

Revista Killkana Técnica

Volumen 1, Número 1, Enero-Abril 2017
ISSN impreso: 2528-8024



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA**
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

Cuenca, Mayo de 2017

Revista Killkana Técnica

ISSN IMPRESO: 2528-8024

Departamento de Posgrado, Investigación
Vinculación con la Sociedad y Publicaciones
de la Universidad Católica de Cuenca

✉ Av. de Las Américas y Humbolt
Código Postal 010101, Cuenca - Ecuador

✉ killkana.editorial@ucacue.edu.ec

☎ Central telefónica:

+593 (07) 2-830-751

+593 (07) 2-824-365

+593 (07) 2-826-563

🌐 <http://www.ucacue.edu.ec>

Volumen 1, Número 1
Publicación cuatrimestral

Diseño, diagramación y maquetación en \LaTeX
Orlando Alvarez Llamaza

English texts' reviewer
Tania Cecilia Bustamante Saavedra

Impresión: Editorial Universitaria Católica (EDÚNICA)

El sistema tipográfico empleado para componer la revista es \LaTeX , software libre utilizado para la comunicación y publicación de documentos científicos de alta calidad. Killkana Técnica emplea la clase `killkanaT.cls`, desarrollada especialmente para la revista y disponible para los autores en la página web <http://killkana.ucacue.edu.ec>



COMITÉ CIENTÍFICO INTERNO

Dr. Orlando Álvarez Llamaza, Phd.
Lic. Marilin Balmaseda Mederos, MSc.
Dr. Jaime Tinto Arandes, Phd.
Dr. Juan Carlos González, Phd.
Dr. Lorgio Aguilar Aguilar, Phd.
Dr. Santos Castillo Gaona, Phd.
Dr. Julio Conchado Martínez, Phd.
Dr. Mario Donoso Correa, Phd.
Dr. Ismael Minchala Ávila, Phd.
Dra. Milagro Rodríguez Andino, Phd.
Od. Esp. Lorena González Campoverde.
Dr. Edgar Curay Vanegas, Mgs.

COMITÉ CIENTÍFICO EXTERNO

Dr. Antonio Sacoto Salamea, Phd. / Universidad de la ciudad de Nueva York, Estados Unidos.
Dr. Carlos Parma, Phd. / Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina.
Dr. Eber Orozco Guillén, Phd. / Universidad Politécnica de Sinaloa, México.
Dr. Adolf Sotoca, Phd. / Universidad Politécnica de Cataluña, España.
Dr. Gonzalo Salerno, Phd. / Universidad de Catamarca, Argentina.
Dr. Kai Tucci, Phd. / Universidad de Los Andes, Venezuela.
Dr. Carlos Echeverría, Phd. / Universidad de Los Andes, Venezuela.
Dr. Néstor Galán, Phd. / Universidad Politécnica de Sinaloa, México.
Dr. Julian Mora Aliseda, Phd. / Universidad de Extremadura, España.

DIRECTOR DE LA REVISTA

Ing. Rafael García Abad, MSc. / Director del Departamento de Posgrado, Investigación,
Vinculación con la Sociedad y Publicaciones

Presentación

Revista “Killkana Técnica”, editada por el Departamento de Investigaciones de la Universidad Católica de Cuenca, se suma a nuestras publicaciones, entre las que están además las Revistas “Killkana Sociales” y “Killkana Salud y Bienestar”, en ellas pretendemos publicar trabajos de temas y colaboraciones enviadas por los autores que manifiestan su confianza en estas revistas.

La Revista Killkana Técnica surge con la finalidad básica de dar a conocer, los resultados de los trabajos de investigación realizados por los profesores de la Universidad Católica de Cuenca y contribuciones de colegas de otras Instituciones de la Educación Superior ecuatoriana y extranjeras. Esta publicación ha sido posible gracias a la ayuda de las autoridades de la Institución, encabezadas por nuestro Rector, Dr. Enrique Pozo Cabrera, Mgs.

Esta Revista estará abierta a todos y agradeceremos la colaboración de los estudiosos preocupados por los temas de investigación que ocupan a la educación superior en relación a los problemas que afectan a la sociedad y que están relacionados con las áreas de las ciencias técnicas, como lo demuestra este número en el que figuran trabajos referentes a temáticas precisas, entre estas:

Change detection of urban areas using DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo images

Convergencia de las Comunicaciones Móviles hacia Sistemas LTE y LTE-A de Cuarta Generación

Modelo matemático de calidad de agua aplicado en la microcuenca del río Tabacay

Automatización de las Bibliotecas utilizando ABCD

Programa de Cinemática Directa con fines Educativos

Estos trabajos no han sido seleccionados por su temática o por su orientación dentro del área de las ciencias técnicas, sino por su rigor científico, convencidos de que los que hoy cultivan los estudios investigativos sienten la necesidad de contribuir a la divulgación científica independientemente de la especialización, teniendo presente que lo que realmente interesa son los hombres y sus problemas.

Una publicación periódica como la que ahora se inicia, no puede improvisarse, ni dejar de plantearse el problema de su continuidad. Respecto a esto contamos con una base esencial de las aportaciones de los docentes de la universidad que continuará creciendo y además se pretende que la Revista pueda convertirse en una publicación interuniversitaria que reciba la contribución de investigadores de otras universidades del país y otras latitudes, nuestros colaboradores

podrán compartir y afrontar la responsabilidad de una tarea colegiada para alcanzar la calidad académica y científica de esta obra.

El profesor universitario requiere mucho más que el dominio lo más completo posible de su disciplina para impartir la enseñanza al más alto nivel, se requiere desarrollar competencias que faciliten la ejecución de procesos investigativos en las diferentes áreas de la ciencia, donde lo importante será aunar los esfuerzos que permitan alcanzar resultados que den solución a los diversos problemas que presenta la sociedad como parte del encargo social de las universidades y contribuir a su divulgación y comunicación científica.

El propósito de nuestro trabajo será dar continuidad a esta obra y tener nuestras páginas abiertas a todos los que quieran ayudarnos con su colaboración, por lo que invitamos a todos nuestros lectores a enviar sus contribuciones.

Por último, queremos agradecer a aquellos que con su trabajo han hecho posible la materialización y publicación de esta obra.

Lic. Ana Luisa Guijarro Cordero, Mgs.
Vicerrectora Académica
Universidad Católica de Cuenca

Índice general

Presentación...	V
Urban areas change detection using DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo satellite images <i>Sandra Lucia Cobos Mora</i>	1
Convergencia de las Comunicaciones Móviles hacia Sistemas LTE y LTE-A de Cuarta Generación <i>Jhovany Santacruz y Rafael García</i>	15
Implementación del software de Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación en la Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica <i>Milton Alfredo Campoverde Molina, Jenny Karina Vizñay Durán y Silvia Eulalia Vintimilla Jara</i>	23
Programa de Cinemática Directa con fines Educativos <i>Richard Parrales, Jacob Cuesta y Carlos Flores-Vázquez</i>	33
Modelo matemático de calidad de agua aplicado en la microcuenca del río Tabacay <i>Carlos Matovelle</i>	39
Instructivo para la preparación de manuscritos en la revista Killkana Técnica	49
Cómo usar la clase de documento \LaTeX ‘killkanaT.cls’ de la revista Killkana Técnica	55
Sistema y proceso de arbitraje de la revista Killkana Técnica	65

Urban areas change detection using DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo satellite images

Detección de cambio en zonas urbanas utilizando MDTs generados automáticamente a partir de imágenes satelitales estereoscópicas de alta resolución espacial

Sandra Lucia Cobos Mora

Faculty of Engineering, Industry and Construction, Católica de Cuenca University, 010101, Ecuador
Alcala University, Spain
German Aerospace Center, Germany
scobosm@ucacue.edu.ec

Abstract

In the spatial-temporal modeling for vertical change detection by a mathematical difference, Digital Elevation Models (DEMs) are used to monitor changes in height values. The main aim of this paper is to improve the accuracy of the change detection technique by applying a merge between DEMs of the same characteristics and therefore achieve better quality results. The research was developed using data gathered between 2006 and 2011 in two test areas. Two robust DEMs were generated from these dates, which were subtracted to detect altered areas. The DEMs have been automatically generated using the semi global matching method (SGM) from high spatial resolution stereo images which were provided by the Ikonos and GeoEye-1 satellites. All these images were previously subjected to a block adjustment in order to correct the geometric differences. The proposed technique in comparison with the basic technique, has improved the correctness in 3D change detection by reducing the number of pixels detected as false positives in 2,03% in Test Area 1 and 3.24% in Test Area 2.

Key words: Stereo Images, Digital Elevation Models (DEM), 3D Change Detection, Urban Areas.

Resumen

En el modelado espacio-temporal para la detección de cambios verticales, los modelos digitales de elevación (MDE) se utilizan para monitorear los cambios en los valores de altura, mediante una resta entre dos MDEs de diferentes fechas, como técnica básica. El objetivo principal de este trabajo es proponer una alternativa para mejorar la precisión de la técnica básica de detección de cambios mediante la fusión de MDEs de características similares para aumentar la calidad de los mismos. Este estudio se desarrolló entre 2006 y 2011 en dos áreas de prueba. Se generaron dos MDEs robustos a partir de estas fechas, que se restaron para detectar áreas alteradas. Los MDEs se han generado automáticamente utilizando el método de correspondencia semi global (SGM) a partir de imágenes estereoscópicas de alta resolución espacial proporcionadas por los satélites Ikonos y GeoEye-1. Previamente, todas estas imágenes fueron sometidas a un ajuste de bloque para corregir las diferencias geométricas. La técnica propuesta, en comparación con la técnica básica, ha mejorado la corrección en la detección del cambio 3D al reducir el número de píxeles detectados como falsos positivos en 2,03 % en el Área de Prueba 1 y 3,24 % En el área de prueba 2.

Palabras clave: Imágenes Estereoscópicas, Modelos Digitales de Elevación (MDT), Detección de Cambio tridimensional, Áreas Urbanas.

I. INTRODUCTION

A. Stereo Sensors

IN recent years, satellite systems have been implemented with the ability to provide stereoscopic data of the earth

surface. The data consists of two images obtained with seconds of difference between them and covering the same area from different observation angles during a single sensor pass, therefore making a difference in perspective. This

technology has been commonly applied in aerial photography and achieved through the sequential photographs taken during the same flight path with an overlapping area of approximately 60% on the horizontal plane. With the recent advances of remote sensing, images from very high spatial resolution satellites have achieved the same performance but at a lower cost than aerial photography. German Modular Optoelectronic Multispectral Scanner (MOMS) which was onboard of the Russian space station named MIR, was among the first systems to introduce this stereoscopic capability. A detailed description of this sensor can be found on Lehner & Kornus [1] and Poli [2].

This stereoscopic capability is only included in some very high spatial resolution satellites such as Ikonos, operated by GeoEye, which has a rational polynomial coefficient (RPC) camera model file that provides stereo data with a coverage of 360 degrees, allowing the generation of DEMs and digital surface models from anywhere in the world with a spatial resolution of five meters or less. Ikonos offers a spatial resolution of 1 m in the panchromatic mode and 4 m in the multispectral mode. It has a horizontal and vertical precision of 25 m and 22 m respectively, without considering control points, otherwise it goes up less than 2.5 m horizontally and less than 1.5 m in the vertical [3]. The same company that operates Ikonos put the satellite system GeoEye-1 in orbit on September 6, 2008, which has the second highest spatial resolution for commercial sensors. Images from this satellite are commercially available since February 2009 with a spatial resolution of 0.41 meters for military applications, and 0.5 m in panchromatic band for the rest of applications. The stereo pairs are taken on the same orbital pass, with an elevation above 60° with a difference of 30 seconds between them [4].

Nowadays, Digital Globe owns the most sophisticated constellation of satellites with the highest spatial resolution. WorldView-1 launched on September 2007 provides and spatial resolution of 50 cm in the panchromatic band. It is located at an altitude of 496 km and has an average day revisit time of 1.7 [5]. WorldView-2, launched on October 2009, has 8 multispectral bands with a pixel size of 1.85 meters and one panchromatic with 0.46 cm but they are resampled to 2.0 and 0.5 respectively, to comply with U.S. Regulation. It is operating at 770 km of altitude with an average 1.1 days in revisiting time. These two satellites are equipped with control moment gyroscopes that improve the slew time from 60 seconds to 12 seconds to efficiently collect in-track stereo images to create highly detailed DEMs [6]. This company also operates Quick Bird which has a spatial resolution of 61 to 72 cm in the panchromatic band, depending of the nadir viewing angle that could be between 0 to 25 degrees. The scene covers 16.5 km x 19 km in the across-track direction, with a frequency of acquisition between 1 to 3.5 days [7] and used to provide stereo capability until 2006.

The SPOT-5 satellite with its HRS2 and HRS1 sensors was the first satellite of the SPOT series to provide stereo-

scopic data, obtaining the stereo pair with a difference of 90 seconds. This satellite has a spatial resolution of 5 meters length and 10 meters in width and a nadir angle of +20 and -20 degrees for HRS1 and HRS2 respectively, to cover a stereoscopic area of 600 km from a whole scene of 1200 km x 1200 km. In the same way, Cartosat-1 with its 2 cameras, F (forward) and A (after), has angles of 26 degrees and -5 degrees, respectively, and provides images with a difference of 52 seconds with 0.62 meters of spatial resolution [9] and a temporal resolution of 26 days. In Radhadevi et al. [10] is described the work carried out by the authors to compare quantitative and qualitative DEMs generated from these two sources.

Also, ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), an imaging instrument flying on Terra satellite, offers a stereoscopic view in the near infrared bands 3N with three detector line arrays (Bands 1, 2, 3) and 3B which detects in only one band, by using two telescopes developed to reduce the backward distortion and the nadir looking. It is done with an angle of 27.7 degrees and a spatial resolution of 15 meters [11].

B. Digital elevation models (DEM) from stereo data

The generation of DEMs from stereo data has been investigated during the last 30 years and has become the most common method to produce these models. Initially this technique had a strong dependency on the aerial images since they were the only data to be used in stereoscopy procedures. However, since 1980 stereo data is also available from satellite sensor considering factors such as the spatial and temporal resolution, and the radiometric difference between the stereo pair; all of them with a strong influence on the final product [11]. To work with these images, a matching of the stereo pairs is required. However, considering this manual process would require a lot of time and increment the product's cost. Because of this, many techniques have been explored and proposed for automatic procedures like the Semi-Global Matching which generates DEMs based on added cost for each pixel. According to Buyuksalih et al. [12], these automatic procedures could be based on the area, sub-matrix of gray values or features. Feature based matching is used for images with a very high spatial resolution in urban areas, using points positions, edges or patches. The area based matching procedure, is better used in open areas to get a complete coverage of the whole scene with height points

These automatic algorithms can increase their accuracy with the use of ground control points (GCP). According to Toutin [11] cited in Akl [13], only four precise GCPs are theoretically necessary to obtain DEMs with good absolute accuracy (quality of accuracy in each pixel). However, with a large number of these points, the possibility of keeping the accuracy in the order of one pixel is higher. This is because they prevent the error propagation in the model. Unfortunately, the possibility of counting with control points in this phase is not always certain, in many

cases due to the difficulty to select the correct ones [14].

This situation has led different authors to investigate the best way to produce DEMs with greater accuracy by using post processing algorithms to improve precision. Some of these methods have been discussed in Reinartz et al. [9] where it is shown that the accuracy of the DEMs from satellite images with 10 meters of spatial resolution (provided by SPOT-5) and without GCP, is improved using auxiliary information such as tie points to make a bundle block adjustment in order to correct the small biases in all three coordinates (x, y, z). Also, a fusion with other DEMs with the same quality but obtained from different sources helped to raise the overall quality. After the matching phase, interpolation is necessary, which is also done using automatic functions [12].

The generation of DEMs has been performed using a variety of sensors through the use of different techniques such as the stereo pairs of by mixing images coming from the same sensor, but from different orbits, with a significant time difference. Unfortunately, in the last case, a large number of unmatched areas usually exist, due to different illuminations and atmospheric conditions, being necessary to execute a Gauss filter as previous step to get better results. Definitely, the best results are obtained when images from the same orbit are used, and the difference in time between them is the shortest possible [14].

It is important to consider that with these automatic algorithms the result is not a DEM, this is due to the fact that the match points could correspond to the top of a building or to the tree crown, therefore digital surface models (DSM) are produced. In most cases, this is not the product required, and it is necessary to convert it to a DEM by applying a filtering method which is only possible if at least a few points are located on the bare ground [12].

C. Temporal change detection using DEMs

Change detection has been one of the major operational applications of satellite images. Several techniques have been proposed in the literature, some of them specifics of the main object/cover to be identified as the one using vegetation indices to focus in vegetation changes or the one using water index to monitor the water content or water stress. There are also generic procedures that allow detecting all changes between land covers. All these techniques are discussed in detail in [15].

DEMs provide the basis for modeling and analyzing topographic information. This allows urban monitoring, change and damage detection in the third dimension (height). These changes have been ignored for the 2D techniques, where only changes related to reflectance values or texture can be detected. This information plays an important role for disaster assessment, urban area construction, destruction monitoring, etc. [16].

Change detection by using DEMs can be classified into two categories. The first category is based on the combination of stereo and multispectral images to detect changes

in 2D and 3D. The second one uses the subtraction of two of these models from different dates with similar specifications and covering the same area. This last technique discloses every change in height when the difference in elevation is higher than the combined maximum possible error of each DEM and the change occurs over an area larger than its spatial resolution, plus the horizontal error [13]. Here, the resolution and the data accuracy are determined to reduce false positive changes. This approach has been used by several authors as Zhang [17], Reinartz, et al. [18], and Akca [19].

II. MAIN AIM

Merge various DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo images before being part of a 3D change detection procedure to analyze potential accuracy improvements in the results.

III. DATA AND METHODOLOGY

A. Data

In this study, very high spatial resolution images obtained by commercial sensors have been used. There are two GeoEye-1 and four Ikonos images, all of them covering the same area. These images were converted to XDibias format, DLR's own software. This process creates 4 images for each date; one image containing the four multispectral channels and the other one only the panchromatic band. Because they are stereo images, there is one image captured from the left side, and the other one from the right side. The images used in this study are panchromatic because they have 1 m spatial resolution compared with 4 m of the multispectral images.

The period of time studied goes from 2006 to 2011. The images obtained between these years have been used to improve the DEM of the last date. Unfortunately, there were not images available before 2006 to help the improvement of its model. Table I shows the main information about the data used.

B. Methodology

The methodological steps considering the merging of DEMs adopted to improve the basic 3D change detection technique, which is based in the subtraction of DEMs, is exposed in Figure 1.

1. Tie points generation

The initial phase in the image processing is the finding of tie points. These are stable features that describe the same geographic position in two or more images that cover the same area. They are useful in geometric image transformation, as it will be used in the present project; but they are also used on image mosaicking and three dimensional model generation. Tie points are visually recognizable in the overlap area among the images and are used to further establish relationships between them.

TABLE I
IMAGES USED IN THE STUDY

Image	Date	Sensor	Abbr.
Ge20091220	December 20th, 2009	GeoEye-1	geo2009
Ge20110502	May 2th, 2011	GeoEye-1	geo2011
Ik20060223	February 23th, 2006	Ikonos	ik2006
Ik20100112	January 12th, 2010	Ikonos	ik2010.1
Ik20100513	May 13th, 2010	Ikonos	ik2010.5
Ik20110107	January 7th, 2011	Ikonos	ik2011

These image features are invariable to the image scale, rotation, illumination or addition of noise from the stereo images and help to provide robust matching. They should be well located in spatial and frequency domains, making them harder to be interrupted by clutter or noise. The approach used in this project to generate tie points is called Scale Invariant Feature Transform (SIFT) and it was developed by Lowe [20]. Its main advantage is the generation of a large number of features that cover the whole image over the full range of scales and locations.

This algorithm is performed by considering 4 major stages, in order to find the set of tie points. First, it is

necessary to detect the scale space extrema by recognizing locations and scales that can be assigned when the image has a different angle view to the nadir. This can be done by searching all the points that are stable in the images when the scale has changed. According to Lowe [20], the best way to do this is using the scale space extrema in the difference of Gaussian function. The number of samples with different scales must be large, due to the fact that the success of the object recognition is closely linked to the quantity of correctly matched key points and not on their percentage, in relation to the total number of them.

With the set of key points found in the step above, it

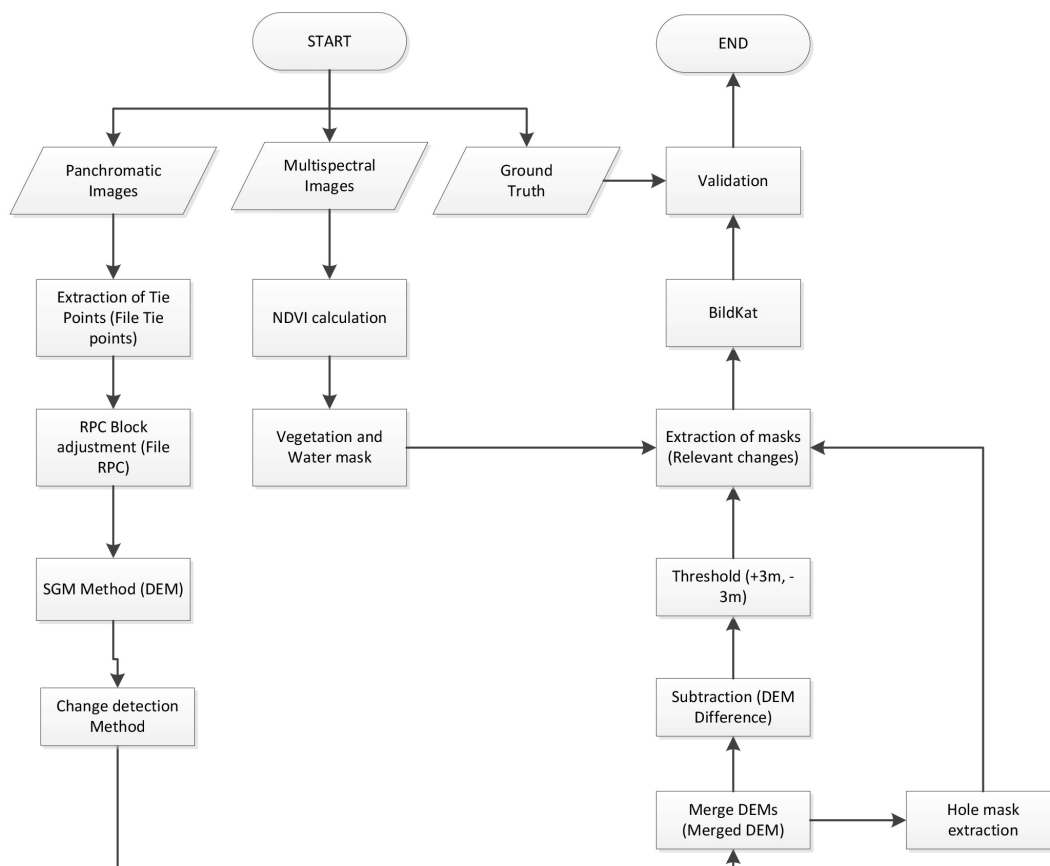


FIG. 1. Flowchart of the proposed technique to identified 3D changes in urban areas from stereopair images.

is necessary to eliminate the points with low contrast or a poor location along an edge. This is achieved by the adjustment of the nearby data for location, scale and ratio of principal curvature. The features with the higher stability measurement are assigned to a consistent orientation, scale and location based on local image properties, describing this region for a repeatable local 2D coordinate system. This leads to the last step which calculates the highlighted invariant descriptor for the local region. The algorithm used to create it is described in Lowe [20].

In this process it is important to take into account the following two facts. First, the tie points' accuracy is linked to the database size, formed with all the features extracted from the reference images that will be matched with a new image; and second, to detect small objects in cluttered areas, at least three points should be correctly matched for a trustworthy identification [20].

In this study, the tie points have been generated using four Ikonos and two GeoEye-1 images with a maximum distance for outlier measurements of 200 pixels, 500 meters for the grid size, used for thinning the resulting points and a matching ratio of 0.65. Snavely et al. [21] propose this last value in 0.6 because higher values not only produce more matches, but also more outliers.

In this context, for each descriptor of the first image, the algorithm finds the nearest neighbor in the second image looking through a tree, formed with the features of this last image. It accepts those matches if $\frac{d_1}{d_2} < 0.65$, where d_1 and d_2 are the distances of two nearest neighbors to the second image. To make this procedure efficient, the search is limited to a maximum of 200 bins of the tree. This gives geometrically consistent matches but only between a pair of images. It is necessary to join all the keypoints that match in multiples images, in one set called a track. If one point matches two or more times in the same image, it is considered as inconsistent [21].

2. Bundle Block Adjustment

Bundle Block Adjustment is used in this methodology to correct the geometric difference between a set of images, by converting each three dimensional image into two dimensional images. Here, the outliers tie points are eliminated to obtain a correct matching. The block adjustment implemented here, has been done by using rational polynomials, mathematically simpler and numerically more stable than the traditional methods. This method is directly related to the geometric properties of the sensor. In the original paper that describes this technique, the authors consider the physical features of Ikonos sensor, but it is demonstrated that it could be used for any sensor with a stable calibration on its interior orientation, a priori corrected exterior orientation and a narrow field of view [22].

The rational polynomial coefficient (RPC) models are used to convert three-dimensional object space coordinates, determinate in latitude, longitude and height (Φ, λ, h) , into two dimensional image space coordinates (Line, Sample),

a process that is quite complicated in satellite images due to the fact that the whole image is composed by several number of lines, each one captured in a different period of time; therefore, each line has its own exposure position and its own orientation [23], which does not happen in aerial photography. For this reason, a series of mismatches in the image need to be corrected by the introduction of two parameters, the line parameter and sample parameter. These two include effects of orbit, attitude and residual interior orientation errors in line direction, for the first one, and sample direction for the second one [22].

The RPC block adjustment model is determined for a function $(\Delta p, \Delta r)$ that expresses the differences between the measured and the nominal line and sample coordinates of GCP or tie points. In this case, the generated tie points are used. In the equations below (Equation 1 and 2), a_0 includes errors on the line direction (in-track errors) and b_0 includes errors on the sample direction (cross-track). The parameters a_L and b_L are referred to temporally linear error in satellite attitude and they are only required with images that cover more than 50 km and include all small effects due to gyro drift during the image scan. Parameters a_s and b_s includes radial ephemeris error and interior orientation errors, and they have been negligible for this purpose [22].

$$\Delta p = a_0 + a_s \cdot \text{Sample} + a_L \cdot \text{Line}, \quad (1)$$

$$\Delta r = b_0 + b_s \cdot \text{Sample} + b_L \cdot \text{Line}. \quad (2)$$

Due to the fact that there are no measured GCPs, the intersection of one point in the images has still a weak geometry. Therefore, it is necessary to use an additional DEM created with the GeoEye-1 image, acquired on December 20th, 2009; to interpolate the original elevation values obtained from the intersection of the point in the images (Z) with the elevation value obtained from the auxiliary DEM (Z_1); which helps to fix these errors and decreased even more the geometric discrepancies between images, such as position and altitude. A standard deviation of 0.6 pixels has been used for the image tie points.

3. Semi-Global Matching (SGM)

The Semi Global Matching (SGM) is a new image correlated approach, used to generate dense DEMs or digital surface models (DSM) from stereo images by matching them according to a global minimum cost function. It is developed and described in Hirschmüller [24].

SGM consists in the aggregation of a pixel wise cost function. The calculation of these cost values can be based on basic mathematical operations such as absolute value or squared value of the intensity difference [24]. However, these costs are susceptible to radiometric differences. Techniques based on mutual information (MI) are more stable and they have the best performance according to Gehrke et al. [25], since they are not sensible to changes in light emission and recording techniques [24].

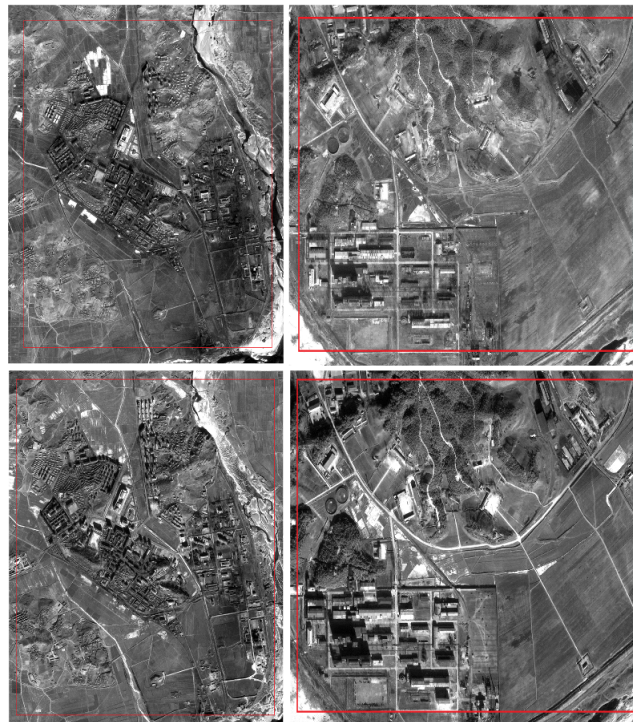


FIG. 2. Test Areas A) Test Area 1 on 2006 B) Test Area 2 on 2006 C) Test Area 1 on 2011 D) Test Area 2 on 2011.

The calculation of costs based on Mutual Information is defined as the value of similarity for potential pixels to be matched in two images [26], called entropy by Hirschmüller [24] and requiring an epipolar geometry for them. That is when the scanning lines of the stereo pair are epipolar lines, which occurs when two axes of the stereoscopic camera system are parallel to each other and perpendicular to the base. The shape and size of the area to be matched is important for improving the performance, knowing beforehand that the combination is more robust when it comes to large areas [24]. For a stereoscopic pair correctly recorded, the entropy union will be low since one image can be predicted by the other. Kim et al.[27] cited in [24] established the joint entropy of the images as the sum of pixels using Taylor's transformation.

Census has been also one of the methods used to calculate the cost of combined images, proving to be robust and achieving a very good performance. The basic principle of this algorithm lies in a small processing window called kernel and a string of bits where each bit is assigned to a pixel within this window, taking the pixel a value of 1 if it has lower intensity than the central pixel. The main advantage of this transformation is its invariability to changes in the digital number, being very suitable for matching the stereo images with radiometric differences [26].

In the present study, these two methods for cost calculation have been used to determine which generates the most exact DEM with fewer gaps possible. First, they were calculated separately and then, as a sum, with 50% of

the cost calculated using mutual information, and the other 50% using census, to determine which of these three ways (only MI, only Census, sum of MI and Census) is the most adequate, considering that the purpose is to obtain the most accurate model.

If only the matching cost is analyzed, the results are ambiguous and they can easily reach a lower cost with a bad combination of images, making it necessary to include a new constraint called cost of aggregation, which penalizes the change of disparity between neighboring pixels supporting smoothness [24].

Finally, the calculation of the base image disparity and the match image, is determined in the first case by selecting for each pixel the disparity with the minimum aggregated cost, while in the second case it can be defined by traversing the epipolar line which corresponds to the image pixel. This procedure does not consider the two images in the same way, so better results are expected when a recalculation of the match and aggregation cost is done by reversing the order, the base image becomes match image and vice versa [24].

This procedure has been applied in two test areas, one located in the north part of the image, covering the urban area, where more buildings are present, with a size of 2480 columns per 3000 rows and a spatial resolution of 1 meter with the IKONOS images. The second one is located in the south of the image, covering a small constructed area, which is 1276 columns per 940 rows size. In Figure 2 are shown both test areas in 2006 and 2011. The SGM DEM calculation was carried out using the panchromatic

channel since it has the best spatial resolution of the images, but only 5 of the 6 stereo pairs allowed the generation of the corresponding DEM because the stereo pair taken on December 20th, 2009 provided for the GeoEye-1 sensor has only a difference between them of 2 seconds when the normal difference is 30 seconds, preventing to perform the SGM algorithm due the invariable difference of the point view angle.

The DEMs generated automatically by the semi-global matching method, one for each stereo pair, contained gaps in occlude areas, where the matching failed or where outliers were removed. In this study, the gaps were filled using DEMs of previous dates in case these were available as the most recent image acquired on January 7th, 2011, which was filled using the May 9th, 2011 DEM provided by GeoEye-1 with a better resolution in the panchromatic channel than the one obtained with Ikonos. A merge of more DEMs was considered for 2011 using the images obtained on January 12th, 2010 and May 2010 from Ikonos. Unfortunately, many changes were lost because during 2010 and 2011 some buildings were constructed and there were not images before 2006 that help to improve this DEM.

Merging DEMs in order to fill data gaps could be done by using the mean or the median, which are statistical parameters that best describe the data distribution in the study region. When the mean is used, the value of each pixel in the output image is calculated by averaging the elevation values from the corresponding pixels in the input images. When the median is used, the pixel values of the output images come from the middle value in ordered array of the corresponding pixels in the input images.

The mean is the optimum measurement of position when the distribution of the values is symmetrical, indicating that their tails are balanced and the existence of outliers is very unlikely. It is usually applied when the data has a normal distribution. In cases where there is no guarantee of this normal distribution, the median is a far more robust option, due to its minimum sensibility to the presence of irregular values [28]. The median has been used in this study because it has shown to better sharpen the buildings edges, key elements of this study.

4. Change detection techniques - Difference between digital elevation models

This method consists in the subtraction of two DEMs. In this case, one corresponds to the merge of DEMs generated with Ikonos and GeoEye-1 images from 2011, and the other corresponds to a single DEM from 2006. To compare the results and evaluate the improvement, the technique was repeated, but this time the subtraction was done using the same DEM from 2006 and another one acquired just by Ikonos and only from 2011.

Image subtraction is the easiest way to perform change detection but the weakest in terms of precision. It is very susceptible to false changes detection being indispensable

a pre-processing stage to refine the original images. It also requires the definition of a threshold that allows creating the binary map, where 0 means no changes and 255 means changes. Under ideal circumstances the areas of no changes would be identified by a digital value of 0, but this does not happen in reality and this threshold needs to be defined to classify those areas of significant changes and eliminate areas of no change or insignificant changes.

The threshold was decided as function of the minimum height of a buildings floor, considering that this value would represent the minimum change in a building. According to Czajkowski & Corredera [29] the minimum height of a floor is 2.70 meters plus 30 centimeters of slab and beams which gives a total height of 3 meters, adopting this values as threshold. It is necessary to determinate two thresholds, one of + 3 meters which gives the areas that increase in height, showing those new buildings existing in 2011, and another of -3 meters to determine those areas that have been decreased in height, determining those buildings that have been removed.

After applying the threshold, it is necessary to eliminate elements that are out of the main aim of this study as vegetation and water. For this purpose, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated and scaled from 0 to 255 to generate a mask of the vegetation areas with all those pixels with a digital value higher than 150 and a water mask for values lower than 110 using the same index.

Using the available information, it was not possible to fill the 100% of the gaps presented in occluded areas. Therefore, it was necessary to generate a mask of all these areas to extract them from the study and avoid detecting them as false changes, especially in 2006 where no additional information was used to generate the DEM, hence more gaps are included.

Once the change areas were identified, a morphological filtering was applied to compact the result areas by using two procedures. The first consist on filling gaps in the middle of an area to form a compact one, a technique called closing. The second eliminates small details as single pixels detected as changes, called opening. Both of them were carried out using a morphological element of radius 2, since it was the one that provided the best results. A lot of single pixels were identified as changes when using small radius; constrastly when using radius which were larger than 2, the blocks of new small buildings were not identified.

5. Validation of results

After a visual or digital interpretation of an image, a verification of the quality of the results is required to estimate the precision of these results and the methodology used to generate them. It allows the user to estimate the potential risk that could be associated to decisions made based on these results. During the validation process it is necessary to compare the results with an external source that must be the faithful representation of the reality [15].

TABLE II
CONFUSION MATRIX USED IN THIS APPROACH

Change detection result	Reference data	
	Change	Non-Change
Change	TP	FP
Non-change	FN	TN

In this case, a ground truth was created manually by visual inspection of the changes between 2006 and 2011, which were digitalized and converted to a mask. Positive and negative changes were considered in different masks in both test areas. Here, the experience and skills of the analyzer plays an important role to correctly identify the changes between both images.

By using the ground truth and the results obtained from the change detection techniques, a confusion matrix was generated. In this matrix, the columns correspond to the description of the reference data while in the rows are located the results of the change detection technique. The major diagonal represents those pixels that agree in both data sets and everything off this line indicates the omission and commission errors [15].

According to Liang [30] this matrix was classified into four variables: the true positives (TP), which are the number of pixels correctly classified as change; the false positives (FP) or pixels incorrectly classified as changes; the true negatives (TN) or the number of pixels correctly classified as no change; and the false negatives (FN), which are the number of pixels incorrectly classified as no change. All of them are represented in the confusion matrix showed in table II

With these four values it is possible to calculate the accuracy of the methodology by analyzing four parameters. Completeness (cp), which represents the producer's accuracy and it is the proportion of correctly detected changes with respect to the total number of pixels that changed in the reality, showed in the reference data (Equation 3). Correctness (ct) representing the user's accuracy and it is the proportion of correctly detected as changes with respect to the total number of pixels detected as change (Equation 4). Quality percentage (qp) which is an overall measure of the results and considers completeness and correctness (Equation 5). Overall accuracy (oa) which is the proportion of correctly classified pixels with respect to the total number of pixels in the image (Equation 6). It is important to remember that both images, the result and the mask, must have the same size [30].

$$cp = 100 \times \frac{TP}{TP + FN}, \quad (3)$$

$$ct = 100 \times \frac{TP}{TP + FP}, \quad (4)$$

$$qp = 100 \times \frac{TP}{TP + FP + FN}, \quad (5)$$

$$oa = 100 \times \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}. \quad (6)$$

IV. RESULTS AND DISCUSSION

6. Pre - processing

The block adjustment technique enhanced the geometric accuracy of the 6 stereo pair images by combining multiple physical camera model parameters into a single adjustment parameter having the same net effect on the object-image relationship, as it is explained in Grodecki & Dial [22], ranging from an image residual of 42.8 pixels to 2.1 pixels in the seventh iteration (in the eighth iteration there were not more outliers to remove) by removing 985 outlier tie points of 5290 generated. Considering the total number of generated points, only 2 tie points matched all images while the great majority did it with 2, 3 or 4 images. Most points matched with the second image of the stereo pair captured on January 7th, 2011, the newest images of the set, which comprised 84.73% of all tie points, while the first image of the same pair included 78.77%. The first image of the GeoEye pair corresponding to this year had 78.94%, while the first image of this stereo pair had the fewest number of tie points, only 56.82%. This is shown in Figure 3.

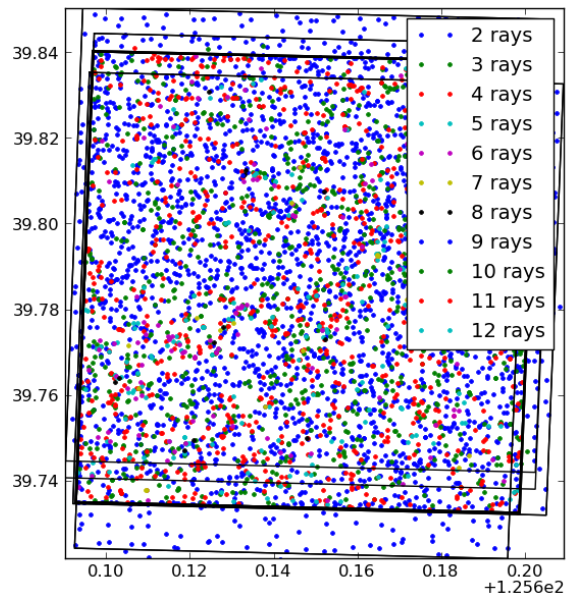


FIG. 3. Tie points between the twelve images (6 stereo pairs).

Not all the tie points were good enough to help with the correction of the images, which is the reason why some of them were removed during the different iterations of the

block adjustment procedure, improving in each iteration the image residual and the standard deviations which reduced drastically to finally obtaining an average value of 0.43 pixels. In the first iteration, the images with the lowest standard deviation were the GeoEye-1 stereo pair acquired on 2009 with a value of 6.82 pixels each one, while the ones with the higher value are the second Ikonos image of the stereo pair from 2006 and the first Ikonos image of the stereo pair from May 2010, with 67.06 and 64.65 pixels respectively. This order is not preserved in the last iteration because the smallest standard deviation still belongs to 2009 with 0.23 pixels, but the highest values correspond to the first image of 2006 and both Ikonos stereo pair of 2011 with 0.51 pixels. As expected, the same trend is observed for the mean. Minimum values ranged from 0 to 0.21 pixels in the first iteration to 0 in all images in the last iteration. Maximum values decreased from 1266.53 pixels to 2.39 pixels after the elimination of the outliers. A detailed description of each image during the first and last iteration is shown in Table III.

The distribution of the residuals finally showed a normal distribution, forming a positive asymmetric Gaussian curve as it is shown in Figure 4, going through 0 to 2.5 pixels, where most of them have residuals between 0 and 0.5 and only a small number reached residuals above this value. During the first iteration, most of the tie points were also in the range of 0 pixels but there were a group of tie points with residuals above 1000 pixels that caused a big geometric distortion in the images and were removed. The residual contrast between the remaining tie points was 2.5 pixels while in the first iteration it was 1266.53 pixels, therefore, a large reduction of the 99.8% in the residuals was achieved.

With this block adjustment, the orthorectification was performed using tie points, which is not possible to do when employing the Ikonos or GeoEye ground station, ensuring consistent quality of results because the block adjustment described by rational polynomials considers the imaging

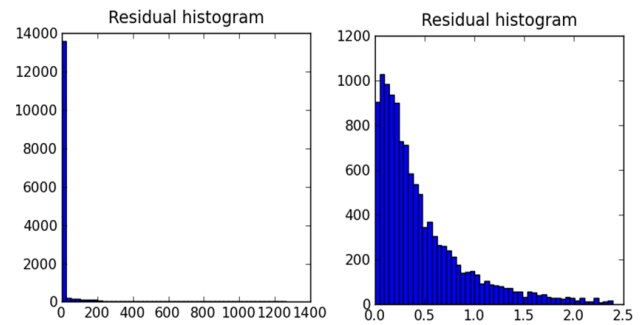


FIG. 4. Histogram of the residuals of the first iteration (left) and last iteration (right).

geometry and the satellite maneuvering modes, it does not occur with the traditional adjustment of exterior and interior orientation parameters, or the one bias compensation proposed by Grodecki & Dial [22].

7. Analysis of the changes detected with single DEMs and merged DEMs

The algorithm used to calculate the cost in the semi-global matching was Census, it provided more complete DEMs compared to Mutual information (MI) and the sum of both (MI plus Census). However, the sum of MI and Census also had a good performance, but the model generated using only MI provided a really weak result, similar to those obtained by matching images with a big difference of time and taken from different orbits (not stereo pairs) that was also tested during this study.

It was not possible to eliminate 100% of the gaps but they were filled with data of previous dates in case of 2011, what did not happen with 2006 because there were no additional images that can be used. The closest stereo pair is from 2009 but as it was mentioned in the methodology section, it was not possible to generate a DEM with those images.

TABLE III
STATISTICAL RESULTS OF THE 12 IMAGES AFTER THE FIRST AND THE LAST ITERATION

Observation	First iteration,(Pixel Units)				Last iteration,(Pixel Units)			
	mean	Std	Min	max	mean	Std	min	max
ge2009_1	2.61	6.82	0	86.71	0.29	0.23	0	1.57
ge2009_2	2.61	6.82	0	86.71	0.29	0.23	0	1.57
ge2011_1	13.01	36.9	0.01	287.33	0.46	0.46	0	2.39
ge2011_2	12.02	35.45	0.01	232.71	0.37	0.37	0	2.34
ik2006_1	14.05	36.82	0.21	477.35	0.53	0.51	0	2.39
ik2006_2	17.81	67.06	0.01	1266.53	0.5	0.5	0	2.36
ik2010.1_1	14.58	40.79	0	239.89	0.45	0.43	0	2.38
ik2010.1_2	13.06	37.54	0	263.33	0.45	0.46	0	2.28
ik2010.5_1	16.36	64.65	0	1233.33	0.48	0.45	0	2.39
ik2010.5_2	14.22	43.25	0	473.59	0.47	0.46	0	2.38
ik2011_1	12.36	33.68	0.01	260.39	0.65	0.51	0	2.35
ik2011_2	10.27	32.36	0.01	240.91	0.59	0.51	0	2.39

Merging two years of information to get a complete DEM allowed to improve the completeness of the DEM by filling the gaps where the occlusion of certain areas did not allow a good matching. In both test areas, these results are much more complete than the one obtained only using images from 2011. Unfortunately, this merge uses a statistical value to fill the gaps that is calculated for every single pixel of the DEM, including those pixels that already have information and should be unchangeable and stable. With this procedure it does not occur because it is changed to a new value calculated as the median of the common pixels in all images to be merged, losing information in those areas where new buildings were constructed between 2010 and 2011, causing that some major changes get lost, that is why a merge of only images from 2011 will be used to avoid the introduction of omission errors.

For both test areas, the improvement between the proposed merge technique and the simple difference was more evident in the positive than in the negative changes due to the fact that the latest were less frequent.

The positive and negative changes would be analyzed separately considering that two masks were created for each test area. For test area 1, the total number of analyzed pixels is 7440000 and for test area 2 it is 1199440. All of those distributed in correct detections, in commission errors and omission errors as showed in the confusion matrix. For both test areas, the improvement between the proposed merge technique and the simple difference is most notorious in the positive changes than in the negative changes due to the fact that there are not so many of these changes between this period of time.

In test area 1, positive changes occurred between both dates (Figure 5), comparing the proposed technique vs. the not merge subtraction, the completeness decreased 18.84%. Because the total number of pixels detected as changes decrease from 3.36% to 1.06% with the new technique, the number of correct changes detected also decreased.

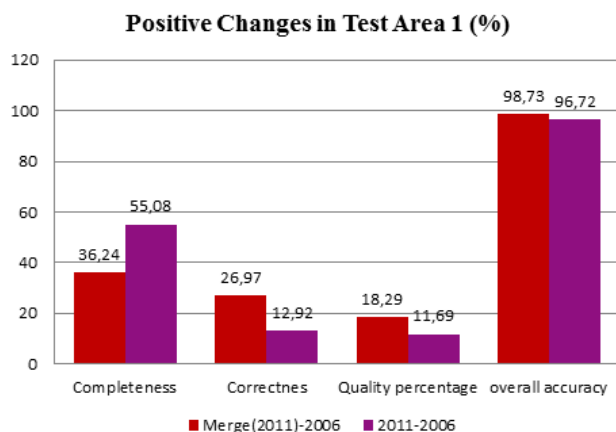


FIG. 5. Comparison between the merging difference technique and simple difference of the positive changes in test area 1.

The correctness, quality percentages and overall accuracy increased 14.05%, 6.6% and 2.01% respectively due the fact that there was a reduction of 14% in the number of pixels incorrectly detected as changes with respect to the number of pixels detected as change (Figure 6 A and B). In the negative changes of test area 1, the improvement was not as visible as in the positive changes as is showed in Figure 7. Completeness increased 2.12%, while correctness, quality percentage and overall accuracy stayed almost the same with an imperceptible rise of 0.37%, 0.37% and 0.13% respectively. These results were not detected visually (Figure 6 C and D). The number of pixels correctly detected as well as the number of pixels incorrectly detected remained almost the same.

In test area 2, the positive changes had a similar behavior to the positive changes in test area 1, because the completeness also decreased 11.71% due the fact that there was a reduction from 5.16% to 1.83% in the number of pixels detected as change with respect to the total number of pixels. The correctness, quality percentage and overall accuracy showed in Figure 9, increased 4.58%, 0.84% and 3.24% respectively. In this case, the reduction of the pixels incorrectly detected as changed ranged from 96.21% to 91.62% with respect to the total detected as change (Figure 8 A and B). The lost buildings have not been detected by neither of the two methods since they are of small height and the established threshold did not permit to detect them as negative changes; it provided a completeness and correctness of zero. This is shown in Figures 9 and 10. However, the commission error in the suggested alternative using the merge technique, is lower than the error obtained with no merging (Figure 8 part C and D)

After a visual analysis of the change detection results, it can say that most of the commission errors (incorrect changes detected) correspond to shadowed areas, causing a correctness and completeness in both methods below 50% as shown in the statistics. Also, there were some vegetation areas that could not be removed properly with the vegetation mask because the spectral behavior of the roofs of some buildings was similar to this land cover preventing the possibility of applying an appropriate threshold based on NDVI, so it was necessary to establish an additional condition which allowed to mask buildings in conflict but also some areas with sparse vegetation. These last zones and the shadows finally increase the number of false positive pixels.

However, The technique used in this study, demonstrated to better handle these areas reducing considerable the number of wrong detected positive changes in test area 1 which ranged from 3.3% of incorrect detected pixels without merging DEMs to 1.27% in the proposed merging technique. In test area 2, the reduction of incorrect positive changes is even bigger going from 5.13% to 1.89%.

Areas incorrectly detected as changes correspond to small areas below the spatial resolution of the DEM or when the difference in elevation is lower than 3 meters,

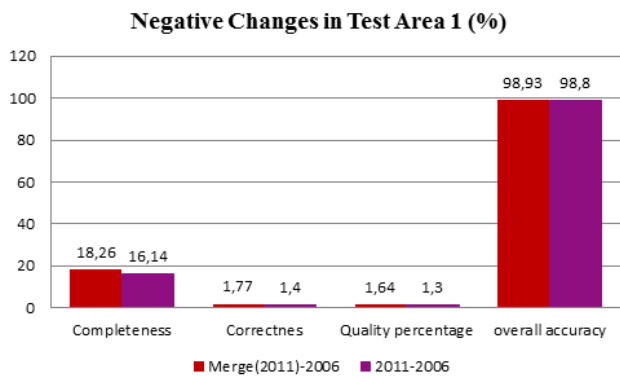


FIG. 7. Comparison between the merging difference technique and simple difference of the negative changes in test area 1.

values that has been taken as threshold in the methodology. When using smaller threshold values, the correctness decreases considerably because the number of wrongfully detected changes both increase. In contrast, if the threshold values are higher, the completeness decreases since there are many important changes that go undetected.

Unfortunately, despite the overall accuracy is high, it is not sufficient to assess the accuracy of the results because

it takes into account the total number of pixels correctly classified and it do not consider the good performance in individual classes. In this study, we have two classes, changes class and no-changes class. Although the changes class do not show the expected precision, the no-changes class does it. It can be demonstrated with the percentage of pixels detected as no changes in positive and negative changes in both test areas, all this with respect of the total number of pixels that according to the ground true, must be detected as no changes. In test area 1, where the positive changes were evaluated, the improvement went from 97.05% to 99.22% and with the negative changes, it went from 98.89% to 99%. In test area 2, the improvement went from 98.01% to 98.31% for positive changes and 98.1% to 99.2% for negative changes.

The important values to be considered in the evaluation of the change class, are the correctness and completeness. In both methods these values are really low (Figures: 5, 7, 9, 10) to evidence the success of one technique over the other. The change detection technique based in the difference between digital elevation models from 2011 and 2006 has an overall week performance even thought a geometric correction was done before processing them and a threshold was set to keep only the relevant changes that occurring in these areas. However, if the desirable in the application is

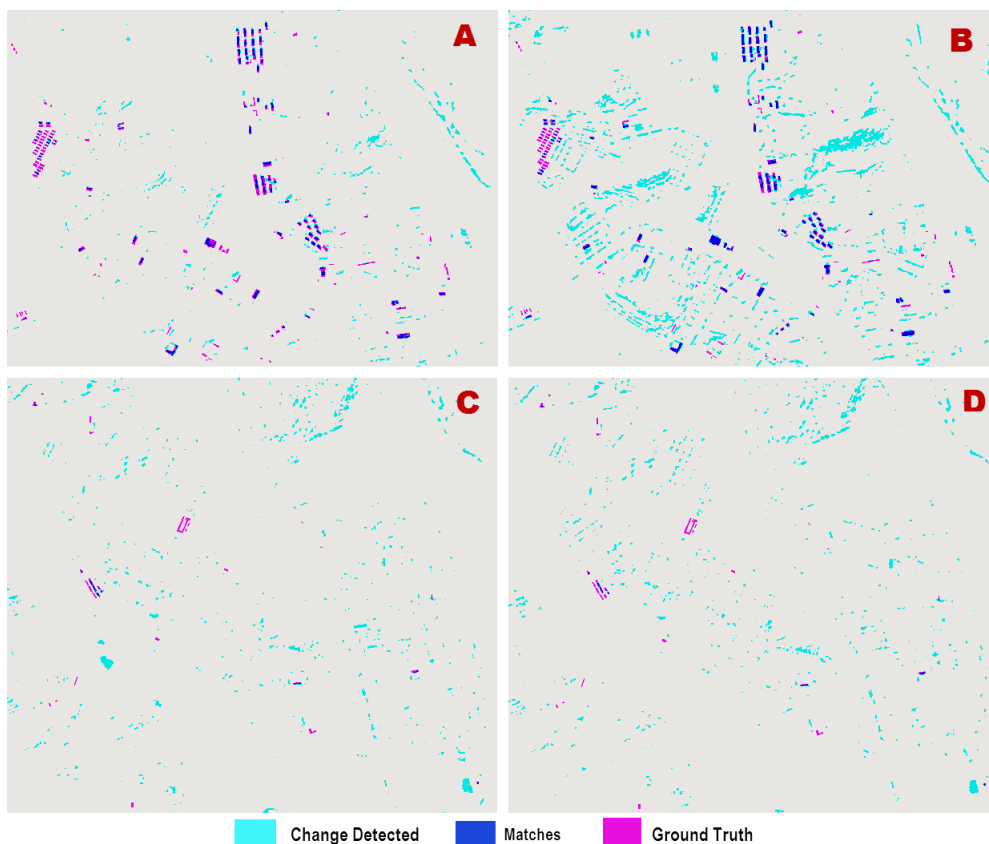


FIG. 6. Changes detected in test area 1: A) positive changes using the proposed technique, B) positive changes using the simple difference, C) negative changes using the proposed technique, B) negative changes using the simple difference.

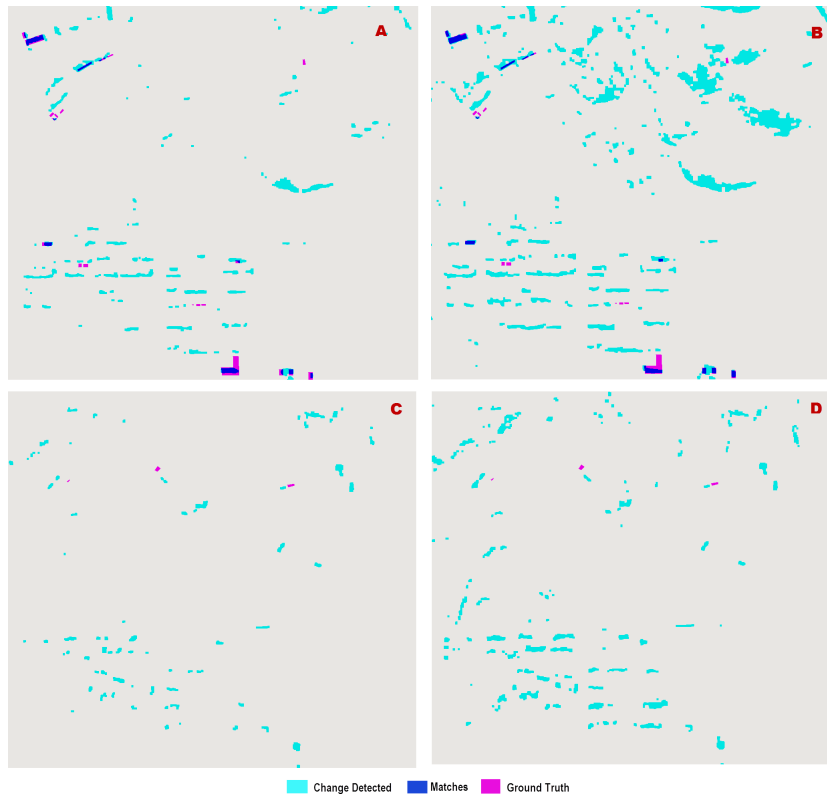


FIG. 8. Changes detected in test area 1: A) positive changes using the proposed technique, B) positive changes using the simple difference, C) negative changes using the proposed technique, B) negative changes using the simple difference.

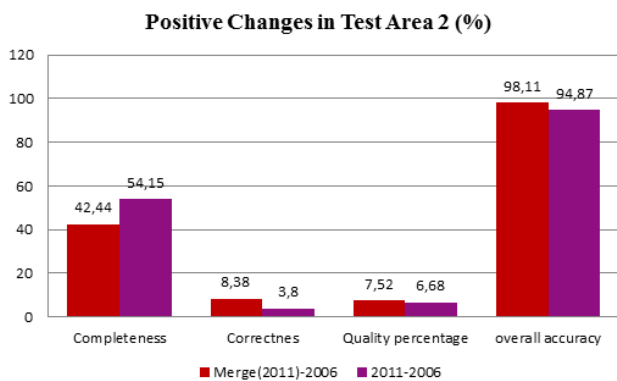


FIG. 9. Comparison between the merging difference technique and simple difference of the positive changes in test area 2.

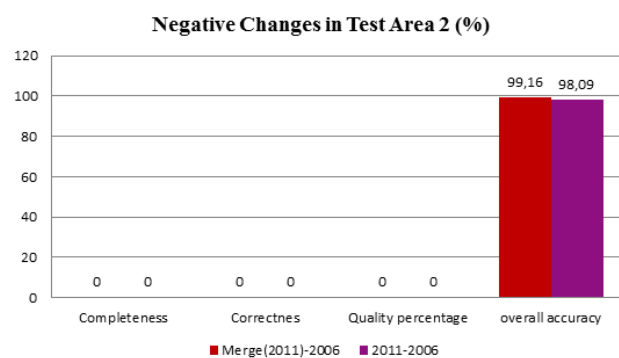


FIG. 10. Comparison between the merging difference technique and simple difference of the negative changes in test area 2.

to improve the correctness, the proposed technique shows to have a good performance.

V. CONCLUSIONS

The results obtained are strongly linked to the accuracy of the automatic algorithm used to generate DEMs. The gaps presented in this product due the difficult to match the two stereo images in areas with the presence of shadow or in places where its vision is hampered, will be finally detected as changes. In case the gaps in the first date are

not removed, the positive changes would increase, while the negative changes would increase if the gaps in the newest date are not removed. To eliminate positive or negative commission errors, these occluded areas should be masked out.

The merging between DEMs is a good alternative to complete them because the gaps are filled with an approximate value provided from the auxiliary data. The quality and precision of this extra data plays an important role, providing best results if the difference in time between them is the lowest possible and no major changes occur between

them, otherwise the resulting DEM would lose precision instead of improve it and the omission error would increase. A good alternative would be to use information from the same year or closer years depending on the urban growth rate, if this is going fast, even merging digital elevation models from the same year would introduce omission errors.

The technique proposed was only proved in the newest date because there was no information to merge with the oldest one. To improve the results would be appropriate to test merging the DEM from 2006, being necessary to select the auxiliary images adequately considering the closer date to this one to eliminate the possibility of loss important changes during the merge process. It is important to remember that the number of DEM used in the merge procedure does not have a limit, so more than one stereo pair could be used as additional information for each year.

For a better performance of this technique, an appropriate masking of the shadows generated by the buildings inside of urban areas is required. These would decrease the number of commission errors.

For a better performance of this technique, an appropriate management of the shadows generated by the buildings inside of urban areas is required. A possibility would be the extraction of them by a mask as it was done with the vegetation, water and gaps areas. These would decrease the number of commission errors.

Further investigations should include testing the proposed methodology with DEMs from other data sources such as the SRTM mission, which has a complete high resolution digital topographic database of the Earth. Also the implementation of other change detection techniques could be tested in order to see if the completeness and correctness could be improved.

REFERENCES

- [1] M. Lehner and W. Kornus, "Band to band registration for the german pushbroom scanner moms-2p," in *Proceedings of ISPRS Joint Workshop on "Sensors and Mapping from Space "1999*, pp. 27–30, 1999.
- [2] D. Poli *et al.*, "Georeferencing of moms-02 and misr stereoimages with strict sensor model," in *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Workshop "High resolution mapping from space*, Citeseer, 2003.
- [3] S. I. C. (SIG), "Ikonos satellite images and sensor specifications," 2011.
- [4] K. Kliparchuk, A. Gisp, D. Collins, *et al.*, "Evaluation of stereoscopic geoeye-1 satellite imagery to assess landscape and stand level characteristics," 2010.
- [5] DigitalGlobe, "Worldview-1," 2011.
- [6] DigitalGlobe, "Worldview-2," 2011.
- [7] P. Cheng and C. Chaapel, "Dem generation using quickbird stereo data without ground controls using tie points only," *Geoinformatics*, vol. 9, no. 2, pp. 36–38, 2006.
- [8] H. Raggam, "Accuracy analysis and surface mapping using spot 5 stereo data," in *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXth ISPRS congress, Istanbul*, pp. 12–23, 2004.
- [9] P. Reinartz, M. Lehner, R. Müller, and M. Schroeder, "Accuracy analysis for dem and orthoimages derived from spot-hrs stereo data without using gcp," *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 34, pp. 433–438, 2004.
- [10] P. Radhadevi, K. Jacobsen, V. Nagasubramanian, and M. Jyothi, "Comparison of digital elevation models generated from spot-5 hrs stereo data and cartosat-1 stereo data.," in *ISPRS Hannover Workshop*, pp. 2–5, 2009.
- [11] T. Toutin, "Three-dimensional topographic mapping with aster stereo data in rugged topography," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 40, no. 10, pp. 2241–2247, 2002.
- [12] G. Buyuksalih, K. Jacobsen, and I. Baz, "Dem generation based on optical space images," 2008.
- [13] P. G. Akl, "Temporal change detection using aster and usgs digital elevation models," 2005.
- [14] K. Jacobsen, "Dem generation from satellite data," *EARSeL Ghent*, pp. 273–276, 2003.
- [15] E. Chuvieco, "Teledetección ambiental (primera edición en presentación actualizada.)," *España: Editorial Ariel*, 2010.
- [16] J. Tian, H. Chaabouni-Chouayakh, P. Reinartz, T. Krauß, and P. d'Angelo, *Automatic 3D change detection based on optical satellite stereo imagery*. na, 2010.
- [17] L. Zhang, "Automatic digital surface model(dsm) generation from linear array images," *Mitteilungen- Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenossischen Technischen Hochschule Zurich*, 2005.
- [18] P. Reinartz, R. Müller, M. Lehner, and M. Schroeder, "Accuracy analysis for dsm and orthoimages derived from spot hrs stereo data using direct georeferencing," *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 60, no. 3, pp. 160–169, 2006.
- [19] D. Akca, A. Grün, *et al.*, *Least Squares 3D surface matching*. Inst. für Geodäsie und Photogrammetrie, 2007.
- [20] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International journal of computer vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004.
- [21] N. Snavely, S. M. Seitz, and R. Szeliski, "Modeling the world from internet photo collections," *International Journal of Computer Vision*, vol. 80, no. 2, pp. 189–210, 2008.
- [22] J. Grodecki and G. Dial, "Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 69, no. 1, pp. 59–68, 2003.
- [23] J. Grodecki, "Ikonos stereo feature extraction-rpc approach," in *ASPRS annual conference St. Louis*, 2001.

- [24] H. Hirschmüller, "Stereo processing by semiglobal matching and mutual information," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 2, pp. 328–341, 2008.
- [25] S. Gehrke, K. Morin, M. Downey, N. Boehrer, and T. Fuchs, "Semi-global matching: An alternative to lidar for dsm generation," in *Proceedings of the 2010 Canadian Geomatics Conference and Symposium of Commission I*, 2010.
- [26] P. d'Angelo and P. Reinartz, "Semiglobal matching results on the isprs stereo matching benchmark," in *ISPRS Hannover Workshop 2011: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, 2011.
- [27] J. Kim, V. Kolmogorov, and R. Zabih, "Visual correspondence using energy minimization and mutual information," in *Computer Vision, 2003. Proceedings. Ninth IEEE International Conference on*, pp. 1033–1040, IEEE, 2003.
- [28] M. Carbonero, J. Ramírez, C. Hervás, and D. Ortiz, "Estimadores robustos de estadísticos de posición," 2005.
- [29] J. Czajkowski and C. Corredera, "Ahorro de energía en refrigeración de edificios para viviendas y propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles," *Avances en energía renovable y medio ambiente*, vol. 10, 2006.
- [30] W. Liang, *Change detection for reconstruction monitoring using very high resolution optical data*. PhD thesis, DLR, 2010.

Recibido: 13 de enero de 2017

Aceptado: 03 de marzo de 2017

Sandra Cobos: *Computer Science Engineer with a master degree in Geographical Information Systems. Cobos is working as full time professor and researcher at Universidad Católica de Cuenca. She also was group leader of the Spatial Data Infrastructure department in the Ecuadorian Space Center and research intern at German Aerospace Center.*

Convergencia de las Comunicaciones Móviles hacia Sistemas LTE y LTE-A de Cuarta Generación

Mobile Communications Convergence to LTE and LTE-A Systems of Fourth Generation

Jhovany Santacruz^{1*} y Rafael García²

¹Carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Católica de Cuenca
Cañar, 030350, Ecuador

²Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 010105, Ecuador

*jsantacruz@ucacue.edu.ec

Resumen

Este artículo plantea un análisis histórico de la vertiginosa evolución que han tenido y mantienen los sistemas de comunicaciones móviles y sus tecnologías subyacentes. En principio se realiza una descripción breve, pero didáctica de las diferentes tecnologías asociadas a cada una de las generaciones que han aparecido en términos de su evolución cronológica, dejando en claro los beneficios que suponen, así como sus principales limitantes que han dado paso a otros tipos de implementaciones encaminadas a mejorar las tasas de transferencia de datos, manejo de medios y la movilidad del usuario. Finalmente, se brinda una descripción, no muy exhaustiva, pero lo suficientemente detallada para su entendimiento, de las tecnologías LTE y su evolución hacia LTE-Advanced, como referentes de la cuarta generación de móviles (4G), actualmente la más difundida, y sobre cuya base continua un marcado proceso de desarrollo e innovación.

Palabras clave: LTE, LTE-A, comunicaciones móviles, redes celulares, generaciones móviles.

Abstract

This article presents a historical analysis of the vertiginous evolution that have had, and still have, the mobile communication systems and their subjacent technologies. To begin with, a brief but didactic description of the technologies associated to each of the generations that have appeared in terms of their chronological evolution is made, making clear the implied benefits, as well as their main limitations which had led to other types of implementations aimed at improving data transfer rates, the media management, and user's mobility. Finally, a not very exhaustive, but sufficiently detailed description for the understanding of the LTE technologies and their evolution towards "LTE-Advanced", as references of the fourth generation of mobiles (4G) is given. Currently, the most widespread, and on the basis of a marked process of development and innovation.

Key words: LTE, LTE-A, mobile communications, celular networks, mobile generations.

I. INTRODUCCIÓN

MÁS de dos décadas han transcurrido desde los inicios de lo que hoy en día conocemos como redes celulares y teléfonos móviles; hecho que tuvo su primer antecedente a raíz de la construcción del primer dispositivo de comunicación de esta naturaleza por la compañía Motorola, por el año de 1983.

De ahí en adelante se ha tenido un ininterrumpido crecimiento y avance de la industria de las comunicaciones móviles que ha obtenido cada vez más usuarios en todo el mundo, llegando a ser hoy en día un elemento indispensable para nuestras vidas, satisfaciendo la enorme necesidad de comunicación y movilidad, que por mucho fue un sueño para el ser humano.

A lo largo del camino han surgido tendencias tecnológi-

cas, en términos de infraestructura y servicios de comunicación, que para mejorar su entendimiento e identificación, han sido nombradas como una serie de generaciones.

Cada generación supone un avance tecnológico que ha permitido mejorar e integrar nuevos servicios con respecto a las generaciones anteriores.

Hasta la fecha han sido lanzadas cuatro generaciones móviles representadas cada una por una serie de características técnicas e integración de nuevos servicios, las mismas que sus últimas versiones denotan una convergencia evidente hacia estrategias de comunicación basadas en el protocolo IP, con altas tasas de transferencia, tanto en modo estacionario, como con usuarios móviles, mejorando la seguridad, y todo al mínimo costo posible.

II. EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

La primera generación (1G) está fundamentalmente representada por la tecnología AMPS (Advanced Mobile Phone System), se basa en un sistema analógico con baja capacidad de roaming, permitía solo llamadas de voz de baja calidad, apareció por primera vez en los Estados Unidos en 1983 [1]. Su núcleo está basado en una red de conmutación de circuitos, y aunque su uso esté descontinuado, ha sido un sistema de importancia histórica para el desarrollo de las comunicaciones móviles por el éxito obtenido y por las innovadoras ideas que aportaba.

La segunda generación (2G), que llegó a partir de 1990, implica un cambio significativo con respecto a la anterior, y es la migración del sistema analógico a un sistema digital, lo cual supone mejor calidad de voz, mayor seguridad y reducción de costos por simplificarse la construcción de los terminales. En 2G se sigue utilizando una red de conmutación de circuitos, pero con mejoras en la calidad de la voz, capacidades mejoradas de roaming y se integran los primeros servicios de valor agregado como los mensajes cortos SMS. El referente tecnológico de esta generación es GSM (Global System for Mobile Communications), que utiliza TDMA (Time Division Multiple Access) y FDMA (Frequency Division Multiple Access) como técnicas de control de acceso al medio, para solventar el problema de un reducido espectro radioeléctrico disponible, permitiendo así un incremento en el número de usuarios simultáneos. A la segunda generación también se le atribuye otros protocolos como IS-136 o TDMA, IS-95 o cdmaONE, D-AMPS (la versión digital de AMPS 1G) y PHS [2]; todos éstos de diferentes propietarios e incompatibles entre sí, implementados en distintas regiones del mundo, limitaban el uso de los móviles solo a su área de cobertura. Fue GSM entonces la tecnología que tuvo un éxito abrumador frente a sus competidores, y es así que terminó imponiéndose, ofreciendo una cobertura potencialmente mundial, con millones de abonados suscritos a las operadoras que la soportan.

La tercera generación no llegó inmediatamente, ya que muchos suelen asignar el calificativo de 2.5G y 2.75G a tecnologías representadas por GPRS y EDGE respectivamente. Lo que muestran en realidad son una transición entre la segunda y tercera generación de móviles que implican algunas mejoras implementadas sobre los servicios 2G. Con GPRS se alcanzaban velocidades entre 54 y 114 kbps, permitiendo el uso de servicios como WAP (Wireless Application Protocol), sistema de mensajería multimedia (MMS), email y acceso a la web, una verdadera revolución para esa época. Por otro lado aparece EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) como una mejora a GPRS (EGPRS), permitiendo que aplicaciones con altos requerimientos de ancho de banda, como video y multimedia, puedan entrar en la escena de los móviles. EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 kbps en modo de conmutación de paquetes, triplicando a GPRS, y es por esto que se le puede considerar el punto más cercano hacia la tercera generación [3] [4].

Poco después vio la luz la tercera generación (3G) caracterizada del mismo modo que sus predecesoras por una serie de tecnologías y estándares de distintos competidores en la lucha por lograr predominio en un mercado tan competitivo como el de las telecomunicaciones. Sin embargo, a diferencia de 2G, la tercera generación fue estandarizada por el proceso IMT-2000, el cual regularizó no solo una tecnología, sino un conjunto de especificaciones y requerimientos para 3G, entre los cuales tenemos las tasas máximas de transferencia (2 Mbps en ambientes estacionarios y 384 Kbps en movimiento). 3G representa un cambio significativo que aumenta la capacidad para la transmisión de datos en movilidad y la llegada de la banda ancha a las comunicaciones móviles. Uno de los estándares más difundidos de esta generación que cumple con las especificaciones IMT-2000, es UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), que usa W-CDMA (CDMA de banda ancha) como interfaz de aire, lo cual facilita enormemente alcanzar mayores velocidades con respecto a GSM de segunda generación que utilizaba TDMA como técnica de control de acceso al medio. La gran mayoría de los móviles estaban usando redes UMTS. Existen otros estándares de tercera generación como CDMA 2000, pero que no fue tan aceptado como UMTS a nivel global. Del mismo modo, que en la segunda generación, se han ido dando avances y mejoras en 3G a lo largo de su convergencia hacia 4G, y es así como de forma comercial se han ido creando nombres intermedios como 3.5G para referirse a tecnologías como HSDPA (velocidades de bajada de hasta 14.4 Mbps), HSUPA (con velocidades de subida de hasta 5.8 Mbps) o 3.75G para hacer referencia a HSPA+ que no es otra más que una evolución de HSPA que mejora las tasas de subida y de bajada; comercialmente se lo puede denominar como 4G, pero tecnológicamente la cuarta generación comienza, o al menos se acerca, con LTE [2]. Como se puede apreciar son denominaciones más comerciales que estándares formalmente aceptados, que incluso pueden diferir entre diversos autores y operadoras.

III. LTE Y LTE-A, LA EVOLUCIÓN HACIA 4G

Luego de la descripción histórica y evolutiva de las generaciones móviles y sus tecnologías relacionadas, llegamos al punto de inicio de la cuarta generación.

En la Fig. 1 se observa que no existe un solo grupo de interés encargado de la estandarización, pero es quizá 3GPP el principal organismo destinado para el efecto, y al seguir su evolución tecnológica se aprecia que LTE y su convergencia a LTE-Advanced, representan los estándares de referencia para la cuarta generación de comunicaciones móviles.

A. Procesos de estandarización

Las tecnologías de la información y comunicación en general y las comunicaciones móviles en particular, tienen un alto grado de incidencia en el crecimiento económico y la productividad, el terminal móvil es parte de nuestra

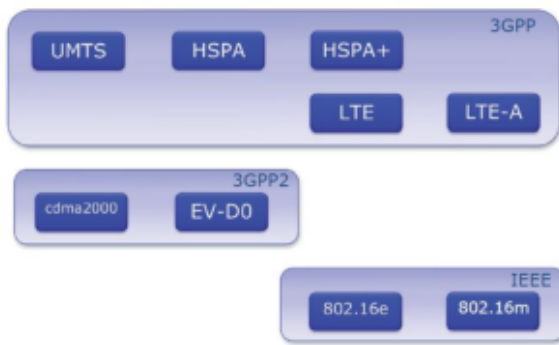


FIG. 1. Panorámica de sistemas móviles 3G/4G.

diaria existencia; es por ello que los distintos organismos y foros de estandarización adquieren un rol fundamental en el contexto de su desarrollo y difusión.

Los procesos de estandarización requieren de mucho tiempo y esfuerzo, parten de las especificaciones iniciales que debe cumplir el sistema, luego se define la arquitectura, se hacen las pruebas correspondientes hasta alcanzar un alto grado de madurez y estabilidad, todo esto en el marco de un proceso iterativo en el que cada vez añaden o eliminan nuevas especificaciones técnicas. Así es como surgió el nuevo estándar de comunicaciones móviles LTE (ya en su proceso maduro) y su correspondiente evolución hacia LTE-A.

B. LTE (Long Term Evolution)

Las especificaciones para LTE surgen del 3GPP, que nació en 1998. Los documentos del 3GPP se estructuran en Releases, cada una caracterizada por la incorporación de mejoras con respecto a la versión anterior. (Ver tabla I).

Así, la denominada R99 (diciembre de 1999) supuso el primer conjunto de especificaciones para UMTS, seguido tras la llamada R4, se completó en marzo de 2002 la R5 que incluye por ejemplo HSDPA, tres años más tarde se incluye HSUPA en R6, en la R7 (septiembre de 2007) se incluye HSPA+, mientras que LTE/SAE se asocian a R8 y posteriores. Para una referencia más completa de las diferentes versiones, referirse a la tabla 1, donde se indica el proceso evolutivo de la tecnología móvil en términos de estandarización [5].

C. Arquitecturas de implementaciones previas

Previo a realizar un análisis de la estructura técnica de LTE, es conveniente que se analice la arquitectura genérica adoptada por los sistemas 2G/3G definidos por 3GPP, lo que permite establecer de forma clara las mejoras que supone LTE con respecto a sistemas GSM y UMTS.

En la Fig. 2 se podrá analizar la arquitectura genérica de un sistema celular.

Como se puede apreciar en el esquema se cuenta con tres elementos básicos:

TABLA I

VERSIONES DEL PROYECTO 3GPP	
Release	Información
Ph 1	Características del Sistema GSM
Ph 2	Características del sistema GSM, Códec EFR
R96	Características del sistema GSM, 14.4 kbit/s de ancho de banda para el usuario
R97	Características del sistema GSM, Aparición del GPRS
R99	Aparición de la primera red de tercera generación UMTS, incorporando una interfaz de aire CDMA
Rel-4	Originalmente llamada Versión 2000 – añade características como una Red de núcleo all-IP
Rel-5	Introdujo el IMS y HSDPA
Rel-6	Operación integrada con Redes LAN Wireless LAN y añade HSUPA, MBMS, mejoras al IMS como Push to Talk over Cellular (PoC) y GAN
Rel-7	Esta versión se centró en rebajar la latencia, mejorar la Calidad de Servicio y el uso de aplicaciones en tiempo real como por ejemplo la Voz sobre IP VoIP. Esta versión también se centró en el desarrollo de la red HSPA+, una mejora en el ancho de banda de los sistemas GSM EDGE, el protocolo de alta velocidad SIM y el protocolo de comunicación sin contacto (Near Field Communication que permitió a los operadores ofrecer servicios como por ejemplo el pago a través del móvil)
Rel-8	Aparece la primera versión de red LTE así como la red All-IP (SAE). Aparecen también las nuevas interfaces de radio OFDMA, FDE y MIMO que no serán compatibles con las redes basadas en CDMA, encontramos una primera especificación del Dual-Cell HSDPA
Rel-9	Mejoras de la red SAE, aparición del WiMAX y compatibilidad entre redes LTE y UMTS. Se sigue con el desarrollo del Dual-Cell HSDPA con MIMO, y aparece el Dual-Cell HSUPA
Rel-10	Aparece el LTE avanzado LTE-Advanced cumpliendo los requisitos del IMT Advanced 4G. Esta nueva especificación será compatible con el LTE desarrollado en la versión 8. Aparece la tecnología Multe-Cell HSDPA (4 portadoras)
Rel-11	Interconexión IP de servicios avanzado, interconexión en la capa de servicio entre operadores nacionales y proveedores de aplicaciones
Rel-12	Fue completamente terminado en marzo de 2015, su prioridad fue el uso de la tecnología LTE para servicios de seguridad. Otra característica importante de este release incluye: celdas pequeñas y densificación de red.
Rel-13	(LTE-U) LTE sin licencia, mejoras LTE para comunicaciones de tipo máquina, posicionamiento en interiores.
Rel-14/15	Evolución a 5G

- El equipo de usuario que permite acceder a los servicios de red
- La red de acceso (celdas), parte del sistema responsable de sustentar la transmisión de radio con los equipos del usuario, permitiendo que éstos lleguen a la red troncal.
- La Red Troncal, es la parte del sistema que gestiona el acceso a la red celular, la movilidad de los usuarios y los mecanismos de interconexión con otras redes,

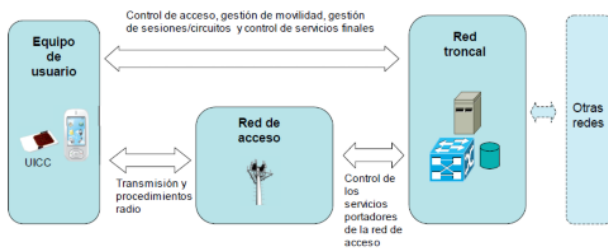


FIG. 2. Arquitectura genérica de un sistema celular.

tales como la PSTN u otras operadoras móviles. Está conformada por equipos que soportan funciones de conmutación de circuitos, encaminamientos de paquetes (routing), bases de datos, etc.

Esta arquitectura ha sido adoptada por las diferentes familias de sistemas celulares 2G y 3G, y también se mantiene en LTE.

En la Fig. 3, se describe con más de detalle la arquitectura general de los sistemas propuestos por el foro 3GPP.

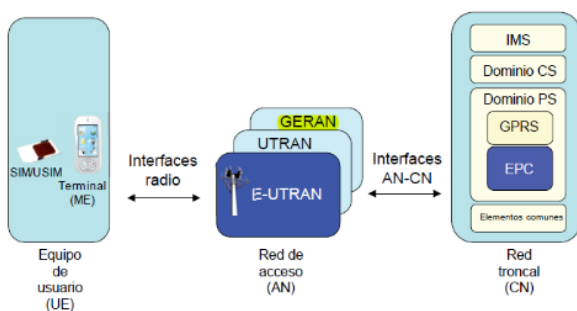


FIG. 3. Arquitectura general de los sistemas 3GPP.

Nótese como se mantiene el diseño arquitectónico genérico descrito, pero con ciertas separaciones lógicas en la red de acceso (Access Network, AN) y en la red troncal (Core Network, CN). Bajo esta arquitectura el equipo móvil se compone de dos partes: el propio dispositivo y una tarjeta UICC, denominada SIM en el caso de GSM o USIM para el caso de UMTS y LTE, y es la encargada de almacenar la información referente a la suscripción del usuario a los diferentes servicios proporcionados por la red.

En lo referente a la red de acceso (AN) 3GPP ha especificado tres tipos diferentes: GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRAN (Evolved-UTRAN). Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G/UMTS, mientras que E-UTRAN es la nueva red de acceso al sistema LTE. GERAN se le denomina eventualmente solo como GSM y utiliza un mecanismo de acceso al medio basado en TDMA, UTRAN utiliza WCDMA, y E-UTRAN apuesta por la tecnología OFDMA, la cual provee de una mayor eficiencia en el uso del espectro [6].

La red troncal o Core Network, por su parte, se subdivide en forma lógica en un dominio de circuitos (CS Domain), un dominio de paquetes (PS Domain) y el subsistema IP Multimedia (IP Multimedia Subsystem, IMS).

El dominio CS contempla todos los elementos del Core capaces de proveer servicios basados en conmutación de circuitos a través de canales dedicados, tales como servicios de voz y videoconferencia en UMTS. El dominio de circuitos puede ser accedido a través de GERAN y UTRAN, en contraste con el diseño E-UTRAN, que ya no contempla el acceso a CS, debido a que todos los servicios son provistos mediante el dominio PS.

El dominio PS, contiene todos los elementos del core encargados de proveer servicios basados en conmutación de paquetes de datos, proporcionando conectividad a cualquier tipo de red que soporte este mecanismo, tales como redes IP o X.25. Dentro de este dominio se pueden distinguir dos tipos de implementaciones: GPRS y EPC. GPRS, desarrollada inicialmente en el contexto de las redes GSM y que también forma parte de los sistemas UMTS. Los servicios provistos por GPRS son accesibles mediante GERAN y UTRAN. Por otro lado tenemos la segunda implementación denominada EPC, que ha sido desarrollada en el contexto del sistema LTE. EPC representa una evolución de GPRS con optimizaciones para proporcionar servicios de conectividad IP a los usuarios a través de E-UTRAN, además de proporcionar interoperabilidad, soportando acceso a sus servicios mediante las otras redes de la familia 3GPP, como GERAN y UTRAN, y más aún a través de redes no 3GPP como CDMA 2000 y Mobile Wimax.

En el core además existen una serie de elementos que implementan funciones asociadas a diferentes dominios, como la base de datos HSS (Home Subscriber Server) que contiene la información de los usuarios del sistema.

El subsistema IMS es otro componente de la red troncal, y comprende los elementos relacionados con la provisión de servicios IP multimedia basados en el protocolo SIP (Session Initiation Protocol). IMS utiliza como mecanismo de transporte los servicios de transferencia provistos por el dominio de conmutación de paquetes (PS), constituyéndose en una función de control que está independiente de las funciones de transporte de información, que están asignadas al dominio PS, cuya característica ha sido adoptada plenamente por LTE en concordancia con trabajos realizados por otros organismos de estandarización, orientado a las arquitecturas de los futuros sistemas de telecomunicaciones que estarán basadas netamente en conmutación de paquetes, a las que se ha denominado Next Generation Network (NGN) o redes de siguiente generación.

D. Arquitectura LTE

Basándose en la arquitectura de los sistemas 3GPP, en la Fig. 4, se muestra de manera simplificada la arquitectura de los sistemas LTE, denominada como Evolved Packet System (EPS).

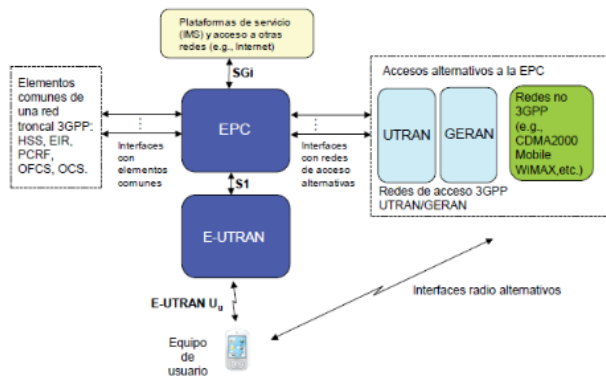


FIG. 4. Arquitectura de los sistemas LTE.

Los principales elementos o componentes de LTE son, por una parte, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes de la red troncal EPC, y por otra, se ve una evolución del subsistema IMS, diseñado en principio para sistemas UMTS. Estos elementos han sido diseñados de modo que puedan soportar todo tipo de servicios basados en conmutación de paquetes, por lo que no hace falta de ningún otro elemento que sea capaz de soportar servicios basados en conmutación de circuitos, ya que todos, incluidos aquellos servicios de tiempo real se proveen en base a la conmutación de paquetes, de modo que EPC puede ser visto como una evolución de GPRS.

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proveen en conjunto el servicio de encaminado de paquetes entre el móvil o terminal del usuario y otras redes externas como Internet. De este modo se pueden diferenciar dos componentes del sistema LTE: EPS (EPS Bearer Service) que provee el servicio de transferencia de paquetes entre el equipo móvil del usuario y las redes externas y E-UTRAN Radio Access Bearer (E-RAB) que hace referencia al servicio de transferencia de paquetes provisto por la propia red de acceso E-UTRAN.

En la figura 4 se pueden apreciar los diferentes tipos de interfaces que comunican los elementos del sistema LTE. La interfaz que une E-UTRAN y EPC se denomina S1 y proporciona los mecanismos para proveer acceso a los móviles a través de la red de acceso E-UTRAN. La interfaz de radio entre los dispositivos móviles y la E-UTRAN, se denomina E-UTRAN UU. Otra característica fundamental de LTE es que permite el acceso a sus servicios a través de GERAN y UTRAN (redes de acceso 3GPP), así como también mediante otras redes de acceso que no pertenecen a 3GPP, tales como CDMA 2000, Mobile Wimax y redes 802.11, proporcionando características de interoperabilidad al sistema, cuyas conexiones están soportadas por las interfaces de la EPC.

El núcleo del sistema LTE está basado en tecnologías IP, de modo que la infraestructura de una red LTE, aparte de los componentes propios que implementan las funcionalidades de 3GPP, integra otros componentes de las redes IP,

tales como routers, servidores DHCP, para la configuración automática de los equipos en la red y Servidores DNS para asociar los nombres de los equipos con sus respectivas direcciones IP.

E. Tecnologías de nivel físico en LTE

En esta sección se presentan las tecnologías de nivel físico que dan soporte al sistema LTE y que representan uno de los cambios más significativos que han permitido alcanzar mayores niveles de eficiencia en cuanto a la capacidad general del sistema, así como a la gestión de sus recursos.

En primer lugar se deberá mencionar los fundamentos de las técnicas de acceso múltiple OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) y SC-FDMA, que se emplean para el enlace descendente y ascendente respectivamente.

La técnica de transmisión OFDM constituye un mecanismo de transmisión multiportadora que consiste en multiplexar un conjunto de símbolos sobre un conjunto de subportadoras. Debido a que cada subportadora es ortogonal se puede transmitir en simultáneo todos los símbolos con la capacidad que el receptor pueda diferenciar entre frecuencias que no le corresponden. Si bien es cierto OFDM es una técnica conocida desde hace muchos años, su uso en las comunicaciones móviles en más reciente, debido a que implica un cierto grado de complejidad para la implementación de los transmisores y receptores, ya ha sido utilizado en implementaciones de redes de área local IEEE 802.11 y hoy constituye la base de la técnica de acceso múltiple OFDMA que es utilizada por los sistemas LTE.

Esta tecnología divide el ancho de banda en múltiples bandas de frecuencia equiespaciadas. Cada banda tiene una subportadora que transporta una porción de la información.

Cada una de estas subportadoras es ortogonal al resto, con lo que se consigue que, aunque estén traslapadas, como se observa en la Fig. 5, no exista interferencia entre ellas.

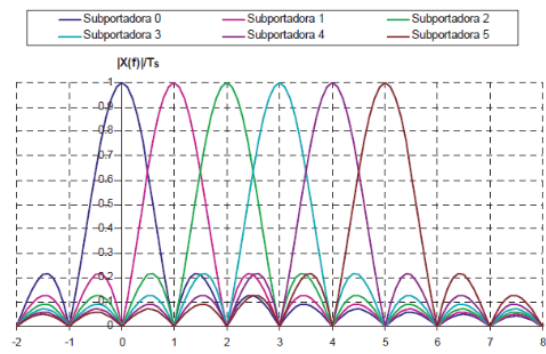


FIG. 5. Ejemplo del espectro correspondiente a seis subportadoras OFDM.

El flujo de datos se divide en N (el número de subportadoras asignadas) flujos paralelos que transmiten a una tasa N veces menor. De esta manera, se consigue transmitir a la misma velocidad, pero con flujos de información más lentos, lo que hace más improbable que se produzcan errores de transmisión. Cuando mayor es el número de

subportadoras del que dispone un usuario, mayor es la velocidad o la calidad de la transmisión.

El hecho de poder asignar fácilmente subportadoras a los usuarios, permite repartir el ancho de banda de manera óptima, consiguiendo una buena relación velocidad/calidad de transmisión global. Gracias al uso de OFDM en LTE se pueden alcanzar una tasa de transmisión de 300 Mbps en bajada y 75 Mbps en subida, pero no se llegó al límite de 1 Gbps que exige el estándar para cuarta generación.

Por otro lado se debe hablar acerca de la técnica SC-FDMA que LTE utiliza para acceso múltiple en el canal ascendente. Se trata de una técnica muy similar a OFDMA, pero se utiliza en el canal de subida porque permite realizar un uso más eficiente de la energía, reduciendo el consumo de potencia del terminal y consecuentemente incrementando la duración de la batería, algo que también se podría conseguir con OFDMA, mediante la aplicación de determinadas técnicas, pero a costa de un incremento en la complejidad computacional. Por este motivo, en el sistema LTE la técnica de acceso múltiple OFDMA se emplea solo en enlace descendente, ya que en la estación base no son tan críticos ni la eficiencia ni el costo de los amplificadores, no así del lado del enlace ascendente donde se ha optado por utilizar la técnica de acceso con portadora única SC-FDMA, por los motivos que ya fueron expuestos con anterioridad.

Finalmente en este análisis de tecnologías de nivel físico que soportan los sistemas LTE se debe mencionar las estructuras asociadas al uso de varias antenas, donde la diversidad en espacio es la primera estructura ampliamente usada en las comunicaciones móviles. La idea básica es que con el uso de diversas antenas receptoras MR se puede lograr una mejor recepción, logrando una señal combinada con un mayor nivel de potencia y de este modo recuperar la señal de información modulada en mejores condiciones con respecto al ruido. A esta estructura de antenas se le conoce como SIMO (Single Input Multiple Output).

La diversidad en espacio puede verse también desde el lado del transmisor, de modo que la señal es transmitida por un conjunto de antenas MT. Esta estrategia conduce a un esquema MISO (Multiple Input Single Output).

Una nueva estrategia derivada de explotar la presencia de múltiples MT, antenas de transmisión, y MR, antenas de recepción, surge con el concepto de MIMO (Multiple Input Multiple Output), cuya diferencia conceptual con respecto a las estrategias anteriores radica en el hecho de que con MIMO se pretende explotar la variación espacial del canal móvil creando N caminos de transmisión paralelos y desacoplados entre el emisor y el receptor (pudiendo enviar información diferente por cada camino), lo cual se conoce con el nombre de multiplexado espacial, y es la implementación utilizada por los sistemas LTE.

La principal ventaja de utilizar MIMO es que aumenta el rendimiento y la fiabilidad sin necesidad de incrementar el ancho de banda o la potencia de transmisión.

F. LTE Advanced

El estándar LTE-Advanced es la sucesión cronológica que supone las mejoras técnicas para la especificación LTE.

LTE-Advanced está especificado en el Release-10 del 3GPP (véase tabla I), y responde a la evolución de un conjunto de especificaciones que van más allá de IMT-2000, conocido como IMT-Advanced y referido como 4G.

Las especificaciones para LTE-Advanced entre otras se pueden resumir de la siguiente manera [7]:

- Soporte de velocidades pico de hasta 1 Gbps en downlink y 500 Mbps en uplink.
- Agregación de banda hasta 100 MHz, por ejemplo a partir de agregar múltiples componentes de 20 MHz para poder alcanzar un ancho de banda de 100 MHz y así proporcionar las velocidades de transmisión más elevadas previstas en los requerimientos.
- Extensión de soluciones multi-antena, con hasta 8 niveles en el downlink y 4 niveles en el uplink, para así incrementar las velocidades de transmisión alcanzables sobre el enlace.
- Coordinated multipoint transmission and reception (CoMP), que permite mejorar las prestaciones observables en el extremo de la célula a través de efectuar la transmisión/recepción desde distintas células. CoMP es un término relativamente general, que incluye diferentes tipos de coordinación (packet scheduling, beamforming, etc.) entre transceptores separados geográficamente.
- Repetidores, como mecanismo para mejorar la cobertura y reducir el coste de despliegue.

El análisis expuesto denota una tendencia progresiva hacia una mejora constante en términos de tecnología que se traducen en más y mejores servicios de comunicación. No queda sino estar pendientes a las próximas implementaciones que se den en giro a esta convergencia generacional de móviles, ya que implican la implementación de servicios hasta ahora no disponibles como video y tv en alta definición, juegos en línea y toda la gama de servicios que puede ofrecer la multimedia, además de servicios propios de las redes de conmutación de paquetes como Voz sobre IP; quedamos a la expectativa del advenimiento de la quinta generación (5G), que de seguro, vendrá llena de sorpresas y mejores experiencias para sus usuarios.

IV. CONCLUSIONES

Las comunicaciones móviles han marcado un hito en la historia de la humanidad proveyendo en un principio la comodidad que conlleva el poder comunicarse con otras personas a través de dispositivos inalámbricos de gran cobertura.

La naturaleza humana nos obliga a superar nuestros propios logros, y lo que para una determinada época representa un maravilloso descubrimiento, en poco tiempo se convierte en algo obsoleto que pocos quieren usar.

Eso es precisamente lo que ha ocurrido con las comunicaciones móviles y ese afán de cambio y de superación

del hombre ha permitido que un período de tiempo relativamente corto (poco más de dos décadas) hayamos sido testigos de esta transformación tecnológica en torno a un campo de la ciencia que no para de crecer cada día.

Los servicios que se ofrecen al usuario a través de las redes móviles son cada vez más diversos, pero éstos demandan mayores recursos para que puedan ser soportados.

El consumismo que caracteriza las actuales sociedades es el motor que impulsa estos cambios tecnológicos tan acelerados en respuesta a mercados cada vez más exigentes en términos de velocidad, contenidos y modelos tecnológicos de vanguardia.

Existe un exagerado nivel de obsolescencia tecnológica que un principio podrían parecer signos de avance y superación, pero quizá por detrás conlleva un serio problema social, donde las masas nos vemos cautivadas por agresivas campañas de mercadeo por parte de las grandes compañías, que nos obliga a siempre querer contar con el último modelo, el más rápido, con acceso ininterrumpido; pero ¿hasta qué punto, esto ha sido realmente necesario?

REFERENCIAS

- [1] E. Martínez, "La evolución de la telefonía móvil," *artículo publicado en la revista RED*, 2001.
- [2] B. A. Series, "Mobile network evolution: a revolution on the move," *IEEE Communications magazine*, p. 104, 2002.
- [3] 3GPP, "GPRS & EDGE." <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/102-gprs-edge>, 2016. [Online; accessed 06-Abril-2016].
- [4] R. Rodríguez, M. O. Rodríguez Gámez, M. R. Hernández Perdomo, L. L. Torno Hidalgo, L. L. García Escalona, *et al.*, "Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas.," *Ciencias Holguín*, vol. 11, no. 1, 2010.
- [5] 3GPP, "3GPP & RELEASES." <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>, 2016. [Online; accessed 26-Mayo-2016].
- [6] C. Serra, "Arquitectura general del sistema lte," *artículo publicado en la revista Telemática*, 2013.
- [7] R. Agusti Comes, F. Bernardo Alvarez, F.-j. Casadevall Palacio, R. A. Ferrus Ferre, J. Perez Romero, and J. O. Sallent Roig, "Lte: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles," 2010.

Recibido: 16 de enero de 2017

Aceptado: 09 de marzo de 2017

Jhovany Santacruz: Magíster en Redes de Comunicaciones. Catedrático y Subdirector de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica de Cuenca, Extensión Cañar. Consultor informático en proyectos de desarrollo de software.

Rafael García: Magíster en Educación. Catedrático Universitario. Subdirector de Investigación y Publicaciones de la Universidad Católica de Cuenca. Correo electrónico: regarciaa@ucacue.edu.ec

Implementación del software de Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación en la Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica

Implementation of the software of Automation of Libraries and Documentation Centers in the Academic Unit of Systems Engineering, Electrical and Electronics

Milton Alfredo Campoverde Molina*, Jenny Karina Vizñay Durán y Silvia Eulalia Vintimilla Jara

Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)

Cuenca, Ecuador

*mcampoverde@ucacue.edu.ec

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo la implementación del software de Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación (ABCD) en la biblioteca de la Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica de la Universidad Católica de Cuenca, permitiendo unificar y gestionar la información bibliográfica en un solo repositorio digital de modo que los usuarios accedan a la misma a través del internet, para lo cual se crearon los módulos de: catalogación, administración, adquisición y préstamos, también las hojas de entrada para el ingreso de tesis, monografías y trabajos de investigación; luego de la implementación se aplica una encuesta a un grupo objetivo de 15 estudiantes y 5 profesores la misma que da como resultado que el 46,67 % de la colección de libros básicos de la carrera es buena, el 33,33 % es muy buena y los servicios de consultas online, préstamos, referencias electrónicas y búsquedas se cumple con el sistema en un 84 % y un 16 % no se cumple de acuerdo a los datos de los encuestados.

Palabras clave: ABCD, Bibliotecas, Centros de Documentación, Software.

Abstract

The aim of this research is to implement the Automation Software for Libraries and Documentation Centers (ABCD) in the library of the Academic Unit of Systems, Electrical and Electronics Engineering of Catholic University of Cuenca, allowing to unify and manage the bibliographic information in a single digital repository so that users can access it through the internet. For this purpose the following modules were created: cataloging, administration, acquisition and loans, as well as the entry sheets for submitting thesis, monographs and research work; After the implementation, a survey is applied to a target group of 15 students and 5 teachers which shows as result that 46.67% of the basic books' collection of the career is good, 33.33% is very good and that the online consultation services, loans, electronic references and searches are met by the system in 84% while 16% is not met according to the respondents' data.

Key words: ABCD, Libraries, Documentation Centers, Software.

I. INTRODUCCIÓN

LA misión de los centros bibliotecarios ha sido coleccionar y organizar materiales para facilitar el uso por parte de sus usuarios. Cuando la información estaba disponible únicamente en formato papel y se necesitaban grandes áreas físicas para almacenarla, contar con profesionales experimentados en la clasificación y organización de las colecciones era una necesidad obvia [1]. El auge de la Sociedad de la Información, ha dado lugar a la incorporación progresiva de los profesionales de la información y la documentación en los nuevos ámbitos de tratamiento, gestión y difusión

de información digital. Con ellos, han surgido herramientas informáticas de desarrollo libre y gratuito que gestionan de manera eficaz los contenidos digitales [2].

En su cumplimiento, las bibliotecas universitarias han transitado desde su forma más tradicional hasta mostrar grandes colecciones en versión digital [3]. Todos los logros actuales en materia de automatización no son sino fruto de un proceso largo y costoso que comenzó allá por los años 60, encabezado por la LC de EEUU, cuyo informe de 1963 sentó las bases para el nacimiento del formato MARC. En los años 70, con la aparición de los microprocesadores, la

automatización se dirigió fundamentalmente a los catálogos, lo que fomentó el desarrollo de iniciativas cooperativas y denotó la necesidad de unificar criterios normativos. En los años 80, aparecieron los OPAC y los primeros Sistemas Integrados, como Dobis/Libis, Aleph o SABINI. Desde los años 90 en adelante, la madurez ha ido llegando en forma de avances tecnológicos, estándares e innovaciones varias, observadas, por ejemplo, en los Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), relacionales o documentales, en los grandes Sistemas Integrados de Gestión Bibliotecaria, que han extendido la automatización a tareas bibliotecarias clave, y, sobre todo, en Internet y la WWW, cuya evolución ha permitido progresos y posibilidades antes impensables [4].

La situación de las bibliotecas del futuro vendrá determinada por varios factores, los cambios de paradigma en las arquitecturas tecnológicas y del entorno jurídico y empresarial en materia de propiedad intelectual y derechos de autor. El progreso de las bibliotecas también dependerá de la situación económica y de su acceso a los recursos necesarios, incluyendo las infraestructuras de red e informáticas, disponibilidad de internet de banda ancha, así como del grado de interés y capacidad de los usuarios para aprovechar los servicios informáticos y de la Web, ... y muchos otros factores [5].

En la actualidad las bibliotecas, especialmente aquellas que trabajan en áreas especializadas – universitarias y de investigación – tienen un reto importante ante sí para poder desarrollar sus potencialidades como verdaderos centros de apoyo a la investigación, que proporcionan servicios documentales a la medida de las necesidades de sus usuarios [6]. Sabiendo que las funciones prioritarias de la biblioteca universitaria son: *servir de apoyo a la formación, la investigación y la docencia* [7]. Lo que motiva, implementar un sistema de automatización de bibliotecas que posea un conjunto de módulos que abarcan las actividades bibliotecarias más importantes, los cuales están relacionadas entre sí, ya que comparten una misma base de datos, aunque dichos módulos tienen funciones distintas están unificados para facilitar su control, y de ésta manera ayudar a mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos, servicios y de la gestión general de la biblioteca [8].

Los servicios deben estar enfocados en los planes y programas académicos de cada institución, promover y facilitar el uso de la información, sin importar su soporte, y procurar que llegue a todos sus usuarios, sin olvidar que, además, deben apoyar la misión, la visión y las metas de la institución. Estos servicios incluyen: asesoramiento, asistencia personalizada y consulta o referencia, horario, atención a usuarios y otros [9].

En las universidades británicas de Bath, Bradford, East London, Glamorgan, Hertfordshire, Leeds Metropolitan, London Guildhall, Luton y Sheffield Hallam, han fundado en los últimos años centros de recursos para el aprendizaje que responden a una estructura que integra servicios y recursos bibliotecarios, tecnológicos y audiovisuales; sis-

temas de información; e instalaciones y medios para la edición electrónica y la creación de materiales interactivos, a fin de dar el debido soporte a las necesidades docentes y de aprendizaje de la comunidad universitaria [10].

La Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador (LOES) [11], Título VII, Capítulo II, Sección Tercera, en el Art. 143 manifiesta que, las instituciones de educación superior públicas y particulares desarrollarán e integrarán sistemas interconectados de bibliotecas a fin de promover el acceso igualitario a los acervos existentes, y facilitar préstamos e intercambios bibliográficos. Participarán en bibliotecas digitales y sistemas de archivo en línea de publicaciones académicas a nivel mundial. Asimismo en el Art. 144 que, todas las instituciones de educación superior estarán obligadas a entregar las tesis que se elaboren para la obtención de títulos académicos de grado y posgrado en formato digital para ser integradas al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

La Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica de la Universidad Católica de Cuenca oferta las carreras de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Eléctrica, la misma que dispone de una biblioteca común en cuanto al espacio físico, sin embargo el material bibliográfico se administra en forma independiente. La problemática detectada en la biblioteca se debe a que los procesos inherentes a la misma se realizan en dos ambientes diferentes; por un lado el software PMB (PhpMyBibli) permite realizar el ingreso de nuevos libros a inventario, préstamos, devoluciones, reservas y reportes; en cambio las tesis, monografías y trabajos de investigación se encuentran en un repositorio DSpace; evidenciando claramente que la información de la biblioteca no se encuentra centralizada en un mismo repositorio digital.

El objetivo de esta investigación es implementar el software de Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación (ABCD), en la Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica de la Universidad Católica de Cuenca, que integre la información bibliográfica en un solo repositorio digital.

II. MARCO TEÓRICO

ABCD es un software de gestión integrado de bibliotecas basado en la web que comprende las principales funciones básicas de la biblioteca. Este tipo de aplicación de biblioteca es una aspiración largamente sostenida de la comunidad ISIS, ya que la primera versión de MS-DOS salió hace más de 20 años. Varios sistemas de automatización de bibliotecas se han desarrollado durante este período y se encuentran todavía en funcionamiento en todo el mundo. BIRME EMP anterior sistema estaba limitado a los servicios de circulación. Las principales características de ABCD son la cobertura de las principales funciones de la biblioteca, su centralidad web y su desarrollo y mantenimiento, mediante la metodología de Free y Open Source Software [12].

Este sistema se distribuye con bases de datos MARC 21, CEPAL o LILACS, permitiendo el uso de cualquier formato de catalogación permitiendo migrar bases de datos desde WinIsis y/o Excel. El ABCD apunta a proporcionar a la comunidad de usuarios de la familia ISIS, un Sistema integrado para bibliotecas, incluso este software permite las exigencias de las bibliotecas universitarias, otras de las bondades del software es que corre en diferentes navegadores: IE, FF, Ópera, Chrome, Safari, etc. Y en cualquier PC con Windows o UNIX/Linux [13].

BIREME, expresa que ABCD tiene la capacidad de diseñar y adaptarse a cualquier estructura, sin restringir funcionalidades avanzadas, abriendo las puertas al manejo integrado de catálogos de bibliotecas, archivos y museos, así como a bibliotecas virtuales; en realidad este software es aplicable a cualquier tipo de bibliotecas y centros de documentación, que trabajen o no con ISIS, ya que integran todas las aplicaciones necesarias para la automatización online de su trabajo, sin tener que modificar sus bases actuales, sólo se tendría que migrarlas a ABCD [13].

El módulo “central” de ABCD [12] comprende módulos para administración de bases de datos (creación de bases de datos, edición de estructuras de bases de datos, utilitarios para bases de datos) catalogación, adquisición, circulación/préstamos y estadísticas. Se está preparando un módulo de gestión de tesauros como parte del módulo de catalogación para una base de datos específica con estructura de tesoro, y con control de consistencia de los niveles jerárquicos. Como parte de este “módulo central” también deseamos mencionar los servicios de importación y exportación, impresión, y herramientas de bases de datos, como bloquear/desbloquear y cambios globales a los campos de los registros; el módulo de préstamos se denomina “básico” ya que está completamente integrado con los otros módulos centrales de ABCD, utilizando la misma tecnología: bases de datos ISIS, ISIS Script y PHP. En cuanto a su funcionalidad sin embargo, difícilmente se podría llamar “básico”: este módulo toma como punto de partida los objetos creados por el módulo de adquisiciones en la base de datos “copia”, para aplicar las normas en todo tipo de “operaciones” sobre ellos: la entrega a un usuario, la devolución, la reserva, renovación de préstamos. Se pueden definir normas para todo tipo de operaciones y se aplicarán de acuerdo a la categoría de objeto en combinación con la categoría de usuario. Las categorías para los objetos y para los usuarios se pueden definir “ad libitum” con un número especificado de objetos, horas / días (teniendo en cuenta un calendario específico para la biblioteca), multas y condiciones de renovación para cada combinación objeto/usuario. El menú principal de este módulo de préstamos tiene tres secciones:

- 1) *Transacciones*: aquí se tratan las transacciones reales de préstamos (préstamo de un libro a un usuario, la devolución, reservas).
- 2) *Bases de datos*: aquí se pueden acceder y gestionar las bases de datos en la que el sistema de préstamos se

basa: los prestatarios o los usuarios, las transacciones, las reservas y las multas.

- 3) *Configuración del sistema de préstamos*: aquí se pueden definir las “reglas” para las combinaciones de tipos de objetos con las categorías de usuarios y calendarios, moneda, etc.

Asimismo, el módulo de adquisiciones [12] trata de la administración de objetos recientemente adquiridos, y funciones de pre-catalogación. Los objetos pre-catalogados pueden ser almacenados como objetos para el módulo de préstamos, después de adquiridos. De esto se trata la “integración” en ABCD. El módulo de adquisición tiene las siguientes funciones lógicas:

- 1) *Sugerencias*: el proceso inicial de obtener objetos.
- 2) *Órdenes de compra*: la adquisición real de objetos.
- 3) *Bases de datos*: gestión de las 4 bases de datos relacionadas con la adquisición (sugerencias, proveedores, pedidos y copias).
- 4) *Administración*: configuración, estadísticas e informes, expurgo (objetos descartados).

III. MATERIALES Y/O MÉTODOS

A. Análisis Situacional

Esta investigación inicia con la formulación de una encuesta para determinar las necesidades y servicios que ofrece la biblioteca en función de 5 criterios:

- 1) Datos personales.
- 2) Catalogación de los libros en la biblioteca.
- 3) Infraestructura.
- 4) Servicios de la biblioteca.
- 5) Atención en la biblioteca.

Luego se realizó la aplicación de la encuesta a 50 docentes y 249 estudiantes de las carreras de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca, en base a los criterios evaluados se presenta los resultados obtenidos de la tabulación de los datos de la encuesta de los criterios 2, 3 y 4, que se toma como referencia para esta investigación:

1. Catalogación: ¿Cómo es la colección de libros básicos en la carrera, existente en biblioteca?

Los resultados se pueden observar en la Tabla I y II:

TABLA I
COLECCIÓN DE LIBROS BÁSICOS EN LA CARRERA (DOCENTES).

	Frecuencia	Porcentaje
Muy Mala	19	38,0 %
Mala	8	16,0 %
Regular	15	30,0 %
Buena	8	16,0 %
Muy Buena	0,0	0,0 %
Total	50	100,0 %

TABLA II
COLECCIÓN DE LIBROS BÁSICOS EN LA CARRERA (ESTUDIANTES).

	Frecuencia	Porcentaje
Muy Mala	13	5,2 %
Mala	58	23,3 %
Regular	108	43,4 %
Buena	55	22,1 %
Muy Buena	15	6,0 %
Total	249	100,0 %

Según los resultados obtenidos de los docentes se determina que un 38,0% de la colección de libros básicos en la carrera es muy mala y el 30,0% es regular en cambio los estudiantes establecen que el 43,4% es regular y el 23,3% es mala; tomando como referencia sólo los dos porcentajes más altos de los resultados en ambos casos.

Realizando una correlación de los datos de la encuesta aplicada a estudiantes y docentes se determina que el 41,14% de la colección de libros básicos en la carrera es Regular, el 22,07% es Mala, el 21,07% es Buena, el 10,70% es Muy Mala y el 5,02% es Muy Buena.

2. *Catalogación: ¿Cómo es la colección de libros básicos en la Biblioteca?*

Los resultados se pueden observar en la Tabla III y IV:

TABLA III
COLECCIÓN DE LIBROS BÁSICOS EN LA BIBLIOTECA (DOCENTES).

	Frec.	Porcent.
Colección Obsoleta (Antigua)	25	50,0 %
Número de copias insuficientes	20	40,0 %
Títulos inexistentes	5	10,0 %
Total:	50	100,0 %

TABLA IV
COLECCIÓN DE LIBROS BÁSICOS EN LA BIBLIOTECA (ESTUDIANTES).

	Frec.	Porcent.
Colección Obsoleta (Antigua)	90	29,8 %
Número de copias insuficientes	146	48,3 %
Títulos inexistentes	66	21,9 %
Total:	302	100,0 %

Con respecto a cómo es la colección de libros básicos en la biblioteca, los docentes determinan que un 50,0% de la colección es Obsoleta (Antigua) y el 40,0% que el número de copias son insuficientes en cambio los estudiantes establecen que el 48,3% el número de copias son insuficientes y el 28,9% que la colección es Obsoleta (Antigua); asimismo, tomando como referencia sólo los dos porcentajes más altos de los resultados en ambos casos.

Realizando una correlación de los datos de la encuesta aplicada a estudiantes y docentes se determina que el

29,80% de la colección es Obsoleta (Antigua), el 48,34% que el número de copias son insuficientes y el 21,85% que hay títulos inexistentes en biblioteca.

3. *Infraestructura: El equipamiento tecnológico en la Biblioteca es:*

Los resultados obtenidos se puede observar en las Figuras 1 y 2:

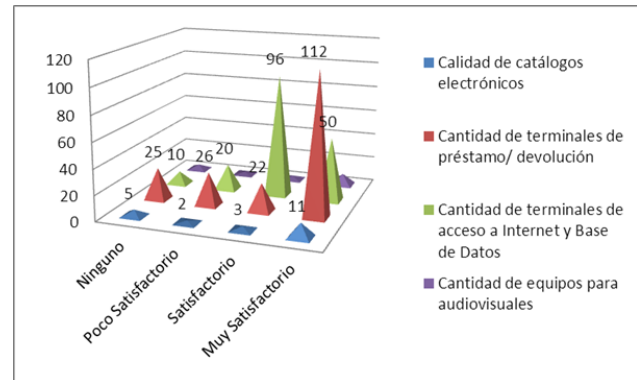


FIG. 1. El equipamiento tecnológico en la Biblioteca (docentes).

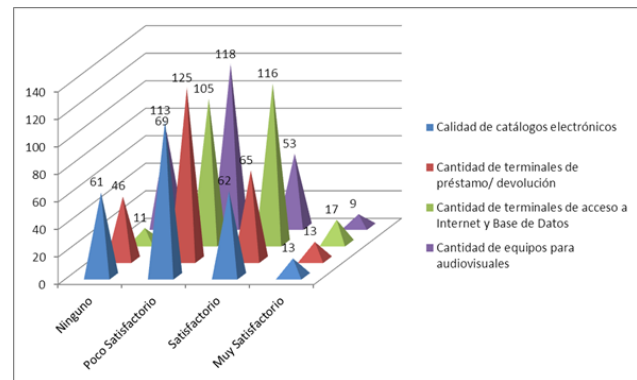


FIG. 2. El equipamiento tecnológico en la Biblioteca (estudiantes).

En cuanto al equipamiento tecnológico en la Biblioteca, los docentes determinan que es *Muy Satisfactorio* y en cambio los estudiantes establecen que es *Poco Satisfactorio*.

4. *Servicios: ¿Cuáles de los siguientes servicios existen en la biblioteca?*

Los resultados obtenidos se puede observar en las Figuras 3 y 4:

Los estudiantes determinan que el 49% de estos servicios NO se cumplen en la biblioteca como se ve en la Figura 3 y el 51% que estos servicios SI se cumplen, en cambio los docentes determinan que el 41% de estos servicios NO se cumplen en la biblioteca como se ve en la Figura 4 y el 59% que estos servicios SI se cumplen.

Realizando una correlación de los datos de la encuesta aplicada a estudiantes y docentes se determina que el 45%

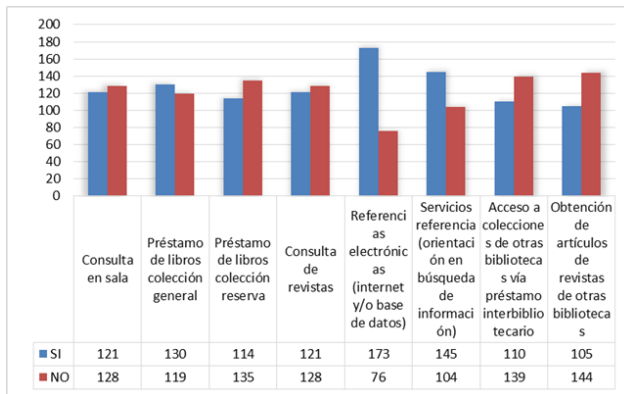


FIG. 3. Servicios que ofrece la Biblioteca (estudiantes).

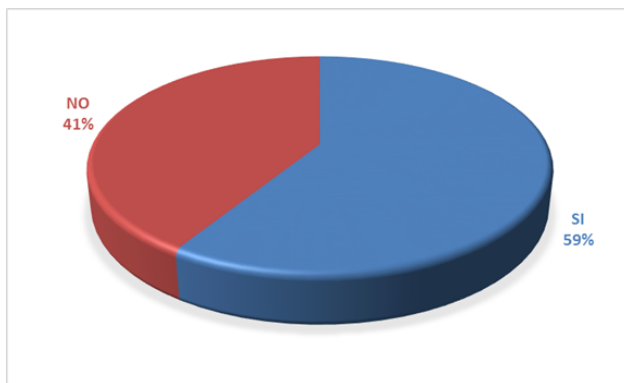


FIG. 4. Servicios que ofrece la Biblioteca (docentes).

de estos servicios NO se cumplen en la biblioteca y el 55 % SI se cumplen en la biblioteca.

B. Instalación y configuración del Software ABCD

Para la implementación de este software se realizó la instalación de un Servidor con Windows 2008 Server, el mismo que cuenta con las características recomendadas de hardware:

- 1) Procesador de 2GHZ por lo menos.
- 2) Memoria RAM por lo menos de 2GB.
- 3) Espacio en disco duro 100 Gb o más.
- 4) Monitor VGA con resolución de 800 x 6000 o superior.

Posteriormente se instalaron los requerimientos de software para la configuración del ABCD.

Windows o Linux [14]:

- 1) Apache 2.2.x.
- 2) PHP 5.2.x.
- 3) YAZ.
- 4) Mysql 5.1 o superior (solamente para EmpWeb).
- 5) Java 1.5 (solamente para EmpWeb).

La descarga del software se puede realizar de la siguiente URL http://wiki.bireme.org/es/index.php/ABCD_Recursos/

Para la instalación hay disponibles dos tipos de paquetes: Instalación asistida (Wizard), o no asistida (.zip) en esta instalación se utilizó la no asistida.

Luego de haber descargado el Software ABCD se descomprime la carpeta y pega en la unidad C del computador, posteriormente se ingresa dentro de la carpeta llamada ABCD y da doble clic en *ABCD_start* para que se visualice la página de inicio del ABCD en el navegador como se observa en la Figura 5.

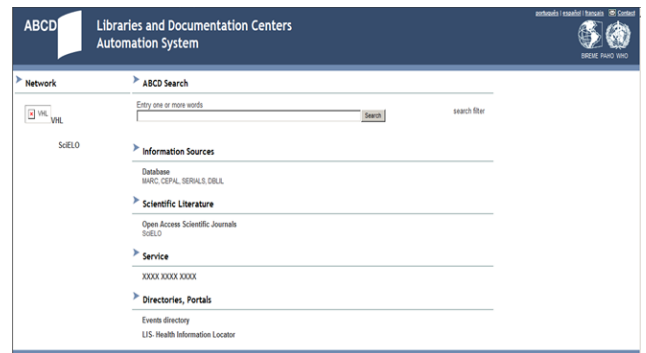


FIG. 5. Página de inicio de ABCD.

Para ingresar al ABCD en el navegador se coloca <http://localhost:9090/>, y luego en el texto de usuario se digita *abcd* y en la contraseña *adm* como se visualiza en la Figura 6.

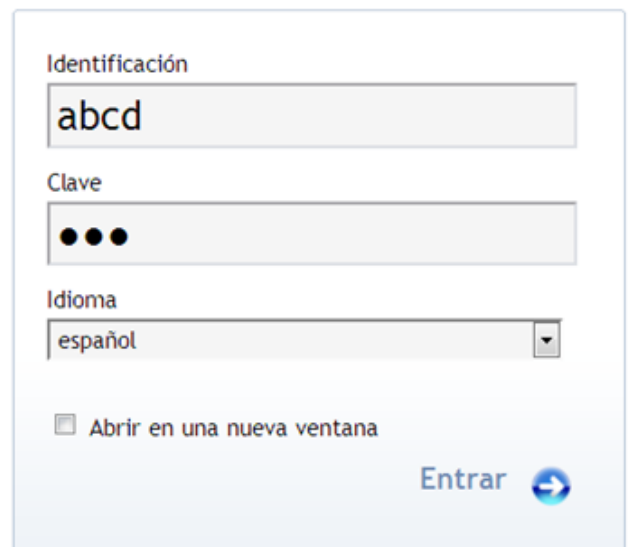


FIG. 6. Inicio de Sesión ABCD.

EL ABCD consta de varios módulos que conforman las diferentes tareas administrativas del bibliotecario, estos módulos son relativamente independientes [15].

- Gestión de bases de datos, creación y modificación de la estructura.
- Administración de usuarios.

- Generación de formularios de búsquedas.
- Estadísticas.
- Servidores de catalogación Z39.50.
- Utilitarios.
- Configuraciones.
- Gestión de adquisiciones.
- Gestión de préstamos/circulación.

C. Implementación del Módulo de Catalogación

1. Hojas de Entrada

ABCD permite la creación de diferentes hojas de entrada dependiendo de las necesidades bibliográficas de los centros de documentación en el caso de la biblioteca de las carreras de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Eléctrica se diseñaron las hojas de entrada: Monográfica, Analítica de Monográfica, Colección, Monográfica de Colección, Publicación Seriada, Analítica de Seriada y Tesis con sus respectivos campos y secuencia de los mismos para el llenado de los registros.

La creación de las hojas de entrada se realizó seleccionando la base de datos *Formato CEPAL* y a continuación clic en *Actualizar definición de base de datos* como se observa en la Figura 7.

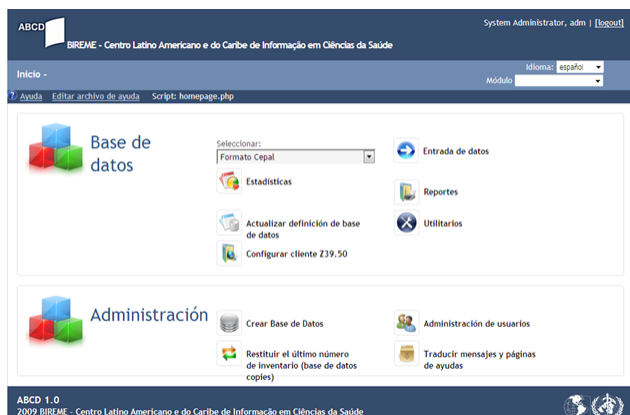


FIG. 7. Creación de las Hojas de Entrada.

En la siguiente ventana se da clic sobre hoja de entrada y a continuación se selecciona la hoja de entrada a ser creada, la misma que puede ser de cualquiera de los siguientes tipos:

- 1) Monográfica.
- 2) Analítica de monográfica.
- 3) Colección.
- 4) Monográfica de colección.
- 5) Publicación seriada.
- 6) Analítica de seriada.
- 7) Tesis.
- 8) Tabla de contenido.

En esta misma ventana se encuentran todos los campos declarados en nuestra FDT (base de datos CEPAL), dependiendo de la hoja de entrada se debe seleccionar los campos

del cuadro izquierdo y agregar al cuadro derecho, cuando ya se hayan definido todos los campos se debe dar un nombre y descripción a la hoja de entrada y guardar como se observa en la Figura 8.

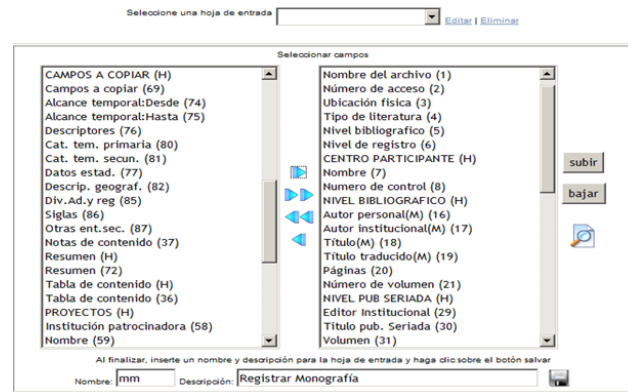


FIG. 8. Definición de los campos en las Hojas de Entrada.

Luego se ingresa dentro de tipo de registro y coloca el nombre de la hoja de entrada con su respectiva etiqueta y tipo de registro, y posteriormente se da clic sobre el botón actualizar y con esto se visualiza las hojas de entrada como se ve en la Figura 9:

Identifique los tag(s) de la base de datos donde se almacena el tipo de registro. Luego, seleccione una hoja de entrada ya existente y asigne los valores de Tag1 y Tag2 que corresponden a ese tipo de registro, y el nombre del tipo de registro.

Etiqueta 1: Etiqueta 2:

Hoja de entrada de datos (FMT)	Etiqueta 1 Valor	Etiqueta 2 Valor	Tipo de registros Descripción
Registrar Monografía (mm)	M	m	Registrar Monografía
Registrar Monografía Analítica (ma)	M	a	Registrar Analítica Monografía
Publicación Seriada (ss)	S	s	Registrar Publicación Seriada
Publicación Seriada Analítica (sa)	S	a	Registrar Analítica de Seriada
Registrar Tesis (tm)	T	m	Registrar Tesis
Registrar Colección (cc)	C	c	Registrar Colección
Registro de Monografía de Colección (mc)	M	c	Registrar Monografía Colección
Registro General (General)	M		Registro General

FIG. 9. Hojas de Entrada Creadas.

2. Entrada de datos

Esta opción permite el ingreso de nuevos registros, su edición o eliminación de los mismos a través de cada una de las hojas de entrada a la base de datos, para su ingreso se selecciona *Formato CEPAL* y a continuación se da clic en *Entrada de Datos*.

En esta etapa se realizó el ingreso de la información de las tesis, monografías y trabajos de investigación a través de sus hojas de entrada al sistema.

3. Utilitarios

En esta opción ABCD ofrece algunas operaciones de administración de la bases de datos, en este proyecto se utilizaron las siguientes [12]:

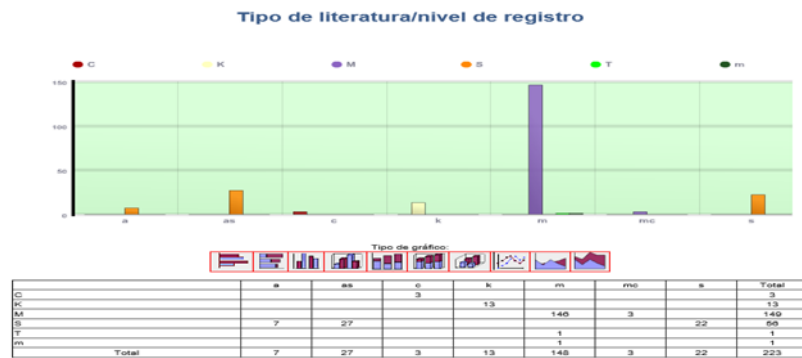


FIG. 10. Estadística Animada.

- *Inicializar base de datos:* significa eliminar todos los registros en la base de datos pero sin modificar su estructura.
- *Eliminar base de datos:* significa borrar totalmente la base de datos con todos los archivos y las carpetas correspondientes en la carpeta de ABCD /bases.
- *Bloquear base de datos:* significa evitar que otros usuarios hagan cambios en los registros (ingreso de datos).
- *Desbloquear base de datos:* desde luego significa ponerla a disposición nuevamente para otros usuarios.

Para ingresar a esta opción se selecciona *Formato CEPAL* y a continuación se da clic en *Utilitarios*.

La administración de la base de datos durante todo el proceso estuvo a cargo del usuario administrador.

4. Estadísticas

En esta opción al igual que las anteriores se ingresa seleccionando *Formato CEPAL* y a continuación al dar clic sobre *Estadísticas* se puede realizar las siguientes funciones:

- Usar una tabla existente.
- Crear una tabla.
- Generar salida.
- Configuración de las estadísticas.

Se crearon tablas que generen estadísticas de los préstamos, devoluciones, ingreso de los estudiantes al sistema, adquisiciones, órdenes de compra y en otros casos se utilizaron tablas existentes para sacar estadísticas de cada una de las mismas como se observa en la Figura 10:

5. Reportes

Se pueden generar reportes de rangos, por expresión de búsqueda, clave de ordenamiento utilizando las siguientes opciones:

- Usar un formato existente.
- Crear un formato (seleccione los campos que desea reportar).
- Generar salida.
- Guardar formato.

El formato de salida de los reportes incluye: procesador de texto, procesador de hojas de cálculo, vista previa y txt.

Además se pueden guardar los formatos de salida cuando se requiere sacar el mismo reporte de forma constante.

6. Búsquedas

Formulario de búsqueda avanzada: Es útil en el módulo de catalogación, tiene el propósito de que el bibliotecario realice una búsqueda eficiente y rápida de un registro.

Cabe mencionar que las búsquedas se pueden configurar de acuerdo a las necesidades del bibliotecario.

D. Implementación del Módulo de Administración

1. Crear Base de Datos

La creación de una Base de Datos en ABCD se puede observar en la Figura 11:

FIG. 11. Creación de una Base de Datos en ABCD.

El software ABCD ya tiene creadas las bases de datos para proveedores, adquisiciones, préstamos y órdenes de compra.

2. Administrar Usuarios

Esta ventana permite administrar los usuarios del sistema y crear/editar perfiles.

Los perfiles de usuario con los cuales cuenta ABCD son los siguientes:

- 1) *Administrador del Sistema:* el único perfil que permite crear nuevas bases de datos y administrar las cuentas de usuarios.

- 2) *Administrador de Base de Datos*: este perfil permite hacer cambios en la estructura de las bases de datos y registros.
- 3) *Operador de Base de Datos*: este perfil permite editar los registros de la base de datos (catalogador).
- 4) *Administrador de adquisiciones*: este perfil permite usar las funciones de adquisiciones de ABCD, no se pueden hacer cambios a las bases de datos.
- 5) *Operador de adquisiciones*: este perfil permite editar los registros de adquisiciones en la base de datos (catalogador).
- 6) *Administrador de préstamos*: este perfil permite usar las funciones de préstamo de ABCD, no se pueden hacer cambios a las bases de datos.
- 7) *Operador de préstamos*: este perfil permite editar los registros de préstamos en la base de datos (catalogador).

También a cada uno de estos perfiles se puede personalizar su funcionamiento quitando o agregando funciones de acuerdo a las necesidades o requerimientos de seguridad, además se pueden crear nuevos perfiles.

En la Figura 12 se puede observar los campos a rellenar para crear un usuario:

The form contains the following fields and options:

- 10 Nombre del usuario
- 20 Usuario
- 30 Clave
- Confirm password
- 40 Perfil
 - System Administrator
 - Marc, cepal databases administration
 - Database operators (lis)
 - Acquisitions administrator
 - Acquisition operator
 - Loan administrator
 - Loan Operator
- 50 Fecha limite
- 60 Fecha ISO

FIG. 12. Formulario para la creación de un Usuario.

Los usuarios con los que se trabajó en la implementación del software ABCD se puede observar en la Tabla V:

TABLA V
USUARIOS UTILIZADOS PARA LA CREACIÓN DE LAS BASES DE DATOS E INGRESO DE REGISTROS.

Perfil	Identificador
Administrador del Sistema	andres
Operador de Base de Datos	alfredo
Catalogador	henry
Catalogador	joffre
Catalogador	ivan
Catalogador	alex

E. Implementación del Módulo de Adquisiciones

Se selecciona la base de datos que es necesaria para el módulo de este caso: Acquisitions, Copies como se puede ver en la Figura 13:



FIG. 13. Selección de la base de datos para la creación del módulo Adquisiciones

Permite tener el resumen de libros que están en proceso de adquisición, pendientes, aprobados, rechazados, en licitación, proveedores elegidos, orden de compra de ítems recibidos y procesos de compras.

En este módulo se realizó el ingreso del inventario de libros de la biblioteca al sistema con la ayuda de los estudiantes investigadores.

F. Implementación del Módulo de Préstamos

El módulo de préstamos ofrece un manejo avanzado con algunas características extra para organizaciones más grandes y complejas. Provee además un módulo dirigido a los usuarios, basada en tecnología de servicios Web, que puede ser usado para reemplazar los módulos integrados de préstamo en caso de contar con muchas dependencias y altos volúmenes de transacciones [16].

La opción de transacciones permite prestar, reservar, devolver, renovar, suspender/multas, estado de un ítem, estado de cuenta, histórico del usuario y reportes de los libros como se puede observar en la Figura 14.



FIG. 14. Transacciones de prestamos y devoluciones.

Para prestar un libro se introduce o selecciona el código del libro desde inventario, el código de usuario desde usuarios y a continuación se da clic en prestar.

De igual forma el usuario puede realizar la reserva de un determinado libro a través del Internet.

Para la devolución se ingresa el código del libro y da clic en devolver y automáticamente se guarda la información de la fecha de la devolución así como el tiempo que estuvo prestado el mismo.

La renovación ayuda a extender el plazo para la devolución del libro.

Si un libro no es devuelto a tiempo, se tiene la opción de suspender o multar al usuario que ha incumplido con el plazo para su devolución, para ello se ingresa al menú suspender/multas, se digita el ID del usuario y se pone buscar, luego se llena la ficha con el tipo de sanción, fecha, días de suspensión o valor a pagar, motivo, comentarios y por ultimo se da clic en actualizar para guardar la información en la base de datos.

Estado de cuenta, permite verificar la situación de determinado usuario, es decir, cuántos libros ha pedido, cuánto tardó en devolverlos, etc. se puede verificar su historial introduciendo el código de usuario o a su vez el código de un libro.

Si se necesita saber si un libro está prestado, cuándo lo devolvieron o simplemente saber algunas de sus características se da clic en estado de un ítem después de haber ingresado o escogiendo el código del libro desde la lista.

Los registros de un usuario como la cantidad de veces que pidió un libro, el tiempo, multas y más se pueden ver en *Histórico del usuario*, ingresando desde el menú principal.

Además se pueden emitir reportes de cada una de las transacciones antes mencionadas.

Esto ha mejorado notablemente la gestión de la biblioteca, además se dispone de reportes actualizados de los libros prestados, reservados, devueltos, pendientes, etc. y su disponibilidad en la web es 24/7.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Catalogación: ¿Cómo es la colección de libros básicos en la carrera, existente en biblioteca? en el análisis situacional de la encuesta aplicada a estudiantes y docentes se determina que el 41,14 % de la colección de libros básicos en la carrera es Regular, el 22,07 % es Mala, el 21,07 % es Buena, el 10,70 % es Muy Mala y el 5,02 % es Muy Buena. Mientras que, luego de haber realizado la implementación del software ABCD y aplicado la encuesta a un grupo objetivo de 15 estudiantes y 5 profesores de las carreras, se obtiene como resultado que el 46,67 % de la colección de libros básicos en la carrera es Buena, el 33,33 % es Muy Buena, el 20,00 % es Regular, el 0,00 % es Mala y el 0,00 % es Muy Mala. Existiendo un incremento significativo en los resultados.

En cuanto al equipamiento tecnológico en la Biblioteca los docentes determinan que es Muy Satisfactorio y los estudiantes que es Poco Satisfactorio en el análisis situacional, mientras que luego de haber realizado la implementación del software ABCD y aplicado la encuesta a un grupo objetivo de 15 estudiantes y 5 profesores de las carreras, se

obtiene como resultado de los docentes Muy Satisfactorio y de los estudiantes Satisfactorio. Este resultado se justifica por la cantidad de catálogos electrónicos y terminales de préstamo/devolución en la biblioteca a través del internet.

Asimismo, se realizó un análisis comparativo de los servicios que ofrece la biblioteca, agrupado los indicadores de la siguiente manera:

- Consulta en sala y Consultas de revistas.
- Préstamo de libros colección general y Préstamo de libros colección reserva.
- Referencia electrónica (Internet y/o bases de datos).
- Servicios referencia (orientación en búsqueda de información).

De los resultados obtenidos en el análisis situacional se determina que el 54 % de los servicios descritos anteriormente si se cumplen y el 46 % no se cumplen; mientras que, luego de haber realizado la implementación del software ABCD y aplicado la encuesta a un grupo objetivo de 15 estudiantes y 5 profesores de las carreras, se obtiene como resultado que el 84 % si se cumple y 16 % no se cumple. Es muy notable el incremento en el uso de los servicios de la biblioteca; el software multiplicó las consultas a tesis, monografías, trabajos de investigación y libros de la biblioteca, además el sistema lleva un registro de la gestión diaria de la biblioteca en una misma base de datos con relación histórica de la progresión de los catálogos, es decir, de todas las altas, bajas, actualizaciones y consultas que se hagan desde el catálogo general de la biblioteca.

También, el software ABCD lleva un registro de los préstamos a los usuarios, este servicio implica un ciclo de préstamo, que es el préstamo propiamente dicho y la devolución. Los préstamos acarrear un registro de los libros, del usuario prestatario y de las políticas de préstamo. Para lo cual se crearon tablas para el alojamiento de los registros catalográficos, usuarios, perfiles de préstamo para definir las políticas de préstamo. Esto permitió tener un control completo de los catálogos bibliográficos de la biblioteca, así como de los usuarios que hacen uso de la documentación.

Además, la administración de los usuarios de la biblioteca, adquisiciones, políticas de préstamo que responden ante un determinado Marco normativo, Reglamento o Estatuto de gestión, Edición de estadísticas, Edición de la planificación y la difusión de comunicados a un público objetivo de la biblioteca.

V. CONCLUSIONES

En conclusión el software de Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación (ABCD) es ajustable a cualquier biblioteca ya que sus bases de datos tienen estandarizado los campos a ser utilizados en centros de documentación y su interfaz es amigable con el usuario, además es una herramienta bibliográfica flexible y versátil que facilita la gestión de los procesos de una biblioteca.

Con la implementación de los módulos de catalogación, adquisiciones, préstamos, devoluciones, consultas, estadísticas, reportes y administración de usuarios en la biblioteca

de la Unidad Académica de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica de la Universidad Católica de Cuenca, se centralizó la información en una misma base de datos conjuntamente con las tesis, monografías y trabajos de investigación. Esto incrementó el acceso de los usuarios al contenido bibliográfico, a través de consultas online, préstamos, referencias electrónicas y búsquedas mediante el internet.

Todas las bibliotecas deberían hacer uso de este software de código abierto para la automatización de sus procesos documentales y gestión de los mismos.

VI. AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial expresamos un agradecimiento a la Universidad Católica de Cuenca, por brindarnos su apoyo para culminar esta investigación; también al equipo de investigadores conformado por los estudiantes: Joffre Alcívar Fajardo Rivera, Andrés Alfredo Gómez Urgiléz, Alex Javier Granda Pilacuán, Henry Jhonatan Tenesaca Mendía, Iván Mauricio Nieto Muñoz, a los docentes, estudiantes, personal administrativo y autoridades mil gracias por la oportunidad brindada, y por haber compartido sus conocimientos y experiencias.

REFERENCIAS

- [1] P. Gethin, "Automatización de bibliotecas," *El profesional de la información*, vol. 10, pp. 26–31, Noviembre 2001.
- [2] R. Osuna Alarcón and E. De la Cruz Gómez, "Los sistemas de gestión de contenidos en información y documentación/the contents management systems in information and documentation," *Revista General de Información y Documentación*, vol. 20, p. 67, 2010.
- [3] B. S. Sánchez Vignau, "La universalización de la educación superior en cuba: una oportunidad para reflexionar sobre los modelos de gestión en las bibliotecas universitarias," *Acimed*, vol. 12, no. 2, pp. 1–1, 2004.
- [4] Biblioteconomía, "Sistemas integrados de automatización de bibliotecas. situación actual y tendencias de futuro.," *Recuperado de: <http://www.bibliopos.es/Biblion-A2-Biblioteconomia/23Sistemas-Integrados-Automatizacion-Bibliotecas.pdf>*, 2013.
- [5] M. Breeding, "Tendencias actuales y futuras en tecnologías de la información para unidades de información," *El profesional de la información*, vol. 21, no. 9, pp. 9–15, 2012.
- [6] R. L. A. D. M. S. K. Iglesias Cañedo, Carlos Manuel; Zamora Fonseca and K. Chaviano Nuñez, "La biblioteca virtual de la universidad de cienfuegos," *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, no. 2010-03, 2010.
- [7] J. A. Merlo Vega, "Fundamentos de gestión de bibliotecas universitarias," 1998.
- [8] O. Arriola Navarrete and E. Montes de Oca Aguilar, "Sistemas integrales de automatización de bibliotecas: una descripción sucinta," *Bibliotecas y Archivos*, vol. 1, pp. 47–76, Noviembre 2014.
- [9] O. Arriola Navarrete and G. Tecuatl Quechol, "Bibliotecas universitarias y automatización: un panorama de la ciudad de México," *Revista Interamericana de Bibliotecología*, vol. 34, pp. 129–146, Agosto 2011.
- [10] P. Moscoso, "La nueva misión de las bibliotecas universitarias ante el espacio europeo de enseñanza superior," 2003.
- [11] C. de Educación Superior, "Ley orgánica de educación superior," 2010.
- [12] E. de Smet and E. Spinak, "El abc del abcd: Manual del modulo central," 2009.
- [13] R. M. Merino, "Hacia la evaluación y acreditación de bibliotecas universitarias," 2013.
- [14] Bireme, "Abcd," 2016.
- [15] G. Fernández and N. Lenzo, "Software abcd (automatización de bibliotecas y centros de documentación): nuevos desafíos para las bibliotecas argentinas," 2010.
- [16] E. De la Cruz Medina, D. G. Valdés, and E. C. Cabrera, "Implementación del sistema abcd en el crai de la universidad de cienfuegos," *Biblios: Journal of Librarianship and Information Science*, no. 58, pp. 62–65, 2015.

Recibido: 09 de enero de 2017

Aceptado: 10 de marzo de 2017

Milton Alfredo Campoverde Molina: Ingeniero de Sistemas, Magíster en Docencia Universitaria, Magíster en Evaluación y Auditoría de Sistemas Tecnológicos. Profesor Titular e investigador de la Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad Católica de Cuenca - Ecuador.

Jenny Karina Vizñay Durán: Ingeniera de Sistemas, Especialista en Docencia Universitaria, Magíster en Evaluación y Auditoría de Sistemas Tecnológicos. Profesora Titular e investigadora de la Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad Católica de Cuenca - Ecuador. Correo electrónico: jviznay@ucacue.edu.ec

Silvia Eulalia Vintimilla Jara: Ingeniera de Sistemas, Magíster en Educación Mención Educación Superior MSC, Magíster en Ciencias de la Computación Mención Aplicaciones Distribuidas. Profesora Titular e investigadora de la Unidad Académica de Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad Católica de Cuenca - Ecuador. Correo electrónico: svintimillaj@ucacue.edu.ec

Programa de Cinemática Directa con fines Educativos

Direct Kinematic Program with Focus on Education

Richard Parrales, Jacob Cuesta y Carlos Flores-Vázquez*

Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción, Ingeniería Eléctrica
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

*cfloresv@ucacue.edu.ec

Resumen

El propósito de este artículo es simplificar la manera de aprender y aplicar los pasos Denavit-Hartenberg (D-H) para el cálculo de la cinemática directa de un robot industrial. La aplicación descrita tiene la ventaja de simplificar significativamente el proceso del cálculo matemático que se realiza para encontrar la cinemática directa de dicho robot, al ingresar los parámetros D-H (θ , d , a y α) en el programa, este tiene la capacidad de mostrar los resultados previos a la matriz T (matriz de transformación homogénea). El manejo y utilización de la aplicación es intuitivo para las personas que tienen algún conocimiento en la ingeniería.

Palabras clave: Robótica, Cinemática Directa, Matriz de Transformación Homogénea, Cálculo Matricial..

Abstract

The purpose of this article is to simplify the way of learning and applying the Denavit - Hartenberg (D-H) steps for calculating the Direct Kinematics of an industrial robot. The application described has the advantage of significantly simplify the mathematic calculation process that is performed in order to find the direct kinematic of that robot. When entering the D-H parameters (θ , d , a y α) into the program, this has the capacity to show previous results to the T matrix (Homogeneous Transformation Matrix). The management and use of the application is intuitive for the people who have some knowledge in engineering.

Key words: Robotic, Direct Kinematics, Homogeneous Transformation Matrix, Matrix Calculation.

I. INTRODUCCIÓN

Para los estudiantes y profesionales que tienen conocimientos de Ingeniería conocen el inconveniente que se tiene al resolver las matrices de la cinemática directa de manera manual, por lo cual en la actualidad se han desarrollado varios programas de diferentes aspectos y modelos con el fin de minimizar el tiempo que se emplea para la resolución de cinemática directa.

Varios programas se han enfocado específicamente en un solo tipo y modelo de robot, así como en un número fijo de grados de libertad (GDL) sin posibilidad de cambiarlos por el usuario, mientras que otros programas se han enfocado solo en el aspecto de cálculo y respuesta sin posibilidad de visualizar los pasos intermedios para el desarrollo de la cinemática directa [1] [2].

Para la elaboración de programas en cinemática directa de un robot tipo industrial en ingeniería, los autores le han puesto mayor preocupación al aspecto matemático y no al proceso didáctico para la elaboración de programas educativos.

Como se sabe, es necesario implementar un programa con aspectos teóricos ya que serán de ayuda para los estudiantes que se encuentran en el proceso de aprendizaje, así

como los profesionales que necesitan recordar la cinemática directa. Por ello se debe implementar un programa que incluya la parte teórica de cálculo en la cinemática directa de un robot, donde se indiquen como aplicar el algoritmo D-H, así como las matrices de transformación homogénea en un robot industrial.

Tantaruna, Medrano y Luna exponen el aspecto teórico de la Cinemática Directa de un robot, así como el aspecto práctico donde elaboran una maqueta de un robot industrial. En aquel programa usan la teoría para crear la parte matemática de la cinemática directa de un robot por lo cual no indica en dicho programa los pasos a seguir de manera teórica para obtener la cinemática directa [3]. Entonces es necesario que en un programa educativo incluya los aspectos teóricos de la cinemática directa de un robot.

En ciertos artículos con fines educativos se han desarrollado modelos matemáticos de la cinemática directa con el fin de obtener los resultados de posición en cada articulación [4] [5]. Estos documentos se basaron en robots manipuladores reales para obtener la cinemática directa y de esa manera sirva como aporte educativo para las personas que se encuentran en proceso de aprendizaje en ingeniería. Estos cálculos matemáticos se desarrollaron utilizando el

algoritmo de D-H para obtener las matrices de la cinemática directa.

Un aspecto que no contemplan estos artículos con fines educativos [4] [5] es que no poseen el desarrollo de un interfaz gráfica para el cálculo matemático de la cinemática directa para distintos robots y con GDL variables, sino que solo obtienen las soluciones matemáticas de robots específicos con GDL fijos, normalmente emplean código para que el usuario ingrese los datos.

El presente artículo se enfocará en la resolución de robots tipo industrial de diferentes modelos y hasta seis GDL, es decir, que en este programa se puede resolver robots desde uno a seis GDL. Además, el programa facilitará la resolución matemática y teórica de la cinemática directa para reducir el tiempo empleado por las personas que requieran soluciones en problemas de este tipo.

Programas similares se han realizado en diferentes universidades, pero el aquí presentado tiene como finalidad el realizar los cálculos matemáticos de la cinemática directa para poder observar numéricamente que sucede con el robot y no solo visualizar en pantalla el movimiento del mismo, como es el caso del programa presentado en el artículo de la referencia [6].

En la parte teórica del programa se tomará en cuenta los 16 pasos del algoritmo de Denavit-Hartenberg [7] [8] [9] [10] [11] [12], como también la visualización de vídeos educativos que ayuden a reforzar los conocimientos del usuario.

Mientras que en la parte matemática se presentará la facilidad de resolver las matrices de transformación de la cinemática directa, con la ventaja de no recurrir a la resolución matemática de manera manual.

Un programa tiene similares características con este documento donde la interfaz gráfica visualiza el movimiento del robot sin mostrar los resultados de forma numérica. La diferencia en este programa es que se visualiza las matrices en su forma numérica con una interfaz en pantalla para saber qué pasa con dicha matriz, evidenciando cambios en la posición del robot.[13]. Dicho programa citado, ayudó a la comprensión de herramientas a utilizar en el programa presente.

Los sistemas que ayudan a la comprensión de robótica estudiantil son escasos y poco comprensibles para los estudiantes que están iniciando en esta materia, por ello se ha desarrollado varios algoritmos que permiten el estudio más didáctico del mismo [14], lo cual permitió plantear este proyecto como un complemento a la ayuda educativa y de intuitiva comprensión en la aplicación de cinemática directa y sus efectos matemáticos al momento de posicionar al robot en diferentes ángulos.

II. METODOLOGÍA

El presente documento hará referencia a la especialidad de robótica con respecto al cálculo de la cinemática directa a través de un programa dirigido a estudiantes y profesionales de Ingeniería.

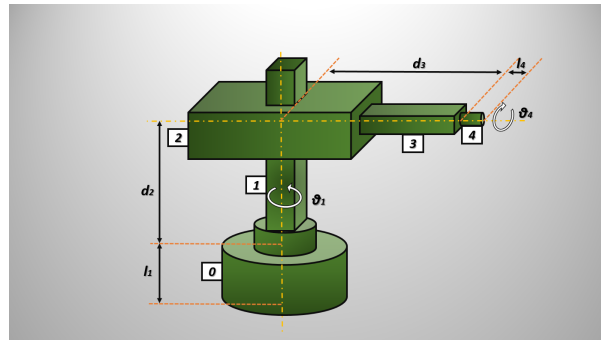


FIG. 1. Cálculo de grados de libertad (GDL) de un robot cilíndrico.

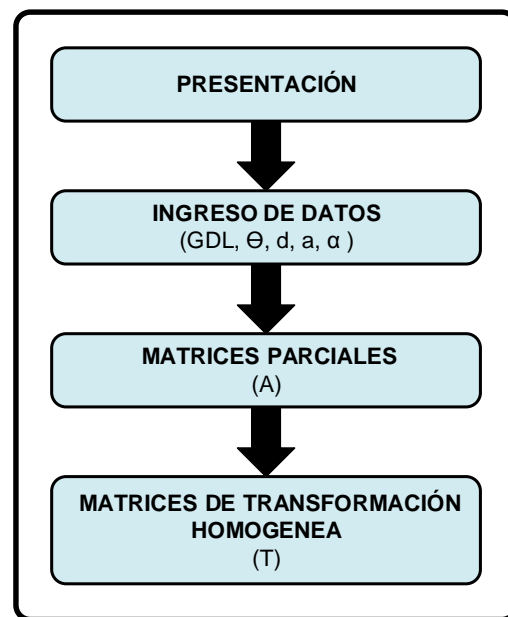


FIG. 2. Diagrama del programa numérico de cinemática directa.

Este programa posee un enfoque para contrarrestar el problema del tiempo que toma en resolver matemáticamente la cinemática directa de manera manual. Para aquellos robots que pueden resolverse mediante este programa son de tipo industrial con características de hasta seis GDL.

Los grados de libertad (GDL) se obtienen a través de enumerar cada articulación comenzando por 1 y terminando en "n". Por ejemplo un robot cilíndrico cuenta con cuatro articulaciones, es decir, con cuatro grados de libertad como se observa en la Fig. 1.

Para realizar el programa primero se debe identificar los aspectos necesarios que ayudaran a entender y calcular la cinemática directa de un robot industrial, por lo cual en la Fig. 2 se representa en forma de diagrama el proceso de cálculo del programa.

Para la creación y entendimiento del programa, esta se

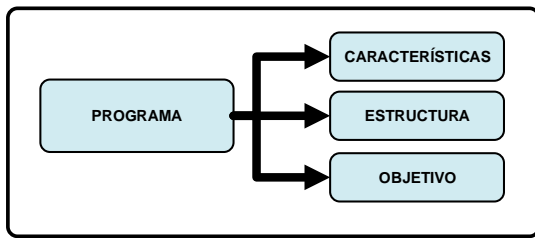


FIG. 3. División del programa de cinemática directa.

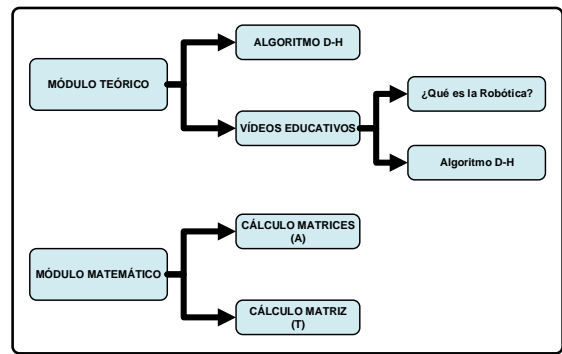


FIG. 5. Estructura del programa de cinemática directa.

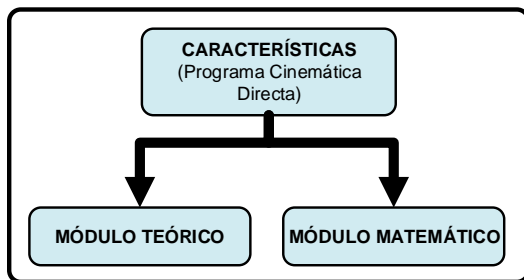


FIG. 4. Características del programa de cinemática directa.

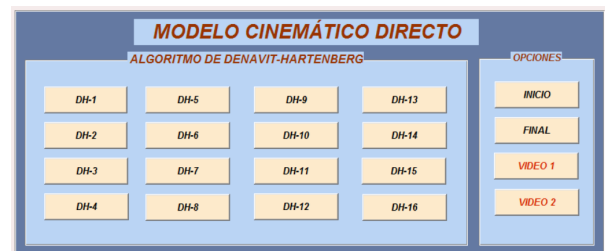


FIG. 6. Interfaz gráfica del módulo teórico del programa.

dividió en tres partes importantes que son las características, la estructura y su objetivo como se observa en la Fig. 3.

A. Características

En las características del programa de la cinemática directa se consideró la elaboración de dos partes importantes que son el módulo teórico didáctico y el módulo matemático Fig. 4, esto es para que el usuario tenga facilidad de comprensión con la temática abordada en el programa y de esa manera no tenga complicaciones al momento de usarla.

En la parte del módulo teórico comprende la explicación de los pasos del algoritmo de D-H, mientras que en la parte del módulo matemático comprende la resolución de cinemática directa donde la persona interactúa con el programa para encontrar las matrices de transformación del robot industrial que pueden ser desde uno hasta seis GDL.

B. Estructura

Para la estructura del programa de la cinemática directa se considera la utilización de GUIDE MatLab una herramienta de desarrollo para crear el programa. La estructura del programa está orientada a la descripción del diseño como lo ilustra la Fig. 5.

Las características del programa se comprende de dos módulos, uno teórico y otro matemático, en la parte teórica como se muestra en la Fig. 6 su estructura comprende en la explicación de los 16 pasos del algoritmo de Denavit - Hartenberg (D-H) [7], que son los siguientes:



FIG. 7. Ejemplo de visualización en pantalla de un paso D-H.

- Paso 1 (D-H 1) al paso 9 (D-H 9): Identificación de la estructura del robot, así como situar el sistema de coordenadas.
- Paso 10 (D-H 10) al paso 13 (D-H 13): Obtener θ , d , y α del robot industrial correspondiente.
- Paso 14 (D-H 14) al paso 16 (D-H 16): Obtener las matrices de transformación A y T del robot.

Para la visualización de los pasos del algoritmo de D-H se creó una interfaz gráfica para mostrar dichos pasos a través de imágenes como se observa en la Fig. 7.

Adicionalmente en la construcción del diseño didáctico se agregó dos videos educativos en el primero llamado

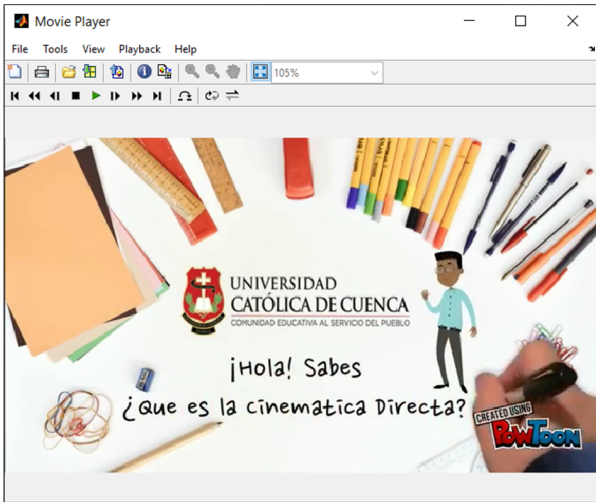


FIG. 8. Visualización del vídeo educativo.

“¿Qué es la robótica?” [15] y en el segundo “Algoritmo de Denavit-Hartenberg” [16] para que el usuario que interactúa con el programa tenga la facilidad de comprender lo que está realizando Fig. 8. Los vídeos se realizaron en PowToon.

En la parte matemática se construye todo lo que manipulara la persona para buscar soluciones de las matrices del robot industrial sin la necesidad de realizar sus soluciones matemáticas manualmente. Aquí la persona introduce los grados de libertad (GDL) que tiene el robot industrial, así como los valores obtenidos del paso 10 (D-H 10) al paso 13 (D-H 13) que son θ , d , a y α .

Donde:

- θ , es el ángulo que forman los ejes X_{i-1} y X_i medido en un plano perpendicular al eje Z_{i-1} .
- d , es la distancia a lo largo del eje Z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje Z_{i-1} con el eje X_i .
- α , es el ángulo de separación del eje Z_{i-1} y el eje Z_i . [8]

De esa manera se obtendrá los resultados de la matriz de transformación homogénea del robot industrial que se haya elegido, teniendo la visualización de esta matriz en la parte inferior derecha del programa con su respectiva imagen que identifica la solución obtenida.

La fórmula de la matriz T y las matrices A utilizadas en el programa educativo son las que se muestran en la Fig. 9.

C. El Objetivo del Programa

Minimizar el tiempo de proceso matemático en forma escrita por parte del usuario que está calculando la cinemática directa del robot industrial.

De esta manera el programa puede ser usado por parte de estudiantes y profesionales que tengan conocimientos en la especialidad de robótica y ramas afines de la ingeniería, concentrando su atención por completo en el proceso de resolución D-H.

MATRIZ T

$$T = {}^0A_6 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6$$

MATRIZ A

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i S\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

FIG. 9. Formula de la matriz T y A de la cinemática directa [8].

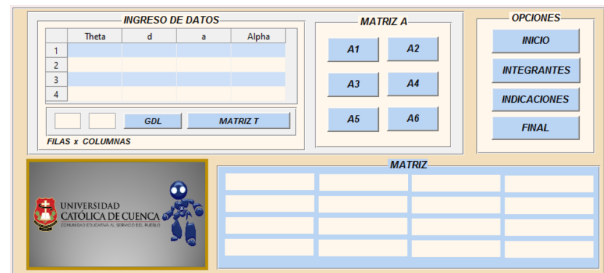


FIG. 10. Estructura de la parte matemática del programa.

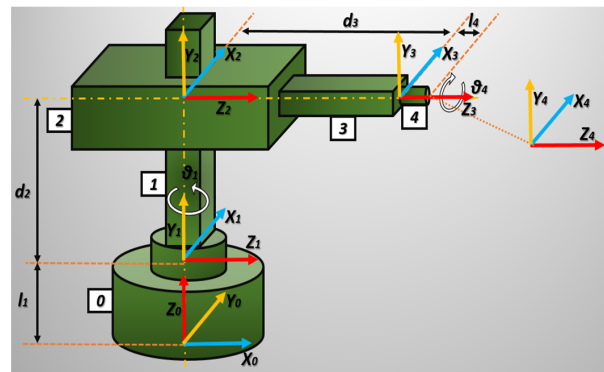


FIG. 11. Algoritmo D-H del robot cilíndrico.

III. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados en este documento se tomaron los tres aspectos principales mencionados en la sección previa como son las características, la estructura y el objetivo del programa de la cinemática directa, el cual genero la interfaz gráfica ilustrada en la Fig. 10.

Entre los resultados se puede obtener el cálculo de la cinemática directa de un robot industrial de hasta seis GDL, así como la representación de los 16 pasos del algoritmo de Denavit-Hartenberg y la reproducción de dos vídeos educativos para reforzar los conocimientos de las personas que utilicen el programa.

INGRESO DE DATOS				
	Theta	d	a	Alpha
1	q1	l1	0	0
2	pi/2	d2	0	pi/2
3	0	d3	0	0
4	q4	l4	0	0

4 4 GDL MATRIZ T

FILAS x COLUMNAS

FIG. 12. Parámetros de D-H del robot cilíndrico

INGRESO DE DATOS					MATRIZ A		OPCIONES	
	Theta	d	a	Alpha	A1	A2	INICIO	INTEGRANTES
1	q1	l1	0	0	A3	A4	INDICACIONES <td>FINAL</td>	FINAL
2	pi/2	d2	0	pi/2	A5	A6		
3	0	d3	0	0				
4	q4	l4	0	0				

4 4 GDL MATRIZ T

FILAS x COLUMNAS

MATRIZ T			
$-\cos(q1) \cdot \sin(q4)$	$\sin(q1) \cdot \sin(q4)$	$\cos(q1)$	$d3 \cdot \cos(q1) + l1 \cdot \cos(q1)$
$\cos(q1) \cdot \cos(q4)$	$-\cos(q1) \cdot \sin(q4)$	$\sin(q1)$	$d3 \cdot \sin(q1) + l1 \cdot \sin(q1)$
$\sin(q4)$	$\cos(q4)$	0	$d2 + l1$
0	0	0	1

FIG. 13. Cálculo de la matriz T de un robot cilíndrico.

A. Resolución de la cinemática directa de un robot industrial de cuatro grados de libertad.

Se desarrollará la resolución de cinemática directa en un robot industrial cilíndrico de cuatro GDL para demostrar el funcionamiento del programa. La resolución del robot en el programa contempla los siguientes pasos:

- 1) Desarrollar el algoritmo de D-H Fig. 11.
- 2) Agregar el número de GDL del robot Fig. 12.
- 3) Ingresar los valores de θ , d , a y α Fig. 12.
- 4) Calcular la matriz T Fig. 13.
- 5) Obtener las matrices A Fig. 14.

Es necesario realizar el algoritmo de D-H de un robot para identificar el número de GDL, así como el sistema de coordenadas correspondientes a cada eslabón.

Se recuerda que al momento de ingresar los datos de θ , d , a y α al programa, estas deben ser en radianes y no en grados.

Para el cálculo de la matriz T de un robot, es necesario identificar el número de GDL del robot industrial para que se ingrese al programa de cinemática directa.

Al obtener el resultado de la matriz T, simultáneamente se obtiene cada matriz A del robot industrial.

El programa educativo de la cinemática directa provee de indicaciones de como calcular la matriz T y las matrices A de un robot industrial de hasta seis grados de libertad como lo indica la Fig. 15.

IV. CONCLUSIONES

Los aspectos y pasos que se presentó para la creación y funcionamiento del programa han dado resultados favo-

MATRIZ				
$\cos(q1)$	$-\sin(q1)$	0	0	
$\sin(q1)$	$\cos(q1)$	0	0	
0	0	1	0	l1
0	0	0	1	

0A_1

MATRIZ				
0	0	1	0	
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	0	0	1	d2
0	0	0	0	1

1A_2

MATRIZ				
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	0	1	0	d3
0	0	0	1	

2A_3

MATRIZ				
$\cos(q4)$	$-\sin(q4)$	0	0	
$\sin(q4)$	$\cos(q4)$	0	0	
0	0	1	0	l4
0	0	0	1	

3A_4

FIG. 14. Cálculo de la matriz A de un robot cilíndrico.

FIG. 15. Indicaciones de como calcular la matriz T y las matrices A del programa de la cinemática directa.

rables en la obtención de cinemática directa para robots industriales, el cual además de el proceso didáctico del algoritmo D-H ha permitido obtener la resolución matemática del posicionamiento de un robot industrial reduciendo el tiempo que el usuario empleaba.

Este programa brinda información educativa necesaria del algoritmo Denavit-Hartenberg como una herramienta de ayuda para el estudiante o persona profesional que requiera agilidad y ahorro de tiempo en el proceso en los cálculos de la cinemática directa de un robot tipo industrial y de diferentes modelos, además el programa es capaz de resolver robots que van desde uno hasta seis GDL.

REFERENCIAS

[1] M. T. Roberto, C. R. J. Salvador, H. R. Fernando, J. E. V. Soto, and J. C. P. Ortega, "Software de simulación de un robot manipulador marca mitsubishi rv-2aj," 4TO Congreso Nacional de Mecatrónica, 2005.

[2] J. Gallardo-Alvarado, J. M. Rico-Martínez, and H. Orozco-Mendoza, "Un algoritmo para resolver la cinemática directa de plataformas gough-stewart tipo

- 6-3,” *Computación y Sistemas*, vol. 8, no. 2, pp. 132–149, 2004.
- [3] R. M. Tantaruna and M. C. Luna, “Modelo de enseñanza de robótica en instituciones de educación superior,”
- [4] J. L. R. Arias and A. R. Fonseca, “Modelamiento matemático de la cinemática directa e inversa de un robot manipulador de tres grados de libertad,” *Ingeniería solidaria*, vol. 8, no. 15, pp. 46–52, 2012.
- [5] M. C. Páez, J. A. H. Salazar, A. J. M. Pérez, and C. A. P. Cortes, “Diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica multifuncional con propósitos educativos-majad 1.0,” *Entre Ciencia e Ingeniería*, no. 16, 2014.
- [6] O. D. Morán and R. R. Monasterolo, “Enseñanza-aprendizaje en robótica: Construcción de simuladores como actividades de comprensión,” *Formación universitaria*, vol. 2, no. 4, pp. 31–36, 2009.
- [7] R. S. Hartenberg and J. Denavit, “A kinematic notation for lower pair mechanisms based on matrices,” *Journal of applied mechanics*, vol. 77, no. 2, pp. 215–221, 1955.
- [8] A. Barrientos, L. F. Peñin, C. Balaguer, and R. Aracil, *Fundamentos de robótica*. McGraw-Hill, Interamericana de España, 2007.
- [9] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, and G. Oriolo, *Robotics: modelling, planning and control*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [10] P. Corke, *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB*, vol. 73. Springer, 2011.
- [11] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, *Robot modeling and control*. John Wiley & Sons, 2006.
- [12] J. J. Craig, *Introduction to robotics: mechanics and control*, vol. 3. Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, 2005.
- [13] A. N. Chang Herrera, *Diseño y Simulación de un Robot Articular con seis grados de Libertad utilizando el Toolbox Robotics de Matlab para fortalecer las clases teóricas realizando prácticas de laboratorio con el software presentado en este proyecto*. PhD thesis, Quito: EPN, 2014., 2014.
- [14] A. Majarena, J. Santolaria, D. Samper, and J. Aguilar, “Identificación de parámetros cinemáticos de una plataforma paralela pan-tilt basada en cinemática inversa y directa,” *Asociación Espanola de Ingenieria Mecánica, Ciudad Real*, p. 186, 2010.
- [15] R. Parrales and J. Cuesta, “¿qué es la robótica?” https://youtu.be/cM8DI_6HEzY, 2017.
- [16] R. Parrales and J. Cuesta, “Algoritmo de denavit-hartenberg,” <https://youtu.be/LmC5JnIaCms>, 2017.

Recibido: 13 de enero de 2017

Aceptado: 15 de mayo de 2017

Richard Parrales Paladines: Es estudiante en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. Correo electrónico: richafer19@hotmail.es

Jacob Cuesta Vazquez: Es estudiante en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. Correo electrónico: jacob.ak47@outlook.com

Carlos Flores Vázquez: Es investigador en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.

Modelo matemático de calidad de agua aplicado en la microcuenca del río Tabacay

Water quality mathematical model applied in the watershed of the river Tabacay

Carlos Matovelle

Universidad Católica de Cuenca
Cuenca, 010150, Ecuador
cmmatovelleb@ucacue.edu.ec

Resumen

El agua es uno de los recursos naturales más apreciados en la actualidad, mantener la calidad es hoy en día uno de los objetivos principales de las administraciones públicas que lo controlan. Para esto se han creado herramientas como los modelos de calidad de agua que permitan una adecuada gestión del recurso. Se ha desarrollado un modelo de calidad de agua para la microcuenca del río Tabacay por el elevado valor social e institucional que tiene al ser la única fuente de abastecimiento para la ciudad de Azogues y estar sometida a una gran contaminación por las actividades de ganadería, agricultura y falta de sistemas de saneamiento. Para el desarrollo del modelo se utiliza el software libre de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense denominado Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). Para llegar al desarrollo final del modelo se analiza y valora la información disponible tanto de calidad como de caudales y geometría de la zona, se establecen los parámetros y constantes a ocupar en las simulaciones de acuerdo al sistema que se analiza, en los primeros resultados se observa variaciones de los datos simulados con los medidos por lo que se plantea técnicas para la depuración de los modelos de calidad de agua aplicados en las zonas andinas ecuatorianas para disminuir el grado de error que pueden tener en las simulaciones mediante la aplicación de nuevos estudios para la determinación de parámetros adecuados y metodologías que permitan obtener modelos aplicables a estas zonas.

Palabras clave: Agua, Modelos de calidad, Tabacay, Sistemas andinos.

Abstract

Water is nowadays one of most valued natural resources; maintaining its quality is currently one of the main objectives of the public administrations that exert control over it. For this purpose, some tools such as water quality models have been created in order to allow a proper management of this resource. A water quality model has been developed for the Tabacay micro river basin because of its high social and institutional value, as it is the only water provision source for the city of Azogues and is subjected to high pollution levels caused by livestock, agriculture and lack of sanitation systems. To develop the model, the free software of the US Environmental Protection Agency called Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) is used. In order to achieve the final model development, the available information of water quality, as well as water flow and geometry of the area are analyzed and evaluated; the parameters and constants to be used in the simulations are established depending on the system being analyzed, in the first results, variations of the simulated values with respect to the measured ones were observed, which is why the use of techniques for the depuration of water quality models applied to Ecuadorian Andean areas are suggested, with the intent of reducing the error degree in the simulations, by means of the application of new studies for determining the appropriate parameters and methodologies that allow to attain models which can be applicable to these areas.

Key words: Water, Quality models, Tabacay, Andean Systems.

I. INTRODUCCIÓN

EL agua en la actualidad se ha constituido en un bien muy preciado debido a la escasez con la que se encuentra en buen estado y a que muchas de las actividades económicas están ligadas a este recurso.

El estado de un río se puede determinar con respecto al grado de alteración que presenta de acuerdo a sus condiciones naturales [1].

Se debe tener en cuenta que la calidad del agua depende del uso para el cual va a ser destinada y está ligada a varios parámetros físicos, químicos y biológicos con límites de concentraciones establecidos. Entonces un agua puede tener una buena calidad para un fin pero esa misma agua no puede ser apta para otro uso.

La contaminación del agua siempre ha estado ligada a las actividades del hombre ya que esta se ha utilizado

para el vertido de sus residuos por su gran capacidad de purificación pero, el desarrollo ha hecho que exista un aumento demográfico y por lo tanto un aumento en la demanda y la presencia de sustancias contaminantes más difíciles de autodepurar.

A. Contaminación en ríos sudamericanos

La diferencia de la problemática entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo es muy evidente, los problemas de contaminación en América Latina tienen un origen de tipo social, económico, cultural y legislativo. Mientras los países desarrollados se enfocan en realizar planes para la vigilancia, protección y recuperación de sus recursos hídricos, los países en vías de desarrollo se encuentran solventando trabas legales para poder operar en ámbitos como el control de vertidos en cuerpos de agua.

EL 70 % de la población de América Latina no tienen acceso a sistemas hidrosanitarios que permitan el tratamiento de aguas residuales y estas vuelven a los cuerpos de agua sin haber sido depuradas, el 80 % de la población vive en las ciudades y una gran parte en asentamientos cercanos a fuentes contaminadas convirtiéndose esto en un problema medio ambiental y de salud pública [2].

II. MODELOS DE CALIDAD DE AGUA COMO HERRAMIENTA EN LA TOMA DE DECISIONES

La calidad del agua depende de varios factores naturales aunque el factor principal que influye en la disminución de la calidad son las actividades humanas. Es necesario buscar herramientas que permitan mejorar la gestión de la calidad del recurso hídrico, dentro de la búsqueda de estas herramientas aparece la modelación matemática.

Un modelo es un conjunto de conceptos y ecuaciones que permiten acercarse a la realidad de un fenómeno, aunque los modelos son conceptos con fundamentación teórica la necesidad de herramientas computacionales ha permitido la creación de formulaciones predefinidas sobre diferentes casos específicos [3].

La necesidad de disponer medidas de control que permitan cumplir los límites de vertido a los cuerpos de agua y el comportamiento de la contaminación ha obligado a revisar muchos de los criterios que se utilizan tradicionalmente. Parte importante de esta estrategia es la utilización de modelos que caractericen la dispersión y transporte de los contaminantes en cauces naturales [4].

El enfoque clásico para la gestión de la calidad del agua es, una vez desarrollado y calibrado, utilizar el modelo para predecir la concentración de los contaminantes para distintas alternativas de tratamiento.

A. Balances de materia para la modelación de calidad

El núcleo de cualquier modelo de calidad de agua son los balances de materia. Los balances se aplican a cada una de las sustancias objeto de interés. Pueden ser contaminantes químicos, oxígeno disuelto, microorganismos, etc., según el

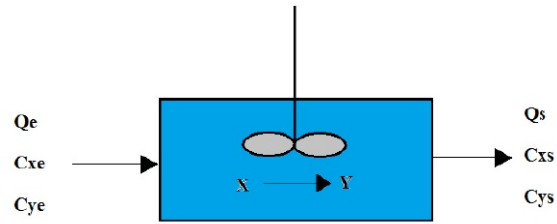


FIG. 1. Esquema de sistema completamente mezclado.

tipo de problema en estudio. Dichas sustancias constituyen los “componentes del modelo” [5].

En sistemas completamente mezclados ha de cumplirse el balance de masas que no es más que un conteo de las entradas, salidas, reacciones y acumulación de materia en un volumen de control. Fig. 1

De ahí ha de cumplirse la ecuación fundamental de conservación de la materia:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} \pm \text{Generación}$$

La Ecuación (1), representa la variación de concentración de un contaminante que se encuentra en un elemento diferencial de volumen al cabo de un determinado tiempo.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(u_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_k, \quad (1)$$

donde C representa la concentración, t el tiempo, u_x, u_y, u_z son los componentes del vector velocidad. E_x, E_y, E_z son los componentes del tensor de dispersión y S_K representa la fuente o sumidero del contaminante.

B. Simplificaciones para sistemas naturales

La mejor manera de representar un sistema es ocupando las tres dimensiones, pero resulta muy complejo y costoso obtener la información necesaria para alimentar este tipo de modelo además de la alta capacidad computacional que esto requeriría; se debe decidir si todo este esfuerzo para obtener un modelo tridimensional compensa los resultados que se pretende obtener desde el punto de vista de calidad del agua.

De aquí que se puede realizar simplificaciones a los sistemas naturales sin variar considerablemente los resultados que se obtiene al final. Para ríos podemos trabajar con un sistema unidimensional o bidimensional dependiendo de las características del mismo.

La mayoría de veces se considera a los ríos sistemas unidimensionales porque su longitud es muchas veces mayor a su anchura, de esta consideración podemos obtener una simplificación presente en la Ecuación (2)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + S_k. \quad (2)$$

Otra consideración que se puede realizar en los ríos es que no existe transporte dispersivo por lo que se elimina el término de este tipo de transporte, resultando la Ecuación (3)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) + S_k \quad (3)$$

Con las simplificaciones realizadas es posible modelar cualquier tipo de contaminante presente en un río. Este modelo simula los contaminantes no conservativos tradicionales, es decir, aquellos que sufren una transformación en el medio en el que se encuentran. Resulta de vital importancia conocer cada uno de los procesos de aparición/desaparición que sufren los contaminantes con sus determinadas expresiones de modelación para poder acercarse a la realidad de los procesos ocurrientes.

III. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

En este apartado se analiza y califica la información proporcionada por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAL) para determinar los datos y series temporales a utilizar para realizar las simulaciones. Se analizan los datos de calidad que van a ser empleados en las simulaciones y solamente de las quebradas que tienen captaciones de agua para la planta de potabilización.

A continuación se explica el proceso realizado para la modelación de la calidad del agua en la microcuenca del Tabacay. La Figura 2 recoge una síntesis de los trabajos que componen esta metodología.

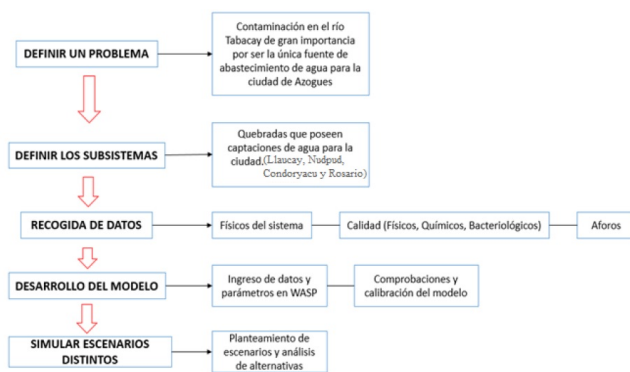


FIG. 2. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo.

La definición del problema y la elección de los subsistemas se realizan teniendo en cuenta aspectos importantes como:

- Garantizar la calidad del recurso agua para abastecimiento urbano.
- Garantizar el recurso agua para la agricultura y ganadería.
- Valor ecológico.
- Datos disponibles.

La metodología plantea una identificación de la zona de interés, la microcuenca del río Tabacay y las quebradas que la forman tienen una clara acción antrópica por lo

que justifica la necesidad de una herramienta de gestión adecuada. La prioridad es garantizar el recurso hídrico para la población, ya que es la única fuente de agua por lo que se elige realizar un modelo para las cuatro quebradas que son utilizadas para captación de agua, esto reduce la zona de estudio. Además de eso ya que se intenta garantizar el recurso para la población los tramos de río a ser modelados serán desde su nacimiento hasta el embalse de captación de agua.

Luego de haber establecido la problemática y los subsistemas que se analizan, el trabajo consiste en la recopilación de datos disponibles que sean necesarios para el desarrollo del modelo.

- Con los datos de calidad se puede realizar el modelo con los parámetros de interés, se analiza sólidos suspendidos, materia orgánica, oxígeno disuelto, nitrógeno y coliformes.
- Con los aforos se analiza el régimen de caudales, necesarios para el desarrollo del modelo. La variación temporal de los caudales depende de régimen hidrológico además de eso la actividad humana también contribuye a la variación del caudal, en este caso por la canalización para consumo de poblaciones y agricultura.

Los datos que se posee de la red de calidad y caudales son en las captaciones; series mensuales consecutivas desde el mes de octubre del año 2009 hasta el año 2014. Se realiza una valoración y depuración de los datos disponibles eliminando los valores en blanco que van a ser usados para la calibración del modelo.

En la Figura 3 se presentan los puntos de las captaciones y por lo tanto de la red de calidad existente.

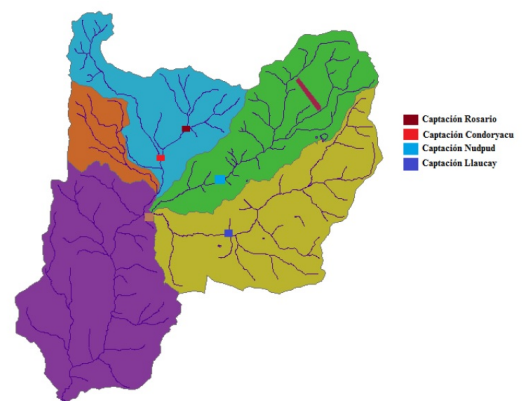


FIG. 3. Estaciones de monitoreo de calidad en el río Tabacay.

A. Descripción del Water Quality Analysis Modeling System (WASP)

El modelo WASP desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos nos permite analizar y predecir las respuestas de calidad de agua a los

fenómenos naturales y a la contaminación artificial que sufren los cuerpos de agua.

El WASP es un modelo que permite simular el comportamiento dinámico de un sistema acuático, incluyendo la columna de agua y los bentos. Este modelo permite analizar sistemas en 1, 2 y 3 dimensiones y para un variado número de contaminantes [6].

Los tres componentes del modelo son: WASP para el transporte de masas; EUTRO de oxígeno disuelto, nutrientes y cinéticas de algas; y TOXI para sustancias tóxicas. WASP es capaz de realizar un análisis en tiempo variable o estado estacionario y en una, dos o tres dimensiones. Además las nuevas versiones poseen un módulo para análisis de mercurio y de calor.

IV. DESARROLLO DEL MODELO

Para el desarrollo del modelo en el río Tabacay se analiza un sistema de una dimensión segmentando cada una de las quebradas que son analizadas. Los parámetros que intervienen en las simulaciones son analizados y justificados dentro de los rangos típicos y el correcto funcionamiento del modelo. Para obtener una modelación en la cual el sistema se comporte de la manera más cercana a la realidad se corren simulaciones para las cuatro quebradas que son usadas para captación de agua dentro la microcuenca del río Tabacay, con los datos observados se realizan ajustes de los parámetros que intervienen. Luego de analizar los datos de monitoreos de calidad de agua es evidente destacar que la quebrada Llaucay es la que presenta el mayor grado de contaminación por lo que este artículo se presentan los resultados de este tramo.

A. Segmentación

La segmentación del río permite dividir por zonas de interés e incluir la geometría de cada una de estas zonas y las relaciones de velocidad de cada segmento. Los datos de mediciones de geometría existentes de la quebrada Llaucay permiten dividirla en 4 segmentos desde aguas arriba, considerando el tanque de captación el último segmento del sistema. No se posee una caracterización de los afluentes que llegan a la quebrada por esto se incluye un segmento adicional en el cual se agrupan estos, considerando que el tramo de interés y de ajuste es el segmento previo a la captación. En la Figura 4 se presenta el esquema de segmentación que se adopta en WASP.

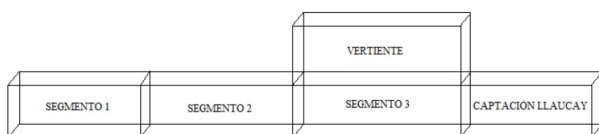


FIG. 4. Esquema de segmentación de la quebrada Llaucay.

Si se analiza un río proveniente de montaña lo normal es encontrar sistemas transitorios, variados y turbulentos pero se realizan suposiciones de regímenes estacionarios para lograr establecer las condiciones iniciales del modelo y luego analizar un sistema que se asemeje más a la realidad.

Entonces bien, al momento de segmentar el río consideramos tramos que tienen dimensiones y pendiente constantes, si una tasa de flujo constante Q entra en el extremo aguas arriba para un período suficientemente largo de tiempo, el agua llegará a una condición de flujo uniforme. La profundidad del tramo y la velocidad del agua también serán constantes y estarán relacionadas al flujo por la ecuación de continuidad [7].

En la Ecuación (4) se puede observar la relación que existe entre caudal, velocidad y la sección transversal del tramo a analizar.

$$Q = U \cdot A_c, \quad (4)$$

donde Q es el caudal del flujo, U es la velocidad media y A_c es la sección transversal del río.

Ya que el caudal depende de la velocidad y de la profundidad se necesita de mayor información para determinar los valores de las magnitudes. Para obtener esta información usamos los coeficientes de descarga, cuyas ecuaciones relacionan la velocidad media, profundidad y ancho con el flujo [9], estas ecuaciones son:

$$U = a Q^b, \quad (5)$$

$$H = \alpha Q^\beta, \quad (6)$$

$$B = c Q^f, \quad (7)$$

donde H es la profundidad del río, a , b , α , β , c y f son constantes empíricas que se determinan a partir de curvas de altura-caudal. Debido a que estos parámetros están interrelacionados, los coeficientes no son totalmente independientes.

La Tabla A. muestra los valores y rangos para los exponentes [7]. Estos valores se utilizan en las simulaciones de caudales que realiza el modelo y son verificados antes de realizar las simulaciones de los contaminantes.

TABLA I
VALORES MEDIOS Y RANGOS DE CORRELACIONES
HIDROGEOMÉTRICAS.

Correlación	Exponente	Valor	Rango
Velocidad-Flujo	b	0.45	0.3-0.7
Profundidad-Flujo	β	0.4	0.1-0.6
Ancho-Flujo	f	0.15	0.05-0.25

B. Determinación de constantes en WASP

Un modelo debe ser capaz de reproducir y predecir las variables deseadas con un mínimo número de parámetros y tiempo de cálculo, existen procesos químicos físicos y

biológicos que están definidos por relaciones estequiométricas y cinéticas para los cuales debemos determinar un cierto número de constantes para que el modelo funcione de manera adecuada.

Para la determinación de constantes en el modelo WASP se dispone de un menú en el cual podemos elegir las opciones con las cuales trabajar y los rangos de valores disponibles a condiciones de temperatura estándar(20°C).

1. Degradación de materia orgánica

La formulación matemática de la de DBO carbonosa fue hecha por Streeter y Phelps con base en la ley empírica de Theriault en la que se indica que la tasa de oxidación bioquímica de materia orgánica es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica biodegradable presente, obedece a una ecuación de primer orden [8].

WASP nos permite elegir constantes de degradación a 20°C y de semisaturación ya preestablecidas, esto permite correr las primeras simulaciones para obtener datos de como se comporta el sistema. Con los valores tomados observamos que luego de ejecutar el modelo la constante de degradación para la materia orgánica se encuentra alrededor de $0.3 d^{-1}$. Figura 5.

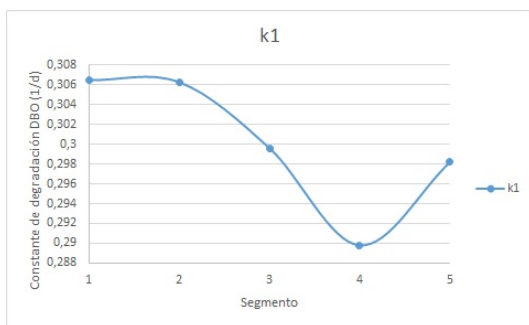


FIG. 5. Valores para la constante de degradación de materia orgánica.

Un rango para la constante de degradación de materia orgánica es $0.05-0.4 d^{-1}$ [10]; por lo que se asume que el rango en el cual está trabajando la simulación es correcto y los procesos en los cuales interviene materia orgánica en la quebrada de análisis son reales.

2. Oxígeno disuelto

En ríos con características andinas la reaeración tiene un papel muy importante en la recuperación del sistema acuático, para determinar la constante de reaeración en la quebrada Llaucay se utiliza el método Covar, además se tiene en cuenta la altura de la microcuenca y la constante de corrección por temperatura.

Para la determinación de la constante de reaeración se utiliza la Figura 6, la cual condensa el método Covar de acuerdo a las características de velocidad y calado de los ríos, la quebrada Llaucay está dentro de las características de la zona Owens-Gibbs.

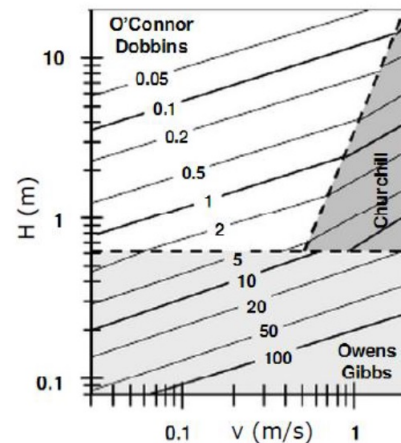


FIG. 6. Determinación de la constante de reaeración por el método Covar para ríos.

Luego de correr las simulaciones con los datos establecidos se obtienen los resultados para las velocidades y la constante de reaeración. Estos resultados se muestran en la Figura 7 y Figura 8, se observa que los valores de estas magnitudes corresponden con las relaciones que se presentan en la Figura 6. Además se puede observar que en los segmentos de aumento de velocidad también se tiene un aumento en la reaeración del agua. La simulación arroja datos de oxígeno de saturación cercano a los 10 mg/l pero en las microcuencas andinas por la altura a la que se encuentren los flujos de agua y particularmente en las quebradas que forman la microcuenca del Tabacay el oxígeno de saturación está alrededor de los 8 mg/l.

Esa consideración se debe tener en cuenta en el momento del ingreso elevado de materia orgánica en el modelo para ajustar la disminución del oxígeno disuelto.



FIG. 7. Valores para la constante de reaeración.

3. Nitrógeno

El modelo para calidad del río Tabacay que se presenta contempla las especies de nitrógeno ya que al existir el proceso de nitrificación del amonio se consume oxígeno de la columna de agua provocando problemas de calidad.

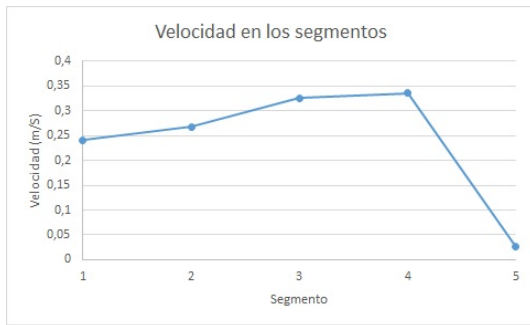


FIG. 8. Valores de velocidad del agua en los segmentos.

Se simula la mineralización del nitrógeno orgánico en amonio, la nitrificación y la desnitrificación; para estos tres procesos marcamos en los menús de WASP las constantes de velocidad de los procesos, los coeficientes de corrección para la temperatura y los coeficientes de semisaturación para cada proceso, las constantes para las cinéticas de todos estos procesos se toman desde el catálogo de WASP.

4. Cargas externas

En los puntos anteriores se modela el río sin recibir aportes de contaminantes externos, solo se considera las fronteras y se supone para esta simulación que el agua que ingresa por las fronteras tiene la calidad del estado natural por lo que no recibe aportes de contaminantes, esto permite saber como se comporta el sistema en estado natural.

Se tienen los datos de calidad en la captación que es el último tramo de la segmentación en el modelo y como se observa en puntos anteriores no posee la calidad que se supone tiene el agua que ingresa por las fronteras ya que la red de monitoreo existente solo contempla monitoreo en el tramo previo a la captación. Existe disminución de oxígeno por lo que es necesario la presencia de procesos que consuman este oxígeno, esto supone un ingreso de contaminantes.

Lo que se hace en este punto es suponer las cargas de contaminantes que deben existir para poder llegar a los datos de calidad que posee la captación. A continuación se enumera las suposiciones que realizamos para poder realizar la simulación, esto permite realizar un modelo solamente con la información disponible y son consideraciones que no se alejan de la realidad de los sistemas analizados.

- 1) El agua que ingresa por las fronteras tiene la calidad del agua en estado natural.
- 2) Todas las vertientes se agrupan en un solo segmento que llega como aporte en el segmento 3 del modelo.
- 3) El flujo del río es del 70 % del caudal que llega a la captación y la vertiente es del 30 % del caudal total que llega a la captación.
- 4) Los contaminantes ingresan por el flujo de la vertiente.
- 5) La relación entre la concentración de nitrógeno Kjeldahl total (NKT) y de materia orgánica que ingresan en la vertiente es 1:10.

- 6) Los segmentos 1 y 2 se encuentran libres de contaminación.

V. RESULTADOS

El objetivo del modelo es reproducir las condiciones que se tienen observadas en la captación suponiendo las condiciones aguas arriba hasta lograr tener los datos observados y simulados con el mínimo error. Luego de realizar varias simulaciones de ajuste para ver el comportamiento del sistema y la carga de contaminantes se obtiene los resultados para la simulación con caudales variables, temperatura variable, materia orgánica, oxígeno disuelto, nitrógeno, sólidos suspendidos, demanda de oxígeno por el sedimento y coliformes fecales, el objetivo de esta simulación es obtener un modelo completo.

El modelo intenta ajustarse a los datos de oxígeno disuelto en las captaciones suponiendo lo que sucede aguas arriba y las cargas que ingresan con la vertiente. El tiempo de simulación es de 26 meses, desde octubre de 2009 hasta noviembre de 2011 ya que en este periodo es donde se posee la mayor disponibilidad de datos.

A. Resultados para oxígeno disuelto y materia orgánica

Como se puede observar en la Figura 9 se consigue un ajuste que sigue la tendencia de los datos que disponemos, tiene un error absoluto promedio de 1.8 %. Al ser el objetivo del modelo ajustarse a las concentraciones de oxígeno en la captación mientras menor sea el error van a ser más certeras las condiciones supuestas aguas arriba.

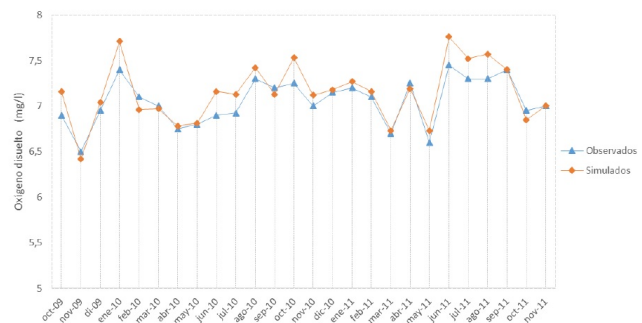


FIG. 9. Comparación de valores de oxígeno disuelto observados y simulados.

Para lograr el ajuste en el oxígeno disuelto en el segmento que representa la captación se debe disminuir la concentración desde el valor de saturación que se dispone para la zona de estudio hasta los datos medidos, para esto en la vertiente ingresan cargas de materia orgánica y de amonio cuya presencia provoca la disminución del oxígeno, además de ingresar con la vertiente nitrógeno orgánico, nitratos, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

En la Figura 10 se presentan los resultados para la concentración de materia orgánica simulada y observada en la captación.

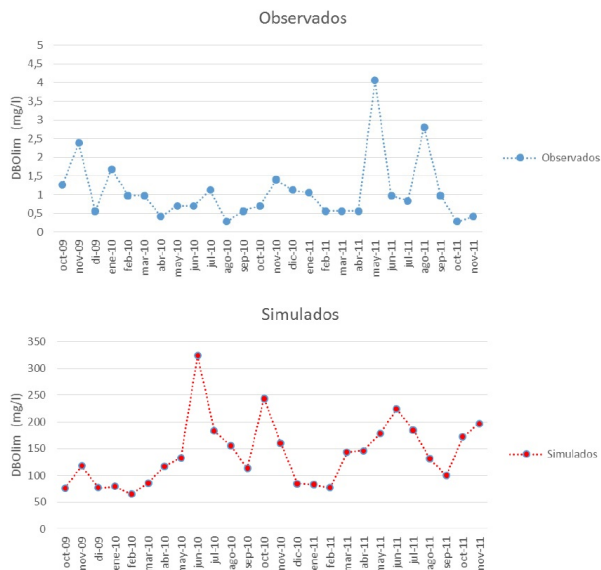


FIG. 10. Concentraciones de materia orgánica medida como DBO límite en la captación. Datos observados vs simulados.

En las dos figuras es evidente la gran diferencia que existe entre las concentraciones simuladas y las observadas. Los valores medidos son típicos para sistemas en los cuales no exista contaminación y para que haya una disminución de la concentración de oxígeno desde el de saturación debe haber presencia de materia orgánica que lo consuma en su degradación.

Los resultados simulados indican que debe ingresar una carga de contaminante elevada que disminuya la concentración de oxígeno disuelto de saturación que simula el modelo, la problemática se presenta porque el modelo da valores de oxígeno de saturación elevados en comparación con los reales, se debe tener en cuenta que estos ríos tienen una gran dinámica y recuperación por lo que hay que considerar que esa disminución es muy poco probable ingresando valores de contaminación bajos.

El oxígeno de saturación de la zona está claramente afectado por la altura por lo que el simulado se aleja de la realidad sin poder corregir ese parámetro en el modelo, se debe colocar valores reales y de esta manera ajustar con menos grado de error el modelo.

B. Resultados para nitrógeno

El análisis de los resultados de amonio y nitrógeno orgánico en las simulaciones no se puede ajustar a los datos reales que se tienen de las mediciones en las captaciones ya que fueron manipulados para ajustar la concentración de oxígeno disuelto simulado.

Al existir disminución de oxígeno disuelto y ser una microcuenca que recibe vertidos de agua residual urbana y escorrentías de suelos con usos ganaderos y agrícolas existe una probabilidad elevada de especies de nitrógeno, por este motivo la presencia de concentraciones más altas

que los datos observados es correcta, aunque para lograr la disminución del oxígeno observado las concentraciones de nitrógeno son elevadas. En la Figura 11 se observa la concentración de amonio tanto en datos simulados como observados. La concentración de amonio que se tienen luego de simular es muy superior a la de los datos.

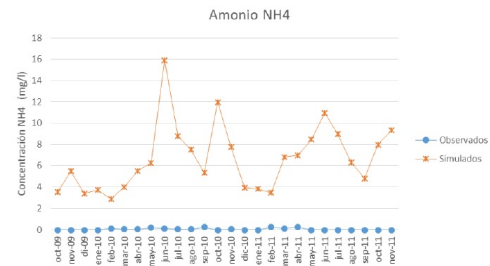


FIG. 11. Comparación de concentraciones de amonio simuladas y observadas en la captación.

Al existir una disminución de oxígeno disuelto en el agua es muy probable la presencia de concentraciones de amonio elevadas que consuman el oxígeno en la nitrificación.

C. Resultado para sólidos suspendidos

Una de las mayores problemáticas en la microcuenca del río Tabacay es la carga de sólidos que lleva consigo sus efluentes ya que estos llegan hasta la central de generación eléctrica causando problemas en el turbinaje. Al ser un parámetro que se puede simular independientemente de la concentración de oxígeno que tiene el agua, se puede realizar un ajuste del modelo para que se asemeje lo más posible a los datos observados.

Este ajuste se presenta en la Figura 12, existen algunos meses con concentraciones muy elevadas por lo que se ha dividido la gráfica en dos partes, la una con la escala normal y la otra con una escala más pequeña para poder observar el ajuste para las concentraciones.

Como se observa en la figura anterior los datos simulados siguen la tendencia de concentración de sólidos suspendidos. Para que exista esa concentración en la captación hay una carga que ingresa al sistema.

D. Resultado para coliformes fecales

La concentración de bacterias dependerá de la carga del vertido y de la tasa de desaparición que posean. Existen varios factores que afectan la velocidad de desaparición de las bacterias fecales, como el efecto de la luz que hace que la velocidad de crecimiento aumente, la adsorción en los sólidos suspendidos que representa un sumidero, la sedimentación que disminuye la concentración en la columna de agua aunque representa un aumento en el sedimento, la temperatura, el pH, depredadores, entre otros factores.

Como la mayoría de las expresiones utilizadas para la modelación de la calidad del agua para la desaparición de las bacterias fecales se utiliza una cinética de primer orden.

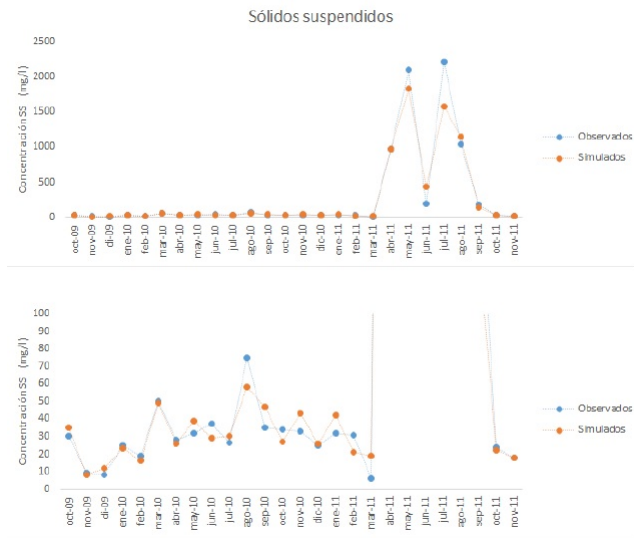


FIG. 12. Comparación de valores de sólidos suspendidos observados y simulados.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -kC \quad (8)$$

donde C es la concentración de coliformes y k es la constante de desaparición.

Los valores de k varían mucho a lo largo del día, por lo que resulta complejo la determinación en la simulación. La manera más adecuada para la determinación de esta constante es mediante ensayos de laboratorio o experiencias *in situ*.

Para el modelo en WASP se utiliza el módulo de simulación para la degradación de la materia orgánica que al igual que la desaparición de bacterias fecales utiliza una cinética de primer orden y se ajusta a los datos observados. La variación de la constante de desaparición simulada en WASP se observa en la siguiente Figura 13

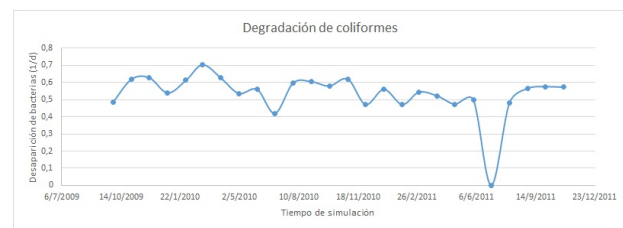


FIG. 13. Constante de desaparición de las bacterias fecales. Simulación

Como se puede observar en la figura anterior la constante maneja rangos medianamente constantes con excepciones puntuales que son los meses en los que aumente notablemente la concentración de coliformes por lo que la tasa de desaparición es prácticamente nula.

Como se puede observar en la figura anterior la constante maneja rangos constantes con una excepción puntual en el mes de junio de 2011 en los que aumente notablemente la

concentración de coliformes por lo que la tasa de desaparición es prácticamente nula. Esta evento puede deberse a un vertido puntual de algún contaminante que llevaba una carga bacteriana elevada.

En la siguiente figura se encuentran las concentraciones de bacterias fecales observadas y simuladas, se logra un ajuste correcto en la simulación con error absoluto promedio del 6 %.

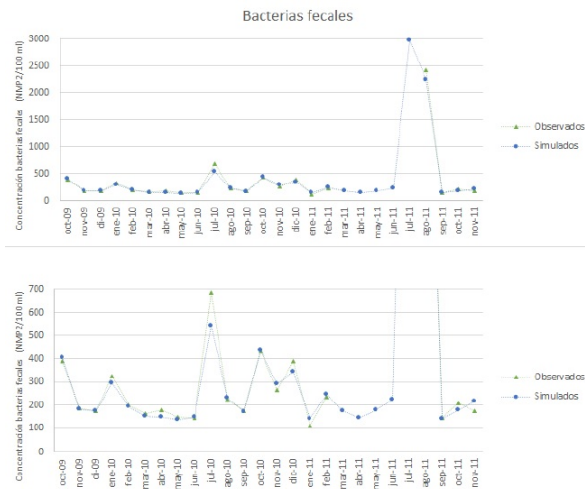


FIG. 14. Comparación de valores de bacterias fecales observados y simulados.

VI. CONCLUSIONES

Un modelo matemático de calidad de agua debe simular el sistema de manera que todos los componentes que intervengan tengan relación y se ajusten de la mejor manera a la realidad, en el modelo de la microcuenca del río Tabacay luego de ajustar el parámetro de oxígeno disuelto, la concentración de materia orgánica simulada es elevada en comparación con los datos observados, esto indica un error el cual se debe analizar su origen.

Las constantes de las cinéticas para los procesos de modelación fueron obtenidas mediante simulación, se encuentran dentro de los rangos de trabajo, para el desarrollo de modelos en sistemas que tengan variaciones tan visibles tanto hidrodinámicas como de calidad es necesario caracterizar experimentalmente las constantes cinéticas y disminuir el grado de error posible.

El origen de los datos no es confiable, ya que presenta valores muy por debajo en contaminación para el conocimiento que si tiene del sistema, recibe aportes directos de agua residual urbana, zonas con gran escorrentía de suelos agrícolas y ganaderos, esto indica que debe existir presencia de contaminantes, posiblemente en cantidades no tan elevadas como las que presenta el modelo.

La recuperación de oxígeno disuelto será alta, los sistemas andinos son muy dinámicos por sus características de pendientes, calados pequeños y elevada turbulencia; esto contribuye a que sea muy elevada la autodepuración, esta

característica obliga a que exista una gran carga de materia orgánica para la reducción del oxígeno disuelto.

No existe una red de calidad en la microcuenca del río Tabacay que permita tener una información clara de lo que sucede y en qué zona de la microcuenca ocurre. Al tener solo las captaciones como punto de muestreo se tiene una visión global de la problemática pero resulta complicado identificar la zona que está contribuyendo con esta problemática para poder actuar puntualmente, esto hace que se destinen recursos a zonas que probablemente no tienen la misma influencia de contaminación que otras.

El primer paso para lograr modelos de calidad con absoluta fiabilidad es plantear redes de monitoreo que abarquen una amplia zona problema y de esa manera poder ajustar en varios puntos y acercarse a una realidad más global. Esto permitirá una adecuada gestión en lugares afectados por actividades que generen contaminación.

Para la simulación de sólidos suspendidos y bacterias fecales no se depende del oxígeno disuelto por lo que los datos se pueden ajustar a los observados. Se consiguen ajustes buenos por lo que para estos parámetros el modelo puede tener la robustez necesaria para predecir concentraciones futuras y servir como herramienta de gestión dentro del Plan de Protección de la microcuenca del río Tabacay.

REFERENCIAS

- [1] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Directiva Marco, 2000.
- [2] The World Bank (2016) <http://data.worldbank.org/products/wdi>
- [3] Paredes, J. Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda a la decisión para la gestión del recurso hídrico. Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [4] Torres-Bejarano F., H. Ramírez-León, C. Rodríguez-Cuevas, M. P. Tejera-González y M. C Vázquez Jaraba. Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Hidrobiológica* 25 (1): 7-23. 2015.
- [5] M. Martín, P. Marzal, Modelación de la Calidad del Agua. España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2004.
- [6] US Environmental Protection Agency (2005), WASP 7.0. Water Quality Analysis Simulation Program. <http://www.epa.gov/athens/wwptsc/html/wasp.html>.
- [7] S.C. Chapra, Surface Water Quality Modeling. New York, United States: McGraw-Hill, 1997.
- [8] Romero, R. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Cuarta reimpresión. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013.
- [9] L. Leopold, T. Maddock, The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. United States: Geological Survey, 1953.
- [10] S.H. Bowie, U. Thornton, Environmental Geochemistry and Health. Boston: Reidel Publishing Co, 1985.

Recibido: 01 de Febrero de 2017

Aceptado: 05 de Mayo de 2017

Carlos Matovelle: *Máster en Ingeniería Hidráulica y Tratamiento de Agua. Docente de las asignaturas de Modelación Matemática de Sistemas Naturales y a cargo de proyectos de investigación sobre modelación de calidad de agua y determinación de características para sistemas fluviales andinos.*



Instructivo para la preparación de manuscritos en la revista Killkana Técnica

Instructions for the preparation of manuscripts in the Killkana Técnica Journal

Nombre1 Apellido1^{1*} y Nombre2 Apellido2²

¹ Facultad, Programa o Grupo de Investigación, Institución

² Facultad, Programa o Grupo de Investigación, Institución

*nombre_autor1@correo.com

Resumen

Este documento tiene como finalidad proporcionar las instrucciones y normas para la presentación de artículos a la Revista Killkana Técnica. Es ejemplo del diseño editorial deseado (incluido este resumen) y puede usarse como referencia en general para la buena escritura de artículos de investigación. Se dan reglas sobre citas, ecuaciones, unidades, figuras, tablas, abreviaturas y acrónimos. También se orienta la redacción de las partes de un artículo: resumen introducción, cuerpo del documento, referencias y biografías de los autores, etc. El resumen debe tener como mínimo 200 palabras y como máximo 250 palabras y no puede contener ecuaciones, figuras, siglas, tablas ni referencias. Debe presentar en forma resumida la problemática, describir el objetivo general, la metodología desarrollada, los principales resultados, impactos y las conclusiones más relevantes del trabajo.

Palabras clave: El autor debe proporcionar palabras clave (en orden alfabético), un mínimo de 3 y un máximo de 6, que ayuden a identificar los temas o aspectos principales del artículo.

Abstract

Debe contener la traducción del resumen en idioma Inglés (traducción con alta calidad).

Key words: Contiene la traducción de las palabras claves al idioma Inglés.

I. INTRODUCCIÓN

LA revista KILLKANA TÉCNICA de la Universidad Católica de Cuenca, tiene como propósito principal estimular los esfuerzos científicos, tecnológicos, docentes y de extensión, de los Miembros de la Comunidad Científica Nacional e Internacional en el área de las ingenierías. Pretende poner a disposición de docentes, investigadores y profesionales un medio de promoción y difusión que brinde la oportunidad de dar a conocer el fruto de sus trabajos y les permita expresar sus opiniones respecto a cualquier actividad fundamental en sus áreas de experticia.

Este documento proporciona un ejemplo de diseño de edición de un artículo para la revista KILLKANA TÉCNICA. Es una guía para la redacción que, conjuntamente con las instrucciones para el uso de la clase *Cómo usar la clase de documento L^AT_EX 'killkanaT.cls' de la revista Killkana Técnica*, proveen de la información necesaria para la elaboración de un artículo. Contiene indicaciones del formato de edición y de los estilos empleados en la revista. Se dan reglas de estilo sobre redacción, secciones, citas, ecuacio-

nes, figuras, tablas, abreviaturas, referencias bibliográficas, acrónimos, etc.

Para producir un artículo para la revista KILLKANA TÉCNICA se requiere del archivo de la clase *killkanaT.cls* y el de estilo *killkanaT.sty*, los cuales se distribuyen a través de la licencia LPPL (L^AT_EX Project Public License) y pueden obtenerse a través del contacto con el editor de la revista mediante el correo electrónico: killkana.editorial@ucacue.edu.ec o en la página web de la revista <http://killkana.ucacue.edu.ec>.

II. CRITERIOS GENERALES DE CLASIFICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Diferentes tipos de artículos son aceptados para ser sometidos a la evaluación de pares especialistas en el área determinada del trabajo.

A. Artículo científico y tecnológico

Documento que presenta, de manera detallada y sistemática, los resultados originales de proyectos terminados de investigación.

B. Artículo de revisión

Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo de la ciencia o la tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracterizan por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

C. Artículo corto

Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

D. Reporte de casos

Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

E. Artículo de reflexión

Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales. Este tipo de documentos se conocen en el ámbito académico como ensayos y en general son escritos que mediante una estructura identificable exponen con claridad un tema, desarrollan unas implicaciones y presentan unas conclusiones.

III. CONTENIDOS DE UN ARTÍCULO

La estructura generalmente utilizada en la conformación del cuerpo de un artículo consta de algunas partes importantes: resumen, introducción, marco teórico, materiales y/o métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y fuentes o referencias bibliográficas.

Se aconseja cuidar la ortografía, la sintaxis y la semántica empleando un corrector automático de texto. Las oraciones deben estar completas, con sentido claro e inequívoco y continuidad entre ellas, así como entre párrafos.

El cuerpo del artículo debe contener las siguientes características [1]:

- 1) Título - resumen - palabras clave -
- 2) Cuerpo del documento:
 - a) Introducción.
 - b) Marco teórico.
 - c) Metodología y/o materiales. Materiales sólo en el caso de un artículo experimental y/o de laboratorio.
 - d) Resultados.
- 3) Conclusiones y recomendaciones.
- 4) Referencias.

A. Título y nombres de los autores

Comenzaremos, aunque parezca obvio y no se le de mayor importancia, con el título del trabajo. Un investigador interesado en el área de trabajo del autor primeramente encontrará artículos a través de las palabras claves, filtrando de entre mucho títulos que emerjan de la búsqueda. Un posible lector se decidirá por su artículo si el título le parece llamativo e interesante, para luego pasar a leer el resumen. Aquí es donde estriba la importancia de pensar cuidadosamente las palabras que conforman el título. El profesor de la Universidad de Texas en Austin, Harry L. Swinney [2] recomienda realizar una lista de palabras que describan el trabajo, y emplear ésta lista para formar un título corto, de no más de 10 palabras. Evite jergas, palabras con doble significado, y palabras huecas o frases tales como: nueva, novedosa, estudio de, investigación de, exploración de, precisión, alta resolución, eficiente, poderoso.

Luego del título se indica el nombre de los autores, los cuales deben tener un formato similar al de las citas; nombre y apellido del autor, o inicial de los nombres y apellidos, dependiendo de la cantidad de autores y el espacio disponible. Los autores deben estar separados por comas y para el último colocar "y". Omite el título o profesión de los autores.

B. Resumen y palabras claves

El resumen representa una síntesis breve de los contenidos del estudio que permite que los lectores conozcan las generalidades y resultados de la investigación. Como se indicó anteriormente debe tener como mínimo 200 palabras y como máximo 250 palabras y no puede contener ecuaciones, figuras, siglas, tablas ni referencias.

Un resumen cuidadosamente escrito es crucial, porque la gran mayoría de potenciales lectores saltará al próximo artículo después de leer unas cuantas líneas de nuestro resumen. Solamente una pequeña fracción de los lectores del resumen leerán el artículo completo, sea impreso, online o descargado en pdf [2].

El título y el resumen, pese a que aparecen de primero en un artículo, es lo último que se escribe.

Las palabras claves son términos que identifican al tipo de investigación o trabajo realizado y son útiles para ayudar a los indexadores y motores de búsqueda a encontrar los reportes o documentos pertinentes. Se debe escribir un mínimo de tres (3) y un máximo de (6) palabras clave (en orden alfabético).

C. Cuerpo del documento

Cada parte del artículo se dividirá y subdividirá en el grado necesario aprovechando los órdenes de división y encabezamientos que posee \LaTeX : secciones (section), sub-secciones (subsection) y sub-sub-secciones (subsubsection). También se puede hacer uso de los entornos de listas como `enumerate` (lista enumerada) e `itemize` (lista por ítems). Se recomienda revisar el documento *Como usar la clase de documento*

\LaTeX 'killkanaT.cls' de la revista Killkana Técnica, sección VI.

\LaTeX enumera automáticamente las citas, figuras y tablas, sin embargo al incluir las referencias relevantes para su trabajo debe verificar que ellas estén referidas en algún lugar del texto.

1. Introducción

La introducción abarca los antecedentes (tratados de manera breve, concreta y específica), el planteamiento del problema (objetivos y preguntas de investigación, así como la justificación del estudio), un sumario de la revisión de la literatura, el contexto de la investigación (cómo, cuándo y dónde se realizó), las variables y los términos de la investigación, lo mismo que las limitaciones de ésta. Es importante que se comente la utilidad del estudio para el campo académico y profesional.

2. Marco teórico o antecedentes

En este apartado se incluyen y comentan las teorías que se manejaron y los estudios previos que se relacionan con la investigación actual. Se recomienda ser breve y conciso. Algunos autores incluyen esta parte en la introducción.

3. Metodología

En esta parte del artículo se describe cómo fue llevado a cabo el trabajo, e incluye, dependiendo del tipo de investigación realizada, el enfoque; el contexto; casos, universo y muestras; diseño utilizado; procedimiento; y proceso de recolección de datos.

4. Resultados

Los resultados son producto del análisis de los datos. Compendian el tratamiento estadístico y analítico que se dio a los datos. Regularmente el orden es [1]: a) análisis descriptivos de los datos, b) análisis inferenciales para responder a las preguntas o probar hipótesis (en el mismo orden en que fueron formuladas las hipótesis o las variables). Se recomienda que primero se describa de manera breve la idea principal que resume los resultados o descubrimientos, y posteriormente se reporten con detalle los resultados. Es importante destacar que en este apartado no se incluyen conclusiones ni sugerencias.

D. Conclusiones y recomendaciones

Discusiones, recomendaciones, sugerencias, limitaciones e implicaciones. En esta parte se debe [1]:

- Derivar las conclusiones, las mismas que deben seguir el orden de los objetivos de la investigación.
- Señalar las recomendaciones para otros estudios o derivaciones futuras relacionadas con su trabajo.
- Generalizar los resultados a la población.
- Evaluar las implicaciones del estudio.
- Relacionar y contrastar los resultados con estudios existentes.

- Reconocer las limitaciones de la investigación (en el diseño, muestra, funcionamiento del instrumento, alguna deficiencia, etc., con un alto sentido de honestidad y responsabilidad).
- Destacar la importancia y significado de todo el estudio.
- Explicar los resultados inesperados.

En la elaboración de las conclusiones se debe evitar repetir lo dicho en el resumen.

E. Referencias

Son las fuentes primarias utilizadas por el investigador para elaborar el marco teórico u otros propósitos; se incluyen al final del reporte, deben estar enumeradas según el orden de aparición en el documento y siguiendo las normas del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

En la Internet se encuentra suficiente información sobre el estilo de la IEEE, documentos en pdf como *Estilo de Referencias IEEE* (<http://www.derecho.unam.mx/integridad-academica/pdf/IEEE.pdf>) de la Facultad de Derecho de la UNAM o el *FORMATO IEEE: Estilo y referencias bibliográficas* (<http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/7302/FORMATO%20IEEE1.pdf?sequence=1>) de la Universidad de Málaga, pueden consultarse.

1. Artículos

Nombre o inicial del nombre los autores seguido del apellido, título del artículo entre comillas dobles, nombre de la revista en letras itálicas, volumen (vol.), número (no.), las páginas del artículo (pp) y finalmente mes (abreviado) y año. Ejemplos:

[1] I. Waller & R. Kapral, "Spatial and temporal structure in systems of coupled nonlinear oscillators", *Phys. Rev A*, vol. 30, no. 4, pp. 2047–2055, Oct. 1984.

[2] J. M. S. Nistal, "El tesoro CINDOC de topónimos", *REDIAL: revista europea de información y documentación sobre América Latina*, no. 1, pp. 105-126, 1992.

2. Libros

Nombre o inicial del nombre de los autores seguido del apellido, título del libro (en letras itálicas), seguido del número de la edición (abreviado). País y nombre de la editorial, mes y año de la publicación, capítulo y páginas (abreviadas). Ejemplos:

[3] M. A. Sanjuán & G.D.D.N. Lineal, *Caos, complejidad e interdisciplinariedad. Pensar como un economista*, (Homenaje al profesor Andrés Fernández Díaz). Madrid, DELTA Publicaciones, 2009.

[4] J. E. Match & J. M. Birch, *Guide to successful thesis and dissertation*, 4th Ed. New York: Marcel Dekker, 1987.

3. Internet

La World Wide Web nos provee una variedad de recursos que incluyen artículos de libros, revistas, periódicos, documentos de agencias privadas y gubernamentales, etc. Éstas referencias deben proveer al menos, el título del recurso, fecha de publicación o fecha de acceso, y la dirección (URL) del recurso en la Web. En la medida que sea posible, se debe proveer el autor del recurso. Ejemplos:

[5] Tao Pang (2006). *An Introduction to Computational Physics*, 2nd Edition [Online]. Disponible en <http://www.physics.unlv.edu/~pang/cp2.html>

[6] (2003, Sep.) *IEEE computer society press proceedings author guidelines* [Online]. Disponible en http://www.computer.org/portal/pages/cscps/cps/cps_forms.html

4. Hiperenlaces

Es recomendable, si los artículos o libros tienen Digital object identifier (doi) o dirección web, utilizar el paquete `hyperref` de \LaTeX para la realización de los hiperenlaces que aparecerán en la versión digital de la revista. Se recomienda revisar el documento *Como usar la clase de documento \LaTeX 'killkanaT.cls' de la revista Killkana Técnica* en la sección VIII. Por ejemplo:

[1] I. Waller & R. Kapral, "Spatial and temporal structure in systems of coupled nonlinear oscillators", *Phys. Rev. A*, vol. 30, no. 4, pp. 2047-2055, Oct. 1984.

Lo mismo se aplica para las citas electrónicas:

[6] (2003, Sep.) *IEEE computer society press proceedings author guidelines*. Disponible en http://www.computer.org/portal/pages/cscps/cps/cps_forms.html

IV. CITAS TEXTUALES

Generalmente en publicaciones de áreas técnicas y científicas no se cita textualmente. Sin embargo, en caso de cita textual en un párrafo, se debe colocar el mismo entre comillas dobles. \LaTeX crea comillas dobles empleando los símbolos `\`texto'`, lo que resulta en: "texto".

Cuando se cita textualmente una frase de más de 4 líneas, se debe escribir en un párrafo aparte, con una sangría adicional y entre comillas. En este caso \LaTeX dispone del entorno `quote` y `quotation`. El entorno `quote` se emplea para una cita de un sólo párrafo, en cambio `quotation` para citas de varios párrafos. Para mayor información revisar el manual *Cómo usar la clase de documento \LaTeX 'killkanaT.cls', de la revista Killkana Técnica* sección VI.D.

V. FIGURAS Y TABLAS

Figuras claras comunican las ideas más efectivamente que el texto, ya que nuestros cerebros procesan las imágenes mucho más rápido que las palabras.

Los títulos de las figuras deben estar bajo ellas, como pie. \LaTeX proporciona el entorno de elemento flotante `figure`

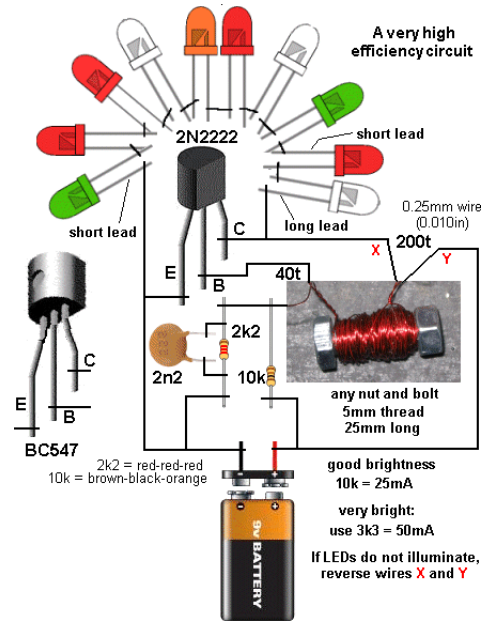


FIG. 1. Circuito de 10 leds con una batería de 9 V. Fuente <http://www.talkingelectronics.com>

TABLA I
FUNCIONES TRIGONÓMICAS PARA LOS ÁNGULOS NOTABLES

Ángulo	Seno	Coseno	Tangente
0°	0	1	0
30°	1/2	$\sqrt{3}/2$	$1/\sqrt{3}$
45°	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1
60°	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}$
90°	1	0	—

que contienen el comando `caption` encargado de colocar la leyenda de la figura y las enumera automáticamente. Emplee la palabra "Fig.", dentro del texto, para referirse a las figuras. La Fig. 1 representa un ejemplo de una figura en un artículo.

No emplee imágenes borrosas y de mala calidad, es preferible utilizar archivos en formato vectorial, en nuestro caso pdf.

Para las tablas en cambio el título debe estar antes de la misma, como encabezado. \LaTeX proporciona el entorno de elemento flotante `table`, que también posee el comando `caption`, como en el caso de `figure`. La tabla I muestra un ejemplo realizado en \LaTeX de este tipo de elemento flotante.

Evite colocar figuras y tablas antes de su primera mención en el texto, a no ser que resulte muy conveniente por necesidades de maquetación y siempre que la primera mención quede muy próxima a la figura o tabla referida y en la misma página. Emplee el comando `label` para etiquetar las figuras y tablas para una fácil referencia dentro del texto con `ref`.

Si la tabla es muy compleja para realizarla en \LaTeX ,

realícelas en otro editor de tablas o texto y transfórmelas en imágenes de alta calidad de resolución. Insértelas en el documento como imágenes pero utilice el entorno flotante `table` para que sea considerada como una tabla.

Evite repetir contenidos, si coloca una imagen sobre la gráfica de unas variables pertenecientes a una tabla, no coloque la tabla. Prefiera las gráficas a las tablas.

Se recomienda leer la sección VI.A del documento *Como usar la clase de documento L^AT_EX 'killkana.cls' de la revista Killkana Técnica* en relación a todo lo expuesto anteriormente.

VI. EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Todas las ecuaciones deben ir centradas y numeradas consecutivamente con números arábigos colocados entre paréntesis alineados a la derecha. Para esto se dispone principalmente del entorno de L^AT_EX `equation`, el cual enumera las ecuaciones automáticamente. La alineación de las ecuaciones y el formato de la numeración está controlado por la clase y el paquete `AMSMath`, por tanto, el autor puede utilizar todos los entornos de ecuaciones y definiciones proporcionadas por este paquete. A continuación un ejemplo de ecuación elaborada con el entorno `equation`:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}. \quad (1)$$

Las ecuaciones forman parte del texto del artículo y deben ser consideradas como una línea aparte en un párrafo, por lo tanto deben finalizar con algún signo de puntuación. Ejemplo:

La ecuación de la segunda ley de Newton tiene la forma:

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (2)$$

donde m representa la masa y d^2x/dt^2 la aceleración del cuerpo.

Observe en el ejemplo anterior la coma al final de la ecuación, así mismo la siguiente línea comienza en minúscula y sin sangría.

VII. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

Defina las abreviaturas y los acrónimos la primera vez que aparezcan en el texto. Las abreviaturas muy comunes como IEEE, MKSA, c.c., c.a., no deben definirse. No emplee abreviaturas en el título del artículo, ni en el resumen a no ser que sean inevitables y muy comunes.

Se recomienda no abusar del empleo de abreviaturas y acrónimos para no aumentar el esfuerzo de lectura requerido por el artículo. Es preferible reducir su uso a casos muy conocidos incluso por los no especialistas, como c.c. (por corriente continua), c.a. (por corriente alterna), etc. No importa que de ello se derive cierto alargamiento del artículo.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Esta sección es opcional. En este apartado se agradecen a las instituciones que colaboraron económicamente o con soporte de equipos, infraestructuras, etc. También se puede agradecer a personas que realizaron algún tipo de aportes a la investigación. El siguiente es un ejemplo de agradecimiento:

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Católica de Cuenca por el apoyo suministrado bajo el proyecto número XXX-X.

IX. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

Debido a que la revista posee su propia clase de documento en L^AT_EX, el autor no debe preocuparse del tipo de letra, el tamaño de la misma, los márgenes de la página, las fuentes y tamaño para títulos, secciones, sub-secciones, etc. Los autores sólo deben enfocarse en escribir su trabajo, llenando los apartados correspondientes en la plantilla `killkanaT_template.tex` suministrada.

X. ACUERDO DE ORIGINALIDAD

Al enviar un artículo a la revista KILLKANA TÉCNICA el autor confirma que el trabajo entregado es inédito y original, que el mismo no ha sido publicado anteriormente en forma impresa o electrónica. A su vez se compromete a no enviar ni publicar en ningún otro medio antes de conocer el resultado de la evaluación por parte de la revista.

XI. NOTA PARA LOS AUTORES

Para finalizar se debe mencionar que “la principal limitante para la difusión y aplicación de los resultados de las investigaciones es precisamente la falta de habilidades para la redacción de artículo científico” [3], sin embargo, una vez que el autor se inicia en la tarea de escribir y redactar trabajos de investigación, descubre que la estructura de un artículo científico es relativamente fácil, ya que se cumplen con reglas específicas y técnicas que simplifican la tarea.

REFERENCIAS

- [1] R. Hernández, C. Fernandez, y P. Baptista, P., *Metodología de la Investigación*, 6ta. Ed. México: Mc Graw Hill Education, 2014
- [2] H. L. Swinney (2005), *Tips on Writing Papers* (actualizado en julio de 2014). Documento pdf disponible en <http://chaos.utexas.edu/wp-uploads/2014/07/tips-on-writing.pdf>
- [3] A. M. Contreras, & R. J. Ochoa, *Manual de redacción científica*. México: Ediciones de La Noche, 2010.

Recibido: 20 Enero de 2017

Aceptado: 20 de Febrero de 2017

Nombre1 y Apellido1: Breve resumen curricular del autor 1, no debe exceder de cuatro líneas

Nombre2 y Apellido2: Breve resumen curricular del autor 2, no debe exceder de cuatro líneas. nombre_autor1@correo.com



Cómo usar la clase de documento L^AT_EX ‘killkanaT.cls’ de la revista Killkana Técnica

How to use the L^AT_EX documentclass ‘killkanaT.cls’ of the Killkana Técnica journal

O. Alvarez-Llamoza

Centro de Investigación de Ingeniería, Industria, Construcción y TIC
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca Ecuador
oalvarezll@ucacue.edu.ec

Resumen

Este artículo describe como usar la clase de L^AT_EX killkanaT.cls para producir documentos de alta calidad tipográfica, aptos para ser sometidos a la Revista Killkana Técnica de la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. Se proporciona al autor los conocimientos básicos para elaborar artículos empleando el sistema L^AT_EX y la clase suministrada. El propósito final es acelerar el proceso de edición y publicación en la revista facilitando las herramientas necesarias para producir artículos de excelente calidad.

Palabras clave: Artículo de investigación, clase de L^AT_EX, estilo, Killkana Técnica.

Abstract

This article describes how to use the killkana.cls’ LATEX type to produce high typesetting quality documents, suitable for submission to the Killkana Técnica Journal of “Universidad Católica de Cuenca”, Ecuador. The author is provided with the basic knowledge to write articles using the LATEX system and the given document type. The final purpose is to accelerate the publishing and editing process of the journal providing the necessary tools to produce articles of excellent quality.

Key words: Research article, L^AT_EX class, style, Killkana Técnica.

I. INTRODUCCIÓN

TENIENDO a disposición en su computadora el archivo de la clase `killkanaT.cls`, el de estilo `killkanaT.sty`, la plantilla `killkanaT_template.tex`, una distribución de L^AT_EX y conocimientos básicos sobre la edición de textos en dicho sistema, el autor puede crear artículos de investigación con una calidad profesional, de una forma rápida, cómoda, estructurada, y con un esfuerzo reducido en cuanto a la composición del estilo. El propósito principal de este documento es servir a los autores como manual de uso de la clase `killkanaT.cls`, en él se explican sus características y su comportamiento para la composición de artículos, de acuerdo a la normativa y el estilo establecido para la publicación en la revista KILLKANA TÉCNICA. Se recomienda leer la guía para la preparación de artículos *Instructivo para la preparación de manuscritos en la revista Killkana Técnica*, que se encuentra en un capítulo de éste ejemplar y en la página web de la revista <http://killkana.ucacue.edu.ec>, para las instrucciones, normas y como referencia en general para la

buen escritura de artículos de investigación.

Los archivos `killkanaT.cls` y `killkanaT.sty` se distribuyen a través de la licencia LPPL (L^AT_EXProject Public License) y pueden obtenerse de manera gratuita a través del contacto con el editor de la revista mediante el correo electrónico: killkana.editorial@ucacue.edu.ec o en la página web de la revista <http://killkana.ucacue.edu.ec>. Adicional a este documento también se distribuye el archivo `KillkanaT_template.tex`, con el propósito es servir como plantilla de documento, lista para su llenado y compilación.

Se asume que el lector de este artículo posee conocimientos básicos en el uso de L^AT_EX, se recomienda tener a mano la documentación que describa el funcionamiento básico de la composición de textos con este sistema. Libros como el de Borbón y Mora [1] y el de Tobias Oetiker [2] se pueden descargar libremente a través de la Internet.

Este artículo de información ha sido creado utilizando la clase `KillkanaT.cls` conjuntamente con el archivo de estilo `killkanaT.sty` y compilado con `pdflatex`. Dependiendo del sistema operativo se pueden emplear dis-

tintas distribuciones de L^AT_EX y editores, los cuales pueden descargarse de manera gratuita:

- Para Windows se recomienda el compilador de L^AT_EX MiKTeX que se puede descargar en la página <http://miktex.org/>. Para editar el documento puede utilizar TeXstudio (<http://www.texstudio.org/>) o Texmaker (<http://www.xmlmath.net/texmaker/>) entre otros.
- Para Mac OS se recomienda MacTeX (<https://tug.org/mactex/>), el cuál incluye el editor de L^AT_EX Tex Shop (<http://pages.uoregon.edu/koch/texshop/texshop.html>). También puede emplear como editor TeXstudio o Texmaker, los cuales también tienen instaladores para Mac.
- Para Linux instalar la distribución TeX Live (<https://www.tug.org/texlive/>) y como editor se puede emplear Kile (<http://kile.sourceforge.net/>) , TeXstudio y Texmaker.

Para someter un artículo de investigación al proceso de arbitraje de la revista el autor debe enviar al editor una carpeta del documento, con el archivo `.tex` (`killkanaT_template.tex` editado y con el nombre modificado) y las correspondientes figuras en los formatos adecuados para su inserción y compilación en `pdflatex`. El editor, en un lapso de tiempo acordado o el que la normativa lo sugieran, revisará el documento con el objeto de poder realizar correcciones de formato y editar las definiciones que corresponden al editor, descritas en la sección **XI**.

II. PAQUETES DE L^AT_EX REQUERIDOS

`killkanaT.cls` requiere el uso de varios paquetes de L^AT_EX, los cuales permiten hacer la composición de los artículos de una forma elegante y eficiente, puesto que están definidos para solucionar tareas específicas. Estos paquetes habitualmente se encuentran incluidos de forma estándar en las distribuciones básicas más conocidas de L^AT_EX, y si no, se debe conocer los procedimientos a seguir para la instalación de nuevos paquetes, en el caso de que la distribución en uso no contenga por defecto a alguno de ellos. Los siguientes paquetes, con las opciones entre corchetes, son requeridos para la compilación de los artículos de KILLKANA TÉCNICA: `Fancyhdr`, `Float`, `Babel[spanish,USenglish]`, `Inputenc[utf8]`, `AMSMath`, `Xcolor[pdftex,usenames,dvipsnames,svgnames,table]`, `Graphicx` y `Hyperref[draft,colorlinks]`. Los paquetes anteriores se encuentran especificados en el archivo de estilo `killkanaT.sty` proporcionado.

Si se requiere enviar opciones adicionales a los paquetes definidos se debe hacer uso del comando

```
\PassOptionsToPackage{<opciones>}
{<paquete>}
```

antes del comando `\begin{document}` que inicia el código fuente del documento del artículo (`archivo.tex`).

Adicionalmente, si requiere el uso de otro paquete para su artículo lo puede definir también en el preámbulo del documento antes señalado (`archivo.tex`) empleando el comando

```
\usepackage[opciones]{paquete}
```

III. OPCIONES PARA EL IDIOMA

La REVISTA KILLKANA TÉCNICA acepta trabajos en español y en inglés. El código de los documentos compuestos con L^AT_EX debe contener la definición del idioma del documento que se va a componer. Para esto se tiene el comando `\documentclass[<opciones>]{<clase>}`, que permite el envío de opciones a la clase y define el idioma del documento y cambian su comportamiento. La clase `killkanaT.cls` tiene sólo dos opciones: `spanish` (por omisión) y `english`, ambas corresponden al idioma que será utilizado por el paquete Babel como el idioma principal en que será construido el artículo.

A. Artículo en español: *spanish*

La siguiente es la opción por omisión para un artículo, no es necesaria su declaración: selecciona la opción `spanish` del paquete Babel empleando el comando `\selectlanguage{spanish}`.

```
\documentclass[spanish]{killkanaT}
```

B. Artículo en inglés: *english*

Esta opción se debe utilizar cuando el documento tiene como idioma principal el inglés: selecciona la opción `USenglish` del paquete Babel con el comando `\selectlanguage{USenglish}`. Así, se debe colocar:

```
\documentclass[english]{killkanaT}
```

El estilo `killkanaT.cls` se encarga de colocar correctamente los lenguajes en las leyendas del documento donde se cambia del lenguaje principal al otro; figuras, tablas, referencias, etc. Sin embargo es obligatorio la inclusión de títulos, resúmenes y palabras clave en idioma español e inglés. Sólo es necesaria la inclusión de una opción de idioma si va a escribir su trabajo en inglés.

IV. LA PRIMERA PÁGINA DEL ARTÍCULO

La primera parte del documento que corresponde a la página del título posee adicionalmente el nombre del autor, la institución de afiliación, el correo electrónico, el resumen y las palabras clave. Estos elementos deben ser construidos utilizando el comando estándar `maketitle` dentro del cuerpo del documento. Los elementos de la sección del título deben ser declarados antes del uso de este comando, estos elementos se definen a continuación.

A. Título

Un artículo debe contener un título principal en el idioma “principal” del documento (español), y un título en el idioma secundario (inglés). Para definir el título se dispone del comando:

```
\title[<corto>]{<principal>}{<secundario>}
```

Este comando define el título en el idioma principal del documento en el parámetro `principal`, el título del idioma secundario en el parámetro `secundario` y un título opcional (`corto`), visible en los encabezados de páginas impares del documento. En el parámetro opcional `corto`, utilizable sólo en caso de que el título principal sea muy largo y se desborde de la línea del encabezado. En tal caso, el autor debe utilizar el mismo título principal en el parámetro opcional `corto` interrumpido con tres puntos suspensivos (`\ldots`) donde crea conveniente.

Por defecto, el título principal debe ser en idioma español y el título secundario en inglés, lo contrario debe cumplirse cuando se utiliza la opción `english` en la declaración `documentclass` (sección III.).

B. Autor(es), afiliación(es) y correo autor principal

La declaración del nombre del autor, la institución y el correo en un artículo se hacen con los comandos:

```
\author{<autor>}
\affiliation{<institución>}
\email{<correo electrónico>}
```

El nombre del autor sigue la normas del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). En los campos requeridos se debe colocar lo siguiente:

- Identificación del autor: Nombre y Apellido.
- La afiliación que debe escribirse de forma ascendente respecto a la importancia del organismo que se mencione. Se debe introducir saltos de línea (`\\`) para controlar la forma de la afiliación, se recomienda el uso de una línea para la afiliación académica en sí y otra contigua para su lugar de origen.
- El correo electrónico del autor o en el caso de varios autores, sólo del autor principal.

Así, llenando los campos indicados se tiene el ejemplo:

```
\author{Isaac Newton}
\affiliation{Departamento de Física,
Universidad de Cambridge\\
Cambridg CB2 1TN, Reino Unido}
\email{inewton@ocambridge.edu.euk}
```

Lo cual produce:

Isaac Newton
Departamento de Física, Universidad de Cambridge
Cambridg CB2 1TN, Reino Unido
inewton@ucambridge.edu.uk

Para varios autores los nombres se deben separar por comas y de ser necesario colocar sólo la inicial de los nombres. Si se tienen afiliaciones diferentes para los distintos autores, éstas deben estar definidas dentro del comando `affiliation` seguida una de otra y precedidas en su

primera línea de una numeración, para lo que se dispone del comando `\affil{<Z>}`, dónde `Z` es un número natural arábigo. Este comando debe colocarse a su vez luego del nombre de cada autor al que le corresponda la afiliación en el comando `author`.

Si se tiene más de un autor se debe incluir antes de la dirección de correo electrónico y luego del nombre del autor principal el símbolo “*” que indica la correspondencia entre el autor y su correo electrónico. A pesar de que se asume que el autor principal es el primero a quien se le hace mención, sin embargo puede modificarse el orden. Un ejemplo completo de un apartado de autores en la página de título se muestra como sigue:

```
\author{I. Newton\affil{1}*,
E. Halley\affil{2} \& G. Leibniz\affil{3}}
\affiliation{
\affil{1}Departamento de Física,
Universidad de Cambridge\\
Cambridg CB2 1TN, Reino Unido\\
\affil{2}
Grupo de Astronomía, Universidad de Oxford\\
Oxford, Reino Unido \\
\affil{3} Departamento de Matemáticas,
Universidad de Altdorf\\
Altdorf bei Nurnberg, Nuremberg, Alemania
}
\email{*inewton@ocambridge.edu.euk}
```

Lo cual produce:

I. Newton¹*, E. Halley² & G. Leibniz³
¹Departamento de Física, Universidad de Cambridge
Cambridg CB2 1TN, Reino Unido
²Grupo de Astronomía, Universidad de Oxford
Oxford, Reino Unido
³Departamento de Matemáticas, Universidad de Altdorf
Altdorf bei Nurnberg, Nuremberg, Alemania
*inewton@ucambridge.edu.uk

Si se requiere asignar dos afiliaciones a un autor, se separan los números correspondientes con un guion en el comando `affil`, por ejemplo: `\affil{1-3}`.

El autor obligatoriamente debe seguir el formato aquí descrito con el objeto de mantener consistencia en toda la forma de la publicación. Los elementos antes descritos deben ser colocados antes del cuerpo del documento (`\begin{document}`) en el preámbulo del mismo.

V. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Para este elemento de la página de título se dispone del comando `\spanishabstract{<resumen>}` para el resumen en español y `\englishabstract{<abstract>}` para el resumen en inglés, estos comandos deben ser declarados luego del inicio del cuerpo del documento (`\begin{document}`) y necesariamente antes del comando `maketitle`. El resumen debe tener un máximo de doscientas cincuenta (250) palabras para todos artículos. Revisar el documento *Instructivo para la preparación de manuscritos en la revista Killkana Técnica*, sección III.B, para mayor información.

Para las palabras clave el autor debe definir de tres (3) a seis (6) palabras relacionadas con la naturaleza del artículo. Los comandos `\spanishkeywords{<palabras>}` para las palabras clave en español y `\englishkeywords{<words>}` para las palabras clave en inglés. En los argumentos de ambos comandos se debe colocar las palabras clave separadas por comas y sin el punto al final. Así tenemos el ejemplo:

```
\spanishabstract{Éste es un ejemplo de
resumen en español...}

\spanishkeywords{primera, segunda, tercera}

\englishabstract{This is an example of
abstract in english...}

\englishkeywords{first, second, third}
```

Lo cual produce:

Resumen

Éste es un ejemplo de resumen en español...

Palabras clave: primera, segunda, tercera.

Abstract

This is an example of abstract in english...

Key words: first, second, third.

VI. CUERPO DEL ARTÍCULO

La creación de los apartados en los artículos creados con esta clase se realiza igual que la forma estándar de \LaTeX . Se dispone de comandos para los títulos de las secciones, sub-secciones y sub-sub-secciones que requieran para componer el trabajo. La aplicación de comandos para estas divisiones del documento es de la forma:

```
\section{Título de la sección}
Contenido de la sección ...

\subsection{Título de la subsección}
Contenido de la sub-sección ...

\subsubsection{Título de la subsection}
Contenido de la sub-sub-section ...
```

Lo cual resulta:

I. TÍTULO DE LA SECCIÓN

Contenido de la sección ...

A. Título de la sub-sección

Contenido de la sub-sección ...

2. Título de la sub-sub-sección

Contenido de la sub-sub-sección ...

A. Elementos flotantes

`killkanaT.cls` emplea el paquete `Float` que permite un mejor control sobre el posicionamiento de los elementos flotantes. Se identifican como elementos flotantes a las ecuaciones, las figuras y las tablas, porque son

componentes del documento que se posicionan fuera de los párrafos, como si estuvieran “flotando” sobre la página.

1. Ecuaciones

Todas las ecuaciones deben ir enumeradas consecutivamente con números arábigos colocados entre paréntesis alineados a la derecha. Para esto \LaTeX dispone principalmente del entorno `equation`. La alineación de las ecuaciones, la numeración y su formato está controlado automáticamente por la clase y el paquete `AMSMath`, lo que brinda al autor todos los entornos de ecuaciones y definiciones proporcionadas por este paquete.

A continuación el ejemplo de ecuación o fórmula en código \LaTeX :

```
\begin{equation}
\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x})^2}{N-1}}
\label{desv-est}
\end{equation}
```

Lo cual produce la ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}. \quad (1)$$

El autor debe tener en cuenta que en el código no debe haber salto de línea, o una línea en blanco, entre el entorno matemático y el párrafo que lo precede, de lo contrario ocurrirá que en el documento compilado aparezca un espacio mayor antes de la ecuación que después de ella.

Si al final de la ecuación va una coma, significa que la siguiente línea no tiene sangría y esto se logra no dejando espacio entre la ecuación y el siguiente párrafo. Recuerde que una ecuación es parte del texto y debe finalizar con algún signo de puntuación. Revisar el documento *Instructivo para la preparación de manuscritos en la revista Killkana Técnica*, sección IV.

Si una ecuación es muy larga, se puede hacer uso de entornos como `multline` del paquete `AMSMath` u otros entornos que permitan la manipulación adecuada de una ecuación en distintas líneas.

Finalmente el comando `\label{<etiqueta>}` sirve para identificar la ecuación y referenciarla mediante el comando `\ref{<etiqueta>}` en alguna parte del artículo. Por ejemplo, tomando la etiqueta dada a la ecuación anterior tenemos:

```
La ecuación (\ref{desv-est}) es la desviación
estándar ...
```

Lo que produce:

La ecuación (1) es la desviación estándar ...

2. Tablas

\LaTeX dispone para la inclusión de tablas del entorno para elementos flotantes `table` y del de construcción de tablas `tabular`.

```
\begin{table}[<posición>
\centering
\caption{Esta tabla muestra algunos datos.}
\begin{tabular}{|l|}
... Contenido tabla ...
\end{tabular}
\label{<etiqueta>}
\end{table}
```

donde las opciones de “posición” son: h (here) aquí, t (top) arriba de la columna, b (bottom) al final de la columna, y p (page) página completa.

El comando `caption` se ubica antes del entorno `tabular`, porque el estilo establece colocar la leyenda de la tabla antes de la tabla misma. Por ejemplo:

```
\begin{table}[h]
\centering
\caption{Funciones seno y coseno para los ángulos notables}
\begin{tabular}{c|c|c}
Angulo & Seno & Coseno & \\
\hline
0\degree & $0$ & $1$ & \\
30\degree & $1/2$ & $\sqrt{3}/2$ & \\
45\degree & $\sqrt{2}/2$ & $\sqrt{2}/2$ & \\
60\degree & $\sqrt{3}/2$ & $1/2$ & \\
90\degree & $1$ & $0$ & \\
\end{tabular}
\label{funciones}
\end{table}
```

Lo anterior da como resultado:

Ángulo	Seno	Coseno
0°	0	1
30°	1/2	$\sqrt{3}/2$
45°	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$
60°	$\sqrt{3}/2$	1/2
90°	1	0

Si la tabla fue realizada con otro software, se puede exportar como una figura y ser insertada con el comando `includegraphics`, como se verá en la siguiente subsección.

3. Figuras

Las fotografías, diagramas, y gráficos en KILLKANA TÉCNICA se colocan empleando el entorno de flotantes `figure` y el comando de inserción de gráficos `includegraphics` de \LaTeX . Éste último forma parte del paquete `graphicx`, ya incluido en el archivo de estilo `killkanaT.sty`.

Para las imágenes a insertar se recomienda emplear formato de archivo vectorial, en nuestro caso formato `pdf`. No obstante, formatos como `jpeg` y `png` son efectivamente compilados por `pdflatex`, con los cuales la calidad de impresión es buena, pero las imágenes en el documento digital en algunos casos pueden carecer de nitidez, sobre todo cuando se amplían. Para la edición en línea de la revista se aceptan figuras a colores, sin embargo, se debe considerar que para la versión impresa todas las figuras deben tener

una coloración en escala de grises, bien contrastadas. Un ejemplo de inclusión de figura es el siguiente:

```
\begin{figure}[h]
\centering
\includegraphics[scale=0.45]{leds}
\caption{Circuito de 10 leds con una batería de 9 V. Fuente
\url{http://www.talkingelectronics.com}}
\label{fig:leds}
\end{figure}
```

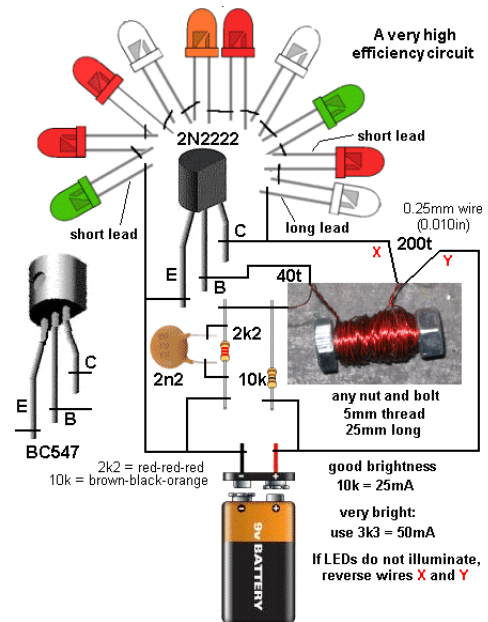


FIG. 1. Circuito de 10 leds con una batería de 9 V. Fuente <http://www.talkingelectronics.com>

La versión de la fotografía 1 para la edición impresa da como resultado la Fig. 2, que se muestra en la siguiente página.

El comando `url` utilizado en el `caption` de la figura se emplea para realizar enlaces con páginas web, revisar la sección VIII.

4. Tablas insertadas como figuras

Dependiendo del caso, el autor puede tener ya elaborada una tabla con otro entorno informático, en tal caso puede exportarla como imagen y adjuntarla empleando el entorno `table`, pero insertándola como imagen utilizando el comando `includegraphics`. Ejemplo:

```
\begin{table}[h]
\centering
\caption{Prefijo para múltiplos de bits o bytes.}
\includegraphics[scale=0.45]{tabla-pref.png}
\label{prefijos}
\end{table}
```

Lo que resulta después de compilado la tabla I de la siguiente página.

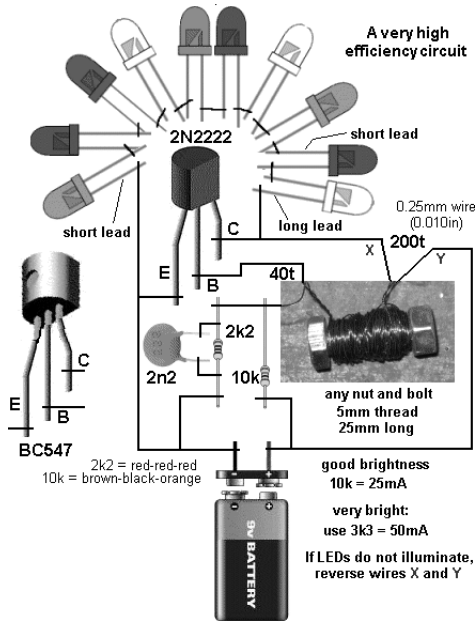


FIG. 2. Circuito de 10 leds con una batería de 9 V. Fuente <http://www.talkingelectronics.com>

TABLA I
PREFIJO PARA MÚLTIPLOS DE BITS O BYTES.

Decimal		Binary		
Value	SI	Value	IEC	JEDEC
1000	k kilo	1024	Ki kibi	K kilo
1000 ²	M mega	1024 ²	Mi mebi	M mega
1000 ³	G giga	1024 ³	Gi gibi	G giga
1000 ⁴	T tera	1024 ⁴	Ti tebi	-
1000 ⁵	P peta	1024 ⁵	Pi pebi	-
1000 ⁶	E exa	1024 ⁶	Ei exbi	-
1000 ⁷	Z zetta	1024 ⁷	Zi zebi	-
1000 ⁸	Y yotta	1024 ⁸	Yi yobi	-

5. Flotantes que abarcan 2 columnas

En caso de que se requiera la inclusión de figuras y tablas que deban ocupar el espacio correspondiente a las dos columnas en que está estructurado el texto, se puede hacer uso de los entornos de \LaTeX `figure*` y `table*`. Éstos entornos tienen ciertas limitantes y carecen de una completa libertad de posicionamiento, por tanto hay que tener en cuenta que por omisión los elementos serán colocados una página después de donde son llamados y en la parte superior de la misma. Se puede hacer uso del paquete `dblfloatfix` para extender las prestaciones de \LaTeX y brindar estabilidad en el manejo de elementos flotantes en este caso, también el uso de este paquete permite la

colocación de elementos en la parte inferior de la página (opción 'b') y la inserción de elementos simultáneos. Si se requiere que una ecuación ocupe las dos columnas se puede hacer uso del entorno `equation`, u otro entorno matemático, dentro de un entorno `figure*` o `table*`.

B. Entornos de listas

Para la creación de listas se utilizan los entornos \LaTeX : `enumerate`, `itemize` y `description`. Ejemplo:

```
\begin{itemize}
  \item Triángulo equilátero. Posee tres lados iguales y tres ángulos iguales de 60\degree.
  \item Triángulo isósceles. Posee dos lados y dos ángulos iguales.
  \item Triángulo escaleno. No hay lados ni ángulos iguales.
\end{itemize}
```

- Lo cual resulta en la lista:
- Triángulo equilátero. Posee tres lados iguales y tres ángulos iguales de 60°.
 - Triángulo isósceles. Posee dos lados y dos ángulos iguales.
 - Triángulo escaleno. No hay lados ni ángulos iguales.

Con `enumerate` se obtendría una lista numerada.

C. Notas al pie de página

Para agregar notas al pie de página el autor debe utilizar el comando de \LaTeX `\footnote{<nota>}`, el cual las numera automáticamente y las coloca al final de la columna. Ejemplo:

```
En matemáticas los cuaterniones\footnote{Los cuaterniones fueron descritos por primera vez por el físico y matemático irlandés William Rowan Hamilton en 1843.} son un sistema de números que extienden a los números complejo.
```

Lo que resulta:

- En matemáticas los cuaterniones^a son un sistema de números que extienden a los números complejo.
- ^aLos cuaterniones fueron descritos por primera vez por el físico y matemático irlandés William Rowan Hamilton en 1843.

D. Citas textuales

Generalmente en publicaciones de áreas técnicas y científicas no se cita textualmente. Sin embargo, en caso de cita textual en un párrafo, se debe colocar el mismo entre comillas dobles. \LaTeX crea comillas dobles empleando los símbolos ```texto''`, lo que resulta en: "texto".

Cuando se cita textualmente una frase de más de 4 líneas, se debe escribir en un párrafo aparte, con una sangría adicional y entre comillas. En este caso se dispone del entorno `quote` y `quotation`. El entorno `quote` se emplea para una cita de un sólo párrafo, en cambio `quotation` para citas de varios párrafos. Como ejemplo de uso del entorno `quote`, empleando la referencia definida anteriormente, se tiene:

```
\begin{quote}
''Un planteamiento cualitativo es como
''ingresar a un laberinto''. Sabemos dónde
comenzamos, pero no dónde habremos de terminar.
Entramos con convicción, pero sin un mapa
detallado, preciso. Y de algo tenemos certeza:
deberemos mantener la mente abierta y estar
preparados para improvisar''
\cite{Hernandez2014}
\end{quote}
```

Lo que resulta

“Un planteamiento cualitativo es como “ingresar a un laberinto”. Sabemos dónde comenzamos, pero no dónde habremos de terminar. Entramos con convicción, pero sin un mapa detallado, preciso. Y de algo tenemos certeza: deberemos mantener la mente abierta y estar preparados para improvisar”
[1]

Nota: en el ejemplo anterior se ha omitido la caja coloreada que caracteriza en este documento a los productos obtenidos después de la compilación, para que el autor aprecie directamente el resultado del entorno `quote` en un documento.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las referencias bibliográficas deben aparecer en una sección al final del artículo y deben estar enumeradas según el orden de aparición en el documento y siguiendo las normas del IEEE. Los elementos que las conforman y el orden depende del tipo de documento. Por ejemplo para artículos tenemos:

- 1) Iniciales y Apellido del autor.
- 2) “Título del artículo entre comillas”.
- 3) *Título abreviado de la revista en letra cursiva.*
- 4) Volumen abreviado vol.
- 5) Número abreviado no.
- 6) Páginas abreviado pp.
- 7) Mes, año.

En caso de sitios Web: Iniciales y apellidos del autor (si lo tuviere). (año, mes, día). Título [Tipo de soporte / medio]. Volumen (número) (si lo tuviere). Disponible en : <http://...>

En la Internet se encuentra suficiente información sobre el estilo del IEEE, documentos en pdf como [Estilo de Referencias IEEE](#) de la Facultad de Derecho de la UNAM o el [FORMATO IEEE: Estilo y referencias bibliográficas](#) de la Universidad de Málaga, pueden consultarse.

A. Forma manual

La lista de referencias y la citas bibliográficas se pueden realizar de forma manual con el empleo del entorno `thebibliography`. El entorno `thebibliography` se coloca al final del documento y antes de `\end{document}`:

```
\begin{thebibliography}{9}
\bibitem{etiqueta1} Contenido de la referencia
\bibitem{etiqueta2} Contenido de la referencia
\end{thebibliography}
```

El elemento dentro de las llaves “{ }” corresponde a la etiqueta que permite ejecutar el comando para la cita. Por ejemplo:

```
\bibitem{Hernandez2014} R. Hernández, C.
Fernandez, y P. Baptista, {\it Metodología
de la Investigació}, 6ta. Ed. México:
Editorial Mc Graw Hill Education, 2014.
```

Lo cual da como resultado en la sección “Referencias”:

[1] R. Hernández, C. Fernandez, y P. Baptista, *Metodología de la Investigació*, 6ta. Ed. México: Editorial Mc Graw Hill Education, 2014.

La etiqueta de la referencia se utiliza para realizar la cita bibliográfica en el texto. El autor debe utilizar el comando `\cite{<etiqueta>}` propio de \LaTeX , el cual numera automáticamente según el orden escrito en `thebibliography` a las referencias. Así, siguiendo el ejemplo anterior, se citaría en un párrafo de la siguiente forma:

```
De la metodología para realizar un trabajo de
investigación \cite{Hernandez2014} se puede
concluir...
```

Dando como resultado:

De la metodología para realizar un trabajo de investigación [1] se puede concluir...

B. Con BibTeX

Se puede utilizar BibTEX para componer la lista de referencias, para lo cual se necesita un archivo de bases bibliográficas `.bib` y especificar el estilo. Ésta información se debe colocar al final del documento, en lugar del entorno `thebibliography` y antes de `\end{document}`, empleando los comandos:

```
\bibliography{<file>}
\bibliographystyle{<style>}
```

donde el argumento `file` es el nombre del archivo `.bib` de la base bibliográfica (no escribirlo con la terminación `.bib`) y `style` es el estilo para las referencias, en el caso de KILLKANA TÉCNICA colocamos `ieeetr`. Al compilar se generará un archivo con terminación `.bbl`, el cuál guarda la información de las citas tal como si las hubiéramos escrito manualmente dentro del entorno `thebibliography`.

Al finalizar el documento el autor debe cambiar de nombre del archivo `.bbl`, por ejemplo llamarlo `Referencias.tex`. Por último sustituir los comandos `bibliography` y `bibliographystyle` por `\input{Referencias}`. El archivo de referencias (en el ejemplo `Referencias.tex`), conjuntamente con su archivo de artículo `.tex` y las figuras se deben enviar al editor de la revista. No envíe su base de datos bibliográfica (archivo `.bib`).

VIII. HIPERENLACES

Es recomendable, si los artículos o libros tienen Digital object identifier (doi) o dirección web, uti-

lizar el paquete `hyperref` de \LaTeX para la realización de los hiperenlaces que aparecerán en la versión digital de la revista. El paquete `hyperref` está incluido en el archivo de estilo `killkanaT.sty`: `\usepackage[colorlinks]{hyperref}`. La opción `colorlinks` crea enlaces a color de las ecuaciones, figuras citas, páginas web, correos electrónicos, etc. Otra opción importante es `draft`, la cual inhabilita los hiperenlaces, lo cual es útil para la versión impresa.

`hyperref` crea automáticamente los enlaces a ecuaciones, figuras y citas dentro del documento, sin embargo para enlaces con el navegador a las páginas web y correos electrónicos se debe especificar su dirección en la Internet. Dentro del documento se tienen las siguientes opciones del uso de `hyperref`:

```
\url{<dirección de página web>}
\href{<dirección de página web>}{<texto que aparece en el documento>}
\href{mailto:<correo electrónico>}{<texto que aparece en el documento>}
```

Empleando el comando `url` anterior con el argumento requerido se un ejemplo de enlace para una página web en las referencias:

```
\bibitem{Oetiker2014} Tobias Oetiker. (2014). {\it A short introduction to \LaTeX2e} [online] (versión en español). Disponible en \url{https://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort}.
```

Con lo cual se obtiene en las referencias:

[2] Tobias Oetiker (2014). *A short introduction to $\text{\LaTeX}2e$* [online] (versión en español). Disponible en <https://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort/>.

Empleando el comando `href` y con los argumentos requeridos se da un ejemplo de enlace para un artículo:

```
\bibitem{Alvarez2008} O. Alvarez-Llamoza y M. G. Cosenza, "Generalized synchronization of chaos in autonomous systems", \href{http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.78.046216}{{\it Phys. Rev. E}}, vol. 78, no 4, pp. 046216, Oct. 2008}.
```

Con lo cual se obtiene en las referencias:

[3] O. Alvarez-Llamoza y M. G. Cosenza, "Generalized synchronization of chaos in autonomous systems", *Phys. Rev. E*, vol. 78, no 4, pp. 046216, Oct. 2008.

IX. BIBLIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

El documento debe contener una pequeña biografía de los autores, no más de cuatro líneas en letra cursiva, del autor o autores ubicada al final del texto del documento. La biografía de un autor debe contener al principio (sin sangría) el nombre del autor en negrita, en la forma Nombre Apellido, seguido por la breve descripción de su experiencia académica y/o profesional, de un máximo de 4 líneas. En caso de no ser el autor principal debe culminar con su dirección de correo electrónico.

La clase `killkanaT.cls` dispone del comando `\biography{<lista-biografías>}`, que debe ser declarado en el preámbulo del documento, para construir la biografía al final del texto del documento. El argumento corresponde a la biografía del o los autores, con el formato descrito anteriormente, donde para cada autor corresponde un párrafo específico. Dentro de `biography` se dispone del comando `\name{<Nombre Apellido>}{<biografía>}`, para definir la biografía de cada autor. De esta manera, una biografía puede declararse de la siguiente forma:

```
\biography{
\name{Pedro Pérez Ceráz} Ing. eléctrico con maestría en Energía. Profesor de la Universidad del Sur con más de 10 años de experiencia. Realiza investigaciones de generación eléctrica en sistemas híbridos.

\name{Ana Lisa Paredes}{Ing. Civil con PhD en Construcciones Industriales. Profesora de la Universidad del Norte con 6 años de experiencia docente y de investigación, Correo electrónico: anparedes@udelnorte.edu.zn}
}
```

Lo que genera al final del artículo:

Pedro Pérez Ceráz: *Ing. eléctrico con maestría en Energía. Profesor de la Universidad del Sur con más de 10 años de experiencia. Realiza investigaciones de generación eléctrica en sistemas híbridos.*

Ana Lisa Paredes: *Ing. Civil con PhD en Construcciones Industriales. Profesora de la Universidad del Norte con 6 años de experiencia docente y de investigación. Correo electrónico: anparedes@udelnorte.edu.zn*

X. ENCABEZADOS Y PIE DE PÁGINA

Los encabezados y pie de página varían según la página (impar o par). Entre los elementos que constituyen los encabezados el autor sólo necesita tener control sobre el nombre del autor o de los autores en las páginas pares y del título en las páginas impares. Para el primero se dispone del comando `\shortauthors{<nombre>}`, con el fin de definir el nombre del autor o los autores en los encabezados de las páginas pares. Debe escribirse de la forma: { Nombre Apellido } para un solo autor, { Apellido1 y Apellido2 } para 2 autores y, en el caso de haber más de un autor se escribe el apellido del autor principal seguido de las palabras "et al.", que significa "y otros".

Como se había mencionado anteriormente (sección IV.A.) el título corto se definirá como parámetro adicional del comando `title` para las páginas impares.

En la siguiente sección se describe el uso de comandos para el editor que permiten definir los otros elementos del encabezado.

XI. COMANDOS PARA EL EDITOR

En el preámbulo del documento se encuentran comentarios varios comandos que son para ser llenados por el editor, en ellos se especifica información sobre la revista

y el artículo recibido. Los comandos del editor proveen información sobre el tipo de artículo; volumen, número, año y meses correspondientes al ejemplar de la revista; ISSN impreso y electrónico de la revista; página inicial del artículo; y finalmente la fecha de recepción y fecha de aceptación del artículo.

XII. BALANCE DE COLUMNAS EN LA ÚLTIMA PÁGINA

La última página del documento debe tener un balance entre las columnas, de forma que la columna de la izquierda no sea más larga que la de la derecha o por lo menos no lo suficiente como para que se vea una página desequilibrada. Para esto el autor o el editor pueden controlar la longitud de ambas columnas añadiendo un salto manual en la columna de la izquierda donde lo vea necesario.

Para hacer el balance de forma manual se recomienda el uso del comando definido en la clase: `\columnbreak`, que obliga a un salto de columna, si dicho salto debe hacerse dentro de una línea de un párrafo. A su vez se puede utilizar el comando `\newpage` en caso de que se haga el

salto de columna justo al terminar un párrafo.

XIII. PÁGINA PAR AL FINAL DEL DOCUMENTO

La clase `killkanaT.cls` agrega una página en blanco al final del documento si éste termina en una página impar, esto con la finalidad de favorecer la composición del número de la revista impresa, que es una compilación de los artículos aceptados y en los cuales todos deben comenzar desde una página impar.

REFERENCIAS

- [1] A. Borbón & W. Mora (2014), *Edición de textos científicos L^AT_EX 2014* [online], Libro de la Revista digital Matemática, Educación e Internet, Instituto tecnológico de Costa Rica. Disponible en <http://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/Libros/index.htm>
- [2] Tobias Oetiker. (2014). *A short introduction to L^AT_EX 2_ε* [online] (versión en español). Disponible en <https://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort/>.

Orlando Alvarez-Llamoza: *PhD. en Física Fundamental con 19 años de experiencia universitaria. Realiza investigaciones computacionales y teóricas en sistemas complejos, dinámica no lineal, física estadística, y aplicaciones interdisciplinarias.*

Sistema y proceso de arbitraje de la revista Killkana Técnica

System and process of refereeing in the Killkana Técnica journal

Consejo editorial - Revista Killkana Técnica
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca Ecuador
killkana.editorial@ucacue.edu.ec

Resumen

La publicación de trabajos científicos en la revista Killkana Técnica se lleva a cabo a través del proceso de evaluación de dos revisores o pares ciegos, donde la identidad de los evaluadores y de los autores no son reveladas a ninguna de las partes. Este proceso colaborativo permite que los artículos recibidos sean valorados y comentados por expertos independientes a la institución, garantizando que los trabajos cumplan con un mínimo número de parámetros de calidad exigidos a nivel internacional. Adicionalmente se indican los factores que pueden influir en el tiempo del proceso de revisión y aceptación de un artículo.

Palabras clave: Proceso de publicación, revisión de pares ciegos, evaluadores, tiempo de espera.

Abstract

The publication of scientific papers in Killkana Técnica Journal is carried out through the evaluation process of two reviewers or blind peers, where the evaluators and the authors' identities are not exposed to any of the parties. This collaborative process allows the articles received to be evaluated and commented by experts who are independent to the institution, making sure that the research works comply with a minimum number of quality parameters required at the international level. Additionally, the factors that may influence the time of the review process and acceptance of the article are stated.

Key words: Publication processes, .

La aceptación de trabajos en la revista Killkana Técnica se lleva a cabo a través de la revisión de pares, también conocidos como referís. Éste proceso colaborativo permite que los manuscritos enviados a las revistas sean evaluados y comentados por expertos independientes a la institución, dentro de la misma área de investigación. La evaluación y crítica realizada por los pares evaluadores genera una retroalimentación para que el autor mejore y afine su trabajo, a la vez que permite al editor y/o equipo editorial valorar la calidad del artículo para ser publicado en la revista.

La revisión de trabajos realizado por pares expertos es un proceso formal y explícito para comunicaciones científicas, y se emplea desde las primeras revistas científicas aparecidas hace más de trescientos años.

El proceso de revisión de la revista Killkana Técnica es el de dos revisores o pares ciegos: la identidad de los referís y de los autores no son reveladas a ninguna de las partes.

I. BENEFICIOS DE LA REVISIÓN POR PARES

- El autor recibe una detallada y constructiva retroalimentación de parte de expertos en el área.
- El proceso puede alertar a los autores de errores o vacíos en la literatura que se pudieron haber omitir.
- Puede ayudar a que el artículo sea más accesible a los lectores de las revistas.

- Podría propiciar una discusión constructiva entre el autor, el referí y el editor, acerca de un campo o tópico científico.

II. LABOR DEL EDITOR O EQUIPO EDITORIAL

El equipo editorial, al que se denomina también “Editor”, está conformado por los Coordinadores de los Centros de Investigación de la Universidad Católica de Cuenca, el cual tiene las responsabilidades descritas a continuación:

- El editor considerará si un trabajo es lo suficientemente bueno para enviarlo o no a los pares evaluadores. En tal sentido debe revisar que el artículo se ajusta a objetivos y alcance, directrices y las instrucciones dadas a los autores de las revistas. Adicionalmente debe asegurarse que el contenido del manuscrito representa una contribución seria y significativa al campo del conocimiento.
- Los artículos pueden ser rechazados sin revisión de los referís a discreción del editor. Si el mismo es conveniente, el manuscrito se enviará para su revisión por pares.
- El editor tomará la decisión de aceptar el artículo basada en los comentarios recibidos por los referís.
- La decisión del editor es definitiva e inapelable.

La figura 1 muestra el proceso de revisión de pares evaluadores empleado por la revista Killkana Técnica.

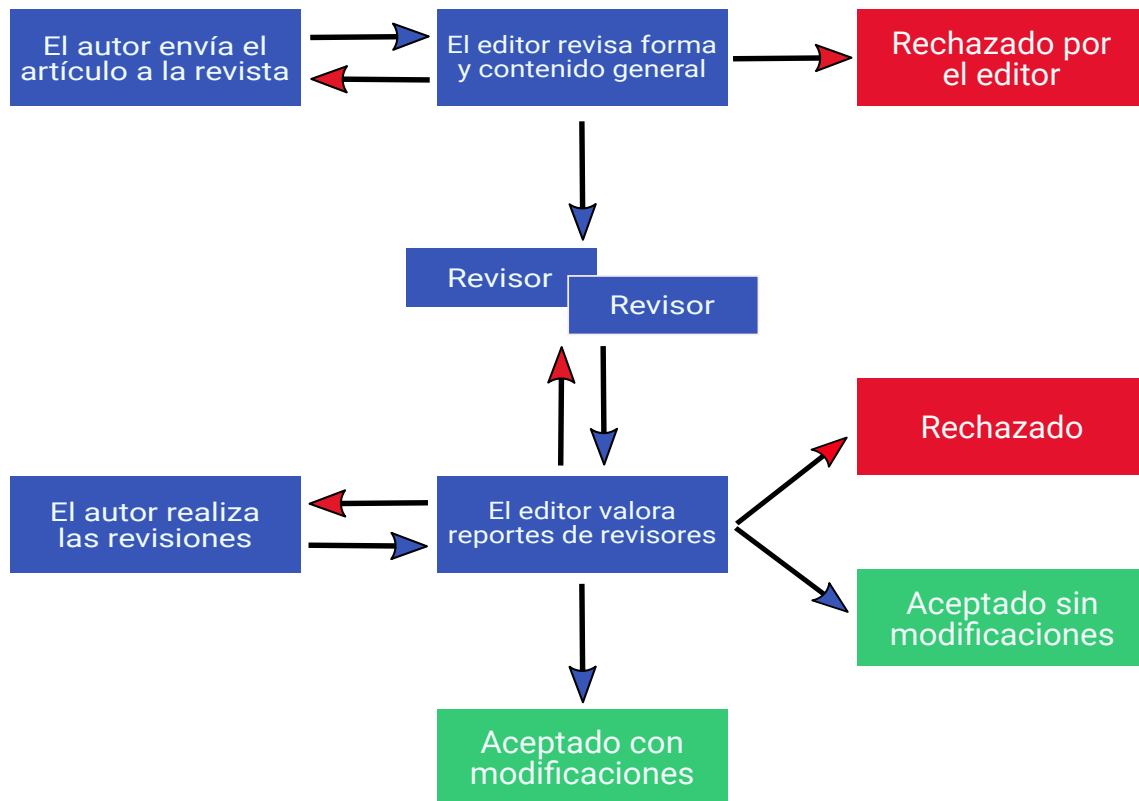


FIG. 1. Diagrama del proceso de revisión de pares evaluadores de las revistas Killkana Técnica.

Hay que aclarar, que luego de que el artículo ha sido aceptado, será sometido a una revisión de estilo, donde se darán los toques finales respecto a la redacción, resumen en idioma inglés, etc.

III. QUIENES SE CONSIDERAN PARA SER PARES EVALUADORES

Los pares evaluadores son investigadores académicos y profesionales, que trabajan en el campo de conocimientos del artículo. Están familiarizados con la literatura científica y tienen contribuciones y/o artículos en el área. Tales expertos no pertenecen a la Universidad Católica de Cuenca.

Los referís ofrecen su tiempo y experiencia de forma voluntaria para mejorar la calidad de los artículos de las revistas y alentar nuevas investigaciones en sus respectivas áreas del conocimiento.

IV. OBJETIVOS DE LOS PARES EVALUADORES

El editor conjuntamente con los pares evaluadores deben asegurar en la medida de lo posible que los trabajos tengan las siguientes características:

- El artículo es un trabajo original, el cual no ha sido publicado previamente ni está en consideración de otra revista, total o parcialmente.

- El manuscrito tiene los estándares de ética.
- El artículo es relevante para los propósitos, alcance y lectores de la revista.
- El trabajo representa resultados originales.
- El manuscrito de revisión enviado ofrece un estudio amplio, completo y crítico, y evalúa la fuentes claves de literatura para un tópico específico.
- El artículo es metodológica y técnicamente bueno.

V. TIEMPOS EN EL PROCESO DE ACEPTACIÓN

La revisión por pares es un proceso riguroso, que demanda su debido tiempo y atención. Entre los factores que pueden influir en el tiempo de respuesta de un trabajo se pueden considerar:

- Los manuscritos son revisados en primera instancia por algunos miembros del equipo editorial.
- En la fase de la revisión por pares, la demora ocurre inevitablemente cuando los referís están ocupados. Como expertos en el área y miembros de instituciones de educación e investigación superior, su tiempo es compartido con otras actividades.
- Las revistas pueden tener un gran número de sumisiones de trabajos.

- El equipo editorial de las revistas Killkana trabaja para asegurar que el proceso de revisión por pares sea riguroso y a tiempo. Los tiempos de espera pueden variar dependiendo de la revista, el campo de investigación, etc.

