

- 
- Guía ambiental para el desarrollo de proyectos relacionados con el diseño, construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado.
 - Entrenador mioeléctrico para dispositivos prostéticos de mano.
 - Pursuing an integrated vision into water resources management. Study case: Duitama County (Boyacá).
 - Carbonatación en puentes y edificaciones de Bogotá.
 - Estudio de algoritmos de reducción de ruido en video.

Enero - Marzo de 2010

ISSN 0121-5132

P.V.P. Colombia \$12.000.00



Publicación admitida por Colciencias en el
Índice Nacional de Publicaciones Seriadas,
Científicas y Tecnológicas colombianas -
Publindex - Clasificación tipo C
Publicación incluida en Ulrichsweb.com™
Tarifa postal reducida No. 2010-107
4-72 la Red Postal de Colombia
Vence 31 de diciembre de 2010

Editorial

PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA

Director de la Especialización en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

En este número de la *Revista de la Escuela*, se presentan dos artículos relacionados con el manejo de recursos hídricos. El primero es una guía ambiental para el desarrollo, diseño, construcción y operación de proyectos de redes de acueducto y alcantarillado, elaborada por ingenieros del Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela, cuyo propósito es ayudar a los responsables de estos proyectos con los requisitos para la realización de estudios de impacto ambiental o planes de manejo ambiental. El segundo tiene que ver con el caso de Duitama, en el cual el manejo inadecuado de los recursos hídricos, debido en parte a la ausencia del Estado, ha ocasionado la escasez de agua potable, problema que, infortunadamente, no es aislado, sino que se presenta en muchos municipios de Colombia; con este artículo se pretende llamar la atención sobre tal situación y contribuir a que la comunidad tome conciencia del impacto que tiene el manejo inapropiado de los recursos.

La consideración del impacto ambiental de los proyectos es un aspecto del desarrollo sostenible. La preocupación por el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero ha dado lugar a que la industria de la construcción le apueste al desarrollo sostenible, en razón

de que esta industria consume gran cantidad de recursos y energía y también contribuye en forma importante a la producción de CO₂. Una manera de ayudar a reducir estos consumos y emisiones sería aumentar la durabilidad de las construcciones. En uno de los artículos se plantea que un porcentaje significativo de construcciones de concreto relativamente nuevas en Bogotá, ha visto reducida su vida útil a causa de la carbonatación. Este fenómeno, que da como resultado la corrosión del acero de refuerzo, puede mitigarse utilizando recubrimientos adecuados y concreto de baja porosidad, con contenidos moderados de ceniza volante.

El entrenador mioeléctrico para dispositivos prostéticos representa un avance muy importante para amputados de mano que usarán prótesis mioeléctricas, es decir, prótesis controladas por impulsos musculares, pues les facilitará el proceso de adaptación. Aquí se describe el proceso de desarrollo de un entrenador bioeléctrico, realizado por ingenieros del programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela; también es un aporte de este programa el estudio de la efectividad de diferentes algoritmos para la reducción de ruido en videos.

Guía ambiental para el desarrollo de proyectos relacionados con el diseño, construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado

Environmental guide to carry out projects concerning to design, construction and operation of water and sewage networks

ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Profesor titular del Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

RIGOBERTO LÓPEZ PINEDA

Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Escuela Colombiana de Ingeniería.

IVONNE C. ZABALA COLMENARES

Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Recibido: 25/08/2009 Aceptado: 20/10/2009

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se presenta un instrumento guía para ayudar a los responsables de proyectos sobre los requerimientos en la elaboración de los estudios de impacto ambiental (EIA) o planes de manejo ambiental (PMA), que se deben considerar durante la ejecución de las actividades de diseño, construcción y operación en proyectos de redes de acueducto y alcantarillado urbanos.

Es un documento de fácil seguimiento, que define, mediante programas generales de manejo ambiental, las medidas que se deben tener en cuenta junto con especificaciones y procedimientos técnicos para la buena ejecución de proyectos.

Palabras claves: estudio de impacto ambiental, plan de manejo, redes, oferta ambiental, demanda ambiental, matriz de Leopold, Battelle-Columbus.

Abstract

This article presents a tool for project managers to design projects with all the requirements of environmental impact assessments (EIA) or environmental management plans (WFP). They must consider them during the activities design, project construction and operation of networks of urban water and sewage systems.

This useful document defines, through comprehensive programs of environmental management, measures and technical specifications and procedures for an efficient implementation of projects.

Keywords: Battelle-Columbus, environmental impact study, environmental demand, environmental supply, Leopold matrix, management plan, networks.

INTRODUCCIÓN

En la estructuración del trabajo se han definido los tipos de proyectos a los cuales se aplica la guía, una identificación de los impactos generados por las actividades de diseño, construcción y operación propias de los proyectos relacionados con redes de acueducto y alcantarillado, un instructivo del contenido que han de tener los documentos e informes ambientales que se deben presentar, las fichas de los programas de manejo ambiental que se deben realizar, y también se muestran diagramas, formatos y un glosario, así como citas de la normatividad ambiental aplicable.

La guía ambiental que se propone constituye una herramienta esencial para el buen desempeño ambiental de los proyectos de redes de acueducto y alcantarillado que se realicen en zonas urbanas, su implementación facilitará la gestión ambiental y es un buen ejemplo para los responsables de la ejecución de todos los proyectos de este tipo.

Con su aplicación se mejorará el seguimiento de los proyectos, pues será más efectivo, claro, ordenado y sencillo para todos los profesionales y técnicos que participen en su desarrollo.

Se busca que desde el inicio se planeen las actividades ambientales que se van a implementar para prevenir, mitigar, controlar y compensar los posibles impactos que genera el proyecto. En la guía se consideran unos programas de manejo ambiental tipo, con unas medidas, actividades y tareas sencillas, lógicas y claras, estudiadas con base en la normatividad ambiental, en las buenas prácticas y procedimientos técnicos y, por supuesto, teniendo en cuenta el componente social, presente en la mayor parte de los proyectos.

Como guía general se han tomado en cuenta todos los aspectos y actividades relacionados con el desarrollo de proyectos de redes urbanas de acueducto y alcantarillado en sus distintas fases; sin embargo se pueden plantear otras actividades que, siguiendo la metodología de este documento, pueden considerarse y plantearse de igual manera. En cada proyecto en particular, utilizando la metodología presentada, se pueden detallar y precisar aún más las actividades y las correspondientes medidas que se deben aplicar de acuerdo con su entorno.

Así mismo, se hace énfasis en la elaboración de los PMA, debido a que hoy en día las autoridades ambientales y las empresas contratantes sólo consideran los EIA

para macroproyectos y por tanto únicamente quedan como requisito ambiental los PMA para proyectos como los que se han contemplado.

Para la elaboración de esta guía ambiental se tomó como base la metodología desarrollada por Alfonso Rodríguez Díaz en su libro *Estudios de impacto ambiental. Guía metodológica*, de la Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, y la información que al respecto tienen las entidades relacionadas con el tema, bien sea distritales o nacionales, tales como EAAB, IDU, IDRD, Secretaría del Medio Ambiente (antes Dama) y Ministerio del Medio Ambiente, principalmente.

OBJETIVOS

General

Elaborar una guía para el desarrollo de los EIA o los PMA, a partir de la normatividad existente y de las actividades relacionadas con la ejecución de proyectos de redes de acueducto y alcantarillado en sus diferentes fases.

Específicos

- Elaborar una lista con las normas legales específicas y las relacionadas que se deban considerar, indicando las fuentes de información para que el usuario disponga de las bases y pueda proponer un adecuado plan de manejo, incluyendo la operación del sistema.
- Elaborar una lista general de las actividades que se desarrollan durante el diseño y la construcción de los sistemas de acueducto y alcantarillado.
- Proponer metodologías de evaluación.
- Establecer lineamientos o recomendaciones para orientar y optimizar el desempeño ambiental de los proyectos, obras y actividades de los procesos constructivos y de operación.
- Unificar criterios de seguimiento.
- Plantear acciones y criterios para optimizar los recursos de las partes involucradas en este tipo de proyectos.
- Recomendar alternativas factibles para el manejo ambiental de proyectos relacionados con el diseño, construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado.

GUÍA METODOLÓGICA

En la elaboración de estudios de impacto ambiental o planes de manejo ambiental es importante establecer la fase del proyecto y sus etapas, así como las acciones que se deben cumplir en cada una de éstas. En un mismo proyecto son muy diferentes las fases de diseño, construcción u operación. En cada una se tienen diversos tipos de actividades, que se pueden interrelacionar o no con el medio ambiente y, por consiguiente, se requieren acciones distintas para cada una.

A continuación se describen los pasos que se deben seguir para la elaboración del EIA o PMA de los proyectos de redes de acueducto y alcantarillado, objeto de la presente investigación, desde el punto de vista ambiental:

1. Presentar y describir el proyecto.
2. Determinar las fases del proyecto: diseño, construcción u operación.
3. Hacer un listado de actividades que generan impacto, según la fase del proyecto.
4. Establecer la autoridad ambiental competente en el área del proyecto.
5. Definir un marco normativo.
6. Definir el alcance del Estudio de Impacto Ambiental.
7. Describir y analizar el medio físico que se va a intervenir, en sus elementos bióticos, abióticos y antrópicos.
8. Identificar la magnitud de los impactos encontrados, así como las repercusiones sobre el medio físico que pueden ocasionar las diferentes actividades de los proyectos.
9. Predecir y valorar la importancia de los impactos pronosticados.
10. Estudiar y seleccionar otra alternativa.
11. Plantear el Plan de Manejo Ambiental y tomar medidas preventivas y correctivas.
12. Establecer un plan de vigilancia y control.

PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El ejecutor habrá de definir claramente la tipología y las etapas del proyecto. En la etapa de diseño deberá precisar el tipo de proyecto que ejecutará, al igual que identificar y describir las actividades que se realizarán en las etapas de construcción o mantenimiento.

En términos generales, la tipología de proyectos relacionados con redes de acueducto y alcantarillado, y que se encuentran dentro del marco de la presente guía, son:

- Construir redes menores de acueducto (suministro).
- Construir redes matrices de acueducto (redes primarias y secundarias).
- Reparar redes de acueducto.
- Construir redes expresas para alimentación de tanques de almacenamiento.
- Construir acometidas domiciliarias de acueducto.
- Construir colectores e interceptores sanitarios.
- Construir redes troncales de alcantarillado.
- Construir emisarios finales de alcantarillado.
- Elaborar manijas de alcantarillado.
- Hacer conexiones domiciliarias de alcantarillado.
- Renovar las redes.
- Construir *box culverts*.
- Hacer otros tipos de construcción de redes urbanas.

Con el propósito de ampliar el conocimiento de los proyectos que se han relacionado, se indican las siguientes definiciones:

• Redes menores de acueducto (suministro)

Son las que se derivan de las redes secundarias y llegan a los puntos de consumo. Normalmente se localizan al frente de los predios.

• Redes secundarias de acueducto

Parte de la red de distribución que se deriva de la red primaria y distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad. Puede repartir agua en ruta.

• Redes matrices de acueducto (redes primarias)

Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el correcto funcionamiento de todo el sistema. Generalmente, no reparte agua en ruta.

- **Acometidas domiciliarias de acueducto**

Derivación de la red de distribución que llega hasta el predio. Dentro de las acometidas se incluye el medidor, el registro de incorporación, el registro de corte y la cajilla.

- **Conducción**

Red que transporta el agua desde las plantas de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento.

- **Red menor de alcantarillado**

Conjunto de tuberías que conforman el sistema de evacuación de las aguas residuales, industriales, pluviales o combinadas de una comunidad, y donde desembocan las conexiones domiciliarias del alcantarillado de cada predio, hasta realizar la entrega a la red secundaria.

- **Red secundaria de alcantarillado**

Conjunto de tuberías y canales que en su recorrido van acumulando áreas de drenaje, conduciendo las contribuciones provenientes de la red local hasta los sitios de entrega del sistema troncal.

- **Red troncal de alcantarillado**

Conjunto de colectores o interceptores que definen la estructura básica de una cuenca, conduciendo los caudales que reciben de las redes secundarias hasta los sitios de vertimiento o tratamiento.

- **Colector**

Conducto que forma parte del sistema de alcantarillado. Está diseñado y dispuesto para recolectar y conducir aguas residuales, lluvias o combinadas.

- **Interceptor**

Conducto cerrado que recibe las afluencias de redes locales o secundarias. Generalmente se construye paralelo a quebradas o ríos, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a estos sitios.

- **Emisario**

Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, residuales o combinadas de una cuenca de drenaje hasta el sitio de vertimiento, o a las plantas

de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias, pueden ser colectores a cielo abierto.

- **Manijas de alcantarillado**

Tramo de red menor que recoge varias conexiones domiciliarias y entrega en tramos cortos a las redes secundarias.

- **Conexiones domiciliarias de alcantarillado**

Conducto de alcantarillado mediante el cual se hace la conexión desde la caja domiciliaria de cada predio hasta la red local.

- **Renovación de redes**

Cambio de las redes existentes por nuevas, ya sea porque han cumplido su ciclo de vida o porque los materiales no son los más aptos.

- **Box culvert**

Conducto de sección rectangular cerrada, de concreto reforzado, para recoger y evacuar las aguas lluvias o residuales.

Los impactos generados sobre el medio ambiente por los proyectos de infraestructura para el sector agua potable y saneamiento básico, como los descritos, son ampliamente superados por el beneficio obtenido al satisfacer una demanda de primera necesidad a una determinada comunidad. En particular, las actividades que se realizan durante las etapas de construcción o operación pueden influir negativamente y generar impactos adversos al medio ambiente si no se controlan; por tanto, es necesario plantear recomendaciones con el fin de mitigarlos.

FASES DEL PROYECTO

De acuerdo con la fase del proyecto, diseño, construcción u operación, se desarrollan una serie de actividades propias de cada una. A continuación se plantea en forma general un listado de las actividades que se realizan en la ejecución de un proyecto de redes de acueducto o alcantarillado, para cada una de sus etapas.

1. Diseño

En esta etapa, además de plantear los estudios específicos para la elaboración de los diseños, el diseñador debe tener en cuenta las actividades que se ejecutarán en la construcción y operación para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Elaboración de estudios y diseños específicos, de acuerdo con el tipo de proyecto.
- Elaboración del EIA y planteamiento del PMA.
- Plan de monitoreo y seguimiento.
- Planteamiento de la auditoría ambiental.

- Elaboración de estudios y diseños específicos, de acuerdo con el tipo de proyecto

En esta actividad se elaboran los estudios y diseños técnicos del proyecto que se va a construir, definiendo su alcance, normatividad, trayectoria e información técnica.

- Elaboración del EIA y planteamiento del PMA

El contratista elabora y entrega el Programa de Implementación del Plan de Manejo Ambiental (Pipma) ante el contratante y lo radica ante la entidad ambiental correspondiente, de acuerdo con el estudio y diseño elaborados.

Igualmente, se deben hacer las gestiones de coordinación interinstitucional, con el fin de informar sobre los alcances del proyecto y los principales impactos y contingencias que pueden suceder, y obtener los permisos necesarios para su desarrollo ante las entidades que tienen injerencia en su ejecución. Como ejemplo, para Bogotá serían DAPD, STT, EAAB, JBB, IDU, ETB, Codensa, Gas Natural, EPM, Dama, entre otras.

- Plan de monitoreo y seguimiento

Puesta en marcha del proyecto en condiciones adecuadas para la conducción de las aguas. Incluye reparación, limpieza y mantenimiento de las redes y estructuras de acueducto y alcantarillado.

- Planteamiento de la auditoría ambiental

Para el planteamiento de la auditoría ambiental se emplearán los conceptos definidos en la norma ISO 14004, cuyo esquema consiste en que las políticas, metas y procedimientos ambientales se traducen en un plan

de acción que, una vez implementado, se puede medir y evaluar, y con base en los resultados obtenidos se someterá permanentemente a la revisión, además de que será objeto de acciones correctivas y de mejoramiento en procura de una mejor calidad ambiental del entorno.

2. Construcción

En esta etapa se implementa el PMA que, en términos generales, debe incluir las siguientes actividades, consideradas durante la ejecución de los diseños, y que es recomendable tener en cuenta:



- Replantear las redes.
- Instalar campamentos y cerramientos.
- Despejar y cortar vegetación.
- Romper pavimentos y andenes.
- Hacer excavaciones.
- Instalar tuberías.
- Retirar y disponer sobrantes.
- Instalar rellenos.
- Establecer zonas de préstamo de materiales de cantera.
- Construir estructuras.
- Transportar materiales.
- Hacer operación y mantenimiento de maquinaria y equipos.
- Recuperar andenes y pavimentos.
- Efectuar ensayos y pruebas.
- Hacer limpieza y entrega de zonas de trabajo.

- Replanteo de las redes

Actividad que consiste en localizar en el sitio donde se van a ejecutar las obras las redes existentes y las que se van a construir, haciendo la demarcación respectiva, ubicando las interferencias, ya sea de otras redes o de

mobiliario urbano, con el fin de replantear la metodología constructiva que se va a seguir.

- Instalación de campamentos y cerramientos

Actividad donde se adecúa la infraestructura existente o se construyen instalaciones temporales para que el contratista almacene y suministre oportunamente los materiales requeridos para la obra, y mantenga la logística necesaria para su operación.

Cerramiento es el conjunto de elementos visuales utilizados para regular el tránsito de vehículos, peatones y delimitar la obra, según lo señalado en el Código de Tránsito, el manual de señalización del Ministerio de Transporte y la norma distrital vigente.

- Despeje y corte de vegetación

El despeje y corte de vegetación se debe llevar a cabo únicamente en las áreas que vayan a ocupar las estructuras permanentes de la obra o donde se excavarán las zanjas para la instalación de tuberías, construcción de canales y trincheras, o cualquier otra área de trabajo (zonas de almacenamiento, campamentos, talleres) y sus accesos.



El despeje es el retiro de toda la vegetación u otro material no deseable hasta el nivel del terreno natural, de manera que la superficie quede despejada. Incluye la tala y eventual corte de árboles y arbustos, el corte de maleza y la remoción, transporte y disposición de todos los residuos respectivos. Para este efecto, se deben seguir las especificaciones contenidas en la ficha sobre despeje y corte de vegetación.

El corte consiste en la remoción del material necesario para lograr una fundación adecuada de las estructuras de la obra o para utilizar el material subyacente como material de construcción. Incluye la remoción de troncos, raíces, material orgánico y de sobrecapa.

Los materiales provenientes de estas operaciones, al igual que los materiales excavados, y que no se utilicen en la obra, deben llevarse a las zonas de botadero previamente aprobadas por la autoridad ambiental competente.

En resumen, esta actividad consiste en el desmonte y limpieza del terreno natural en el área intervenida por la obra. Hay que remover el rastrojo, maleza, pastos, tocones, raíces y basuras, de tal manera que el terreno quede limpio y su superficie resulte apta para iniciar los trabajos. Se debe clasificar el material con el objeto de reutilizarlo o reciclarlo. Es importante aclarar que esta actividad incluye la disposición final y adecuada del material de desecho, que recibirá el mismo tratamiento dado a los escombros.

- Rotura de pavimentos y andenes

Actividad que consiste en derribar o deshacer las estructuras existentes (andén, pavimentos, infraestructura de servicios, etc.), que se remplazarán con la nueva obra. Estos residuos se deben clasificar con el fin de reciclar materia prima para la elaboración de nuevas mezclas. Los residuos sobrantes se deben manejar como escombros.



- Excavaciones

Consiste en remover el suelo o las estructuras existentes, para llegar a la cota o profundidad donde irán las redes. Las excavaciones incluyen la utilización de entibados, cuando las profundidades son mayores de 1,50 metros y pueden ocasionar derrumbes.

La excavación es la remoción de cualquier material por debajo del nivel del terreno después de efectuado el despeje y corte de vegetación, hasta las líneas y cotas especificadas en los planos. Incluye el corte de las raíces que se encuentran dentro de la sección de excavación o en sus vecindades.

Para realizar esta actividad se debe contar con los equipos adecuados, como retroexcavadoras, cargadores, volquetas, pala equipada con cucharón de almeja, motosierras, machetes, picos, palas, pistoletes, compresores y perforadoras manuales.

Se deben tomar las precauciones necesarias para mantener inalterado el material existente por fuera de los límites de excavación, y rellenar las sobreexcavaciones.

También se deben tomar las precauciones necesarias y emplear los métodos de excavación más adecuados para obtener superficies regulares y principalmente estables. Las excavaciones se pueden realizar con máquina, a mano o mediante una combinación de éstas. Cuando los trabajos se lleven a cabo cerca de estructuras existentes o de sectores de excavación posterior, se deben hacer a mano para evitar daños o alteraciones.



Dependiendo de la estabilidad del suelo, es necesario proteger las excavaciones con formaletas para evitar erosión o derrumbe de los taludes. Las superficies expuestas por las excavaciones deben soportarse y protegerse hasta la terminación de la obra. Dicha protección se debe hacer con empradización, mampostería en piedra, etc.

El uso de explosivos se permite únicamente con la aprobación de la entidad correspondiente, empleando técnicas de voladura controlada y las precauciones para la protección de las personas y las propiedades. Su empleo se debe limitar a la zona necesaria para la ejecución del trabajo y su poder y cantidad no deben incrementar indebidamente la excavación, destrozarse la roca o dañar las estructuras existentes.

Los materiales excavados se deben clasificar según su composición y naturaleza para la posible utilización como capa vegetal, en rellenos, como agregados de

concreto, como bases o en las zonas donde su uso sea factible, de acuerdo con las especificaciones técnicas.

- Instalación de tuberías

Proceso constructivo para la conformación de obras tales como tendido de redes, encole, descoles, etc., y también para el transporte y control de aguas. Consiste además en el montaje o traslado de redes de servicios públicos.



- Retiro y disposición de sobrantes

Actividad que consiste en ubicar los escombros generados durante la ejecución del proyecto en los sitios debidamente autorizados por la autoridad ambiental competente. Incluye la limpieza permanente del área donde se desarrollan las obras y la recolección de basuras.

- Instalación de rellenos

Colocación y compactación de material de subbase y base granular, que cumpla con las especificaciones técnicas, sobre una superficie preparada, en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los diseños del proyecto o los encontrados inicialmente en el terreno. También se refiere al material propio de la excavación, que se puede emplear de nuevo para cubrir las tuberías y estructuras construidas.



Los materiales para los rellenos de obra se deben obtener, según el caso, de las excavaciones o de las fuentes de materiales seleccionadas por el contratista y aprobadas por la autoridad ambiental competente.

Preferiblemente se debe utilizar material de excavación o de canteras existentes con un manejo ambiental adecuado, certificado por la autoridad ambiental correspondiente.

Se debe utilizar tela filtrante o geotextil para separar los rellenos, con el propósito de evitar la contaminación de uno con otro, en los filtros o en zonas donde se encuentren condiciones del suelo que, a juicio de la entidad, no garanticen la estabilidad de los rellenos.

- Zonas de préstamo de materiales de cantera

Al comienzo de la obra el contratista debe identificar previamente los proveedores de material (agregados pétreos, receberas, asfalto, concreto, ladrillo y productos derivados de la arcilla) que no sólo cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para la obra, sino también con las normas ambientales y mineras vigentes.

- Construcción de estructuras

Actividades relacionadas con la construcción o montaje de estructuras, que involucran el manejo de concreto y ladrillo (pozos de inspección, sumideros, canales, disipadores de energía, entre otros).

- Transporte de materiales

Actividad que consiste en el acarreo y transporte de escombros o materiales desde la obra o hacia ella.

Consiste en identificar las rutas alternas que se puedan utilizar para el desvío del tráfico normal (Plan de Manejo de Tráfico), para el transporte de insumos (materiales requeridos por el proyecto) y para la evacuación de escombros, los cuales se deben disponer en sitios que cuenten con la respectiva autorización por parte de la autoridad ambiental competente.

- Operación y mantenimiento de maquinaria y equipos

Se trata del manejo y mantenimiento adecuados de la maquinaria y equipos empleados para la realización de ciertas actividades durante el proceso de construcción, como en excavaciones, rellenos, retiro y disposición de sobrantes y transporte de materiales. Se refiere específicamente a retroexcavadoras, minicargadores, vibro-

compactador, volquetas, compresores, saltarín, ranas, estaciones de topografía, etc.

- Recuperación de andenes y pavimentos

Es la conformación o terminación final de la estructura del pavimento flexible o rígido (colocación de la capa de rodadura o losa de concreto), o la instalación de los materiales encontrados inicialmente en terreno (tableta, adoquín, etc.).



- Ensayos y pruebas

Tiene que ver con la realización de pruebas y ensayos a los materiales que se van a emplear en la construcción de las redes para verificar el cumplimiento de las normas. Esta actividad implica la utilización de un área y de recursos tales como agua, luz y suelo, que luego se deben disponer adecuadamente para evitar la contaminación del área.

- Limpieza y entrega de zonas de trabajo

Actividad previa a la entrega final de la obra, donde se debe realizar la limpieza total del área en la que se desarrollaron los trabajos y la recolección de basuras, de tal modo que la zona se pueda dar al servicio nuevamente.

3. Operación

Durante la operación de las redes, en general se desarrollan las siguientes actividades:

- Reparar tuberías.
- Limpiar y hacer mantenimiento de tuberías y estructuras.
- Manejar y hacer la disposición de residuos sólidos.

- Reparación de tuberías

Esta actividad corresponde a los arreglos posteriores de las tuberías durante su etapa de funcionamiento. Se pueden ocasionar por movimientos del suelo, por obras realizadas posteriormente en esta área o por aguas de infiltración, y se requiere su remplazo en un determinado sitio o tramo. Esto obliga a que se implementen unas fichas de manejo para casos concretos, que son de corta intervención.



- Limpieza y mantenimiento de tuberías y estructuras

Al igual que la anterior, esta actividad de operación se debe realizar periódicamente con una intervención específica y de corta duración, para lo cual se debe implementar la ficha de manejo ambiental.

- Manejo y disposición de residuos sólidos

Esta actividad corresponde al material extraído durante la limpieza y mantenimiento de las redes, los cuales se deben manejar y disponer inmediatamente en las escombreras o sitios de manejo autorizados para este fin y que deben estar indicados en la respectiva ficha de manejo.

Como complemento de la descripción del proyecto, siempre se debe proporcionar información general sobre el ejecutor, la localización, indicar su tipo y naturaleza, y la descripción del área, describiendo el relieve y pendientes del terreno, tipos de suelos, descripción climática, cobertura vegetal, entorno, e indicar el tipo de zona donde se encuentra la obra. También es importante tener claro desde el comienzo el tipo de población directamente beneficiada o afectada por el proyecto.

AUTORIDADES AMBIENTALES INVOLUCRADAS

Quien ejecuta el proyecto debe conocer de antemano la entidad oficial que ejerce como autoridad ambiental en el sitio del proyecto, así como también conocer de trámites, normas y procedimientos requeridos en el caso de redes de acueducto y alcantarillado urbano.

En Bogotá, la empresa encargada del sistema de acueducto y alcantarillado es la EAAB-ESP, entidad que establece los requisitos y la metodología de evaluación ambiental para los PMA. Sin embargo, cuando se requiere la aprobación de un manejo específico de actividades que impactan en un grado importante al medio ambiente, la EAAB es la encargada de solicitar el permiso ante la autoridad ambiental competente, que puede ser la Secretaría del Medio Ambiente, para el perímetro urbano, o la Corporación Autónoma Regional (CAR), para la periferia. En Cali, la que determina y aprueba los PMA es la Corporación del Valle del Cauca (CVC) y no las Empresas Públicas de Cali, empresa encargada del sistema de acueducto y alcantarillado.

Por lo anterior, es importante conocer las competencias de las distintas autoridades ambientales en cada sitio.

MARCO NORMATIVO

Para el desarrollo de proyectos relacionados con el diseño, construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado existen diferentes normas ambientales de carácter nacional, municipal o distrital que tienen aplicabilidad y que se deben tomar en cuenta. Sin embargo, es normal que frecuentemente se expidan nuevas normas, bien sea para derogar artículos o normas existentes o para complementarlas o mejorarlas; por tanto, se recomienda consultar periódicamente las actualizaciones a las normas.

Estas normas y sus actualizaciones se pueden consultar en las páginas web de entidades como el Ministerio del Medio Ambiente, las corporaciones autónomas, las secretarías ambientales, las entidades del Estado o del Distrito como EAAB, IDU, Secretaría de Salud, alcaldías, ministerios y otras.

GUÍA METODOLÓGICA PARA UN EIA EN LA ETAPA DE DISEÑO

Durante la fase de diseño se debe proponer el EIA del proyecto. En el EIA, el diseñador debe identificar y valorar el impacto de cada una de las actividades del proyecto y proponer un Plan de Manejo Ambiental en el que se señalen las medidas preventivas o correctivas que hay que considerar durante las etapas de construcción y operación.

El objetivo principal de un EIA es identificar y valorar los impactos que las diferentes actividades de un proyecto, en este caso la construcción y operación de un proyecto de acueducto o alcantarillado, causan sobre el medio ambiente.

Por tanto, en un EIA se deben incluir y definir como mínimo los siguientes aspectos (figura 1):

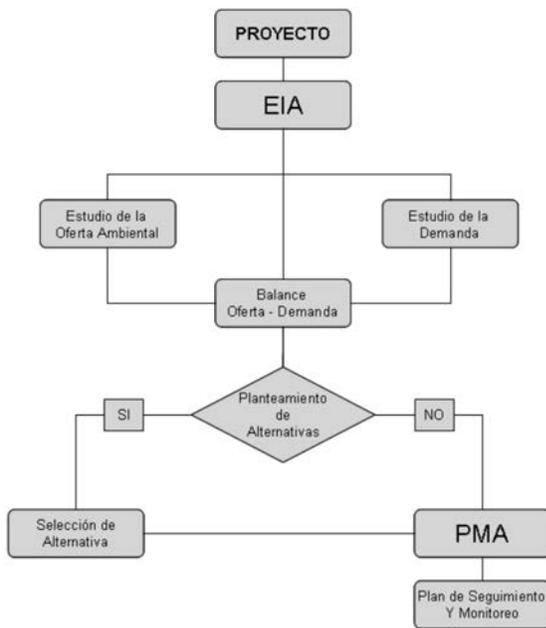


Figura 1. Esquema metodológico de un EIA.

ESTUDIO DE LA OFERTA AMBIENTAL

La oferta ambiental se refiere al diagnóstico e inventario ecológico y sociocultural del medio que va a intervenir el proyecto. Se evalúa el estado del medio sin proyecto, para poder determinar las posibles alteraciones que traigan consigo las actividades de construcción y operación del trabajo que se va a ejecutar (figura 2).

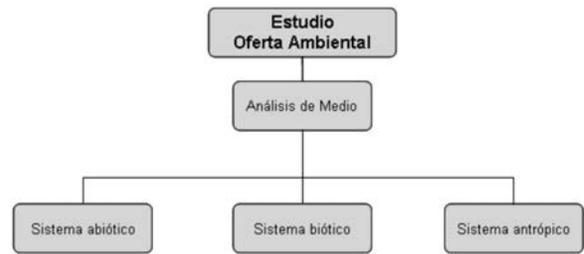


Figura 2. Esquema del estudio de la oferta.

En esta fase se debe incluir el estudio de los sistemas abiótico, biótico y antrópico, y sus correspondientes componentes y elementos que realmente se vayan a impactar. A continuación se presentan en forma general los sistemas con sus componentes y elementos, así como el tipo de estudios que se deseen ejecutar:

a) Sistema abiótico

Componente atmosférico

Clima	Magnitud y frecuencia de las precipitaciones.
Aire	Cantidad de material particulado en la atmósfera y dirección del viento.
Ruido	Niveles de ruido en la zona del proyecto y su fuente.

Componente terrestre

Geología	En proyectos urbanos el tema de la geología se refiere más a procesos de remoción de masas localizados o puntuales.
Geomorfología	No se aplica para los proyectos de redes urbanas.
Suelos	Se requiere conocer su capacidad portante, los efectos de rebote y asentamiento.

Componente hídrico

Hidrología	Corresponde a las fuentes superficiales y subterráneas de agua, así como la determinación del nivel freático en la zona de excavaciones.
• Sistema de drenaje	Corresponde al sistema de drenaje natural, bien sea quebradas, canales, humedales, vallados y otros sistemas.

b) Sistema biótico

Componentes terrestre y acuático

• Vegetación	Inventario de zonas verdes y silvicultural.
• Fauna	En principio no se aplica.
• Paisaje	En zonas urbanas, debido a que las redes son subterráneas, se mantiene el concepto de que los sitios de intervención se deben dejar igual a su condición actual o mejor.

c) Sistema antrópico

Componente de recursos

• Generación de recursos	Beneficios que tiene la población directamente e indirectamente involucrada.
--------------------------	--

Componente de infraestructura

• Usos del suelo	Se refiere a la distribución de usos y características actuales de la zona donde se va a intervenir y las posibles modificaciones que se presentan por la ejecución de la obra.
• Red vial	Se debe revisar el estado actual de las vías y su intervención.
• Espacio público	Se debe garantizar la movilidad de las personas por el espacio público.

Componente de estructura

• Generación de ingresos	Se debe contemplar la generación de empleo con la ejecución del proyecto.
• Movilidad	Hay que implementar los planes de manejo de tráfico.
• Pertenencia del terreno	Tiempo de duración del proyecto.

Componente social

- Factores socioculturales.
- Normas colectivas.
- Zonas de interés histórico.
- Hallazgos arqueológicos.
- Comunidades indígenas.
- Salud ocupacional.

ESTUDIO DE LA DEMANDA

En esta etapa del EIA se estudian las actividades propias del proyecto y los posibles efectos sobre el medio ambiente. En la ejecución de un proyecto se deben identificar y describir las actividades que se realizarán para su ejecución (figura 3).

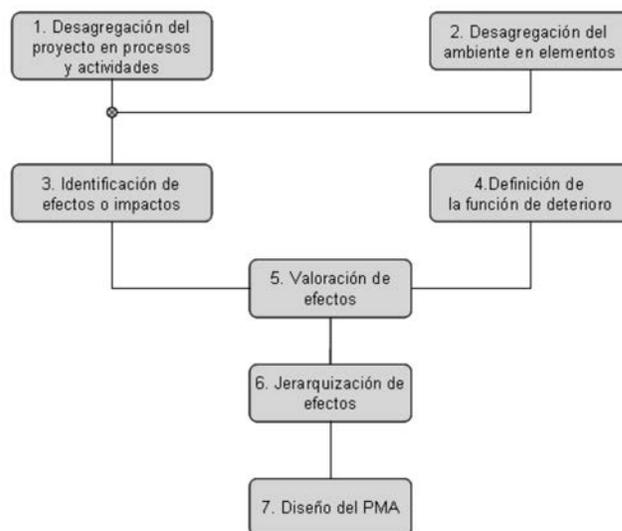


Figura 3. Esquema del procedimiento de la evaluación de la demanda ambiental.

De acuerdo con las actividades generales establecidas para la etapa de construcción, se pueden determinar los impactos generados en cada uno de los componentes ambientales y las medidas que se pueden aplicar, que también están consignadas dentro de las fichas ambientales que se proponen.

DETERMINACIÓN DE IMPACTOS Y VALORACIÓN BALANCE OFERTA - DEMANDA

El ejecutor de un proyecto debe identificar los potenciales impactos ambientales que puedan causar las actividades y obras asociadas al proyecto, para lo cual se debe apoyar en elementos de análisis como las matrices de impacto, que se presentan más adelante.

Con esta información y mediante algún método de valoración, ya sea cualitativa o cuantitativa, se procede a la calificación de los efectos producidos.

Este balance consiste en unificar los análisis realizados en la oferta y en la demanda, con el propósito de jerarquizar los efectos, de tal manera que se obtenga una calificación homogénea de todas las actividades al interactuar con las variables del medio. En este proceso se busca obtener un resumen del estado de la calificación de impactos en forma clara y sencilla y, a la vez, definir el perjuicio o beneficio que el proyecto ocasiona al medio ambiente (figura 4).

Con el propósito de conocer metodologías para la evaluación de impactos ambientales, a continuación se presentan y describen en forma general algunas de las más utilizadas:

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	TÉCNICA DE ANÁLISIS
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Matricial • Superposición de imágenes • Redes (diagramas de flujo) • Lista: verificación o chequeo • Cuestionarios • Metodología <i>ad hoc</i>.
PREDICCIÓN DE IMPACTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Battelle-Columbus • Lista de verificación o chequeo • Superposición de imágenes • Modelos de simulación • <i>Ad hoc</i>
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS (LOCALIZACIÓN)	<ul style="list-style-type: none"> • Matricial • Lista de verificación o chequeo • Superposición de imágenes

- Matriz de Leopold

Método de identificación y cuantificación de impactos, que interrelaciona las actividades del proyecto con los componentes ambientales del sitio donde se desarrolla.

La técnica de evaluación de impactos ambientales de matrices se compone de:

- **Columnas:** lista de actividades o acciones del proyecto.
- **Filas:** lista de componentes e indicadores ambientales.

Criterios y escala de calificación

Magnitud: indica el grado de daño, alteración o modificación que la acción o actividad genera al componente o indicador ambiental. Se manifiesta como la adversidad de la acción sobre el ambiente, denominándose impacto negativo. Se le asigna el signo de negativo (-). No obstante, también es posible identificar y cuantificar impactos positivos.

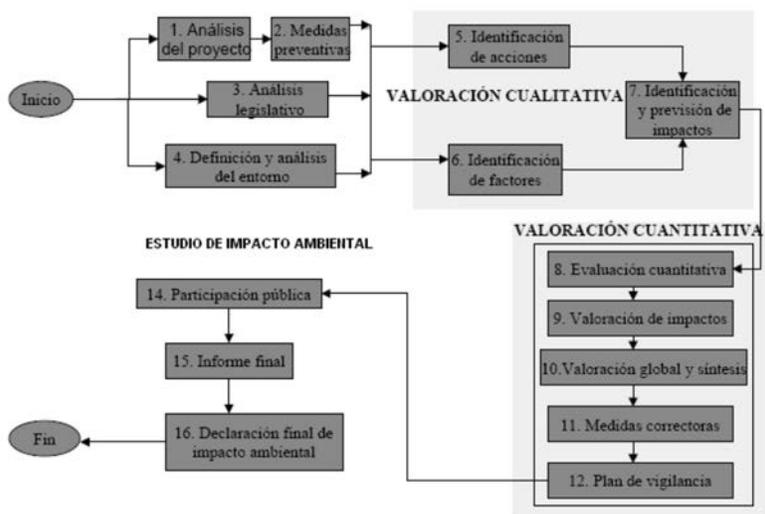


Figura 4. Estructura general de una evaluación de impacto ambiental.

- Muy alta: cuando el daño es muy grave o irreversible.
- Alta: cuando el daño es grave.
- Media: cuando el daño es reversible con grandes medidas.
- Baja: cuando el daño es reversible con medidas menores.
- Muy baja: cuando el daño es leve y no requiere medidas.

Importancia: valor cualitativo o de calidad del componente o indicador ambiental.

- Muy alta: cuando el componente ambiental no presenta contaminación.
- Alta: cuando el componente ambiental presenta baja contaminación.
- Media: cuando el componente ambiental presenta contaminación moderada.
- Baja: cuando el componente ambiental se encuentra bastante contaminado.
- Muy baja: cuando el componente ambiental presenta una elevadísima contaminación.

Una vez desarrollada la matriz, se tiene que el valor total de las columnas corresponde a la valoración cuantitativa de la agresividad de las acciones hacia los componentes ambientales. El mayor valor negativo es la acción que más daño genera al ambiente donde se realizará el proyecto. Por otro lado, el valor total de las filas indica la fragilidad del ambiente ante las acciones del proyecto. El mayor valor negativo corresponde al componente o indicador ambiental más afectado por el proyecto.

Los factores ambientales propuestos por Leopold para el desarrollo de su matriz se muestran a continuación, al igual que la acciones propuestas que pueden causar impacto ambiental.

• **Calificación ecológica (CE)**

Metodología desarrollada por las Empresas Públicas de Medellín, mediante la cual se califican cuantitativamente las consecuencias de los impactos ambientales. La calificación de esta metodología está expresada por la suma ponderada de los siguientes criterios cualitativos:

- **Presencia (P):** califica la certeza o probabilidad de que el impacto pueda ocurrir:
- **Desarrollo (D_e):** califica la velocidad de presencia del impacto ambiental.
- **Duración (D_u):** califica el periodo de existencia del impacto y sus consecuencias. Los rangos de calificación son los siguientes:
- **Magnitud (M_a):** califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental directo o indirecto producido sobre un indicador ambiental.

Con base en los anteriores criterios, se obtiene la calificación ecológica (CE):

$$CE = P_r (aD_e M_a + bD_u)$$

En la expresión anterior, *a* y *b* son constantes, y sus valores pueden variar de 0,1 a 0,9.

La calificación ecológica (CE) se jerarquiza en los siguientes cinco rangos:

RANGO	VALORACIÓN
Muy alto	9 - 10
Alto	7 - 8
Medio	5 - 6
Bajo	3 - 4
Muy bajo	1 - 2

• **Battelle - Columbus**

Es un método de evaluación cuantitativa y cualitativa y de predicción de impactos o efectos ambientales.

Esta metodología está compuesta por:

- 1000 PIU (*Parameter Importance Unit*).
- 78 parámetros ambientales.
- 18 componentes ambientales.
- 4 categorías ambientales.

La aplicación de esta metodología sugiere el siguiente procedimiento:

1. Dar valores a las 4 categorías, a los 18 componentes y a los 78 (PIU) parámetros ambientales.
2. Elaborar las gráficas de calidad ambiental o funciones de transformación.

3. Calificar las unidades de impacto ambiental (UIA) sin proyecto y con proyecto, mediante la siguiente expresión:

$$UIA = PIU * C.A.$$

Finalmente, se comparan los resultados y se hace un análisis de impactos ambientales.

- Superposición de imágenes

Es un método de identificación y predicción de impactos. Consiste en elaborar la línea base en mapas.

La superposición de imágenes consiste en disponer de diversos mapas que establecen impactos individuales sobre un territorio, y se superponen para obtener un impacto global. Cada mapa indica una característica física, social o cultural, que refleja un impacto ambiental específico. Los mapas pueden identificar, predecir y asignar un valor relativo a cada impacto.

La superposición de mapas permite una comprensión del conjunto de impactos establecidos en forma independiente, relacionarlos con diversas características (como aspectos físico-territoriales y socioeconómicos de la población radicada en el área) y de esta manera establecer un impacto global.

Para la elaboración de los mapas se utilizan elementos como fotografías aéreas, mapas topográficos, observaciones en terreno, opinión de expertos y de diferentes actores sociales, etc. Es importante que los mapas tengan la misma escala y un adecuado nivel de resolución para el tema en análisis.

En este campo se ha desarrollado una amplia gama de paquetes computacionales, que han incrementado considerablemente su aplicabilidad y eficiencia, sobre todo en proyectos de desarrollo lineal. También se han aplicado profusamente como complemento de listados y matrices.

Este método es bastante útil cuando existen variaciones espaciales de los impactos, de las que no dan cuenta las matrices. Adquieren relevancia en el ámbito local, en particular cuando se trata de relacionar impactos ambientales localizados con indicadores de salud o características socioeconómicas espacialmente diferenciadas.

- Modelos de simulación

Son métodos de predicción de efectos. Un modelo de simulación es la representación formal de un supuesto, mediante modelos matemáticos. En el proceso la simulación permite conocer la forma como cambian los estados de un componente ambiental (aire, agua).

En una simulación se busca predecir situaciones, evaluar y diseñar alternativas de prevención y control y realizar una retroalimentación de las tecnologías de manejo ambiental.

El consultor de esta guía puede seleccionar el método que considere más conveniente o que, según su experiencia, arroje los mejores resultados. Sin embargo, para quienes no han tenido mucha experiencia en el manejo de estas metodologías se recomienda utilizar la matriz de Leopold como método de determinación y valoración de impactos, ya que es bastante sencilla y requiere un buen conocimiento de las actividades que se aplican según la fase del proyecto.

PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Tal como se planteó, en la etapa de diseño, si lo permite el proyecto, se identifican y analizan diferentes opciones de construcción. Normalmente en zonas urbanas, donde la mayoría de las veces el objetivo de la construcción de redes es realizar el suministro o desagüe de predios (barrios, manzanas, cuadras y lotes), es poco probable que existan otras alternativas de localización de los tramos de tuberías. No obstante, es conveniente analizar otras posibilidades si al hacer el balance de oferta-demanda del proyecto la alternativa seleccionada no es la más adecuada.

GUÍA METODOLÓGICA PARA UN PMA DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

En la fase de diseño, en desarrollo del EIA, habrá que proponer un Plan de Manejo Ambiental (PMA), el cual se deberá implementar y ejecutar en la fase de construcción. Este PMA consiste en la elaboración sistemática y estructurada de una serie de medidas tendientes a mitigar, restaurar o compensar los impactos ambientales negativos producidos en el entorno, a causa de las actividades de construcción y operación de un proyecto de redes de acueducto o alcantarillado. También hay que

contemplar la elaboración de una estrategia ambiental que incluya medidas de prevención de riesgos ambientales y control de accidentes.

En relación con los impactos negativos, a continuación se presenta, en términos generales, una descripción de las medidas de mitigación, reparación o restauración y las medidas de compensación, según sea el tratamiento adoptado para disminuir los efectos adversos ocasionados por los impactos estimados.

• Medidas de mitigación

Con estas medidas se pretende evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto en el entorno, cualquiera que sea su fase de ejecución (tabla 1).

Las medidas de mitigación se determinan en función del análisis de los componentes ambientales afectados por la ejecución del proyecto, en cada una de sus etapas. Se pueden tener tres categorías diferentes:

1. Medidas que impidan o eviten completamente un efecto adverso significativo, mediante la no ejecución de una obra o acción.
2. Medidas que minimizan o disminuyen el efecto adverso o significativo, mediante una adecuada limitación o reducción de la magnitud o duración de la obra o acción, o de alguna de sus partes.
3. Medidas que reducen o eliminan el efecto adverso significativo, mediante la implementación de acciones específicas.

Posteriormente, se presenta un listado de medidas que se pueden adoptar frente a un impacto ambiental potencial para la tipología de los proyectos que aparecen en esta guía (tabla 1).

• Medidas de reparación o restauración

Estas medidas tienen como finalidad garantizar que uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente poseerán una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser posible, que se restablecerán sus propiedades básicas.

Un ejemplo de medida de reparación es la que exige el IDU por medio de las licencias de excavación, donde especifica que cuando los andenes son intervenidos por la construcción de redes de acueducto o alcantarillado,

se deben reparar no solamente en la franja afectada sino en su totalidad.

• Medidas de compensación

Las medidas de compensación tienen como objetivo producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado.

En cuanto a las medidas de compensación, se pueden citar como ejemplo las que ejecutan algunos concesionarios de rellenos sanitarios, quienes para compensar los efectos negativos a las comunidades vecinas, les construyen los sistemas de acueducto y alcantarillado, o los sistemas de tratamiento u otro tipo de estructura que requieran. Normalmente las medidas de compensación son negociadas con las comunidades, a menos que se refieran a compensaciones forestales o paisajísticas.

Hay que describir en forma sencilla el componente afectado y los potenciales impactos ambientales que se prevé se puedan ocasionar como producto de la ejecución y operación del proyecto, con su respectiva medida de mitigación, reparación o restauración y compensación, con el fin de diseñar un plan de mitigación o compensación apropiado para el proyecto.

El diseño de un Plan de Manejo Ambiental busca que se genere y se provea la información específica necesaria y se establezcan los compromisos para asegurar un medio ambiente libre de contaminación.

Las medidas propuestas de reducción, mitigación o compensación de impactos ambientales adversos están basadas en la experiencia del consultor y la bibliografía consultada, por lo cual hay que tomar en cuenta los lineamientos que el ente regulador o la entidad contratante posea en sus políticas operacionales.

FICHAS AMBIENTALES

La formulación del PMA se debe hacer en forma de fichas ambientales, reconfigurando secuencial y cronológicamente las medidas necesarias que se deben aplicar en el transcurso de la construcción y operación del proyecto.

Se recomienda que las fichas ambientales se estructuren con base en las actividades más comunes que se llevan a cabo en proyectos de construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado, con el fin de entregar una rápida comprensión de las medidas pro-

Tabla 1
Medidas que se pueden adoptar frente a un impacto ambiental potencial adverso

Componente	Impacto	Medidas de mitigación
Emisiones a la atmósfera	Emisión de material particulado y polvo	-Humedecer periódicamente las vías de acceso a la obra. -Transportar con anticipación el material de excavación cubierto y por las rutas establecidas.
Efluentes líquidos	Generación de aguas residuales	-Reutilizar el efluente producido por las pruebas de lavado y desinfección de las redes. -Disponer de baños móviles para el personal de la obra.
Residuos sólidos	Generación de residuos sólidos (domésticos e industriales)	-Mantener contenedores de residuos domiciliarios para un adecuado almacenamiento temporal. -Recuperar y reutilizar la mayor cantidad de residuos de excavaciones. -Retirar, transportar y disponer los residuos sobrantes en lugares autorizados.
Ruidos o vibraciones	Incremento de los niveles de ruido	-Realizar trabajos de excavación e instalación de tuberías en horarios diurnos. -Mantener los vehículos en las mejores condiciones mecánicas.
Recursos hídricos	Alteración y utilización del agua superficial o subterránea	-Procurar que las obras no perjudiquen ni entorpezcan el suministro de agua a los usuarios.
	Contaminación de cursos de agua o cauces por sedimentos y residuos líquidos o sólidos	-No almacenar temporalmente material de excavación en cauces, en lechos de ríos o en sectores que desemboquen en ellos. -No disponer efluentes en cauces o cursos de agua que sirven para abastecimiento. -Remover inmediatamente los derrames accidentales de combustible con materiales adecuados.
Suelo	Cambios en la estructura del suelo (propiedades físico-químicas)	-No hacer directamente en el suelo las mezclas para obras de concreto. -Realizar los trabajos de mantenimiento de equipos y maquinaria, si se requiere, sobre un polietileno que cubra el área de trabajo. -Remover inmediatamente el suelo, en caso de derrames accidentales de combustible, y restaurar el área afectada con materiales y procedimientos sencillos.
Vegetación y fauna	Remoción y afectación de la cobertura vegetal	-Utilizar la infraestructura existente para la instalación de los trabajadores. -Separar la capa de material orgánico de la del material inerte y disponer adecuadamente dicho material para su posible reutilización. -Evitar el paso de maquinaria sobre suelo con cobertura vegetal fuera del área de la obra. -Restaurar las zonas afectadas con especies establecidas en el lugar.
Población	Alteración de las costumbres y cultura de las comunidades cercanas	-Evitar la interferencia entre el tráfico peatonal o vehicular y los frentes de trabajo. -Disponer de rutas alternativas en fechas de importancia para la comunidad.
	Incremento en los niveles de accidentabilidad	-Transportar el material de excavación sin superar la capacidad del vehículo de carga. -Mantener una adecuada señalización en el área de obra, en etapa de ejecución y operación. -Instalar cercos perimetrales en los frentes de trabajo. -Controlar la velocidad de los vehículos y verificar que éstos cuenten con alarma en reversa.
Paisaje	Impacto visual	-Recuperar y restaurar el espacio público afectado una vez finalizada la obra, retirando todos los materiales y residuos provenientes de las actividades de construcción.
Patrimonio cultural	Daño al patrimonio cultural	-Suspender la obra, delimitar el área e informar a quien corresponda para una correcta evaluación, en la eventualidad de hacer hallazgos arqueológicos. Después de realizadas estas actividades, se puede continuar con el trabajo.

puestas y su implementación en el momento requerido. Así mismo, esta estructura permite que estas fichas se puedan emplear como una guía de cumplimiento ambiental, puesto que establece de manera secuencial una lista de verificación de aspectos ambientales que se desarrollarán en todas las etapas.

A continuación se muestra el modelo general para desarrollar las fichas ambientales para cada uno de los componentes o actividades presentadas en la etapa de construcción y operación del proyecto.

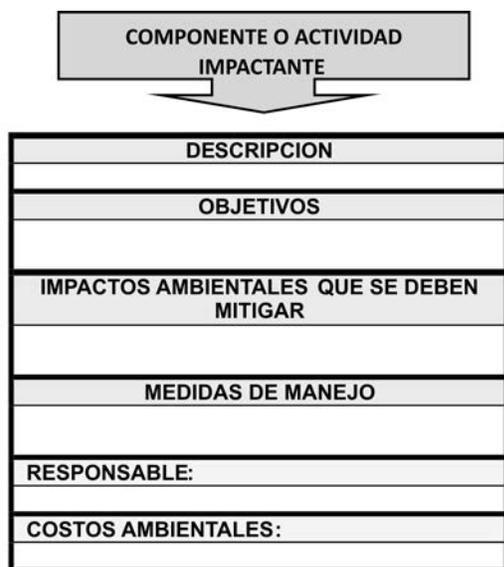


Figura 6. Modelo general de fichas ambientales.

RESPONSABILIDADES Y COMPROMISOS

Si bien el EIA y el PMA son elementos básicos para permitir la interacción adecuada entre el proyecto y el medio ambiente, estos elementos no tendrían ningún sentido si los involucrados no conocieran o no estuvieran comprometidos con la aplicación de las medidas ambientales propuestas.

Por lo anterior, se requiere hacer énfasis en que existen otros aspectos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de EIA y la implantación de un PMA, como la organización misma del proyecto, la capacitación del personal en temas ambientales, el desarrollo del plan de vigilancia y control ambiental y el plan de emergencia ambiental.

ORGANIZACIÓN PARA EL MANEJO DEL TEMA AMBIENTAL

El proyecto se ha de organizar adecuadamente para manejar los temas ambientales. Dentro del organigrama se debe designar el responsable de hacer el seguimiento de las variables ambientales en las cuales se previeron impactos adversos e impactos positivos, y que se identificaron previamente.

Los profesionales del proyecto deben tener conocimiento del Plan de Manejo Ambiental, así como también conocer sobre los componentes potencialmente afectados por la obra, pues entre sus responsabilidades

deben identificar impactos no previstos que pueden surgir una vez comenzadas las obras. Por tanto, en el proyecto se debe manejar un programa o subprograma de gestión ambiental, como parte del plan de calidad del proyecto.

Capacitación ambiental del personal de la obra

Una de las labores de incorporación de personal para un proyecto consiste en capacitar al personal en los temas relacionados con el Plan de Manejo Ambiental, así como en seguridad industrial y salud ocupacional.

Plan de vigilancia y control ambiental

En el proyecto se debe desarrollar un Plan de Vigilancia y Control Ambiental para garantizar el cumplimiento de las medidas ambientales propuestas. Hay que designar a una persona de la obra para que lleve un registro de los incidentes y accidentes de carácter ambiental y de salud de los trabajadores para tomar las medidas correctivas apropiadas.

El propósito que persigue el establecimiento de un programa de seguimiento es, por tanto, múltiple y podría sintetizarse en los siguientes puntos:

- Comprobar que se han tomado las medidas propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental.
- Proporcionar información que puede emplearse en la verificación de los impactos previstos y mejorar así las técnicas de predicción.
- Proporcionar información sobre la calidad y oportunidad de las medidas de mitigación adoptadas.
- Comprobar la cuantía de ciertos impactos cuando su predicción resulta difícil.
- Articular nuevas medidas en la eventualidad de que las aplicadas no sean suficientes.
- Ser una fuente importante de datos para mejorar el contenido de futuros estudios de impacto ambiental, puesto que permite evaluar hasta qué punto las predicciones efectuadas son correctas. Muchas de las predicciones ambientales se efectúan mediante la técnica de escenarios comparados, por lo que este tipo de información resulta relevante.
- Detectar alteraciones no previstas en el estudio de impacto ambiental, debiendo adoptar nuevas medidas en este caso.

Los programas de seguimiento se utilizan cada vez con más frecuencia como un componente adicional de la gestión ambiental y, en definitiva, es el elemento central que permite verificar la calidad del estudio y la sustentabilidad ambiental de las acciones humanas.

Plan de emergencia ambiental

La construcción de redes de acueducto y alcantarillado son proyectos de baja probabilidad para que se produzcan emergencias ambientales de grandes proporciones. Sin embargo, el contratista debe indicar las acciones de manejo que tendría en caso de una eventual emergencia ambiental, ya sea por derrame de combustible, escape de gases o materiales peligrosos, accidentes importantes durante las labores, problemas debido a emergencias climáticas, etc.

La elaboración de un plan de contingencia es fundamental, pues planifica los recursos organizacionales, técnicos, logísticos y financieros necesarios para ejecutar los procesos de prevención, protección, control y atención de las emergencias, con el fin de minimizar su probabilidad de ocurrencia, la gravedad de sus consecuencias, permitiendo que se afecte en grado mínimo el equilibrio financiero y técnico de los proyectos, y se garantice la rápida recuperación de los efectos producidos sobre el medio ambiente.

Todo contratista o usuario relacionado con el proyecto debe tener en cuenta los siguientes puntos en el momento de actuar:

- Brindar una razonable seguridad a las personas que ingresen a las instalaciones por cualquier motivo, lo cual debe incluir, como mínimo:
 - La disminución y el control de los riesgos propios de las actividades desarrolladas o que se vayan a desarrollar.
 - El suministro de facilidades para la evacuación
 - El suministro de facilidades y medios para el rescate de personas.
- Preservar los bienes de los siniestros, teniendo en cuenta su valor económico y estratégico para la empresa y para la comunidad en general. Hay que incluir los edificios, las instalaciones y servicios, los sistemas, los muebles y equipos, la maquinaria, los archivos y su información, los materiales y los productos, entre otros.

- Proteger el medio ambiente de los riesgos de contaminación y daños asociados con la operación del proyecto. Se debe incluir la contaminación hídrica, daños al componente biótico, emisiones y disposición de residuos, entre otros.

Los resultados esperados en el plan de contingencia deben ser los siguientes:

- Minimizar el número y la gravedad de las lesiones ocasionadas por los siniestros a los empleados del proyecto y a la comunidad vecina.
- Minimizar las pérdidas económicas causadas por los siniestros.
- Minimizar los daños y perjuicios ocasionados por los siniestros al propietario del proyecto.
- Minimizar el impacto ambiental sobre los ecosistemas.
- Minimizar conflictos legales para la empresa o sus funcionarios ante la eventualidad de un siniestro.
- Preservar la buena imagen de la entidad propietaria del proyecto ante la comunidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la guía presentada se hace hincapié en la elaboración de los PMA, debido a que actualmente las autoridades ambientales y las empresas contratantes sólo consideran los EIA para macroproyectos y dejan como requisito ambiental los PMA para proyectos como los contemplados en esta guía.
- A lo largo de la guía se plantean principalmente los lineamientos y prioridades sobre los cuales se desarrollará el PMA para proyectos de construcción y operación de redes de acueducto y alcantarillado, de tal manera que se logren niveles adecuados de mitigación de los impactos, con el seguimiento de las fichas ambientales propuestas.
- Si bien el EIA y el PMA son elementos básicos que permiten la interacción adecuada entre el proyecto y el medio ambiente, estos elementos no tendrían ningún sentido si los involucrados no conocieran o no estuvieran comprometidos con la aplicación de las medidas ambientales propuestas.
- Los programas de seguimiento están condicionados por los impactos que se van a producir en cada caso, por lo que no se podrán fijar *a priori* programas gené-

ricos que abarquen todos los impactos ambientales y proyectos involucrados. Por tanto, este programa debe ser específico de cada proyecto y su alcance dependerá de la magnitud y calidad de los impactos que se esperan.

- En el proyecto se deberá desarrollar un plan de vigilancia y control ambiental para garantizar el cumplimiento de las medidas ambientales propuestas.
- Todos los involucrados en el proyecto deberán tener conocimiento del Plan de Manejo Ambiental, así

como también información sobre los componentes potencialmente afectados; por tanto, en el proyecto se debe manejar un subprograma de gestión ambiental, como parte de su plan de calidad.

- Para la escogencia del método de evaluación de impactos se recomienda tener en cuenta las siguientes ventajas y desventajas de cada uno de los métodos propuestos (tabla 2).

Tabla 2
Ventajas y desventajas de los métodos de evaluación de impactos ambientales

Método	Ventajas	Desventajas
Lista de comprobaciones	Simple de comprender. Seleccionar espacios. Establecer prioridades.	No permite diferenciar los impactos directos de los indirectos. No une la acción con el impacto. La valoración puede ser discutible.
Matrices	Une la acción con el impacto. Permite esquematizar resultados. Exhaustivo.	No permite diferenciar los impactos directos de los indirectos. Puede duplicar el conteo de los impactos. La valoración puede ser discutible.
Redes	Une la acción con el impacto. Maneja impactos directos e indirectos. Permite jerarquizar impactos.	Puede resultar una herramienta muy compleja. No asigna valoración a los impactos.
Superposición de imágenes o SIG	Buen método de representación espacial de impactos. Permite seleccionar distintos espacios. Permite experimentar. Permite modelar resultados.	Resulta muy costoso. Depende de la existencia de datos. Exige personal capacitado en la construcción de los modelos.

REFERENCIAS

- Rodríguez Díaz, Héctor Alfonso (2009). *Estudios de impacto ambiental. Guía metodológica*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (Dama), Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). *Guía de manejo ambiental para el desarrollo de proyectos de infraestructura urbana en Bogotá, D.C.*, ediciones 2001 y 2003.
- Dama. Resolución 991 de 2001, "mediante la cual se adopta para el Distrito Capital de Bogotá, la *Guía de manejo ambiental para el desarrollo de proyectos de infraestructura que causen bajo impacto ambiental*".
- Generalitat de Catalunya, España, Departament de Medi Ambient. *Manual de gestión ambiental para l'execució d'obres*, CD suministrado por el Ministerio del Medio Ambiente.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto distrital 357 de mayo de 1997, "mediante el cual se regulan el manejo, transporte y disposición final de los escombros y materiales de construcción".
- Dama (1997). *Guía técnica para el manejo de escombros de la construcción*.
- Dama (2001). *Guía para el manejo ambiental de obras lineales de Bogotá D.C.*
- Dama (2001, marzo). *Visión Ambiental Bogotá 2015*. Síntesis del Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital.
- Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (2000, diciembre). *Manual de arborización para Bogotá*.
- Dama (2000, septiembre). *Gestión de residuos en Bogotá, D.C., plazas de mercado, llantas, baterías, sustancias tóxicas y peligrosas*.
- Caldwell, Lynton Keith (1993). *Ecología, ciencia y política medioambiental*. McGraw Hill Interamericana de España, serie McGraw Hill de divulgación científica.
- City of Rockville, Maryland (1999, September). *Environmental guidelines*. W. Mark Pentz, City Manager; Julia D. Novak, Deputy City Manager.
- Concreto S.A. (1999, diciembre). *Cartilla de manejo ambiental de obras con infraestructura de servicios*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2003). *Código de Policía de Bogotá, D.C., Normas para convivencia ciudadana, Acuerdo 79 de 2003*. Bogotá: Imprenta Distrital.
- Dama (2003). Programa de Ecurbanismo. Resumen ejecutivo. Subdirección de Planeación.
- Dama. Página web, legislación ambiental.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Página web, legislación ambiental.

Además de las referencias normativas presentadas en este artículo, se consultaron las siguientes páginas web y publicaciones:

- www.secretariassenado.gov.co/leyes
www.dnp.gov.co/03_prod/compes/compes.htm
www.asocars.org.co
www.presidencia.gov.co/decretoslinea
www.cra.gov.co
www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/index4.htm
www.ideam.gov.co/publica/index4.htm

Entrenador mioeléctrico para dispositivos prostéticos de mano

Myoelectric trainer prosthetic hand device

JUAN SEBASTIÁN CABRERA HIDALGO

Ingeniero de Desarrollo Hardware en Investigación y Tecnología S.A. Magíster en Ingeniería de Confiabilidad y Riesgo de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Ingeniero físico de la Universidad del Cauca. Candidato a Magíster en Ingeniería, área: Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

HÉCTOR FABIO JARAMILLO ORDÓÑEZ

Docente en la Universidad del Cauca. Magíster en Ingeniería, área: Telemática de la Universidad del Cauca. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ CHEU

Docente en la Escuela Colombiana de Ingeniería. Doctor de la Universidad Politécnica de Cataluña. Magíster en Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Andes. Ingeniero eléctrico de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Recibido: 15/09/2009 Aceptado: 25/10/2009

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se describe la construcción de un entrenador mioeléctrico a partir de un conjunto normalizado de interfaces, es decir, desarrollar el entrenador implementando las interfaces previamente establecidas en una arquitectura global *hardware-software* para dispositivos prostéticos de mano.

Los objetivos son facilitar la adaptación de una prótesis mioeléctrica para amputados de mano a través de un entrenamiento previo al manejo de la prótesis y que, a su vez, dicho entrenador sea un desarrollo modular que permita la reutilización e integración de distintos resultados de investigaciones relacionados con dispositivos de este tipo.

Por sugerencias de profesionales del área de fisioterapia del Centro Integral de Rehabilitación de Colombia (Cirec), el entrenador se conforma de una mano virtual de apariencia humana y un videojuego, los cuales son controlables a partir de las señales mioeléctricas generadas por el paciente.

El sistema se ha probado en cinco personas sin amputación, que han realizado un entrenamiento exitoso, gracias al cual han conseguido controlar el videojuego y la apertura y cierre de la mano.

Palabras claves

Entrenador de prótesis, adecuación de prótesis, reúso, encapsulamiento, interfaz normalizada, arquitectura de prótesis.

Abstract

This paper describes the construction of a myoelectric trainer from a standard set of interfaces, i.e. to develop the trainer implementing the interfaces previously established in global hardware-software architecture for prosthetic hand devices.

Objectives: to facilitate the adjustment of myoelectric prosthetics for hand amputees through a training prior to the prosthesis management. In turn, the trainer is a modular developing to reuse and integrate different research results related to such devices.

Professionals in physiotherapy at Integral Rehabilitation Centre of Colombia (Cirec) have suggested the trainer is made of a human-like virtual hand and a videogame, which are controlled from the myoelectric signals generated by the patient.

The system was tested in five people without amputation, which have been successful getting a workout to manage the videogame and control the opening and closing of the hand.

Keywords: Architecture prosthesis, encapsulation, prosthetic adaptation, reuse, standard interface, prosthesis trainer.

INTRODUCCIÓN

Las dificultades que enfrenta una persona amputada son desoladoras: desde su propia autoestima al sentirse “menos-válido”, hasta la consecución de un trabajo desde el cual pueda sostenerse a sí mismo y a su familia. En Colombia, debido a los conflictos armados, muchas personas, tanto civiles como militares, son víctimas de amputaciones que reducen su autonomía en la sociedad, dificultando aún más las condiciones de vida en el país.

En el mundo, muchos centros de investigación y empresas privadas realizan estudios y desarrollos para brindar opciones de una mejor vida a las personas amputadas a través del uso de prótesis robóticas. Entre los dispositivos prostéticos al que mayor atención se le ha prestado es a la prótesis de mano, ya que las manos son la principal herramienta de acción creativa; sin embargo, las soluciones que existen suelen ser muy costosas para nuestra sociedad, y gran parte de este costo se debe a la falta de reutilización de los avances alcanzados por otros en el área; es así como la implementación de cada solución, a pesar de tener una arquitectura de base similar, es propietaria y suele mantener un alto acoplamiento entre los módulos de la arquitectura utilizada.

Por tanto, dada la baja reutilización y el alto acoplamiento en los desarrollos relacionados con dispositivos prostéticos de mano, en Cabrera (2009) se propone un conjunto normalizado de interfaces para los componentes que integran a los dispositivos prostéticos de mano con el fin de permitir un desarrollo sostenible y comprensible de éste, de tal modo que si se hace necesario cambiar total o parcialmente la estrategia de control en alguno de los componentes se haga teniendo en cuenta las interfaces previamente establecidas, sin causar inconvenientes al funcionamiento de los demás componentes.

Lo anterior facilitaría la integración y depuración de los componentes *hardware/software* que conforman el entrenador de prótesis de mano y permitiría llevar de una manera metódica un sistema de control de versiones, el cual registre los cambios realizados con miras a la puesta a punto, mantenimiento y evolución del sistema.

Para el desarrollo del presente proyecto se tomó como referencia el modelo para la construcción de soluciones expuesto en Serrano (2005). De acuerdo con el modelo se efectuaron las siguientes actividades: especificaciones, diseño, implementación y pruebas del

entrenador mioeléctrico (ME). Dichas actividades se describirán a continuación.

ESPECIFICACIONES DEL ENTRENADOR MIOELÉCTRICO

De acuerdo con Alonso, Sánchez, Espino, Liptak & De la Rosa (2002), “una prótesis mioeléctrica es un sistema accionado por servomotores que se gobierna a partir de señales mioeléctricas recogidas en el muñón del paciente, para lo cual es preciso un reconocimiento en tiempo real de las características de dichas señales”. En esta definición se introduce el concepto de tiempo real, el cual sugiere que la respuesta del dispositivo prostético no sólo debe ser correcta, sino que debe generarse en un tiempo específico y de mínimo valor.

En Farrell & Weir (2007) se sugiere que un retardo óptimo para la respuesta del dispositivo prostético se encuentra entre 100 ms para agarres rápidos y 125 ms para los lentos. Por consiguiente, para garantizar el cumplimiento de este requisito temporal se tuvieron en cuenta los conceptos de tiempo real, aplicados al dispositivo prostético a través del uso de un sistema operativo de tiempo real (RTOS, por su sigla en inglés).

Por otro lado, se especificó que el entrenador debería contar con una mano de apariencia humana con el fin disminuir el nivel de impacto psicológico al paciente. En entrenadores como los fabricados por Otto Bock Health Care GmbH (2010) se presentan manos de apariencia ósea o robotizada, las cuales, de acuerdo con profesionales de fisioterapia del Cirec, podrían indisponer psicológicamente al paciente.

Según Dupont & Morin (1994), el uso del entrenador virtual para prótesis de mano se asemeja al control de un videojuego, el cual lo convierte en un sistema apropiado para niños amputados, ya que reduce la sensación de rechazo inicial que supone la colocación de un elemento extraño, en este caso la prótesis, sobre el brazo de los pequeños. En el estudio se reafirmó la sugerencia hecha por el Cirec de la importancia de agregar un videojuego al sistema de entrenamiento. De igual manera, el videojuego pretende estimular e incrementar la habilidad en la generación de la señal mioeléctrica (señal ME por su sigla en inglés), antes del control del dispositivo prostético real.

Para el control, ya sea del videojuego o de la mano virtual, se tomó como referencia el dispositivo Protec,

el cual se describe en Rodríguez (2006). La estrategia de control se basa en la detección de la duración de la actividad muscular a través de la señal ME. De acuerdo con dicha duración se reconoce la intención de movimiento por ejecutar, como abrir o cerrar la mano. Con esta información, el módulo controlador del dispositivo fija las trayectorias para la ejecución del movimiento y a través de un conjunto de sensores se realimenta tanto de la posición de cada articulación como de la fuerza de agarre que le imprime el dispositivo prostético al objeto.

Considerando la estrategia de control expuesta anteriormente y el conjunto normalizado de interfaces para la construcción de dispositivos prostéticos de mano sugerido en Cabrera (2009), a continuación se definirán las responsabilidades de los módulos que integran al entrenador mioeléctrico (figura 1).

DISEÑO DEL ENTRENADOR MIOELÉCTRICO

El conjunto normalizado de interfaces lo integran siete módulos, los cuales, a su vez, se conforman de un amplio grupo de responsabilidades que responden a múltiples estrategias de control para dispositivos prostéticos de mano (figura 1).

Los módulos que conforman el conjunto normalizado de interfaces son:

- Módulo gestor analógico (MGA).
- Módulo gestor digital (MGD).
- Módulo caracterizador de señal (MCS).

- Módulo gestor de reconocimiento de intención de movimiento (MGRIM).
- Módulo controlador del dispositivo (MCD).
- Módulo gestor sensorial (MGS).
- Módulo gestor de realimentación (MGR).

Ahora bien, partiendo del modelo normalizado expuesto en la figura 1, por cada uno de los módulos se seleccionan las responsabilidades que aportan directamente a la implementación de la estrategia establecida para el presente entrenador mioeléctrico.

Inicialmente se consideran los módulos gestor analógico (MGA) y gestor digital (MGD), de los que se implementarán las responsabilidades de adquirir la señal analógica preprocesada, así como adquirir un arreglo de muestras digitalizadas de dicha señal.

Del módulo caracterizador de la señal (MCS) se implementará la responsabilidad *GetDuration* (“obtener duración”), con el fin de detectar el tiempo de la actividad muscular; a partir de este valor el módulo de reconocimiento de intención de movimiento (MGRIM) se encarga de identificar el tipo de movimiento por ejecutar. Conociendo el movimiento deseado por el paciente, el módulo de control del dispositivo (MCD) se encarga de escoger el conjunto de trayectorias relacionadas con dicho movimiento y ejecutarlas, ya sea fijando los ángulos o el valor de torque correspondiente a cada uno de los motores que controlan las articulaciones del dispositivo prostético.

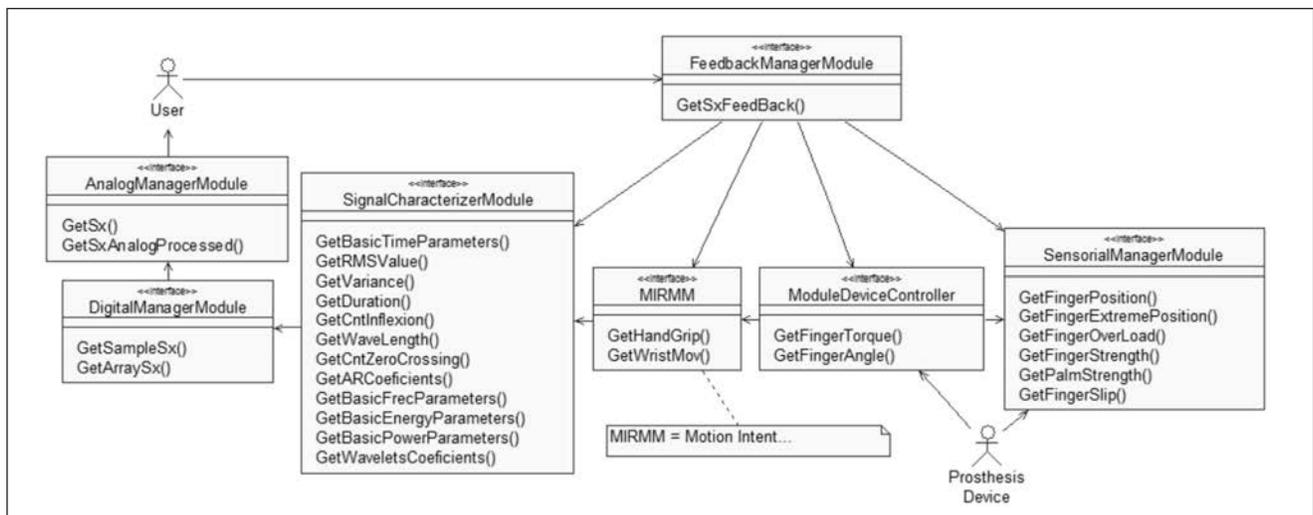


Figura 1. Diagrama UML del conjunto normalizado de interfaces para los componentes de un dispositivo prostético de mano.

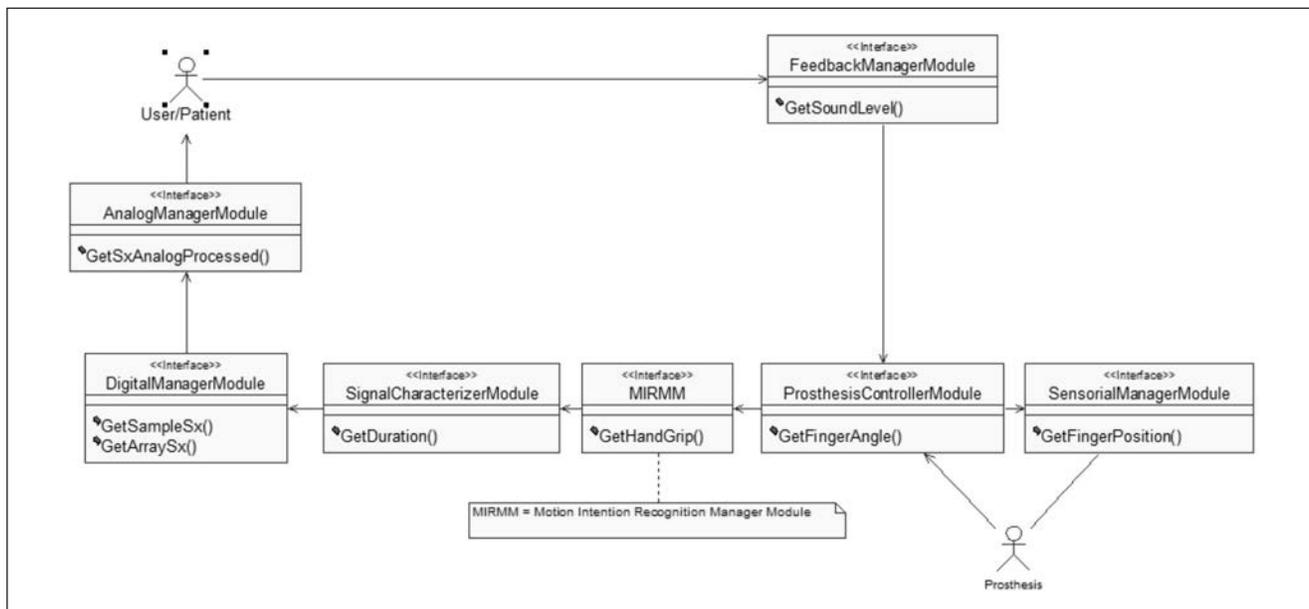


Figura 2. Arquitectura del entrenador virtual.

El módulo gestor sensorial (MGS) tendrá la responsabilidad de conocer en cada instante la posición de cada una de las articulaciones del dispositivo protésico virtual; por tanto, tendrá a disposición la función *GetFingerPosition* (“obtener la posición de cada dedo”). Dicha función se accederá por el módulo controlador del dispositivo (MCD), con el fin de realizar las correcciones pertinentes; por tanto, para lograr este objetivo, se requiere que el dispositivo protésico virtual informe de la posición angular en que se encuentra cada una de las articulaciones que conforman el dispositivo protésico.

Por último, el módulo de realimentación (MGR) debe generar una señal sonora con el objeto de realimentar al usuario acerca de la terminación de la ejecución del movimiento por parte del dispositivo protésico. Esta función se implementará a través de la función *GetSoundLevel* (“obtener nivel de sonido”).

A partir de la anterior descripción y del conjunto normalizado de interfaces se definió la arquitectura presentada en la figura 2.

IMPLEMENTACIÓN DEL ENTRENADOR MIOELÉCTRICO

De acuerdo con la arquitectura presentada en la figura 2, se describirán las características más relevantes de cada uno de los módulos que la conforman. Sin embargo, para contextualizar la implementación de la arquitectura propuesta se prefiere inicialmente detallar las herramientas *hardware/software* utilizadas en el desarrollo del entrenador mioeléctrico.

Dado que el entrenador es un paso previo a la utilización de una prótesis real se decidió realizar la implementación de la arquitectura directamente en un microcontrolador comercial; de esta manera, el presente desarrollo servirá como herramienta inicial para la creación de un sistema protésico real.

Se elige utilizar el microcontrolador MCF51CN128 de *Freescale* por su bajo costo y sus prestaciones para la aritmética de punto fijo en formato Q16, el cual, de acuerdo con Choi (2010), es un formato usado en el procesamiento digital de señales sobre sistemas embebidos. Dicho microcontrolador de 32 bits cuenta a su vez con módulo de conversión analógica digital de 12 bits, utilizado para digitalizar la señal ME, y un módulo de comunicación serie asíncrona por el que se transmiten las señales de control al dispositivo protésico virtual.

Como lenguaje de programación se elige el lenguaje C, gracias a que es un lenguaje utilizado en la implementación de sistemas operativos, es apreciado por la

Tabla 1
Comparación entre algunos de los sistemas operativos reconocidos en el mercado

RTOS	MQX	uC/OS	FreeRTOS
Expulsivo	SÍ	SÍ	SÍ
Cooperativo	NO	NO	SÍ
ROM Mínimo	12 Kbytes	6 Kbytes	2Kbytes
RAM Mínima	2,5 Kbytes	-	-
Tareas, ISR	SÍ	SÍ	SÍ
Prioridades	SÍ	SÍ	SÍ
Semáforos	SÍ	SÍ	SÍ
Mutex	SÍ	SÍ	SÍ
Colas	SÍ	SÍ	SÍ
Listas	NO	NO	SÍ
Lenguaje	C	C	C
Portabilidad	Solamente Coldfire	Diversas plataformas	Diversas plataformas
Soporte	US\$12.000 / año	Incluido en licencia	Comunidad libre
Código abierto	SÍ	SÍ	SÍ
Múltiples protocolos	USB TCP/IP	USB TCP/IP	USB TCP/IP
Costo	US\$ 0	US\$6.000	US\$0

eficiencia del código que produce y es altamente difundido entre los programadores de sistemas embebidos.

Con el propósito de garantizar el tiempo de respuesta requerido y facilitar la administración de las tareas que integran el dispositivo protésico, se decide utilizar un sistema operativo de tiempo real. Para la selección del sistema operativo que se utilizará, se tomaron en cuenta criterios tales como lenguaje de implementación, portabilidad entre procesadores de diferentes marcas, soporte y costo, entre otros. En la tabla 1 se presenta una comparación entre algunos de los sistemas operativos reconocidos en el mercado.

A partir de la tabla 1 se elige el sistema operativo FreeRTOS, dado que cumple con los criterios de selec-

ción relevantes para el desarrollo del presente proyecto, tales como bajo consumo de memoria, portabilidad entre microcontroladores y bajo costo.

Respecto a la implementación de la mano virtual o del videojuego se decide utilizar el *Framework XNA Games*, desarrollado por Microsoft para la creación de juegos de la consola Xbox 360. Es importante resaltar que XNA es una herramienta gratuita de libre distribución incluso para fines comerciales, el cual se programa a través del lenguaje C#.

En las figuras 3 y 4 se presentan la mano virtual y el videojuego denominado catapulta mioeléctrica, en su orden.



Figura 3. Ilustración de movimiento de apertura y cierre de mano.



Figura 4. Videojuego. Catapulta mioeléctrica.

A continuación se describirán las responsabilidades implementadas en cada uno de los módulos que conforman la arquitectura establecida para el entrenador mioeléctrico.

Módulo gestor analógico (MGA)

Se conforma principalmente de un circuito de amplificación diferencial basado en el integrado AD620 fabricado por Analog Device. El diseño del circuito se encuentra en la nota de aplicación (Analog Device, 1999).

De acuerdo con el conjunto normalizado de interfaces propuesto, el módulo MGA debe implementar las responsabilidades *GetSX* y *GetSxAnalogProcessed*. Por consiguiente, para la implementación de la interfaz *GetSX* se utilizan electrodos superficiales desechables (figura 5).

Respecto a la interfaz *GetSxAnalogProcessed* se implementó el circuito presentado en la figura 6, el cual recibe

como parámetro de entrada la señal ME, adquirida directamente de los electrodos, y retorna la señal ME procesada de manera analógica.

Cabe anotar que el circuito presentado en la figura 6 es uno de los posibles diseños que se pueden implementar por la interfaz *GetSxAnalogProcessed*. Otra aplicación de esta interfaz es la suministrada en las notas de aplicación de la hoja técnica del amplificador de instrumentación INA2128 (Brown, 2009).

Módulo gestor digital (MGD)

Este módulo ejecuta una tarea periódica con periodo de 1 ms, la cual se encarga de adquirir una muestra de la señal ME procesada analógicamente a través del módulo de conversión analógica digital y someterla luego a un proceso de filtrado. Dadas las exigencias temporales que impone el procesamiento digital de señales, a esta tarea se le asigna la mayor prioridad entre las tareas que controla el sistema operativo.

Para este proyecto se implementó un filtro de promedio móvil, donde la muestra filtrada es almacenada en un arreglo de 125 muestras con el fin de tener disponibles los últimos 125 ms de información.

El resultado de este proceso se conoce a través de las responsabilidades *GetSampleSx* y *GetArraySx*, definidas previamente en la arquitectura. Cada que se adquiere una muestra de la señal se cede un semáforo a través de la función *xSemaphoreGive* del sistema operativo, con el fin de informarle al módulo caracterizador de la señal (MCS) que se dispone de una nueva muestra de la señal.

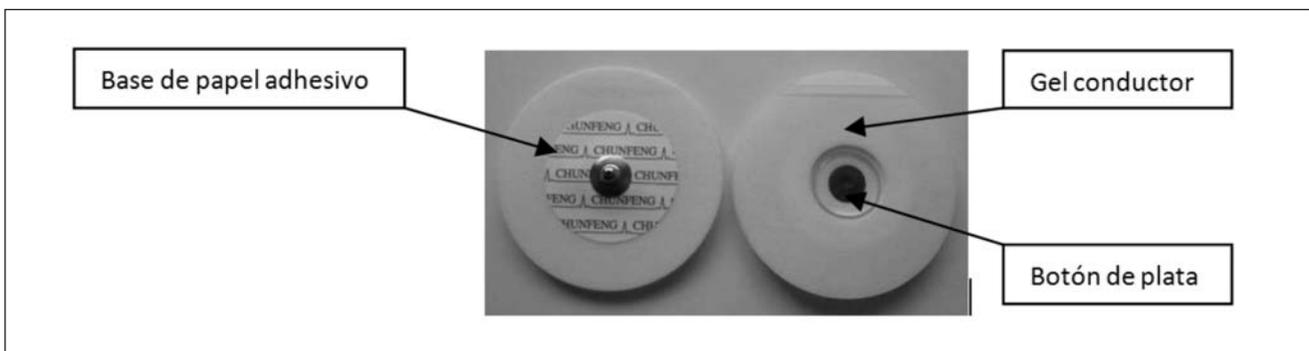


Figura 5. Electrodos superficiales.

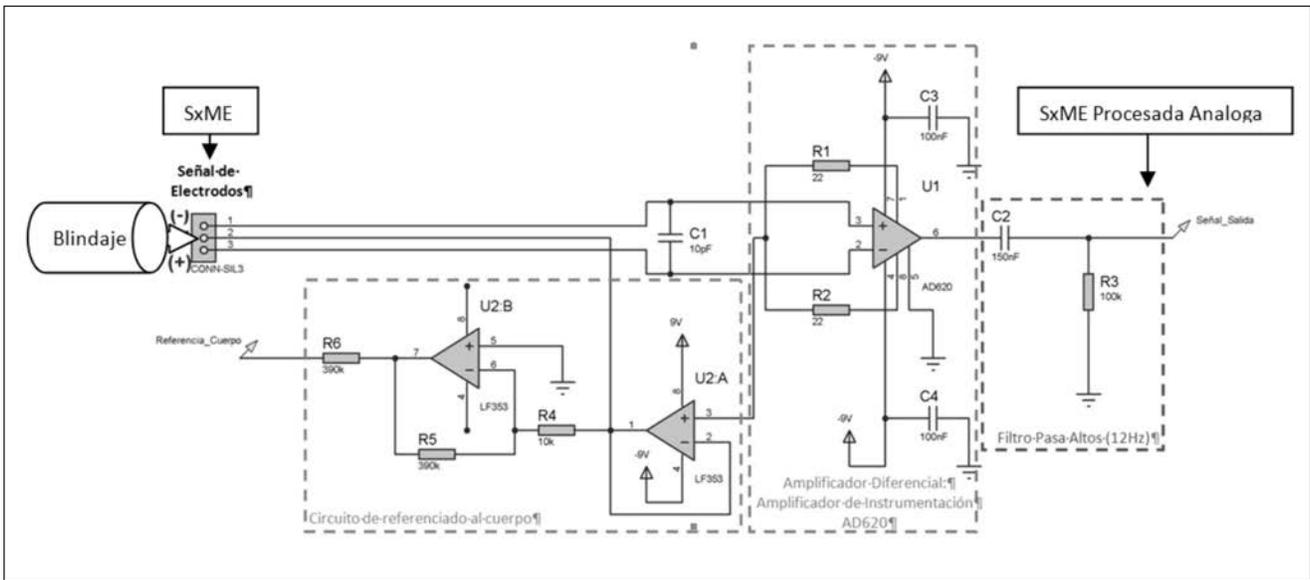


Figura 6. Circuito de adquisición y procesamiento analógico de la señal ME.

Módulo caracterizador de la señal (MCS)

Este módulo ejecuta una tarea que se encarga de detectar el lapso en que las muestras superan un umbral determinado por el 50% de la máxima contracción voluntaria de los músculos en cuestión.

Esta tarea espera a que el módulo gestor digital (MGD) le envíe una señal que informe que cuenta con una nueva muestra de la señal ME para ser procesada. De igual manera, como el MDG le envía una señal al módulo MCS, éste envía una señal a través del sistema operativo con el fin de informarle al módulo gestor de reconocimiento de intención de movimiento (MGRIM) que se cuenta con un nuevo dato de activación muscular.

Para acceder a la información procesada por este módulo se realiza a través de la interfaz *GetDuration*, la cual retorna el tiempo en el milisegundo que duró dicha activación.

Módulo gestor de reconocimiento de intención de movimiento (MGRIM)

Ejecuta una tarea que se encarga de determinar la intención de movimiento del paciente a partir de las características generadas por el MCS.

Esta tarea espera a que el módulo caracterizador de la señal le envíe una señal a través del sistema operativo

que informe que se cuenta con una nueva característica para ser procesada. En este punto se relacionan las características de la señal ME con una intención de movimiento en particular. Para el presente proyecto, del posible conjunto de características propuestas en el MGRIM del conjunto normalizado de interfaces (figura 1), únicamente se consideró la duración de la señal mioeléctrica. A partir de esta duración se reconocieron las intenciones de movimiento del paciente, es decir, abrir o cerrar el dispositivo prostético.

Para el presente proyecto se determina que si la duración de la actividad muscular se encuentra entre 200 y 400 ms la intención del paciente es cerrar la mano, y si la actividad muscular está entre 400 y 600 ms la intención es abrirla. Estos valores podrían ajustarse de acuerdo con el criterio de usabilidad de cada paciente.

Otra posible relación entre el tiempo de actividad muscular y la intención de movimiento es detectar pulsos de corta duración que superen el 50% de la máxima contracción voluntaria (MCV). Por ejemplo, si el usuario genera dos pulsos ME continuos, separados entre 100 y 200 ms, la intención de movimiento es cerrar la mano, y ya sea con la detección de uno o tres pulsos la intención de movimiento podría ser abrirla.

En el instante en que el MGRIM detecta una nueva intención de movimiento, éste envía una señal al mó-

dulo controlador del dispositivo (MCD), con el fin de informarle que se cuenta con una nueva orden para ser ejecutada por el dispositivo protésico.

La información de la intención de movimiento se retorna a través de la interfaz *GetHandGrip*, la cual es definida por el conjunto normalizado de interfaces propuesto en este proyecto.

Módulo controlador del dispositivo (MCD)

Este módulo realiza una tarea que se encarga de controlar, a través de la rotación de las articulaciones, los movimientos ejecutados por el dispositivo protésico.

Al recibir una señal por parte del módulo gestor de reconocimiento de intención de movimiento (MGRIM), el módulo controlador del dispositivo (MCD) procede a ejecutarlo. Para ello, inicialmente se selecciona la trayectoria por ejecutar y se conoce la posición actual de cada articulación a través del módulo gestor sensorial (MGS) y su interfaz *GetFingerPosition*.

A partir de esta información se procesa un algoritmo de control, el cual genera una serie de órdenes que ubican las articulaciones en la posición predefinida por las trayectorias. Dichas órdenes se retornan a través de las interfaces *GetFingerAngle* o *GetFingerTorque*, propuestas en el conjunto normalizado de interfaces.

Es importante mencionar que para el presente proyecto se fijarán los movimientos directamente a través de ángulos, los cuales son referenciados con la convención de “mano extendida, cero grados de rotación”.

Módulo gestor sensorial (MGS)

Este módulo ejecuta una tarea encargada de mantener la información actualizada de la posición angular de cada una de las articulaciones. En este caso, el dispositivo protésico virtual será el que suministre dicha información, a la cual accederá el MGS a través del puerto de comunicación asíncrona y la retornará a través de la interfaz *GetFingerPosition*.

Módulo gestor de realimentación (MGR)

Este módulo ejecuta una tarea encargada de realimentar al usuario determinada información relacionada con el

estado del dispositivo protésico. Particularmente, en este proyecto se define que la información que hay que realimentar es el momento en que el dispositivo protésico termina la ejecución de un movimiento definido por el usuario. Dicha información es retornada a través de la interfaz *GetSoundLevel*.

PRUEBAS DEL ENTRENADOR MIOELÉCTRICO

El entrenador mioeléctrico se ha probado en cinco personas no amputadas y sin conocimiento previo del control del sistema. En cada una de ellas se siguió este protocolo:

1. Se conectan dos electrodos superficiales, separados por 1 cm en los músculos flexores del antebrazo. Se conecta un tercer electrodo al codo del paciente, el cual se utiliza como referencia de tierra para el sistema electrónico.
2. Se le solicita a la persona que realice un movimiento muscular con el propósito de observar la señal mioeléctrica de manera gráfica.
3. Se instruye al paciente en el control del videojuego y se solicita que intente controlarlo.
4. Se instruye al paciente en el control de la mano virtual y se solicita que intente controlarla.

De acuerdo con el protocolo anteriormente expuesto, se registraron los tiempos que se tarda el paciente en cada uno de sus ítems (tabla 2). A partir de estos valores se obtienen la media y la desviación estándar, las cuales se graficaron en la figura 7.

En esta figura se evidenció que el paso 3, referente al control del videojuego, se tardó un mayor tiempo respecto a los demás pasos del protocolo; sin embargo, es importante resaltar que las cinco personas lograron terminar los cuatro pasos de manera exitosa en un tiempo menor de 30 minutos.

Al final de la realización del protocolo se habló con cada persona acerca de la experiencia con el entrenador; se les preguntó qué tan difícil les había parecido controlar tanto el videojuego como la mano virtual, si el juego era entretenido o no, qué impresión les causó el aspecto de la mano virtual y, por último, cuál sería su sugerencia para mejorar al entrenador mioeléctrico.

En general, las respuestas coincidieron en lo mismo; básicamente, las cinco personas afirmaron que la generación gráfica de la señal mioeléctrica y el control

Tabla 2
Registro temporal de los pasos del protocolo de prueba

Paso del protocolo	Persona					Media	Desv. Est.
	1 (min)	2 (min)	3 (min)	4 (min)	5 (min)		
(1) Tiempo, Adaptación del entrenador.	3	4	3	5	7	4.7	1.6
(2) Tiempo, Generación de la señal ME.	2	5	4	5	2	3.3	1.5
(3) Tiempo, Control del videojuego.	10	12	10	15	10	11.2	2.1
(4) Tiempo, Control de la mano virtual.	1	2	3	2	3	2	0.8

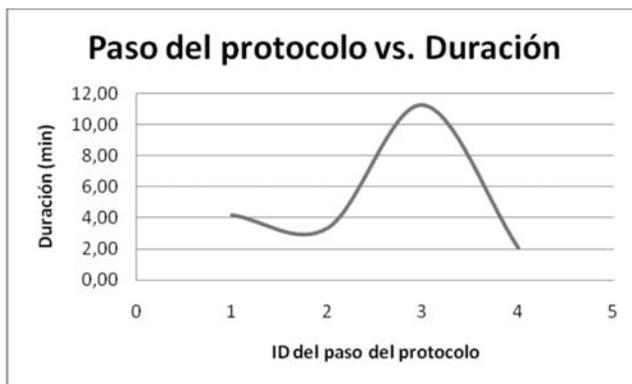


Figura 7 Valores medios de duración en cada uno de los pasos del protocolo.

de la mano virtual habían sido los pasos más sencillos respecto al control del videojuego, el cual tuvo un mayor grado de dificultad debido a que no sólo hay que generar la señal ME sino también porque hay que comprender su dinámica. No obstante, afirmaron que gracias a la motivación que les generó el videojuego y al grado de destreza adquirido en él, se les facilitó en gran medida el posterior control de los movimientos del dispositivo prostético o mano virtual.

Referente al aspecto de la mano virtual en general, la impresión fue buena, ya que les pareció de un aspecto agradable, incluso entretenida, lo que generó cierta motivación para su control. Mencionan que fue muy satisfactorio ver que la mano respondía a las órdenes generadas y que dos de las cinco personas afirmaron que, en un momento dado, sintieron la mano virtual como si realmente fuera la de ellos.

Las sugerencias para el mejoramiento del entrenador mioeléctrico fueron adicionar más videojuegos –incluso de mayor dificultad–, añadir otros posibles agarres a la mano virtual e incluir el movimiento de la muñeca.

Por último, a manera de ilustración se muestra la

conexión del entrenador virtual a una persona y se identifican las partes que conforman al entrenador mioeléctrico (figura 8).

CONCLUSIONES

La simplicidad, portabilidad y bajo costo del sistema posibilitan la utilización del entrenador mioeléctrico directamente en el domicilio del paciente; de esta manera, se facilita y acorta el periodo de aprendizaje para el control de la prótesis mioeléctrica real. Esta característica es de gran importancia debido a que no todos los pacientes cuentan con los recursos necesarios para



Figura 8. Entrenador mioeléctrico conectado a una persona.

adquirir prontamente una prótesis mioeléctrica y, por tanto, convierte al entrenador en una buena herramienta para mantener las conexiones neuronales activas y continuar generando señal mioeléctrica adecuadamente.

Haber implementado la arquitectura de control del entrenador mioeléctrico directamente en un micro-controlador nos permite acercarnos al comportamiento que se obtendría si se dispusiese del dispositivo protésico real y, de esta manera, hacer una evaluación más asertiva de las posibles y variadas estrategias que se implementan en dispositivos de esta índole. Así, al contar con el dispositivo protésico real, tanto para los desarrolladores como para los usuarios, la migración del dispositivo virtual al real contendrá menos traumatismo y se habrá logrado el objetivo, el cual es entrenar a los pacientes en el control de la prótesis mioeléctrica real.

Generar una arquitectura del sistema en la cual se definan detalladamente sus responsabilidades permitió abstraer en un solo plano, de una manera detallada, los componentes que integran una prótesis mioeléctrica de mano. Luego de una previa socialización del modelo de análisis con los integrantes del Grupo de Investigación, se evidenció el ágil entendimiento de los subsistemas que integran un desarrollo de esta clase. Tener interrelacionadas en un mismo plano gráfico la mayoría de las soluciones en el área de prótesis mioeléctrica de mano permitió a los integrantes del proyecto realizar aportes con miras al mejoramiento de la solución propuesta.

REFERENCIAS

- Alonso, A., Sánchez, R., Espino, P., Liptak, L. & De la Rosa, R. (2002). *Myoelectric prostheses trainer for hand and arm amputees* (vol. 3). Barcelona: Medicina Mapfre.
- Analog Device (1999). *Low cost, low power: Instrumentation amplifier*. Recuperado el noviembre de 2008, de <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/AD620.pdf>.
- Brown, B. (2009). *INA2128*. Recuperado el 12 de octubre de 2009, de <http://www.datasheetcatalog.com/>.
- Cabrera, J. S. (2009). Conjunto normalizado de interfaces para los componentes de un simulador virtual de prótesis de mano robótica. Tesis de maestría. Popayán: Universidad del Cauca.
- Choi, H. (2010). *Connections, Fixed Point Arithmetic*. Recuperado el 17 de enero de 2010, de <http://cnx.org/content/m11054/latest/>
- Dupont, A. & Morin, E. (1994). A myoelectric control evaluation and trainer system. *EEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 100-107.
- Farrell, T. R. & Weir, R. F. (2007). The Optimal Controller Delay for Myoelectric Prostheses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15 (1), 111-118.
- Otto Bock HealthCare GmbH (2010, enero). *Ottobock quality for life*. Recuperado el 2010, de <http://www.ottobock.com.mx/>.
- Rodríguez, L. E. (2006). *Proteci*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Serrano, C.E. (2005). *Modelo integral para el profesional en ingeniería*. Popayán: Universidad del Cauca.

Pursuing an integrated vision into water resources management. Study case: Duitama County (Boyacá)

Tras una visión integrada en la gestión de recursos hídricos. Estudio de caso: municipio de Duitama (Boyacá)

N. P. MONTAÑEZ

Research Centre, Saint Thomas University, Tunja, Boyacá - Colombia
Public policies researcher - nmontanez@ustatunja.edu.co

V. M. PEÑARANDA

Saint Thomas University, Tunja, Boyacá - Colombia
Bolivarian Pontifical University, Floridablanca, Santander - Colombia
Civil engineering faculty's researcher - vpenaranda@ustatunja.edu.co

Recibido: 18/09/2009 Aceptado: 10/10/2010

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Abstract

The detriment of life conditions of Duitama inhabitants has been affected in notable way by possible global warming consequences and especially by the shortage in the water resources supply system. The historic evolution of this county has been denoted from social changes to water resources management offices operation. It seems the influence of climate change has conducted evolving processes from several aspects. In first instance, relating with idiosyncrasy and social acting, and second one, with the water resources management. Hydrological studies exhibit a complicated panorama, for such reason requirements of conscience and regulating water resources management could be a better answer to sustainable ecologic environment and water supply. Nevertheless, the lack of leadership from the State, in terms of policies design processes on water resources conservation at Duitama is evident. A personal vision is provided here to improve the national conscience.

Key words: climate change; environmental sustainability, water resources management.

INTRODUCTION

Sustainable development in recent years has been the main subject on governments outlines and international organizations, whose concerned about environmental degradation, have attempted to develop strategies in defence of planet preserving. An example of this is reflected in several developed agreements such as the United Nations Framework Convention on Climate Change, which develops three fundamental principles: precautionary, fairness and contribution to sustainable development (Arrieta, 2004). This convention was adopted by the Johannesburg Declaration and the regulation was later extended by the Kyoto Protocol.

It has been such, the impact caused by global warming that society has to face stronger natural disasters around the world, by this reason, both state and private actors have involved for setting respon-

sibilities and commitments agreeing to mitigate negative effects produced by themselves to world. However, despite treaties signing, pacts, conventions and so on, the reached achievement executed by them has been minimal, although most have included, within their inner plans or programs, activities designed to ensure environmental sustainability, the implementation, analysis and evaluation have not had important results.

Duitama County is non-stranger to this reality; however, its inhabitants have suffered dramatically consequences of climate change phenomena, which in this specific case are reflected by supply water resources scarcity to county population. A specific situation has been presented about a decade and a deeper crisis was developed in the last year (*El Tiempo*, 1998). By the end of 1997, due to weather conditions caused by the phenomenon of El Niño, the county was under heavy scarcity and the water supply company divided the city into two to implement measures to confront the current problem (i.e. sectors water rationing), which was characterized by decreased supply stream-flow (figure 1).



Figure 1. On February 27th of 2010, the water levels on Surba river basin (one of the Duitama surface water supply system) are still so low by the effects of a long dry weather under the catchment. During this month, Duitama water supply system has been affected by water scarcity and the county population disagrees on the current water resource management. The above picture was taken on February 27th of 2010 by the authors, meanwhile they was developed a field exploring to Surba river basin, joint to Surface Hydrology students of Saint Thomas University.

In this regard, local authorities have considered convenient to operate deep wells and create campaigns for improvement of water resources uses. In the next decade after the situation described above, Duitama County is plunged into another crisis at the end of 2009, where the population from some locations was supplied by water tank trucks which were sent by municipal and national authorities. The supply problem has been so difficult that the national press (*El Tiempo*) has written: “about 30.000 Duitama inhabitants do not have a single drop of water mainly due to the strong summer that has produced several streams literally turned into stone rivers” (figure 2).



Figure 2. Because climate change effects (possibly, the EN-SO's warming phase), water supply sources have turned into stone streams, as *El Tiempo* (2010) stated and published. The above picture was taken on February 27th of 2010 at Surba river basin by the authors, meanwhile they was developed a field exploring to Surba river basin.

Duitama's history has recorded several water supply kinds of problems and has denoted how these problems are stronger every year. These are the starting point for analyzing actions results have been taken from decision makers against them. Clearly, there are not evidence they have not accomplished goals they designed, many of which are closely linked to *Integrated Water Resources Management Programs*, a concept understood as “a systematic process for allocating and monitoring the water resources use and quality in social, economic and environmental frameworks that is intrinsically to sustainable development” (Arrieta, 2004).

Duitama County is immersed on weakening conditions related to basic supplies services, specifically, the water supply service which has deteriorated mainly due to environmental, social and political intervention. Tangentially, bureau offices have had into account on their development plans, those programs have as first goal to aim at natural resources preservation and care. Verbi gratia, Duitama administration from 2004 to 2007, exhibits a development plan stated as: “Duitama families are conceived as strategic mainframe and the goal number 5 of environment and natural resources recognition and care” (Duitama County municipal agreement 014, 2004). Here, it is fixed as a fundamental public policy, the public agreement and participation in decision making and actions focus on achieving targets, especially through educational mechanisms. Duitama current administration has included on its development plan the objective of environmental protection and assets recovery, besides the implementation of national environmental policy to ensure the inhabitants right to a healthy environment.

STUDY AREA

Duitama County is located at northwest of Boyacá (Colombia) belonging to Tundama Province, between two supply catchments. The first one is known as the Chiticuy River Basin with a surface area of 75 square kilometres and the second one is known as the Surba River Basin with a surface area of 103 square kilometres (figure 3). This last basin is the most important supply source which provides drinking water to more than 70 percent of the population.

Both basins (i.e., the Chiticuy and Surba rivers Basin) are characterized by two microclimates where their average temperatures range between 6 °C (at high locations) and 14 °C (at low locations). At these basins, kinds of fruits crops, such as: apples, pears, peaches and prunes, are famous. Besides, at these lands there are others crops of potatoes, wheat and beans. Socially, Duitama County is known by arts and crafts factories, which produce fines large basket, shawls and antique appearance furniture. Another important economical factor is the large cargo transportation business. Duitama County is convergent point of various pathways between important Colombian cities and have foremost national Automobile Park.

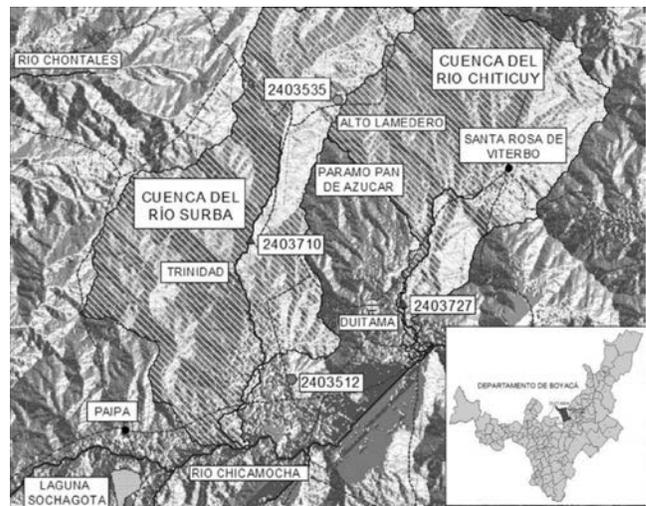


Figure 3. Chiticuy (103 km², C.P. 1°142.281 N, 1°119.318 E) and Surba (75 km², C.P. 1°138.921 N, 1°110.618 E) rivers watershed location which are the main Duitama superficial supply sources and actually they present severe water scarcity problems. This image was created and processed into ArcView GIS 3.2 by the authors.

HYDROLOGIC INFORMATION

The study area has two rainfall gages (i.e. Surbata gage -AM- 2403512- and Andalucia gage -CP - 2403535) and two hydrometric gages (i.e., Chiticuy gages -LM - 2403727 -and Las Vegas -LM - 2403710). Rainfall data are limited because there are several gaps in time series (i.e., empty space on weekly and monthly records), nevertheless there is a moderate data quality and they allow statistical analysis.

Rainfall time series are characterized by average monthly values of 72 mm (i.e. Surbata rainfall gage) and 106 mm (i.e., Andalucia rainfall gage). Streamflow time series (figure 4) exhibit average monthly values of 0.49 m³/s to Chiticuy streamflow gage (6.5 km²) and 0.60 m³/s to Las Vegas streamflow gage (14.7 km²).

Last water yield values reveal Duitama watersheds weakness to produce water as their low streamflow rates which compared against the most important Colombian watershed has a water yield as low as 87% under Colombia estimative. Besides, it is important to explain streamflow time series show two natural frequencies related to streamflow regime (figure 5). The first one frequency is observed on a 200 days period which is associated to the annual inter-arrival between two moisture periods. There is a clearly

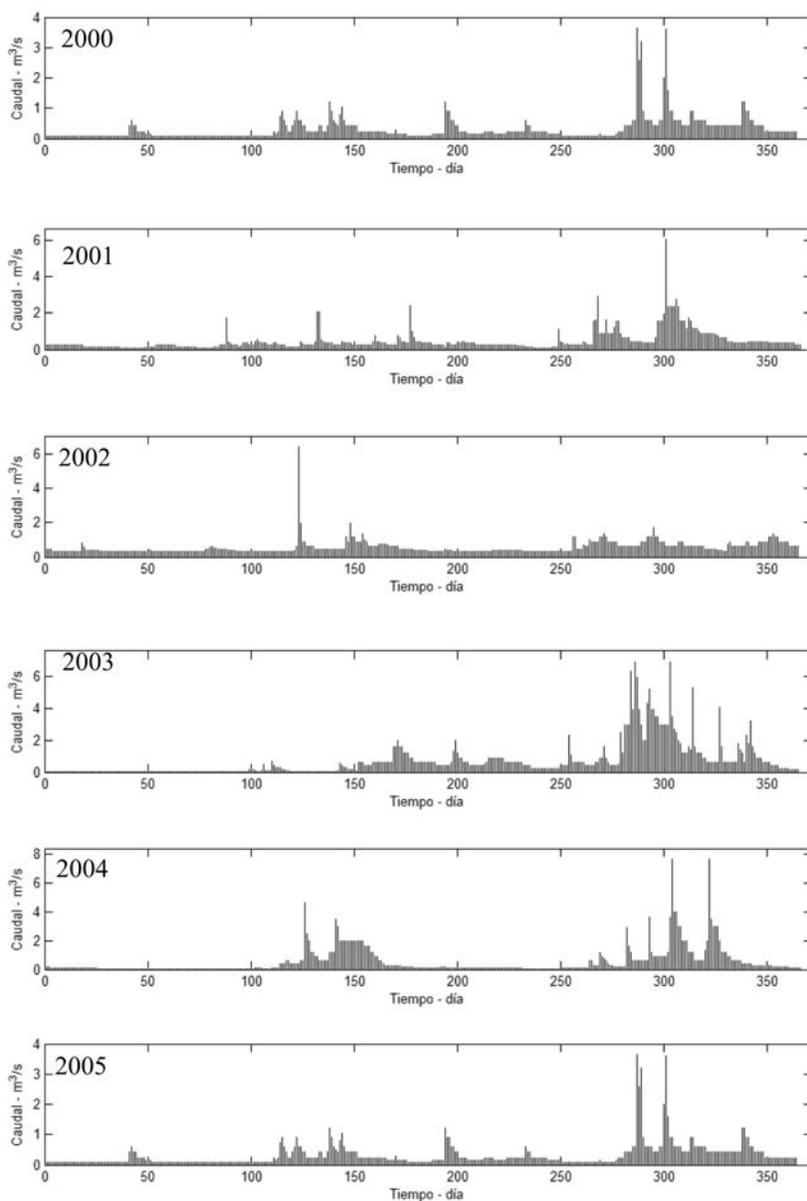


Figure 4. Chiticuy streamflow gage daily records from the year 2000 to 2005. Streamflow patterns are characterized by low flows at the year beginning and some pick flows between September and December.

identified annual cycle related to the annual streamflow process generated by the local hydrologic cycle. Another important frequency is exhibit on a 5 year period which is related to a possible moisture phase ENSO (El Niño South Oscillation) effect. Available data not allow uncover a clearly dry phase ENSO effect on frequency spectra nevertheless, dry recorded periods concur with years defined by the WMO (World Meteorological Organization) as affected by dry phase ENSO effects (Mesa et al., 1997).

ENVIRONMENTAL PUBLIC POLICY PROPOSE

Based on hydrological reports and field digging, this paper tries to expose climate changes consequences (i.e., scarcity streamflow patterns) as a result of climatic pattern tendencies is not the real factor on water resources detriment but anthropogenic influences are the main actors in this situation.

The search for strategies to strengthen the conditions of population on issues of water resources has been an underlying concern over the last four decades. There has

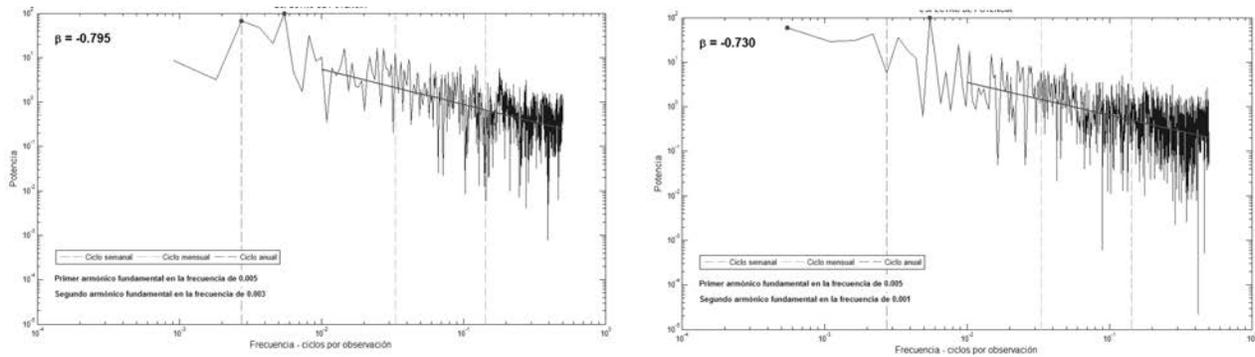


Figure 5. Spectral analysis developed to streamflow time series (a. Chiticuy streamflow gage, b. Las Vegas streamflow gage). Both spectra exhibit a 200 days cycle (i.e. the red point to the right in the graphic) and an annual cycle (i.e. the point that is intercepted by a vertical line close to the right red point). Another cycle is exhibited on the five year frequency.

been signed, by some countries of the world, a series of conventions and treaties in favour of this objective, some of which were conversed in the introductory part of this article, others which are listed below:

- United Nations Conference on Water, signed in Argentina in 1977.
- Dublin Statement on Water and Sustainable Development, signed in Ireland in 1992.
- Paris Declaration comes from the international conference on water and sustainable development, held in France in 1998.

Conferences are looking to join forces to promote strategies which create favourable conditions for society in terms of environment and access to water resources and their preservation. It is essential to highlight as through statements set, as an active role, the presence of policies, education, research, planning and information with the participation of state and private actors and national institutions. Similarly to getting results, the World Water Forum have concluded that the scarcity of water resources is not the determining factor in the crisis, by contrast, there have been the mismanagement and water conservation definitive aspects of it. In this regard, a greater emphasis on the holistic analysis inclusion considers the presence of multidisciplinary aspects which are taken into account in the formulation, implementation, analysis and evaluation of policies. These arise from governance processes.

An applying form where these factors are involved, is the systematic approach which is widely used in Colombia, for instance, by Leonel Vega Mora, who shows the following idea in his book (2005) “Toward environmentally sustainable development: building an environmental thinking through a practical systematic policy and environmental management”. Here he demonstrates the importance of applying this approach in management public processes which are considered complex but can be understood simple giving an articulate character and participating in process axes.

For the study case, at Duitama County is essential to implement a water policy consistent with strategies adopted in the above conventions and forums, which are summarized in the concept of Integrated Water Resources Management. However, it highlights the hydrological modelling presence, leading by maths models, must be integrated by human intervention factors and respond to an integrated vision reality. Duitama planning processes for water resources conservation and distribution have had great failures which have been evident in the presence of deep crisis every year. It is necessary a participatory process where all stakeholders are involved in society, such as, the municipal administration, water and Sewer Distribution Company (i.e., EMPODUITAMA, Boyacá Autonomous Regional Corporation), civil society and especially Duitama inhabitants and water resources users because from all of them, the environmental sustainability and the promising future for next generations depend on all of them.

It is only through participation that we can create conscience about current difficulties we are facing. In this way, designed programs could be developed. It is important to expose most cases are only recorded in a paper, in a development plan or similar document, without an analysis and evaluation possibility, in contrast, leading to repressive measures to counteract the absence or ineffectiveness policies effects.

CONCLUSIONS

Currently, Duitama water supply system in county has several problems. Such situation is caused by environmental, social, economic, cultural and political factors which are evident in its climatic pattern, lack of social culture from its inhabitants about water savings, mismanagement by the water supply company and the policies inefficiency. The variables articulation in formulation, implementation, analysis and evaluation of environmental policies are essential to the effectiveness and efficiency of itself, giving priority to participation elements, where they involve all actors in society to create awareness in each of them. This applying form is found in the systemic approach. The strategies implementation for water resources conservation at Duitama, have been a constant weakness in the government acts development in public management. Clearly, a lot of these acts are included on development plans have had a breakthrough; their execution and commitment have been slow.

REFERENCES

- [1] Alley, W. M. (1984). On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models, *Water Resources Research*, 20(8), pp. 1137-1149.
- [2] Arrieta, L. (2004). Agua dulce y cambio climático. En *Derecho de aguas*, tomo II. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- [3] Beven, K. J. & Binley, A. (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6, pp. 279-298.
- [4] *El Tiempo* (1998). Escasea el agua en Duitama. Published on January 6th of 2010.
- [5] *El Tiempo* (2010). En Duitama, 30 mil habitantes no tienen una sola gota de agua debido al verano. Published on January 21st of 2010.
- [6] Fernandez, W. Vogel, R. M. & Sankarasubramanian, A. (2000). Regional Calibration of a Watershed Model. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques*, 45(5) pp. 689 - 707.
- [7] Mesa, O., Poveda, G. & Carvajal, L. (1997). Introducción al clima de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas.
- [8] Mwakalila, S. (2003). Estimation of stream flows of ungauged catchments for river basin management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, pp. 935 - 942.
- [9] Mwakalila, S., Campling, P., Feyen, J., Wyseure, G. & Beven, K. (2001). Application of a data-based mechanistic modelling approach or predicting runoff generation in semiarid regions. *Hydrological Processes*, 15, pp. 2281 - 2295.
- [10] Post, D.A. & Jakeman, A.J. (1999). Predicting the daily streamflow of ungauged catchment in S.E. Australia by regionalizing the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model. *Ecol. Modelling*, 123, pp. 91-104.
- [11] Sankarasubramanian, A. & Vogel, R.M. (2002). Annual hydroclimatology of the United States. *Water Resources Research*, vol. 38, No. 6, 1083, 10.1029/2001WR000619.
- [12] Thomas, H. A. (1981). Improved Methods for National Water Assessment. Report, Contract WR 15249270. Washington D.C.: US Water Resources Council.
- [13] Thomas, H., Marin, C., Brown, M. & Fiering, M. (1983). Methodology for Water Resources Assessment. Report NTIS 84-124163. Springfield, Virginia: US Geological Survey, National.
- [14] Universidad Santo Tomás, seccional Tunja (2009). Informe de Hidrología. Proyecto Formulación del Plan de Manejo y Protección del Acuífero de Duitama. Convenio Interinstitucional 125 de 2009 entre la Universidad Santo Tomás (Tunja) y la Corporación Autónoma Regional de Boyacá. Tunja, Boyacá.
- [15] Vogel, R. M., Wilson, I. & Daly, C. (1999). Regional regression models of annual streamflow for the United States, *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 125(3), pp.148-157.

Carbonatación en puentes y edificaciones de Bogotá

Carbonation in bridges and buildings in Bogota

PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA

Profesor del Centro de Estudios de Estructuras, Materiales y Construcción de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Recibido: 20/09/2009 Aceptado: 30/10/2009

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Se presentan y analizan los resultados de dos proyectos de grado de la Especialización en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería, en los que se recopiló la información sobre carbonatación en edificios y puentes de Bogotá, obtenida en estudios de patología realizados entre 1999 y 2004. Se encontró que en aproximadamente el 50% de los elementos estudiados, el frente de carbonatación ya ha alcanzado o está muy próximo a alcanzar el refuerzo y que un 40% ya ha empezado a sufrir corrosión. También se halló que el avance del frente de carbonatación y el desarrollo de corrosión en el acero de refuerzo son relativamente altos en estructuras jóvenes, en comparación con estructuras de mayor edad.

Palabras claves: carbonatación, porosidad, pasivación, corrosión, puzolanas, relación agua-cemento

Abstract

In this paper, results from several forensic investigations regarding carbonation made from 1999 to 2004 on Bogotá bridges and buildings, and compiled by two groups of graduate students at the Escuela Colombiana de Ingeniería are presented and analyzed. The carbonation front already reached or is close to reach the steel reinforcement in about 50% of the elements that were explored, and that active corrosion is occurring in about 40% of the elements. Finally, the degree of carbonation and corrosion of steel is relatively high in young structures when compared to old ones.

Keywords: carbonation, porosity, passivation, corrosion, pozzolans, water-cement relationship.

INTRODUCCIÓN

La carbonatación es una de las causas más importantes del deterioro de estructuras de concreto reforzado en lugares con altos niveles de CO_2 , como centros urbanos y parqueaderos de edificios. Dado el grado de contaminación del aire en Bogotá y sus altos contenidos de CO_2 , cabe esperar que muchas estructuras de concreto presenten grados avanzados de carbonatación. En estudios de patología de edificios y puentes en Bogotá se ha encontrado que algunos elementos presentan deterioro por corrosión del acero de refuerzo, atribuible a carbonatación, y que ésta ha avanzado en algunos elementos más de lo esperado (Rojas, 2008; Escobar, 2008).

El propósito de este artículo es presentar un compendio de los resultados de varios estudios hechos en edificios y puentes de Bogotá en años pasados, que permita tener una visión más global del fenómeno y que sirva de base para elaborar un inventario más completo y para plantear futuras investigaciones sobre el tema. Se hace inicialmente un resumen del proceso de carbonatación del concreto y de corrosión del acero de refuerzo, así como del efecto de diferentes variables en la velocidad de avance del fenómeno; finalmente, se presenta el resumen de los resultados de los estudios hechos en puentes y edificaciones, con comentarios y conclusiones.

CARBONATACIÓN DEL CONCRETO

En presencia de oxígeno, cuando la alcalinidad del concreto que rodea el acero de refuerzo es alta ($\text{pH} > 12,5$), se forma una capa de óxido (capa pasivadora) de unos pocos nanómetros de espesor alrededor del acero que lo protege contra la corrosión. Si la alcalinidad desciende debido a carbonatación o si hay presencia de cloruros, la capa pasivadora se vuelve inestable y deja de cumplir su función protectora, por lo que el acero de refuerzo queda vulnerable a la corrosión.

Como resultado de la corrosión el acero pierde sección, reduciéndose la capacidad estructural del elemento; además, se forman productos cuyo volumen es mayor que el acero original, lo cual produce fisuras y desprendimientos del concreto, dejando el acero aún más expuesto y aumentando la tasa de corrosión (ACI 201.2R-08).

La carbonatación consiste fundamentalmente en la reacción del dióxido de carbono, CO_2 , con el hidróxido

de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que se encuentran en la solución de poros del concreto y en sus componentes hidratados (Meeks, 2009). El resultado de la reacción es la formación de carbonato de calcio, CaCO_3 , la disminución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (principal responsable de la alta alcalinidad del concreto) y, como consecuencia, la disminución de la alcalinidad de la solución de poros. Al bajar el pH, la capa pasivadora es destruida y el acero pierde esta protección natural contra la corrosión. La tasa de corrosión del refuerzo, después de perderse la capa pasivadora, depende de varios factores, como la humedad relativa del concreto y del valor del pH. Adicionalmente, la carbonatación aumenta la contracción del concreto (contracción por carbonatación) que puede aumentar la fisuración y, por tanto, facilitar la entrada de agua y otros agentes agresivos, aumentando la corrosión del refuerzo (Gómez, 2006).

EFFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO Y DEL AMBIENTE EN LA TASA DE CARBONATACIÓN

La tasa de carbonatación depende en forma importante de la humedad relativa del concreto, siendo máxima para humedades relativas entre 50 y 75%. Para humedades relativas muy bajas, no hay agua suficiente en los poros para que se disuelvan cantidades significativas de CO_2 (Montani, 2000). Para humedades relativas muy altas, disminuye la velocidad de difusión del CO_2 .

La velocidad de carbonatación depende también de la concentración de CO_2 en la atmósfera, la cual puede variar entre 0,03% en zonas rurales y 0,3% en zonas urbanas, aunque puede haber concentraciones mayores en algunos sitios, como parqueaderos mal ventilados y túneles. En ensayos acelerados se ha encontrado que concentraciones de CO_2 de 4% producen en una semana la misma cantidad de carbonatación que concentraciones normales (0,03%) en un año (Moreno, 2004).

Debido a la mayor porosidad de pastas de cemento con una alta relación agua-cemento, la carbonatación aumenta al incrementarse la relación agua-cemento. También se ha encontrado que la carbonatación se incrementa al disminuir la cantidad de cemento (Balayssac, 1994, Gómez, 2006), por la consecuente reducción de la reserva alcalina. Igualmente, se ha encontrado que la tasa de carbonatación depende del tipo de cemento. Los cementos adicionados con materiales puzolánicos, como la mayoría de los cementos colombianos, produ-

cen pastas con menor cantidad de hidróxido de calcio y, por tanto, con menor reserva alcalina.

Los materiales puzolánicos, como la ceniza volante, el humo de sílice, el metacaolín y la escoria, reaccionan con el hidróxido de calcio, CH, produciendo silicato de calcio hidratado (S-C-H). El S-C-H tiene mayor resistencia mecánica y química que el CH y es menos poroso. Como resultado de la reacción puzolánica el concreto tiene mayor resistencia mecánica y menor permeabilidad, pero menor cantidad de hidróxido de calcio. Si bien la cantidad remanente de este hidróxido es suficiente para mantener las condiciones de alta alcalinidad dentro del concreto y el pH se mantiene prácticamente igual, se reduce la reserva de alcalinidad.

Aunque la menor permeabilidad del concreto con puzolanas puede disminuir la velocidad de ingreso del CO₂ en el interior de éste, la reducción en la cantidad de CH disponible para reaccionar con el CO₂ puede dar como resultado neto un aumento en la tasa de carbonatación. Investigaciones (Khunthongkeaw, 2006) muestran que, en efecto, para altos contenidos de ceniza volante hay aumentos significativos de la profundidad de carbonatación y también muestran que ésta depende del tipo de ceniza volante (mayor para ceniza volante con bajo contenido de calcio).

El tiempo y la calidad del curado afectan significativamente la profundidad de carbonatación para un tiempo dado, puesto que un buen curado contribuye a disminuir la porosidad y la conectividad de poros, particularmente cerca de la superficie del concreto. Estudios de Balayssac (1994) y Guirguis (Gómez, 2006) demuestran que la tasa de carbonatación disminuye

con el aumento en el tiempo de curado. Gowripalan et ál. (Meeks, 2009) encontraron que el curado inicial es crítico en la reducción de la permeabilidad del recubrimiento del concreto y, por ende, en la reducción en la tasa de carbonatación.

Se han propuesto varios modelos de predicción del avance del frente de carbonatación con el tiempo, como los de Tuutti (Da Silva, 1999), CEB (Lindvall, 1998) y Helene (Helene, 2009), en los cuales se consideran variables relacionadas con la calidad del concreto (relación a/c, tipo de cemento, coeficiente de difusión del CO₂, contenido de materiales cementantes suplementarios y curado) y la agresividad del ambiente (concentración de CO₂, humedad relativa). Sin embargo, en casos en los cuales no se tiene información suficiente para alimentar los modelos, se puede considerar que la profundidad del frente de carbonatación varía en forma aproximada con la raíz cuadrada del tiempo.

$$X = K\sqrt{t} \tag{1}$$

Donde

X = profundidad del frente de carbonatación en mm.

K = coeficiente que depende de la porosidad del con-

creto y de la agresividad del ambiente.

T = tiempo transcurrido en años.

En la tabla 1 (Gómez, 2006) se sugieren valores de K según la calidad del concreto, para grados de exposición comunes.

Si la ecuación 1 se reescribe, se tiene que

Tabla 1
Valores recomendados de K según la calidad del concreto (Gómez, 2006)

Calidad del concreto	K recomendado	Características
Buena	< 5	Relación a/c < 0,5, contenido de cemento ≥ 350 kg/m ³ , tiempo de curado ≥ 7 días, compactación con vibrador, control de calidad alto.
Regular	6-9	Relación a/c: 0,5 - 0,6, contenido de cemento: 350 - 250 kg/m ³ , tiempo de curado 3 - 7 días, compactación sin vibrador, control de calidad medio.
Mala	10-15	Relación a/c ≥ 0,6, contenido de cemento ≤ 250 kg/m ³ , tiempo de curado < 3 días, sin compactación, control de calidad bajo.
Pésima	> 15	Relación a/c ≥ 0,65, contenido de cemento ≤ 200 kg/m ³ , sin ningún tipo de curado, sin compactación, control de calidad inexistente.

$$t = \left[\frac{1}{K^2} \right] X^2 \quad (2)$$

Esto indica que el tiempo para que el frente de carbonatación alcance cierta profundidad es proporcional a dicha profundidad al cuadrado. En consecuencia, la vida útil de una estructura (tiempo para inicio de la corrosión) depende del recubrimiento del refuerzo al cuadrado, lo cual destaca la importancia de tener recubrimientos adecuados.

CARBONATACIÓN EN EDIFICACIONES Y PUENTES DE BOGOTÁ

Se recolectó y analizó la información disponible, obtenida en diversos estudios de patología en edificios y puentes ubicados en distintas zonas de Bogotá. Debido a que en la mayoría de los casos no se contaba con información suficiente sobre características del concreto y del ambiente que lo rodea, el análisis se hizo con base en la expresión 1. Se contó con la colaboración de empresas, laboratorios de ensayos e ingenieros que participaron en los mencionados estudios.

Carbonatación en puentes

Entre 1999 y 2000 se efectuaron estudios del estado de nueve puentes en Bogotá, cuyas edades en el momento del diagnóstico oscilaban entre 9 y 40 años. En cada puente se hicieron varias exploraciones en diferentes elementos. En cada una de ellas se obtuvo información relacionada con profundidad y recubrimiento del refuerzo, durabilidad residual por carbonatación y proyección de durabilidad. La resistencia a compresión se obtuvo a partir de núcleos y el avance del frente de carbonatación se evaluó aplicando fenofaleína en los puntos de interés a diferentes profundidades (figura 1). La evaluación del grado de corrosión se hizo en forma visual al llegar la exploración al nivel del refuerzo. Así mismo, se presenta un resumen del diagnóstico, promedios de profundidad del frente de carbonatación, del recubrimiento y de la constante K , así como el número de elementos evaluados y el número de elementos que presentan algún grado de corrosión para cada puente (tabla 2).

De estos resultados vale la pena destacar que siete de los nueve puentes presentan signos de corrosión en algunos o varios elementos. Uno de los puentes sin sig-

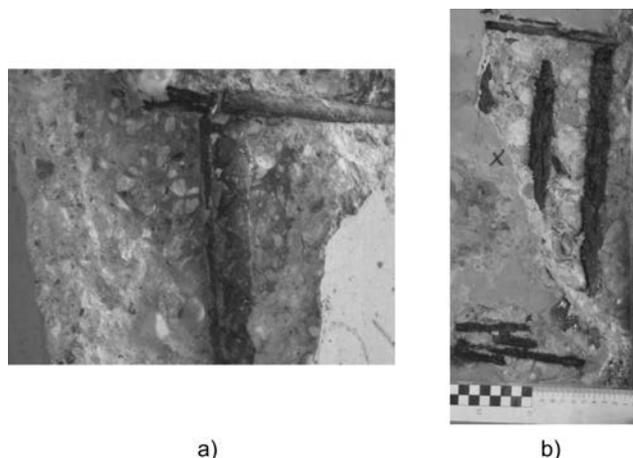


Figura 1. a) Elemento en el cual el frente de carbonatación está cerca del refuerzo. Refuerzo con inicios de corrosión. b) Elemento con grado avanzado de corrosión.

nos de corrosión es una estructura relativamente nueva, que tenía sólo nueve años cuando se hizo el diagnóstico, en la cual, sin embargo, el frente de carbonatación ha avanzado más de lo esperado para concreto de buena calidad. La otra estructura sin signos de corrosión tenía 22 años en el momento del diagnóstico y en ésta el frente ha avanzado lo esperado para concreto de buena calidad. En dos de los puentes se ha presentado un avance importante del frente de carbonatación en columnas. Cuatro de los nueve puentes obtuvieron en promedio un K mayor que 5, indicando concreto de regular calidad en lo que a avance del frente de carbonatación se refiere y cinco obtuvieron en promedio un K menor que 5, indicando concreto de buena calidad.

Se muestra también que se encontró algún grado de corrosión en más o menos el 40% de los elementos evaluados (tabla 2).

Se incluyen además todos los datos disponibles de profundidad de carbonatación contra resistencia a compresión para los nueve puentes (figura 2). A pesar de la gran dispersión de los datos, por corresponder a elementos de diferentes edades y diferentes grados de exposición, es claro que la profundidad del frente de carbonatación tiende a disminuir con el aumento de la resistencia del concreto, lo cual es de esperarse, pues los concretos de mayor resistencia son menos porosos.

En la figura 3 se grafican todos los resultados de profundidad de carbonatación contra edad $X = K \sqrt{t}$ ocho puentes, así como tres líneas del tipo

Tabla 2
Resumen del estado de los puentes

Puente	Edad (años)	K media (a)	Profundidad carbonatación (mm) (b)	Número de elementos evaluados	Número de elementos con corrosión C	Comentarios
1	30	3,1	17	12	8	Inicio de corrosión en algunos elementos (vigas o placas). En algunos sitios, profundidad carbonatación > recubrimiento. No se evaluaron columnas.
2	22	6,4	30	7	4	Inicio de corrosión en cuatro elementos (una viga, una placa, dos columnas). En algunos sitios, profundidad carbonatación > recubrimiento.
3	22	4,3	20	8	1	Inicio de corrosión en una viga. En general, profundidad carbonatación < recubrimiento.
4	40	4,9	31	6	4	Algunos elementos con corrosión (tres vigas, una placa). En algunos puntos, profundidad carbonatación > recubrimiento. Profundidad carbonatación alto en columna (50 mm), aunque menor que recubrimiento (150 mm).
5	9	6,9	21	10	2	Inicio de corrosión en dos columnas. Concreto poroso, avance rápido del frente de carbonatación.
6	20	4,5	20	6	2	Inicio de corrosión en dos placas. En general, profundidad carbonatación < recubrimiento.
7	20	3,8	17	8	1	Inicio de corrosión en una placa. En general, profundidad carbonatación < recubrimiento.
8	18	6,5	27	4	0	No corrosión, pero avance rápido del frente de carbonatación.
9	21	6,4	29	5	3	Inicio de corrosión en dos columnas y una placa. En algunos sitios, profundidad de carbonatación > recubrimiento.
10	ND	ND	ND	4	4	Una columna muy afectada. Corrosión en cuatro elementos (dos vigas, una placa, una columna). Frente de carbonatación de 100 mm en una columna. Resistencia de algunas columnas muy baja < 21 Mpa.

ND = No disponible.

Notas

(a) Valor calculado con la ecuación (1), tomando el promedio de profundidad de carbonatación de todos los puntos evaluados.

(b) Valor promedio de profundidad de carbonatación de todos los puntos evaluados.

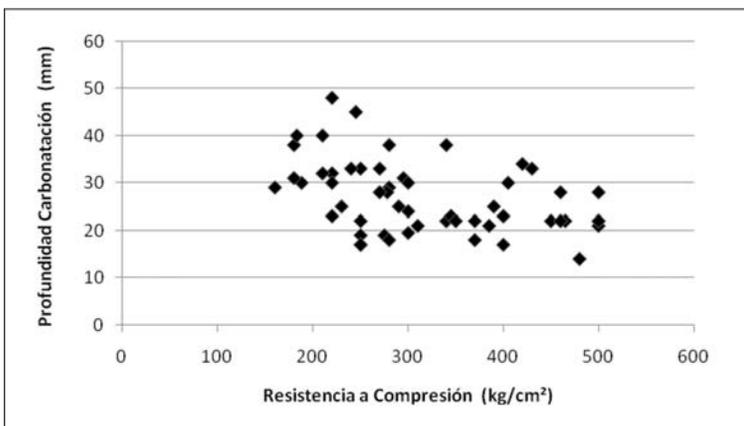


Figura 2. Profundidad del frente de carbonatación vs. resistencia a compresión de nueve puentes en Bogotá (todos los datos incluidos).

La línea continua es la media de los valores medidos de profundidad de carbonatación de los puentes, la cual corresponde a un valor de $K = 5$, aproximadamente. Las líneas punteadas son los límites superior e inferior que incluyen la mayoría de los datos, las cuales corresponden a valores de $K = 12$ y $K = 1,5$, respectivamente. Aunque en promedio la profundidad de carbonatación de los puentes evaluados está dentro de lo esperado para estructuras de concreto de buena calidad ($K = 5$), cinco de los ocho puentes tienen elementos en los cuales el avance del frente de carbonatación es mucho mayor que lo esperado, en algunos casos con valores de K de 12 o 13, correspondientes a concreto de muy baja calidad. Esto significa que la tasa de carbonatación en algunos puntos de los elementos es muy alta y que

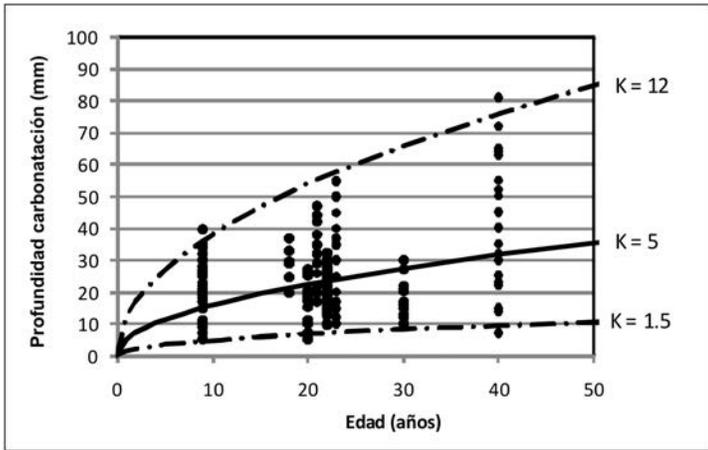


Figura 3. Profundidad del frente de carbonatación contra edad de ocho puentes en Bogotá (los resultados de cada puente son puntos sobre una línea vertical).

probablemente el frente de carbonatación alcanzará muy pronto el refuerzo, si aún no lo ha hecho.

A continuación se presenta la distancia del frente de carbonatación al refuerzo (figura 4). En alrededor del 50% de los casos el frente de carbonatación está a más de 10 mm del refuerzo. Esto es consistente con los resultados de la tabla 1, en la cual se muestra que más o menos el 40% de los puntos explorados presenta algún grado de corrosión. También se puede observar que el avance del frente de carbonatación en comparación

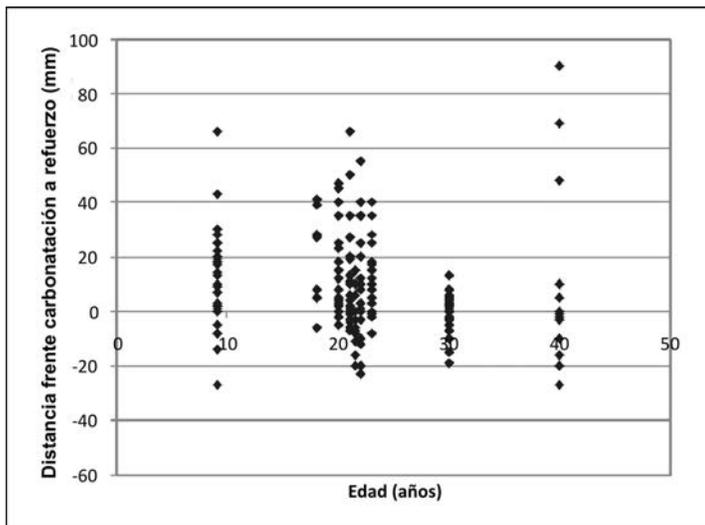


Figura 4. Distancia del frente de carbonatación al refuerzo contra edad de ocho puentes en Bogotá (los resultados de cada puente son los puntos sobre una línea vertical).

con el espesor del recubrimiento es alto incluso en los puentes jóvenes.

Así mismo, se muestra la vida útil remanente (tiempo esperado para que el frente de carbonatación llegue al refuerzo) de todos los puntos explorados (figura 5), se presenta la vida útil remanente promedio (figura 6) y se muestra el porcentaje de elementos cuya vida útil remanente es superior a diez años. En aproximadamente el 55% de los casos la vida útil remanente es mayor de diez años, resaltándose que no hay una correlación muy fuerte con la edad de los puentes. La vida útil remanente básicamente no disminuye con la edad, como sería de esperar, sino que es muy baja en la mayoría de los puentes de menos de 25 años de edad, lo cual indicaría que los puentes jóvenes no tienen la resistencia a carbonatación apropiada para las condiciones del ambiente de Bogotá.

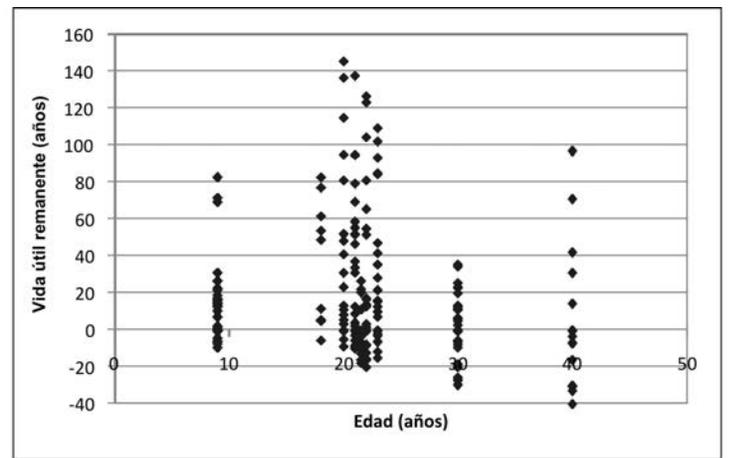


Figura 5. Vida útil remanente contra edad de ocho puentes en Bogotá.

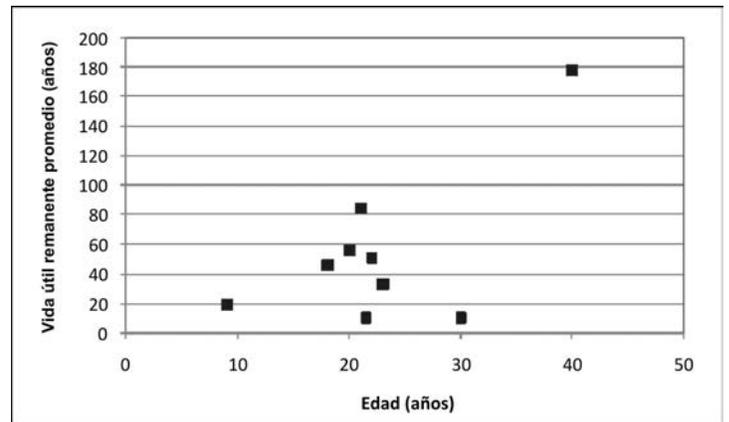


Figura 6. Vida útil remanente promedio contra edad de ocho puentes en Bogotá.

Carbonatación en edificios

Siguiendo una metodología similar a la usada para el análisis de los puentes, se estudió la información obtenida entre 1999 y 2004 de 22 edificios ubicados en diferentes zonas de Bogotá. Se obtuvieron datos de profundidad del frente de carbonatación, tamaño del recubrimiento y estado del refuerzo en diferentes puntos y elementos, y se analizaron con base en la ecuación 1.

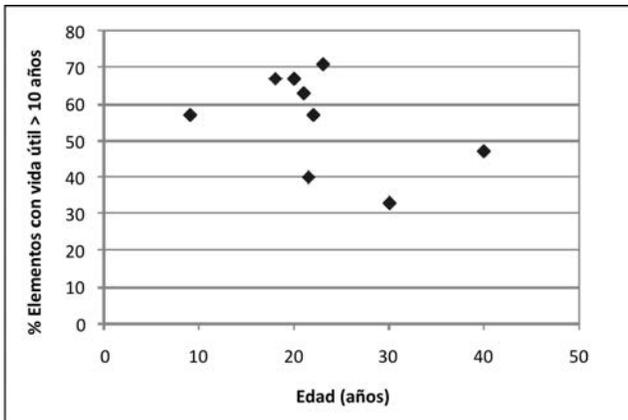


Figura 7. Porcentaje de elementos con más de diez años de vida útil contra edad de ocho puentes en Bogotá.

Posteriormente se muestran los resultados obtenidos de profundidad de carbonatación contra edad en años de los 22 edificios, así como tres líneas del tipo $X = K\sqrt{t}$ (figura 8). La línea continua con $K = 4,5$ es el promedio de los datos. Las líneas punteadas son los límites superior e inferior que incluyen la mayoría de los datos, las cuales corresponden a valores de $K = 8,0$ y $K = 2,5$, respectivamente. Se encontró que más o menos el 60% de los resultados corresponden a concreto de buena calidad ($K \leq 5$) y el 40% a concreto de calidad regular. También se puede apreciar la gran dispersión que hay incluso en elementos de una misma edificación, lo cual era de esperarse si se tiene en cuenta que la calidad del concreto y el grado de exposición a CO_2 pueden variar sensiblemente entre diferentes estructuras y entre diferentes puntos de una misma edificación. Igualmente se puede notar que las estructuras analizadas de menos de diez años de edad tenían profundidades de carbonatación significativamente mayores que las esperadas para concreto de buena calidad.

Además de la profundidad propiamente dicha del frente de carbonatación, se comparó ésta con el recu-

brimiento del refuerzo, que es lo que finalmente está relacionado con la vida útil remanente de la estructura. Más adelante se muestra la distancia entre el frente de carbonatación y el recubrimiento del refuerzo (mm) contra edad (años). Los valores positivos indican la distancia que le falta al frente de carbonatación para

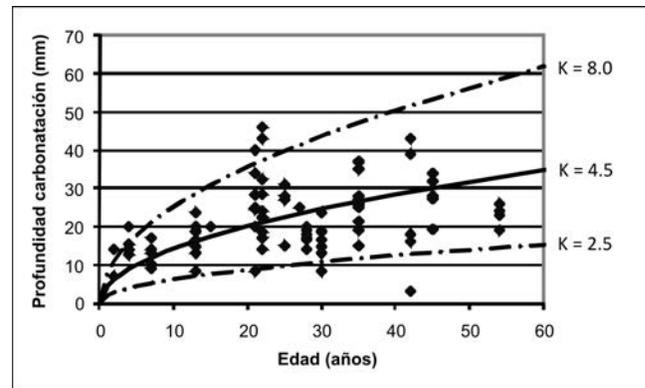


Figura 8. Profundidad del frente de carbonatación contra edad de 22 edificios en Bogotá (los datos de cada edificio son puntos sobre una línea vertical. Sin embargo, una línea de puntos puede incluir varios edificios de la misma edad).

llegar al refuerzo, mientras los negativos indican que el frente ha avanzado más allá del refuerzo y que éste está desprotegido contra corrosión. En el 42% de los casos la profundidad del frente de carbonatación es mayor que el recubrimiento del refuerzo. En el 45% de los casos (menos de la mitad) el frente de carbonatación está a más de 5 mm del refuerzo, lo que indica que en aproximadamente la mitad de los elementos evaluados el acero de refuerzo ha perdido la capa pasivadora (o está a punto de perderla) y, por tanto, la protección contra corrosión. El hecho de que en un porcentaje elevado de sondeos el frente de carbonatación está cerca del refuerzo, o que en algunos casos ya lo ha alcanzado, se puede atribuir a que los recubrimientos son menores que los estipulados por las normas de construcción (NSR o ACI 318). Según estas normas, los recubrimientos para refuerzo principal deben ser mayores de 40 mm en vigas y columnas y de 20 mm en viguetas y muros. El recubrimiento promedio de todos los datos es 27 mm. Por otra parte, está establecido que para edificaciones de 50 años de edad la profundidad del frente es en general menor que 40 mm. Esto significa

que si las vigas y columnas tuvieran el recubrimiento estipulado por las normas, el frente de carbonatación no debería haber llegado al refuerzo aún. Adicionalmente se observó, como era de esperarse, que los elementos (columnas, vigas, viguetas y muros) que presentaron mayor carbonatación fueron aquellos ubicados en sótanos o parqueaderos.

Se calculó y graficó la vida útil remanente (tiempo para que el frente de carbonatación llegue al refuerzo) de todos los puntos explorados (figura 10), así como la vida útil remanente promedio de cada edificio (figura 11). En seis edificios (27%) la vida útil remanente promedio es mayor que 30 años y en siete (32%) es cero.

Finalmente, sólo el 42% de los elementos en 12 de los 22 edificios (figura 12) tenían en el momento del estudio más de 10 años de vida útil remanente. Algunas edificaciones de menos de 20 años de edad también poseen un alto porcentaje de puntos con menos de 10

años de vida útil remanente; de hecho, prácticamente la mitad de las edificaciones en que no hay elementos con más de 10 años de vida útil remanente tienen menos de 20 años de edad.

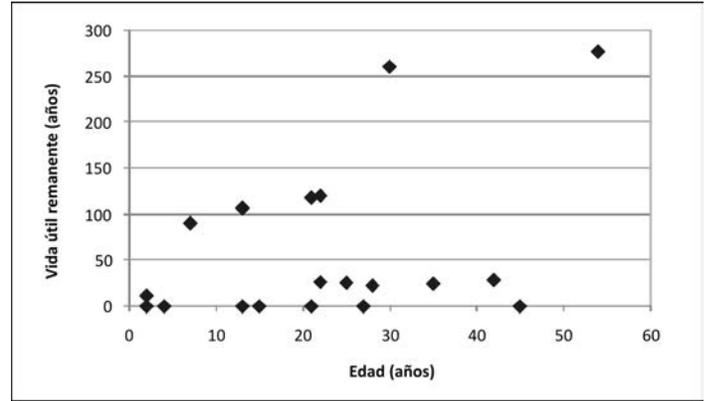


Figura 11. Vida útil remanente promedio contra edad de 22 edificios en Bogotá.

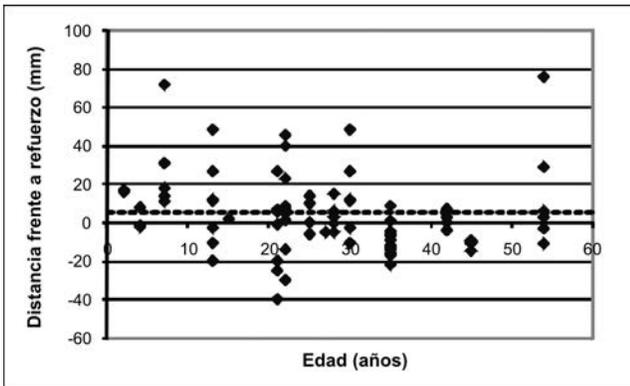


Figura 9. Distancia del frente de carbonatación al refuerzo de todos los puntos explorados contra edad de 22 edificios en Bogotá.

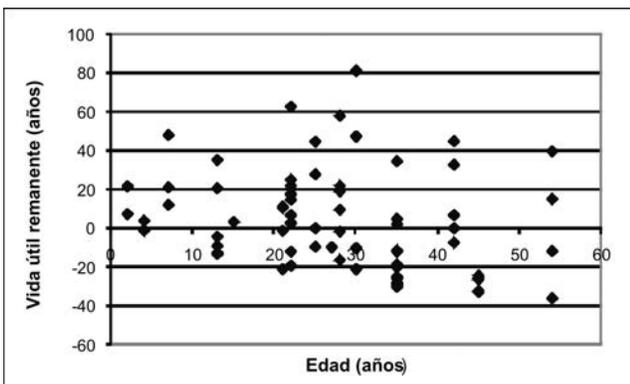


Figura 10. Vida útil remanente contra edad de todos los puntos explorados de 22 edificios en Bogotá (se muestran valores hasta cien años en las ordenadas).

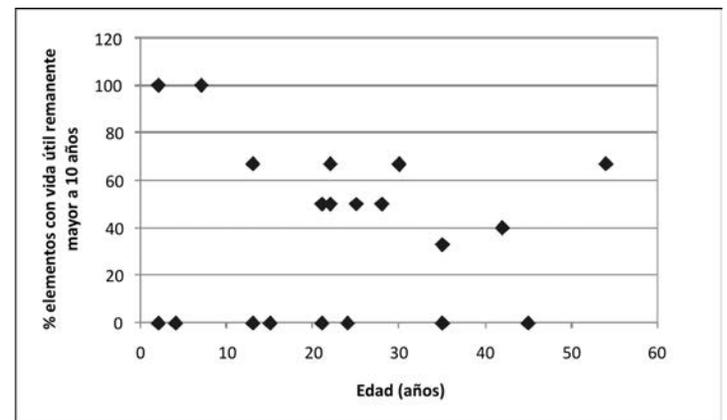


Figura 12. Porcentaje de elementos con vida útil remanente mayor que 10 años de 22 edificios en Bogotá.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados de exploraciones realizadas en 9 puentes y 22 edificios de Bogotá, se sacaron las siguientes conclusiones:

- Un porcentaje importante (casi el 50%) de elementos estructurales de edificios y puentes de diferentes edades han sido afectados significativamente por carbonatación, sea porque el frente de carbonatación

está muy cerca del refuerzo o porque ya hay procesos activos de corrosión.

- El grado de avance de la carbonatación y su variabilidad es mucho mayor en puentes que en edificios, lo cual es razonable si se considera que el grado de exposición tanto a CO₂ como a humedad es mayor en éstos. Sin embargo, como en general los recubrimientos en puentes son mayores, el porcentaje de elementos afectados por corrosión es mayor en edificios que en puentes.
- Los recubrimientos de edificios, menores que los estipulados por la NSR (o el ACI-318), han contribuido a que la vida útil de un porcentaje significativo de elementos estructurales de edificaciones, en particular de sótanos, sea relativamente baja.
- El grado de afectación por corrosión por carbonatación de estructuras jóvenes (10-20 años de edad) no difiere considerablemente del de estructuras mayores (30-40 años), lo cual en principio va contra lo esperado. Esto puede deberse al incremento acelerado del contenido de CO₂ en la atmósfera, recubrimientos insuficientes, curado inapropiado o insuficiente, bajo control de calidad en la construcción de algunas obras y al uso en años recientes de cementos adicionados.
- Para que las estructuras de concreto que se construyan en adelante en Bogotá tengan una resistencia adecuada contra carbonatación es necesario que el concreto sea de buena calidad, que sea adecuadamente compactado y curado y que se dejen al menos los recubrimientos exigidos por la NSR, particularmente en elementos expuestos a ambientes con alto contenido de CO₂, como los que rodean los puentes o los que se encuentran en parqueaderos con poca ventilación.

REFERENCIAS

- ACI Committee 201 (2001). *Guide To Durable Concrete*. Farmington Hill, Mich.: American Concrete Institute, pp. 4, 11, 17, 18.
- Balayssac, J.P., Détriché, Ch. H. & Grandet, J. (1994). Effect of Curing upon Carbonation of Concrete. Toulouse, Cedex, France: Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, Insa-UPS Génie Civil, Complexe Scientifique de Ranguel, 31077.
- Begliardo, H. F. (1993). *Cemento con adiciones*, vol. XXI. Cimec, pp. 44-49.
- Da Silva, T.J. & Roca, P. (1999). Reliability Updating of Deteriorating Concrete Slabs. ACI Special Publication, SP-186: *High-Performance Concrete: Performance and Quality of Concrete Structures*.
- Escobar, M.T. (2008). Carbonatación del concreto. Proyecto de grado de especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Fullea, J. Proceso de degradación de las armaduras, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja CSIC. Internet: www.aahes.org.ar/documents/3-JoseFulleaGarcia-Procesosde-Degradacion.pdf.
- Garcés, P., Climent, M.A. & Zornoza, E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado*, ed. ECU.
- Gómez, J.G. (1994). Durabilidad del concreto. Reunión del Concreto, Materiales y Patología. Asocreto, p. 94.
- Helene, P. & Castro-Borges, P. (2009). *A Novel Method to Predict Concrete Carbonation*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo.
- Heng, M. & Murata, K. (2004, July). Aging of Concrete Buildings and Determining the pH Value on the Surface of Concrete by Using a Handy Semi-Conductive pH Meter. *Analytical Sciences*, vol. 20. The Japan Society for Analytical Chemistry.
- Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S. & Leelawat, T. (2006, November). *Carbonation Depth Prediction for Fly Ash Concrete*. Construction and Building Materials.
- Lindvall, A. (1998). Duracrete-Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures. Budapest: 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering.
- Meeks, K. & Carino, N. (1999). Curing of High-Performance Concrete: State of the Art Report. Gaithersburg, MD: Nistir 6295, NIST.
- Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. *Revista Construcción y Tecnología*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>.
- Moreno, E.I. et ál. (2004). Efecto de la relación agua-cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. *Ingeniería*, 8-2, pp. 117-130.
- Neal, R. E. (1999). Corrosion of metals in concrete. *Materials Journal*. Farmington Hills, Mich: American Concrete Institute, pp. 45-47.
- Rick, M. (2002). *La carbonatación*. Publicaciones Pubval, p. 33.
- Rojas, S. & Luna, H.A. (2008). El fenómeno de la carbonatación en edificaciones de la ciudad de Bogotá. Proyecto de grado de especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salazar, A. (2005). Panorama del uso de las puzolanas en Colombia. *Revista Noticreto*. Bogotá: Asocreto, pp. 13, 20, 23, 28 - 31.
- Serrano, M. (2006). *Lesiones en plataformas de estructuras construidas en concreto reforzado*. Bogotá: Unal Ediciones, pp. 272-276.
- Villaescusa, E. & Potvin, Y. (2004, September). Ground Support in Mining and Underground Construction: Proceedings of the Fifth International Symposium on Ground Support. Perth, Australia.

Estudio de algoritmos de reducción de ruido en video

Study of algorithms for video noise reduction

SANDRA CANCINO SUÁREZ¹, ENRIQUE ESTUPIÑÁN ESCALANTE¹, MARCELA RODRÍGUEZ RAMÍREZ¹,
DOMINIK MAKOWSKI²

1. Ingeniería Electrónica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. M. Sc. Eng. Electronics and Telecommunication, Poznan University of Technology.

Recibido: 30/10/2009 Aceptado: 20/11/2009

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se describe la implementación de algoritmos para reducción de ruido. Estos algoritmos se aplican a videos con diferentes características de movimiento, esto es: bajo, medio o alto, realizando medidas objetivas y subjetivas para evaluar qué tan efectivos son, tanto en su implementación en el *hardware* DSP como en *software*. A pesar de las diferencias en los videos que se van a evaluar, el algoritmo que presenta mejores resultados en la medida objetiva es Alpha-Trimmed, incluso con mejores resultados en la implementación en *hardware* que en simulación. En la medida subjetiva el algoritmo más favorecido es el Mejor Vecino, aunque no por mucho margen.

Palabras claves: reducción de ruido, procesamiento de video, secuencia de imágenes, algoritmos de filtrado, DSP.

Abstract

This paper describes the implementation of noise reduction algorithms. These algorithms are tested on videos with different characteristics of low, medium and high movement, measuring objective and subjective measurements to evaluate their effectiveness either in DSP hardware or software implementation. Neither complexity nor easiness of implementation in real time is evaluated. In this case, when the algorithm increases its complexity it becomes more efficient in removing noise.

Keywords: Algorithms, DSP, FPGA, noise reduction, images sequence, video, video processing.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas el procesamiento de imágenes ha tenido desarrollo para el aprovechamiento de datos multimedia, tanto en aplicaciones tradicionales como la televisión o en aplicaciones en internet. Su rápida evolución ha exigido el mejoramiento de plataformas de desarrollo en *hardware*, así como el de diversos algoritmos que permitan dar respuesta a los retos de procesamiento de gran cantidad de información que puede obtenerse de una señal de video.

En el caso de las imágenes y su procesamiento, se han utilizado ampliamente en diversas áreas del conocimiento, proporcionando información para toma de decisiones. Existe la tendencia a tratar el video como una secuencia de imágenes, buscando utilizar los recursos disponibles tanto de *hardware* como de *software* de tal manera que se pueda extraer información que permita la generación de señales de control, alertas o simplemente diagnóstico respecto a un proceso específico. Sin embargo, cuando se analiza un conjunto de cuadros o imágenes al mismo tiempo, mucha información acerca de la dinámica, esto es, el movimiento de los objetos en el video, la información estadística contribuye a un mejor procesamiento, la cual no puede reconstruirse a partir de una sola imagen.

El análisis de la señal de video se remonta a la detección de movimiento en sistemas de seguridad, pero actualmente su aplicación se puede observar casi en cualquier área del conocimiento. En diferentes fuentes es posible encontrar infinidad de áreas para la aplicación del procesamiento y análisis de la señal de video, entre las que es factible mencionar la videotelefonía, la radiología, el área médica en sus diversas especialidades, la sismología, la videoconferencia, la oceanografía. Es claro que la cantidad, naturaleza y tipo de información obtenida se relacionan directamente con la aplicación [1].

Una vez que la señal de video se obtiene de la fuente, ésta debe procesarse con el fin de incrementar la calidad de la señal de video y de mejorar el desempeño de las tareas subsecuentes. La señal de video requiere *software* y *hardware* especializado y eficiente para su proceso debido a que la señal de video es multidimensional, pues tiene las dos dimensiones espaciales, dependientes de la calidad de la fuente, y una temporal, haciendo uso extensivo de recursos como el ancho de banda o de almacenamiento [2].

El procesamiento de la señal de video es necesario, independientemente de la calidad de la cámara utilizada, pues en el momento de la adquisición toda señal de video sufre degradación a diferentes escalas. Dependiendo de la aplicación, el ancho de banda es un parámetro clave que afecta su transmisión y la capacidad de almacenamiento, dado que las técnicas usadas actualmente requieren en muchos casos la compresión del video, introduciendo diferentes elementos no deseados en la señal que se consideran ruido y que deberán eliminarse o por lo menos reducirse en el video procesado. El procesamiento para remover el ruido también puede incluir información acerca del movimiento de los objetos, y ésta puede utilizarse en posteriores procesamientos.

Durante las últimas décadas se han desarrollado varias arquitecturas de *hardware* especializado junto con tecnologías que suplen, cada vez con mayor exactitud y rapidez, los extensos requisitos de este tipo de procesamiento [3]. Entre estos dispositivos se destacan, por su alto desempeño en la ejecución de algoritmos, las FPGA (*Field Programmable Gate Array*), que poseen la característica de ser reconfigurables en *hardware* para soportar las aplicaciones propuestas por los usuarios, y los DSP (*Digital Signal Processor*), que se pueden programar en lenguajes de alto nivel, como C++.

El proyecto trabaja con un DSP TMDSEV643, puesto que es una alternativa adaptable y suficiente para los requerimientos de diseño presentados.

El costo computacional del procesamiento de una señal de video está determinada en primera instancia por el tipo de tarea que se va a desarrollar, el tipo de procesador que realiza la tarea, la cantidad de datos procesados, además de la eficiencia de los algoritmos desarrollados [4].

Con el fin de simplificar la tarea de programación en el DSP, se hace una revisión de la bibliografía existente para estudiar cuáles algoritmos son los más prometedores en la reducción del ruido. Posteriormente se hace su simulación, para lo cual se elige un *software* que proporcione las herramientas suficientes de desarrollo, que maneje lenguaje de alto nivel, que permita optimizar el costo computacional y que sea capaz de establecer la comunicación con el procesador deseado; por tales razones, se selecciona el *software* de Simulink para trabajar.

La organización del artículo es la siguiente: primero se presentan los conceptos generales del video digital

y del ruido asociado a él; posteriormente, se describen las características que se tomaron en cuenta para la selección de los algoritmos de procesamiento de video presentados y su descripción; después se presentan los resultados y la discusión de la evaluación de desempeño hecha a los algoritmos seleccionados en su implementación en el *hardware* DSP TMDSEV643 y en el *software* Simulink. Finalmente, se hacen las conclusiones del estudio.

INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE EL VIDEO DIGITAL

Conceptos generales del video digital

El video (V) usado como entrada para los algoritmos de reducción de ruido está compuesto por imágenes I espaciadas temporalmente por un delta de tiempo t que depende del formato del dispositivo de adquisición utilizado:

$$V = [I_0, I_1, \dots, I_{t-1}, I_t, I_{t+1}] \quad (1)$$

Cada píxel que forma parte de la imagen en escala de grises (I) del video V se define como una función bidimensional de la siguiente manera:

$$\text{píxel de } I_t = p(I_t) = f(x,y) \quad (2)$$

Donde f corresponde a una función bidimensional que define el valor del píxel y sus coordenadas en una imagen I_t que forma parte del video [5].

Tipos de ruido en imágenes y video digital

Es sabido que uno de los tipos de ruido que más afectan a las imágenes es el ruido gaussiano, presente en sensores o circuitos electrónicos defectuosos durante el proceso de adquisición, transmisión y almacenamiento. De igual manera, cuando existe una conmutación en los dispositivos de captura de imágenes se hace presente el ruido tipo bipolar o unipolar, comúnmente llamado ruido sal y pimienta.

Por lo anterior, el ruido tipo gaussiano y el ruido tipo sal y pimienta son utilizados en la práctica para el modelamiento matemático del video [6].

EL MÉTODO

Aspectos que hay que evaluar y selección de los algoritmos para reducción de ruido

Uno de los criterios de selección de algoritmos de procesamiento más prometedores para reducción de ruido en video consiste en implementar filtros que reduzcan el ruido tipo gaussiano de manera óptima como el filtro promedio, o como el filtro de mediana en el caso del ruido sal y pimienta, pero que favorezcan la conservación de información original en el video [7].

Sin embargo, al aplicar al video un filtro promedio o un filtro de mediana, que se han concebido inicialmente para el tratamiento de imágenes, se corre el riesgo de suponer que las imágenes que componen el video son temporalmente independientes, llevando a un procesamiento con resultados no óptimos. Es así como la correlación temporal entre las imágenes del video debe tomarse en cuenta a la hora de proponer buenos algoritmos de procesamiento de video. Los algoritmos de promedio temporal y mediana temporal son una variación de los filtros anteriormente descritos, que considera la dependencia temporal de las imágenes que conforman el video.

Otra característica importante que hace que el procesamiento de video difiera del tratamiento de imágenes consiste en la necesidad de conservar sus elementos dinámicos presentes en el movimiento. De esta manera, el procesamiento de video requiere algoritmos que incluyan adaptabilidad de filtros y sus parámetros, lo que permite eliminar ruido y preservar la información relativa al movimiento del video. De aquí la selección de algunos algoritmos ya propuestos por algunos autores, como el del mejor vecino, Alpha-Trimmed, y el algoritmo de CCD, y en algunos casos, la generación de nuevas propuestas a través de la combinación de las mejores características de cada uno de ellos, como es el caso del algoritmo del mejor vecino y mediana temporal, y finalmente, CCD y promedio temporal [8].

Descripción de los algoritmos seleccionados e implementados

A continuación se describen los algoritmos seleccionados para la reducción del ruido que afecta al video V . *Algoritmo de promedio temporal.* Para este tipo de procesamiento se utilizan los valores de los píxeles que se

encuentran en la misma posición, tanto en la imagen actual I_t como en la imagen anterior I_{t-1} , y la imagen siguiente I_{t+1} del video (figura 1).

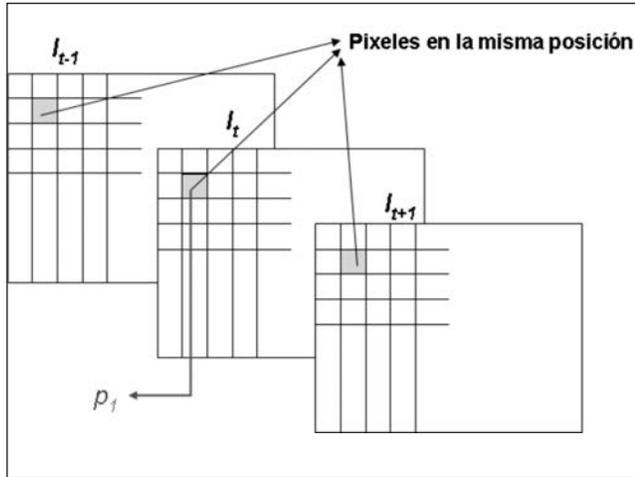


Figura 1. Píxeles en la misma posición en tres imágenes consecutivas del video.

El píxel procesado p_i que se encuentra en la imagen actual I_t adquiere un nuevo valor p_{1n} , que corresponde al promedio de éste con los píxeles correspondientes a la misma posición, pero en las imágenes anterior I_{t-1} y siguiente I_{t+1} :

$$P_{1n} = \frac{1}{3} [P_{1(t-1)} + P_{1(t)} + P_{1(t+1)}] \quad (3)$$

Si se incrementa el número de imágenes para el cálculo de la anterior ecuación, se obtiene una mayor reducción de ruido en el video, puesto que se toma un mayor número de píxeles para el promedio con el que se calcula el nuevo valor del píxel procesado. Sin embargo, esto conduce a un efecto borroso debido a los elementos dinámicos del video.

Algoritmo de mediana temporal. Este algoritmo utiliza los 27 valores de los píxeles compuestos por las máscaras 3×3 de tres imágenes consecutivas del video denominadas imagen anterior I_{t-1} , actual I_t y siguiente I_{t+1} (figura 2).

Para calcular el nuevo valor $p_{nt}(x, y)$ del píxel central de la máscara 3×3 en la imagen actual I_t , se recurre a la ecuación 4:

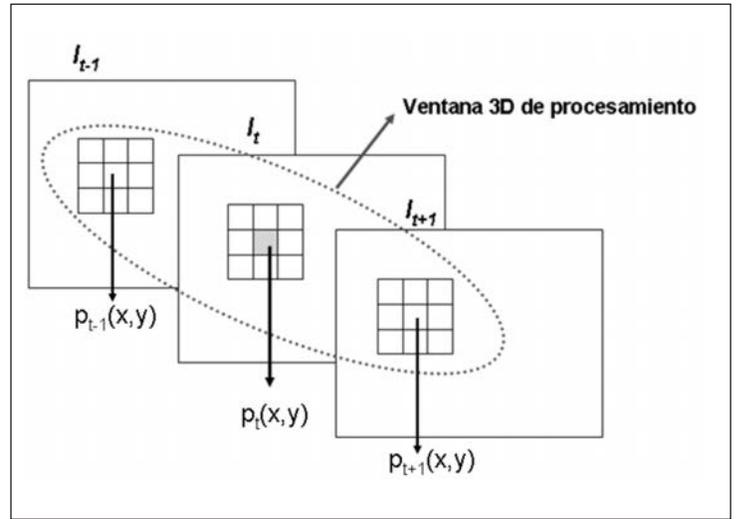


Figura 2. Ventana de procesamiento tridimensional en el video.

$$P_{nt}(x,y) = \text{mediana} [f_{(-1,-1)}(I_t), f_{(1,-1)}(I_t), f_{(-1,1)}(I_t), f_{(0,0)}(I_t), p_t(x,y)]$$

Donde

$$f_{(i,j)}(I_t) = \frac{1}{3} * [p_{t-1}(x-i, y-j) + p_t(x, y) + p_{t+1}(x+i, y+j)]$$

(4)

Como se observa en la ecuación 4, el cálculo del píxel procesado $p_{nt}(x,y)$ toma en cuenta la trayectoria de movimiento de un elemento dinámico en el video. Así, la posición de un elemento en movimiento en la imagen anterior es diferente en la imagen actual y en la siguiente del video, y su variación sigue una curva claramente definida. Esta característica del algoritmo de mediana temporal permite reducir ruido sin afectar la información de movimiento del video [8].

Algoritmo del mejor vecino. En este algoritmo también se utilizan los 27 valores de los píxeles de las máscaras 3×3 de las tres imágenes consecutivas del video, que conforman una ventana tridimensional de procesamiento (figura 3).

Los píxeles son agrupados en un vector ordenado X:

$$X = [p_1, p_2, \dots, p_n] \quad (5)$$

Donde p_1 corresponde al píxel central de la máscara 3×3 ubicada en la imagen actual I_t (figura 3). El criterio de ordenamiento del vector es:

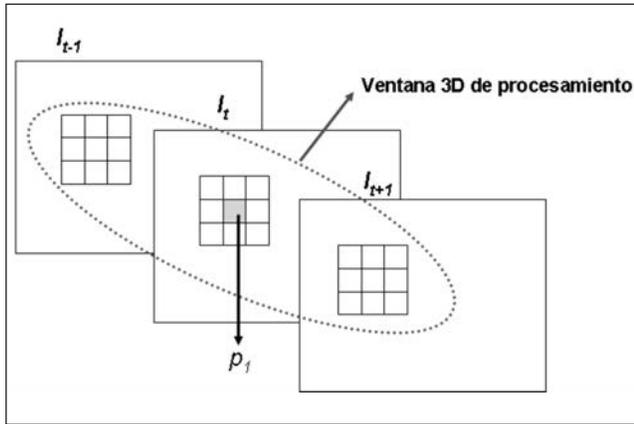


Figura 3. Ventana de procesamiento tridimensional en el video.

$$|p_i - p_i| \leq |p_i - p_j| \quad (6)$$

Donde $i = 2 \dots N$, $j = i \dots N$, siendo N el número total de los píxeles que se utilizan para el procesamiento (los que se abarcan con las tres máscaras) y que en este caso en particular es igual a 27.

El píxel p_i es procesado y se le asigna un nuevo valor denominado p_{in} :

$$P_{in} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N P_i \quad (7)$$

En un caso en particular, si el parámetro M de la ecuación 7 se iguala al valor del parámetro N , el algoritmo se reduce a un filtro promedio temporal aplicado a la ventana tridimensional.

En otro caso en particular, si el parámetro M es igual a uno, el algoritmo no cambia el valor del píxel procesado, es decir, p_{in} es igual a p_i [9].

Algoritmo Alpha-Trimmed. Al igual que el algoritmo anterior, éste utiliza los valores de los 27 píxeles ubicados en la ventana tridimensional formada por máscaras 3×3 en tres imágenes consecutivas del video (figura 3).

Un vector ordenado Y contiene los valores de los píxeles mencionados:

$$Y = [p_1, p_2, \dots, p_n] \quad (8)$$

Donde p_1 corresponde al píxel central de la máscara ubicada en la imagen actual I_t . Los píxeles p_2 hasta p_n son ordenados de la siguiente manera:

$$p_1 > p_2 \dots > p_n \quad (9)$$

Al píxel procesado p_1 se le asigna un nuevo valor p_{in} , que depende de la siguiente ecuación:

$$P_{in} = \frac{1}{\theta} \sum_{i=\text{floor}(\alpha N)+1}^{N-\text{floor}(\alpha N)} P_i$$

$$\theta = N - 2 * \text{floor}(\alpha N) \quad (10)$$

Cuando el parámetro α es igual a 0,5, el algoritmo se convierte en una variación del filtro de mediana temporal. Por otro lado, si α es igual a 0 el algoritmo pasa a ser un filtro promedio temporal aplicado a la ventana tridimensional [9].

Algoritmo del mejor vecino y mediana temporal. Este filtro de reducción de ruido es una combinación del algoritmo del mejor vecino y el algoritmo de mediana temporal. Inicialmente, este algoritmo realiza una evaluación que define si un cambio notable a lo largo del video corresponde a algún tipo de ruido, o si, por el contrario, corresponde al movimiento de un elemento dinámico en el video. El criterio de decisión se basa en la sustracción entre la imagen actual I_t del video y la imagen inmediatamente anterior I_{t-1} . El resultado de la anterior sustracción consiste en una imagen donde se elimina la información constante o estática de las imágenes I_t e I_{t-1} , conservando la información dinámica de los elementos en movimiento reflejada en esas imágenes [10]. A continuación se presenta un diagrama explicativo de la sustracción descrita anteriormente.

A continuación se presenta un diagrama de flujo que describe las etapas principales del algoritmo (figura 5).

Como se describe en el diagrama anterior, el histograma de la imagen resultado del valor absoluto de la resta de I_t e I_{t-1} se utiliza para calcular un umbral. Este cálculo se realiza a través de la detección de los picos del histograma que representan los píxeles estáticos y dinámicos de las imágenes consecutivas. A continuación, los píxeles de la imagen del valor absoluto de la resta mencionada son comparados con el umbral hallado para definir el algoritmo de procesamiento. Así, se aplica el

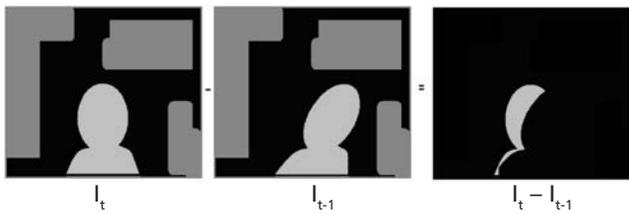


Figura 4. Diagrama del proceso de sustracción entre imágenes consecutivas del video.

algoritmo del mejor vecino cuando se asegura que los cambios que se presentan en las imágenes consecutivas del video se deben a la existencia de ruido. Por otro

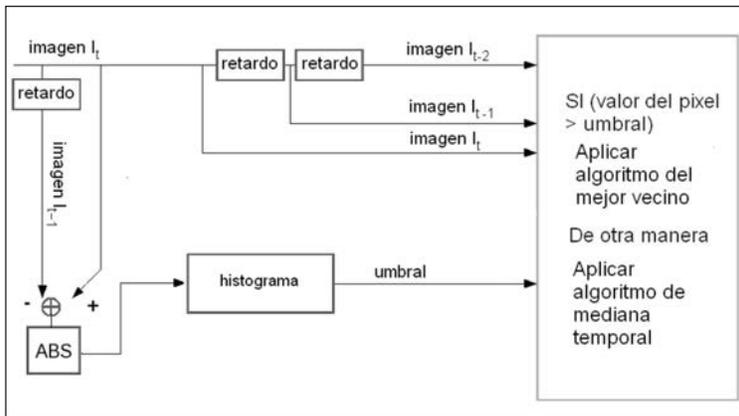


Figura 5. Diagrama de flujo del algoritmo del mejor vecino y mediana temporal.

lado, el algoritmo aplica un filtro de mediana temporal si se determina que los cambios se deben simplemente a movimiento dentro del video [8].

Algoritmo CCD y promedio temporal. Al igual que el algoritmo anterior, se utiliza el valor absoluto de la resta entre imágenes consecutivas del video para estimar el movimiento de sus elementos dinámicos. A renglón seguido se describe el diagrama de flujo de este algoritmo (figura 6).

La diferencia principal de este algoritmo con respecto al anterior consiste en la adición de un bloque de decisión, el cual se encarga de determinar si el resultado de la resta entre la imagen anterior y la actual tiene un carácter estacionario o dinámico. La decisión se toma por medio de un análisis estadístico de los píxeles que forman parte de la imagen, resultado del valor absoluto de la resta descrita anteriormente. Después de determi-

nar la decisión, el algoritmo aplica un filtro de promedio temporal si el carácter del resultado es estacionario, es decir, cuando el movimiento a lo largo del video es prácticamente nulo, y por tanto se pueden promediar

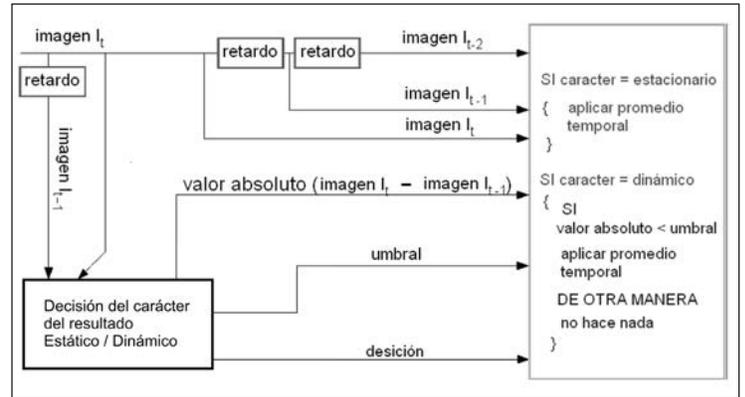


Figura 6. Diagrama de flujo del algoritmo CCD y promedio temporal.

píxeles para eliminar el ruido que pueda afectar el video sin perder información. Si el carácter del resultado es dinámico, se define por medio de un umbral determinado experimentalmente el grado de movimiento que existe en el video para aplicar un filtro de promedio temporal (si el movimiento es escaso), o no procesar y conservar los valores originales de los píxeles si el grado de movimiento es alto, para evitar la pérdida de información del video original [11] [12].

Selección de videos de prueba

Se realiza la evaluación de cinco algoritmos de procesamiento de video basados en los seleccionados y descritos anteriormente. Para este propósito se utilizan tres videos diferentes, a los cuales se les adiciona ruido gaussiano con una media de cero y una desviación estándar de 10:

- Video 1 (ice60.avi): contiene como características principales movimientos rápidos e impredecibles de personas, fondo semidinámico y un rango limitado de niveles de gris. La fuente del video original se encuentra en <ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/svc/testsequences/>. La resolución espacial que se trabaja es de 144 x 176 píxeles, a una velocidad de 30 fps.

- Video 2 (highway60.avi): contiene como características principales movimientos rápidos y predecibles de líneas de carretera, fondo semiestático y muy pocos niveles de gris. La fuente del video original se encuentra en <http://trace.eas.asu.edu/yuv/>. La resolución espacial que se trabaja es de 144 x 176 píxeles, a una velocidad de 30 fps.
- Video 3 (container60.avi): contiene como características principales un movimiento lento y predecible, fondo estático y una gran diversidad de niveles de gris. La fuente del video original se encuentra en http://meru.cecs.missouri.edu/free_download/videos/. La resolución espacial que se trabaja es de 144 x 176 píxeles, a una velocidad de 30 fps.

La selección de estos videos se basa en la necesidad de probar el desempeño de los algoritmos que hay que evaluar, en muestras que difieren en ciertas particularidades como su cantidad de niveles de gris, su fondo y sus elementos dinámicos.

Adicionalmente, existen dos tipos de resultados en la evaluación de los algoritmos: los cuantitativos, que utilizan como medida principal la relación señal a ruido pico o PSNR, y los cualitativos, que están definidos por un valor numérico asignado por un observador.

El PSNR, medida expresada en decibeles, puede ser útil en cierto grado para comparar y evaluar los resultados de reconstrucción del video original. Un valor alto del PSNR indica una alta precisión de reconstrucción, es decir, que cuanto mayor sea el PSNR del video procesado y el original, mayor será la similitud entre los dos. De acuerdo con la bibliografía, se considera que un valor entre 30 y 40 dB indica buena calidad en una imagen [13].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguidamente se presentan los resultados cuantitativos del PSNR del video filtrado con respecto al original, en la implementación en el *hardware* DSP TMDSEV643.

En la tabla anterior se observa que para el video ice60.avi el algoritmo que mejor lo filtró fue el Alpha-Trimmed, seguido del promedio temporal. Para el video highway60.avi, el mejor algoritmo de procesamiento fue el Alpha-Trimmed, seguido del mejor vecino. Para el video container60.avi, el mejor algoritmo

de filtraje fue el Alpha-Trimmed, seguido del algoritmo de mejor vecino y mediana temporal.

La evaluación cualitativa se hace a través del criterio de un observador o persona completamente ajena al proyecto. Ésta consiste en una valoración entre 1 y 5,

Tabla 1
PSNR del video procesado y el video original en la implementación en el *hardware* DSP

Tipo de Algoritmo	Video	PSNR Filtrado - Original
Algoritmo de promedio temporal	ice60.avi	21,38 dB
	highway60.avi	16,37 dB
	60.avi	16,9 dB
Algoritmo del mejor vecino y mediana temporal	ice60.avi	20,3 dB
	highway60.avi	16,2 dB
	container60.avi	21,71 dB
Algoritmo del mejor vecino	ice60.avi	20 dB
	highway60.avi	17,5 dB
	container60.avi	21,2 dB
Algoritmo Alpha-Trimmed	ice60.avi	21,75 dB
	highway60.avi	17,81 dB
	container60.avi	22,72 dB
Algoritmo CCD y promedio temporal	ice60.avi	19,74 dB
	highway60.avi	15,96 dB
	container60.avi	17,07 dB

siendo 1 la valoración del desempeño del algoritmo más baja y 5 la más alta. Además, el observador tiene en cuenta en su valoración la calidad del video procesado y su definición.

En la tabla 2 se presentan los resultados de la evaluación cualitativa de la implementación de los algoritmos en el *hardware* DSP TMDSEV643.

Según el criterio del observador, el mejor algoritmo para procesar los tres videos fue el algoritmo del mejor vecino, en la implementación en DSP.

En la tabla 3 se presentan los resultados cuantitativos del PSNR del video filtrado con respecto al original, en la implementación en el *software* Simulink.

Se puede observar en la tabla anterior que para el video ice60.avi el algoritmo que mejor funcionó fue el de promedio temporal, seguido del CCD y promedio temporal. Para el video highway60.avi, el mejor algoritmo de procesamiento fue el Alpha-Trimmed, seguido del promedio temporal. Para el video container60.avi el mejor algoritmo de filtraje fue el algoritmo de mejor vecino y mediana temporal, seguido del Alpha-Trimmed.

Tabla 2

Valoración del desempeño de los algoritmos por parte de un observador en la implementación en el *hardware* DSP

Algoritmo	Video	Observador Valoración
Algoritmo de promedio temporal	ice60.avi	3
	highway60.avi	3
	container60.avi	3
Algoritmo del mejor vecino y mediana temporal	ice60.avi	4
	highway60.avi	4
	container60.avi	4
Algoritmo del mejor vecino	ice60.avi	5
	highway60.avi	5
	container60.avi	5
Algoritmo Alpha-Trimmed	ice60.avi	4
	highway60.avi	4
	container60.avi	4
Algoritmo CCD y promedio temporal	ice60.avi	4
	highway60.avi	3
	container60.avi	3

En la tabla 4 se presentan los resultados de la valoración del desempeño de los algoritmos por parte del observador, en la implementación en el *software* Simulink.

Tabla 3

PSNR del video procesado y el video original en la implementación en el *software* Simulink

Algoritmo	Video	PSNR Filtrada - Original
Algoritmo de promedio temporal	ice60.avi	21,41 dB
	highway60.avi	16,35 dB
	container60.avi	16,87 dB
Algoritmo del mejor vecino y mediana temporal	ice60.avi	19,57 dB
	highway60.avi	15,6 dB
	container60.avi	21,51 dB
Algoritmo del mejor vecino	ice60.avi	17,39 dB
	highway60.avi	15,36 dB
	container60.avi	18,42 dB
Algoritmo Alpha-Trimmed	ice60.avi	19,45 dB
	highway60.avi	17,4 dB
	container60.avi	21,4 dB
Algoritmo CCD y promedio temporal	ice60.avi	20,02 dB
	highway60.avi	16,01 dB
	container60.avi	17,1 dB

En la tabla 4 se observa que, según el criterio del observador, el mejor algoritmo para procesar los tres videos en el *software* Simulink fue el algoritmo del mejor vecino. Así mismo, de acuerdo con esta evaluación, los algoritmos de promedio temporal y Alpha-Trimmed

tienen un desempeño aceptable, pero más bajo que los otros algoritmos estudiados.

Tabla 4

Valoración del desempeño de los algoritmos por parte de un observador en la implementación en el *software* Simulink

Algoritmo	Video	Observador Valoración
Algoritmo de promedio temporal	ice60.avi	3
	highway60.avi	3
	container60.avi	3
Algoritmo del mejor vecino y mediana temporal	ice60.avi	4
	highway60.avi	4
	container60.avi	4
Algoritmo del mejor vecino	ice60.avi	5
	highway60.avi	5
	container60.avi	5
Algoritmo Alpha-Trimmed	ice60.avi	3
	highway60.avi	3
	container60.avi	3
Algoritmo CCD y promedio temporal	ice60.avi	4
	highway60.avi	3
	container60.avi	3

En las figuras 7(a), 8(a) y 9(a), es posible observar un cuadro que forma parte del video de prueba ice60.avi. En las figuras 7(b) y 8(b) se muestra el procesamiento del cuadro por medio de la aplicación del algoritmo de promedio temporal y del algoritmo Alpha-Trimmed. El resultado es una disminución significativa del ruido que afecta a la imagen, creando sin embargo un efecto borroso en los elementos en movimiento del video, que se percibe en mayor medida en el resultado de aplicar el algoritmo de promedio temporal.

Por otro lado, en la figura 9(b) se muestra la aplicación del algoritmo del mejor vecino, considerado el mejor de acuerdo con la evaluación cualitativa. Es posible observar que el algoritmo disminuye casi en su totalidad el ruido que afecta a la imagen, y que los elementos en movimiento del video y otros detalles, como los bordes de las regiones, se conservan en la imagen procesada con dicho filtro.

CONCLUSIONES

Según los resultados cuantitativos proporcionados, el mejor algoritmo implementado en el *hardware* DSP para

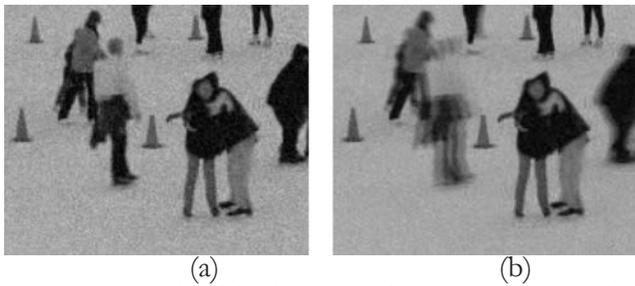


Figura 7(a). Cuadro del video de prueba ice60.avi. (b) Cuadro procesado con el algoritmo de promedio temporal.



Figura 8(a). Cuadro del video de prueba ice60.avi. (b) Cuadro procesado con el algoritmo Alpha-Trimmed.

el procesamiento de los tres videos con características diferentes fue el Alpha-Trimmed. Este algoritmo es una opción aceptable en los resultados con respecto a la implementación en el *software* Simulink, debido a que tiene la ventaja de contar con parámetros que pueden variar y acoplarse a las características de un video, logrando una reducción considerable de su ruido.



Figura 9(a). Cuadro del video de prueba ice60.avi. (b) Cuadro procesado con el algoritmo del mejor vecino.

Según los resultados cualitativos proporcionados, el algoritmo del mejor vecino se seleccionó como el más adecuado para mejorar la calidad y la definición de los tres videos de características diferentes. Aunque se esperaría que los resultados cuantitativos y cualitativos fueran parecidos, se debe tener en cuenta que el PSNR es una medida objetiva de similitud entre el video procesado y el original, medición que es mucho más difícil de determinar con el ojo de un observador.

REFERENCIAS

- [1] Quinzel, Richard (2009, September). Smarter video analysis Techniques mine more data. *Electronic Design*, Cover Feature.
- [2] Bovik, A. (2009). *The essential guide of video processing*, 2nd ed. Academic Press.
- [3] Hines, G., Rahman, Z., Jobson, D. & Woodell, G. DSP implementation of the Retinex Image Enhancement Algorithm.
- [4] Tsuen, M., Kasturi, R. & Sivasubramaniam, A. (2003). A pipeline-based approach for scheduling video processing algorithms on NOW. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, vol. 14, No. 2.
- [5] Gonzalez, R., Woods, R. & Steven, L. (2004). *Eddins digital image processing using Matlab*, Prentice Hall.
- [6] Gonzalez, R. & Woods, R. (2002). *Digital image processing*, 2nd ed. Prentice Hall.
- [7] Pratt, William K. (2001). *Digital image processing: PIKS Inside*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Bovik, A. (2000). *Handbook of image and video processing*, Academic Press.
- [9] Zlokolica, V., Philips, W. & Van De Ville, D. (2002). Robust non-linear filtering for video processing. Gent, Bélgica: Ghent University.
- [10] Espinosa-Duró, V., Faúndez-Zanuy, M. & Ortega, J.A. (2004). *Face detection from a video camera image sequence*. Polytechnic University of Catalonia.
- [11] Chen, T-H., Lin, Z-H., Chen, C-H. & Kao, C-L. (2007). A fast video noise reduction method by using object-based temporal filtering, Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IHHMSP.
- [12] Hakan, N., Bengt, O. & Youshi, X. Spatio-Temporal Noise Reduction Asic for Real-Time Video Processing, ITE Mid Sweden University.
- [13] Kanjanawanishkul, K. & Uyyanonvara, B. (2003). Fast Adaptive Algorithm for Time-Critical Color Quantization Application, Proc. *VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Sun C., Talbot H., Ourselin S. and Adriaansen T. (eds.), 10-12 Dec. Sydney.