

# Sistema para detección de ecos ultrasónicos y medición de tiempos de vuelo: diseño en una FPGA

System for Ultrasonic Echoes Detection and Time of Flight Measure: FPGA Design

COLCIENCIAS TIPO 1 (RECIBIDO: DICIEMBRE 14; APROBADO MARZO 20, 2012)

**Dairo Yovanni Cardenas Paz<sup>1</sup>**

ccea15@hotmail.com

**Darwin López Mora<sup>1</sup>**

ingenieria@usc.edu.co

**John Michael Espinoza<sup>2</sup>, M.I**

michaele@univalle.edu.co

**Andrés David Restrepo Girón<sup>1</sup>, Ph.D (c)**

adrg1876@hotmail.com

Universidad Santiago de Cali, Colombia (1)

Universidad del Valle, Cali, Colombia (2)

## **Resumen**

El documento expone el diseño electrónico embebido de un sistema de detección de ecos ultrasónicos y medición de tiempos de vuelo, a partir de una metodología de procesamiento digital de señales ultrasónicas de alta frecuencia, captadas en un experimento de Ensayo No Destructivo (END) realizado utilizando un lenguaje de descripción de hardware y el software QUARTUS II 8.0 y una FPGA de la serie XC3000 de Xilinx. El análisis comparativo del desempeño del sistema diseñado (respecto al mismo algoritmo de procesamiento desarrollado en MATLAB), arrojó 2,6% de error relativo promedio en las mediciones, valor aceptable si se considera que un objetivo del diseño era contar con un hardware que hiciera las tareas de detección y medición respectivas sin requerir mucha potencia de cálculo. El proyecto muestra la factibilidad de realizar un prototipo de bajo costo con las características más relevantes de los equipos ultrasónicos comerciales de END que requieren las PYMEs nacionales para mejorar su competitividad.

## **Palabras clave**

Ultrasonido, Tiempo de Vuelo, Ensayo No Destructivo, FPGA, VHDL, Sistema Embebido

## **Abstract**

In this paper, an electronic design of an embedded system is exposed, for ultrasonic echoes detection and time of flight measurements, based on a methodology for digital processing of high frequency ultrasound signals acquired from a Non-Destructive Testing (NDT) experiment. For this design and corresponding simulation, a hardware description language (VHDL) was used with QUARTUS II 8.0 software and XILINX XC3000 series FPGA. The comparative analysis between the performances of the designed system and of the same processing algorithm developed in MATLAB, shows acceptable results (2.6% average relative error in the measurements) given that, one of the design goals was to build hardware to make the detection and measurement tasks without requiring too much computing power. So, this project demonstrates the feasibility of designing a low cost prototype that satisfies the most relevant features of commercial ultrasonic equipment for END, needed by many native SMEs for greater competitive levels.

## **Keywords**

Ultrasound, Time of Flight, Non-Destructive Testing, FPGA, VHDL, Embedded System.

---

Este trabajo se realizó en el marco del I Diplomado en Sistemas Embebidos organizado por la Facultad de Ingeniería de la USC y su Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). Los autores agradecen al coordinador del GIE, John Jiménez Gómez, M.Sc., por facilitar el Banco de Señales de Ultrasonido en END, del que se obtuvieron las señales digitalizadas de prueba para este trabajo.

## I. INTRODUCCIÓN

El END de Materiales constituye una práctica industrial de vital importancia en todo lo concerniente tanto al aseguramiento de la calidad de los productos terminados, como al mantenimiento preventivo y predictivo de herramientas, maquinaria y demás infraestructura sobre la que se soportan los sectores económicos de la sociedad moderna. Dada la variedad de aplicaciones del END, existe también una amplísima gama de técnicas de ingeniería que se agrupan en 7 categorías (Maldague, 2001) –de acuerdo con la *National Materials Advisory Board*, principal ente regulador de END en América– de las cuales, la ultrasónica se ha constituido en la disciplina quizás más importante y común en este ámbito, debido a su versatilidad y confiabilidad.

No obstante, el papel preponderante de la ultrasónica en la industria actual, la fabricación de sensores ultrasónicos y la manipulación acertada de sus señales involucran aspectos técnicos complejos que hacen que los costos de los equipos ultrasónicos de END sean altos, y estén fuera del alcance, fuera de las posibilidades de inversión –en su consecución y mantenimiento– de las pequeñas y medianas empresas de países en vía de desarrollo como Colombia. En ese contexto, la necesidad de la industria regional de mejorar su competitividad al darle valor agregado a sus productos y servicios (Consejo Privado de Competitividad, 2010), obligándola a contar con herramientas de END adecuadas para garantizar su sostenibilidad a partir de la eficiencia y el aseguramiento de la funcionalidad y calidad en sus procesos, se convierte en una oportunidad para el sector de la ingeniería colombiana de contribuir al desarrollo, con base en la innovación y la apropiación de tecnología.

En este sentido, el objetivo del proyecto expuesto consistió en cumplir con la primera fase del diseño e implementación de un sistema hardware embebido para la generación, procesamiento, medición y visualización de señales ultrasónicas de END de materiales. Esta primera fase comprendió la detección de ecos ultrasónicos y medición de sus tiempos de vuelo, con base en señales previamente generadas, captadas y amplificadas mediante un sistema *pulsar/receiver* comercial, y posteriormente digitalizadas, adecuadas y almacenadas por medio de una tarjeta de adquisición de datos y un PC.

En la sección II se presenta una breve descripción sobre el procesamiento básico de las señales ultrasónicas para END, mientras que en la sección III se detalla la metodología de diseño del sistema. Para terminar, en la sección IV se exponen los resultados de la simulación en QUARTUS, así como el análisis comparativo de desempeño frente al procesamiento en MATLAB.

## II. FUNDAMENTOS DE LA EXPLORACIÓN ULTRASÓNICA BÁSICA PARA END

Gracias a que el ultrasonido (como el sonido en general) necesita la presencia de un medio material elástico para propagarse, los cambios provocados en la onda ultrasónica inyectada en dicho medio al propagarse a través de él, dan indicios de las características del mismo; esto es lo que se busca en la mayoría de aplicaciones ultrasónicas, incluyendo el END. Las causas por las que se emplea ultrasonido para este propósito, son:

Su *pequeño ángulo de difracción* que hace que las ondas de ultrasonido se agrupen formando un *haz* más o menos agudo, y por lo tanto porten una mayor *intensidad de energía*.

Su *reducida longitud de onda* que permite mayor *resolución* a la hora de medir *tiempos de propagación* o *desfases* de los ecos captados, lo que redundará en una mayor exactitud, cuando se mide distancia.

Aunque el campo de emisión sonora de un transductor o *palpador* ultrasónico es complejo debido a la presencia de varios planos de vibración, el campo de vibración que domina en la exploración básica de materiales se caracteriza por una disminución asintótica de la amplitud de la vibración, fenómeno conocido como *difracción* (McKerrow, Zhu & New., 2001). Al mismo tiempo, el medio absorbe energía de la onda mientras ésta se propaga, lo que constituye también un factor de pérdida de la señal; este fenómeno disipatorio, conocido como *absorción*, puede ser generado por la viscosidad, la conductividad térmica o por los intercambios moleculares del medio (Kinsler, Frey, Coppens, & Sanders, 1995). Combinando la difracción y la absorción, se obtiene en general la siguiente expresión (Carlin, 1979; Restrepo & Millán, 1999):

$$P(r, \theta) = \frac{P_0(\theta)e^{-\alpha \cdot r}}{r} \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:  $P_0(\theta)$  corresponde a la presión inicial dependiente del ángulo con respecto al eje central o de radiación;  $r$ , a la distancia entre el emisor y el punto considerado dentro del campo de vibración; y  $\alpha$  el coeficiente de absorción en el medio.

En cualquier aplicación de ultrasonido habrá de tenerse en cuenta un *compromiso* entre difracción y absorción en el medio, ya que si bien una mayor frecuencia mantiene más compacto el haz ultrasónico (menor difracción), al mismo tiempo hace que el alcance de la propagación acústica se reduzca debido a una absorción mayor en el medio, pues el coeficiente de absorción es proporcional a la frecuencia vibratoria.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de exploración básica de ultrasonido para END, en la cual se genera una onda ultrasónica mediante la excitación con un pulso adecuado de varias decenas de voltios, de un transductor fabricado con materiales piezoeléctricos como el Cuarzo y el Titanato de Bario ( $BaTiO_3$ ) en sus inicios, o materiales sintéticos más complejos y recientes como el Titanato y el Zirconato de Plomo ( $PbTiO_3 - PbZrO_3$ ). Mientras la onda viaja y penetra el material bajo estudio, puede encontrarse fundamentalmente con la cara opuesta del material o con la interfaz de otro medio (*discontinuidad*) que bien podría ser un defecto interno (como en la Figura 1).

En este punto la energía acústica del ultrasonido se divide en una parte que se refleja y se devuelve hacia el transductor, y otra que se refracta y continúa hacia el nuevo medio; qué tanto se refleja o se refracta, dependerá de las características de los dos medios que se encuentran, relacionado matemáticamente por la relación (Carlin, 1979):

$$A_r = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \quad [\text{Ec.2}]$$

Donde  $z_n = \rho_n \cdot c_n$  es la denominada *impedancia acústica* del medio  $n$ , siendo  $\rho$  la densidad y  $c$  la velocidad del sonido para ese material.

En una situación como la anterior se esperaría recibir en el transductor la onda reflejada; sin embargo, eso depende de la dirección del haz y de la forma del defecto interno (Figura 2) (Berke, 2000). Asumiendo que la onda reflejada llega al transductor, lo que se obtiene como señal

típica consiste en una serie de ecos u oscilaciones amortiguadas de duración finita, que corresponderán a las interfaces entre medios de propagación donde la onda se reflejó en algún porcentaje (Figura 3).

Figura 1. Exploración ultrasónica básica para END (Berke, 2000)



Figura 2. Reflexión no coincidente con el palpador (Berke, 2000)

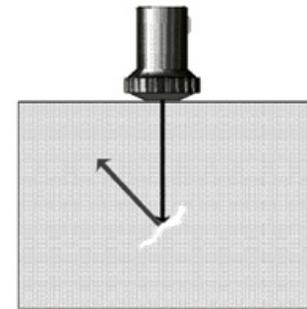
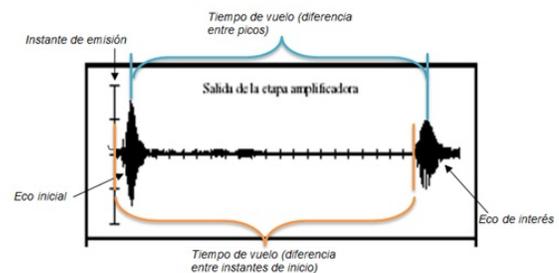


Figura 3. Ejemplo de señal típica captada de un experimento de END



A partir de esta señal se busca cumplir con los objetivos de cualquier experimento de END, esto es:

- detectar las discontinuidades,
- localizar las discontinuidades,
- evaluar las discontinuidades, y
- diagnosticar las discontinuidades.

De ellos, los dos primeros son fundamentales. De ahí el interés por realizar la detección de los defectos y con posterioridad estimar el tiempo de vuelo ( $t_{of}$ ) de cada uno, es decir, el tiempo medido entre el instante en que se emite el pulso de excitación y el instante de llegada de cada eco captado. La importancia del  $t_{of}$  radica en que nos permite conocer la distancia a la que se encuentra el punto de donde proviene la reflexión mediante la fórmula:

$$d = \frac{1}{2}(c \cdot t_{of}) \quad [\text{Ec.3}]$$

Donde  $d$  es la distancia estimada,  $c$ , la velocidad del sonido en el material bajo inspección.

No obstante, dicha distancia no será siempre la profundidad de la discontinuidad detectada con respecto a la superficie del material, pues dependiendo de la orientación del haz ultrasónico y de la discontinuidad, la señal puede seguir una ruta indirecta hasta llegar al transductor (Berke, 2000).

En cuanto al procesamiento, una señal ultrasónica necesita por lo general bastante amplificación y varias etapas de filtrado, en su forma más básica (Figura 4) (Restrepo, 2006). Inicialmente, un filtrado *pasabandas* permitiría atenuar ruido y posibles oscilaciones de baja frecuencia, así como niveles de *offset* que se incrementarían inaceptablemente con la amplificación total del circuito (Jiménez & Loiza, 2010). Posteriormente, la rectificación de la señal y la aplicación de un filtro *pasabajas* permitiría extraer las envolventes de los ecos, con las cuales se facilita la detección y la estimación de los tiempos de vuelo.

Figura 4. Esquema simplificado de un receptor ultrasónico típico



Por su parte, la detección más simple se realiza con el método de umbral, en la cual se obtiene una indicación de eco detectado cuando la señal supera un nivel preestablecido, siendo esta indicación utilizada para marcar

el instante de llegada del eco. Sin embargo, puesto que este método presenta ciertas desventajas nada despreciables, también se utilizan en esta estimación los instantes de los picos de todos los ecos; ya que el primer eco que aparece en la señal (Figura 3) no corresponde a una discontinuidad sino a la propia respuesta oscilatoria del palpador una vez se excita con el pulso de voltaje adecuado, es posible aproximarse a los tiempos de vuelo restando el instante para el pico de cada eco, del instante de tiempo para el valor pico del primero.

### III. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA DETECCIÓN DE ECOS Y ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE VUELO

El sistema electrónico realizado en VHDL (García & Pérez, 2006; Chang, 1999) consiste en la implementación de un algoritmo por medio del cual se puede filtrar las señales ultrasónicas (ya rectificadas), a través de un filtro FIR pasabajas, para obtener una señal con las envolventes de los ecos y con menos ruido. Las señales empleadas corresponden a ecos reales de ultrasonido generados con transductores de 5MHz y muestreados a un período de 40ns (rata de 25MS/s).

Para el desarrollo del algoritmo se utilizó en primera instancia una memoria ROM para almacenar las muestras de la señal digitalizada, con capacidad de almacenamiento de 1024 bytes, acompañada de un contador para el acceso a las posiciones de memoria y controlada con una señal de reloj para la sincronía de la lectura de sus datos. Esta memoria fue extraída de las *megafunciones* que posee Altera y los respectivos bloques o Librerías de Módulos Parametrizados (LPM) que ofrece Quartus II como herramientas para el diseñador (Altera, 2011).

Para usar la memoria ROM se requiere un archivo en el que se guarda el contenido de los datos que se van a escribir en ella, especificando un nombre con su respectiva extensión (*.mif* o *.hex*); el archivo se puede crear dentro del Quartus II a través de la opción *Memory Initialization File*. Antes de ingresar los datos en el archivo *.mif*, fue necesario multiplicar los valores reales de las muestras de la señal por 32 (corrimiento de 5 bits a la izquierda) y luego redondearlos al valor entero más cercano, debido a que solo se trabajó con 8 bits de entrada, sin poder representar la parte fraccionaria del dato.

Tanto el contador como la memoria ROM fueron interconectados mediante un programa de tipo estructural,

utilizando buses digitales y la instrucción *port map* del VHDL.

Posteriormente se desarrolló un filtro FIR pasa bajas de orden 32 con el método de enventanado Hamming, con una frecuencia de corte de 1 MHz. Los coeficientes del filtro se obtuvieron utilizando la herramienta de diseño *FIR compiler v8.0* ubicada dentro de la librería DSP de los *MegaWizards Plug-ins* de Quartus II. El *FIR compiler v8.0* se empleó solamente para obtener los coeficientes del filtro, con la opción *Parameterize*.

Los coeficientes del filtro generados por la herramienta FIR compiler v8.0 son coeficientes reales, pero debido a que Quartus trabaja con coeficientes en punto fijo, se multiplica cada uno de estos valores por 1614, resultado que luego se redondea con el fin de obtener valores enteros. Los coeficientes en punto fijo obtenidos fueron los siguientes, en orden ascendente: [-1 -1 0 0 2 7 14 24 36 51 67 84 99 112 122 127 127 122 112 99 84 67 51 36 24 14 7 2 0 0 -1 -1].

Para el desarrollo del filtro fue necesario el uso de 32 registros tipo D (extraídos del módulo de la librería *storage*, utilizando el bloque *LPM\_FF*), 32 multiplicadores de dos entradas, cada una de ellas con un ancho de 8 bits (extraídos del módulo de la librería *arithmetic*, utilizando el bloque *LPM\_MULT*), y un sumador en paralelo de 32 entradas con un ancho de 11 bits de entrada y 16 de salida (extraídos del módulo de la librería *arithmetic*, utilizando el bloque *PARALLEL\_ADD*), de tal manera que cumplan con la fórmula de la convolución discreta:

$$y(n) = \sum_{k=1}^{32} h(k)x(n-k)$$

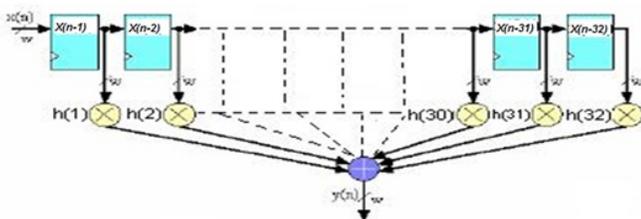


Figura 5. Diseño gráfico del filtro implementado

En la construcción de cada registro se creó un *flipflop* tipo D, con una entrada y una salida de 8 bits (ambas) y una señal de reloj encargada de la sincronía de la entrada y salida del dato.

Para la construcción de los multiplicadores se utilizaron 16 multiplicadores, cada uno con una entrada constante, correspondiente al coeficiente del filtro y otra para la parte del dato proveniente de cada registro; el multiplicador tiene una entrada de 8 bits, una señal de reloj que sincroniza la multiplicación y un dato constante correspondiente al coeficiente del filtro.

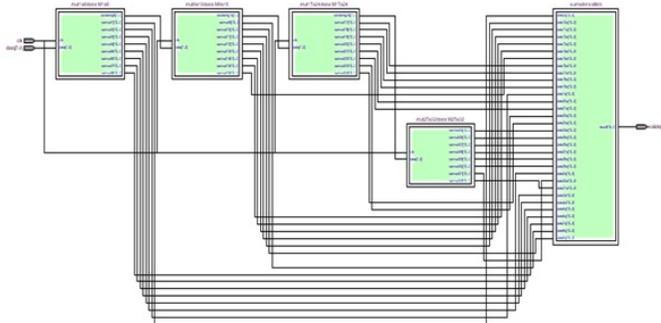
Por otra parte, debido a que los coeficientes del filtro a partir del dato 16 se repiten como una señal espejo, se repitió cada uno de estos 16 multiplicadores para los 16 registros faltantes.

Después de cada multiplicación se realizó un corrimiento de 5 bits a la derecha, puesto que antes de ingresar a la memoria de datos, las muestras de la señal fueron multiplicadas por 32; de una manera más sencilla y eficiente, después de cada multiplicación, se tomaron únicamente los 11 bits más significativos y se despreciaron los otros 5, obteniendo así una división entre 32. Por eso las 32 entradas del sumador tienen un ancho de 11 bits, por los 11 bits obtenidos después de cada división.

De todo lo anterior se genera el diagrama de conexiones de la Figura 6. En él, cada bloque está compuesto por 8 conexiones de 8 registros interconectados con 8 multiplicadores (esto se hizo para disminuir la longitud del código); al final las 8 salidas de cada bloque van a 8 salidas sumando paralelo, creando así el filtro pasabajas.

Después del filtrado viene el diseño de la comparación por umbral. Su valor se obtuvo de analizar las gráficas de las señales originales para determinar el nivel de voltaje en el cual la información es principalmente ruido; el umbral funciona como un anulador de señal en el que los valores por debajo de este umbral se llevan a cero, mientras que los valores que estén por encima de él, se conservan y se dejan pasar tal cual vienen desde el filtro.

**Figura 6. Diseño de interconexión del filtro en Quartus II 8.0**



El circuito digital diseñado para este propósito consiste en la comparación de cada muestra que sale del filtro con el valor del umbral predefinido, con el fin de preservar únicamente los datos relevantes, anulando casi completamente el ruido de la señal, para obtener al final una señal más pura, de la que se pueden obtener con mayor exactitud los picos.

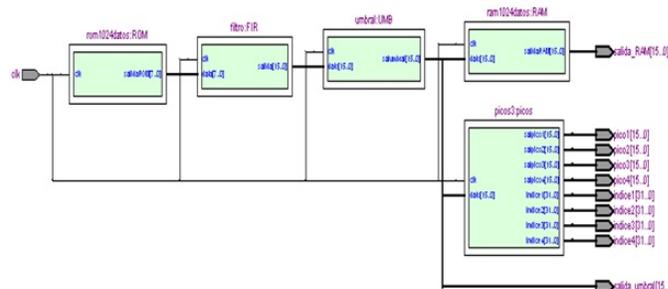
Para encontrar los picos, se desarrolló un circuito en VHDL en el que se toma cada segmento de señal correspondiente a un eco (delimitado por dos cruces de umbral: uno de subida al comenzar el eco y otro de bajada al finalizar el mismo) y se comparan secuencialmente todas las muestras entre sí, hasta obtener la muestra con el máximo valor, la que corresponde al pico de ese eco. Se declara una variable que lleva la cuenta de las muestras y por medio de esta variable se determina el índice (Variable temporal discreta) correspondiente a dicho pico. Con cada uno de estos índices es posible calcular los tiempos de vuelo, al multiplicar el índice por el período de muestreo de la señal; esta multiplicación no se realizó en el proyecto.

Por último se almacenaron las muestras obtenidas después del umbral en una memoria RAM –extraída de la librería del bloque correspondiente a *Memory Compiler* y del bloque *RAM: 1-port* (disponible en las *megafunciones* de Altera)– con: habilitador de escritura, que se dejó fijo en uno para que esté siempre habilitado para escribir; señal de reloj, para determinar que en cada flanco positivo se escriba un dato en la memoria; y entradas y salidas de 11 bits. En el proyecto esa salida se usó para visualizar la

información que contiene. Esta memoria tiene también un contador de las mismas características de la ROM, que se utiliza para el mismo propósito.

La interconexión final del sistema se hizo utilizando el diseño de tipo estructural que se ilustra en la Figura 7.

**Figura 7. Diseño de interconexión de todo el sistema en Quartus II 8.0**

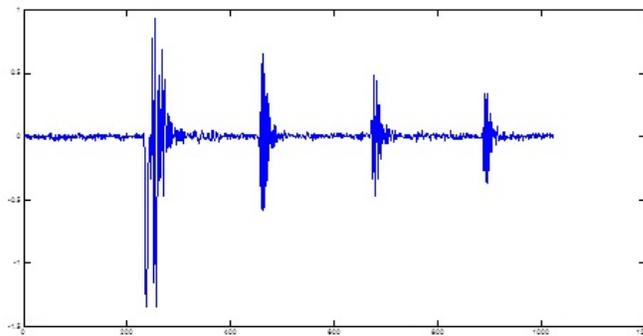


#### IV. SIMULACIÓN DEL SISTEMA Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON MATLAB

##### A. Simulaciones obtenidas con Quartus II para tres señales diferentes

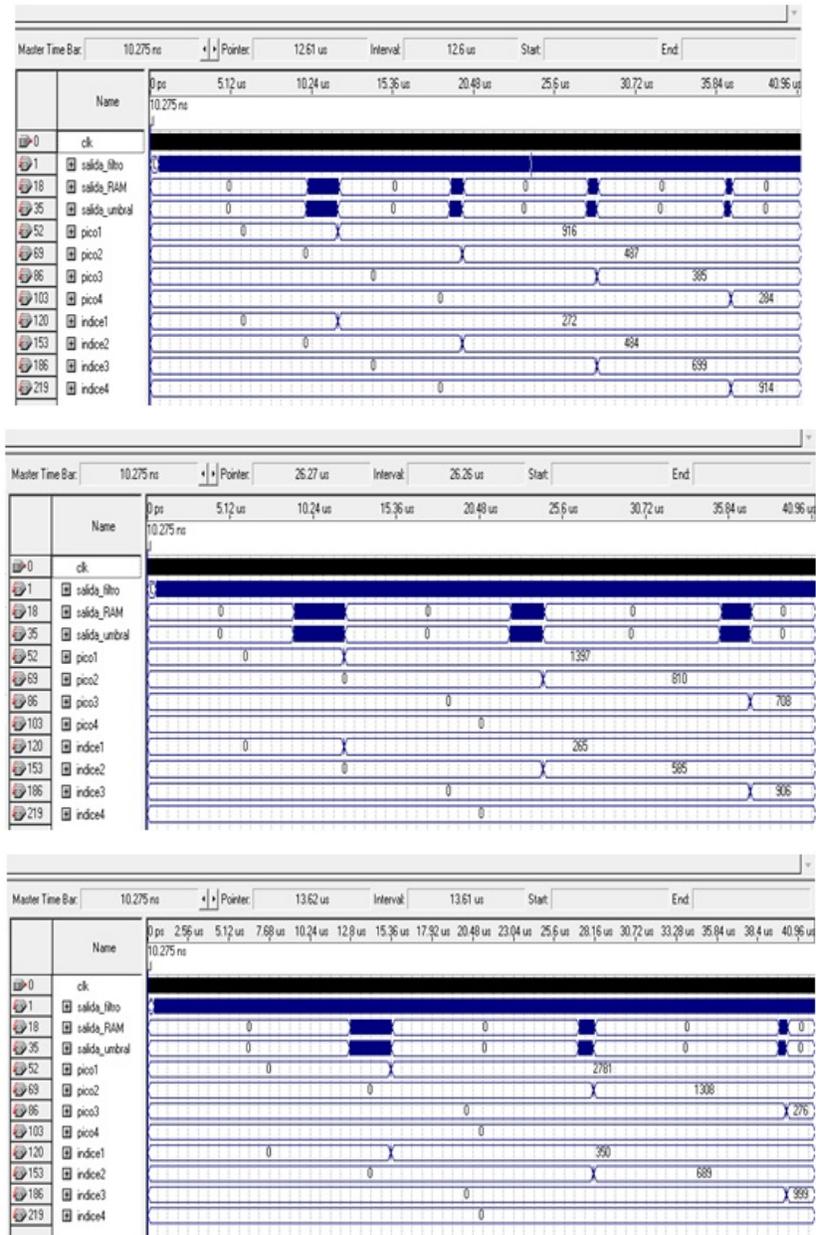
Se tomaron tres señales reales de ultrasonido, digitalizadas a una tasa de 25MS/s y con una longitud de 1024 muestras, para hacer las pruebas y el análisis comparativo. La Figura 8 presenta la Señal No. 1.

**Figura 8. Señal de prueba No.1 con cuatro ecos resultantes**



Se simuló el funcionamiento del sistema digital con las tres señales de prueba, obteniendo los pantallazos que muestra la Figura 9, que permiten apreciar los picos de cada eco y los índices de muestra correspondientes a los picos estimados.

Figura 9. Simulación con Quartus II de salida del sistema: Señales 1, 2 y 3, respectivamente

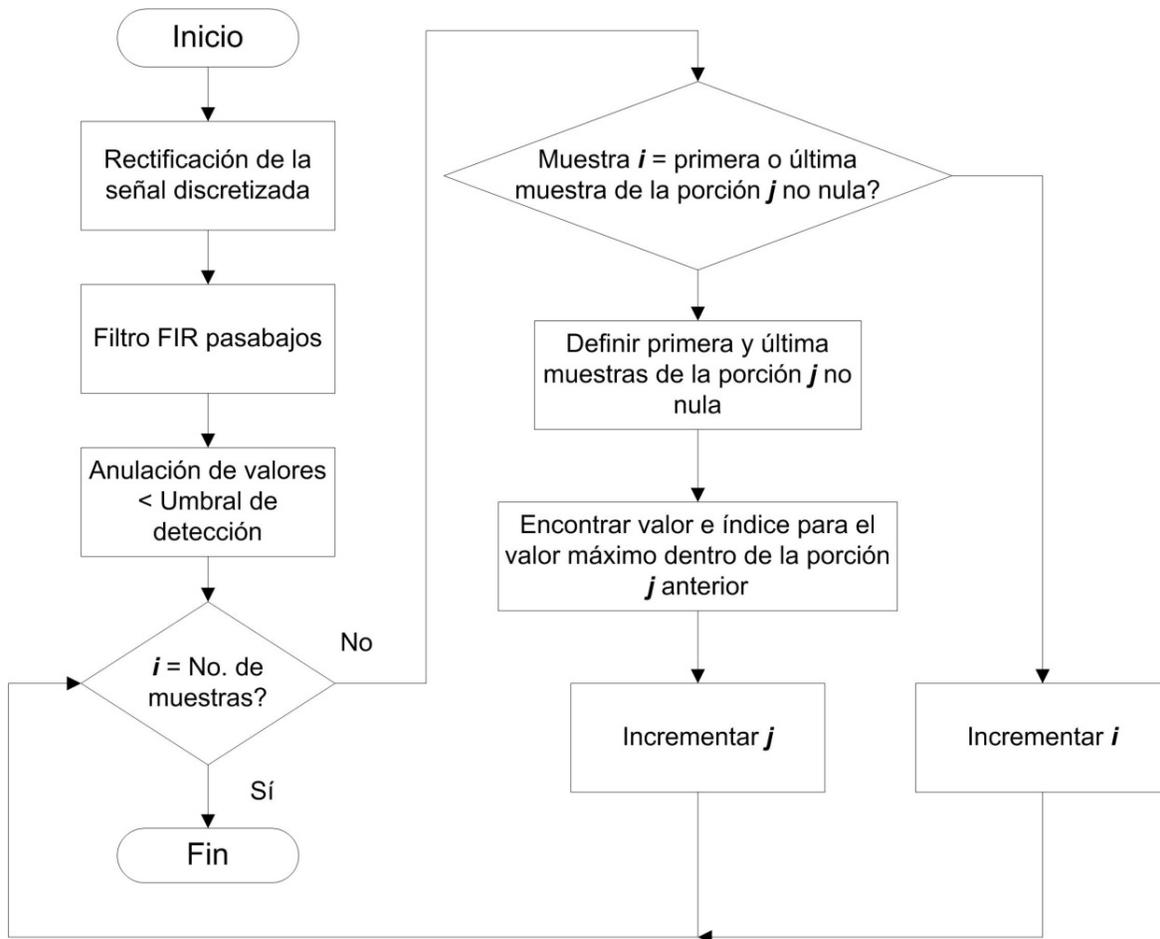


### B. Programa desarrollado en Matlab

El programa desarrollado en Matlab tiene las mismas especificaciones del sistema diseñado en VHDL. Esto con el fin de poder hacer un análisis comparable entre las respuestas en ambas plataformas. Para ello se implementó una función que recibe como parámetros de entrada la

señal original real y el umbral correspondiente a cada señal; a su vez la función tiene como parámetros de salida la señal rectificada, la señal con las envolventes de los ecos, la señal umbralizada, los picos de la señal, y los índices de los picos. El diagrama de flujo del código ejecutado en MATLAB se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Diagrama de flujo



C. Comparación del desempeño del sistema diseñado en Quartus frente al algoritmo en Matlab

En la Figura 11 se muestran las estimaciones para la primera señal obtenidas después de la ejecución del código anterior, almacenadas en el *workspace* de Matlab. Por su parte, las Figuras 12, 13, 14 y 15 describen gráficamente el procesamiento efectuado sobre la señal de prueba No.1

Figura 11. Ventana del workspace de Matlab para la Señal 1

Name	Value	Min	Max
anunnacion_ruido	<1024x1 double>	0	925.4375
filtracion	<8x128 double>	-1	29614
indice	[270 479 695 910]	270	910
pico	[925.4375 496.5625 394.0938 293.5312]	293.5312	925.4375
rectificacion	<1024x1 double>	0.0011	1.352
senal1	<1024x1 double>	-1.352	0.9316
senal_umbraliza...	<128x8 double>	0	925.4375
signal	<1024x1 double>	-1.352	0.9316
umbral	242.1	242.1	242.1

Figura 12. Señal No. 1 real, digitalizada, obtenida en Matlab

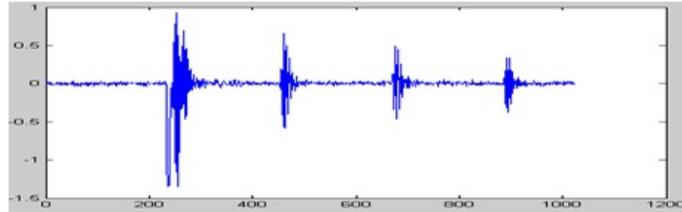


Figura 13. Señal No. 1 real, rectificadora, obtenida en Matlab

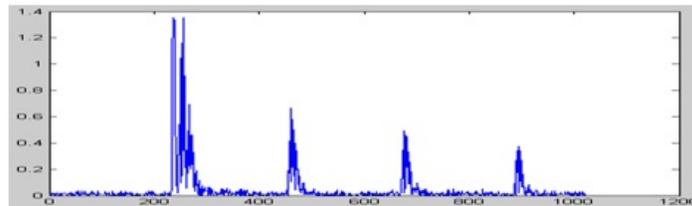


Figura 14. Señal No. 1, rectificadora y filtrada, obtenida en Matlab

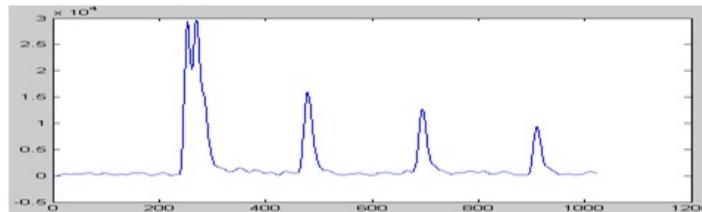
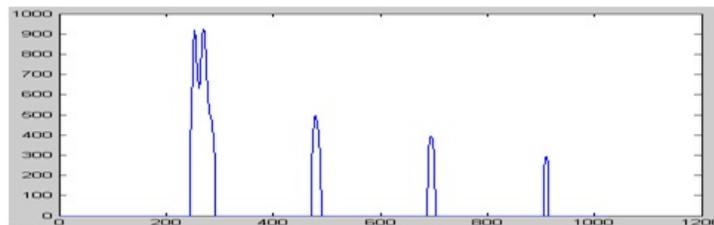


Figura 15. Señal No. 1, filtrada y pasada por el umbral del sistema, obtenida en Matlab



La Figura 16 muestra las estimaciones para la segunda y tercera señal, obtenidas después de la ejecución del código anterior, almacenadas en el *workspace* de Matlab.

La Tabla 1 presenta –y permite comparar– las cifras estimadas para los picos y los índices de los mismos, con los dos ambientes de simulación. En la tabla:

- las X en las columnas S1, S2 y S3 indican la señal a la que se refiere la información de la fila;
- las columnas P1, P2, P3 y P4 muestran los valores pico de los ecos (siempre que se detecten);
- las columnas IN1, IN2, IN3 e IN4, corresponden a los índices de los picos correspondientes; y
- la columna de Umbral presenta el valor de umbral usado en cada caso.

Figura 16. Ventana del workspace de Matlab para Señales 2 y 3

Name	Value	Min	Max
anulacion_ruido	<1024x1 double>	0	1405.5938
filtracion	<1024x1 double>	-1	44979
indice	[233 568 895]	233	895
pico	[1405.5938 819.2812 718]	718	1405.5938
rectificacion	<1024x1 double>	0.0051	1.719
senal2	<1024x1 double>	-1.719	1.017
senal_umbraliza...	<128x8 double>	0	1405.5938
signal	<1024x1 double>	-1.719	1.017
umbral	242.1	242.1	242.1

Name	Value	Min	Max
anulacion_ruido	<1024x1 double>	0	2789.3125
filtracion	<1024x1 double>	-3	89258
indice	[333 685 996]	333	996
pico	[2789.3125 1317.25 283.71...]	283.7188	2789.3125
rectificacion	<1024x1 double>	0.0093	2.235
senal3	<1024x1 double>	-2.185	2.235
senal_umbraliza...	<128x8 double>	0	2789.3125
signal	<1024x1 double>	-2.185	2.235
umbral	242.1	242.1	242.1

**Tabla 1. Comparación de resultados entre Matlab y Quartus**

Umbral	S1	S2	S3	P1	P2	P3	P4	IN1	IN2	IN3	IN4
Matlab	242	XX		925	496	394	293	270	479	695	910
Quartus	242	XX		916	487	385	284	272	484	699	914
Matlab	242		XX	1405	819	718	ND	233	568	895	ND
Quartus	242		XX	1397	810	708	ND	265	585	906	ND
Matlab	242			XX	2789	1317	283	ND	333	685	996
Quartus	242			XX	2781	1308	276	ND	350	689	999

**Tabla 2. Error relativo (ER) entre Matlab y Quartus\***

	IN1	IN2	IN3	IN4
MATLAB (señal1)	270	479	695	910
QUARTUS (señal1)	272	484	699	914
<b>Valor de ER</b>	<b>0.7</b>	<b>1.04</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>
MATLAB (señal2)	233	568	895	X
QUARTUS (señal2)	265	585	906	X
<b>Valor de ER</b>	<b>13.7</b>	<b>2.9</b>	<b>1.2</b>	<b>X</b>
MATLAB (señal3)	333	685	996	X
QUARTUS (señal3)	350	689	999	X
<b>Valor de ER</b>	<b>5.1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>X</b>

$$* ER = ((IN_{QUARTUS} - IN_{MATLAB}) / IN_{MATLAB}) * 100\%$$

La Tabla 2, por su parte, presenta el estudio del error relativo en la estimación de los índices de muestra correspondientes a los picos de cada eco detectado en la simulación del sistema digital diseñado en Quartus, frente a lo calculado en Matlab, tomando a éste último como herramienta patrón para la comparación cuantitativa.

Es claro que el sistema diseñado en Quartus resulta, como se podría esperar, un poco menos exacto que el programa implementado en Matlab para el mismo propósito, debido a que la circuitería digital, en aras de lograr una relativa sencillez de diseño, está trabajando con muchas menos cifras significativas que Matlab. Es interesante ver, por ejemplo, que la mayor discrepancia entre las dos plataformas se produce en el primer eco detectado, que constituye la oscilación remanente del transductor justo después de que se ve sometido al intenso pulso de voltaje de excitación; por este motivo, dicha oscilación se aparta, por lo general, en mayor o en menor grado, de la forma clásica de un eco que realmente provenga de una discontinuidad en el material, lo cual lleva a presumir que la pérdida de exactitud en las muestras que

entrega el filtro será más crítica en el primer eco de la señal que en los demás.

De otro lado, la detección se lleva a cabo sin disparidad en el resultado entre los dos ambientes de simulación.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se consiguió el diseño de un sistema digital embebido para la detección de ecos ultrasónicos y la medición de sus tiempos de vuelo a partir de señales previamente digitalizadas, amplificadas y rectificadas, generadas de un experimento de END de materiales, con resultados óptimos en la detección de los ecos y con estimaciones aceptables de los tiempos de vuelo, si se tiene en cuenta que la circuitería opera con datos de solo 16 bits de resolución máxima, que cumple con el objetivo de hacer un diseño relativamente sencillo.

El análisis comparativo de su desempeño simulado con respecto al mismo algoritmo ejecutado en software mediante Matlab revela discrepancias que en promedio están por debajo del 3%, aunque individualmente pueden sobrepasar el 10%, en el caso de la estimación del índice para el pico de los primeros ecos de la señal, que, como es conocido en la práctica del END con ultrasonido, corresponde a la respuesta oscilatoria remanente del sensor frente al pulso de excitación.

Como trabajo futuro, se pretende la implementación de este sistema (complementado con la etapa de rectificación) en una FPGA de gama media o alta, que pueda recibir una señal análoga real de ultrasonido, la digitalice y sea capaz de detectar los ecos y estimar los tiempos de vuelo en hardware.

## REFERENCIAS

- Maldague, X. (2001). *Theory and practice of infrared technology for non destructive testing*. New York, NY: Wiley-Interscience.
- Consejo Privado de Competitividad (2010). *Informe nacional de competitividad 2009 – 2010*. Bogotá, Colombia: autor.
- McKerrow, P., Zhu, S., & New, S. (2001). Simulating ultrasonic sensing with the lattice gas model. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(2), 202-208.
- Kinsler, L., Frey, A., Coppens, A., & Sanders, J. (1995). *Fundamentos de acústica* (3a ed.). México, D.F., México: Limusa Noriega.
- Carlin, B. (1979). *Ultrasónica*. Bilbao, España: Urmo
- Restrepo, A. & Millán, J. (1999). *Medición de nivel en líquidos inmiscibles con un sensor ultrasónico inteligente* [Tesis en Ingeniería Electrónica]. Universidad del Valle: Cali, Colombia.
- Berke, M. (2000). Nondestructive material testing with ultrasonics. introduction to the basic principles. *e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics*, 5(9)
- Restrepo, A. (2006). Generalidades de los ultrasonidos. *Revista Ingenium*, 3(5).
- Jiménez, J. & Loaiza, H. (2010). Detección y caracterización de defectos en tuberías metálicas en pruebas ultrasónicas por inmersión. *El hombre y la máquina*, 34, 56-67.
- García, J. & Pérez, E.J. (2006). *Dispositivos lógicos programables (PLD)*. México, D.F., México: Alfaomega.
- Chang, K.C. (1999). *Digital systems design with vhdl and synthesis. An integrated approach*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society.
- ALTERA (2011). Documentation: Quartus II development software. Recuperado de <http://www.altera.com/literature/lit-qts.jsp>

## CURRÍCULUMS

**Dairo Yovanni Cárdenas Paz.** Ingeniero Electrónico (2008) de la Universidad Santiago de Cali. Durante el desarrollo del proyecto fue estudiante del Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). Sus

áreas de interés se centran en la instrumentación electrónica, el diseño electrónico digital, y los sistemas embebidos.

**Darwin López Mora.** Ingeniero Electrónico (2009) de la Universidad Santiago de Cali. Durante el desarrollo del proyecto fue estudiante del Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica (GIE) de la Universidad Santiago de Cali. Sus áreas de interés se centran en la instrumentación electrónica, el diseño electrónico digital, y los sistemas embebidos.

**John Michael Espinoza Durán, M.I.** Ingeniero Electrónico (2006) y Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Electrónica (2011) de la Universidad del Valle. Investigador del Grupo de Investigación en Bionanoelectrónica de la Universidad del Valle. Sus áreas de interés se centran en el diseño digital, la nanotecnología y el diseño analógico resistente a la radiación ionizante.

**Andrés David Restrepo Girón Ph.D (c).** Ingeniero Electrónico (1999), Magíster en Automática (2005) y candidato a Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle, asociado al Grupo de Investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI). Profesor y Director del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santiago de Cali, y vinculado a su Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). Sus áreas de interés son la instrumentación electrónica, los sistemas digitales microneutralizados y el procesamiento de señales e imágenes.



Reseña bibliográfica

# Superficiales ¿Qué está haciendo Internet con nuestras mentes?

Nicholas Carr  
Taurus, 2011  
ISBN 978-8430608126  
Rústica, 344 páginas

Reseña elaborada por  
Andrés López Astudillo  
alopez@icesi.edu.co  
Universidad Icesi, Cali (Colombia)

¿QUÉ ESTÁ  
HACIENDO  
INTERNET  
CON NUESTRAS  
MENTES?

**SUPERFICIALES**

Nicholas Carr



¿Por qué no logro concentrarme en la lectura? ¿Por qué estoy tan disipado? Preguntas que el autor, sus colegas y amigos se han formulado, generan la reflexión que da origen a este libro. Al parecer, sus modos de pensar han cambiado como consecuencia del entorno digital en el que se encuentran.

Las investigaciones del autor destacan cómo las personas, cuando navegan en un buscador, no leen, sino que saltan a través de los textos: *en el mar del conocimiento no se bucea a profundidad, se hace jet-sky*, reflexiona, a la vez que admite echar de menos su “viejo cerebro”, ese que le permitía sentarse con un libro y concentrarse, crear ideas, conceptos y criterios fuertes.

Carr cita el trabajo del neurocirujano Wilder Penfield, quien en los años 30 encontró que el cerebro es plástico, se reorganiza, se adapta, cambia, y se reprograma en la marcha; que las funciones mentales son flexibles; que tenemos la capacidad de cambiar la forma de pensar una y otra vez; y que esta capacidad de transformación avanza a partir de nuestros pensamientos. *Mi cerebro es lo que pienso, lo que permito que lo estimule o no, lo que hago día a día*, concluye.

Al poner en contexto el cerebro y su neuroplasticidad con el desarrollo histórico de los medios de comunicación, Carr destaca el papel de la escritura, un sistema sintáctico predecible y estandarizado que permitió desarrollar en las personas una disciplina mental y una capacidad para concentrarse y desarrollar ideas profundas. Ese cerebro literario tuvo consecuencias sociales orientadas hacia la educación, la lectura y la escritura, y generó movimientos intelectuales masivos. Los libros permitieron este despliegue, alterando la percepción del mundo físico que rodea a las personas a través de la experiencia personal de la lectura.

La revolución electrónica y sus artefactos (i.e. computador, teléfono móvil, internet) están transformando para siempre, otra vez, la percepción del mundo físico. El e-mail hizo obsoleta la carta personal; la fotografía digital hizo desaparecer a la industria del revelado; la tecnología del video y el color transformaron la del cine. La comunicación hoy es bidireccional, proliferan las redes y los medios digitales. El tiempo dedicado a la lectura de periódicos, revistas y libros, se usa cada vez más para conectarse a la red.

Radios, teléfonos fijos, tocadiscos, grabadoras, se reducen a un solo artefacto multiuso, el *ipod*. Cada nueva tecnología en cuestión de meses parece atrasada. Los medios transitan en un abrir y cerrar de ojos del papel a la pantalla, creando un ecosistema de tecnologías que nos envuelven en un continuo sin retorno. El sonido que se escucha en las bibliotecas públicas es el que producen los teclados de los computadores, una muestra de la existencia de un nuevo cerebro: el digital.

Carr se pregunta sobre las consecuencias de este nuevo cerebro que vive en medio de la red y la inmediatez en las personas. La red brinda un universo de distracciones y crea la mentalidad del malabarista, dice, pero se cuestiona sobre las consecuencias de la lectura superficial, el pensamiento rápido y la multitarea en el cerebro. La mente es consumida por estos nuevos medios; las personas se

involucran en ellos y pierden el sentido de la orientación, la realidad y el yo, con consecuencias neurológicas. Vivimos sobrecargados, convertidos en simples decodificadores de información; no establecemos conexiones neuronales fuertes, como las que se generan al leer libros; no tenemos la capacidad de filtrar las distracciones que nos bombardean, estimulamos la memoria de corto plazo, la del día a día, y no estimulamos la de largo plazo, la del conocimiento y la conciencia que construyen el entendimiento; al estar inmersos en un embotellamiento continuo de información, no somos capaces de procesar todo lo que nos llega, nos convertimos en descerebrados, aunque muy entretenidos, consumidores de datos, sentencia Carr.

Al final el autor confiesa su propio decaimiento al no ser capaz de desconectarse. Nos estamos adormeciendo y somos olvidadizos crónicos, nuestro sistema nervioso cada vez se funde más con la red virtual, a través de medios móviles que nos acompañan veinticuatro horas. No tenemos tiempo para vivir momentos contemplativos para reparar nuestro cerebro, nos olvidamos de los otros, tenemos baja empatía y compasión, poniéndonos en riesgo debido a las malas decisiones con capital moral deficiente. Somos *informacionívoros* en conectividad constante sin rumbo.

Un libro, sin duda, recomendado.





# Instrucciones a los autores

José Ignacio Claros V.  
ingenieria@usc.edu.co  
Última actualización – Marzo 30 de 2102

## I. GENERALIDADES

La revista *Ingenium* es una publicación periódica, de carácter científico, editada trimestralmente por las Facultades de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Santiago de Cali. Su misión es aportar a la difusión de la innovación y el conocimiento mediante la publicación de artículos inéditos, de alta calidad, relacionados con actividades de investigación en ciencias básicas e ingeniería.

Su público objetivo está formado por ingenieros, investigadores en ingeniería y ciencias básicas, y profesores y estudiantes de estas dos áreas del conocimiento. Es una publicación abierta a todos los miembros de la comunidad académico-científica, a entidades, fundaciones y, en general, a organizaciones de carácter gubernamental y no gubernamental.

Para garantizar que su aporte es accesible a la comunidad universitaria colombiana, tiene como política establecer acuerdos de canje con las bibliotecas universitarias interesadas. Adicionalmente, está disponible en formato electrónico para descarga desde el sitio web de las Facultades.

*Ingenium* es una publicación abierta en su estructura y contenido editorial. Sus comités científico y editorial incluyen especialistas de amplia trayectoria profesional, externos a la institución, vinculados a instituciones de reconocido prestigio del país y el exterior. Su contenido ofrece un balance entre la producción de autores vinculados a la institución y la de autores externos.

La revista publica de manera preferente artículos en las siguientes categorías, definidas con base en los lineamientos establecidos por Colciencias en su Índice Bibliográfico Nacional (IBN Publindex).

- Artículo de investigación científica y tecnológica (Tipo 1). Documento que presenta de manera

detallada los resultados originales de proyectos de investigación.

- Artículo de reflexión (Tipo 2). Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- Artículo de revisión (Tipo 3). Documento donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos cincuenta (50) referencias.

La revista publica además una reseña bibliográfica en cada edición.

La recepción de artículos permanece abierta durante todo el año.

El proceso de aceptación de un artículo consta de dos etapas: precalificación y arbitraje. La precalificación es realizada por el Editor y el Comité Editorial de la revista, con apoyo de miembros del Comité Científico; los primeros verifican que el artículo corresponda a la temática de la revista, sea de carácter científico, relevante e inédito, y cubra razonablemente los criterios expuestos en esta guía. El último, a partir de la revisión del resumen del artículo, emite su concepto en términos de relevancia del tema y adecuación del enfoque del autor. El resultado de esta etapa puede ser: aceptación preliminar y paso a arbitraje; aceptación condicionada con recomendaciones de mejoramiento; o no aceptación definitiva.

Los artículos que superan la precalificación son sometidas a un proceso de arbitraje bajo el concepto de doble ciego. En él, pares académicos anónimos, con filiación institucional distinta a la del ponente, con formación a nivel de postgrado, con amplio conocimiento del tema central de la ponencia, bajo un procedimiento

formal, estructurado y documentado que incluye el uso de un formato estándar, se encargan de su revisión y decisión. Los árbitros, en sus decisiones pueden recomendar: su publicación sin cambios; la publicación condicionada a ajustes; y la no publicación. Si el autor no está de acuerdo con la decisión del árbitro, puede apelar. En ese caso, el editor enviará la ponencia a un nuevo árbitro, cuya decisión, de ser consistente con el primero, será definitiva e inapelable. Si existen diferencias entre la decisión de los dos árbitros, se recurrirá a un tercero, cuya opinión será final e inapelable.

Las decisiones de los procesos de precalificación y arbitraje son comunicadas a los autores formalmente por el Editor. Las de precalificación, a más tardar, quince días calendario después de ser recibido el artículo, las de arbitraje, en la medida de lo posible, no más de 30 días después de la decisión de precalificación. El plazo para que los autores entreguen sus trabajos finales con los ajustes requeridos por el proceso de arbitraje varía dependiendo de la situación, pero se espera que no tomen más de 30 días calendario. Todos los autores, con el envío de sus artículos a consideración de la revista, aceptan este proceso de calificación y se comprometen a realizar los ajustes recomendados por los árbitros en primera o última instancia, según corresponda.

Con el propósito de facilitar el trabajo de los autores, Ingenium cuenta con una plantilla desarrollada en MS Word, que es de uso obligatorio, y puede ser descargada del sitio web de las Facultades citadas.

Todos los artículos deben tener una estructura con dos partes: presentación y cuerpo.

#### 1. Presentación

- Título del artículo. En español e inglés, con un máximo de 12 palabras en cada idioma.
- Autores y filiación institucional. Para cada uno, nombre completo, iniciales del máximo grado académico obtenido, correo electrónico, y datos de la vinculación institucional de cada autor (entidad, ciudad, país)
- Proyecto de Investigación. Si es aplicable, un párrafo con información básica del proyecto que da origen a la ponencia, incluyendo la entidad a cargo y sus fuentes de financiación.

- Resumen (Abstract). Resumen analítico del artículo, escrito en español e inglés, con máximo 160 palabras en cada idioma.
- Palabras Clave (keywords). Entre tres y cinco palabras, en español y en inglés. La pregunta clave para su selección es ¿Qué palabras usaría alguien que quisiera encontrar un artículo como este en un buscador?
- CV resumido. Un párrafo de máximo 150 palabras, por autor, que describa su formación académica, trayectoria, logros profesionales y áreas de interés.

#### 2. Cuerpo

Aunque cambia dependiendo del tipo y contenido de cada artículo, en general, su estructura incluye:

- Introducción. El problema o la reflexión que motiva la investigación y su relevancia. El objetivo o hipótesis que orienta la investigación. Una breve descripción del método
- Métodos y Materiales. La aproximación conceptual, el “cómo” de la investigación, los procedimientos, el diseño e implementación de la investigación.
- Resultados. Los principales hallazgos de la investigación. El soporte de las conclusiones y el futuro trabajo previsto.
- Discusión y Conclusiones. La interpretación e implicaciones de los hallazgos, tanto frente a los objetivos trazados -o la hipótesis formulada-, como en términos de futuros trabajos (o aproximaciones al problema) y nuevos retos.
- Referencias. La relación de todas las fuentes utilizadas, preparada con los criterios del estilo APA, como se describe en el siguiente numeral.

Respecto de los complementos al texto:

- Todas las tablas deben estar numeradas de forma consecutiva y ser citadas en el texto, previamente. Igual debe ocurrir con las figuras, los videos y las ecuaciones, cada una con su propio consecutivo.
- Todas las tablas, figuras y videos deben llevar título y, cuando no corresponda a elaboración propia, su fuente. En el caso de las imágenes, los

autores, al incluirlas, certifican que no tiene restricciones de publicación.

- Las tablas, figuras y ecuaciones incluidas en el texto deben enviarse en archivos electrónicos separados, en formatos compatibles con MS Office. Las imágenes en formato *jpg*, con mínimos: 300 DPI, y 10 cm. x 12,5 cm.
- Los videos deben cargarse en *Youtube* (e incorporar el vínculo en el texto).

Respecto de estilo, se recomienda:

- No abusar de los extranjerismos, pero usarlos cuando aporten claridad. Es más claro “router” que “encaminador”, pero es excesivo “*hyperlinks*” por “hipervínculos”.
- Escribir de manera directa, clara, sin adornos. Ser impersonal. Usar la tercera persona del singular. Evitar la reiteración de los temas y la redundancia.
- Resaltar las diferencias solo cuando sea relevante. La inclusión de condiciones como raza, credo, género, orientación sexual, no debería ser gratuita (APA, 2010).

Los artículos de revisión ameritan una recomendación adicional: no perder de vista que su propósito es resumir lo que se está haciendo, lo más nuevo o lo mejor en relación con un tema, producto o actividad en particular, que por lo tanto son investigaciones basadas en la revisión amplia de la bibliografía existente sobre el tema y no el juicio o la exposición de un experto (Carramolino, 2009), que aportan a la investigación en la medida en que evitan que otros gasten su tiempo y recursos recopilando la misma información, y ofrecen a los investigadores las conclusiones, enfoques y experiencias de otros investigadores. Al mostrar cómo se han planteado y realizado otras investigaciones, ofrecen ideas útiles para incluir o descartar en nuevas aproximaciones al tema (Primo, 1994). La calidad y cantidad de referencias utilizadas es fundamental en la calificación de este tipo de artículos

## II. CITAS Y REFERENCIAS

El uso de referencias es inherente a la producción de documentos científicos. A la vez que reconoce el aporte del trabajo de otros, sustenta el propio. *Ingenium* ha acogido los parámetros para citación y referenciación de la

American Psychological Association (APA, 2010), un estándar internacional en publicaciones científicas. Este estilo requiere dos partes: una citación en el texto y una lista de referencias. Una complementa a la otra.

En general, las citaciones se hacen incluyendo en el texto, el apellido del autor y el año. Al citar, el autor puede ser parte de la narrativa (citación en el texto) o no (citación en paréntesis), como muestran los siguientes ejemplos.

[La estandarización permite comparar \(Zea, 2009\)...](#)

[Zea \(2009\) afirma que la estandarización permite comparar...](#)

Si se trata de más de un autor (y menos de seis), en cualquiera de los formatos indicados en el párrafo anterior, la primera vez que se citan, se incluyen todos, separados por comas. El último autor se escribe luego del símbolo “&” (citación en paréntesis) o de una letra “y” (citación en el texto). Hay diferencias en la citación que dependen del número de autores y de si se trata o no de una cita por primera vez, que se ilustran en las Tablas 1 y 2.

**Tabla 1. Normas de citación en paréntesis (APA, 2010)**

Autor	Primera Vez	Siguientes
Un autor	(Zea, 2009)	(Zea, 2009)
Dos autores	(Zea & Saa, 2009)	(Zea & Saa, 2009)
Tres a cinco autores	(Zea, Saa, & Ly, 2009)	(Zea et al., 2009)
Seis o más autores	(Zea et al., 2009)	(Zea et al., 2009)
Institucional con sigla	(Lao Trade [LT], 2009)	(LT, 2009)
Institucional sin sigla	(Lao Trade, 2009)	(Lao Trade, 2009)

**Tabla 2. Normas de citación en el texto (APA, 2010)**

Autor	Primera Vez	Siguientes
Un autor	Zea (2009)	Zea (2009)
Dos autores	Zea y Saa (2009)	Zea y Saa (2009)
Tres a cinco autores	Zea, Saa, y Ly (2009)	Zea et al. (2009)
Seis o más autores	Zea et al. (2009)	Zea et al. (2009)
Institucional con sigla	Lao Trade [LT](2009)	LT (2009)
Institucional sin sigla	Lao Trade (2009)	Lao Trade (2009)

Si la citación corresponde a varios trabajos de un mismo autor, se incluye el año de cada uno de ellos, separado por comas. Si hay varios trabajos de un mismo año, se menciona el año, acompañado de una letra del alfabeto en orden consecutivo. Esa misma letra debe conservarse cuando se incluya el trabajo en la Lista de Referencias, para mantener la coherencia.

[Rivas \(2001, 2005, 2007a, 2007b\) afirma que estandarizar permite...](#)

Si la referencia corresponde a varios trabajos de distintos autores, se incluyen todos, separados por punto y coma.

Estandarizar permite ser comparable (Zea et al, 2007; Niño, 2009; & Mina, 2011)...

Zea et al. (2007), Niño (2009) y Mina (2011), afirman que estandarizar permite...

Cuando se trata de citas textuales, es necesario indicar el número de la página. En caso contrario no se debe incluir. Si la cita es corta (hasta 40 palabras), el texto se incluye entre comillas. Si es mayor, inicia en renglón aparte, sin comillas y con sangría.

“La movilidad en zonas cubiertas por redes de acceso inalámbrico de diferente tipo, alcance, tecnología y capacidad, incluye la habilidad del equipo móvil para realizar cambios de canal entre las distintas redes” (Ríos, 2009, p.47)

La movilidad en zonas cubiertas por redes de acceso inalámbrico de diferente tipo, alcance, tecnología y capacidad, incluye la habilidad del equipo móvil para realizar cambios de canal entre las distintas redes de forma casi imperceptible para el usuario, aún si se efectúa en medio de una sesión que cursa tráfico. (Ríos, 2009, p.47)

Todas las referencias citadas en el texto deben aparecer listadas al final (Referencias). En general una referencia tiene dos partes. La identificación del autor y el año de producción, y la identificación de la obra. En el caso de las publicaciones no periódicas, la segunda parte incluye el nombre de la obra *italizado*, seguido de la localización y el *publisher*.

Zea, G., Zaa, A., & Ly, I. (2010). Tradiciones. Cali, Colombia: Norma.

Zea, G. (2010). Tutaina. En Tradiciones (pp. xx-xx). Cali, Colombia: Norma.

Ly, I. (2010). Pesebres y villancicos. En Roa, H. (Ed.), Memorias del Congreso de Tradiciones, Armenia, Jul. 8 a 19 de 2010, (pp.xx-xx). Miami, FL: NorthEd.

El primer ejemplo corresponde a una obra completa. La segunda a la sección “Tutaina” del libro “Tradiciones” (muy útil en compilaciones, donde cada capítulo puede tener distinto autor). La tercera, a la ponencia “Pesebres y villancicos”. Note que: se *italiza* la obra completa, no la parte; si existe un editor, se incluye, acompañado de “(Ed.)”, y cuando se trata de una sección, siempre se incluye el rango de páginas que ocupa en la publicación.

En el caso de las publicaciones periódicas, como un artículo en un *journal*, el trato es similar al que recibe una sección de una obra, solo que antes de numerar las páginas

se incluye el Volumen (*italizado*) y la edición (no *italizado* en paréntesis), y no se incluyen datos de localización y *publisher*.

Saa, A. (2010). Tutaina. Tradiciones (7)12, 54-59.

Saa, A. (2010). Tutaina. Tradiciones (7)12, 54-59. doi:10.1073/xxx

Saa, A. (2010). Tutaina. Tradiciones (7)12, 54-59. Recuperado de <http://www.xxx/a>

Los tres ejemplos muestran el artículo “Tutaina” en el *journal* “Tradiciones”. El primero publica en papel, los dos siguientes en electrónico. Siempre que un artículo electrónico tenga doi (caso 2), debe usarse en lugar de (no en conjunto con) el URL.

Las referencias se listan en orden alfabético, de acuerdo con el apellido del primer autor. En caso de encontrar apellidos iguales, el ordenamiento se hace a partir del segundo autor. Tenga en cuenta que “nada” precede a “algo” (Ly, precede a Lyn) y lo más antiguo a lo más nuevo (2008 precede a 2009).

En caso de dudas sobre el formato de una referencia en particular, se recomienda enviar la consulta por correo electrónico al Editor, o revisar el Capítulo 7 del Manual de Publicaciones de la APA (6th ed.).

### III. REFERENCIAS

American Psychological Association [APA]. (2010). *Publication Manual of the American Psychological Association* (6<sup>th</sup> ed.). Washington, DC: Autor

Carramolino, B., (2009). *La revisión del estado del arte*. (Trabajo final del curso Metodología sobre la Investigación en el doctorado del programa Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones). Valladolid, España: Universidad de Valladolid.

Colciencias (2010). *Documento Guía - Servicio Permanente de Indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombianas*, Base Bibliográfica Nacional - BBN, Índice Bibliográfico Nacional Publindex – IBN. Bogotá: Colciencias. Recuperado de <http://scienti.colciencias.gov.co:8084/publindex/docs/informacionCompleta.pdf>

Primo, E (1994). *Introducción a la investigación científica y tecnológica*. Madrid, España: Alianza editorial.





# Ingenium

**Ciencia & Tecnología**  
Facultad de Ingeniería / Facultad de Ciencias Básicas  
Universidad Santiago de Cali

Universidad Santiago de Cali  
Calle 5ta No. 62-00 Campus Pampalinda  
PBX: 518 3000  
Fax: 518 30 20 - A.A. 4102  
Cali - Colombia  
[www.usc.edu.co](http://www.usc.edu.co)

ISSN 1692-0899