

Proyecciones

Publicación de Postgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires

Argentina - Año 2 N°1- Abril 2004



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

Proyecciones

Volumen 2
Número 1
Abril 2004

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Director
Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial
Lic. Miguel Languasco
Dr. Isaac Marcos Cohen

Propietario
Facultad Regional Buenos Aires,
Medrano 951, (C1179AAQ)
Buenos Aires, República Argentina

ISSN: 1667-8400
Registro de Propiedad
Intelectual: No. 249398

✱ Universidad Tecnológica Nacional

Índice

Presentación

- 5 Sr. Decano de la Facultad Regional Buenos Aires,
Arq. Luis A. De Marco

7 Editorial

Sr. Secretario Académico de la Facultad Regional Buenos Aires,
Ing. Ricardo Bosco

Comunicaciones

- 9 **Criterios y Consideraciones para el Diseño y la Evaluación de Hipermedias Didácticos**
Zulma Cataldi
- 31 **Elaboración de un Modelo Termohidráulico del Sistema Secundario de la Central Nuclear Embalse para Análisis de Accidentes Y Situaciones Anómalas**
J. F. Marconi Giglio, G. Bedrosian
- 49 **Implementación de Redes Neuronales Artificiales en Hardware para Aplicación en Detección Automática de Fulguraciones Solares**
F. Tanco, C. Verrastro, D. Grimberg, J. Roitman.

Nota Técnica

- 57 **Procedimiento para Medir Resolución Horizontal en Cámaras de Video Monocromáticas y Cromáticas para Circuitos Cerrados de Televisión**
Instrucciones para la Presentación de Artículos
O. H. Puyol
- 63 **Instrucciones para la Presentación de Artículos**

Presentación

Las innovaciones tecnológicas, tan rápidas en su avance, estructuran la constitución de economías globales.

Las redes de comunicación entre empresas y centros de investigación agilizan el acceso a toda la información relativa a los nuevos desarrollos tecnológicos, cualquiera sea el lugar de su descubrimiento.

La globalización ideal sólo será posible si se lleva adelante impulsada por acuerdos tecnológicos, entre las empresas de distintas características y las regulaciones emanadas de los gobiernos respectivos que permitan transformar las materias primas y energías en bienes con alto valor económico, sin perturbar los costos sociales.

Se debe intensificar la cooperación y solidaridad entre las naciones para que con el uso de la tecnología se eleve el estándar de vida de los habitantes.

Es necesaria la difusión de todos los proyectos estratégicos que integren ciencia y tecnología con políticas estables que fomenten el desarrollo tecnológico.

Debemos preferenciar el desarrollo de tecnologías probadas y avanzadas para que puedan ser utilizadas en forma más práctica, rápida y simple promoviendo, en un corto plazo, tanto su uso como la comercialización. El proceso debe ajustarse a las variaciones económicas, políticas y sociales por ser factores directamente relacionados con sus posibilidades de aplicación.

En este camino, no resulta suficiente que el desarrollo tecnológico sea sólo considerado bueno, dado que su aporte real a la sociedad está ligado a la forma en que es utilizado por el hombre (un actor que a veces, busca satisfacciones inmediatas).

En la actualidad, uno de los temas de mayor interés mundial es la conservación del medio ambiente. Determinar como puede repercutir la aplicación de un desarrollo tecnológico en la vida de todo el planeta será el gran desafío de este siglo.

Arq. Luis Ángel De Marco

Editorial

Editar el tercer número de *Proyecciones* tiene para esta Casa de Estudios un significado especial. Por un lado, porque mantiene vigente el compromiso de ofrecer una revista académica a la comunidad donde los puedan publicarse tesis e investigaciones y, por el otro, porque el alto nivel de sus aportes la han convertido en un referente valioso que estimula y enriquece a los lectores.

Para esta edición el Comité Editorial ha seleccionado dos trabajos de Posgrado, una investigación y un documento técnico.

El primero, denominado “Criterio y Consideraciones para el diseño y evaluación de hipermedios didácticos” lleva la firma Zulma Cataldi. Es un trabajo de Posgrado en el cual se investigan las distintas posibilidades de la ingeniería del software como herramienta de importancia en los programas hipermedios para los sistemas de educación a distancia.

El siguiente es un trabajo de Posgrado firmado por J.F. Marconi Giglio y G. Bedrosian titulado “Elaboración de un modelo termohidráulico del Sistema Secundario de la Central Nuclear Embalse para análisis de accidentes y situaciones anómalas”.

En la investigación, F. Tanco, C. Verrastro, D. Grimberg y J. Roitman describen y comparan los modelos de neuronas artificiales para implementar redes neuronales mediante circuitos digitales (hardware) aplicados a la detección automática de fulguraciones solares.

El último es un documento técnico, elaborado por O.H. Puyol, realizado en el Laboratorio de Ensayos de Productos de esta Facultad para responder a la certificación solicitada por una empresa. El tema: “Medición de la Resolución horizontal de una cámara de video digital para circuito cerrado de TV y su videograbación digital en disco rígido”.

La calidad del material ofrecido pone en evidencia el esfuerzo y el talento de sus autores y su capacidad para encontrar soluciones y respuestas. Las investigaciones científicas constituyen uno de los grandes pilares de la Universidad y tienen un valor social – educativo, motivos por los cuales merecen ser difundidas.

Sirva este medio entonces, como una nueva convocatoria y agradecimiento a todos los tesis y investigadores.

Ing. Ricardo Bosco
Secretario Académico

CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE HIPERMEDIAS DIDÁCTICOS¹

Zulma Cataldi

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería,
Departamento de Computación, Laboratorio de Informática Educativa
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Dirección de Posgrados, Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina.
E-mail:liema@fi.uba.ar

Resumen

A través de la evaluación preliminar de los programas más utilizados en los distintos niveles del sistema educativo, se detectó la existencia de algunos problemas en cuanto a su construcción y por lo tanto se evidenció la necesidad de normalizar el diseño y la evaluación de los hipermedias didácticos.

En este trabajo de investigación se intenta dar respuesta a estas problemáticas tratando de incluir en la etapa de diseño los métodos, las herramientas y los procedimientos que provee la ingeniería de software y el aporte de las diferentes teorías de aprendizaje. Se propone un enfoque didáctico para la construcción y la evaluación de los hipermedia, y se presenta a la evaluación exhaustiva del software educativo hipermedial como una herramienta útil para la selección de las aplicaciones.

Abstract

Through a preliminary evaluation of the software which is frequently used in diverse levels of the educational system, several problems were detected regarding its development, thus it was evident the need of a standard for the design and the evaluation of didactic hypermedia.

In this research paper it is intended to give a solution to these problems, by including in the design stage the methods, the tools and the procedures provided by software engineering and the different learning theories. A didactical view for the development and evaluation of hypermedia is proposed and an exhaustive evaluation of hypermedia educational software is presented, as a useful tool for the selection of software.

¹Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por la autora para optar al grado de Magister en Docencia Universitaria, bajo la dirección del Dr. Ramón García-Martínez; ha sido presentado parcialmente como ponencias en RIBIE 2000 (Red Iberoamericana de Informática Educativa) en Viña del Mar y en CACIC 2003 (Congreso Argentino de Ciencias de la Computación), en el II Workshop de Tecnología Informática Aplicada a la Educación en La Plata.

Introducción

La importancia de los programas hipermedias reside en que son una de las bases en que se soporta el sistema educativo a distancia y serán una de las herramientas de estudio fundamentales para las próximas generaciones de educandos. Desde una concepción ofimática, la sociedad actual se mueve en un entorno documental, en el que mediante algunas estimaciones se puede calcular que en un campo como la ingeniería informática, la cantidad de información disponible se duplica cada cinco años y continuará en aumento en los próximos años. Esto conlleva algunas consecuencias directas en el sistema educativo en general, ya que existe una necesidad de actualización permanente de contenidos, por una parte y, por otra surgen requerimientos a la hora de diseñar y organizar los nuevos modos de acceder a la información en forma eficiente. En este marco a nivel mundial, resurge el hipertexto, que ha evolucionado desde su concepción en 1945, en donde el hipertexto individual, dio paso a los hipertextos e hipermedias implementados sobre los diferentes tipos de redes, a partir del modelo clásico conceptual a través de nodos, enlaces y anclajes, y el mapa navegacional opcional, hasta el lenguaje HTML (Hypertext Markup Language) utilizado en la WWW (World Web Wide) y las aplicaciones Java.

El verdadero significado de la escritura y la estructura hipermedia está ligado a las funcionalidades que estos sistemas potencian. Normalmente, los elementos documentales a los que se desea acceder son heterogéneos de acuerdo a los contenidos y a la tipología del medio utilizado, ya que pueden ser textos, imágenes, sonidos y gráficos. De este modo, se ha introducido el término multimedia en la sociedad actual y a partir de ahí surge el término hipermedia como la fusión del hipertexto con el multimedia. Caridad y Moscoso (1991) lo definen como una *“organización de información textual, visual, gráfica y sonora a través de vínculos que crean asociaciones entre información relacionada dentro del sistema”*.

La forma más simple definir el hipertexto es contrastándolo con el texto tradicional, en forma de libros o de archivos de computadoras, que son de acceso secuencial. Esto significa que hay una única secuencia lineal que define el orden en el que el texto debe ser leído y de este modo las páginas se leen, secuencialmente, una tras otra. El hipertexto presenta opciones diferentes para los lectores y es el lector quien determina en forma individual cuál de las opciones va a seguir cada vez que lea el texto, y como el lector puede configurar lo que lee en función de sus necesidades entonces puede explotar los contenidos a su propio ritmo y siguiendo sus intereses particulares (Landow, 1995).

Landow (1997) escribe que el hipertexto *“es una tecnología que consiste en bloques de texto individuales, las lexias, con enlaces electrónicos que los conectan entre ellos”*, siendo los mismos una de sus características definitorias. El mecanismo funciona como las notas al pie de página en los textos tradicionales, ya que es el lector el que determina si continúa con la lectura secuencial del texto o si hace el salto para ver las marcas de pie de página. Se puede observar que el hipertexto está formado por bloques que contienen texto o unidades de información, llamadas “nodos”, donde cada nodo posee punteros que apuntan a otros nodos. Estos punteros se llaman enlaces o vínculos, y el número de enlaces no es fijo, sino que depende del contenido de cada nodo, siendo el autor el que determina previamente el número de alternativas posibles para que los lectores exploren. La estructura del hipertexto forma una red de nodos y enlaces, donde los lectores se mueven sobre esta red realizando su actividad exploratoria o de navegación y no tan sólo una simple lectura, y es aquí donde se debe enfatizar que son los lectores los que determinan activamente el orden en el cual se leen los nodos.

Nielsen (1995), sostiene que para considerar un sistema como hipertexto, bien se pueden tener en cuenta sólo sus aspectos específicos: comandos, estructuras de datos, pero como hay mucho que considerara acerca de su interfaz de usuario, realmente, habría que "mirar y sentir" el hecho de moverse libremente a través de la información de acuerdo a las necesidades propias.

Los programas educativos, tienen características particulares en cuanto a la comunicación (Gallego y Alonso, 1997), que deben ser tenidas en cuenta ya que los aprendizajes están relacionadas con actos de significado, pero las reglas para la construcción de los programas son las mismas independientemente del área de aplicación. (Cataldi y colaboradores, 1999a,b; Cataldi y colaboradores. 2000a). En trabajos previos (Cataldi y colaboradores, 2000c) se había detectado la necesidad de que el software, para ser utilizado en educación, debía ser desarrollado con una metodología que contemplase los aspectos didácticos en su diseño y que se lo debía evaluar en un contexto similar al de uso, luego de realizar las evaluaciones interna y externa, tal como las detalla Bork (1986).

Con el fin de dar respuesta a las carencias en los desarrollos, se presenta una solución informática para el diseño y la evaluación de los hipermedias didácticos desarrollados básicamente mediante "lenguajes de autor", por la flexibilidad y practicidad de uso, teniendo en cuenta los requerimientos particulares de dichos programas en cuanto a los aspectos didácticos, no considerados desde la propia programación.

Detección de la Problemática

En los últimos años se ha producido una gran difusión de materiales hipermediales, producidos en gran escala, mediante la forma de cursos de idiomas y de aprendizaje de programas de computadora. (Cabero y Duarte, 1994). Se observó, además, que estos cursos se construían mediante herramientas de autor tales como Toolbook de Asymetric o Macromedia Director o algún lenguaje de programación orientado a eventos y sencillo, como lo es el Visual Basic.

Los resultados de la evaluación de 25 programas educativos

Con el fin de dar cuenta de la problemática, se evaluaron 25 programas del tipo hipermedia, utilizados en diferentes niveles del sistema educativo y se señalaron los principales inconvenientes encontrados en las aplicaciones, algunos de los cuales se reiteran en varios de los programas evaluados.

Tabla 1: Resultados de la evaluación de 25 programas educativos.

NRO. DE PROGRAMA EVALUADO	PUNTUACIÓN	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD	NRO. DE PROGRAMA EVALUADO	PUNTUACIÓN	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD
1	15	Regular	Dudosa	14	22	Buena	Aceptable
2	18	Regular	Dudosa	15	24	Buena	Aceptable
3	15	Regular	Dudosa	16	10	Mala	Inaceptable
4	29	Buena	Aceptable	17	8	Mala	Inaceptable
5	8	Mala	Inaceptable	18	6	Mala	Inaceptable
6	27	Buena	Aceptable	19	11	Regular	Dudosa
7	14	Regular	Dudosa	20	9	Mala	Inaceptable
8	10	Mala	Inaceptable	21	15	Regular	Dudosa

9	14	Regular	Dudosa	22	22	Buena	Aceptable
10	9	Mala	Inaceptable	23	8	Mala	Inaceptable
11	5	Mala	Inaceptable	24	16	Regular	Dudosa
12	7	Mala	Inaceptable	25	23	Buena	Aceptable
13	19	Regular	Dudosa	--			

Para llevar a cabo esta evaluación se utilizó una tabla (Cataldi y colaboradores, 2000a,b) que permitía cuantificar la utilidad práctica del programa, tanto interna como externa, mediante la ponderación de algunos criterios y subcriterios adaptados de la clasificación de Fenton (1996). En la Tabla 1 se resumen los resultados de la evaluación realizada a los 25 programas. De acuerdo al puntaje obtenido, en la Tabla 2 tiene el resultado de la evaluación de la propuesta, donde se observa que sólo un 25% de los programas posee una calidad aceptable.

Tabla 2: Los resultados de la evaluación en porcentajes

PUNTAJE	EVALUACIÓN DE PROPUESTA	CALIDAD	PORCENTAJE
1-10	Mala	Inaceptable	40%
11-20	Regular	Dudosa	36%
21-30	Buena	Aceptable	25%

Se consideró pertinente no incluir los nombres de los programas, con el fin de evitar inconvenientes con las empresas productoras, ya que se deseaba evaluar problemáticas globales desde el aspecto educativo. Los programas evaluados fueron aplicaciones de uso corriente suministrados por los docentes que los utilizan en sus clases.

Los programas para uso didáctico poseen algunas características muy particulares de acuerdo a los objetivos curriculares perseguidos y a las necesidades específicas del grupo destinatario, siendo su evaluación un proceso que consiste en la determinación del grado de adecuación de los mismos a un contexto en particular donde convergen una serie de variables tales como: las características curriculares, el tipo de destinatario, las edades de los mismos, el estilo docente, etc, y que requiere por lo tanto de un análisis apropiado.

Luego de la evaluación se confeccionó un listado de dichos problemas agrupados en categorías, que se resume a continuación. (Cataldi y Lage, 2001)

Se ha observado que los hipermedias responden a características regionales muy fuertes como muchos productos tecnológicos, lo que limita la difusión del programa en los países limítrofes.

- Se ha visto que se usan los recursos multimedia sin considerar que son muy pocas las instituciones educativas del país que poseen un hardware tan actualizado como para poder utilizarlos.
- La mayor parte de los programas analizados fueron diseñados con un fuerte componente visual (imágenes) siguiendo un modelo que podría denominarse de "libro multimedia", sin ninguna teoría de aprendizaje de sustento ya sea en forma explícita o implícita, existiendo una falta de un marco conceptual y de base teórica.
- Se notó que si bien los desarrollos evaluados tenían una correspondencia con alguna asignatura en particular, se aclaraba muy poco respecto de las aplicaciones didácticas de los mismos.

Se detectó la existencia de falta de sincronismo de los efectos utilizados, tal es el caso de la música que, en muchos casos, no guardaba relación con el programa o predominaba en forma desmedida sobre el resto de los efectos.

- Se vio que las interfaces de usuario están muy sobrecargadas de objetos, y el usuario no sabe realmente donde picar con el puntero del mouse, no se sigue un diseño ergonómico.

Se observó que los usuarios se pierden en el programa, no saben dónde están ubicados o no pueden volver a una pantalla determinada y que la hiperabundancia de enlaces produce “*confusión*” en el usuario.

- Se advirtió la ausencia de la documentación, ya que las propuestas prácticamente no poseían manuales, lo que dificulta la adaptación, de ser posible. También se notó que la asistencia de técnica luego de la adquisición es casi nula.

Estas cuestiones permiten arribar a una serie de *interrogantes* que se exponen debajo, resumidos en las siguientes preguntas:

- ¿Qué estándares de la ingeniería de software se pueden aplicar a la realización de los hipermedias didácticos?
- ¿Cómo producir hipermedias didácticos de *calidad*?
- ¿Cómo lograr un equilibrio razonable entre texto o hipertexto e imágenes y sonido al desarrollar un programa y más aún de sincronismo?
- ¿La relación costo-beneficio para las realizaciones se justifica plenamente de acuerdo a los resultados obtenidos?
- ¿Cómo evaluar las propuestas?, y ¿Qué evaluar y cuándo evaluar?
- ¿Cuál es el balance entre la nueva tecnología usada en el desarrollo y la necesidad educativa?
- ¿Con cuánto más de trabajo en “*ambientes protegidos*”² se debe recargar a los alumnos?

Teniendo en cuenta los problemas que se describen se presentó la propuesta metodológica para el diseño de hipermedias y la evaluación a través de un método denominado exhaustivo.

Propuesta Metodológica de Diseño

Para poner en marcha la solución se tomó el paradigma simplificado de ciclo de vida en espiral (Piattini, 1996; Pressman, 2002) para el desarrollo de software considerándose básicamente las siguientes fases:

- 1 Fase de *especificación* de requerimientos y planificación del proyecto o programa,
- 2 Fase de *análisis* de alternativas e identificación de riesgos (si los hubiere),
- 3 Fase de *diseño y construcción* del prototipo,
- 4 Fase de *evaluación* de los resultados (en cada iteración con la incorporación de las modificaciones sugeridas).

Para el caso de los programas didácticos, a la luz de las necesidades educativas se descompone la etapa de diseño en dos: el diseño denominado “*pedagógico*” que considera aspectos referidos al uso educativo y el diseño de los “*computacional*” que tiene en cuenta las cuestiones técnicas informáticas.

El *diseño pedagógico* es una de las fases más importantes en el desarrollo, ya que se lleva a cabo con el aporte y la integración de todos los especialistas involucrados en la producción, buscando la construcción de un material que permita al estudiante acceder a un aprendizaje de tipo significativo, es decir que le permita al estudiante incorporar el nuevo conocimiento a las estructuras cognitivas de un modo natural y más duradero. (Ausubel, 1997)

En este sentido, se debe partir de una buena representación del conocimiento a través del uso de los mapas conceptuales, de las redes semánticas o de significado. Es decir, usando una representación gráfica que ayude a los alumnos a aprender significativamente, permitiendo integrar nueva información a sus conocimientos ya adquiridos. En este punto, se evidencia la importancia de la participación de los especialistas en contenidos en el equipo de diseño, ya que son quienes deben diseñar las redes, teniendo en cuenta el nivel de profundidad deseado, la amplitud y la coherencia conceptual requerida. Cuando se arma la red conceptual hipermedial para cada tema o unidad se deben considerar algunos aspectos muy importantes como son: la motivación de los usuarios, las evaluaciones a realizar, los problemas a resolver, los casos particulares a estudiar y las diferentes secuencias de recorridos entre los temas. Para cada tema particular se deben tener en cuenta: los objetivos, la identificación de los conceptos y sus relaciones, los conceptos previos necesarios para comprender el mismo. En este punto se requiere del análisis, la búsqueda estratégica de actividades, y su selección adecuada, con el fin de que mismas favorezcan la significatividad de los aprendizajes y faciliten su transferencia hacia otras áreas y desde otras áreas del conocimiento.

Una vez que estén delimitados los objetivos y organizado el conocimiento, se deben determinar las actividades básicas a efectuar que conduzcan al logro de los aprendizajes propuestos, seleccionando aquellas actividades que convenga implementar y definiendo las tareas o situaciones problemáticas que los alumnos deberán enfrentar para cada una de dichas actividades, buscando el fortalecimiento de las funciones superiores del pensamiento. (Vigotskii, 1987).

El *diseño computacional*, por otra parte, se refiere a la transformación de los mapas conceptuales y las redes semánticas en estructuras de nodos, metáforas de navegación, mensajes, efectos ante los eventos y el diseño de pantallas equilibradas, en cuanto a densidad de objetos o ergonómicas, para que el estudiante centre su atención en el objeto de estudio y no se produzcan efectos de distracción o sobrecarga de información.

En la Tabla ³ se pueden ver las etapas del ciclo de construcción y las actividades a realizar en la creación de hipermedias de uso didáctico a desarrollar utilizando herramientas de autor y, pensados para facilitar a los docentes no informáticos, la codificación de la aplicación.

En algunas de las actividades que se describen participan profesionales de un área específica, tal es el caso de las pruebas del software, que se dejará en manos del personal informático o la determinación del tipo de evaluación a hacer a los alumnos y el tipo de módulos a diseñar, que será exclusiva del área educativa. El resto de las actividades, es un trabajo simbiótico entre dos o más de las áreas de trabajo, por lo que se debe señalar que el logro de un buen producto es el resultado del trabajo coordinado de un grupo multidisciplinario.

La actividad 1 tiene en cuenta las características en cuanto a alcance y objetivos del proyecto o programa y, dentro de las actividades siguientes se consideran algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la programación didáctica (que son las actividades 2 a 5). En la actividad 6 se debe definir el tipo de enlaces a realizar en el programa, se deberán definir también los saltos y su direccionalidad (unidireccional o bidireccional) dentro de los contenidos o ejes temáticos seleccionados y el nivel de interactividad.³

La actividad 7 consiste en la selección de los tipos de pantallas a utilizar, para presentar los contenidos, la ejercitación, las evaluaciones, de problemas, etc.

En la actividad 8 se debe definir la estrategia o estrategias cognitivas y metacognitivas a utilizar y el enfoque teórico en el que se basará la propuesta. Este punto es fundamental, ya que de estas estrategias depen-

derá el tipo de aprendizaje que realizará el alumno; es aquí donde se debe definir si el aprendizaje será significativo, tal como lo presenta Ausubel (1987), o simplemente repetitivo, o mediante técnicas de instrucción programada (por ejemplo, entrenamientos para primeros auxilios). En este punto, se tendrán en cuenta también, los aspectos motivantes del material a presentar.

En la actividad 9 deberá quedar definido el tipo de pruebas o exámenes a realizar a los estudiantes, si es que los hubiere, acorde al tipo de aprendizajes buscados. Esta actividad, evaluativa, merece una atención especial, y es vista como uno de los núcleos fundamentales de la didáctica (Rosales López, 1988). En la actividad 10 se deben definir los tipos de módulos a diseñar: de presentación de contenidos, de evaluación, (si la hubiere), de refuerzo (si lo hubiere), de ejercitación, etc.

Tabla 3: Principales actividades del ciclo de vida simplificada.

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA ACTIVIDADES	ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS Y PLANIFICACIÓN	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	DISEÑO		EVALUACIÓN DE RESULTADOS
			PEDAGÓGICO	COMPUTACIONAL CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	
1. Definición de los objetivos y alcance el proyecto	x	x			
2. Estimación del tiempo personal y costos.	x	x			
3. Definición del tipo destinatarios específicos.	x		x		
4. Selección de los contenidos de hipermedia.			x		
5. Confección del mapa de contenidos.			x		
6. Selección de la secuenciación de los contenidos, definición del tipo de enlaces y nivel de interactividad.			x		
7. Selección de los tipos de pantallas a utilizar.			x		
8. Definición de las estrategias cognitivas y metacognitivas y enfoque pedagógico a utilizar (Marquès, 1999).			x		
9. Definición de los tipos de evaluación a realizar de los alumnos (si la hubiere).			x		
10. Definición de los tipos de módulos a diseñar (de evaluación, de refuerzo, etc).			x		
11. Definición de las herramientas informáticas a utilizar: principales y secundarias	x			x	
12. Estimación de los recursos necesarios para el desarrollo: hardware y software de base, soportes.	x		x	x	
13. Determinación del personal técnico especializado necesarios.	x		x	x	

14. Confección de los prototipos de las pantallas (ex-storyboards).		x	
15. Determinación de la secuencia.	x	x	
16. Codificación - Construcción de programas		x	
17. Pruebas de software y mantenimiento.			x
18. Evaluación interna.			x
19. Evaluación externa.			x
20. Evaluación contextualizada.			x

La actividad 11 debe considerar el tipo de herramientas informáticas a utilizar, los métodos y la técnicas de ingeniería de software a seguir, y los programas de base y secundarios requeridos.

La actividad 12 es una estimación precisa del hardware y el software necesario para desarrollar el producto: tipo de computadora a utilizar y requerimientos (audio, vídeo), sistema operativo, programas de diseño gráfico, de audio, de video, etc., y diferentes soportes de la información.

La actividad 13 es una de las más importantes, ya que aquí quedará definido y consolidado el personal técnico especializado necesario para llevar a cabo el proyecto y queda conformado el equipo de desarrollo.

A partir de la actividad 14 se confeccionarán los prototipos de las diferentes pantallas a utilizar, y en la actividad 15 se determinará la secuenciación de las pantallas y de los enlaces. En este punto debe quedar determinado el recorrido a través de los contenidos, a partir del mapa de conceptos.

La actividad 16 consiste en la construcción del programa con la herramienta considerada como más apta para ese propósito, ya sea una herramienta de autor o un lenguaje de tipo visual de uso sencillo. Esta es una actividad técnica específica, a la que suceden las pruebas del software desarrollado y el mantenimiento del mismo.

Finalmente, las pruebas y el mantenimiento del software (actividad 17) constituyen las fases indispensables para obtener un producto con la menor cantidad de fallas posibles. Para ello, se deben seguir los pasos que recomienda la ingeniería de software en el ciclo de desarrollo. Durante las pruebas se deberán diseñar las pruebas dinámicas (ejecutadas sobre el software), para lo cual se contará con un juego de datos de pruebas lo más representativo posible, contándose con un rango amplio de valores, que considere los todos los casos posibles y las excepciones.

En cuanto al mantenimiento del software, éste constituye uno de los problemas más recurrentes de la ingeniería de software (Piattini, 1996, Pressman, 2002); se ha visto que para los programas educativos es prácticamente inexistente y, teniendo en cuenta esta problemática, quizás habría que pensar en una lógica de diseño modular para poder realizar actualizaciones periódicas, además de considerar una asistencia técnica para el usuario por los problemas eventuales que este pudiera encontrar.

A ello, sobrevienen las evaluaciones interna (actividad 18) y la externa (actividad 19) y finalmente, la evaluación contextualizada (actividad 20), que es la que debe realizar el docente en un ámbito de aplicación similar al de los potenciales usuarios.

Al conformar el equipo de desarrollo, hay que considerar cuatro tipos básicos de profesionales, cada uno de los cuales participarán básicamente en las siguientes actividades:

- 1 Experto en contenidos: actividades 3 a 8.
- 2 Docentes (Pedagogos): actividades 1 a 11; 13; 15, 18 a 20.
- 3 Informáticos: actividades 1, 2, 6, 7; 11 a 20.
- 4 Técnicos Especializados: actividades 7, 11 a 14 y 16.

Actualmente, con base en esta metodología, se comenzó a construir hipermedias didácticos usando una herramienta de autor como el Toolbook, que permite a los docentes reducir no sólo el tiempo de desarrollo, sino ofrecerles un entorno de fácil manejo, para que sean ellos mismos los que participen en casi todas las etapas y actividades inherentes a la construcción de sus programas y que puedan confeccionar: "sus propios materiales didácticos informáticos". Esto permitiría un mayor acercamiento a las necesidades de cada grupo de estudiantes destinatarios, mediante la aplicación de aquellas estrategias de aprendizaje que el docente crea pertinente, pudiendo éste mismo cambiar o adicionar otras a la propuesta.

La propuesta de diseño se puso en marcha a través de un hipermedia para la asignatura Algoritmos y Programación I de la carrera Ingeniería Informática de la Universidad de Buenos Aires. Se pensó en el desarrollo de una aplicación hipermedia a partir de lenguaje HTML y sucesores, debido a la facilidad y familiaridad de uso que se detectó a través de entrevistas a los estudiantes. Se consideró que el hipermedia pudiera ser ejecutado en computadoras con muy bajos recursos de hardware y se previó además, realizar las evaluaciones del hipermedia desarrollado, siguiendo un procedimiento tal como el que se describe en trabajos previos (Cataldi, y colaboradores., 2000b,c) de evaluación interna, externa y finalmente la contextualizada, que es en definitiva la que da la pauta fundamental para el uso futuro, ya que esta representa básicamente influencia del hipermedia en el rendimiento de los estudiantes.

Evaluación de Programas Hipermedia Didácticos

La evaluación se orientó a través de varios ejes de análisis, es decir, en forma *exhaustiva* (o completa como se la describe más adelante), considerando todas sus implicancias, la que debería dar información que permitiera:

- Determinar el grado de adecuación del hipermedia a los requerimientos curriculares del grupo destinatario para el que fuera creado.
- Establecer el grado de pertinencia de los contenidos del hipermedia a los desarrollados en el sistema educativo no formal y dar recomendaciones de uso.
- Evaluar la calidad técnica y los aspectos económicos derivados del uso de los programas.

En general, los hipermedias educativos deben someterse a varios tipos de evaluaciones: una durante el proceso de diseño y desarrollo para corregir errores (evaluación interna y externa), y otra durante el uso de los destinatarios (evaluación contextualizada). La primera de las evaluaciones es la que se concentra en los aspectos computacionales y no tiene en cuenta al usuario. Es decir pocas veces se evalúan los programas después de su producción y por el propio usuario, por este motivo se hará mucho hincapié en la evaluación de tipo contextualizada. En el caso de desarrollos usando herramientas de autor se pueden realizar prototipos sucesivos, para evaluación, con el fin de realizar los cambios en las etapas tempranas

del ciclo de vida, pero resulta costoso e insume tiempo, ya que incluye la elaboración de las grillas de evaluación, la toma de los datos, la ponderación de los resultados y el procesamiento, con el objeto de determinar la pertinencia de los cambios sugeridos para cada un de los prototipos.

Considerando estas dificultades se pensó en la construcción de una grilla o planilla para evaluación de producto final teniendo en cuenta cuatro ejes básicos de análisis en la secuencia que se muestra en la Tabla 4. A partir de los estos ejes de análisis se construyeron las grillas que se muestran en las Tablas desde 5 a 12.

Tabla 4: Ejes de análisis básicos para la evaluación

PEDAGÓGICOS Y DIDÁCTICOS	COMUNICACIONAL	ORGANIZATIVOS	TÉCNICOS Y ECONÓMICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Teoría/s de aprendizaje/s subyacente a partir de la cual fue creado. • Correspondencia curricular, • Exactitud de los contenidos. • Marco sociocultural e ideológico. • Conocimiento previos necesarios para su uso. • Grado de integración de los contenidos. • Objetivos implícitos y explícitos. • Significatividad de los aprendizajes que facilita, • Incorporación de refuerzos, cuadros, síntesis. • Ejercicios con respuesta para autoevaluación. • Evaluaciones que presenta. • Nivel de motivación. • Rol del docente que utilizará el material. • Pertinencia de los manuales didácticos que posee. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sentido de la comunicación. • Adecuación del lenguaje en los mensajes. • Claridad de los tipos de mensaje que presenta. • Velocidad de interacción. • Densidad de la pantalla, • Tipo de interacción. • Metáfora de navegación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de organización de los contenidos. • Tiempo de interacción • Adaptabilidad para diferentes niveles de usuarios. • Grado de modificabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos técnicos que necesita. • Pertinencia de los manuales técnicos. • Fiabilidad del programa. • Facilidad de mantenimiento. • Ayudas que provee. • Mensajes de errores o información. • Sincronismo de los recursos que presenta. • Costos por estaciones locales y en red, entre otros.
→	→	→	→

Se puede observar que cada uno de estos ejes se desglosa en series de preguntas que consideran los aspectos más relevantes de la producción, las que se deben ponderar entre 1 y 3, con el fin de obtener no sólo un resultado cualitativo, sino también un resultado final cuantificable que permita realizar *comparaciones* entre programas similares. Recorriendo las grillas de evaluación se ve que el primer eje a evaluar son los aspectos pedagógicos–didácticos, de fundamental importancia para este tipo de aplicaciones. Este es el punto central de la evaluación que permitirá o no continuar el recorrido hacia los aspectos organizativos del material y los comunicacionales. Luego se llega a la etapa de evaluación técnico–económica, si es que se superan las evaluaciones en las etapas o ejes anteriores. Además, hay que tener en cuenta que, de acuerdo al tipo y a la función específica del programa didáctico, la grilla de partida propuesta se puede modificar o ajustar.

Tabla 5: Grilla de evaluación de los aspectos pedagógicos-didácticos

1. ASPECTOS PEDAGÓGICOS-DIDÁCTICOS	ESCALA DE PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
1. ¿Se justifica el uso del programa en la enseñanza del tema?	1= injustificado, 2= justificado, 3= muy justificado	
2. ¿Responde a un criterio constructivista del aprendizaje?	1= bajo, 2= mediano, 3= alto	
3. ¿Está en correspondencia con el curriculum pertinente?	1= no corresponde, 2= se puede adaptar 3= corresponde	
4. ¿En qué modo facilita los aprendizajes significativos?	1= bajo, 2= mediano, 3= alto	
5. ¿Promueve aprendizaje por descubrimiento?	1= no promueve, 2= poco, 3= si promueve	
6. Facilita el análisis de las tareas a realizar?	1= no, 2= algunas veces, 3= si	
7. ¿Desarrolla actividades metacognitivas?	1= son inexistentes, 2= algunas 3= muchas	
8. ¿Es motivante la presentación de los contenidos?	1= poco motivante, 2= motivante, 3= altamente motivante	
9. ¿Los contenidos son exactos?	1= no, 2= en parte, 3= si	
10. ¿Los contenidos son precisos?	1= no, 2= en parte, 3= si	
11. ¿Es adecuada la integración de los contenidos?	1= es inadecuada, 2= bastante adecuada, 3= muy adecuada	
12. ¿Posee refuerzos, cuadros, síntesis etc.?	1= no posee, 2= algunos, 3= muchos	
13. ¿Incluye ejercicios con soluciones para autoevaluación?	1= no posee, 2= en algunos temas, 3= posee en todos los temas	
14. ¿Plantea actividades problemáticas?	1= no plantea, 2= algunas, 3= muchas	
15. ¿Son adecuadas las evaluaciones que presenta?	1= poco adecuadas, 2= bastante adecuadas, 3= muy adecuadas	
16. ¿El lenguaje es asequible para los alumnos?	1= no es asequible, 2= bastante asequible, 3= muy asequible	
17. ¿Es un programa interdisciplinario?	1= no, 2= en parte, 3= totalmente	
18. ¿Es adecuado el marco sociocultural?	1= inadecuado, 2= se podría adaptar, 3= muy adecuado	
19. ¿Es adecuado el marco ideológico?	1= inadecuado, 2= se podría adaptar, 3= muy adecuado	
20. ¿Requiere de conocimientos previos?	1= ninguno, 2= algunos, 3= muchos	
21. ¿En qué medida se cumplen los objetivos explícitos?	1= no se cumplen, 2= parcialmente, 3= totalmente	
22. ¿Son adecuados los manuales o guías didácticas que posee?	1= inadecuados, 2= bastante adecuados, 3= muy adecuados	
23. ¿Este material se usa como apoyo al docente?	1= nunca, 2= a veces, 3= siempre	
24. ¿Se adecua a diferentes niveles del sistema educativo?	1= no se adecua, 2= medianamente, 3= totalmente	
25. ¿Provoca cooperación entre los alumnos?	1= para nada, 2= parcialmente, 3= mucho	
26. ¿El programa se usa como refuerzo a las clases?	1= para nada, 2= parcialmente, 3= totalmente	
Puntaje Obtenido...../78		
Comentarios:		

Tabla 6: Aceptabilidad pedagógico-didáctica

PUNTAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD DEL SOFTWARE
0-26	Mala	Pobre
26-52	Regular	Dudosa - Merece Revisiones
53-78	Buena	Aceptable

Tabla 7: Grilla de evaluación de los aspectos comunicacionales

ASPECTOS COMUNICACIONABLES	ESCALA DE	CALIFICACIÓN
1. ¿Las diferentes formas de interacción son adecuadas?	1= inadecuadas, 2= medianamente adecuadas, 3= adecuadas	
2. ¿El sentido de la comunicación es adecuado?	1= inadecuado, 2= medianamente, 3= adecuado	
3. ¿Los tipos de mensajes (texto, sonido e imágenes) son adecuados?	1= inadecuado, 2= medianamente, 3= adecuados	
4. ¿Cómo es la interacción con el programa ?	1= inadecuada, 2= medianamente, 3= adecuada	
5. ¿La metáfora navegacional es conocida?	1= desconocida, 2= medianamente adecuada, 3= conocida	
6. ¿El entorno de trabajo es motivante?	1= no es motivante, 2= medianamente, 3= es altamente motivante	
7. ¿El mapa navegacional es claro?	1= no posee, 2= medianamente claro, 3= muy claro	
8. ¿Permite diferentes sentidos de navegación?	1= lineal, 2= ramificado, 3= lineal y ramificado	
9. ¿Los íconos y símbolos que emplea son fáciles de interpretar?	1= difíciles, 2= medianamente fáciles, 3= fáciles	
10. ¿Cómo es la lectura de los textos?	1= difícilmente legibles, 2= medianamente, 3= fácilmente legibles	
Puntaje obtenido...../30		
Comentarios:		

Tabla 8: Aceptabilidad comunicacional

PUNTAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD DEL SOFTWARE
0-10	Mala	Pobre
11-20	Regular	Dudosa - Merece Revisiones
21-30	Buena	Aceptable

Tabla 9: Grilla de evaluación del aspecto organizativo.

ASPECTOS ORGANIZATIVOS	ESCALA DE	CALIFICACIÓN
1. ¿Cómo es la organización de los contenidos?	1= confusa, 2= medianamente clara, 3= clara	
2. ¿La organización de los contenidos es lógica?	1= confusa, 2= medianamente lógica, 3= lógica	
3. ¿El programa permite modificaciones?	1= ninguna, 2= algunas, 3= totalmente modificable	
4. ¿Cómo es el tiempo de interacción con el programa?	1= inadecuado, 2= medianamente adecuado, 3= adecuado	
5. ¿Se puede adaptar el programa a diferentes niveles de usuarios?	1= no es adaptable, 2= medianamente, 3= adaptable	
6. ¿Existe equilibrio entre texto e imágenes en las pantallas?	1= no hay equilibrio, 2= sólo en algunas, 3= existe equilibrio	
Puntaje obtenido...../18		
Comentarios:		

Tabla 10: Aceptabilidad organizativa

PUNTAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD DEL SOFTWARE
0-6	Mala	Pobre
7-12	Regular	Dudosa - Merece Revisiones
13-18	Buena	Aceptable

Tabla 11: Grilla de evaluación de los aspectos técnicos-económico

ASPECTOS ORGANIZATIVOS	ESCALA DE PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
1. ¿Cómo son los conocimientos técnicos requeridos para su instalación?	1= muy altos, 2= medianos, 3= escasos	
2. ¿Los manuales técnicos son adecuados?	1= inadecuados, 2= medianamente, 3= adecuados	
3. ¿El programa es fiable?	1= para nada, 2= medianamente fiable, 3= fiable	
4. ¿El programa es de fácil mantenimiento?	1= difícil, 2= medianamente fácil, 3= fácil	
5. ¿Existe sincronismo entre los elementos que presenta?	1= para nada, 2= muy poco, 3= totalmente	
6. ¿El costo por estación es adecuado?	1= inadecuado, 2= medianamente, 3= adecuado	
7. ¿El costo para uso en red es adecuado?	1= inadecuado, 2= medianamente, 3= adecuado	
8. ¿El usuario necesita conocimientos técnicos elevados?	1= muchos, 2= algunos, 3= ninguno	
9. ¿Se necesita ayuda para la instalación?	1= mucha, 2= alguna, 3= para nada	
10. ¿Los manuales y las guías técnicas on-line que posee son útiles?	1= inútiles, 2= medianamente, 3= útiles	
11. ¿Cómo es la asistencia técnica?	1= no posee, 2= es escasa, 3= es buena	
12. ¿Cómo es la actualización del programa?	1= no posee, 2= es escasa, 3= es periódica	
Puntaje obtenido...../18		
Comentarios:		

Tabla 12: Aceptabilidad técnico-económica

PUNTAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD DEL SOFTWARE
0-12	Mala	Pobre
13-24	Regular	Dudosa - Merece Revisiones
25-36	Buena	Aceptable

La evaluación del producto final

Para el caso de aplicación del diseño propuesto, una vez finalizado el desarrollo, que se describe en el apartado 3 (Cataldi y colaboradores., 2001), se pidió a 10 docentes de la asignatura en cuestión que aplicaran las grillas, obteniéndose un puntaje promedio de 128.5 sobre 162, lo cual permite establecer que es un software de calidad aceptable y la propuesta en general se la considera buena.

En la Tabla 13 se presentan los resultados de la evaluación del hipermedia efectuado por los docentes: De acuerdo al puntaje total obtenido, se puede establecer el resultados de la evaluación de la propuesta como buena, como se observa en la Tabla 14, denominada: "Tabla de aceptabilidad general del programa".

Tabla 13: Resultado de la evaluación exhaustiva del programa con las grillas propuestas.

ASPECTOS EVALUADOS	DOCENTES										PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pedagógico-didácticos	60	59	57	48	64	58	64	54	53	66	58.0
Comunicacionales	22	23	26	27	24	24	25	23	21	21	23.8
Organizativos	13	14	15	17	15	15	13	17	16	16	15,2
Técnico-económicos	14	30	28	30	35	35	35	34	33	30	31,5
Puntajes totales	119	126	126	122	139	132	137	128	123	133	128,5

Tabla 14: Aceptabilidad general del programa.

PUNTAJE TOTAL OBTENIDO	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	CALIDAD DEL SOFTWARE	PROMEDIO
0-54	Mala	Pobre	↓ 128,5
55-108	Regular	Dudosa - Merece Revisiones	
109-162	Buena	Aceptable	

La ficha general del programa

Se consultó a los docentes que utilizaban los programas didácticos, a través de entrevistas no estructuradas, los que coincidieron en afirmar que la presentación del programa debería estar precedida y acompañada de una ficha en la que se deberían destacar las necesidades y los requerimientos técnicos, sino también sus características pedagógicas tal como la que se presenta en la Tabla 15. Esto facilitaría la selección previa de los programas, con el fin de poder balancear las necesidades de uso y los costos de su compra (análisis o balance costo-beneficio).

Esta ficha pretende ser una guía para que el docente pueda destacar aquellos puntos más importantes del programa, con el fin de determinar si el mismo está dentro de sus requerimientos. Pocos autores han considerado en darle al docente algunas *orientaciones* para los posibles usos de los programas, basadas en los diferentes usos pedagógicos. Esto podría ayudar al propio usuario a incorporar el software a su proceso de enseñanza y de aprendizaje de un modo significativo. Para ello, es muy importante poder reunir los juicios valorativos de los docentes y los estudiantes que han utilizado el programa. Además, esta información permitiría a los docentes la posibilidad de integrar el software en un currículum determinado.

Estos datos se deberían incluir en el manual didáctico o guía de uso con el fin de poder tener una retroalimentación efectiva de las valoraciones de los docentes. También se debe destacar, que los programas deberían estar catalogados considerando sus aspectos innovadores en el proceso de enseñanza y de aprendizaje, dejando de lado la cultura reproductivista, como señala Guñazú (1999): *"Un hipermedia didáctico enmarcado en una mutación de paradigmas socioantropológicos que apuntan a la libertad y creatividad como modos de disolver una cultura reproductora de la mismidad que ha tenido su soporte ontológico en la educación como institución científicamente sostenedora de la tradición. Para ello se deben plantear los puntos clave en el uso pedagógico de la hipermedia y señalar los aportes que brinda su uso"*.

Esta catalogación debería estar incluida en la ficha general del programa y en ella deberá quedar claro cual es el aspecto innovador. En el caso particular de la propuesta que se ha desarrollado, las innovaciones se deben a la presentación de videos que permiten simular el funcionamiento interno de un sistema informático y los enlaces a los sitios de Internet probados y recomendados que pueden proporcionar información actualizada y fidedigna de los temas tratados, con conexiones a centros universitarios y especialistas en cada uno de los temas desarrollados.

Tabla 15: Ficha General del Programa

TABLA GENERAL DEL PROGRAMA
1. Datos Generales
Titulo: Algoritmos y Programación
Autor: Z. Cataldi y F. Lage
Editor: LIE - FIUBA
Año de publicación: 1999

Idioma/s: Castellano
Costo: 10 pesos.

2. Descripción y contenidos

Objetivo del programa: Material de apoyo, presentación y ejercitación
Tipo de Programa: Presentación/ Ejercitación
Correspondencia curricular: Curso inicial de Algoritmia
Destinatarios: Alumnos de un primer curso se Algoritmia

3- Requerimientos Técnicos

Plataforma: Windows 95/98
Procesador: Pentium
Memoria RAM: 32 MB.
Soporte Físico: CD-ROM
Placa de Sonido: si elemental
Placa de Video: si elemental
Aspectos técnicos Positivos: requerimientos mínimos
Aspectos técnicos Negativos:

4- Funcionamiento y estructura

Facilidad de manejo: muy fácil
Facilidad de instalación: muy fácil
Tipo de navegación: se usa con un navegador estándar
Material de apoyo para el docente: contiene guía on-line
Materiales de apoyo para el alumno: contiene sitios web recomendados
Aspectos motivantes: presenta vídeos de apoyo

5- Aspectos pedagógicos–didácticos

Base de datos de alumnos: si
Base de datos de resultados: si
Abierto: no
Rol del docente: es software de apoyo
Tipos de ejercicios: de simples a complejos
Tipo de interacción:
Tipo de aprendizaje: descubrimiento, analogía.
Observaciones pedagógicas: facilita la transferencia.
Aspectos pedagógicos positivos:
Aspectos pedagógicos negativos:
Ventajas frente a otros medios didácticos: coherencia en los contenidos, unificación criterios de trabajo.

6- Observaciones para Valoración¹ General. (1: malo; 2: regular, 3: bueno 4: muy bueno y 5: excelente)

Contenido pedagógico: 4
Facilidad de instalación: 4
Facilidad de Manejo: 5
Originalidad: 3.5
Diseño General: 4
Motivación: 3.5
Estructura General: 3.5
Interactividad: 4
Planteamiento de ejercicios: 3.5
Utilidad para el profesor: 3.5
Nivel de interés: 4
Relación calidad/precio: 5
Diseño General: 4
Motivación: 3.5
Estructura General: 3.5
Interactividad: 4
Planteamiento de ejercicios: 3.5
Utilidad para el profesor: 3.5

¹ Resultados de la evaluación de 10 docentes.

Parte Experimental

Se presentó el resultado de la evaluación de un software educativo en un contexto educativo similar a aquél para el cual fuera creado el programa, la que se denomina evaluación contextualizada. Los resultados de este tipo de evaluación se consideran como los más representativos ya que dan cuenta de las reacciones de los potenciales usuarios ante el programa y por lo tanto de la eficacia del producto. (Fainholc, 1998).

Para ello, se debe tener en cuenta la similitud de las variables involucradas en el proceso de enseñanza y de aprendizaje tales como: el docente y estilo docente, tipo de alumnos destinatarios, el tiempo y modo de uso del software, el currículum y la integración curricular, entre otras.

Primeramente, se formulan y se describen las etapas preparatorias de la experiencia, y luego se describen las mismas con el fin de establecer las diferencias en cuanto a logro de aprendizajes significativos y cambios conceptuales. Se formaron dos grupos de alumnos equilibrados mediante la definición de pares homólogos⁴: uno de control, y otro experimental. Para la definición de los grupos equilibrados, se aplicó el test de las "Matrices Progresivas" de Raven (1979) a los sujetos, obteniéndose de este modo dos grupos de pares homólogos los que se supone tendrán una respuesta o rendimiento similar ante los nuevos temas de aprendizaje.

Ambos grupos, en conjunto, recibieron la misma instrucción acerca de los aspectos teóricos de la asignatura, mediante clases expositivas. Luego, al grupo de control o I se le recomendó material bibliográfico y sitios de Internet. Al grupo experimental ó II utilizó como material de apoyo un CD ROM hipermedial construido en HTML como único material de estudios, como se describió en el apartado 3. El rendimiento de los alumnos, una vez realizadas las experiencias, fue estimado a través de la misma prueba⁵ para los dos grupos. Luego, se aplicó un test estadístico de comparación para muestras pequeñas, obteniéndose las conclusiones que se enuncian.

Resultados

Para llevar a cabo la experiencia se tomó un curso de Algoritmos y Programación I de la Carrera de Ingeniería en Informática. Mediante la aplicación del Test de Raven de Matrices Progresivas, se formaron los pares⁶ de homólogos con igual puntuación en dicho test, como se observa en la Tabla 16. Se formaron dos grupos: uno de control "I" y otro experimental "II".

Tabla 16: Pares homólogos formados de acuerdo al Test de Raven

GRUPO I		GRUPO II	
Alumno	Puntuación	Alumno	Puntuación
Alejandro	9.83	Sebastián	9.83
Gustavo	9.83	Claudio	9.83
Sabrina	9.72	Juan	9.72
Yanina	9.66	Mariana	9.66
Javier	9.66	Miguel	9.66
Fernando	9.58	Verónica ²	9.58
Verónica ¹	9.50	Federico	9.50
Diego	9.33	Adrián	9.33
Mariano	9.33	Elizabeth	9.33

A ambos grupos en conjunto se les explicó el tema en sus aspectos teóricos, de modo tradicional, mediante una clase expositiva. Luego, el grupo I utilizó como material didáctico bibliografía tradicional y referencias a sitios de Internet. Las actividades desarrolladas por los grupos se resumen en la Tabla 17, resaltándose las diferencias.

Tabla 17: Actividades de los dos Grupos.

ACTIVIDADES	GRUPO I	GRUPO II
Aspectos Teóricos	Explicación del tema Se usaron dibujos y gráficos en el pizarrón Se usaron transparencias ilustrativas.	
Clase TradicionalMagistral Expositiva		
Material de Estudio	Bibliografía Convencional: libros a apuntesy material bajado de Internet	CD en HTML extendido, conbase en la Teoría de Ausubel(1978) y mapas conceptualesde Novak (1988)

Las clases fueron dictadas por el mismo docente

Los dos grupos fueron evaluados con el mismo conjunto de ejercicios y preguntas diseñados específicamente para verificar si hubo transferencia y significatividad de los aprendizajes.

Al finalizar la ejercitación ambos grupos fueron sometidos a la misma prueba, siendo los resultados obtenidos los que se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18: Comparación en el rendimiento obtenido en la prueba para los grupos.

GRUPO I		GRUPO II	
Alumno	Nota	Alumno	Nota
Alejandro	7	Sebastián	9
Gustavo	6	Claudio	8
Sabrina	8	Juan	9
Yanina	6	Mariana	7
Javier	9	Miguel	10
Fernando	6	Verónica2	9
Verónica1	6	Federico	9
Diego	6	Adrián	7
Mariano	7	Elizabeth	8

El primer paso en la aplicación del test de Wilcoxon (Ledesma, 1980), consiste en realizar la diferencia de calificaciones entre ambos grupos (Tabla 17). En la Tabla 19 se puede observar la diferencia DI-II.

Tabla 19: Diferencia de calificaciones entre los pares homólogos

GRUPO I		GRUPO II		D _{i,ii}
Alumno	Nota	Alumno	Nota	
Alejandro	7	Sebastián	9	0
Gustavo	6	Claudio	8	-2
Sabrina	8	Juan	9	-1
Yanina	6	Mariana	7	-1
Javier	9	Miguel	10	-1
Fernando	6	Verónica2	9	-3
Verónica1	6	Federico	9	-3
Diego	6	Adrián	7	-1
Mariano	7	Elizabeth	8	-1

Como indica el método de Wilcoxon, se procede al ordenamiento por valor absoluto de las diferencias, como se ve en la Tabla 20. Las observaciones con diferencia cero no se consideran. Luego, se asignan los números de orden a cada valor y en el caso de valores con valor absoluto igual se promedian las posiciones, tal como se observa en la Tabla 21 Finalmente, se suman los números de orden de las diferencias negativas, tal como se aprecia en la Tabla 22.

Tabla 20: Ordenamiento de las diferencias.

-1
-1
-1
-1
-1
-2
-3
-3

Tabla 21: Obtención de los números de orden.

1
2
3
4
5
6
7
8

Tabla 22: Suma de los números de orden de las diferencias negativas

1
2
3
4
5
6
7
8

Según la Tabla 10 del Apéndice del libro de Domingo Ledesma de Estadística Médica (1980) y el Manual de la Universidad de Málaga de Bioestadística (1999) para un nivel de significación del 2 %, donde $2\alpha = 0.02$ (siendo α la probabilidad de error de primer orden) y para un número de muestras $n = 8$ (en este caso el número de pares homólogos cuyas diferencias DI-II sean diferentes a cero) se puede observar en la Tabla 23 que:

Tabla 23: Tabla de Wilcoxon

NÚMERO DE PARES	$2\alpha \leq 0.02$
N = 8	1-35

“la suma de los números de orden de las ocho observaciones negativas cae fuera de los límites tabulados”, y, como si: “o bien coincide con uno de los límites del intervalo de significatividad o está fuera de dichos límites, la diferencia es significativa”, (descartándose entonces la hipótesis nula de contraste), se puede decir que la diferencia entre el método aplicado al grupo B y al grupo A es significativa a favor de B, con lo que experimentalmente se confirma la tesis:

“Los alumnos que trabajen con el hipermedia didáctico (grupo II) deben tener un mejor rendimiento que los alumnos que utilizaron como material de estudio libros y material bajado de Internet (grupo I)”.

Desde esta perspectiva queda demostrada experimentalmente la tesis central:

“Con un material didáctico hipermedia, que contempla los aspectos didácticos en su desarrollo en forma explícita y cuyos contenidos se presenten organizados significativamente los alumnos obtienen un rendimiento superior a cualquier otro material didáctico tradicional utilizado, sea libro, o compilados de apuntes de la materia en cuestión, inclusive con consultas a sitios de Internet”.

A partir de esta experiencia, se debe continuar la investigación aumentando el tamaño de la muestra, realizando los contrastes de los grupos de control y experimental con el fin de continuar la validación de la metodología de diseño y evaluación propuestas.

Conclusiones

Debido a que el soporte informático hipermedial ofrece a los alumnos algunas ventajas frente a las formas tradicionales de aprendizaje, tales como un acceso a la información de un modo más dinámico e interactivo y un modelo comunicacional nuevo, existe una gran demanda en el mercado educativo de metodologías prácticas para su diseño y evaluación que sean fáciles de usar. Si bien el resultado experimental valida la tesis, se considera necesario continuar la investigación aumentando la muestra a fin continuar con la validación de la metodología propuesta. Cabero (2001) atribuye a los medios un efecto inicial de alta motivación por parte de los usuarios, por lo que habría que superar esta instancia, esperando que el "efecto novedad" desaparezca y, que el nuevo medio comience a ser usado en forma constante. Luego de este período, es cuando se debería llevar a cabo la medición.

Aportes de la Investigación y Líneas Futuras

Entre los aportes:

- Se identificaron las deficiencias en la construcción de los programas que deben ser cubiertas con el fin de considerar los aspectos didácticos, y
- Se probó experimentalmente que un hipertexto extendido desarrollado considerando los aspectos didácticos, da buenos resultados respecto a los aprendizajes que usan otros materiales de estudio, incluyendo materiales electrónicos bajados de Internet.

Respecto de futuras líneas de investigación se piensa en el diseño de estrategias para capacitación de los docentes de diferentes niveles educativos con el fin de que puedan ajustar las grillas de evaluación a sus necesidades, e incluir sus opiniones en los manuales de uso de los programas.

Notas

1 Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por la autora para optar al grado de Magister en Docencia Universitaria, bajo la dirección del Dr. Ramón García-Martínez; ha sido presentado parcialmente como ponencias en RIBIE 2000 (Red Iberoamericana de Informática Educativa) en Viña del Mar y en CACIC 2003 (Congreso Argentino de Ciencias de la Computación), en el II Workshop de Tecnología Informática Aplicada a la Educación en La Plata.

1 Se define a los ambientes protegidos como aquellos en los cuales no hay riesgos por exposición directa, es decir, el usuario puede utilizar un "alias" para comunicarse con los demás. (Cataldi y colaboradores, 2001)

2 Un concepto esencial para diseño de buenos programas multimedia e hipermedia es el de interactividad. Ella "representa una plataforma de acceso a la información deseada desde cualquier punto y en cualquiera de sus formas. El usuario debe poder optar por toda o parte de esta información y el sistema debe poder ofrecérsela de la forma más rápida. Bajo esta acepción un programa de este tipo será más útil cuanto más permita al usuario una libertad de acceso, desde cualquier punto del sistema hasta aquella información que desea obtener, prescindiendo del resto". (Pavón Rabasco y colaboradores, 1997). La interactividad pedagógica supone potenciar la comunicación, lo que significa hacer partícipe y protagonista al otro mediante la elaboración de situaciones didácticas y material hipermedial para el intercambio de significados. Esto conlleva a diseñar contextos de resignificación-recreación-contestación mediados por computadoras y programas didácticos (Fainholc, 1999).

- 3 Se podría hacer a tal efecto una evaluación diagnóstica y luego armar los pares homólogos.
- 4 La misma se diseñó para detectar si los alumnos logran aprendizajes significativos y relacionales.
- 5 De la totalidad del curso se seleccionaron 10 pares homólogos, que obtuvieron igual puntuación en el test.

Referencias

- AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESSIAN, H. (1997) *Psicología Educativa. Un punto de Vista Cognoscitivo*. México, Trillas.
- BORK, A. (1986): *El Ordenador en la Enseñanza. Análisis y Perspectivas de Futuro*, Barcelona, Gustavo Gili.
- CABERO, J. (2001) *Tecnología Educativa*. Editorial Síntesis.
- CABERO J.; DUARTE A. (1994); *CD-ROM en la Enseñanza e Investigación; una tecnología en e aumento*. Pixel bit N° 1, págs. 83-101.
- CARIDAD, M.; MOSCOSO, P. (1991) *Los Sistemas Hipertexto e Hipermedios*. Madrid, Pirámide.
- CATALDI, Z.; LAGE F.; PESSACQ, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (1999a) *Revisión de Marcos Teóricos Educativos para el Diseño y Uso de Programas Didácticos*. ICIE '99. Anales del V Congreso Internacional de Ingeniería Informática.
- CATALDI, Z.; LAGE F.; PESSACQ, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (1999b) *Ingeniería de Software Educativo*. ICIE '99, Anales del V Congreso Internacional de Ingeniería Informática.
- CATALDI, Z.; LAGE F.; PESSACQ, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2000a) *Methodology of design and development of educational software from a pedagogical perspective*. ICECE 2000 International Conference on Engineering and Computer Education. 27-30 de agosto de 2000. San Pablo. Brasil.
- CATALDI, Z.; LAGE F.; PESSACQ, R.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2000b) *Evaluation of Educational Software from an Integral Perspective* en VI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. CACIC 2000, Red de Universidades Nacionales, 2-7 de octubre, Ushuaia,
- CATALDI, Z., LAGE, F., ZUBENKO, Y.; PESSACQ, R. y GARCÍA-MARTÍNEZ, R. (2000c) *Evaluación Contextualizada de Software Educativo* en CACIC 2000, VI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Red de Universidades Nacionales, Ushuaia, 2-7 de octubre.
- CATALDI, Z.; COPELLO, G.; LAGE, F. (2001) *Web and Education: The Effects of the Work in "Protected Environments"*. FIE 2001. 31th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. Session F4F. 10-13 de octubre. Reno, Nevada. ISBN CD 0-7803-6671-9.
- CATALDI, Z.; LAGE, F. (2001) *The importance given to hypertext in current hypermedia in superior education: criteria for the design* en Revista UNLaR Ciencia, ISSN 1515-4005, vol, 1 Nro, 3, setiembre, págs. 8-16.
- FAINHOLC, B. (1998) *Sistemas Multimediales Aplicados a la Educación*, en Seminario de Maestría en Docencia Universitaria. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
- FAINHOLC, B. (1999) *La Interactividad en la Educación a Distancia*. Paidós. Bs.As.
- FENTON, D.; PFLEGGGER, L. (1996) *Software Metrics. A Rigorous and Practical Approach*. PWS Publishing Company. Boston.
- GALLEGO, D.; ALONSO C. (1997) *Multimedia*. UNED. España
- GUIÑAZÚ, L. (1999) *La Hipermedia como Recurso Didáctico Alternativo*, en III Congreso Mundial de Educación Internacional: Integración y Desarrollo, UADE, 28-30 de julio, (PA 274) Pág. 66.
- LANDOW, G. (1995) *Hipertexto. La Convergencia de la Teoría Crítica Contemporánea*. Buenos Aires, Paidós.
- LANDOW, G. (1997) (Comp.). *Teoría del Hipertexto*. Paidós
- LEDESMA, D. A. (1980) *Estadística Médica*, Eudeba, Bs. As.
- MARQUÉS P. (1999) *Programas Didácticos: Diseño y Evaluación*. Consultado online 19/04/99. www.xtec.es/~marquès/edusoft.htm

- NIELSEN, J. (1995) *Multimedia and Hypertext: The Internet and Beyond*. Boston. Academic Press.
- NOVAK, J.; GOWIN, D. B. (1988) *Aprendiendo a Aprender*, Barcelona. Martínez Roca.
- PAVÓN RABASCO, E.; RODRÍGUEZ, N.; RUIZ CAGIGAS, G. (1997) *Análisis de una experiencia en Producción multimedia*. EDUTEC'97, Comunicaciones (V). Experiencias Educativas
- PIATTINI, M. (1996) *Análisis y Diseño Detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión*. Rama. Madrid.
- PRESSMAN, R. (2002) *Ingeniería de software. Un enfoque práctico*. Mc. Graw Hill
- RAVEN, J. C. (1979) *Test de Matrices Progresivas, Escala general, Vol. 3b*, Buenos Aires, Paidós.
- RAVEN, J. C. (1979) *Test de Matrices Progresivas, Manual para la Aplicación*, Buenos Aires, Paidós.
- ROSALES LÓPEZ, C. (1988) *Didáctica. Núcleos Fundamentales*. Narcea. Madrid.
- UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (1999) *Manual de Bioestadística*.
- VIGOTZKII, L. (1978) *The Development of Higher Psychological Process*, Cambridge M. A. Harvard University Press.

ELABORACIÓN DE UN MODELO TERMOHIDRÁULICO DEL SISTEMA SECUNDARIO DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE PARA ANÁLISIS DE ACCIDENTES Y SITUACIONES ANÓMALAS¹

J. F. MARCONI GIGLIO

Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Constituyentes,
Avenida General Paz 1400, San Martín, Provincia de Buenos Aires, República Argentina

G. BEDROSIAN

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Avenida Medrano 951,
C1179AAQ, Buenos Aires, República Argentina
marconi@cnea.gov.ar

Resumen

Se realizó un modelo del Sistema Secundario de la Central Nuclear Embalse para simular transitorios y accidentes con el código CATHENA. En este modelo se representaron los componentes más importantes del sistema secundario de la central. Se incluyeron como condiciones de contorno el turbogruppo y el condensador principal.

A partir de la comparación de los valores alcanzados con un protocolo de planta representativo, se concluye que el modelo propuesto representa razonablemente bien el comportamiento de la Central Nuclear Embalse en el estado estacionario.

Abstract

A model of the Secondary System of Embalse Nuclear Power Plant has been prepared, in order to simulate transients and accidents through the CATHENA code. The most relevant components of the secondary system of the plant were represented in this model. The turbine generator unit and the main condenser were included as contour conditions

From the comparison of the reached values with a representative protocol plant, it is concluded that the proposed model represents reasonably well the behaviour of the Embalse Nuclear Power Plant in the steady state.

¹ Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por J. Marconi Giglio para optar al grado de Magíster en Reactores Nucleares.

Introducción

El propósito del presente trabajo es la elaboración de un modelo detallado del Sistema Secundario de la Central Nuclear Embalse (CNE), para ser utilizado con el código CATHENA. Tal modelo se desarrolla a través de una nodalización y selección de parámetros adecuados, que representan de manera correcta el funcionamiento y las respuestas de dicho sistema durante los diversos tipos de transitorios operacionales o anormales registrados en la experiencia operativa. Es necesario además que involucre a los equipos y/o a las funciones inherentes al Sistema Secundario y debe igualmente responder a toda función especial, cada vez en que éste sea llamado a actuar bajo distintos modos operativos y condiciones asociadas ante transitorios o accidentes postulados como iniciadores en cualquier sitio de la Central.

El modelo general del Sistema Secundario a desarrollar y poner a punto comprende, principalmente, la representación de:

- Sistema de agua de alimentación.
- Sistema de vapor vivo a la turbina.
- Sistema de control de presión de los generadores de vapor.
- Sistema de control de nivel de agua de los generadores de vapor.
- Sistema de protección contra la sobrepresión.
- *Crash cooldown*

No se modelan ni la turbina ni el condensador, los cuales serán tratados como condiciones de contorno.

Descripción del Código

CATHENA es un código de cálculo termohidráulico diseñado para el análisis de flujo en doble fase y transferencia de calor en circuitos hidráulicos (Canadian Algorithm for Thermalhydraulic Network Analysis). Fue desarrollado por Atomic Energy of Canada Limited (AECL) en los laboratorios de Whiteshell [1].

Su desarrollo se orientó al análisis del comportamiento de un reactor de tipo CANDU en condiciones de accidente. Sin embargo, podría aplicarse al estudio de transitorios en cualquier circuito hidráulico con agua liviana o agua pesada y no estaría restringido solamente a reactores CANDU.

El modelo hidrodinámico utilizado en CATHENA es una representación unidimensional del flujo en dos fases. Las ecuaciones de conservación se aplican independientemente para cada fase ("código de seis ecuaciones") lo que permite representar condiciones de no equilibrio termodinámico (distintas temperaturas en las fases) y mecánico (distintas velocidades de las fases). Esta es una característica relevante de CATHENA frente a los códigos antes usados, que consideraban la mezcla de doble fase como un solo fluido con ecuaciones de conservación de la "mezcla" (códigos de tres ecuaciones).

El programa plantea balances individuales de masa, de cantidad de movimiento y de energía para las fases gaseosa y líquida, junto con relaciones constitutivas dependientes del régimen de flujo que describen la transferencia de masa, la cantidad de movimiento y la energía a través de la interfaz líquido - vapor y entre cada fase y las paredes de las tuberías. Puede incluirse además un componente gaseoso no condensable en la descripción de la fase gaseosa. El código contiene correlaciones de propiedades físicas para agua liviana y agua pesada, así como para varios gases no condensables (aire, nitrógeno, hidrógeno, helio, argón y dióxido de carbono).

El modelo de transferencia de calor incluye:

Conducción de calor unidimensional (radial) y en dos dimensiones (radial y azimutal)

Generación de calor por la reacción química entre la vaina del elemento combustible y el refrigerante (circonio metal – agua)

- Radiación térmica
- Conducción de calor por contacto pared - pared
- Convección de calor (pared – fluido)

El código permite modelar la transferencia de calor entre superficies múltiples y un único componente termohidráulico o entre múltiples componentes termohidráulicos y una única superficie.

CATHENA tiene modelos para un amplio rango de condiciones de transferencia de calor en los canales combustibles horizontales de los reactores CANDU, incluyendo flujo estratificado.

Se incluyen modelos hidrodinámicos para componentes básicos y modelos para tanques, cambios bruscos de área, válvulas, orificios, separadores, acumuladores, descarga en las roturas y un modelo neutrónico de cinética puntual.

Los sistemas de control y protección de la Planta pueden simularse a través de series de modelos debidamente acoplados que operan lógicamente y/o matemáticamente con los valores de las variables de Planta (“system models”) o bien a través de una interfaz se puede conectar el modelo de Planta con simulaciones de los sistemas de control desarrollados en forma separada.

En el modelo, el sistema real se representa a través de una serie de elementos constitutivos conocidos como volúmenes de control (por ejemplo un equipo, un tramo de cañería con accesorios, etc.). El código utiliza los parámetros geométricos ingresados y aplica los modelos hidrodinámicos en dichos volúmenes de control, para luego resolver las ecuaciones de balance correspondientes.

A esto debe sumarse que el código dispone de elementos para brindar un límite a los modelos, conocidos como condiciones de contorno. Estos elementos definen en ese punto de la nodalización las condiciones físicas de los fluidos fijadas por el usuario (presión, entalpía, fracción de vacío). Estos límites sirven para evitar representar elementos que no son necesarios para los fines de la simulación.

Descripción del modelo adoptado

En la preparación de la idealización, es necesario convertir el sistema físico a modelar en un conjunto de componentes que representan la circulación del fluido y sus procesos (calentamiento, bombeo, etc.). Por lo tanto, un modelo es un conjunto de componentes y datos que representan en forma matemática a uno o varios sistemas físicos.

Descripción general

Se adoptó la norma de que el nombre del volumen de control se corresponda con el equipo o elemento

más importante del componente que se esté modelando. Esto permite identificar con mayor claridad los volúmenes de control con los sistemas físicos de la CNE.

También se implementó una forma de codificación para el nombre de las planillas de cálculo, las memorias de cálculo, los esquemas, etc., que se crearon para reunir y elaborar la información concerniente a cada volumen de control.

Este sistema de codificación se desarrolló pensando en una rápida referencia entre los volúmenes de control y la información asociada con ellos, tendiente a reducir la comisión de errores y a facilitar su detección.

El paquete de información asociada a cada volumen de control fue identificado genéricamente con el código NNNSCC-TXVV y consiste en una serie de 3 letras (NNN) que representan la instalación, un número (S) que representa al subsistema, 2 números (CC) que representan al componente dentro de ese subsistema, un número (T) que indica el tipo de información (1 = Esquema, 2 = Memoria, 3 = Planilla de Cálculo), un dígito (X) que en este trabajo siempre lleva el valor 0, 2 números (VV) que representan la versión de la información.

Un ejemplo de esta codificación es "CNE201-3000", donde CNE representa la instalación, 2 al subsistema al cual pertenece el componente, 01 al componente, 3 representa la planilla de cálculo donde se encuentran los datos geométricos del componente, y 00 el número de la revisión, en este caso la primera.

Para facilitar el desarrollo del modelo se dividió al sistema secundario en 9 subsistemas, los cuales serán tratados por separado y luego integrados en la versión final. Los índices (S) para cada subsistema son:

- 0 Desde la salida del condensador de sellos hasta la succión de las bombas principales de alimentación.
- 1 El sistema auxiliar de alimentación hasta el colector de descarga de las bombas.
- 2 Desde la succión de las bombas principales de alimentación hasta los ramales de salida a los generadores de vapor.
- 3 Cada ramal de entrada a los generadores de vapor (GV) hasta el *preheater*. Indicando el número de los componentes (CC) en el 01 el GV1, en el 25 el GV2, en el 50 el GV3 y en el 75 el GV4.
- 4 Los cuatro generadores de vapor.
- 5 Desde el domo de los generadores de vapor hasta el SBH (Colector Principal de Vapor) indicando el número de los componentes (CC) en el 01 el GV1, en el 25 el GV2, en el 50 el GV3 y en el 75 el GV4.
- 6 Desde el SBH hasta la descarga a la turbina o al condensador principal.
- 7 Modelos de control de sistemas para el Sistema Secundario.
- 8 Condiciones de contorno del modelo.

Cada subsistema se integró a uno de los dos grandes grupos en que se dividió al Sistema Secundario: Circuito de Condensado y Sistema de Agua de Alimentación o al Sistema de Vapor Vivo a la Turbina. Estos dos grandes grupos fueron probados por separado con el fin de realizar ajustes menores y luego integrados (con cada subsistema correspondiente a los mismos).

Una vez finalizada esta fase el conjunto y los sistemas de control se integraron en un solo modelo y se representó al Sistema Primario de Transporte de Calor como una condición de contorno para obtener los resultados representativos del estado estacionario que reflejara las condiciones operativas normales

de la CNE. Se pasó luego a su adaptación final a todo el conjunto (integrando primario y secundario), quedando este modelo como definitivo, presentando los resultados en el capítulo "Resultados".

Descripción, diagramas e isométricos de cada volumen de control

A continuación se describirá por completo al modelo del Sistema Secundario de la CNE y se presentan isométricos junto con los datos geométricos relevados de cada volumen de control, como así también todos los elementos incluidos en cada volumen.

Pre calentamiento (Planillas CNE0xx-xxxx)

Este subsistema incrementa la temperatura del agua de alimentación hasta la temperatura de ingreso a los generadores de vapor. Está constituido por una serie de 12 pre calentadores. [2,4,5]

Los volúmenes de control que corresponden a este subsistema son:

- PCS_PH1(CNE001-xxxx)

Representa la cañería que va desde la salida del condensador de sellos (inicio del modelo, condición de contorno CNE801-xxxx) hasta la tee de entrada al pre calentador E104A. [4]

- PCS_PH2(CNE002-xxxx)

Corresponde a la cañería que va desde la tee de entrada al pre calentador E104A hasta la tee de entrada a los pre calentadores E104B. [4] [5]

- BPV1(CNE003-xxxx)

Representa la entrada al pre calentador E104A. Ésta se dividió en tres componentes: BPV1E, BPV1BP y BPV1S1; cada una de ellos representa, respectivamente, a la cañería de entrada al E104A hasta la válvula de by-pass BPV1, la cañería de by-pass, y la cañería de ingreso al E104A propiamente dicho. Dentro del volumen de control BPV1E, se modeló la cañería que va desde la tee a la salida del volumen PCS_PH1 hasta la entrada a la válvula. Dentro del volumen de control BPV1BP se modeló la cañería que va desde la válvula BPV1 hasta la tee de descarga del pre calentador E103A. Dentro de la salida normal BPV1S1 se modeló la cañería que va desde la válvula BPV1 hasta la entrada al pre calentador E104A. No se modeló el control de la válvula y por defecto el by-pass se encuentra cerrado. [4]

- E104A(CNE004-xxxx)

Este volumen de control representa al pre calentador E104A. En el mismo se representó como cañería dos veces el largo del pre calentador simulando las dos ramas de la U, y como volumen aproximadamente un 20% del volumen total del pre calentador. En cuanto al cambio de elevación se representó la distancia en altura que recorre el fluido hasta la entrada al pre calentador E103A. Para obtener el coeficiente de resistencia conociendo la pérdida de carga que introducía el pre calentador en el sistema, se calculó dicho coeficiente con el fin de obtener la pérdida deseada con la fórmula usada por CATHENA para su cálculo. También fue necesario determinar los coeficientes de transferencia de calor y área de transferencia para el pre calentamiento del fluido. Para ello se tomó el salto entálpico y el caudal másico de la CNE, y se fijó una temperatura del lado secundario y un coeficiente de transferencia, y con estos datos se obtuvo un área de transferencia equivalente aplicada al modelo. El modelo del pre calentador tiene un control que regula el coeficiente de transferencia en función de la descarga de vapor a la turbina. [4,6]

- E104A(CNE005-xxxx)

Este volumen de control representa al pre calentador E103A. Igual que en el anterior, la cañería representa dos veces el largo del pre calentador simulando las dos ramas de la U, y como volumen aproximadamente un 20% del volumen total del pre calentador. En cuanto al cambio de elevación se representó

la distancia en altura que recorre el fluido hasta la válvula de no retorno a la salida del precalentador. Para obtener el coeficiente de pérdida de carga se aplicó el mismo criterio que para el E104. También fue necesario determinar los coeficientes de transferencia de calor y el área de transferencia equivalente. [4,6]

•POUT1A(CNE006-xxxx)

Cañería que conecta la salida del precalentador E103A con la tee donde se une al by-pass del mismo. [4]

•PPH_PH1(CNE007-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de salida del precalentador E103A con la tee de salida del precalentador E103B. No posee accesorios y es simplemente un caño de 10620 mm de largo y 500 mm de diámetro. [4] [5]

•BPV2(CNE008-xxxx)

Representa la entrada al precalentador E104B. Ésta se dividió en tres componentes: BPV2E, BPV2BP y BPV2S1, igual que BPV1. [5]

•E104B(CNE009-xxxx)

Es igual al precalentador E104A. [6] [5]

•E103B(CNE010-xxxx)

Es igual al precalentador E103A. [6] [5]

•POUT1B(CNE011-xxxx)

Es igual al volumen POUT1A. [5]

•PPH_PH2(CNE012-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de salida del precalentador E103B con la tee de salida del precalentador E103C. No posee accesorios y es simplemente un caño de 11920 mm de largo y 600 mm de diámetro. [5]

•BPV3(CNE013-xxxx)

Representa la entrada al precalentador E104C. Ésta se dividió en tres componentes: BPV3E, BPV3BP y BPV3S1, igual que BPV1. [5]

•E104C(CNE014-xxxx)

Igual al precalentador E104A. [5,6]

•E103C(CNE015-xxxx)

Igual al precalentador E103A. [5,6]

•POUT1C(CNE016-xxxx)

Es igual al volumen POUT1A. [5]

•PPH01(CNE017-xxxx)

Representa a la cañería que une la salida del grupo de precalentadores E104-E103 con la entrada al grupo E102-E101. [5]

•PPH02(CNE018-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de entrada al precalentador E102C con la tee de entrada al precalentador E102B. No posee accesorios y es simplemente un caño de 20675 mm de largo y 500 mm de diámetro. [5]

•BPV4(CNE019-xxxx)

Representa la entrada al precalentador E102C. Igual que en la BPV1, ésta fue dividida en tres componentes: BPV4E, BPV4BP y BPV4S1. [5]

•E102C(CNE020-xxxx)

Este volumen de control representa al precalentador E102C. Igual que en el anterior, la cañería representa dos veces el largo del precalentador simulando las dos ramas de la U, y como volumen aproximadamente un 20% del volumen total del precalentador. En cuanto al cambio de elevación se representó la distancia en altura que recorre el fluido la entrada al precalentador E101C. Para obtener el resto de

los coeficientes se aplicó el mismo criterio que para el E104A. También fue necesario determinar el coeficiente de transferencia de calor y el área de transferencia equivalente. El precalentador tiene un control que regula el coeficiente de transferencia en función de la descarga de vapor a la turbina. [5,6]

•E101C(CNE021-xxxx)

Este volumen de control representa al precalentador E101C. Igual que en el anterior la cañería representa dos veces el largo del precalentador simulando las dos ramas de la U, y como volumen aproximadamente un 20% del volumen total del precalentador. En cuanto al cambio de elevación se representó la distancia en altura que recorre el fluido hasta la válvula de no retorno a la salida del precalentador. Para obtener el resto de los coeficientes se aplicó el mismo criterio que para el E104A. También fue necesario determinar el coeficiente de transferencia de calor y el área de transferencia equivalente. El precalentador tiene un control que regula el coeficiente de transferencia en función de la descarga de vapor a la turbina. [Ref. 6] [Ref. 5]

•POUT2C(CNE022-xxxx)

Representa la cañería que une la salida del precalentador E101C con la tee donde se une su by-pass. [5]

•PPH_B1(CNE023-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de salida del precalentador E101C con la tee de salida del precalentador E101B. No posee accesorios y es simplemente un caño de 16390 mm de largo y 400 mm de diámetro. [5]

•BPV5(CNE024-xxxx)

Representa la entrada al precalentador E102B. Igual que en la BPV1, está fue dividida en tres componentes: BPV5E, BPV5BP y BPV5S1. [5]

•E102B(CNE025-xxxx)

Igual al precalentador E102C. [5,6]

•E101B(CNE026-xxxx)

Igual al precalentador E101C. [5,6]

•POUT2B(CNE027-xxxx)

Igual al volumen POUT2C. [5]

•PPH_B2(CNE028-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de salida del precalentador E101B con la tee de salida del precalentador E101A. No posee accesorios y es simplemente un caño de 21595 mm de largo y 550 mm de diámetro. [4,5]

•BPV6(CNE029-xxxx)

Representa la entrada al precalentador E102A. Igual que en la BPV1, está fue dividida en tres componentes: BPV6E, BPV6BP y BPV6S1. [4]

•E102A(CNE030-xxxx)

Igual al precalentador E102C. [4,6]

•E101A(CNE031-xxxx)

Igual al precalentador E101C. [4,6]

•POUT2A(CNE032-xxxx)

Igual al volumen POUT2C. [4]

•PINBA(CNE033-xxxx)

Representa a la cañería que une la salida de todos los precalentadores con la aspiración de las tres bombas P102 (A, B y C). [4]

•PINBB(CNE034-xxxx)

Representa la cañería que une la tee de entrada a la bomba P102A con la tee de entrada a la bomba P102B. No posee accesorios y es simplemente un caño de 7800 mm de largo y 700 mm de diámetro. [4]

- F102A(CNE035-xxxx)
Cañería de entrada a la bomba P102A. [4]
- F102B(CNE036-xxxx)
Cañería de entrada a la bomba P102B. [4]
- F102C(CNE037-xxxx)
Cañería de entrada a la bomba P102C. [4]

Sistema de Alimentación Auxiliar (Planillas CNE1xx-xxxx)

Este sistema se modeló como una válvula, una bomba y la condición de contorno desde donde aspira la bomba. [4]

Bombas Principales (Planillas CNE2xx-xxxx)

Este subsistema se encarga de presurizar el fluido para su ingreso a los generadores de vapor. Está constituido fundamentalmente por 3 bombas y sus respectivas válvulas. Cada una de estas bombas opera con el 50% del caudal de ingreso a los generadores de vapor. Normalmente operan 2 de ellas, permitiendo tener a la tercera en disponibilidad para el caso de falla de una de las dos anteriores. [2,7]

- POUTA(CNE204-xxxx)
Esta cañería conduce el fluido desde la salida de la bomba P102A hasta donde se une con la salida de la bomba P102B. [7]

- POUTB(CNE208-xxxx)
Esta cañería conduce el fluido desde la salida de la bomba P102B hasta la tee donde se une con la salida de la bomba P102A. [7]

- POUTAB(CNE209-xxxx)
Representa a la cañería que va desde la tee donde se unen las salidas de las bombas P102A y P102B, hasta la tee donde ingresa la salida de la bomba P102C. No posee accesorios y es simplemente un caño de 8935 mm de largo y 700 mm de diámetro. [7]

- POUTC(CNE213-xxxx)
Esta cañería conduce el fluido desde la salida de la bomba P102C hasta el colector de descarga de las tres bombas. [7]

- BFW(CNE214-xxxx)
Representa al colector que recibe la descarga de las tres bombas P102 A, B y C, y del cual salen las 4 cañerías de entrada a los generadores de vapor. [7]

Alimentación a los Generadores de Vapor (Planillas CNE3xx-xxxx)

Este subsistema tiene como misión conducir el agua a los generadores de vapor, regulando el caudal de ingreso a los mismos mediante válvulas de control de nivel (LCV, level control valve). Solo se modeló una LCV del 100 % de potencia. La indicación de # se reemplaza por el número de GV. En el listado de componentes el primer paréntesis pertenece al GV1 y así sucesivamente hasta el último para el GV4. [2]

- PINL#(CNE301-xxxx)(CNE325-xxxx)(CNE350-xxxx)(CNE375-xxxx)
Línea de entrada a cada generador de vapor. La misma va desde el colector de las bombas P102 hasta la válvula para control de nivel de líquido en cada generador de vapor. [7]

- LCV#C1(CNE304-xxxx)(CNE328-xxxx)(CNE353-xxxx)(CNE378-xxxx)

Cañería que contiene los accesorios y válvulas para la aislación de la válvula de control de nivel de cada generador de vapor. [3,7]

•PGVIN#(CNE305-xxxx)(CNE329-xxxx)(CNE354-xxxx)(CNE379-xxxx)

Representa la cañería que va desde la válvula de control de nivel hasta la entrada a cada generador de vapor. [7-11]

Generadores de Vapor (Planillas CNE4xx-xxxx)

Para simular el lado secundario de los generadores de vapor se usó un modelo ya desarrollado y suministrado por Núcleo Eléctrica Argentina Sociedad Anónima (NASA). En # debe reemplazarse el número de GV. [12]

Sus principales componentes son:

•GV#PREH

Este componente tiene como función calentar el fluido hasta la temperatura de saturación.

•GV#RIS1, GV#RIS2, GV#RIS3, GV#RIS4, GV#RIS5

En estos volúmenes el fluido pierde densidad y se va transformando en vapor, aumentando su entalpía. Existen dos procesos en este mismo volumen, uno por el cual el fluido evapora libremente, y el segundo en el cual el fluido en fase vapor se acelera y empuja al líquido, que desborda y cae por el *Downcomer*, aumentando así la circulación y con ello el coeficiente de transferencia.

•GV#DC01, GV#DC02, GV#DC03, GV#DC04

La función de este componente es la de conducir por circulación natural al líquido nuevamente a la base del *Riser*.

•GV#SEPA

Este componente (Separador) simula la acción de los ciclones que se encargan de separar la humedad del vapor que proviene del *Riser*, dirigiendo el vapor hacia el domo y el líquido hacia el *Downcomer* para que inicie el ciclo nuevamente.

•GV#DOMO

El domo tiene como función la de coleccionar y encausar el vapor hacia la descarga del generador de vapor.

Descarga de vapor de los Generadores de Vapor (Planillas CNE5xx-xxxx)

Este subsistema tiene como misión coleccionar el vapor de los cuatro generadores de vapor y llevarlos hacia el SBH. La indicación de # se reemplaza por el número de GV. [2]

•POUTB#(CNE501-xxxx)(CNE525-xxxx)(CNE551-xxxx)(CNE575-xxxx)

Esta cañería es la que conduce el vapor desde el domo de cada generador de vapor hasta el punto donde se ubican las válvulas de seguridad y de descarga a la atmósfera (MSSVs y ASDVs, respectivamente). [3,13]

•PINBH#(CNE502-xxxx)(CNE526-xxxx)(CNE552-xxxx)(CNE576-xxxx)

Esta cañería es la que conduce el vapor desde el punto donde se ubican las ASDVs y MSSVs hasta el *steam balance header* (SBH).

Descarga a la Turbina y al Condensador (Planillas CNE6xx-xxxx)

Este subsistema se encarga de coleccionar el vapor proveniente de los cuatro generadores de vapor y conducirlo hacia la turbina o el condensador. [2]

•SBH(CNE601-xxxx)

Este componente es parte del *Steam Balance Header*, cañería en la que se igualan las presiones y entalpías del vapor proveniente de cada generador de vapor, para uniformar su ingreso a la turbina de alta presión. [14]

•POUTA1(CNE602-xxxx)

Parte del *Steam Balance Header* desde el cual el vapor se dirige hacia la turbina de alta presión y la tee de entrada a la válvula 1 de dicha turbina. [14]

•POUTA2(CNE603-xxxx)

Representa la tee de entrada a la válvula 2 de la turbina de alta presión. [14]

•POUTA3(CNE604-xxxx)

Representa la tee de entrada de las válvulas 3 y 4 de la turbina de alta presión. [14]

•POUTDC1(CNE605-xxxx)

Parte del *Steam Balance Header* que conduce al vapor hacia las CSDVs siendo éstas controladas por el programa BPC. Incluye la tee de entrada a la válvula CSDV1. [14]

•POUTDC2(CNE606-xxxx)

Representa la tee de entrada a la válvula CSDV2 y CSDV3. [14]

•CSDV1(CNE607-xxxx)

Representa la mitad de la cañería donde se encuentran las válvulas de descarga al condensador y tiene un área de pasaje equivalente al doble del área de la cañería. Primer grupo de 4 válvulas.

•CSDV2(CNE608-xxxx)

Es igual al volumen CSDV1.

•CSDV3(CNE609-xxxx)

Es igual al volumen CSDV1.

•PINT1(CNE610-xxxx)

Representa la cañería que va desde la tee de salida del POUTA1 hasta la válvula de no retorno de la turbina de alta presión. [15]

•PINT2(CNE611-xxxx)

Representa la cañería que va desde la tee de salida del POUTA2 hasta la válvula de no retorno de la turbina de alta presión. [15]

•PINT3(CNE612-xxxx)

Representa la cañería que va desde la tee de salida del POUTA3 hasta la válvula de no retorno de la turbina de alta presión. [15]

•PINT4(CNE613-xxxx)

Representa la cañería que va desde la tee de salida del POUTA4 hasta la válvula de no retorno de la turbina de alta presión. [15]

•VDTA1(CNE614-xxxx)

Representa la cañería que va desde la válvula de no retorno (salida de PINT1) hasta la válvula 1 de admisión a la turbina de alta. [15]

•VDTA2(CNE615-xxxx)

Representa la cañería que va desde la válvula de no retorno (salida de PINT2) hasta la válvula 2 de admisión a la turbina de alta. [15]

•VDTA3(CNE616-xxxx)

Representa la cañería que va desde la válvula de no retorno (salida de PINT3) hasta la válvula 3 de admisión a la turbina de alta. [15]

•VDTA4(CNE617-xxxx)

Representa la cañería que va desde la válvula de no retorno (salida de PINT4) hasta la válvula 4 de admisión a la turbina de alta. [15]

Modelos de control de sistemas para el Sistema Secundario (Planillas NE7xx-xxxx)

Los modelos de control de sistemas del Sistema Secundario incluyen: el BLC (Programa de control de Nivel de los Generadores de Vapor), el BPC (Programa de control de presión de los Generadores de Vapor) y una serie de controles sobre el funcionamiento y operación de distintos equipos.

Control de equipos

Dentro de éstos se incluyen:

- El control de las bombas de alimentación (Principales y auxiliar)
- El control de los precalentadores
- Las tablas de posición del vástago vs apertura de las LCVs.

El control de las bombas contiene las curvas características de cada bomba: curva de altura en función del caudal, curva de parada en función del tiempo, y curva de arranque en función del tiempo. Estas tres curvas se convirtieron en polinomios de grado 4. A su vez se diseñó un modelo de control que tiene en cuenta la pérdida de clase IV apagando las bombas principales y encendiendo las bombas de auxiliares.

Programa BLC

Este programa se encarga del control de nivel de los generadores de vapor. Para cumplir este fin el modelo simula señales de medición de nivel de rango angosto y medio, tomados directamente en el generador de vapor, y en función de la potencia del reactor determina el nivel deseado.

Existen 6 términos para determinar primero el caudal deseado, siendo éstos los siguientes. [16]

COMP (Término proporcional en función del error de nivel)

Este término multiplica una ganancia por el error de nivel.

CONIB (Término integral en función del error de nivel)

Este término tiene en cuenta el error de nivel integrado en un lapso de 20 segundos.

WSF (Término de balance de masas)

Este término tiene en cuenta la masa que entra y sale de cada generador de vapor.

RPT (Término relacionado con la potencia del reactor)

Este término tiene en cuenta la potencia del reactor corregida por la temperatura de entrada a los generadores de vapor.

PRN (Término relacionado con la expansión o contracción de la masa de líquido de cada GV)

Este término tiene en cuenta las variaciones de potencia absorbida por los generadores de vapor. En la CNE este término no es tenido en cuenta para el control de nivel.

PD (Término relacionado con la presión en los GV)

Este término tiene en cuenta las variaciones de presión producidas en los generadores de vapor. En la CNE este término no es tenido en cuenta para el control de nivel.

Con la suma de estos 6 términos el programa BLC determina el caudal deseado y con éste, usando una correlación para la posición del vástago en función del caudal, determina la posición del vástago para cada válvula de control de nivel.

Programa BPC

El programa BPC efectúa el control de presión del sistema secundario, regulando la presión en el domo de los generadores de vapor al nivel de operación, aproximadamente 46,89 kg/cm² con respecto a la atmosférica. Para ello el BPC controla dos conjuntos de válvulas (ASDVs y CSDVs) ordenando su apertura en función del error de presión. Para definir cuál de estos dos conjuntos actúa primero el BPC tiene tres modos de operación: *warm-up*, *cool-down* y *hold*. En el modo *warm-up* y *hold* usa primero las ASDVs, mientras que en *cool-down* usa primero las CSDVs. [17]

Condiciones de contorno (Planillas CNE8xx-xxxx)

(CNE801) Condensador de sellos.

(CNE802) Inyección del condensado de los Precalentadores E101 y E102.

(CNE803) Aspiración de la bomba del Sistema de Alimentación Auxiliar.

(CNE804) Descarga a la atmósfera de las MSSVs.

(CNE805) Turbina de alta presión.

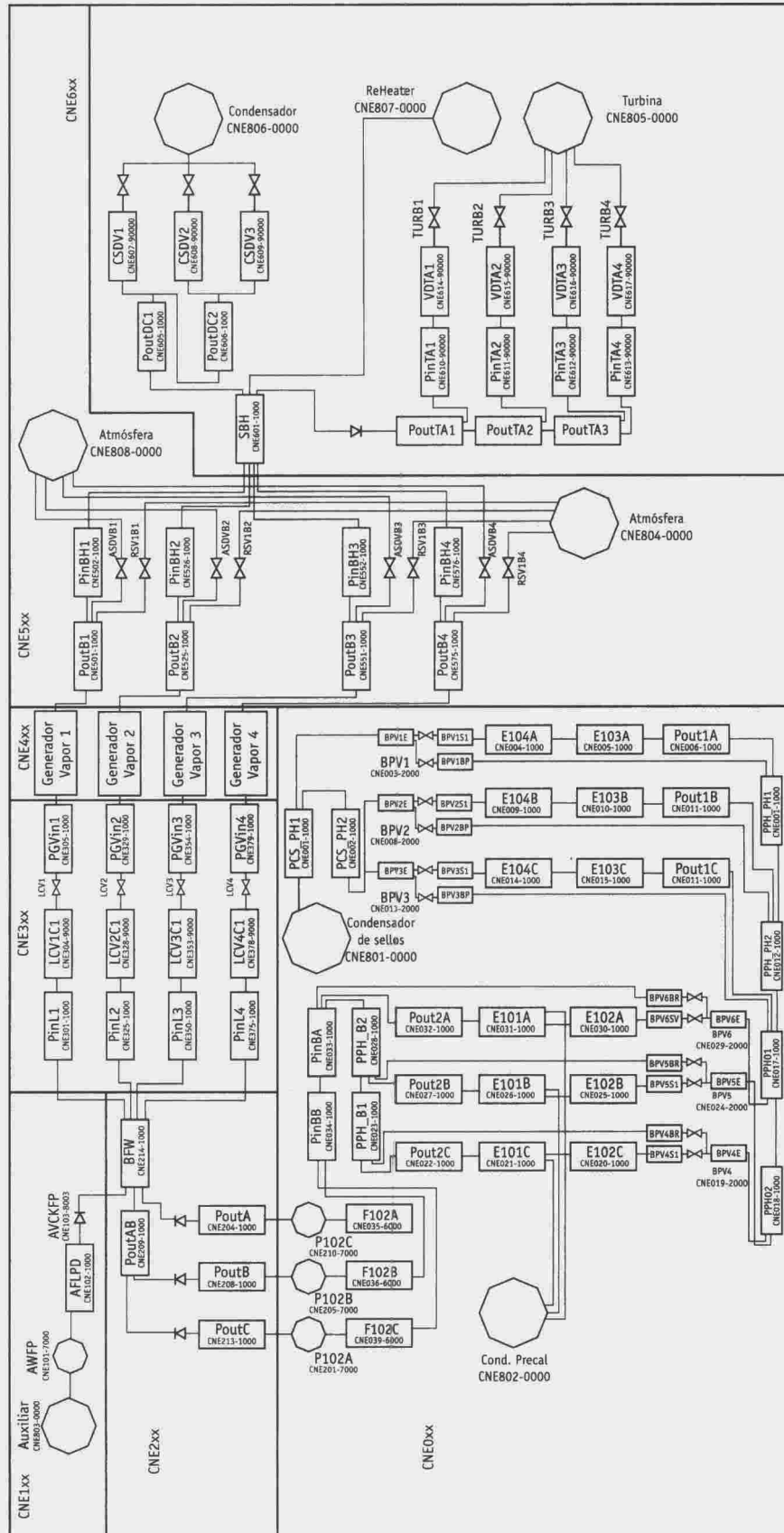
(CNE806) Descarga al condensador de las CSDVs.

(CNE807) Descarga al recalentador - separador de humedad.

(CNE808) Descarga a la atmósfera de las ASDVs.

El modelo elaborado puede observarse en la figura 1, donde se encuentra representado todo el Sistema Secundario. Seguidamente aparecen las tablas con los parámetros geométricos de cada componente. Los parámetros geométricos y los cálculos correspondientes a los generadores de vapor han sido provistos por Nucleoeléctrica Argentina S.A. [12]

Figura 1 Nodalización del Sistema Secundario de la CNE



Resultados

Condiciones Nominales de Operación del Sistema Secundario de la Central Nuclear Embalse

El análisis del comportamiento del modelo se realizó basándose en un protocolo de la CNE del mes de agosto del año 1998. [6]

Datos relevados del sistema secundario:

•Caudal másico a la salida del condensador	751,66 kg/s.
•Temperatura del líquido a la salida del condensador	31,87 °C.
•Presión a la salida del condensador de sellos	22,486 kg/cm ² (g).
•Temperatura entre los grupos de precalentadores	87,95 °C.
•Caudal másico a la entrada de las bombas P102	946,67 kg/s.
•Temperatura a la entrada de las bombas P102	158,46 °C.
•Presión en el colector de descarga de las bombas P102	63,71 kg/cm ² (g).
•Nivel de líquido en el generador de vapor 1	1068,7 mm.
•Nivel de líquido en el generador de vapor 2	1093,0 mm.
•Nivel de líquido en el generador de vapor 3	1068,5 mm.
•Nivel de líquido en el generador de vapor 4	1063,7 mm.
•Presión en Steam Balance Header	46,89 kg/cm ² .
•Apertura de las válvulas de ingreso a la turbina	53,52 %.
•Caudal másico al recalentador	65,15 kg/s.
•Caudal másico por la bomba P102A	468,19 kg/s.
•Caudal másico por la bomba P102B	520,92 kg/s.
•Caudal másico por la bomba P102C	0,0 kg/s.

Reproducir estos valores del estado estacionario representa el objetivo del modelo. El comienzo de las curvas siguientes se hizo una vez logrado el estado estacionario, tiempo inicial 2000 segundos, y se muestran 50 segundos representativos del mismo, tiempo elegido debido a que se puede observar con claridad cómo evoluciona el modelo.

Caudal másico a la salida del condensador de sellos

El caudal másico a la salida del condensador de sellos (figura 2) se estabiliza en 765 kg/s, valor levemente superior al protocolo de 751 kg/s. Esto se debe a que el modelo del Sistema Primario acoplado tiene una potencia aproximadamente un 3% superior a la del protocolo de la CNE. De acuerdo a lo dicho se espera que todos los caudales del Sistema Secundario sean superiores a los del protocolo de planta. A pesar de ello el modelo representa en razonables condiciones al Sistema Secundario de la CNE como se verá en los gráficos sucesivos.

Temperatura del líquido a la salida del condensador de sellos

La temperatura del líquido a la salida del condensador es una condición de contorno que se mantiene a 31,87°C.

Presión a la salida del condensador de sellos

También la presión a la salida del condensador de sellos se consideró una condición de contorno, usando para ello la presión a la entrada de los precalentadores tomada del protocolo de 22,48 kg/cm²(g).

Temperatura entre los grupos de precalentadores E103-E104 y los grupos E102-E101

La temperatura entre los precalentadores E103 y los precalentadores E102 (figura 3) se encuentra en promedio dentro de los 84°C y los 85°C, siendo el valor del protocolo (87,95 °C). Este valor es inferior al protocolo debido principalmente, al caudal que pasa por los precalentadores, que como se indicó anteriormente, es superior al del protocolo de la CNE.

Caudal másico a la entrada de las bombas P102

En este caso (figura 4) el caudal aspirado por las bombas es 1000 kg/s que resulta superior al del protocolo (946 kg/s), encontrándose dentro de los valores esperados de acuerdo a lo enunciado precedentemente en referencia con el sistema primario.

Temperatura a la entrada de las bombas P102

La temperatura a la entrada de las bombas se encuentra con una tendencia hacia los 157°C. Por protocolo esta temperatura es de 158°C, y por diseño se encuentra en 159,6°C (figura 5). Valores aceptables de acuerdo a lo enunciado con referencia a los caudales.

Presión en el colector de descarga de las bombas P102

La presión a la descarga de las bombas P102 del modelo se encuentra dentro de los parámetros esperados con una tendencia a los 62,5 kg/cm²(g), el valor del protocolo es 63,71 kg/cm²(g). (Figura 6).

Nivel de líquido en el generador de vapor 1

El control de nivel en los generadores de vapor fue cuidadosamente estudiado para lograr que el generador tienda a estabilizarse en el valor correspondiente a la planta.

Este valor está controlado por el programa BLC y es éste un excelente dato para comprobar el funcionamiento del programa de control.

Se puede observar en la figura 7 que el nivel en los generadores de vapor tiende a 1060 mm, medidos desde la boca inferior de los separadores, valor que corresponde al valor de referencia del programa para el 100% de potencia.

Nivel de líquido en el generador de vapor 2

Al igual que en el generador de vapor 1 en este generador de vapor el comportamiento del nivel se encuentra dentro de los valores del protocolo de planta. (Figura 7).

Nivel de líquido en el generador de vapor 3

Al igual que en el generador de vapor 1 en este generador de vapor el comportamiento del nivel se encuentra dentro de los valores del protocolo de planta. (Figura 7).

Nivel de líquido en el generador de vapor 4

Al igual que en el generador de vapor 1 en este generador de vapor el comportamiento del nivel se encuentra dentro de los valores del protocolo de planta. (Figura 7).

Presión en SBH

La presión en el SBH es un dato importante de planta dado que éste define la presión en los generadores de vapor (Es el lugar donde se igualan las presiones de los cuatro generadores de vapor).

Este parámetro está controlado por el programa BPC y éste es un excelente dato para comprobar el funcionamiento del programa.

El BPC hace un control muy fino de este valor, hecho que se ve en su estabilidad, que se encuentra acotado a los 46,90 kg/cm² tomados en el domo de cada generador de vapor. En la figura 11 se observa que se encuentra en valores acordes con el protocolo de planta.

Apertura de las válvulas de ingreso a la turbina

En la figura 12 se puede ver el comportamiento en el modelo de la válvula de turbina. Se encuentra que su comportamiento es estable y aceptable.

Caudal másico al recalentador-separador de humedad

A este parámetro el modelo lo calcula como un caudal asociado a una condición de contorno, teniendo en cuenta la diferencia de presiones entre el SBH y la presión en el recalentador obtenida del protocolo (ver figura 13) cuyo comportamiento se encuentra estable y en los valores de planta.

Caudal másico por cada bomba P102

En el modelo este caudal es levemente superior al esperado por lo enunciado precedentemente con respecto a los caudales

El caudal por la bomba P102C es nulo debido a que esta bomba se encuentra en disponibilidad para cubrir una falla de alguna de las otras dos. En cuanto a los caudales de las bombas P102A, figura 14, y P102B, figura 15, se observa que los mismos se encuentran de acuerdo a los valores del protocolo de planta.

Análisis comparativo entre el modelo y los valores medidos en los protocolos de planta de la CNE

A partir de las figuras y de los datos de la Tabla 1 puede verse que el modelo representa razonablemente bien a la Central Nuclear Embalse.

En la Tabla 1 se observa que las presiones y el nivel en los generadores de vapor en el modelo se mantienen dentro de valores aceptables de acuerdo al protocolo de planta. Como era de esperarse, los caudales son levemente superiores y, consecuentemente, las temperaturas inferiores, debido principalmente a lo enunciado respecto del Sistema Primario.

En líneas generales puede verse que el modelo propuesto del Sistema Secundario de la CNE representa razonablemente bien en el estado estacionario a la planta sobre la base de su comparación con el protocolo propuesto.

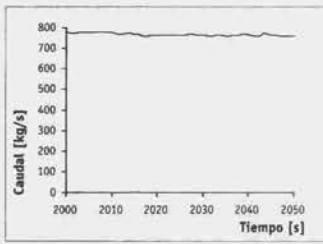


Figura 2 Caudal másico a la salida PCS_PH1 final

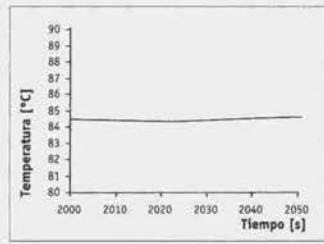


Figura 3 Temperatura en PPH01 final

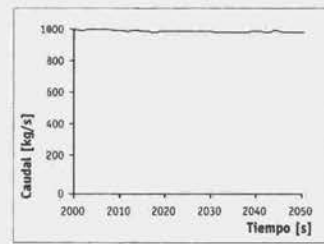


Figura 4 Caudal aspirado por las bombas P102 final

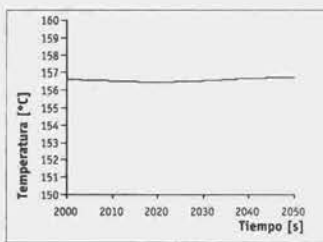


Figura 5 Temp. a la salida de PINBA final

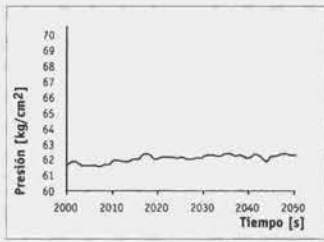


Figura 6 Presión en BFW final

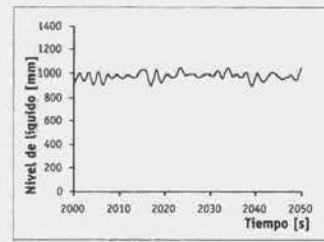


Figura 7 Nivel de líquido en el GV final

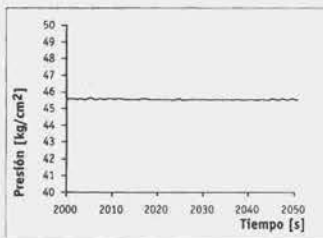


Figura 8 Presión en el SBH final

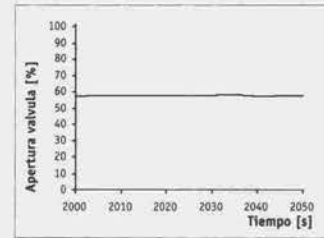


Figura 9 Apertura válvula a la turbina final

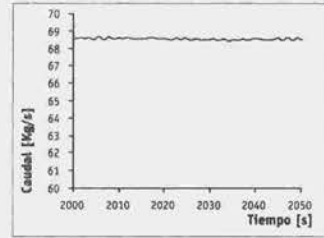


Figura 10 Caudal al recalén. sep. de humedad final

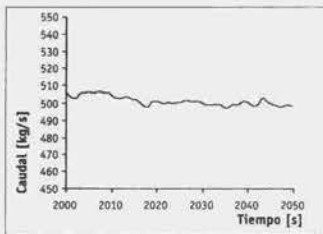


Figura 11 Caudal por la bomba P102A

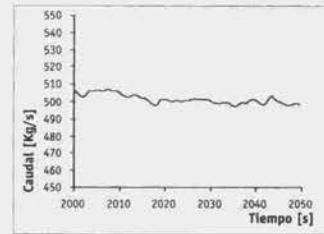


Figura 12 Caudal por la Bomba P102B

Tabla 1 Comparación entre variables del modelo y del protocolo de planta de la CNE

	CNE	MODELO	DIFERENCIA
Caudal másico a la salida del condensador de sellos	751,667 kg/s	760,620 kg/s	1,2%
Temperatura de líquido a la salida del condensador	31,870 °C	31,850 °C	-0,1%
Presión a la salida del condensador de sellos	22,486 kg/cm ²	22,446 kg/cm ²	-0,2%
Temperatura entre grupos de precalentadores E103-E104 y los grupos E102-E101	87,950 °C	84,430 °C	-4,0%
Caudal másico a la entrada de las bombas P102	946,669 kg/s	997,410 kg/s	5,4%
Temperatura a la entrada de las bombas P102	158,460 °C	156,800 °C	-1,0%
Presión en el colector de descarga de las bombas P102	63,710 kg/cm ²	62,332 kg/cm ²	-2,2%
Nivel de líquido del generador de vapor 1	1068,7 mm	1043,1 mm	-2,4%
Nivel de líquido del generador de vapor 2	1093,0 mm	1013,5 mm	-7,3%
Nivel de líquido del generador de vapor 3	1068,5 mm	1042,1 mm	-2,5%
Nivel de líquido del generador de vapor 4	1063,7 mm	1051,1 mm	-1,2%
Presión en el SBH	46,890 kg/cm ²	46,365 kg/cm ²	-1,1%
Caudal másico al recalentador separador de humedad	65,153 kg/s	68,400 kg/s	5,0%
Caudal másico por las bomba P102A	468,194 kg/s	498,650 kg/s	6,5%
Caudal másico por las bomba P102B	520,917 kg/s	498,650 kg/s	-4,3%
Caudal másico por las bomba P102C	0,000 kg/s	0,000 kg/s	0,0%
Apertura de la válvula de admisión a la turbina	53,52 %	57,68 %	5,2%

Referencias

- 1 T. G. BEUTHE, B. N. HANNA (1998) CATHENA MOD-3.5b/Rev 0 Theoretical Manual – AECL – COG-93-140-V3-R1 – 1998.
- 2 E. A. NAJERA (1984) Sistemas de la Parte Convencional. Central Nuclear Embalse.
- 3 AECL (1987) Sistema de Vapor y Agua de Alimentación 36100 Control de Nivel 63620 Control de Presión 63614 - 4 DM 18-36100/63620-/63614 Rev 4 – CNE.
- 4 ITALIMPIANTI (1977) – Sistema Acqua Alimento, 1ª Parte, Assonometria. 2407-W51053-H.
- 5 ITALIMPIANTI (1977) Sistema Acqua Alimento, 2ª Parte, Assonometria. - 2407-W51012-H
- 6 CENTRAL NUCLEAR EMBALSE (1998) Protocolo de Planta.
- 7 ITALIMPIANTI (1976) Sistemazione Tubazioni Acqua Alimento AP, Assonometria -2407-W51034-H.
- 8 AECL (1976) Sistema del Agua de Alimentacion de los Generadores de Vapor, Disposicion de Tuberías. 18-43230-3-1-GA-E-Rev 8.
- 9 AECL (1976) Sistema del Agua de Alimentacion de los Generadores de Vapor, Disposicion de Tuberías. 18-43230-6-1-GA-E Rev 2 -
- 10 AECL (1979) Sistema del Agua de Alimentacion de los Generadores de Vapor, Disposicion de Tuberías.18-43230-5-1-GA-E-Rev 2.
- 11 AECL (1979) Sistema del Agua de Alimentacion de los Generadores de Vapor, Disposicion de Tuberías.18-43230-4-1-GA-E-Rev 5.
- 12 NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA SOCIEDAD ANÓNIMA, Datos Suministrados en el marco del CP-RCN-AII-01/02 (Sistema Primario de Transporte de Calor y Generadores de vapor NASA)
- 13 AECL (1980) Planos 36140-s1/s2/s3/s4/s6/s7/s8/s9/s10/s11/ s12/ s13/s14/s15/s16/s17/s18/s19/s20 36110-s1/s2/s3/s4/ s5 18-36100-12-1-GA-E Rev 9 18-36100-11-1-GA-E-Rev 5 18-36100-6-1-GA-E-Rev 4.
- 14AECL (1978) Colector del Vapor 0105 - 41119-5001-01-DD .
- 15 ITALIMPIANTI (1977) - Planos 2407-41119-W56306-A1 Rev B, 2407-41119-W56307-A1-Rev C, 2407-41119-W56308-A1-Rev B, 2407-41119-W56309-A1-Rev C. –
- 16 A. H. Catharll (2002) Program Specitication Steam Generator Level Control. 18-66556-202-PS-Rev 10 -

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN HARDWARE PARA APLICACIÓN EN DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FULGURACIONES SOLARES

F. Tanco, C. Verraastro, D. Grimberg, J. Roitman.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Grupo de Investigación de Inteligencia Artificial (GIA),
Medrano 951 (1179) Buenos Aires, República Argentina.
E-mail: fer_tanco@yahoo.com.ar.

Resumen.

El presente trabajo describe y compara dos modelos de neuronas artificiales para implementar redes neuronales mediante circuitos digitales (hardware) aplicadas a la detección automática de fulguraciones solares. Dicha implementación se materializa sobre dispositivos de lógica programable o FPGA (Field Programmable Gate Arrays) las cuales tienen la capacidad de ser reprogramables, permitiéndole flexibilidad al diseño y la posibilidad de crear varios tipos de topología de redes neuronales.

El primer modelo está basado en la multiplicación paralela de números binarios y usa funciones de activación genéricas, mientras que el segundo modelo está basado en la codificación serial de los datos mediante flujos de datos (bit-streams) y restringe las funciones activación a escalones.

Abstract.

The present paper describes and compares two models of artificial neurons used in hardwired neural networks applied to automatic solar flare detection. Such implementation is done over programmable logic devices or FPGA (Field Programmable Gate Arrays) which have reconfiguration capability, adding flexibility to the design. The first model is based on parallel multiplication of binary numbers and uses generic activation functions, while the second model is based on data serial codification with bit streams and restricts the activation functions to binary thresholds.

Introducción a las Redes Neuronales Artificiales

Basados en la eficiencia de los procesos llevados a cabo por el cerebro e inspirados en su funcionamiento, varios investigadores han desarrollado desde hace más de 30 años la teoría de las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las RNA emulan las redes de neuronas biológicas y se han utilizado para aprender estrategias de solución basadas en ejemplos de comportamiento típico; estos sistemas no requieren que la tarea a ejecutar se programe, sino que generalizan y aprenden de la experiencia. Este proceso de aprendizaje puede ser supervisado o no supervisado usando un conjunto de datos de entrenamiento (patrones), Gonzalez Hilerá (1995).

La teoría de las RNA ha brindado una alternativa a la computación clásica, para aquellos problemas en los cuales los métodos tradicionales no han entregado resultados muy convincentes. Las aplicaciones más exitosas de las RNA (Looney, 1997) son:

- Procesamiento de imágenes y de voz
- Reconocimiento de patrones
- Planeamiento
- Interfaces adaptativas para sistemas hombre/máquina
- Predicción
- Control y optimización
- Filtrado de señales

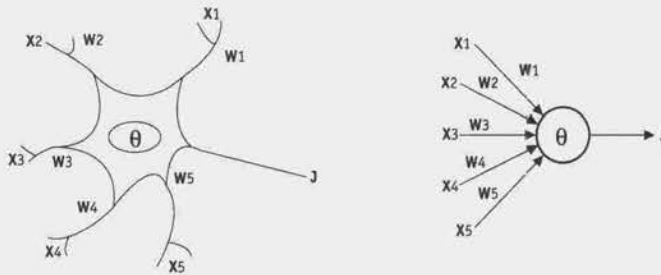
Los sistemas de cómputo tradicional procesan la información en forma secuencial. Una computadora consiste por lo general en un solo procesador que puede manipular instrucciones y datos que se localizan en la memoria. El procesador lee, y ejecuta una a una las instrucciones en la memoria; este sistema es secuencial, todo sucede en una sola secuencia determinística de operaciones. Las RNA no ejecutan instrucciones, responden en paralelo a las entradas que se les presenta. El resultado no se almacena en una posición de memoria, es el estado de la red para el cual se logra equilibrio. El conocimiento de una red neuronal no se almacena en instrucciones, el poder de la red está en su topología y en los valores de las conexiones (pesos) entre neuronas.

Las ventajas de las redes neuronales son:

- *Aprendizaje adaptativo.* Capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o una experiencia inicial.
- *Auto organización.* Una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante una etapa de aprendizaje.
- *Generalización.* Facultad de las redes neuronales de responder apropiadamente cuando se les presentan datos o situaciones a los que no habían sido expuestas anteriormente.
- *Tolerancia a fallos.* La destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo gran daño. Con respecto a los datos, las redes neuronales pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos.
- *Operación en tiempo real.* Los cómputos neuronales pueden ser realizados en paralelo, y se diseñan y fabrican máquinas con hardware especial para obtener esta capacidad.
- *Fácil inserción dentro de la tecnología existente.* Se pueden realizar chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilita la integración modular en los sistemas existentes.

Existen varias formas de nombrar una neurona artificial: es conocida como nodo, neuronodo, celda, unidad o elemento de procesamiento (PE, proviniendo de las siglas en inglés). En la Figura 1 se observa un PE en forma general y su similitud con una neurona biológica.

Figura 1. Neurona biológica y neurona artificial.



De la observación detallada del proceso biológico se han concebido los siguientes análogos en el sistema artificial:

- Las entradas X_j representan las señales que provienen de otras neuronas y que son capturadas por las dendritas.
- Los pesos W_j son la intensidad de la sinapsis que conecta dos neuronas, tanto X_i como W_i son valores reales.
- θ es la función umbral que la neurona debe superar para activarse, este proceso ocurre biológicamente en el cuerpo de la célula.

En este esquema las señales de entrada a una neurona artificial X_1, X_2, \dots, X_n son variables continuas en lugar de pulsos discretos, como se presentan en una neurona biológica. Cada señal de entrada pasa a través de una ganancia o peso, llamado peso sináptico o fortaleza de la conexión cuya función es análoga a la de la función sináptica de la neurona biológica. Los pesos pueden ser positivos (excitatorios), o negativos (inhibitorios), el nodo sumatorio acumula todas las señales de entradas ponderadas (multiplicadas por los pesos) y las pasa a la salida a través de una función umbral o función de transferencia. La entrada neta a cada unidad (Tanco, 2003) puede escribirse de la siguiente manera:

$$neta_i = \sum_{j=1}^n W_j X_j = \vec{X} \vec{W}$$

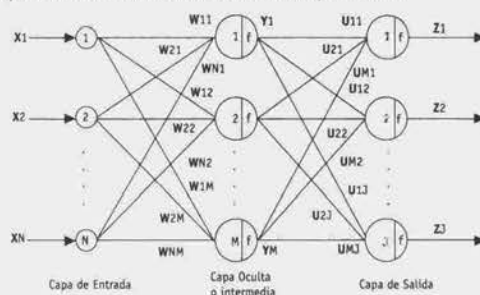
Una vez que se ha calculado la activación del nodo, el valor de salida equivale a

$$J_i = \theta_i(neta_i)$$

Donde θ representa la función de activación para esa unidad, que corresponde a la función escogida para transformar la entrada $neta_i$ en el valor de salida y que depende de las características específicas de cada red.

La agrupación de varias neuronas conectadas entre sí forma una red neuronal. Existen varias arquitecturas o topologías de interconexión, cada una de ellas con un algoritmo de aprendizaje propio. Las redes FANN (feedforward artificial neural networks) (Figura 2): tienen una capa de entrada de nodos, que no son neuronas artificiales y sólo distribuyen cada entrada en cada neurona de la segunda capa (nodos de bifurcación); una segunda capa de neuronas (capa oculta o intermedia) y una tercera capa de neuronas de salida (capa de salida).

Figura 2. Esquema de la arquitectura de una red neuronal tipo FANN.



Esta arquitectura de dos capas de neuronas es capaz de realizar clasificaciones no lineales tan precisas como se desee. Las redes neuronales han demostrado ser un excelente instrumento para el reconocimiento y clasificación de patrones en imágenes. No obstante, es importante mencionar que gran parte de su habilidad se basa en una buena determinación (a priori) de los parámetros relevantes que identifican el patrón. Un conjunto de parámetros (vector de entrada) mal definido o incompleto imposibilita a la red realizar su tarea en forma correcta. Por otra parte, un conjunto de parámetros sobredimensionado incrementa el número de neuronodos para la clasificación y, consecuentemente, los tiempos de procesamiento, por lo tanto gran parte de la eficiencia de una red está en la correcta definición del problema, en los métodos de entrenamiento y en el conjunto de entrenamiento usado.

Introducción al problema de reconocimiento de imágenes solares.

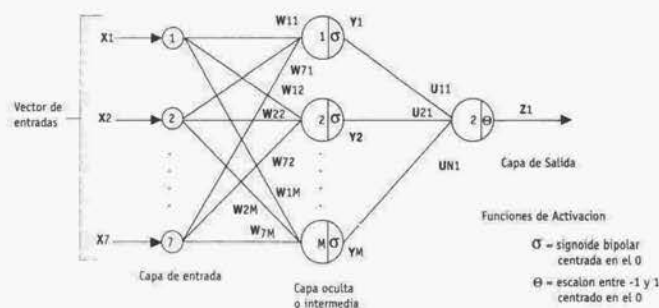
En Fernández Borda y colaboradores (2002) se describe un software, basado en RNA, para la detección automática de las fulguraciones solares observadas con el telescopio HASTA ($H\alpha$ Solar Telescope for Argentina) localizado en El Leoncito, San Juan. Resolver el problema del reconocimiento de las fulguraciones implica resolver el problema de reconocer ciertos patrones en las imágenes del HASTA, que un observador humano puede realizar sin mucha dificultad. No obstante, los procesos de clasificación realizados por el hombre suelen ser muy complejos y dependen fuertemente de la apreciación personal. La situación se hace más compleja aún, si consideramos que para que el instrumento sea capaz de realizar el reconocimiento, debemos ser capaces de generar un algoritmo que englobe exactamente toda la serie pasos que sigue el cerebro del observador para efectuar la tarea. Los casos, como éste, en los que existe una gran cantidad de datos a clasificar y existe una suficiente cantidad de patrones son donde las RNA poseen una amplia ventaja frente a los algoritmos tradicionales de cómputo secuencial.

Mediante una RNA relativamente sencilla y un conjunto de datos patrones (seleccionados por el experto humano) solo se requiere entrenar la red hasta que la misma reconozca adecuadamente (con un porcentaje de fallos menor a lo requerido). Esto redundará en una optimización del tiempo de desarrollo y de los recursos humanos involucrados y del costo. Todo esto sin detrimento de los resultados que se obtendrán por el método de desarrollo tradicional.

El análisis de imágenes con alta resolución espacial y temporal consume una cantidad de memoria enorme y mucho tiempo de CPU. Por lo tanto, es esencial encontrar un conjunto mínimo de parámetros que contenga toda la información relevante sobre el patrón buscado. Además, otra limitación importante es que estos parámetros deben ser rápida y fácilmente extraíbles de las imágenes sin procesar, ya a que el objetivo final es que la red identifique fulguraciones en tiempo real.

El modelo de la red neuronal usado para el reconocimiento automático de fulguraciones solares implementado en software se observa en la Figura 3.

Figura 3. Esquema de la arquitectura usada en la red neuronal implementada.



La red posee una capa de entrada y dos capas de neuronas, la capa oculta y la de salida. La capa de entrada está compuesta por 7 nodos de distribución dados por el número de parámetros que son suficientes para caracterizar al patrón a clasificar. La capa oculta está formada por 11 neuronas, todas ellas con funciones activación sigmoideas, y la capa de salida posee una sola neurona con una función activación del tipo escalón para clasificar dos clases (fulguración y no-fulguración).

Los parámetros seleccionados como vector de entradas a la red son: (1) intensidad media de la imagen, (2) desviación estándar de la intensidad, (3) diferencia de intensidad máxima entre dos imágenes consecutivas, (4) valor absoluto de la intensidad en el pixel donde se registró la diferencia de intensidad máxima, (5) posición radial de ese mismo pixel, (6) variación del valor de intensidad media entre dos imágenes consecutivas y (7) contraste entre el pixel donde se registró la diferencia de intensidad máxima y sus primeros vecinos. Los primeros cuatro parámetros están orientados a identificar la imagen correspondiente al inicio del evento. El parámetro (5) tiene el objetivo de enseñarle a la red neuronal a tener en cuenta efectos de proyección y oscurecimiento al limbo. El parámetro (6) tiene en cuenta los efectos de las condiciones climáticas en el sitio de observación. El parámetro (7) tiene como objetivo enseñarle a la red neuronal a distinguir las "plages" (zona de brillo intenso en H α de las regiones activas) de las fulguraciones, contribuyendo también a filtrar el efecto de la turbulencia atmosférica.

Se seleccionó un conjunto de 361 eventos, de los cuales el 67% (237 eventos) fue usado para el entrenamiento y el 33% restante fue usado para probar el resultado del aprendizaje. La red fue entrenada con el algoritmo de propagación hacia atrás (backpropagation); el umbral de tolerancia para eventos mal clasificados fue fijado en un 3% durante el entrenamiento de la red. Este umbral se alcanzó sólo después de aproximadamente 103 iteraciones del algoritmo (Figura 4).

La red fue puesta a prueba usando un conjunto de 124 eventos. Después de realizar la propagación directa de todos los eventos de este conjunto, se comprobó que sólo fue mal clasificada una fracción menor al 5%.

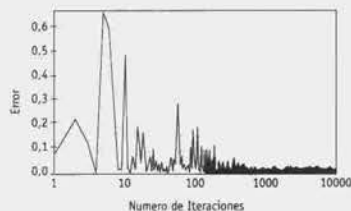


Figura 4. Convergencia del error en función del número de iteraciones.

Implementación de RNA en hardware.

La RNA puede realizarse por software o por hardware. En el primer caso son programas (escritos específicamente para cada aplicación o basados en bibliotecas de programas comerciales) que implementan algoritmos de RNA y en el segundo caso mediante circuitos electrónicos digitales.

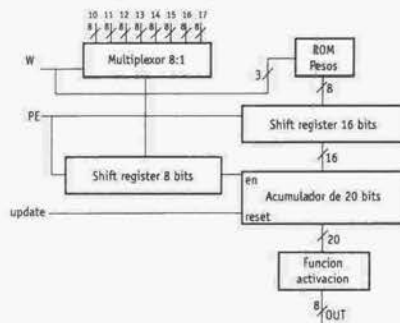
Uno de los mayores inconvenientes para la implementación en hardware de redes neuronales es la cantidad de lógica necesaria para realizar la multiplicación de cada entrada por su correspondiente peso y las subsecuentes adiciones. Como vimos, el modelo matemático de una neurona puede expresarse de la siguiente manera:

Donde x_i son las señales de entrada, w_{ij} los pesos y a_i la función de activación.

Se optó primero por modelar la neurona a través de una arquitectura de multiplicación en paralelo o

tipo “shift and add” (Salapura, 1994). En la Figura 5 se observa una unidad neurona con 8 entradas, cada una de las cuales acepta valores numéricos de 8 bits.

Figura 5. Modelo de neurona con arquitectura paralela.



Cada unidad realiza la multiplicación de cada peso (8 bits signed) por su correspondiente entrada (8 bits unsigned) formando un producto de 16 bits signed. Los ocho productos son acumulados en un resultado de 20 bits (es la suma de productos). El resultado final se obtiene aplicándole una función de activación arbitraria a la salida del acumulador; este proceso escala el resultado intermedio a un valor de salida de 8 bits. El multiplexor selecciona cada una de las entradas de la neurona y la envía a un shift register de ocho bits con salida serie del bit menos significativo (shift right), el cual controla la habilitación del acumulador. Los pesos están almacenados en una look-up table de 8 bytes, uno para cada entrada y pasan a un shift register de 16 bits (salida paralela) que se encarga tanto de completar el byte más significativo con el bit de signo como de desplazar los valores hacia la izquierda. El acumulador se encarga de ir haciendo solo las sumas de los pesos desplazados según sea la señal de habilitación, la cual estará controlada por los ‘1’ provenientes del valor de entrada.

Después de ocho ciclos de reloj se procesa la primera multiplicación, y después de 64 ciclos se procesa la sumatoria de los ocho productos. Luego se aplica a este resultado la función de activación almacenada en una look-up table de 256 bytes. Este último proceso escala el resultado intermedio de 20 bits a un valor de salida de 8 bits unsigned, el cual ya está listo para ser introducido a la entrada de otra neurona.

Este modelo fue sintetizado en un dispositivo de lógica programable o FPGA tipo 4010XL de Xilinx Inc. Esta FPGA posee 10.000 compuertas lógicas agrupadas en una matriz de 20x20 CLBs (Configurable Logic Blocks), los cuales proveen los elementos funcionales para la construcción de la lógica del usuario. Los resultados de la síntesis fueron:

- Lógica base sin considerar las look-up tables: 51 CLBs.
- Look-up tables de función activación y pesos: 15 CLBs (264 bytes).
- Consumo total de una neurona: 66 CLBs.

La FPGA posee 400 CLBs, por lo tanto en cada chip solo pueden implementarse 6 neuronas y teniendo en cuenta que la red neuronal de la aplicación de detección de fulguraciones solares usa 12 neuronas (11 en la capa oculta y 1 en la de salida) es evidente que en un solo chip no puede sintetizarse la red entera. Las ventajas de este modelo son:

Las neuronas podrán ser usadas para cualquier modelo de red, desde arquitecturas feed-forward hasta redes recursivas (Hopfield, Kohonen, etc).

Capacidad de reprogramar la FPGA para generar el hardware correspondiente a cada modelo elegido. Debido a que el entrenamiento se realiza por software, no se requiere la implementación en hardware de dicha fase.

La red neuronal será escalable, permitiendo la replicación masiva de neuronas, solo limitada por la capacidad lógica de la FPGA.

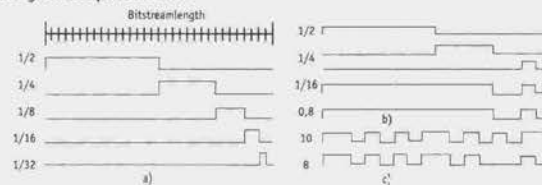
La principal desventaja es el consumo de lógica en la FPGA requerido para modelar una neurona.

Es común en de redes del tipo backpropagation encontrar modelos que tengan más de seis neuronas distribuidas en la capa oculta y de salida. Si tenemos en cuenta que el modelo de la neurona se realiza con la arquitectura de tipo "shift and add", para realizar modelos de redes con más de seis neuronas habría que usar más de una FPGA tipo XC4010XL, y conectarlas entre sí para formar la red neuronal completa.

Se optó entonces por una arquitectura de multiplicación en serie o tipo "bit stream", en la cual tanto los valores de entrada como los pesos son codificados en flujos de datos serie y son multiplicados intersectando las dos señales, este proceso se llama "choppeado digital" (Figura 6), en donde:

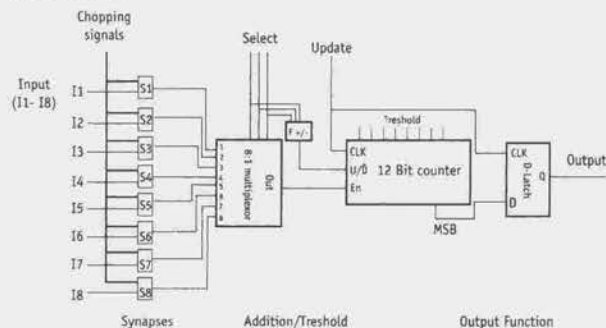
- a) son las señales de choppeo (chopping signals) para un bit stream de longitud 32.
- b) es la representación del valor de un peso (0.8) por la combinación de las señales anteriores
- c) es la multiplicación de un valor de entrada por un peso haciendo la intersección de las dos señales.

Figura 6. Señales de choppeado y multiplicación.



El modelo de la neurona puede verse en la Figura 7, las entradas y los pesos se multiplican intersectándolos bit a bit y las señales post sinápticas son acumuladas en el contador de 12 bits, dicha acumulación se realiza por multiplexión de tiempo (multiplexor 8:1) para reducir la complejidad del hardware.

Figura 7. Modelo de neurona "bit stream".



Los valores de entrada son codificados en bit streams el rango [0, 1] al igual que las chopping signals. Una función signo ($F+/-$) determina si una entrada específica es inhibida o activada simulando las sinapsis inhibitorias o excitatorias. El contador es usado también para generar el umbral (threshold) de la función activación, cuando el valor acumulado es mayor al umbral, el bit más significativo del contador se pone a 1 y es almacenado en el latch, listo para ser transferido a las neuronas de la siguiente capa.

Para un bit stream de 256 bits de largo, la acumulación de las señales post-sinápticas requiere 8 ciclos de reloj (un ciclo por cada canal de entrada) y un nuevo ciclo de cómputo empieza cada 2048 ciclos de reloj. Esta condición está controlada por un contador global que distribuye esta señal (update) a todas las neuronas de la red. Cuando la neurona recibe la señal de update, latchea su salida y recarga el contador con el umbral para empezar un nuevo ciclo de cómputo.

Cabe destacar que en este modelo de neurona la función activación es del tipo escalón cuya salida puede ser 1 (neurona activada) o 0 (neurona inhibida). El reemplazo de este tipo de función activación por las funciones sigmoideas que posee la aplicación de reconocimiento de fulguraciones solares hace que el error caracterizado por eventos mal clasificados pase de un 3% a un 6% aproximadamente, lo cual es aceptable.

La precisión de la representación del valor es función lineal del largo del bit stream, la eficiencia de la neurona puede medirse en disparos por segundo o actualizaciones por segundo (Updates per Second UPS), en la Tabla 1 puede verse la eficiencia y la precisión de la neurona para distintas longitudes de bitstreams usando un clock de 33MHz para neuronas de 8 y 4 entradas. La precisión se define como el delta entre dos valores representables consecutivos.

Tabla 1. Precisión y eficiencia en función de la longitud del bitstream.

El resultado de sintetizar este modelo en una FPGA 4010XL (400 CLBs) arrojó que cada neurona consumía 25 CLBs aproximadamente, con lo cual en dicha FPGA podría formarse una red neuronal de hasta 15 neuronas, suficiente como para implementar la aplicación de detección de fulguraciones solares (RNA de 12 neuronas).

LONG. BITSTREAM	PRECISIÓN	8 ENTRADAS	4 ENTRADAS
256	0.0039	16000+	32000+
128	0.0078	32000+	64000+
64	0.0156	64000+	128000+

Conclusiones.

Usando la codificación de los valores de entrada y los pesos de las neuronas mediante bit-streams y realizando la multiplicación aplicando un choppeo digital se logra reducir considerablemente el consumo de lógica con respecto al modelo de multiplicación paralela. La precisión queda determinada por el largo del bit-stream y el hecho de substituir las funciones de activación sigmoidales por escalones no modifica en forma significativa el error general de la red; en nuestro caso particular de detección automática de fulguraciones solares el error de datos mal clasificados pasa de un 3% a un 6%, lo cual es aceptable.

Las FPGA es usada como plataforma para implementar en hardware la red neuronal usando un esquema de entrenamiento off-line (mediante software), esto facilita la implementación debido a la capacidad de reprogramación de las FPGAs.

La simplicidad de los modelos de neuronas en hardware permite replicarlas masivamente e interconectarlas entre sí para construir redes neuronales complejas, generando así una herramienta universal para poder implementar diferentes topologías de redes neuronales, limitadas solamente por la densidad de lógica de las FPGAs.

Al ser las FPGAs circuitos digitales de muy alta velocidad (típicamente, 150MHz.), las redes neuronales implementadas en esta tecnologías procesan la información mucho más rápido que las implementadas en software. Por ejemplo, una red neuronal implementada en una FPGA con un clock de 100MHz tardaría en propagar la señal unos 20µs, mientras que un software corrido en una PC tardaría varios ms con un clock de la misma frecuencia.

Referencias

- FERNANDEZ BORDA, R.; MININNI, P.; MANDRINI, C.; (2002) Automatic Solar Flare Detection Using Neural Network Techniques, Proceedings of the IAFE, Buenos Aires, Argentina.
- GONZALEZ HILERA, J.; HERNANDO MARTINEZ, V. (1995) Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, Modelos y Aplicaciones, RA-MA.
- GSCHWIND, M.; SALAPURA, V.; MAISCHBERGER, O. (1994) RAN2SOM: A Reconfigurable Neural Network Architecture Based on Bit Stream Arithmetic, Proceedings of the IEEE on Circuits and Systems, London, UK.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR RESOLUCIÓN HORIZONTAL EN CÁMARAS DE VIDEO MONOCROMÁTICAS Y CROMÁTICAS PARA CIRCUITOS CERRADOS DE TELEVISIÓN¹

O. H. Puyol

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento de Ingeniería Electrónica, Medrano 951 (C1179AAQ).
Buenos Aires, Argentina.
E-mail: puyol_orlando@hotmail.com

Introducción

El presente trabajo fue desarrollado con la asesoría externa del autor en el Laboratorio de Ensayos de Productos, perteneciente a la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, acorde a la política de calidad que lo caracteriza; fue requerido por la empresa General Industries SA., a solicitud de su cliente el Banco Provincia de Buenos Aires, y referido a la certificación sobre la "Medición de la Resolución Horizontal de una cámara de video digital para Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) y su videograbación digital en disco rígido". El protocolo de ensayo fue elaborado por el autor; la tarea de certificación fue realizada por personal especializado del Laboratorio de Ensayos de Productos/ Departamento de Electrónica y responde al arbitraje dado por un organismo oficial, atento la calificación requerida.

El Protocolo de Medición, tiene el objetivo de verificar la resolución horizontal de una cámara de video para C.C.TV., cuya señal de salida en video compuesto monocromático y a color servirá para un posterior procesamiento sobre diferentes equipos complementarios, ya sean monitores de observación o videograbación.

Método

El siguiente diagrama en bloques destaca el procedimiento de medición a realizar, a través del conjunto óptica/cámara de video con sensor CCD (Charge Couple Device) a evaluar y su visualización sobre un monitor de video, considerado como patrón, a saber:

¹ Nota Técnica.



Cuadro de Prueba carta RETMA: (*Resolution Chart*), de acuerdo a las normas EIA, para medir resolución, distorsión, escala de grises y respuesta en frecuencia. Todo el cuadro deberá estar enfocado hasta sus bordes, con el objeto de que en el monitor de video se observe la exploración completa del mismo para una relación de 4/3. La resolución horizontal se verificará a través de la lectura directa de observación sobre el monitor patrón, con el número de líneas que se visualice (TVLines). El punto en el cual las líneas comienzan con una indefinición se denomina límite de la resolución.

Si la Carta RETMA es transparente deberá iluminarse en forma posterior y uniforme para una lectura de 580 Nits. En caso de utilizar un Cuadro de Prueba opaco, debe procurarse una iluminación homogénea de 500 lux, para evitar diferencias de contrastes.

Óptica: deberá contar con distancia focal fija (por ejemplo, 12,5 mm) y diafragma de máxima apertura (por ejemplo, 1.2), montaje C/CS, todo compatible con el sensor C.C.D. utilizado, con el fin de visualizar en primer plano todo el Cuadro de Prueba.

Cámara de video: equipo a evaluar, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.

Instrumental: un osciloscopio con base de tiempo disparada y ancho de banda mínimo de 10 MHz. o mejor, un voltímetro digital del tipo clase 0,5 ó equivalente y un autotransformador de salida variable de 0 a 250 Vca., si correspondiere.

Monitor Patrón: Monitor de video con pantalla de 10" de diagonal, preferentemente con underscan, cuya distorsión geométrica sea menor que el 10% y su resolución horizontal mayor de 600 líneas.

Observador: se requiere un especialista en video, con una agudeza visual elevada, para distinguir los detalles finos que aparecen en la imagen del Cuadro de Prueba, relacionada con la separación de líneas blancas y negras que determinan las resoluciones vertical y horizontal, respectivamente.

Definiciones

Resolución visual: es la habilidad a base de la acuidad o agudeza de la visión humana, que depende de la estructura de conos y bastoncillos del ojo y del color visualizado, para distinguir un ángulo de observación igual a:

Ángulo visual = $1/Nv.M = 1/625.6 = 0,000266 \text{ rad.}$; equivalente a un arco de 1' para ver el detalle vertical y horizontal más pequeño en un objeto.

Nv = número total de líneas en la dirección vertical de la pantalla = 625 líneas

M = distancia de observación respecto a la altura de la pantalla con una relación de 4/3 = 6 veces

Resolución del conjunto óptico/cámara: es la capacidad de equipos optoelectrónicos para reproducir los detalles finos de una imagen compuesta por líneas blancas y negras contiguas, con el fin de determinar líneas horizontales (resolución vertical) y líneas verticales (resolución horizontal). Para una resolución óptica igual o superior a la electrónica, el límite de la resolución está dado por el sensor de la cámara, cuyos elementos de imagen (pickup elements) están ordenados en una matriz, que para el caso típico de un tamaño de 1/3" equivalen a 752 horizontales x 582 verticales, que hacen un total de 437.664 pixels (Sistema PAL, para UN (1) Vpp de video compuesto sobre 75 Ohm de terminación, con un entrelazado 2:1 CCIR de 15.625/50Hz..

Todo conjunto óptica/cámara compatibles, discrimina correctamente los blancos y negros producidos en la toma del primer plano del Cuadro de Prueba, presentando dos tipos de resoluciones:

Resolución vertical: está definida por la norma de transmisión, para este caso Sistema PAL y entrelazado 2:1, y su valor límite es de 625 líneas, es decir la cantidad de líneas horizontales por cuadro (la resolución vertical digital es la misma debido a que la cantidad de líneas de barrido es la misma). Para evaluar su verificación, se tiene en cuenta las pérdidas que inciden sobre el monitor patrón, a saber:

Resolución vertical teórica Analógica/Digital = 625 líneas. K_v . K_k = 440 líneas (TVL)

$K_v = 0,94$ (Factor vertical por pérdida de imagen en los extremos de la pantalla).

$K_k = 0,75$ (Factor de Kell por inexploración de elementos de imagen).

Resolución horizontal: es la capacidad para definir líneas verticales en la imagen. La diferencia respecto de un Sistema de Televisión PAL como transmisión comercial, cuya resolución máxima teórica es 336 líneas, es que en este caso no se tiene un equipo transmisor que limita el ancho de banda, por lo tanto es lógico establecer que la mejor resolución dependerá de la matriz que conforman al sensor C.C.D. y los circuitos de video que procesan la imagen evaluada.

En consecuencia, la limitación de la resolución horizontal está dada por el número de elementos del sensor y la habilidad del ancho de banda para el procesamiento del video, para definir una línea negra y la sucesiva blanca, equivalentes a 2 líneas de resolución. Por consiguiente, la resolución horizontal consiste en contar las líneas (o puntos) visibles durante el período de una línea horizontal activa, multiplicarla por el número de 2 líneas de resolución y por el ancho de banda del Sistema:

Resolución Horizontal Analógica teórica = $(64 - 11,50) \mu\text{seg.} \times 2 \times 5,2 \text{ MHz.} = 546 \text{ líneas}$

Duración de la línea horizontal = $64 \mu\text{seg.}$

Pulso de borrado horizontal = $11,50 \mu\text{seg.}$

N° de líneas = 2

Ancho de Banda PAL B = $5,20 \text{ MHz.}$

Resolución digital en cámaras C.C.D. según Normas ITU601, ATSC (Standard TV): cuando se digitaliza una señal analógica de video, la frecuencia máxima que se obtiene depende de la frecuencia de muestreo (teorema de Shannon/Nyquist), que para un barrido de 625 líneas/50 Hz., en señal compuesta es de 17,7 MHz. y para la luminancia es de 13,5 MHz., la cual resulta ser la más utilizada y se la denomina 4:2:2; en donde el "4" significa que la frecuencia de muestreo es 4 veces aproximadamente la frecuencia de la subportadora de color, y cada uno de los "2" corresponde a que la frecuencia de muestreo de las componentes de color es la mitad de aquella, es decir 6,75 MHz.. Por lo tanto, la resolución horizontal de las componentes de color será la mitad de la resolución de la luminancia, teniendo en cuenta que la frecuencia máxima teórica es la mitad de la frecuencia de muestreo, la cual responde a la siguiente fórmula con el detalle descripto precedentemente:

Resolución Horizontal Digital teórica = $(64 - 11,50) \mu\text{seg.} \times 2 \times 13,5/2 = 708,75 \text{ líneas}$

Esta resolución teórica se ve reducida con una atenuación de 0,1 dB a la mitad de la frecuencia de muestreo, por la necesidad del uso del filtro antialiasing (AA), que es un método de integración para minimizar el "efecto escalera" que se produce en la mayoría de las líneas diagonales, el cual se basa en la

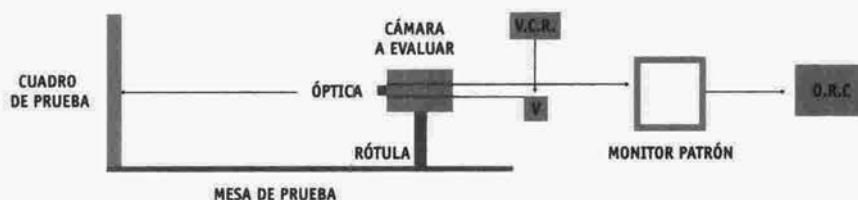
modulación a ambos lados de la diagonal oscura, con la consecuente reducción de los “dientes de sierra” y con la mejora en la calidad de imagen, a un valor de:

Resolución Horizontal Digital con filtro AA= 380 á 600 líneas (dependiendo del filtrado y de la calidad de los circuitos utilizados).

Los valores típicos de la resolución horizontal digital real, para cámaras C.C.D. utilizadas en casos generales, en función de los circuitos de filtrado y (o) la calidad del ancho de banda total del procesamiento del canal de video en el interior de la misma, son los siguientes:

- Video monocromático de rendimiento medio: 380 líneas.
- Video monocromático de alta resolución: 600 líneas.
- Video a color de rendimiento medio: 380 líneas.
- Video a color de alta resolución: 480 líneas.

Ensayo de Laboratorio



- El Monitor Patrón de 10” debe contar con los barridos vertical y horizontal, perfectamente ajustados a través de un generador de barras. Ídem, respecto al foco de su tubo de rayos catódicos.
- La alimentación de la cámara a evaluar y el monitor patrón debe corresponder a 220 VCA/50 Hz., con la tolerancia respectiva, verificada convenientemente con el voltímetro digital (V). En caso de ser necesario, se deberá ajustar el autotransformador variable de soporte.
- El osciloscopio (O.R.C.) verificará una señal de video compuesto de 1 Vpp sobre 75 Ohm de terminación, a los efectos de mantener la adaptación correspondiente a los cables coaxiales utilizados y para máxima resolución.
- El videograbador (V.C.R.) podrá intercalarse entre la cámara y el monitor patrón.

FUNCIONES DE LA CÁMARA	VERIFICACIÓN
Barridos horizontal y vertical	Norma C.C.I.R.: 15.625/50 Hz.
Control Automático de Luminosidad	Para 1 Vpp de video sobre 75 Ohm.
Foco óptico	Inspección visual en Monitor para máxima resolución, ajustando la distancia focal.
Ancho horizontal	Inspección visual en Monitor localizando los triángulos de topes de la Carta RETMA.
Altura vertical	Inspección visual en Monitor para obtener el círculo de la Carta RETMA.
Centrado horizontal y vertical	Inspección visual para que sea uncorrecto centrado de los barridos, respectivamente.
Resolución Horizontal	Inspección visual de la cantidad de líneas que se observen de la Carta RETMA.

Medición de Resolución Horizontal en Videgrabación

Acorde a lo expresado en la introducción, se puede medir también la resolución horizontal procesada por equipos de grabación de video y audio, analógicos o digitales.

En el diagrama en bloques del ensayo de laboratorio, el videograbador se intercala entre la cámara y el monitor patrón. Para el caso de equipos analógicos la resolución horizontal se mide en reproducción de lo almacenado en cinta (tape) de grabación sobre el monitor patrón, de la misma manera detallada precedentemente, y para equipos digitales, de las imágenes almacenadas en disco rígido, cuyos parámetros operativos dependerán de las especificaciones técnicas del mismo, como ser video digital, compresión, velocidad, etc. La imagen grabada en forma analógica o digital debe ser reproducida ante el observador, quien dejará constancia de la resolución horizontal verificada, la cual siempre será menor a la resolución hallada entre cámara y monitor patrón, debido a las pérdidas producidas por el procesamiento de la señal de video.

Instrucciones para la presentación de artículos

El objetivo de *Proyecciones* es la difusión de trabajos originados en las tesis presentadas en los ámbitos correspondientes a las carreras de postgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires, así como de otros trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, y de las ciencias conexas. Eventualmente serán aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Proyecciones es una publicación periódica, cuya frecuencia de aparición se ha fijado en seis meses, para este primer año.

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato para todos los interesados en remitir sus contribuciones

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a cualquiera de los miembros del Comité Editorial:

Lic. Miguel Languasco - Dr. Isaac Marcos Cohen

Facultad Regional Buenos Aires
Secretaría de Ciencia y Técnica
Medrano 951(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño personalizado (20 cm x 28 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente aconsejada es Times New Roman, tamaño 12. Se deberá emplear sangría francesa de 1 cm y alineación justificada en el texto (no debe exceder las 20 páginas por trabajo incluyendo imágenes, figuras y tablas).

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y en letras mayúsculas; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en itálica, el nombre, la dirección postal y el correo electrónico de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n).

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 9.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Re-

ferencias.

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán entregar un disquete conteniendo su trabajo y diagramado para su reproducción directa en la versión final impresa.

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial, a propuesta de los Editores Asociados. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser adecuadas para su reproducción directa; cada figura deberá ser ubicada en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con número y leyenda explicativa al pie. No podrán reproducirse figuras en color.



Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 9)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

MAGNITUD	CONDICIÓN A	CONDICIÓN B
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: iniciales y apellido de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos: GOULD, E. S. (1958) Curso de Química Inorgánica. Selecciones Científicas, Madrid, España.

PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115

SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 - C1179AAQ - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - República Argentina
Fax: (54-11) 4862-1506 - Tel: (54-11) 4867-7500 - www.frba.utn.edu.ar