterior se logra conectando un contador y un circuito comparador; el comparador determina si el dato aplicado a la entrada de la unidad es menor al valor binario del contador, mismo que cambia constantemente. El tiempo de la señal en alto ("1" lógico) depende de la cantidad de pulsos de reloj que se aplique hasta que el contador presente un dato binario mayor o igual al de la entrada.

A la salida de la unidad *PWM* es necesario conectar un filtro RC (pasabajas) para determinar el nivel analógico propuesto por la señal de referencia. El módulo *PWM* básico se muestra en la **Figura 1**; también es posible adicionar un registro de datos para mantener estable el valor de la señal de referencia, denominada en la figura como entrada digital.

En una señal PWM, la frecuencia es constante mientras la duración del ciclo útil varía (de 0% a 100%), de acuerdo a la amplitud de la señal original.

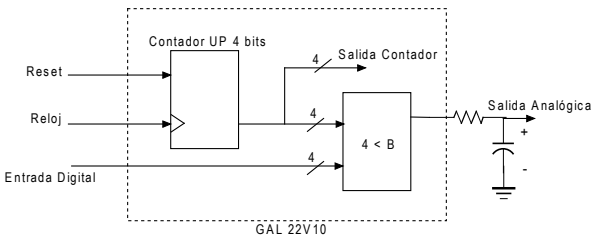



Figura 1. Módulo PWM digital.

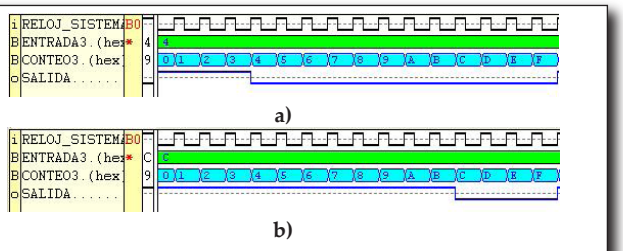



**Figura 2. a) Salida PWM para una referencia de valor 4. b) Salida PWM para una referencia de valor 12.**

Las **Figuras 2a y 2b**, muestran la proporcionalidad y la duración del ciclo cuando se tienen diferentes entradas de referencia (4 y 12), considerando un contador de 4 bits. Obsérvese que para una señal con valor 4, el ciclo de la señal *PWM* dura menos tiempo en alto ("1" lógico) que cuando vale 12. El objetivo de la conversión es que el capacitor del filtro RC entregue un voltaje proporcional a la duración de la parte alta del ciclo de la salida PWM.

### *Diseño de la Unidad PWM*

Se decidió utilizar un contador ascendente de 4 bits, al igual que un comparador de la misma magnitud, tal y como se indica en la abstracción de la **Figura 1**.

El periodo completo de un ciclo *PWM* es igual al producto del periodo del reloj de la señal de referencia (reloj del sistema) con $2^n$, donde $n$ es el número de bits del contador propuesto. Obsérvese la relación siguiente:

$$T_{PWM} = (T_{reloj})(2^n) \qquad (1)$$

Es posible advertir que si el contador es de 4 bits, se tendrá $T_{PWM} = 16\ T_{reloj}$, por lo que al aumentar el número de bits del contador para mejorar la resolución, el periodo *PWM* tenderá a hacerse más grande, reduciendo drásticamente la frecuencia de salida. Lo anterior es importante cuando se desea realizar una aplicación que requiera sincronizar la señal analógica para controlar un sistema. El programa que modela la unidad *PWM* en ABEL HDL, se incluye a continuación. El código es fácilmente adaptable a cualquier otra herramienta HDL, como Verilog o VHDL.

```
MODULE modpwm
TITLE 'PWM en GAL (DAC)'
reloj pin 1;
reset pin 2;
an3..an0 pin 3..6;
cont3..cont0 pin istype 'reg';
salida pin istype 'com';

"Definición de sets
entd = [an3..an0]; "entrada digital
cuenta = [cont3..cont0]; "contador

equations
cuenta.clk = reloj;
cuenta.ar= reset;

"comparación, contador y entrada digital
when cuenta < entd then salida = 1;
else salida=0;

"Incrementa conteo de forma ascendente
cuenta:= cuenta + 1;
END
```

Alternativamente, en VHDL se puede describir el mismo diseño, como lo muestra la aproximación siguiente:

```
ENTITY pwm IS
PORT(
reloj, reset: in STD_LOGIC;
s3, s2, s1, s0: in STD_LOGIC;
-- entradas a comparar
sal: out STD_LOGIC
);
END pwm;
ARCHITECTURE arch_pwm OF pwm IS
signal cuenta: STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
signal entrada:STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
begin
entrada(3)<= s3;
entrada(2)<= s2;
entrada(1)<= s1;
entrada(0)<= s0;
--Proceso de comparación y contador
contador: process (entrada, reloj, reset)
begin
if reset='1' then
cuenta <= "0000";
elsif reloj='1' and reloj'event then
  cuenta <= cuenta + 1;
  if (cuenta < entrada)then
    sal<='1';
  else
    sal<='0';
  end if;
else
cuenta <= cuenta;
end if;
end process contador;

END arch_pwm;
```

### Diseño del Filtro RC Pasabajas

Como ya se mencionó, la función del filtro es convertir el dato de salida *PWM* a su valor analógico proporcional. Para los propósitos del diseño planteado se buscó

que la intensidad de los leds del panel aumentara gradualmente con una frecuencia *PWM* aceptable. Considerando una frecuencia de referencia de 60 Hz, con un contador de 4 bits, y sustituyendo en (1), se obtiene una frecuencia *PWM* de 3.75 Hz, equivalente a un $T_{PWM}$ de 0.26 seg.

La relación de los valores del filtro está dada por:

$$RC = \frac{1}{2\pi F_{PWM}} \qquad (2),$$

por lo que eligiendo *C* = 1μF, se obtiene un valor para *R* de aproximadamente 42 KΩ (es posible ajustar a un valor comercial más exacto).

En el caso particular de esta unidad, se utilizó una frecuencia baja, por lo que no fue necesario considerar aspectos de diseño más formales en el filtro. En otros casos se recomienda estimar una frecuencia de corte menor a la frecuencia *PWM,* sin considerarlas iguales, tal y como se hizo en la aproximación anterior. En dicha situación será necesario sustituir la frecuencia *PWM* por la frecuencia de corte en la (2) o tal vez, hasta considerar un filtro de mayor orden que permita una mayor estabilidad de la señal.

### Oscilador embedido

Considerando que la frecuencia de la unidad *PWM* es fija en dependencia al diseño, se puede proponer un oscilador interno que se acople con una salida RC. El multivibrador inestable (sin histéresis) para el oscilador se diseñó a través de compuertas inversoras, como se aprecia en la **Figura 3**, cumpliendo la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{2R_1C\left[\frac{0.405R_2}{R_1 + R_2}\right] + 2R_1C(0.693)} \qquad (3)$$

Se advierte que con $R_1 = R_2$, $f = \frac{0.559}{RC}$ . (4)

Los valores comerciales para los componentes son: R = 4.7 KΩ y C= 100 μF, de donde:

$$f = \frac{0.559}{(4.7K\Omega)(100\mu F)} = 1.1Hz \qquad (5)$$

La descripción del oscilador RC se puede incluir en el mismo código de la unidad *PWM*.

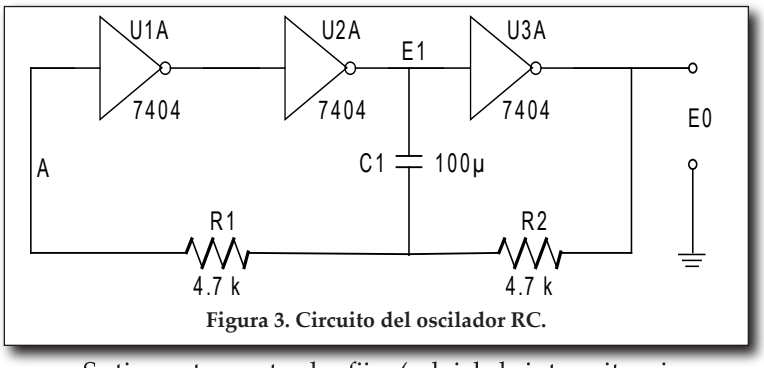



**Figura 3. Circuito del oscilador RC.**

Se tienen tres entradas fijas (reloj de la intermitencia; A y E1, entradas a los inversores del oscilador RC), tal y como se aprecia en el diagrama anterior.

En el código ABEL que se muestra a continuación, la salida *EO* es la entrada de la señal de reloj de la misma unidad *PWM*.

```
module led
reloj, A, B, E1, dat3, dat2, dat1, dat0 pin;
salida_pwm pin istype 'com,dc';
C, EO pin istype 'com,dc';
B node istype 'com,dc';
cuenta5..cuenta0 pin istype 'reg,dc';
"Definición de constantes
uno = 1;
"Definición de sets
cuenta=[cuenta5..cuenta0];

"Oscilador aproximadamente a 1seg
equations
@carry 8;
cuenta.clk=reloj;
B = !A;
C = !B;
EO = !E1;

"Inicia la descripción de la unidad PWM
```

### *Resultados*

A continuación se explican los resultados experimentales, asumiendo dos entidades independientes.

La unidad fue programada inicialmente sobre un dispositivo GAL22V10, para resolver la problemática de diseño propuesta. Posteriormente se realizaron algunas pruebas programando sobre un FPGA para complementar los alcances de la técnica abordada. La **Figura 4** muestra los resultados de simulación de la unidad diseñada.

Obsérvese que las señales se exhiben de forma individual y no en conjunto; además, se trata del diseño sin el conteo ascendente – descendente automático para la graduación.

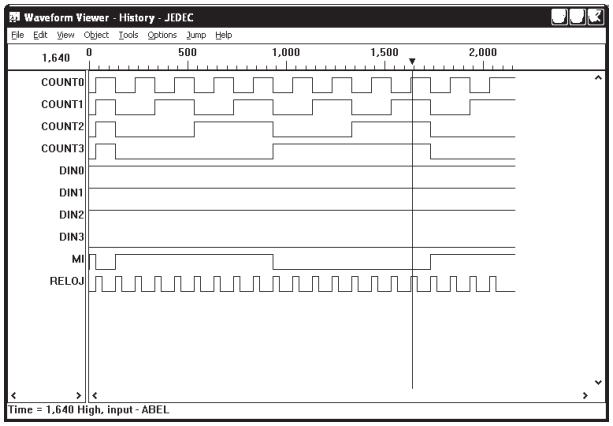



**Figura 4. Resultados de simulación para la unidad PWM.**

El filtro RC implementado respondió correctamente a la frecuencia de trabajo establecida, convirtiendo favorablemente el dato digital a su equivalente analógico.

La **Figura 5**, muestra una vista de un panel de leds para las pruebas experimentales. Se aprecia el conjunto de dispositivos GAL de la solución completa. Para la configuración física de los dispositivos se utilizó un programador universal estándar, y la herramienta de síntesis lógica utilizada para obtener el archivo JEDEC fue *ispEXPERT* de *Lattice Semiconductors*. Para las aproximaciones sobre FPGAs se utilizó *Foundation* de *Xilinx* y dispositivos de la familia *Spartan* 2 **Figura 6**.

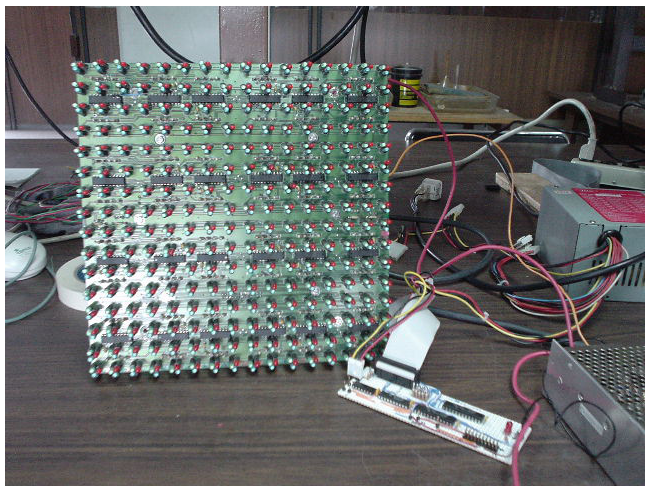


**Figura 5. Panel de leds diseñado.**

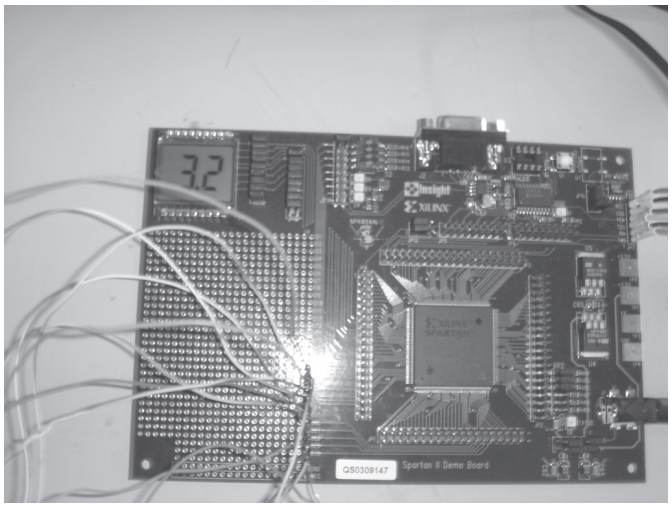



**Figura 6. Tarjeta de Desarrollo FPGA Spartan 2 de Xilinx.**

## *Conclusiones*

El controlador de señalización implementado resultó muy económico en comparación a una solución con microcontroladores. Se demostró el diseño de un oscilador RC que reduce costo y espacio al ser modelado dentro del mismo código del controlador, y que resulta muy versátil en aplicaciones de enseñanza o profesionales que requieran frecuencias de trabajo bajas.

El diseño de convertidores *DAC* a través de *PWM* es un recurso ampliamente sustentable en dispositivos de lógica programable. La lógica descrita es muy sencilla y se adapta sin cambios drásticos en el código a cualquier HDL con la alternativa de la arquitectura de los PLD simples, y se hace extensiva para dispositivos de arquitectura avanzada como FPGA y CPLD.

Los trabajos planteados a futuro implican una comparación detallada con la alternativa de microcontroladores enfocada hacia el área del control. La iniciativa presentada por los dispositivos de lógica programable por sí misma deriva en una mayor versatilidad y desempeño, aunado al diseño contemporáneo de la electrónica digital para actualizar los programas de estudio de la Ingeniería Electrónica y afines.

*Bibliografía*

**[1]** Sebastian, Michael J., *Application - Specific Integrated Circuits*, Addison Wesley, 2000.

**[2]** Synopsis, *FPGA Express with Verilog HDL and VHDL*, Reference Manual, Xilinx in line, 2002.

**[3]** Wakerly, John. *Digital Design*, Prentice Hall, 2002.

**[4]** Palacherla, Amar., *Using PWM to Generate Analog Output*, Application Notes AN538, Microchip Technology Inc, www.microchip.com.

**[5]** Seitzer, D., *Electronic Analog to Digital Converters*, Wiley, 1990.

**[6]** *Ejemplos de ABEL – HDL* en línea, http://eet.etec.wwu.edu/etec373/ABELExs/

**[7]** Van der Spiegel, J., *ABEL – HDL Primer*, University of Pennsylvania en línea, http://www.seas.upenn.edu/ese/rca/software/abel/abel.primer.html.

# El Formato ABC para Composición Musical

*M. en C. Jesús Antonio Álvarez Cedillo,*
*M. en C. Elizabeth Acosta Gonzaga,*
*Ing. Patricia Pérez Romero,*
*Profesor del CIDETEC-IPN*

Antiguamente, la composición musical era un área restringida solo para los músicos, quienes escribían su música utilizando el famoso papel pautado. El presente trabajo describe como construir un escritor musical autónomo que tome las notas directamente del instrumento musical, utilizando tablas de referencia en voltaje formadas por las señales de audio no amplificadas, y conversores analógicos-digitales para obtener valores absolutos alimentados a una interfaz paralela de comunicación con una computadora.

El sistema de cómputo interpreta estas notas por medio de una tabla de referencia en formato de notación musical ABC, comparándolas con la tabla de referencia de valores absolutos a fin de producir un archivo de tipo MIDI y la correspondiente partitura controlada por un programa; de esta manera, un músico obtendrá la composición de sus notas directamente de su instrumento, facilitando la realización música.

### *Formato Abc de notación musical.*

ABC es un formato de notación musical, diseñado originalmente para conservar por medio de una notación en código ASCII, las canciones tradicionales del noreste de Europa [2]; actualmente representa un estándar de facto para los músicos, que ya está siendo usado para todos los estilos de musicales.

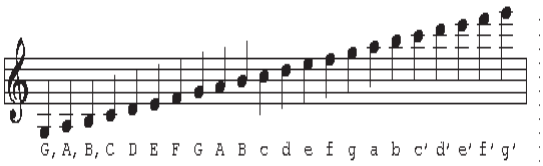



**Figura 1. Archivo de partitura generado de la canción "Last Night's Fun".**

Las características principales del formato ABC son las siguientes:

- Es fácil leerlo, ya que se basa en la notación musical inglesa para la representación de las notas.
- Es de formato simple y de estructura compacta.

En el siguiente ejemplo se muestra la configuración de una canción en este formato:

*T:Last Night's Fun*
*R:reel*
*M:C|*
*K:D*
*ADFD~A3B|ADFDEFGB|ADFD A2 (3Bcd|1 e2fe dBBd:|2 e2fe dBAB||df~f2 af~f2|defd ~e3f|1 df~f2 af~f2|egfe dBAB:|2 ~a3b afeg|fedc BcdB||*

La tablatura que representa el código anterior se muestra en la **Figura 1**. En este ejemplo la cabecera *T*: representa el titulo de la canción (*Last Night´s Fun*), la melodia es tipo *reel*, el compás (*M*:) es de 4/4 y la llave o estructura de la canción (*K:Key*) es *D* (Re). Los símbolos restantes representan el pentágrama y sus notas.

El compás indica la duración por defecto de cada nota; en este caso, al ser 4/4 será 1/8, las notas de más duración se obtienen poniendo un coeficiente después de la nota en cuestión (A3 es 3 veces 1/8) y para hacerlas más cortas se agrega un divisor (A/2 es 1/16).

En el ejemplo vemos *3Bcd*, lo cual representa que las notas *Bcd* duran un tiempo de dos (un tresillo). Los casos posibles son:

2 notas en el tiempo de 3
3 notas en el tiempo de 2
4 notas en el tiempo de 3
5 notas en el tiempo de n
6 notas en el tiempo de 2
7 notas en el tiempo de n
8 notas en el tiempo de 3
9 notas en el tiempo de n

Las barras de repetición se representan de una forma muy gráfica, con los símbolos:

| |] || [| :| |: ::

La tabla de equivalencias de los símbolos anteriores se muestra en la **Figura 2**.

**Figura 2. Representación en la partitura por nota.**

Las primeras y segundas repeticiones se representan con *[1 y [2]*

Cuando la repetición está adyacente a una barra también se puede escribir el número contiguo a ella.

### *Archivos MIDI*

La Interfaz Digital de Instrumentos Musicales (MIDI por sus siglas en ingles), es un lenguaje electrónico-digital, que constituye un estándar de facto tanto multimedia como musical. Muchas computadoras e instrumentos poseen un puerto externo llamado de interfaz MIDI, que sirve para interconectar dispositivos que soporten la norma.

MIDI, como formato multimedia, no funciona como un MP3, un WAV, o un .AU, ya que no captura los sonidos como lo realizaría un micrófono, sino que sólo puede procesar música grabada en un sintetizador o tarjeta de sonido; por lo tanto sólo escucharemos instrumentos y nunca voces.

Los archivos MIDI (.MID) se caracterizan por ocupar muy poco espacio en disco, haciéndolos muy recomendables para ambientar musicalmente páginas de red. Una secuencia se graba como una serie de números que indican el instrumento, la duración de la nota, su tono o timbre, etc., y una aplicación interpreta dicha serie. Por ello, la calidad de sonido no depende del archivo, sino del programa con que se ejecuta, con base en la cantidad de instrumentos que contemple la aplicación.

Este formato puede editarse de manera simple con un programa Secuenciador; podemos mover notas, eliminarlas, cambiar los instrumentos y acelerar o disminuir la velocidad de reproducción. Cada modificación implica cambios en la serie de números.

Para grabar archivos tipo MIDI existen dos métodos, el muestreo (*sampling*) de tablas de onda y la síntesis de FM. Ésta última se utiliza en tarjetas antiguas o de poca calidad; en cambio el muestreo tiene mayor calidad, ya que la tarjeta de sonido contempla instrumentos reales.

### *Notación Inglesa*

La notación inglesa, es la notación popular mas utilizada por los músicos para expresar notas musicales y acordes. En este sistema, las notas se relacionan a una letra del alfabeto, nombradas como: *C, D, E, F, G , A y B* (*H* en el caso del sistema alemán).

La equivalencia real de esta notación se expresa a continuación:

A - La
B - Si
C - Do
D - Re
E - Mi
F - Fa
G - Sol

La notación anterior se utiliza solo para nombrar a los tonos naturales y las tonalidades; estas últimas se representan por las letras en mayúscula o minúscula, para expresar mayor o menor tono:

C (C major, C-dur): Do mayor
a (A minor, a-Moll): La menor

Cuando se expresan las tonalidades con este sistema se tienen las equivalencias siguientes:

Do C C sharp C flat C Cis Ces
Re D D sharp D flat D Dis Des
Mi E E sharp E flat E Eis Es
Fa F F sharp F flat F Fis Fes
Sol G G sharp G flat G Gis Ges
La A A sharp A flat A Ais As
Si B B sharp B flat H His B

Con base a lo anterior, el orden de los tonos sostenidos es: *FCGDAEH*, mientras que el orden de los tonos bemoles es: *HEADGCF.*

### *Aplicaciones para el formato ABC*

Aunque existen muchas aplicaciones para el formato ABC, no todas son adecuadas para el músico profesional, ya que éste no cuenta con una capacitación adecuada en sistemas de cómputo, por lo que desconoce la mayor parte de los formatos utilizados en estas aplicaciones.

El formato más utilizado para la representación de las partituras es el Postscript; sin embargo, al no ser éste un formato estándar para Windows, (generalmente se utiliza en Linux), los programas que pueden leerlo son difíciles de encontrar, y en la mayor parte de los casos su instalación es compleja.

Aunque los archivos generados pueden ser transformados al formato PDF, se requieren herramientas especiales para dicha conversión. La aplicación más popular es **abc2win** [3], siendo ésta una de las más completas para la edición de música a través

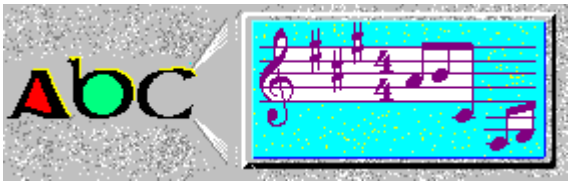


**Figura 3. Aplicación ABC2win.**

del formato ABC. Esta aplicación se muestra en la **Figura 3**.

El objetivo de este artículo es presentar los antecedentes de un proyecto tipo GNU que permita tener un programa completamente funcional para la composición musical, desarrollado en el Instituto Politécnico Nacional.

Actualmente se trabaja en un compositor musical autónomo, que permita editar la música desde los instrumentos. El objetivo es configurar instrumentos musicales comunes; este programa se encuentra terminado en un 80%, la interfaz se muestra en la **Figura 4**.

El sistema consiste en micrófonos conectados a una serie de filtros de frecuencias adecuados a cada instrumento en particular; la señal se transforma en digital mediante un convertidor analógico-digital, y la salida es referenciada por su valor. Al pasar este valor a la tabla de referencia de notas, en forma automática se escribe la nota correspondiente; en la **Figura 5** se muestra la partitura del archivo leído en la Figura 4.

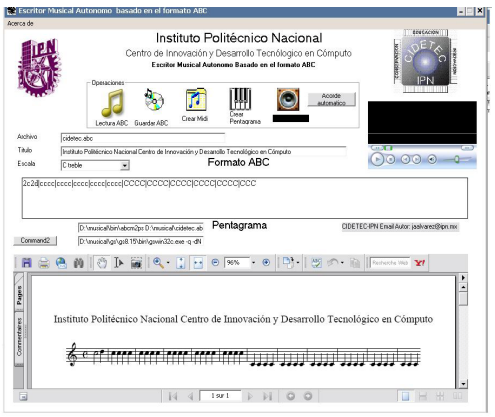



**Figura 4. Interfaz del compositor musical autónomo.**

## *Conclusiones*

1. El código fuente de los avances de este proyecto está disponible a la comunidad en la pagina:

www.cidetec.ipn.mx/profesores/jaalvarez/abc.zip

2. La prueba en el editor autónomo para el formato ABC, se realizó con instrumentos de tono puro, tales como la flauta de pan y la guitarra eléctrica por notación en cuerda; en este caso los filtros no marcaron una diferencia significativa. Al trabajar con acordes, utilizando un bajo eléctrico y una guitarra eléctrica, el programa respetó la marcación de la partitura y los sonidos correspondientes al colocar en cualquier orden las notas involucradas.

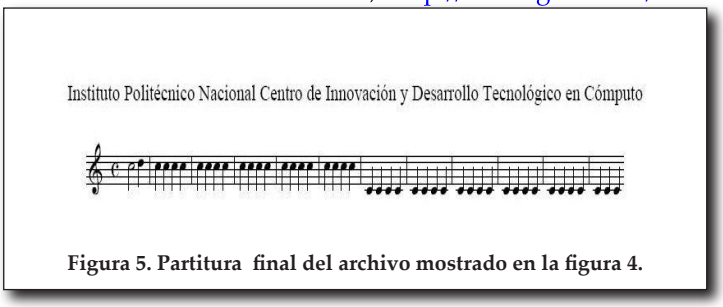



**Figura 5. Partitura final del archivo mostrado en la figura 4.**

## *Referencias*

[1] CIDETEC-IPN, http://www.cidetec.ipn.mx

[2] Pagina Del Autor Formato ABC, http://www.gre.ac.uk/~c.walshaw/abc/

[3] ABC2win

[4] http://abcnotation.org.uk/