

DIRECTIVOS

Fray Orlando Rueda Acevedo, O.P.
Rector
Fray Guillermo León Villa Hincapié O.P.
Vicerrector Académico
Fray Guillermo León Villa Hincapié O.P.
Decano División de Ingenierías y Arquitectura
Fray José Rodrigo Arias Duque O.P.
Vicerrector Administrativo-Financiero
Luis Ómar Sarmiento Álvarez
Editor

COMITÉ EDITORIAL

Luis Ómar Sarmiento Álvarez
Javier Enrique Peña Manosalva
Mónica Andrea Rico Martínez
Jesús Ernesto Laborde Barrios

COMITÉ ARBITRAJE

Hector Cancino de Greiff
Luis Fredy Sosa Quintero
Andrés José Mejía
César Augusto Isaza Bohórquez
Jesús Vega Uribe
Rodrigo Herrera García
Andrea Liliana Rodríguez Sánchez
Javier González Barajas
Pablo Emilio Jojoa Gómez
Jorge Enrique López Ordoñez
Jhon Eduard Arias
Jhon Jairo Gil Peláez
Paola Fernanda Guzmán Castillo
Jorge Guillermo Díaz Rodríguez

COMITÉ CIENTÍFICO

Elías de los Reyes. UPV - España
José Millet Roig. UPV - España
Francisco Morant Anglada. UPV - España
Alberto González Salvador. UPV - España
José Ma. Blanco Triana. POLITÉCNICO DE TURÍN - España
Carlos Álvarez UPV - España
Miguel Ferrando Bataller UPV - España
Hermenegildo Gil Gómez UPV - España

Corrección Ortográfica y de estilo
Ciro Antonio Roza Gauta

Producción Creativa
Departamento de Publicaciones
Directora Dpto. Publicaciones
C.P. Luz Marina Manrique Cáceres
Diseño y Diagramación
Pub. Luis Alberto Barbosa Jaime
Impresión
Futura Impresores

© Universidad Santo Tomás

ISSN 1692 - 1798

Cada artículo es responsabilidad de su autor y no refleja la posición de la revista. Se autoriza la reproducción de los artículos siempre y cuando se cite al autor y la revista Iteckne. Agradecemos el envío de un copia de la reproducción a esta dirección: Universidad Santo Tomás, Facultades de Ingeniería.

Carrera 18 No. 9-27.
E-mail: iteckne@ustabuca.edu.co
Bucaramanga - Santander.
Servicio al Cliente Iteckne
Teléfono 6800 801 Ext. 1411- 1421.
Fax 6717067

Contenido

Editorial	3
Sistema robotizado con 4 grados de libertad para la optimización del patrón de recepción de una antena VSAT	5
Identificación de Información determinista y estocástica en Señales	18
Reconstrucción y Mejoramiento de Placas de Vehículos en Movimiento	25
Recuperación de imágenes por contenido a través de Momentos	33
Instrumentación electrónica y sistema de supervisión para el control de vuelo de un cohete	39
Metodología para la detección de rostros y componentes faciales en imágenes digitales	49
Sistema prototipo de medición en línea para perfiles extruidos basado en el principio de triangulación láser y procesamiento digital de imágenes	55
Medición del espesor de las capas estructurales del pavimento flexible con visión artificial	61
Detección y seguimiento de vehículos automotores en video	67

La revista ITECKNE es una publicación científica y tecnológica de la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional de Bucaramanga, que en la actualidad comprende las Facultades de Ingeniería de Telecomunicaciones, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Industrial y Química Ambiental que tiene por objeto divulgar los resultados de las investigaciones que se realizan en su seno.

Inició su publicación en el año 2002, con un ejemplar anual; a partir del año 2004 su publicación paso a ser semestral y desde su inicio ha contado con un gran apoyo, no solamente del cuerpo de profesores de la Institución, sino de expertos y científicos de otras instituciones con las que la Universidad Santo Tomás y particularmente la División de Ingenierías ha hecho convenios. Esta valiosa colaboración nos ha permitido estar abiertos a los avances científicos desarrollados en otros países, situación que contribuye a mantenernos actualizados y a la vanguardia en las disciplinas profesionales que conforman la División de Ingenierías.

Editorial

La presente edición de la revista Iteckne está dedicada al procesamiento digital de señal, temática que en escasos 25 años ha pasado de ser considerada como una materia avanzada, más propia de cursos de doctorado, a tener una naturaleza básica para muchos programas de ingeniería y obligatorio para otros como Ingeniería de Telecomunicaciones.

Desde la invención del cálculo en el siglo XVII, los científicos e ingenieros han desarrollado modelos para representar fenómenos físicos en términos de funciones continuas y ecuaciones diferenciales. En muchos casos no se conocían formas de resolver analíticamente dichas ecuaciones, por lo que comenzaron a surgir métodos numéricos para resolver aquellos problemas de los que no se podía conocer su solución analíticamente. De hecho, Newton utilizó ecuaciones en diferencias finitas, que son un caso particular de sistemas de tiempo discreto, para resolver ciertos problemas. Algunos matemáticos del siglo XVIII como Euler, Bernoulli o Lagrange, desarrollaron procedimientos de integración e interpolación numéricos. Dichos sistemas se contemplan en la actualidad como casos particulares de filtros digitales.

Más centrados en el campo de las telecomunicaciones incipientes del siglo XIX, la primera demostración de comunicación eléctrica a distancia efectuada por F.B. Morse en el año 1844 tuvo lugar entre las ciudades de Baltimore y Washington con el código Morse, compuesto por puntos y rayas, como es sabido. El interés histórico del código Morse radica en ser un sistema de representación de la información de longitud variable, y que asigna, por lo general, códigos más cortos a caracteres más probables.

A partir de los logros alcanzados en la pasada década de los 60, cuando se desarrollaron los métodos de diseño de filtros digitales, James Cooley y John Tukey descubrieron un método para calcular de forma mucho más rápida que de forma directa la transformada discreta de Fourier y comenzó el tratamiento digital de imágenes debido fundamentalmente a la carrera espacial, el área de procesamiento digital de señal inicia un crecimiento exponencial que le permite hoy día estar inmersa en casi todos los campos del saber y ser parte constitutiva de toda la tecnología actual.

En septiembre de 2008, en la ciudad de Bucaramanga, con el objetivo promover el intercambio de experiencias académicas e investigativas en procesamiento de señales, imágenes y visión artificial en un espacio para la revisión del estado del arte y la actualización de métodos, técnicas y aplicaciones empleadas en las diferentes áreas temáticas, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga realizó la decimotercera versión del Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial STSIVA 2008.

El simposio, cuya sede se rota anualmente por las diferentes regiones del país, es un evento creado por la Sociedad Colombiana de Tratamiento de Señales y cuenta recientemente con el apoyo del Capítulo Colombiano de Procesamiento de Señales del IEEE. La realización de esta nueva versión contó adicionalmente con la cofinanciación de Colciencias y con la coordinación de la Línea de Investigación en Procesamiento de Señales perteneciente a la Unidad de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones UNITEL, entre otras instancias de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga.

STSIVA 2008 rompió record respecto a las versiones anteriores en cuanto a asistencia, número de trabajos inscritos y participación de ponentes internacionales, ya que contó con la inscripción de 365 participantes entre ponentes y asistentes, se recibieron 227 trabajos, de los cuales, después del proceso de evaluación por pares, se seleccionaron los mejores 107 trabajos, incluidos seis de alcance internacional, dos de España, dos de Brasil, uno de Alemania y otro de Bélgica.

Los trabajos aceptados desarrollaron las siguientes temáticas: técnicas y aplicaciones del procesamiento de señales, procesamiento de imágenes y señales multidimensionales, tratamiento de señales de video, visión artificial, procesamiento de señales de origen biológico, aplicaciones desarrolladas con DSPS Y PLDS (FPGA), educación en señales, imágenes y visión artificial, tratamiento de señales de voz y audio y procesamiento de señales multimedia. Las temáticas con el mayor número de artículos aceptados fueron en su orden: técnicas y aplicaciones del procesamiento de señales, procesamiento de imágenes y señales multidimensionales, y visión artificial.

Paralelo al evento, se presentaron tres conferencias magistrales a cargo de expertos internacionales en procesamiento de señal. Los conferencistas y los temas fueron: El Dr. José Millet Roig de la Universidad Politécnica de Valencia participó con el tema “Aplicaciones del procesado digital de bioseñales a la cardiología”, el Dr. Alberto González Salvador, también de la Universidad Politécnica de Valencia con la conferencia “Algoritmos de detección por búsqueda en árbol (Sphere Decoders) para sistemas de comunicaciones MIMO”, y la Dra. Amy Reibman, conferencista distinguida del IEEE con el tema “Image and video quality assessment: The truth about PSNR”.

En la presente edición se presenta una selección de artículos sobresalientes derivados de STSIVA 2008. Cinco trabajos describen técnicas de procesamiento de imágenes aplicados a reconstrucción y mejoramiento de placas de vehículos en movimiento, detección y seguimiento de vehículos automotores, detección de rostros y componentes faciales, medición de perfiles extruidos y recuperación de imágenes por contenido. Un artículo describe técnicas de visión artificial para la medición del espesor de capas estructurales de pavimento y dos trabajos más en el área de la robótica y el control, describen aplicaciones para la optimización del patrón de recepción de antenas y supervisión del vuelo de un cohete respectivamente.

Luis Omar Sarmiento Álvarez

Editor.

Sistema robotizado con 4 grados de libertad para la optimización del patrón de recepción de una antena VSAT

Max Suell Dutra

Dr.-Ing. Mecánica,

*Gerhard Mercator Universität Gh Duisburg
Professor Asociado COPPE, Diretor Grupo de
Pesquisa em Projetos de Maquinas e Robótica,
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
max@mecanica.coppe.ufrj.br*

César Hernando Valencia Niño

M.Sc(c) da Engenharia Mecânica,

*Universidade Federal do Rio de Janeiro
Docente Tiempo Completo, Investigador Grupo UNITEL,
Universidad Santo Tomás USTA
Bucaramanga, Colombia
cesar.valencia@ufrj.br*

Resumen— En este artículo el foco de atención es el desarrollo de un brazo robótico de 4 grados de libertad como una solución para el posicionamiento de una antena móvil VSAT utilizada para transmisiones remotas, con la capacidad de posicionarse en cualquier coordenada deseada para la obtención del BEACON y realizar un barrido en la región más cercana de concentración de energía, para hacer un ajuste fino de la posición final, son tenidas en cuenta variables como latitud y longitud del punto subsatelital y longitud del satélite, estos serán considerados para el algoritmo encargado de la toma de decisiones basándose en las entradas de periféricos como los sensores de posición de los motores encargados de los movimientos en azimut y elevación así como el inclinómetro digital y el GPS utilizados para las coordenadas y rotación con la brújula del mismo, es realizado el análisis cinemático directo e inverso mediante matrices homogéneas, también es realizado un análisis para obtener los espacios de trabajo requeridos durante los procesos de posicionamiento y adquisición de datos con el fin de tener áreas de seguridad dentro del modelo y finalmente se realiza una simulación con un patrón de radiación ideal para confirmar el funcionamiento del algoritmo.

Palabras Clave— Sistema robotizado, sistema de posicionamiento, azimut y elevación, patrón de recepción de una antena VSAT.

Abstract— This article the focus of attention it is the development of an robotic arm with 4 degrees of freedom like a solution for positioning of a mo-

bile VSAT antenna used for remote transmissions. It have the capacity to be positioned in any coordinate wanted to the obtention of the BEACON and to carry out a sweeping in the region but near of energy concentration to make a fine adjustment of the final position keeping in mind variables like latitude and longitude of the subsatellite point and longitude of the satellite, these they will be considered for the algorithm in charge of the taking of decisions being based on the entrances of outlying as the sensors of position of the motors in charge of the movements in azimuth and elevation as well as the digital inclinometer and the GPS used for the coordinates and rotation using the compass of the same one, the direct and inverse cinematic analysis is carried out using homogeneous matrices, an analysis is also carried out to obtain the work spaces required during the positioning processes and acquisition of data with the purpose of having areas of security inside the pattern, finally she is carried out a simulation using a pattern of ideal radiation to confirm the operation of the proposed algorithm.

Keywords— Robotic system, positioning system, azimuth and elevation, reception pattern of a VSAT antenna.

I. INTRODUCCIÓN

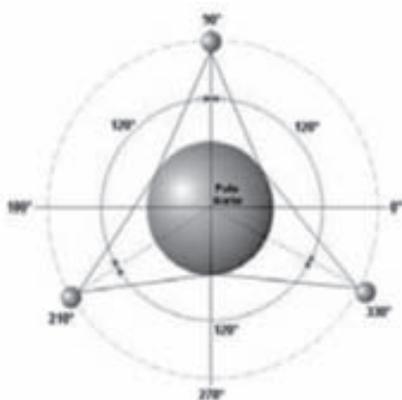
Los servicios de telecomunicaciones cada día ganan terreno dentro de los conocidos como indispensables, las personas, empresas y demás usuarios exigen cada día un aumento en la capa-

cidad y cubrimiento de estos, por tal motivo, las comunicaciones satelitales[5] se han tornado en una variante que, aunque un poco costosa, entrega capacidades elevadas de transmisión de datos así como tiempos de disponibilidad absolutamente extraordinarios, pero tal vez, su fuerte es la cobertura; este, tal vez, es el único medio que garantiza el cubrimiento de un 100% de la superficie terrestre.

El sistema, en general, funciona como un repetidor que se encuentra a una distancia considerable de la superficie terrestre. El proceso realizado es el siguiente: el destinatario A quiere enviar una información al destinatario B, para tal efecto utilizará un elemento que tenga la potestad de servir de puente entre los dos, es decir, que tenga perfecta comunicación con los dos destinatarios en mención, para tal efecto es seleccionado el satélite que se encuentra en la órbita geoestacionaria a una distancia de 36000Km de la superficie terrestre, con esta distancia garantiza una cobertura de 1/3 de la tierra (Órbita de Clark¹) por lo cual sólo se necesitarían 3 satélites según Fig. 1 para tener un cubrimiento total, con el pasar del tiempo los satélites han dejado de convertirse en repetidores ubicados en el espacio exterior, ahora también tienen capacidad de hacer tratamiento de información con el fin de mejorar la calidad a través del siguiente proceso:

- Recepción.
- Regeneración.
- Retransmisión.

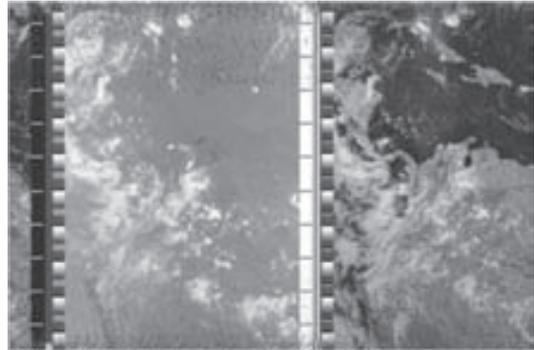
FIG. 1. ÓRBITA DE CLARK



¹ Conjunto de satélites ubicados a 36000Km de la superficie terrestre también conocida como cinturón de Clark u órbita geoestacionaria.

Dentro de las aplicaciones de los sistemas satelitales se encuentra la meteorología espacial, estos sistemas proporcionan elementos de visualización y la predicción de los diferentes fenómenos climatológicos del planeta. La Fig. 2 presenta una imagen satelital de Colombia tomada por el satélite NOAA.

FIG. 2. IMAGEN SATÉLITE NOAA²



La órbita es la trayectoria que recorre un cuerpo alrededor de otro bajo la influencia de alguna fuerza, las órbitas satelitales se clasifican según:

- Velocidad.
- Elevación.
- Trayectoria.

Las velocidades alcanzadas por un satélite pueden ser o no constantes, las órbitas circulares describen velocidades constantes así como las órbitas elípticas describen velocidades variables, también son referenciadas por su velocidad con respecto a la tierra de la siguiente forma:

$$W_s > W_e \text{ Prógrada}$$

$$W_s < W_e \text{ Retrógrada}$$

W_s es la velocidad angular del satélite y W_e es la velocidad angular de la tierra.

La clasificación por Elevación es determinada por la distancia de la órbita a la superficie terrestre, dentro de esta clasificación tenemos las siguientes órbitas:

- Órbita Terrestre Baja – LEO, 480Millas.
- Órbita Terrestre Media – MEO, 6000 12000Millas.
- Órbita Terrestre Geosíncrona – GEO, 22300Millas.

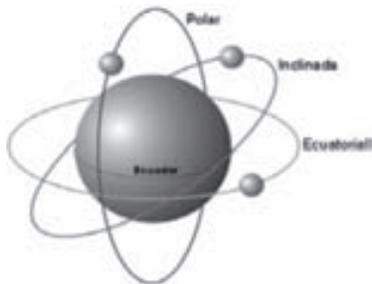
² Imagen obtenida en los laboratorios de comunicaciones satelitales de la Universidad Santo Tomás – Seccional Bucaramanga, Colombia.

- Órbita Inclínada y altamente elíptica – HEO.

En la clasificación se conocen 3 trayectorias útiles para los satélites de comunicaciones:

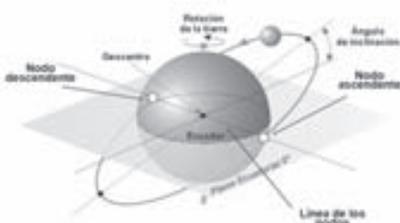
- *Inclinada.*
- *Ecuatorial.*
- *Polar.*

FIG. 3. TIPOS DE ÓRBITAS



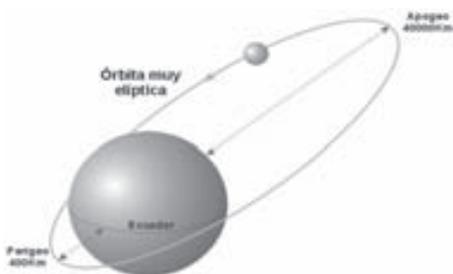
Los elementos constitutivos de una órbita inclinada son presentados en la Fig. 4, como componentes especiales tenemos el nodo descendente y el nodo ascendente que determinan el cruce del satélite por el plano ecuatorial.

FIG. 4. ELEMENTOS DE UNA ÓRBITA INCLINADA



La Fig. 5 presenta los componentes de una órbita elíptica e inclinada, el apogeo es el punto más distante a la superficie terrestre, el perigeo es el punto más cercano a la superficie terrestre, por consiguiente esta será una órbita de velocidad variable según las leyes de Kepler³.

FIG. 5. ELEMENTOS DE UNA ÓRBITA ELÍPTICA



II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS SATELITALES

En esta sección presentaremos las características técnicas generales de los sistemas satelitales, más específicamente, en II-A Tiempos de retardo, II-B Bandas disponibles, II-C pérdidas en el sistema, II-D cálculo de los ángulos visuales de una antena y II-E Parámetros característicos de una antena.

A. Tiempos de Retardo

El retardo que introduce la transmisión de la señal a tan grandes distancias. Con 36.000 Km. de altura orbital, la señal ha de viajar como mínimo 72.000 km, lo cual supone un retardo de 240 milisegundos[12], sólo en la transmisión; en la práctica el retardo es de 250 a 300 milisegundos según la posición relativa del emisor, el receptor y el satélite. En una comunicación VSAT-VSAT los tiempos se duplican debido a la necesidad de pasar por el HUB. En algunos casos estos retardos pueden suponer un serio inconveniente o degradar de forma apreciable el rendimiento si el protocolo no está preparado para este tipo de redes.

En la literatura existente los tiempos de retraso están definidos por la relación del producto de n que para este caso será número de saltos por d que será la distancia desde el geocentro hasta la órbita, sobre v que corresponde a la velocidad de la luz.

$$t = \frac{n * d}{v} \quad (1)$$

B. Bandas disponibles

Como la transmisión de la información se hace a través del espectro electromagnético, ha sido dividido para las diferentes aplicaciones de comunicaciones, en comunicaciones por satélite la banda asignada para este propósito va desde 1GHz hasta los 40GHz, a su vez, esta banda ha sido subdividida en subbandas para determinadas aplicaciones, la Tabla I presenta esta subdivisión y los nombres que recibe cada una de ellas.

³ Segunda Ley: para intervalos iguales de tiempo, un satélite barre áreas iguales en el plano de su órbita, con foco en el baricentro.

TABLA I Distribución de sub-bandas⁴

Nombre de la Banda	Rango de Frecuencia (GHz)
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ka	27-40

C. Pérdidas en el sistema

El componente más importante y decisivo en el diseño de una red satelital son las pérdidas totales del sistema, para este caso se tienen en cuenta las pérdidas generadas por los receptores como transmisores así como la potencia de ruido, el factor, figura de ruido y las pérdidas por trayectoria ya que la señal debe viajar una distancia muy larga para cada salto del enlace, todos estos eventos generan atenuaciones de la señal, para el manejo de estos términos es necesario manejar unidades consistentes para eliminar posibles errores durante el análisis, la Tabla II presenta las unidades consistentes expresadas en dB.

TABLA II Unidades consistentes en db⁵

Unidad	Potencia de Referencia	Aplicación
dBW	1W	Potencia absoluta
dBm	1mW	Potencia absoluta $P[\text{dBW}] = P[\text{dBm}] - 30$
dBuV	1uV e.m.f	Voltaje absoluto, típicamente en los terminales $\text{dBuV} = \text{dBm} + 107$, para 50ohm
dB	Cualquiera	Ganancias o pérdidas en una red
dBuV/m	1uV/m	Magnitud del campo eléctrico
dBi	Antena isotrópica	Ganancia de antena
dBd	Antena dipolo	Ganancia de antena
	$\lambda/2$	$0\text{dBd} = 2.15\text{dBi}$

⁴ Según Recomendación SM.1267 (07/97), Unión Internacional de Telecomunicaciones.

⁵ Un decibel, símbolo dB, es una unidad logarítmica. Es 10 veces el logaritmo decimal de la relación entre la magnitud de interés y la de referencia.

A continuación se presentan las ecuaciones correspondientes para modelar las pérdidas por trayectoria de una forma general, en (2) es presentado el cálculo del valor de la potencia isotropita efectivamente radiada.

$$PIRE = P_T + G_T - L_T \quad (2)$$

Donde P_T , G_T y L_T son respectivamente la potencia, ganancia y pérdidas de la estación transmisora. Para (3) se presentan las variables constitutivas para el cálculo de la máxima pérdida por espacio libre posible.

$$L = P_T + G_T + G_R - P_R - L_T - L_R \quad (3)$$

Donde P_R , G_R y L_R son respectivamente la potencia, ganancia y pérdidas de la estación receptora. Para (4) son presentados los elementos que se consideran para el cálculo de la potencia de ruido a la entrada de cualquier dispositivo electrónico y en (5) se presenta la ecuación para el modelamiento del ruido a temperatura ambiente⁶.

$$P_N = kTB \quad (4)$$

$$P_N [\text{dBm}] = -174\text{dBm} + 10 \log B \quad (5)$$

Donde k es la constante de Boltzmann⁷, T representa la temperatura equivalente de ruido⁸ y B representa el ancho de banda efectivo del ruido⁹. En (6) se presenta la relación portadora a ruido, donde P_C es la potencia de la portadora.

$$\frac{C}{N} = \frac{P_C}{P_N} \quad (6)$$

$$F = \frac{(S/N)_{IN}}{(S/N)_{OUT}} \quad (7)$$

Donde $(S/N)_{IN}$ y $(S/N)_{OUT}$ son respectivamente la relación señal a ruido de entrada y la relación señal a ruido de salida. En (7) es posible determinar la figura de ruido de un sistema y es simplemente la expresión del factor de ruido en dB así como (9) sirve para determinar este mismo valor para una cascada de n elementos.

⁶ Temperatura ambiente=290°K.

⁷ $k=1.379 \cdot 10^{-23} [\text{J/K}]$.

⁸ Expresada en grados Kelvin.

⁹ Expresada en Hertz.

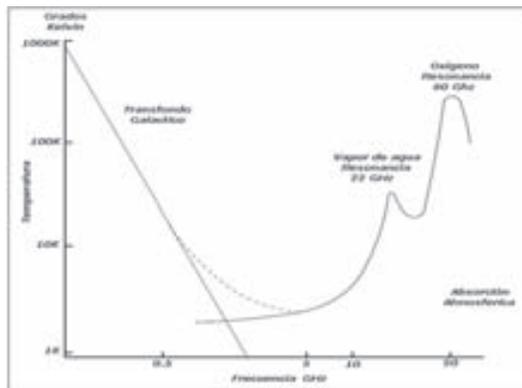
$$NF = 10 \log F \quad (8)$$

$$F_r = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (9)$$

Las pérdidas por espacio libre son aquellas generadas por el desvanecimiento de la señal a lo largo de la distancia recorrida, por ello (10) tiene como factores determinantes de este valor a r^{10} que corresponde a la distancia recorrida y f^{11} que es la frecuencia utiliza.

$$L_p [dB] = 32.4 + 20 \log r + 20 \log f^{12} \quad (10)$$

FIG. 6. CONSIDERACIONES ADICIONALES DE ATENUACIÓN [12]



D. Cálculo de los ángulos visuales de una antena

Para optimizar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones por satélite[1], la dirección de ganancia máxima de la antena en una estación terrestre se consigue apuntando directamente al satélite. Para asegurar que la antena esté alineada es necesario determinar los ángulos de elevación y azimut[12]. Con los satélites geoestacionarios, los ángulos visuales de las antenas terrestres sólo se deben calcular una vez, porque el satélite permanece siempre en determinada posición, salvo pequeñas variaciones ocasionales.

¹⁰ Expresada en Kilómetros.

¹¹ Expresada en MegaHertz.

¹² Los valores típicos de pérdidas por trayectorias están en 200dB para la banda C y 206dB para la banda Ku.

El ángulo de elevación es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena de estación terrestre que apunta directamente hacia un satélite, y el plano horizontal. Mientras menor es el ángulo de elevación, la distancia que debe recorrer una onda propagada a través de la atmósfera terrestre es mayor. Como en el caso de cualquier onda propagada por la atmósfera terrestre, sufre absorción, y también se puede contaminar con mucho ruido. En consecuencia, si el ángulo de elevación es muy pequeño y la distancia que la onda viaja por la atmósfera terrestre es demasiado grande, la onda se puede deteriorar hasta el grado de ya no proporcionar una calidad aceptable de transmisión¹³. En (11) y (12) son necesarias para la obtención de este ángulo.

$$D = \sqrt{(h^2 + 2 \times R(R+h) \times (1 - \cos(F) \times \cos(Ltt)))} \quad (11)$$

$$E = \cos^{-1} \left(\left(\frac{R+h}{D} \right) \times \sqrt{(1 - \cos^2 F \times \cos^2 Ltt)} \right) \quad (12)$$

Donde D es la distancia desde el satélite hasta el centro de la tierra, h es la distancia a la cual se encuentra el satélite de la superficie terrestre, R es el radio de la tierra, F es el valor absoluto de la resta de la longitud del satélite con la longitud de la estación terrena y Ltt es la latitud de la estación terrena.

El ángulo de azimut es la distancia angular horizontal a una dirección de referencia, que puede ser el punto sur o el norte del horizonte. El ángulo de azimut se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una estación terrestre. Para fines de navegación, el ángulo de azimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj. En (13) es posible determinar este ángulo de acuerdo a las reglas que se mencionan después de esta.

$$A = \text{sen}^{-1} \left(\frac{\text{sen}(F)}{\sqrt{(1 - \cos^2 F \times \cos^2 Ltt)}} \right) \quad (13)$$

¹³ En general, se considera que 5° es el ángulo de elevación mínimo aceptable.

TABLA III Reglas para determinar el ángulo de azimut

Regla	Valor Final
Estación en el hemisferio norte y al oeste del satélite	$A = 180 - A'$
Estación en el hemisferio norte y al este del satélite	$A = 180 + A'$
Estación en el hemisferio sur y al oeste del satélite	$A = A'$
Estación en el hemisferio sur y al este del satélite	$A = 360 - A'$

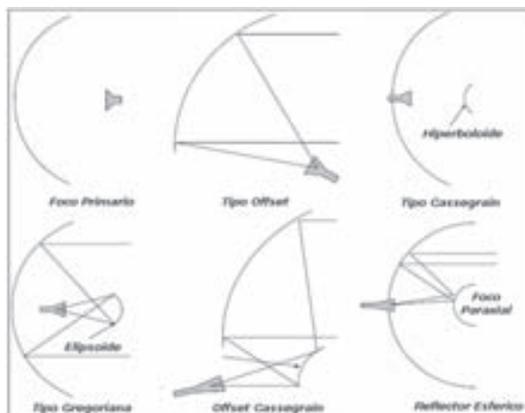
E. Parámetros característicos de una antena

Las estaciones terrenas satelitales utilizan antenas[3] con diámetros que van desde 0.5mts hasta 30mts de diámetro. El contorno de la superficie del reflector esta basada en la ecuación de la parábola. En (14) se presenta la ecuación de la parábola donde su eje coincide con uno de los ejes de coordenadas y p es la distancia focal.

$$y^2 = 4px \tag{14}$$

El contorno de la superficie satisface el requerimiento que toda la energía recibida es apuntada hacia el foco y así se obtiene un nivel más alto de recepción.

FIG. 7. TIPOS DE REFLECTORES¹⁴



Tomadas en cuenta las pérdidas y la no uniformidad de la ley de iluminación de apertura, el área efectiva en la práctica se define con (15), donde η es la eficiencia y d es el diámetro.

¹⁴ Principales tipos de reflectores utilizados por INTELSAT.

$$Ae = \eta \pi (d / 2)^2 \tag{15}$$

La eficiencia de una antena satelital es la relación de la potencia entregada a la antena y la potencia radiada por la misma, los componentes de esta eficiencia están presentados en (16), donde η_i corresponde a la ley de iluminación del reflector con respecto a una iluminación uniforme, también conocida como la atenuación de la iluminación en los bordes del reflector η_s es la relación entre la energía que recibe el reflector de la irradiada por la fuente primaria con respecto al total de la irradiada por la fuente primaria, también conocido como *spill-over*, η_f representa los efectos de la rugosidad de la superficie en la ganancia de la antena, η_r representa otras pérdidas como las presentadas por desacople.

$$\eta = \eta_i * \eta_s * \eta_f * \eta_r \tag{16}$$

La ganancia total de un reflector parabólico está dada por (17) que tiene en cuenta elementos ya mencionados como la eficiencia, la frecuencia y la velocidad de propagación.

$$G_{max} = 10 \log \eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 [dB] \tag{17}$$

En (18) se presenta el resultado del *Beamwidth* que es conocido como la medida del ángulo sobre el cual se obtiene mayor ganancia, este típicamente está definido con el *HPBW* o $-3dB$ del lóbulo principal del patrón de radiación[6].

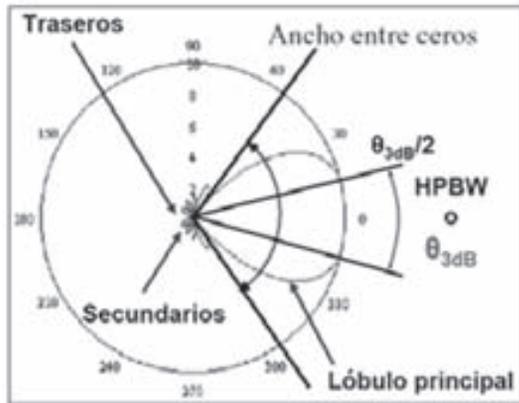
$$HPBW = \frac{\lambda}{d \sqrt{\eta}} * 57.25 \tag{18}$$

El patrón de radiación[6] es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Para antenas de apertu-

¹⁵ Típicamente el valor de la eficiencia en reflectores satelitales va desde el 55% hasta el 75%.

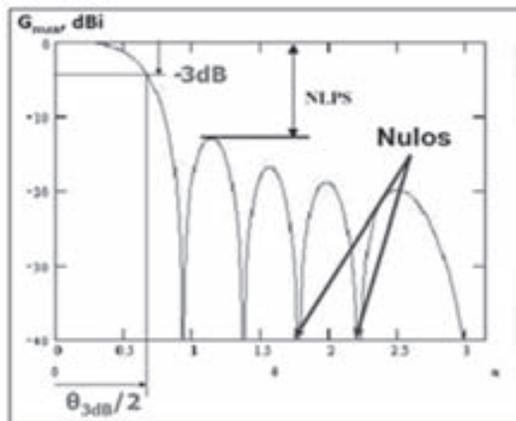
ra circular o reflector circular el patrón tiene simetría rotacional y se puede representar completamente dentro de un plano polar o cartesiano. Normalmente, en estos casos se representa el comportamiento del diagrama en dos planos principales: los llamados plano E y plano H. El plano E se define como aquel plano en el que oscila el campo eléctrico; mientras el plano H es el plano normal al plano E. La Fig. 8 presenta el patrón de radiación[2,4].

FIG. 8. PATRÓN DE RADIACIÓN [6]



El ancho angular de los lóbulos [15] de una antena satelital está determinado por la ganancia máxima obtenida con respecto a los ángulos de apertura de la misma tal como son presentados en la Fig. 9.

FIG. 9. ANCHO ANGULAR DEL LÓBULO [6]



III. ANÁLISIS MECÁNICO DEL BRAZO ROBÓTICO PROPUESTO

En el desarrollo de este capítulo se expondrán las consideraciones cinemáticas realizadas para el sistema de posicionamiento inicial, así como las condiciones de apuntamiento para los ángulos

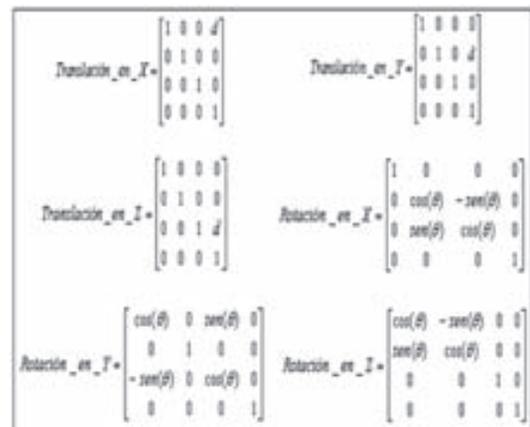
deseados, en la parte III-A se presenta la cinemática directa del brazo encargado de posicionar la antena en su punto inicial de operación y en la parte III-B los espacios de trabajo requeridos para la operación del sistema.

A. Cinemática directa

El análisis de la cinemática directa [8, 9, 10, 13, 14] nos permite conocer la posición en las tres dimensiones del punto final del sistema con respecto a un punto de referencia que será asignado en la base del brazo justo entre la unión de las juntas 1 y 2.

Los métodos propuestos para la obtención de la cinemática directa de un manipulador son Denavit-Hartenberg y el utilizado en nuestro análisis que son las matrices homogéneas, los operadores de translación y operación son relacionados a continuación:

FIG. 10. OPERADORES DE TRANSLACIÓN Y ROTACIÓN¹⁶



La matriz de transformación homogénea es una matriz T 4x4 que representa la transformación de un vector de un sistema de coordenadas a otro. Esta matriz está compuesta por 4 submatrices:

R_{3x3} Submatriz de Rotación

P_{3x1} Submatriz de Translación

F_{1x3} Submatriz de Perspectiva¹⁷

E_{1x1} Submatriz de Escalado Global¹⁸

¹⁶ En las matrices de translación la letra d representa la distancia y en las matrices de rotación el símbolo θ representa el ángulo de rotación de cada unión.

¹⁷ Para nuestro propósito la submatriz de perspectiva es considerada nula.

¹⁸ La submatriz de escalado global es considerada igual a uno.

FIG. 14. MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN TOTAL²⁰

$$T = \begin{pmatrix} 1.0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9239 & -0.3827 & 0.1157 \\ 0 & 0.3827 & 0.9239 & 1.7654 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \end{pmatrix}$$

Las posiciones intermedias adquiridas por el sistema durante el posicionamiento inicial son presentadas en las Fig. 15 y 16 para cada uno de los movimientos.

FIG. 15. PRIMERA POSICIÓN²¹

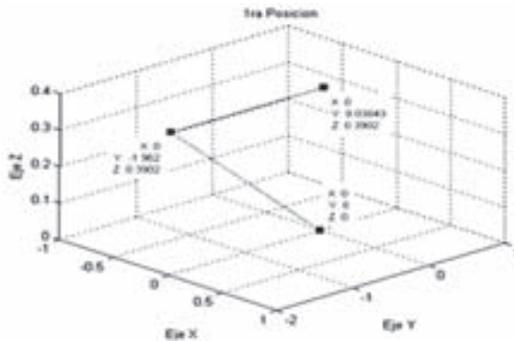
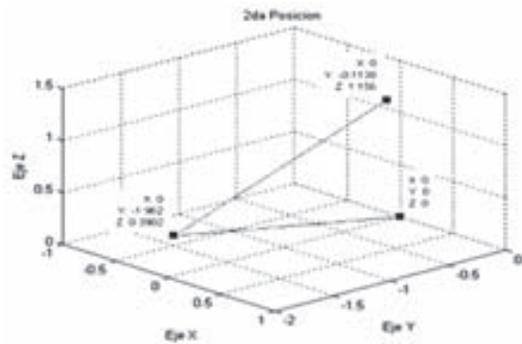
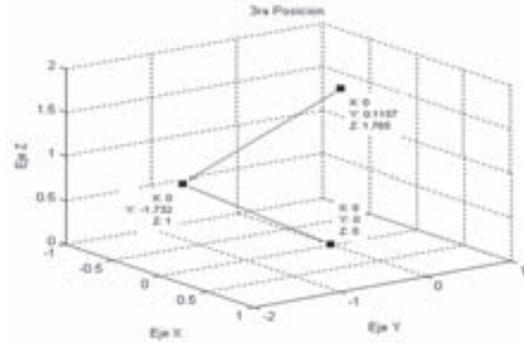


FIG. 16. SEGUNDA POSICIÓN



La posición final para el comienzo de la operación de obtención de los ángulos visuales de azimut y elevación es presentada en la Fig. 17 con los correspondientes valores de posición de cada una de la juntas.

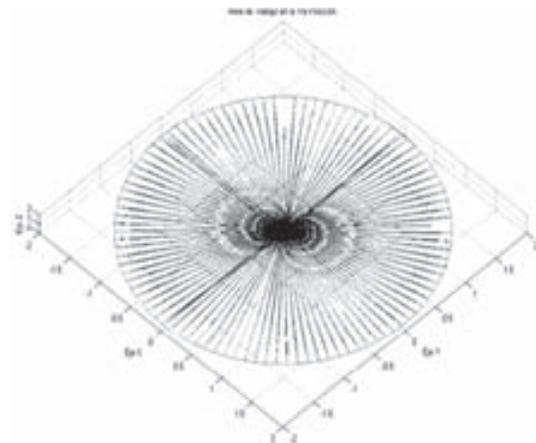
FIG. 17. POSICIÓN FINAL²²



B. Espacios de trabajo requeridos

De forma análoga como se realizó el análisis cinemática directo del brazo robótico, también fue establecida el área de trabajo necesaria para el sistema propuesto; en la Fig. 18 es presentado el espacio de trabajo necesario para el sistema en la primera posición o de reposo, en la práctica el sistema no operaría bajo esta posición para realizar movimiento de azimut, sin embargo, por seguridad se incluyó este en el espacio de trabajo para considerar una condición no deseada pero que fuese posible.

FIG. 18. ÁREA DE TRABAJO EN LA PRIMERA POSICIÓN



²⁰ Los valores utilizados para d1 y d2 son 2mts, para theta1=0, theta2=150, theta=232.5 y theta4=0.

²¹ Los valores utilizados para obtener la primera posición son, theta1=0, theta2=168.75, theta3=191.25, theta4=0, d1=2mts y d2=2mts. Para la obtención de la segunda posición son, theta1=0, theta2=168.75, theta3=213.75, theta4=0, d1=2mts y d2=2mts.

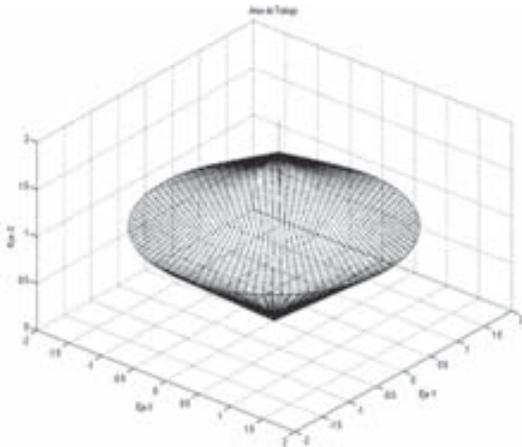
El área de trabajo en la posición de operación es presentada en la Fig. 19, es visiblemente comparable que se reduce con respecto al área de trabajo presentado en la Fig. 18 debido al movimiento producido en la junta 2 del sistema, los valores obtenidos presentan que la dimensión del círculo formado por los ejes X y Y están por el orden de los

²² Los valores utilizados para obtener la tercera posición son, theta1=0, theta2=150, theta3=232.5, theta4=0, d1=2mts y d2=2mts.

2m para la Fig. 18, en contraste para la Fig. 19 los valores son de 1.73m lo cual reduce en 0.27m el área de trabajo final.

Gracias a la obtención de los espacios de trabajo es posible determinar los valores diametrales de seguridad para operarios y otros instrumentos que se encuentren dentro de la zona de seguridad.

FIG. 19. ÁREA DE TRABAJO EN LA POSICIÓN DE OPERACIÓN



IV. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

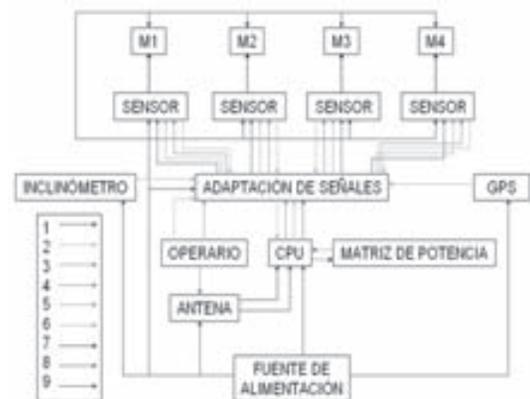
El funcionamiento del sistema [11] está basado en las necesidades para la realización de las tareas pertinentes a la adquisición, control y toma de decisiones para obtener los mejores ángulos según las señales recibidas, el sistema esta compuesto por los siguientes elementos:

- **Unidad de Procesamiento Central (UPC):** es la encargada de procesar la información recibida así como de tomar las decisiones con respecto a la operación de motores para cada una de las juntas.
- **Fuente de Alimentación:** Provee la energía necesaria para el funcionamiento del sistema, se encuentra equipada con un sistema de protección contra fallos de energía que no permite tiempo de conmutación de equipos y así no perder información de operación importante.²³
- **Sistema de adecuación de señales:** Tiene la tarea de adecuar las señales de tal forma que la UPC pueda entender las informaciones enviadas por los periféricos así como adecuar las señales entregadas por la UPC para los periféricos.

²³ Por no permitir tiempo de conmutación en equipos también es conocida como UPS on-line.

- **Inclinómetro:** Dispositivo encargado de tomar el ángulo de inclinación de la antena al tomar como referencia del horizonte igual a 0°.
- **Sistema de Posicionamiento Global (GPS):** Dispositivo encargado de tomar la posición orbital del punto donde se encuentra la antena, dentro de las funciones auxiliares que contiene también es utilizada la brújula para la obtención de los ángulos de azimut.
- **Sensores de Posición:** Son utilizados para conocer la posición de cada uno de los motores que están en las juntas del brazo mecánico.
- **Motores:** En total son 4 motores, uno para cada una de las juntas del brazo, como característica especial son eléctricos para así permitir una manipulación remota a través de la UPC.
- **Antena:** Se encuentra ubicada en el fin del brazo, es la encargada de la recepción de las señales, por tal motivo debe estar adecuada para funcionar a las características apropiadas como polarización y frecuencia.
- **Operario:** Es necesario tener un operario disponible para la inicialización del sistema puesto que debe ingresar algunas informaciones pertinentes para la normal operación.
- **Matriz de Potencia:** Aunque es de tipo virtual, contiene los resultados obtenidos después del barrido de potencia con los respectivos valores de elevación y azimut tomados.

FIG. 20. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA²⁴



En la Fig. 20 están presentadas las tareas realizadas[6,11], el algoritmo desarrollado para la aplicación en mención es el encargado de la

²⁴ Modelo planteado para desarrollo por etapas de las funciones del sistema.

ejecución de dichas tareas, a continuación se presentan cada una de ellas.

- Revisión de la fuente de alimentación.
- Iniciación de los periféricos.
- Adquisición de datos.
- Posicionamiento inicial.
- Calculo de los ángulos visuales.
- Posicionamiento de la antena en los valores calculados.
- Entrada de datos de operación.
- Entrada del tamaño de la ventana de barrido.
- Adquisición de la matriz de potencia.
- Presentación grafica de los resultados de la matriz.
- Selección del valor más alto de la matriz.
- Posicionamiento de la antena en el punto ideal.

V. SIMULACIÓN DEL SISTEMA

Para la simulación del sistema fue desarrollado el algoritmo de cálculo de ángulos visuales, cálculo de la posición de las juntas, control de periféricos, cálculo de los valores posibles en los ángulos de azimut y elevación para realizar el barrido de potencia así como la toma de decisiones de acuerdo a las variables involucradas. Los procesos realizados son los siguientes:

A. Revisión de la fuente de alimentación

La fuente de alimentación del sistema proporcionará la energía necesaria para la operación de la UPC, Inclinómetro, GPS, sistema de adaptación de señales, sensores y motores, por tal motivo, se consideró que para mantener un margen de seguridad ésta debe estar respaldada por un sistema de alimentación ininterrumpida que también será revisado por el sistema general.

El algoritmo propuesto realiza una revisión de sistema de alimentación que puede identificar tres posibles casos, el primero de ellos en el que las tensiones aplicadas se encuentren en valores más bajos que los necesitados por los dispositivos, el segundo caso sería que los valores aplicados es-

tén por encima de los permitidos y, el último caso sería cuando el sistema trabaja directamente con la UPS, para la posibilidad de presentarse cualquiera de los dos primeros casos el algoritmo interrumpe la operación y es reiniciado de nuevo entregando una alarma al operador, si la condición presentada fuese la tercera el algoritmo pregunta para el operario si desea continuar o reiniciar el sistema.

B. Iniciación de periféricos

Durante la iniciación de periféricos el algoritmo realiza la iniciación de la UPC y el Sistema de Adaptación de Señales para luego revisar los estados de los siguientes elementos:

- GPS
- Inclinómetro
- Conjunto de Sensores

Si alguno de los periféricos tuviese algún inconveniente y no reenviase la señal de control correspondiente, se genera una alarma con un código específico para el operario y el sistema es interrumpido.

C. Adquisición de datos

En este paso son solicitadas por el sistema las informaciones correspondientes a los periféricos como:

- Latitud de la Estación Terrena
- Longitud de la Estación Terrena
- Longitud del Satélite²⁵
- Ángulo del Inclinómetro
- Ángulo de la Brújula

FIG. 21. VALORES UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

```
valor de Latitud estacion terrena...10
valor de Longitud estacion terrena...100
valor de Longitud del satelite...150
Valor del Inclinometro...12
Valor de la Brujula...12
```

²⁵ La longitud del Satélite es ingresada por el operario desde la consola de control.

D. Posicionamiento inicial

Durante el proceso de despliegue del brazo para llegar al punto inicial, el algoritmo trabaja con la cinemática directa e inversa para la obtención y comprobación de los ángulos necesarios, además son corregidos posibles errores en las juntas 1 y 4 que corresponden a los valores de Azimut y Elevación.

E. Cálculo de los ángulos visuales

Con (11),(12) y (13), son realizados los cálculos de los ángulos visuales, cabe resaltar que para la obtención de valor definitivo de azimut son tenidas en cuenta las reglas de la Tabla III así como el error producido por la brújula con respecto a la declinación magnética.

FIG. 22. ÁNGULOS CALCULADOS

Elevacion	Azimut
31.8945	98.2901

F. Posicionamiento de la antena en los valores calculados

Posteriormente es llevado a cabo el posicionamiento de la antena en los valores calculados para los ángulos de Azimut y Elevación, que son enviados por la UPC para el sistema de adaptación de señales y luego para los sensores y motores correspondientes, en este caso se trata de los motores 1 y 4.

G. Entrada de datos de operación

Durante este paso son registrados por el sistema los datos de operación básicos del sistema de comunicaciones, dichas informaciones corresponden a la frecuencia de operación en GHz y el tipo de polarización utilizada que puede ser Horizontal o Vertical.

FIG. 23. DATOS DE OPERACIÓN.

```

Ingrese la Frecuencia de Operacion...12
Selecciones el tipo de Polarizacion
Polarizacion Vertical...1
Polarizacion Horizontal...2
Ingrese el tipo de polarizacion...1
  
```

H. Entrada del tamaño de la ventana de barrido

El algoritmo consulta al operario de cuál es el tamaño deseado para la ventana de barrido, así

como, cuál es el número de divisiones que desea se realicen dentro de la matriz.²⁶

I. Adquisición de la matriz de potencia

Los resultados del barrido son almacenados en una matriz, que contiene, a su vez, los valores en Azimut y Elevación con los cuales fueron adquiridos los valores de potencia.

J. Presentación gráfica de los resultados de la matriz

Son presentados los resultados de la matriz con el propósito de identificar qué tan representativos son los valores obtenidos y así poder tener la seguridad de los mismos, en las Fig. 24 y 25 son presentadas las matrices obtenidas para la simulación realizada.

K. Selección del valor más alto de la matriz

El algoritmo selecciona el valor más alto de potencia de la matriz e informa para el sistema de adecuación cuáles son los valores correspondientes en azimut y elevación.

FIG. 24. PRESENTACIÓN EN MALLA DE LA MATRIZ

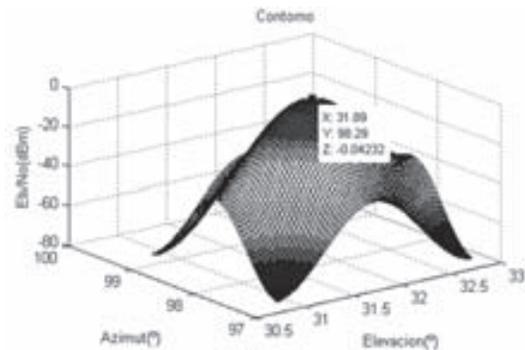
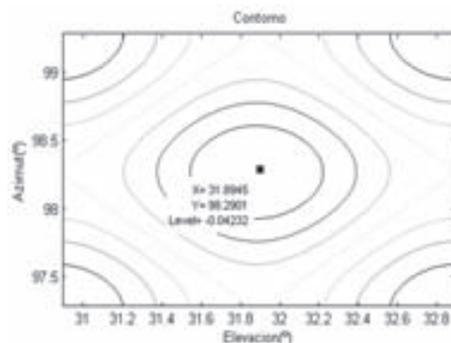


FIG. 25. PRESENTACIÓN DEL CONTORNO DE LA MATRIZ



²⁶ El valor m ingresado por el operario para el tamaño de la ventana generará una matriz $m \times m$.

FIG. 26. VALORES DEFINITIVOS DE AZIMUT Y ELEVACIÓN

```

El valor definitivo de Elevación es:
31.8945

El valor definitivo de Azimut es:
98.2901

El valor mas alto de potencia encontrado es:
-0.0423

```

L. Posicionamiento de la antena en el punto ideal

Finalmente, son entregados los valores definitivos de las posiciones ideales en Azimut y Elevación para realizar el posicionamiento final.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo es presentada una alternativa con el fin de mejorar la recepción de señales en sistemas de comunicación satelital, más concretamente para terminales VSAT, para este propósito es introducido un sistema robótico que permite la ubicación de la antena en los ángulos deseados de manera automática. Los resultados obtenidos durante la simulación del sistema permiten obtener una mejora en la intensidad de la señal BEACON y, a su vez, una automatización del sistema que genera alarmas según los estados tanto de los periféricos como de la fuente de alimentación.

Para desarrollos posteriores de implementación es recomendable tener en cuenta los datos de operación de motores y sensores con el fin de minimizar los errores por movimiento y aumentar la resolución en el tamaño de la ventana de barrido.

Los resultados obtenidos también pueden ser aplicados a sistemas terrestres estacionarios con un nivel de complejidad menor y un aumento significativo en el re-alineamiento de estaciones.

REFERENCIAS

- [1] H. Campanella, A. Comas y Y. Alba, "Antenas Inteligentes con Aplicación en SDMA," Grupo de Telecomunicaciones y Señales, Universidad del Norte, 2007.
- [2] O. Ledesma, A. Patiño y H. Peña, "Sistema Automático para la Obtención de Patrones de Radiación de Antenas de Bocina," Revista Colombiana de Física, Vol. 38, No 4, 2006.

- [3] B. Deza, "Desarrollo de una Aplicación Matlab para el Análisis de Agrupaciones de Dipolos y de sus Redes de Alimentación Asociadas," Universidad de Vigo, Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Telecomunicación, 2004.
- [4] J. Ramos, M. Martínez, G. Vega y M. Ruiz, "Software para el Cálculo de Patrones de Radiación de Arreglos Lineales de Antenas," 7ma Conferencia de Ingeniería Eléctrica, México D.F. 2001.
- [5] J. Cuéllar, S. Landeros y R. Neri, "Innovación Tecnológica en Satélites y Estaciones Terrestres," Revista Ciencia y Desarrollo, Vol. 28, No 164, 2002.
- [6] A. Coronado y F. Moutadi, "Metodología para la Obtención del Patrón de Radiación y Prueba de Aislamiento en Sistemas de Comunicaciones Vía Satélite," División de Ingeniería Eléctrica y Departamento de Telecomunicaciones, UNAM, 2006.
- [7] F. Saravia, "Optimización del Patrón de una Antena Parabólica de Óptica Gregoriana," Revista Electrónica AbcRadioTel, 2007.
- [8] K. Fu, R. González y C. Lee, *Robotics, Control, Sensing, Vision and Intelligence*, New York, (NY): Mc Graw Hill Book Co, 1987.
- [9] R. Nelly y V. Santibáñez, "Control de Movimiento de Robots Manipuladores," Madrid, (MD): Pearson Prentice Hall, 2003.
- [10] J. Angeles, *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems*, Berlín, (B): Springer, 1997.
- [11] M. Aparicio y J. Orjuela, "Control para un Brazo Robot colocado sobre la Plataforma Móvil - Úrsula," Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Electrónica, Bogota D.C, 2005.
- [12] R. Neri, "Comunicaciones por Satélite," México, (MX): Thomson Internacional, 2003.
- [13] L. Sciavicco y B. Siciliano, *Modeling and Control of Robots Manipulator*, New York, (NY): Mc Graw-Hill, 1996.
- [14] H. Stone, *Kinematic Modeling, Identification and Control of Robotic Manipulators*, Pittsburgh, Springer, 1987.
- [15] J. Blogh y L. Hanzo, *Third-Generation Systems and Intelligent Wireless Networking*, Southampton, John Wiley and Sons, 2002.

Identificación de Información determinista y estocástica en Señales

Elías Buitrago

*Estudiante de Ingeniería Biomédica,
Universidad Antonio Nariño.
Joven Investigador Grupo Sistemas Complejos,
Universidad Antonio Nariño UAN Bogotá, Colombia
elias.buitrago@uan.edu.co*

Rafael M. Gutiérrez S.

*Físico, Universidad Nacional de Colombia.
M. Sc. de la Universidad de Montreal, Canadá y
Ph.D. de la Universidad de Nueva York, EU, Director
del Grupo de Investigación Sistemas Complejos,
Universidad Antonio Nariño UAN Bogotá, Colombia
rafael.gutierrez@uan.edu.co*

Gina M. Useche L.

*Física, Universidad Nacional de Colombia. Ingeniera
Civil, Universidad Santo Tomás. Investigadora en
el Grupo Sistemas Complejos, Universidad Antonio
Nariño UAN Bogotá, Colombia
gina.useche@uan.edu.co*

Resumen— El problema de construir modelos matemáticos a partir de información empírica lleva al problema de identificar y caracterizar los contenidos de información determinista y estocástica en la información empírica disponible. En este trabajo se presenta un procedimiento para detectar estructuras de información contenidas en señales empíricas con conceptos y métodos de dinámica no lineal y dinámica estocástica. Inicialmente se preprocesa la información a través de una etapa de filtrado digital y posteriormente se detecta la existencia de estructuras de información determinista y/o estocástica. Mostramos resultados del procedimiento aplicado a la señal caótica del sistema de Lorenz como proceso complejo artificial con control de sus características para obtener rangos útiles para su aplicación a señales empíricas reales.

Palabras clave— Dinámica no lineal, estructuras de información, procesos de Markov, señales.

Abstract— The problem of making mathematical models from empirical information becomes the problem of identifying and characterize the deterministic and stochastic content of the empirical information. In this work we present a procedure to detect information structures contained in empirical signals using concepts and methods of nonlinear dynamics and stochastic dynamics. The information is initially preprocessed with digital filters and the follows the detection of deterministic

and stochastic information. We show some results of this procedure applied to a chaotic signal of the Lorenz dynamical system as an artificial complex process where we can control its characteristics and obtain new information for the application of the procedure to real world signals.

Keywords— Nonlinear dynamics, information structure, markov process, signals.

INTRODUCCIÓN

La construcción de modelos de un mundo real complejo con una gran variedad de fenómenos involucrados, es un reto científico y tecnológico. Generalmente se comienza por identificar las interacciones principales que determinan el comportamiento dinámico del sistema y se hacen suposiciones que permitan la formulación de un modelo sencillo pero representativo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las interacciones involucradas en un sistema son muchas e inseparables, lo cual nos conduce a sistemas complejos como el clima, los sismos, procesos biológicos y fisiológicos y procesos sociales y económicos, entre otros. En el mundo real se pueden tener datos experimentales de una o más variables del sistema en estudio, a partir de lo que se espera poder llegar a construir un modelo que represente al sistema adecuadamente y sirva para hacer predicciones y control. El análisis no lineal de señales o series de

tiempo de procesos complejos es un método muy poderoso para avanzar en estos retos.[1]

Las señales de procesos complejos empíricos en general tienen una apariencia irregular y, por lo tanto, es difícil detectar estructuras de información (atributos relevantes dentro de un contexto determinado), en términos de métodos tradicionales (Transformada rápida de Fourier, modelos autoregresivos, función de autocorrelación y modelos lineales, entre otros), debido a que las señales de procesos complejos están caracterizadas por tener contaminación, limitaciones de tamaño, calidad y resolución, y se cuenta con un conocimiento muy limitado de los sistemas que las generan. Una estrategia de preprocesamiento puede ser construir un conjunto de señales procesadas aleatoriamente a partir de la señal original por medio de la combinación de diferentes filtros digitales. En este trabajo se muestra cómo se aplicaron métodos de dinámica no lineal para diferenciar y aislar la información determinista y estocástica en las señales de procesos complejos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se describe qué es una señal de procesos complejos. En la sección III, se describe brevemente la etapa de procesamiento para obtener el conjunto de señales procesadas por filtros. En la sección IV se muestran los métodos de dinámica lineal que se utilizan para la detección de estructuras de información. La integración y cuantificación de los métodos de dinámica no lineal se describen en la sección V. La metodología descrita se aplica al sistema de Lorenz con diferentes niveles de contaminación y de tamaño, los resultados se presentan en la sección VI. Finalmente, algunas conclusiones se exponen en la sección VII.

II. SEÑAL DE UN PROCESO COMPLEJO

Una señal de un proceso complejo se obtiene de medir alguna variable de un sistema complejo, constituido por diferentes partes que interactúan, por lo general, la señal es irreproducible y contiene diversas fuentes de contaminación, desconocidas e inseparables, que hacen que su análisis sea difícil. Además, con frecuencia se tiene un conocimiento teórico limitado del fenómeno y en particular de la relación ruido-señal, lo que hace indispensable implementar nuevas metodologías que den criterios de selección robustos, basados

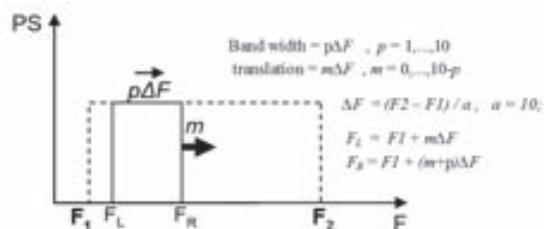
en una extensa cantidad de pruebas de ensayo y error.

El análisis no lineal de señales de un proceso complejo es una importante técnica usada en muchas disciplinas observacionales como economía, física, fisiología, y otras.[1,2]

III. ETAPA DE PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

El procesamiento consiste en la aplicación sistemática de diferentes filtros digitales pasabanda a la señal original (SO) para generar un gran conjunto de señales procesadas (SP). La aplicación de un filtro a una señal original genera una señal procesada. El filtro escogido es un filtro IIR Butterworth. Inicialmente se obtiene el espectro de potencias de la SO, luego se determinan las frecuencias F_1 y F_2 como las frecuencias inicial y final en donde está contenida el 95% de la energía. El rango de frecuencias definidas por F_1 y F_2 se divide en p partes iguales de ancho ΔF . El conjunto de filtros pasabanda que generan las SP es el resultado de las posibles combinaciones de F_L y F_R donde F_L es la frecuencia izquierda y F_R es la frecuencia derecha, ver Fig.1. Fijando el valor de p y variando el orden del filtro n (1 a 8) se obtienen 440 señales procesadas.

FIG.1. FILTROS DIGITALES PASA-BANDA CON TODAS LAS POSIBLES TRASLACIONES, p , Y EXPANSIONES, m , CON TAMAÑO DE PASO ΔF .



IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS NO LINEAL

Las señales de procesos complejos no pueden ser analizadas a través de métodos lineales tradicionales, es por ello que se hace útil la aplicación de herramientas de análisis no lineal de series de tiempo con apariencia estocástica [3,4]. Los diferentes métodos para analizar series de tiempo no lineal y su correspondiente "software", tienen fortalezas y limitaciones, por lo tanto, es importante combinar más de uno de ellos para maximizar sus fortalezas y minimizar sus limitaciones. En este trabajo se usaron tres métodos de análisis no lineal:

A. El método de falsos vecinos próximos, FNN[5].

El procedimiento de falsos vecinos próximos es un método utilizado para estimar la dimensión de inserción (embedding) óptima para una reconstrucción de la serie de tiempo. El algoritmo elimina los falsos vecinos, esto significa que puntos aparentemente cercanos en una dimensión m , son lejanos al aumentar la dimensión de inserción debido a la proyección en la nueva dimensión. Luego la dimensión de inserción óptima se encuentra cuando la mayoría de vecinos cercanos se mantiene al aumentar la dimensión de inserción.

El método es conceptualmente simple. Encontrados los vecinos cercanos X_i para cada punto X_n en una dimensión m y llamada la separación entre estos puntos $R_n(m)$:

$$R_n(m) = \sqrt{(X_i - X_n)^2 + (X_{i+1} - X_{n+1})^2 + \dots}$$

y calculada la separación $R_n(m+1)$ en una dimensión $m+1$, si $R_n(m+1)$ excede significativamente a $R_n(m)$, entonces los vecinos son cercanos solamente por solapamiento o cruces y, por lo tanto, son vecinos falsos. El criterio para designar como falso un vecino cercano es cualquier vecino para el cual sea válido

$$\frac{|X_{i+m} - X_{n+m}|}{R_n(m)} > R_T$$

donde R_T es un valor umbral. El porcentaje residual de falsos vecinos es indicativo del nivel de contaminación de la señal que se analiza.

FIG. 2. EL PORCENTAJE DE FALSOS VECINOS CERCANOS PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ, USANDO $\tau=8$ DETERMINADO CON EL MÉTODO DE INFORMACIÓN MUTUA. EL PORCENTAJE DE FNN CAE A CERO EN $m=3$.

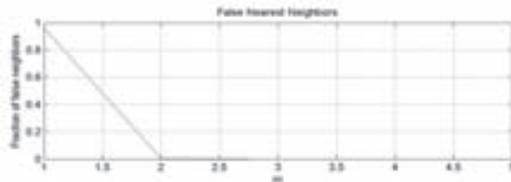


FIG. 3. EL PORCENTAJE DE FALSOS VECINOS CERCANOS PARA RUIDO BLANCO USANDO $\tau=1$.

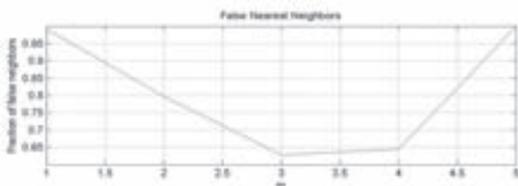


FIG. 4. EL PORCENTAJE DE FALSOS VECINOS CERCANOS PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ, DESPUÉS DE APLICARLE EL MÉTODO DE SURROGADOS.

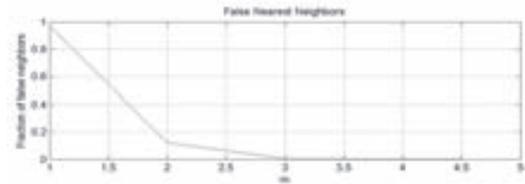
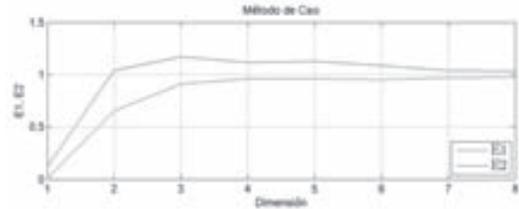


FIG. 5. VALORES E1 Y E2 PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ, E1 CRECE Y LUEGO DE $K=3$ SE ESTABILIZA. E2 TIENE UN COMPORTAMIENTO SIMILAR A E1.



En la Fig.2 se muestra el porcentaje de falsos vecinos para los datos del sistema de Lorenz como una función de la dimensión. El porcentaje de falsos vecinos próximos va a cero en $m=3$, y permanece cero de ahí en adelante. En contraste con estos resultados, en la Fig.3 el comportamiento para los datos de Ruido Blanco, se observa que el porcentaje de falsos vecinos decae pero nunca va a cero y luego de una dimensión de 4 vuelve a aumentar. Estos dos comportamientos se pueden considerar como referencias para información determinista e información estocástica respectivamente.

B. El método de Cao, CAO

Es otro método para estimar el valor de la dimensión de inserción (m) [6]. En este método se estiman dos funciones $E1(m)$ y $E2(m)$. $E1(m)$, similar a FNN, sirve para estimar la dimensión de inserción. En particular si la señal es determinista, $E1(m)$ crece rápidamente para las primeras dimensiones y se estabiliza bruscamente en un valor de m , el cual sería el valor estimado para la dimensión de inserción. Si la señal es estocástica $E1(m)$ crece monótonamente, no presenta una saturación brusca. $E2(m)$ permite distinguir una señal determinista de una estocástica: Si la señal es determinista, $E2(m)$ se asemeja mucho a $E1(m)$; comienza muy baja y crece rápidamente hasta que se estabiliza a partir de la dimensión de inserción. Para una señal estocástica, $E2(m)$ permanece invariable desde el comienzo (entorno a 1) independientemente de m . Resultados de la aplicación de este método se muestran en las figuras 5 y 6,

la primera para el sistema caótico de Lorenz y la segunda para Ruido Blanco.

C. El método de información mutua, IM[1].

La información mutua estima el valor óptimo del tiempo de retardo (τ) para la reconstrucción del espacio de fase [1,5]. La idea general es que un buen tiempo de retardo τ es aquel que dado un estado del sistema $X(t)$ provea una información nueva máxima acerca del estado $X(t + \tau)$, la diferencia entre el estado real y el predicho para $X(t + \tau)$ da una medida de esta información. Muchos bits de información pueden ser predichos para τ pequeño (los estados se encuentran “cerca”), pero esta cantidad de bits debe disminuir a medida que τ aumenta, de esta manera se toma como τ óptimo aquel donde se encuentre el primer mínimo local de la función de información. Por ejemplo, en la Fig.8 se muestra la función de Información Mutua para el sistema de Lorenz, con un primer mínimo en $\tau=8$.

D. Método de Surrogados

Una característica importante de un sistema caótico es que puede producir una serie de tiempo que pase la mayoría de pruebas de aleatoriedad. Así mismo, un sistema puramente aleatorio con un espectro de potencias no uniforme (ruido coloreado) puede pasar como caos. De esta manera, dar indicios acerca de si una serie es caótica o no se convierte en un aspecto fundamental del análisis, como ha sido mencionado previamente. La prueba de surrogados [7], está diseñada para imitar las propiedades estadísticas de los datos pero con el determinismo removido.

Comparadas las Figuras 4, 7 y 10 con las Figuras 2, 5 y 8 respectivamente, se puede observar cómo se afectan los resultados al aplicar el método de surrogados. Cuando se observa un cambio cualitativo implica que ciertas correlaciones de los datos se remueven e indican que hay presencia de determinismo en los datos analizados.

A pesar de la robustez de estas herramientas de análisis, su aplicación a señales reales puede no ser suficiente y esfuerzos adicionales deben ser hechos para encontrar resultados significativos. Al usar el método de surrogados en dos formas diferentes da indicios de la confiabilidad de esos resultados [7].

FIG. 6. VALORES E1 Y E2 PARA RUIDO BLANCO, E1 CRECE MONÓTONAMENTE SIN ESTABILIZARSE. E2 PERMANECE CONSTANTE ALREDEDOR DE 1

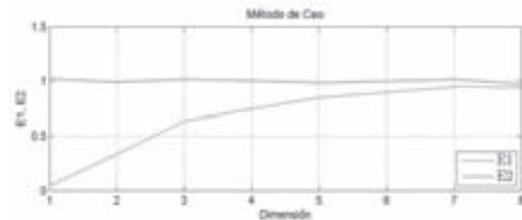


FIG. 7. VALORES E1 Y E2 PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ DESPUÉS DE APLICARLE EL MÉTODO DE SURROGADOS, E1 CRECE PERO NO PRESENTA UNA SATURACIÓN. E2 TIENDE A SER CONSTANTE CON VALORES CERCANOS A 0.9.

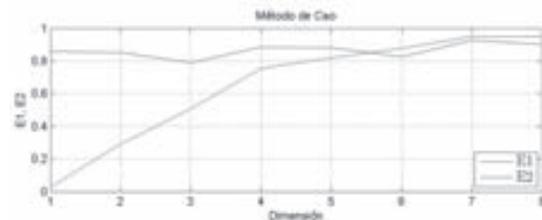


FIG. 8. FUNCIÓN DE INFORMACIÓN MUTUA PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ. EL PRIMER MÍNIMO DE ESTA FUNCIÓN ES $\tau=8$, Y ES EL VALOR DEL TIEMPO DE RETRASO QUE SE UTILIZA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO DE FASE.

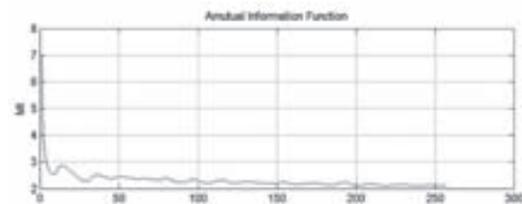


FIG. 9. FUNCIÓN DE INFORMACIÓN MUTUA PARA RUIDO BLANCO. NO HAY MÍNIMO.

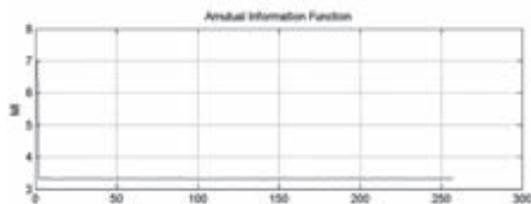
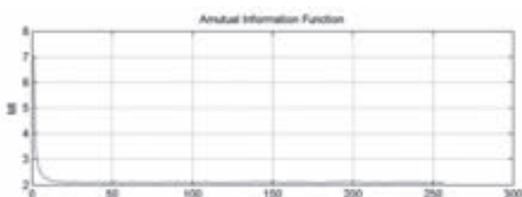


FIG. 10. FUNCIÓN DE INFORMACIÓN MUTUA PARA LA VARIABLE $x(t)$ DEL SISTEMA DE LORENZ, DESPUÉS DE APLICAR EL MÉTODO DE SURROGADOS. SE PRESENTA UN CAMBIO CUALITATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FUNCIÓN RESPECTO A LA FIG. 8.



V. INTEGRACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS

Los resultados de estos tres métodos no lineales son cualitativos, observados en las características de los gráficos que arrojan. Se desarrolló una transformación de estos resultados cualitativos en resultados cuantitativos presentados en la Tabla I.

TABLA I Estimativos Deterministas y Estocásticos

Método Valor	FNN	CAO	IM
D	≤ 1.0	≤ 0.8	Si $\tau > 1$ Y $\tau > 0.05$ IMmax
SD	(1.0 - 2.5)	(0.8 - 5.5)	-----
S	≥ 2.5	≥ 5.5	si τ noexiste

Estimativos Deterministas y Estocásticos. D=Determinista, S=Estocástico y SD=Estocástico/Determinista.

Después de aplicar esta transformación a resultados cuantitativos, se obtiene la matriz D, la cual consta de 9 columnas: las 3 primeras corresponden a los resultados de los tres métodos de análisis no lineal y las siguientes 6 corresponden a aplicar los dos métodos de surrogados con los tres métodos no lineales. Como se observa en la Tabla los resultados de esta matriz son D para determinismo, S para estocástico y SD es indefinido. A cada resultado se le asignó un valor numérico: D=1, SD=2, S=3. Los surrogados generan valores numéricos entre $\frac{1}{2}$ y 2 de acuerdo al resultado correspondiente a los tres métodos. Cada SP genera un número el cual es el resultado de sumar las nueve columnas, con valor mínimo de 0 para determinismo claro y de valor máximo 21 para estocasticidad.

VI. APLICACIONES AL SISTEMA DE LORENZ

La metodología expuesta se aplicó al sistema de Lorenz con ruido y con diferentes tamaños de la serie para observar la robustez de los resultados. En la Tabla II se muestran los resultados de la aplicación de este método para diferentes tamaños de la señal artificial de Lorenz, se observa que si aumenta el número de datos, N,

hay una disminución en el valor promedio de D, lo cual indica que si se tiene un mayor número de datos se hace más notoria la presencia de determinismo. En las figuras 11 y 12 se muestran los resultados del valor de D, para N=2000 los valores de D están entre 6-8 con algún punto fuera de este rango mientras que para N=10000 los valores se dispersan con un rango entre 4-8.

TABLA II Resultados para la señal artificial de Lorenz

Señal	N	D _{max}	D _{min}	D _{mean}
1	2000	9.5	5	6.5
2	5000	8	4	5.7
3	10000	8	4	4.5
4	20000	8	3.5	4.4
5	50000	8	2	4.2

D_{mean} = Promedio

Resultados de la metodología para la señal de Lorenz variando el número de datos N.

En la Tabla III se muestran los resultados de D si se adiciona un nivel de ruido a la señal original (N=10000), los valores de D aumentan sustancialmente, lo cual indica que hay pérdida del determinismo y se hace evidente la presencia de estocasticidad. En las Figuras 13 y 14 se observa el comportamiento de estos resultados para niveles de ruido del 10% y del 70%. Se puede notar que ciertos valores de D de la señal contaminada son similares a los obtenidos para la señal sin contaminar.

TABLA III Resultados para la señal artificial de Lorenz

Señal	% Ruido	D _{max}	D _{min}	D _{mean}
6	10	17	4	8.8
7	30	17	5	8.8
8	50	17	5	9.0
9	70	17	4	9.0

Dmean = Promedio

Resultados de la metodología para la señal de Lorenz adicionando ruido.

En las Figuras 15 y 16 se observa el cambio cualitativo del atractor de Lorenz por efecto de contaminación con ruido del 70%, lo que no impide, al método aquí presentado, detectar información determinista por la robustez que la combinación de las técnicas no lineales permite.

FIG. 11. RESULTADOS DE LA MATRIZ D EN FUNCIÓN DEL ORDEN DEL FILTRO n , PARA LA SEÑAL DE LORENZ CON $N=2000$ DATOS.

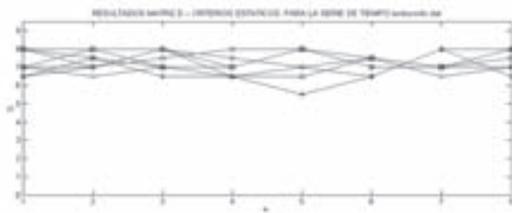


FIG. 12. RESULTADOS DE LA MATRIZ D EN FUNCIÓN DEL ORDEN DEL FILTRO n PARA LA SEÑAL DE LORENZ CON $N=10000$ DATOS.

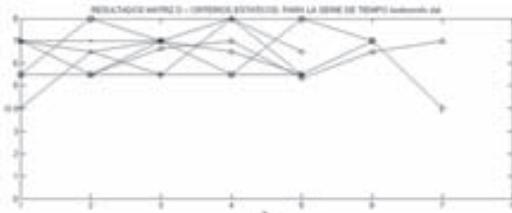


FIG. 13. RESULTADOS DE LA MATRIZ D EN FUNCIÓN DEL ORDEN DEL FILTRO n PARA LA SEÑAL DE LORENZ CON RUIDO DEL 10%.

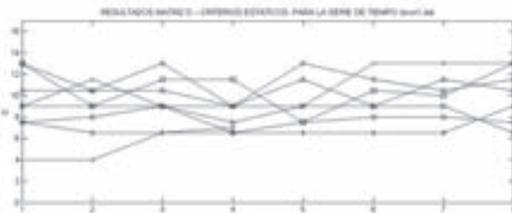


FIG. 14. RESULTADOS DE LA MATRIZ D EN FUNCIÓN DEL ORDEN DEL FILTRO n PARA LA SEÑAL DE LORENZ CON RUIDO DEL 70%.

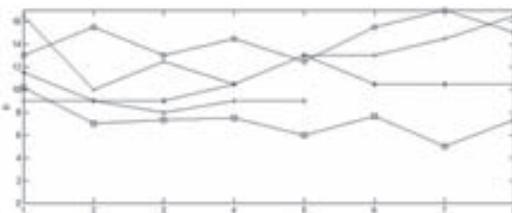


FIG. 15. ATRACTOR DE LORENZ CON RUIDO DEL 10%.

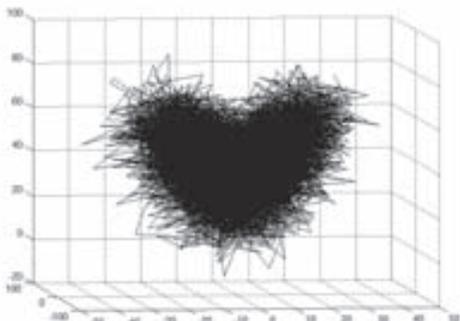
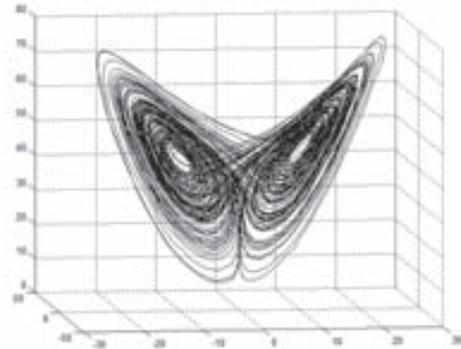


FIG. 16. ATRACTOR DE LORENZ CON RUIDO DEL 70%.



VII. CONCLUSIONES

La transformación de los resultados cualitativos de las tres técnicas no lineales a resultados cuantitativos permite establecer una consistencia de los resultados de la aplicación a la señal caótica artificial, lo que da validez a la transformación de valores cuantitativos a valores cualitativos.

Al aumentar el nivel de ruido en la señal original los resultados son consistentes y muestran que los indicios de información determinista D , se pierden mientras los de información estocástica S , aumentan.

Sin embargo, se observa una gran robustez, es decir, los resultados se mantienen cualitativamente constantes aumentando la contaminación, lo que permite considerar que el método aquí presentado puede ser una poderosa herramienta para el análisis, y posterior modelamiento de series de tiempo reales con apariencia muy irregular que difícilmente pueden ser analizadas con métodos tradicionales y que contienen fuertes limitaciones por tamaño, resolución y diferentes fuentes de contaminación y no estacionariedad. [8,9]

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del grupo de investigación “Sistemas Complejos” y a todo el personal de la Dirección Nacional de Investigaciones, Universidad Antonio Nariño.

REFERENCIAS

[1] J.C. Sprott. *Chaos and Time-Series Analysis*. 2nd ed. Ed. Oxford University Press, 2006, pp. 2-5 y pp. 314-317.

- [2] H. Kantz and T. Schreiber. *Nonlinear Time series Analysis*. Cambridge University Press, 2005.
- [3] R. Hegger and H. Kantz, *Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package*. arXiv:chao-dyn/9810005 v1. El software de Tisean se puede bajar en <http://www.mpiyks-dresden.mpg.de/~tisean/>, 1998.
- [4] Ch. Merkwirth, U. Parlitz and W. Lauterborn. *Nonlinear time series analysis using TSTOOL*. El software de Tstool se puede extraer en <http://www.physik3.gwdg.de/tstool/>, 2000, pp.256-260.
- [5] H. D. I. Abarbanel. *Analysis of observed chaotic data*, New York: Springer-Verlag. 1996, pp. 39-47.
- [6] L. Cao, *Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series*, Physica D 110, 1997, pp 43-50.
- [7] T. Schreiber and A. Schmitz, *Surrogate Time Series*. arXiv:chao-dyn/9909037, 27 Sep 1999.
- [8] R.M. Gutiérrez, G. Useche and E. Buitrago, *Separation of Stochastic and Deterministic Information from Seismological Time Series with Nonlinear Dynamics and Maximum Entropy Methods*. AIP Conf. Proc. 954, 2007, pp. 410-417.
- [9] R.M. Gutiérrez, G. Useche, "Desarrollo de Nuevas Herramientas de Dinámica No Lineal para el Análisis de Series de Tiempo", Revista Colombiana de Física Vol 4- No 2 2008, pp 491-493.

Reconstrucción y Mejoramiento de Placas de Vehículos en Movimiento

Javier Andrés Roncancio Villamil

Ms(c) en electrónica,

Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá

Estudiante, Proyecto de grado de maestría en

ingeniería electrónica,

Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia

jaronvil@hotmail.com

Resumen— Este trabajo presenta el tema de Reconstrucción y Mejoramiento de Placas de Vehículos en Movimiento para placas colombianas. En una imagen digital proveniente de un video de baja resolución, se disminuyen sus dimensiones por medio del análisis de las principales componentes, detecta y segmenta objetos que concuerden con las características físicas de una placa, realiza una corrección de perspectiva, se reemplazan fragmentos de la imagen que no posean información de alta frecuencia por fragmentos de una base de datos sintética del mismo tipo de escena “superresolución”, un tema que es relativamente nuevo pero que cuenta con cierto grado de complejidad para mejorar el detalle en imágenes que posean baja calidad..

Palabras clave— Corrección en perspectiva, PCA, procesamiento digital de imágenes, superresolución, segmentación.

Abstract— This paper presents the topic of Reconstruction and Improvement of plates of vehicles in the Movement for Colombian plates. In a digital image from a low-resolution video, will diminish its size through analysis of key components, detects objects and segments that match the physical characteristics of a plate, made a correction in perspective, replaces fragments of the image that does not have information of high frequency by fragments from a database of the same type of synthetic scene “superresolution”, a subject that is relatively new but with some degree of complexity to improve detail in the images that have poor quality.

Keywords— Perspective of correction, digital image processing, superresolution, segmentation

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe un deseo frecuente y en algunas ocasiones una necesidad de capturar imágenes con una alta calidad o resolución, debido a que puede ser bastante útil en varios campos como el militar, espacial, en medicina y en astronomía, entre otros; en donde, los pequeños y mínimos detalles en una imagen pueden hacer una gran diferencia. Pero en ocasiones, las imágenes obtenidas no satisfacen dicha necesidad, debido a que pueden tener algunos problemas, como que se encuentren con movimiento, con ruido, desenfocadas, con turbulencia, u otros. Es en este punto, donde se puede utilizar el método de súper resolución para mejorar la calidad de imágenes.

No obstante, existen varios enfoques que ayudan a cumplir con dicho objetivo, pero el propósito principal de la súper- resolución es reconstruir una imagen que cuente con detalles mínimos, además de permitir que se obtenga una resolución y calidad superior de la imagen inicial. Sin embargo, existen dos enfoques que comienzan a partir de la obtención de varias imágenes estáticas que ostenten algún problema, es decir, que tengan una baja calidad; para conseguir una imagen detallada y con una alta calidad, la súper resolución aporta dos procedimientos. [2]

El primero consiste en la combinación de una secuencia de imágenes de baja resolución, que aportan una única información parcial por cuadros que permiten una total restauración de cualquier imagen, mejorar el enfoque y hasta ampliar el tamaño sin pérdida de calidad. Es esencial que entre el conjunto de imágenes escogidas, se encuentren algunas diferencias entre ellas, es decir, que cada una aporte una información nueva por

imperceptible que parezca. El segundo enfoque consiste en trabajar con una sola imagen de baja resolución de una escena ya establecida a la cual se intercambiarán parches de baja resolución de ella con unos de alta resolución de una base de datos ya previamente conformada sobre la escena determinada. [1] La superresolución de imágenes, puede ser utilizada en una gran variedad de aplicaciones en visión artificial y tratamiento de imágenes. No obstante, la súper resolución, conceptualmente puede ser descompuesta en dos pasos, el primero el registro (Interpolación) y el segundo la restauración.

Es innegable que la súper resolución, logra generar grandes aportes a través de las diferentes y varias aplicaciones que ofrece, debido a que se puede desde corregir imágenes desenfocadas hasta mejorar imágenes satelitales, pasando por optimizar videos de baja resolución, duplicar la calidad de las fotografías, restaurar fotos con movimiento, entre otras aplicaciones, en pocas palabras se podría asegurar, que la súper resolución se ocupa de las imágenes o videos que hayan sido tomados con aparatos tradicionales (cámaras fotográficas, videocámaras y otros.) con un lente de baja calidad óptica, lo cual tiene un efecto de baja resolución.

El trabajo se enfoca en la restauración y mejoramiento de imágenes de placas de automóviles para su lectura automática. Debido a que las imágenes son capturadas a vehículos en movimiento, existen diferentes factores que afectan la calidad de las mismas, tales como la orientación, velocidad de obturación por parte del CCD de la cámara, calidad de la cámara, la velocidad de los vehículos, la iluminación de la escena y, quizás la más importante, la distancia entre la placa y la cámara. Si la imagen es capturada cuando el vehículo se encuentra cerca de la cámara, un mayor porcentaje de píxeles de la imagen pertenece a la placa y la cantidad de información presente puede ser suficiente para su lectura. Sin embargo, se realizará la lectura de la placa del vehículo sobre cualquier imagen en la cual su placa sea visible, como se ilustra en la Fig 1. Por lo general, cuando el vehículo se encuentra lejos de la cámara las placas son visibles, pero su calidad es muy inferior y ésta disminuye el desempeño del algoritmo de reco-

nocimiento óptico de caracteres, utilizado para la identificación de los vehículos. En la Fig 2, se ilustran dos imágenes de placas de vehículos en movimiento capturadas a diferentes distancias de la cámara.

FIG. 1. IMAGEN DE DOS VEHÍCULOS EN DOS TIEMPOS DISTINTOS, (A) EL VEHÍCULO QUE SE ENCUENTRA MÁS LEJOS DEL LENTE ÓPTICO NO SE ALCANZA A DISTINGUIR SU NÚMERO DE MATRÍCULA. (B) PARA EL MISMO VEHÍCULO DE LA ESCENA ANTERIOR VEMOS QUE SE ENCUENTRA TRASLAPADO CON OTRO VEHÍCULO EL CUAL IMPIDE VER SU NÚMERO DE MATRÍCULA.



(a)

(b)

FIG. 2. SE ILUSTRAN DOS IMÁGENES DE PLACAS DE VEHÍCULOS EN (A) ESTÁ A UNA DISTANCIA MÁS LARGA DE LA IMAGEN (B) DEL LENTE ÓPTICO CON LA QUE FUE CAPTURADA LA IMAGEN (B).



(a)

(b)

Este artículo se encuentra dividido en varias partes, empieza por una breve reseña donde se busca que el lector se apropie del tema y obtenga una idea general de lo que encontrará a lo largo del texto, luego se profundizará acerca del tema de súper resolución, para lograr llegar a describir los procesos necesarios en una restauración de diferentes imágenes en este tipo de escena, que expone los resultados obtenidos durante la investigación, tanto los realizados como los esperados y, por último, mostrar a las conclusiones que logramos llegar debido al trabajo realizado.

II. SUPERRESOLUCIÓN

La súper resolución surge debido a que en la adquisición, las imágenes digitales son, invariablemente, degradadas por una serie de fenómenos que limitan la resolución de la imagen y la utilidad. Los factores que pueden limitar la efectiva resolución de una escena, puede incluir una sensación de falta de enfoque debido al movimiento de los vehículos, otros factores son por una baja calidad del lente óptico, un as-

pecto de desenfoque y/o con ruido. En muchas aplicaciones de imágenes, existe un deseo de capturar un amplio campo de visión que cuente con una alta resolución espacial, de aquí nace la súper resolución, debido a que este algoritmo fue creado con la intención de resolver el problema clásico de eliminar la borrosidad causada por la difracción de un sistema óptico limitado. [4]

Investigaciones previas realizadas en este campo

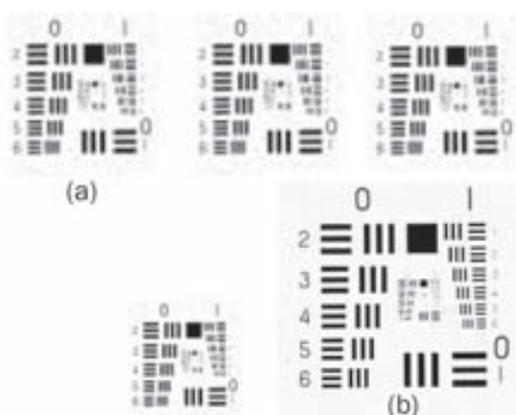
Existen varias técnicas de súper resolución conocidas para resolver el problema del bajo detalle de una imagen, entre las más sobresalientes debido a su alto nivel investigativo y de los cuales han surgido los mejores resultados a través de expertos en el tema se encuentran:

A. Secuencia de imágenes de la misma escena

Utiliza varias imágenes de baja resolución de una misma escena, con pequeños desplazamientos entre ellas y con diferentes degradaciones de cada imagen en distintas zonas.

Cada cuadro de la secuencia de baja resolución sólo trae información parcial de la imagen original en alta resolución como se observa en la Fig. 3. [20]

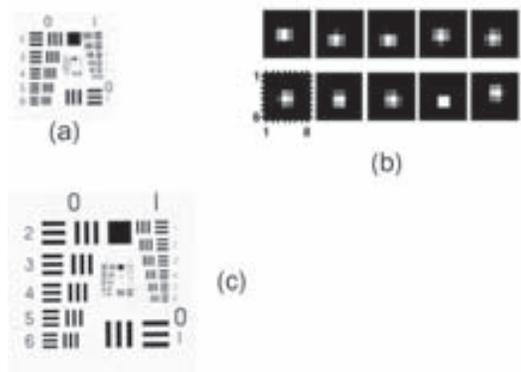
FIG. 3. CON UNA (A) SECUENCIA DE IMÁGENES DE LA MISMA ESCENA DE BAJA RESOLUCIÓN SE OBTIENE (B) UNA DE ALTA RESOLUCIÓN.



B. Una imagen

Utiliza una imagen de baja resolución y se le agregan parches de alta resolución de la misma escena, en donde la imagen no esté definida en sus bordes como se observa en la Fig. 4. [1]

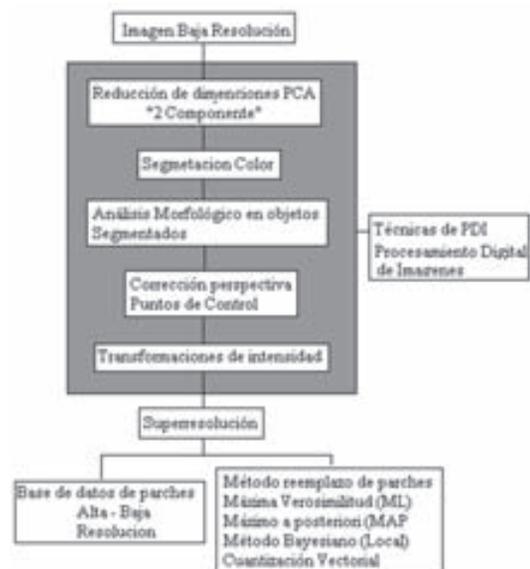
FIG. 4. CON UNA (A) IMAGEN DE BAJA RESOLUCIÓN. (B) UN BANCO DE PARCHES SE REEMPLAZAN LOS DE BAJA POR ALTA RESOLUCIÓN (C) SE OBTIENE UNA IMAGEN CON MAYOR CALIDAD DEL DETALLE.



De igual forma, existen varios métodos prácticos que se utilizan para aportar soluciones a algunos problemas que se pueden presentar en el reemplazo de parches entre baja y alta resolución, el primero de estos métodos es conocido como Máxima Verosimilitud (también conocido por las iniciales en inglés, Maximum Likelihood, ML), el segundo es Máximo a Posteriori (MAP), otro método es el de Proyección basada en conjuntos convexos (POCS), el cuarto método es llamado técnicas basadas en la transformación rápida de Fourier (FFT, "Fast Fourier Transform"), sistema de interpolación no uniforme y Cuantización vectorial. [2]

III. ALGORITMO

FIG. 5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ALGORITMO PLANTEADO PARA SOLUCIONAR LA FALTA DE DETALLE EN UNA IMAGEN EN UN TIPO DE ESCENA PREVIAMENTE DEFINIDA.



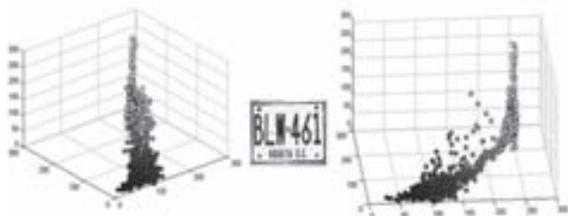
En la Fig 5 apreciamos el diagrama de bloques en el cual abarca el problema de falta de resolución en una imagen, el último nivel de arriba abajo existes dos posibles soluciones planteadas para la reconstrucción de imágenes que son: el reemplazo de parches entre baja – alta resolución y la predicción de líneas perdidas en el proceso de adquisición de la imagen y su procesamiento mediante la conexión del vecino más cercano.

¿Cómo identificar la técnica de reconstrucción ideal para tratar una escena específica como lo es la placa de un vehículo? Se escogieron dos técnicas que son las ideales para trabajar en esta escena porque ya existen investigaciones realizadas con estos modelos con buenos resultados, el objetivo es reemplazar detalles perdidos, ya sea mediante parches de alta resolución o mediante la inserción de líneas de unión entre los puntos discontinuos de la escena esperada.

IV. RESTAURACIÓN DE LA IMAGEN

Las técnicas de procesamiento de imágenes para su restauración están compuestas por varios procesos que describiremos a continuación. El primer aspecto que se analiza en la imagen inicial es el espacio RGB, en la Fig. 6 cada color se representa por sus componentes espectrales primarios; rojo, verde y azul, para el color amarillo lo identificamos [1 1 0]. Este modelo está basado sobre un Sistema de coordenadas cartesianas [R G B]. [6]

FIG 6. REPRESENTACIÓN DE UNA IMAGEN EN EL ESPACIO DE COLOR RGB.



- **El primer** proceso se aplicará al análisis de componentes principales (PCA) para representar imágenes en una dimensión, este concepto fue introducido por primera vez por Lawrence Sirovich y Robert M. Kirby [7], la imagen inicial está en el modelo de color (RGB) lo cual hace que el procesamiento en este formato sea lento y más complejo por

su dimensionalidad, lo cual se procede a descomponer la imagen en sus autovalores ordenados ascendentemente por su peso “eigenvalues” como se muestra en la Fig 8, se trabaja normalmente con la segunda componente (λ_2) por el contraste que genera el color amarillo con respecto al resto de la escena que no es importante para este problema. [8]

FIG. 7. IMAGEN ORIGINAL



FIG. 8. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA IMAGEN 7, DE IZQUIERDA A DERECHA ESTÁN UBICADAS SEGÚN EL PESO DE SUS AUTOVALORES.



TABLA I. Autovalores de la Fig 7.

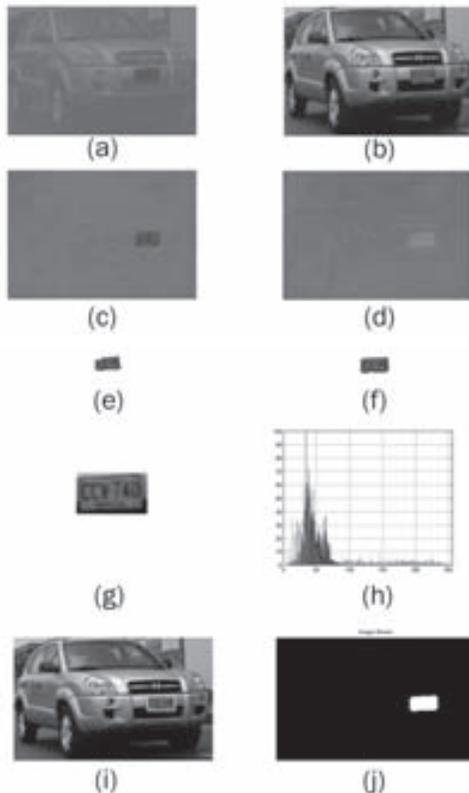
λ_1	λ_2	λ_3
0.1785	0.0013	0.0001

- **El segundo** proceso es la segmentación de la placa del automóvil, se trabajó por color bajo varios enfoques, el primero se trabajó en el espacio de color YCbCr es utilizado en sistemas de fotografía y video digital como se muestra en la Fig. 9 [9]. Define el color en términos de componente de luminancia y dos de crominancia, se trabaja bajo las tres componentes como primer método.

Se encontró como resultado que este modelo puede segmentar otras regiones que no son de nuestro interés, porque tienen amarillo y cumplen el rango de intensidad asignado para aislar el color amarillo pero se pueden descartar por un análisis morfológico en cada región encontrada [10]. El segundo método propuesto fue trabajar con la componente Cb, ya que el color amarillo tiende a verse

más oscuro como el la Fig. 9c. La tercera forma de trabajar fue con la componente λ_2 de PCA.

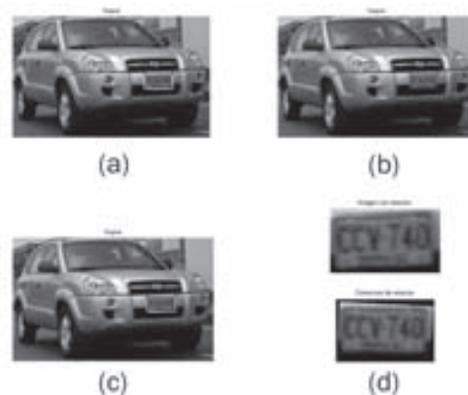
FIG. 9. (a) DE LA FIG 7 SE CONVIRTIÓ AL ESPACIO YCbCr. (b) EL LA COMPONETE Y DE LUMINANCIA. (c) ES LA COMPONENTE Cb CROMINANCIA (CHROMA) COLOR AZUL. (d) ES LA COMPONENTE Cr CROMINANCIA (CHROMA) COLOR ROJO. (e) SEGMENTACIÓN OBJETOS QUE CUMPLAN EN NIVEL ASIGNADO DE INTENSIDAD PARA CADA COMPONENTE YCbCr (f) IMAGEN SEGMENTADA QUE TRABAJA SÓLO CON LA COMPONENTE Cb POR INTENSIDAD DE GRIS. (g) IMAGEN SEGMENTADA QUE TRABAJA CON LA λ_2 DEL PROCESO DE PCA. (h) HISTOGRAMA DE LA FIG 8 λ_2 . (i) APLICACIÓN TÉCNICA "BOUNDINGBOX" DE LA REGIÓN DE INTERÉS. (j) IMAGEN BINARIA DEL ÁREA ENCONTRADA DE INTERÉS.



- **El tercer** proceso corresponde al análisis morfológico de objetos encontrados en el proceso anterior. Se vuelve binaria la imagen como se muestra en la Fig. 9j, se lee cuántos píxeles blancos tenga de Ancho y Alto y se pasa por la condición de $2 * \text{Alto} = \text{Ancho}$, el valor debe oscilar entre 2 con rango de tolerancia ± 0.5 con distancia entre 1-10 metros. Para distancias superiores el rango puede llegar a disminuir hasta $2 * \text{Alto} = 1$. Los objetos que cumplan esta condición se mostrarán en la imagen y los que no se dejan de mostrar.
- **El cuarto** proceso corresponde a la corrección de perspectiva, esto se hace por medio de la técnica de Deformación de imágenes en movimiento mediante los mínimos cuadrados, consiste en la inserción de puntos o

líneas de control imaginarios, se ubican de acuerdo a la forma de la imagen en este caso un rectángulo con ligeras inclinaciones, se ubicaron 4 puntos en cada extremo de la imagen inicial (deformada) y se evalúan en dónde deberían estar esos 4 puntos para una imagen sin inclinaciones mediante la información obtenida de la Fig. 9j. Los dos puntos superiores deberían estar alineados a la misma altura $P1(x1, y1)$ y $P2(x2, y2)$ también debería ser igual con $P3(x3, y3)$ y $P4(x4, y4)$. Lo que quiere decir $P1(y1)=P2(y2)$, $P3(y3)=P4(y4)$, $P1(x)=P3(x)$ y $P2(x)=P4(x)$ si estas afirmaciones son correctas se deja la imagen Fig. 9g y cumple que no hay ningún tipo de inclinación en la imagen, pero si no lo cumplen se procede a detectar en cuál de estas no lo cumple y qué grado de inclinación existe; se corrige interpolación bilineal para cada píxel de la imagen a la posición esperada.[12]

FIG. 10: (a) IMAGEN INICIAL CON DEFORMACIÓN Y CON LOS PUNTOS DE CONTROL ELEGIDOS (b) IMAGEN CON LOS PUNTOS DE CONTROL QUE DEBERÍA TENER (c) IMAGEN CON LAS DOS COMPARACIONES DE A Y B AL TIEMPO (d) CORRECCIÓN DE LA INCLINACIÓN, ALFA=3° DE ELEVACIÓN ENCONTRADA.



En la toma de videos se encontró que normalmente hay un ángulo de inclinación entre 10° (elevación) y -10° (depresión) cuanto el vehiculo se encuentra a menos de 15 metros y con un ángulo de captura por parte del lente óptico entre 80° y 50° en la Fig. 11 se muestra la posición del lente óptico con respecto a la escena. Estos aspectos se deben corregir de forma automática para las imágenes de baja resolución de una escena específica, con un porcentaje de error aceptable debido a que la escena esperada no cumple los parámetros de similitud con la de entrada.

FIG. 11. POSICIÓN LENTE ÓPTICO EN LA ESCENA.



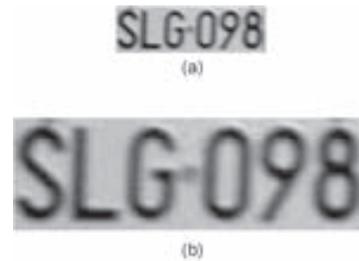
Un paso intermedio necesario y compuesto por el tratamiento morfológico a la imagen, el realce de los bordes se utiliza un filtro pasa altos, el cual se encarga de mejorar las características lineales de la escena, como vemos en la Fig. 12. [13]

FIG. 12. (a) IMAGEN DE ENTRADA DE UNA MATRICULA, (b) FILTRO PASA ALTOS DE LA IMAGEN ORIGINAL Y (c) SUMA DE LA IMAGEN ORIGINAL + FILTRO PASA ALTOS.



- En el tramo final de esta etapa es el más importante, debido a que se procede a realizar la interpolación de la imagen para normalizar sus dimensiones, se trabajaron con varios métodos como haning lancsos, bspline, bilineal y vecino más cercano para definir cuál de estos es el más indicado para la escena a interpolar y que no posea un costo computacional alto, se realizan varias pruebas de normalizar dimensiones de una placa de un vehículo y se encontró que el método bilineal cumple con los objetivos esperados de normalizar dimensión sin tener pérdidas significativas en los bordes y un costo computacional relativamente bajo. En la Fig. 9 se muestran resultados. La Interpolación es necesaria cuando la distancia entre el lente óptico y la matrícula es muy grande y se ve reflejado en las dimensiones de la matrícula además se debe normalizar las dimensiones de las placas para la etapa de superresolución.

FIG. 13. INTERPOLACIÓN DE LA IMAGEN DE ENTRADA DIMENSIONES 114X36 (a) MEDIANTE EL MÉTODO BILINEAL SE OBTIENE LA IMAGEN DE DIMENSIONES 460X148 (b).



De acuerdo a los resultados obtenidos en la última etapa específicamente en la interpolación, si no fueron bien tratados los resultados en la reconstrucción de la imagen sin importar el método que se aplique, los resultados no serán óptimos, así que el resultado de una imagen con un alto detalle dependen específicamente de su método de interpolación y de la reconstrucción de la imagen; en la Fig. 13 vemos dos tipos de interpolaciones en las que a simple vista del ojo humano no se encuentran diferencias entre ellas pero al momento de la reconstrucción de la imagen podemos obtener un mejor resultado con la Fig. 10a debido a que este tipo de interpolaciones son desarrolladas por software especializados en el mejoramiento de imágenes digitales que parte de interpolar, realizan un mejoramiento de la imagen que hace que no se vea pixelada, los software que realizan este tipo de procesamientos son Adobe photoshop, Altamira y Xnview. Por eso sólo trabajaremos con las más trabajadas y con la que nos puede dar el mejor resultado.

Se ha detectado que en algunas ocasiones no es necesaria la superresolución, ya que con sólo la fase de restauración de imágenes se puede identificar satisfactoriamente el número de la placa del vehículo, así que sería inoficioso trabajar en la última fase que corresponde a la superresolución; cuando el proceso de restauración de imágenes basta para poder ver e identificar la placa se debe a que el vehículo se encontraba cerca del lente óptico.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ESPERADOS

Las pruebas experimentales que se han realizado hasta el momento son las dos primeras etapas de la metodología propuesta. La primera correspon-

de a la Adquisición (cómo se obtuvo la imagen) y Procesamiento de la imagen (tratamiento preliminar), la imagen se adquiere por medio de un video enfocado a la escena de un paso vehicular, en el cual se extraen imágenes estáticas de vehículos en movimiento, estas imágenes, por lo general, no presentan mayor calidad de detalle como por ejemplo distinguir su número de matrícula, debido a varios factores como la borrosidad causada por la difracción de un sistema óptico limitado, falta de resolución de la cámara para la captura de imágenes, y otros. La segunda etapa está compuesta por dos procesos ligados como lo son el procesamiento de la imagen más que necesario y su interpolación para extender las dimensiones de la escena segmentada, en el procesamiento implica disminuir las dimensiones de la imagen por medio de PCA, segmentación por color, análisis morfológico a los objetos encontrados para descartar falsos positivos y corrección de perspectiva. La interpolación propuesta por el método bilineal, en esta etapa se recomienda la óptima forma de interpolar a la escena específica debido a que si se agranda sus dimensiones de la imagen se podría distorsionar en su gran mayoría y no sería factible un mejoramiento de imagen en la parte de restauración. Los tiempos de velocidad de ejecución del algoritmo en la etapa de procesamiento digital de imágenes corresponde a (2 segundos), estos tiempos son sólo de referencia puesto que no es el algoritmo final ya que se debe trabajar en la parte de optimización de funciones ya como tarea final. La tercera y última etapa de este proceso de superresolución, corresponde al mejoramiento de la imagen el cual está en desarrollo; existen varias formas para lograrlo, pero basándonos en investigaciones previas al tema se puede constatar que existen dos formas viables para el caso específico de las matrículas de automóviles, los resultados esperados consisten en una reconstrucción de la imagen en la cual se pueda identificar claramente las letras y números de ella. La primera técnica propuesta para la restauración de la imagen, es mediante el reemplazo de parches de alta por los de baja resolución de la imagen, que se dividen en parches de 5x5 para su posterior reemplazo, a través de varias formas propuestas como lo son: Máxima Verosimilitud (también conocido por las iniciales en inglés, Maximum Likelihood, ML), el segundo es Máximo a Posteriori (MAP) y técnica bayesiana por medio de locales [1] [23].

VI. CONCLUSIONES

Se determina mediante la investigación teórica (Implementación práctica en proceso) que la superresolución es apta para el mejoramiento del detalle de una o varias imágenes, el resultado depende de su trabajo en sus dos fases (interpolación y restauración de las imágenes). Se encontró que un óptimo procesamiento de la imagen beneficia enormemente la parte de reconstrucción de ella y se demuestran las enormes diferencias. La superresolución está constituida por una serie de pasos importantes, en los cuales si uno de ellos falla el resultado final no sería el esperado para identificar los caracteres alfanuméricos de la placa. Para obtener resultados ideales se debe delimitar aspectos técnicos como el tipo de escena, la luz, posición lente óptico con respecto a la escena, base de datos sintética debe ser mayor a 80.000 parches entre baja y alta resolución.

REFERENCIAS

- [1] W.T. Freeman, E.C. Pasztor, and O.T. Carmichael, *Learning Low-Level Vision*, Int'l J. Computer Vision, vol. 40, no. 1, Oct. 2000, pp. 25-47.
- [2] William T. Freeman, Thouis R. Jones, and Egon C. Pasztor Mitsubishi Electric Research Lab, *Example-Based Super-Resolution*, Mitsubishi Electric Research Labs *IEEE Computer Graphics and Applications*. <http://computer.org/publications/dlib>.
- [3] W.T. Freeman and E.C. Pasztor, *Learning to Estimate Scenes from Images*, *Adv. Neural Information Processing Systems*, M.S. Kearns, S.A. Solla, and D.A. Cohn, eds., vol. 11, MIT Press, Cambridge, Mass., 1999, pp. 775-781.
- [4] W.T. Freeman and E.C. Pasztor, *Markov Networks for Superresolution*, Proc. 34th Ann. Conf. *Information Sciences and Systems* (CISS 2000), Dept. Electrical Eng., Princeton Univ., 2000.
- [5] Loic Baboulaz and Pier Luigi Dragotti *LOCAL FEATURE EXTRACTION FOR IMAGE SUPER-RESOLUTION*, *Communications and Signal Processing Group, Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, Exhibition Road, London SW7 2AZ, England 2007*.
- [6] Jesús Vega y Marlon Reyes, "Transformaciones lineales y no lineales para espacios de color en procesamiento digital de imágenes", Grupo de

- investigación en tratamiento de señales y microelectrónica, Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Rev. Int. Mét. Num. Cálculo. Dis. Ing. Vol. 22, 3, 223-240 (2006).
- [7] L. Sirovich and M. Kirby (1987) *Low-dimensional procedure for the characterization of human faces* *Journal of the Optical Society of America A*, 4(3), 519-524L.
- [8] Marcelo J. Armengot Iborra y Francesc J. Ferri. "Análisis comparativo de métodos basados en subespacios aplicados al reconocimiento de caras". Universidad de València. Septiembre de 2006.
- [9] Hideki Noda, Michiharu Niimi, *Simple and Efficient Colorization in YCbCr Color Space*, Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. *18th International Conference on Volume 3*, 0-0 0 Page(s):685-688 Digital Object Identifier 10.1109/ICPR.2006.1053.IEE Computer Society.
- [10] Son Lam Phung; Bouzerdoum, A.; Chai, D.A *novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection*, Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on Volume 1, 22-25 Sept. 2002 Page(s):1-289 - 1-292 vol.1 Digital Object Identifier 10.1109/ICIP.2002.1038016
- [11] Pandey, S.; Kumar, S. *A novel approach to automatic object detection using intensity pattern recognition in YCbCr Color space, Audio, Language and Image Processing*, 2008. ICALIP 2008. International Conference on 7-9 July 2008 Page(s):1274 - 1277 Digital Object Identifier 10.1109/ICALIP.2008.4590147
- [12] Shaefer Scott, McPhail Travis, Warren Joe. *Image Deformation Using Moving Least Squares*.
- [13] Rafael Gonzalez, Richard E. Woods Steven L. Eddins, *Digital Image Processing using Matlab*, editorial Pearson Prentice Hall 2008.
- [14] Capel and A. Zisserman. *Computer vision applied to superresolution*. IEEE Signal Processing Magazine, pages 75-86, May 2003.
- [15] Russell Hardie, Senior Member, IEEE *A Fast Image Super-Resolution Algorithm Using an Adaptive Wiener Filter*, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 16, NO. 12, DECEMBER 2007 2953.
- [16] él yu, hui kim-yap, miembro del IEEE, chen li, miembro del IEEE, y lap-pui chau, senior member, IEEE "A no lineal técnica de mínimos cuadrados para el registro simultáneo de imagen y superresolución", IEEE transactions on image processing, vol. 16, no. 11, November 2007.
- [17] G. Jacquemod, C. Odet, and R. Goutte, *Image resolution enhancement using subpixel camera displacement*, Signal Process., vol. 24, pp. 139-146, Jan. 1992.
- [18] N. K. Bose and K. J. Boo, *High-resolution image reconstruction with multisensors*, Int. J. Imag. Syst. Technol., vol. 9, pp. 294-304, Dec. 1998.
- [19] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, *Super-resolution image reconstruction: A technical overview*, IEEE Signal Process. Mag., vol. 20, no. 5, pp. 21-36, May 2003.
- [20] Hu He and Lisimachos P. Kondi, Member, IEEE *An image super-resolution algorithm for different error levels per frame*, IEEE transactions on image processing, vol. 15, no. 3, march 2006.
- [21] S. Borman and R.L. Stevenson, *Super-resolution from image sequences A review*, in Proc. 1998 Midwest Symp. Circuits and Systems, 1999, pp. 374-378.
- [22] Hertzmann et al., *Image Analogies*, Computer Graphics (Proc. Siggraph 2001), ACM Press, New York, 2001, pp. 327-340.
- [23] S. Baker and T. Kanade, *Limits on Super-Resolution and How to Break Them*, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. II, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 372-379.

Recuperación de imágenes por contenido a través de Momentos

Gloria Elena Jaramillo

Ingeniera de Sistemas,
Universidad Nacional de Colombia
Investigador Grupo de Investigación y Desarrollo en
Visión Artificial, Universidad Nacional
Medellín, Colombia
gejarami@unalmed.edu.co

John William Branch

PhD Ingeniería de Sistemas,
Universidad Nacional de Colombia,
Coordinador Grupo de Investigación y Desarrollo en
Visión Artificial, Universidad Nacional
Medellín, Colombia
jwbranch@unalmed.edu.co

Resumen— En la actualidad, gracias a la popularización de dispositivos digitales de captura y manipulación de imágenes y a la Internet ha sido posible la creación de una gran cantidad de repositorios de información multimedial, incluidas centenares o miles de imágenes, las cuales implícitamente guardan información que se hace necesario acceder de manera óptima. Los sistemas de Recuperación de Imágenes por Contenido (CBIR – Content Based Image Retrieval) presentan una solución al problema de descripción y recuperación de imágenes en grandes colecciones de datos, por medio de peticiones basadas en las características de la imagen, a diferencia de las peticiones semánticas tradicionales. Este artículo, presenta una evaluación de dos técnicas de recuperación de información visual basada en forma. Para ello, se utiliza como caso de estudio una base de datos de imágenes de piezas automotrices y mecánicas agrupadas por similitud semántica. Para la evaluación de los algoritmos, se presentan los resultados de precisión arrojados para cada una de las categorías.

Palabras clave— Descriptor de forma, descriptor de textura, momentos geométricos, momentos de Zernike, recuperación de imágenes por contenido.

Abstract— At present, thanks to the popularization of digital devices of capture and manipulation of images and to the Internet, the creation of a great amount of repositories of multimedial information has been possible, including hundreds or thousands of images, which implicitly keep information that becomes necessary to retrieve of optimal manner. The Content Based Image Retrie-

val Systems (CBIR) present a solution to the description and recovery problem of images in great collections of data, by means of requests based on the features of the image, unlike traditional semantic requests. This article presents an evaluation to two techniques of visual information retrieval based on visual descriptions of form. In order to do that, a data base of images of automotive and mechanical pieces grouped by semantic similarity is used as case of study. For the evaluation of the algorithms, it is presented the results of precision for each one of the categories.

Keywords— content-based image retrieval, shape descriptor, geometric moments, Zernike moments.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de Recuperación de Imágenes por Contenido o CBIR (Content-Based Image Retrieval) surgen alrededor de 1970 como una alternativa a los sistemas de recuperación de información visual existentes en el momento (búsqueda por navegación y búsqueda textual), los cuales presentaban tres grandes inconvenientes: la subjetividad del significado semántico en imágenes con connotaciones emocionales, la imprecisión de una anotación basada en el texto adyacente y el costo humano de anotar manualmente todas las imágenes de una base de datos. Los sistemas de recuperación de imágenes basadas en contenido visual superan los inconvenientes de las búsquedas tradicionales al brindar una definición matemática basada en las características de la imagen.

Para implementar sistemas capaces de realizar este tipo de consulta, es necesario identificar cuál o cuáles son los descriptores que mejor definen una imagen, principalmente se han reconocido tres tipos de descriptores: color, textura y forma; los cuales, si es necesario, pueden ser combinados, asignando peso a cada uno ellos con el fin de lograr una mayor precisión en la definición.

La construcción de sistemas de recuperación de información visual es una tarea compleja, atribuido principalmente a la gran cantidad de datos distribuidos, limitaciones técnicas, la brecha existente entre la descripción de la imagen y su contenido semántico, además de desarrollar algoritmos óptimos capaces de determinar y recuperar de manera automática los objetos de interés en una escena. Debido a esto, los grandes avances que se han logrado en los motores de búsqueda basados en peticiones textuales no deben ser comparados con las herramientas de análisis, clasificación y recuperación de elementos multimediales.

El presente artículo es un aporte a la evaluación de técnicas de recuperación en dominios específicos, mediante la forma como descriptor de las imágenes. El artículo se estructura como sigue: la sección 2 presenta los trabajos previos de recuperación de información visual, la sección 3 presenta el sistema propuesto junto con los descriptores utilizados. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos y finalmente las conclusiones.

II. TRABAJOS PREVIOS

Debido a la gran utilidad de los sistemas de recuperación de información visual, han sido numerosos los sistemas desarrollados tanto a nivel comercial como investigativo. A continuación se destacan sólo algunos de los sistemas más conocidos.

QBIC (Query by image content) [1], este sistema creado por IBM fue el primer sistema comercial en aparecer en el mercado y es, tal vez, el sistema de recuperación de imágenes más conocido. QBIC soporta entradas tanto de imágenes estáticas como en movimiento para la extracción de características de color, textura y forma. El sistema Hermitage [2], para la recuperación de imágenes de piezas de arte, es una de las aplicaciones que ha incorporado la búsqueda de color (QBIC Colour Search) y la búsqueda por composición (QBIC

Layout Search) de QBIC, que permite al usuario especificar el criterio de búsqueda, crear proporciones de color desde un espectro o dibujar áreas de color por medio de formas geométricas.

El sistema VIR Image Engine, desarrollado por Virage, captura, codifica e indiza el contenido de fuentes de imágenes, video y audio. Las aplicaciones más conocidas de VIR han sido el AV Photo Finder y Virage VideoLogger [3], incorporado al motor de búsqueda de Altavista.

Excalibur Visual RetrievalWare [4], consiste en un conjunto de API's de Java y C++ para la manipulación y construcción de aplicaciones para el procesamiento, indización y recuperación de imágenes. Uno de estos API's es el CST (Color - Shape - Texture), el cual extrae características como orientaciones relativas, histogramas HSV, curvatura y asperezas de los objetos de la imagen [5].

Además de los sistemas comerciales, numerosas instituciones académicas se han dedicado a la realización de sistemas CBIR, motivados principalmente por la evaluación y creación de nuevas técnicas de extracción. Algunos de los sistemas más conocidos son Photobook [6] que permite segmentación automática y técnicas sofisticadas para búsqueda por textura, además de incluir técnicas de extracción para forma, y rasgos del rostro; VisualSEEK [7], desarrollado por Columbia University, y MARS (Multimedia Analysis and Retrieval Systems) [8], desarrollado por la Universidad de Illinois, éste último incluye técnicas de realimentación que brindan la posibilidad de refinar la búsqueda a partir de una primera recuperación.

En el marco del desarrollo del estándar MPEG-7, para la regularización de esquemas XML que permitieran un lenguaje común de anotación de metadatos de información audiovisual, se creó un software de referencia para la validación del estándar. Dicha aplicación contiene una serie de herramientas desarrolladas en C++ para la recuperación de información visual; entre estas, se encuentra una propuesta de extracción de información visual de forma basada en regiones con la Transformada Radial Angular (ART) [9] [10].

Aunque estos enfoques han servido de pauta para la realización de diversos trabajos de extracción y recuperación de características visuales, uno de los principales inconvenientes para la incorpora-

ción de los algoritmos de extracción propuestos por el MPEG-7 como parte del estándar, es la imposibilidad de operación efectiva de dichas técnicas bajo cualquier contexto; esto, debido a que algunas de las etapas del procesamiento están condicionadas a las características particulares de la base de datos. De allí, que muchas de las aplicaciones orientadas a dominios no específicos no presenten una alta precisión.

III. SISTEMA DORIS (DOMAIN-ORIENTED IMAGE SEARCHER)

DORIS (Domain-ORiented Image Searcher) es un sistema desarrollado en JAVA mediante el API de imágenes Java Advanced Imaging (JAI). El objetivo de la aplicación es servir como herramienta para la recuperación de información visual con técnicas de extracción basada en forma. Para esto, se utiliza una base de datos compuesta por 970 imágenes de piezas mecánicas y de automoción agrupadas por similitud semántica en 23 categorías. A continuación se explican las técnicas de extracción utilizadas en DORIS.

A. Momentos Geométricos

Los momentos geométricos, a diferencia de los momentos ortogonales, definen características físicas interpretables, es decir, es posible saber directamente cuáles características son extraídas de la imagen. Los momentos centrales se definen en (1):

$$\gamma(p, q) = \sum_x \sum_y (x-X)^p (y-Y)^q f(x, y) \quad (1)$$

Los momentos centrales normalizados permiten invariabilidad de escalado normalizando los momentos centrales con la masa de la imagen (2).

$$\eta(p, q) = \frac{\gamma(p, q)}{\gamma(0, 0)^1 + (\frac{p+q}{2})} \quad (2)$$

A partir de los momentos centrales normalizados de orden dos y tres se obtienen los siete momentos geométricos invariantes a rotación, traslación y escalado propuestos por Hu [11] en 1962 apli-

cados a la extracción de características de imágenes (3) - (9)

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (3)$$

$$\phi_2 = [(\eta)_{20} - \eta_{02}]^2 + 4 [(\eta)_{11}]^2 \quad (4)$$

$$\phi_3 = [(\eta)_{30} - 3\eta_{12}]^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (5)$$

$$\phi_4 = [(\eta)_{30} + \eta_{12}]^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (6)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (7)$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (8)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (9)$$

Finalmente, el vector compuesto por los siete momentos invariantes sirve como índice de la forma. En la implementación de nuestro sistema se utiliza la mínima distancia euclidiana entre los vectores característicos de dos posibles imágenes similares como criterio de relevancia en la etapa de matching.

B. Momentos de Zernike

Teague [12] en 1980 propone el uso de polinomios ortogonales, en particular los polinomios de Zernike, para la extracción de características visuales, argumenta que estos polinomios mostraban una mayor efectividad en la recuperación y una mayor eficiencia en cuanto a redundancia de información, frente a métodos como la transformada de Fourier-Mellin propuesto por Li [13] como una generalización de los siete momentos invariantes de Hu [14].

Los momentos de Zernike forman un conjunto de funciones complejas definidas en un círculo unitario, los cuales aplicados al tratamiento de imágenes digitales representan la longitud de la proyección ortogonal de las funciones base a la imagen. Los momentos de Zernike se basan en los polinomios de Zernike definidos en (10), sujeto a $p - |q|$ un número par y $|q| \leq p$; con q un entero positivo, p un entero positivo o cero y (ρ, θ) las coordenadas polares de $(x, y) \in \mathbb{R}^2$.

$$R_{pn}(\rho) = \sum_{s=0}^{(p-n)/2} \frac{(-1)^s (p-s)!}{s!(p_2^s n_2!) (p_2^s n_2 - s)!} \rho^{p-2s} \quad (10)$$

Las funciones base son calculadas mediante la expresión:

$$V(x,y) = V_{pn}(\rho \cos \theta, \rho \sin \theta) = R_{pn}(\rho) \exp(iq\theta) \quad (11)$$

Finalmente, los momentos de Zernike de orden p quedan definidos en (12).

$$Z_{pn} = \frac{p+1}{\pi} \sum_{l=-n}^n \sum_{m=0}^{|l|} V_{pn}^*(x,y) f(x,y) \quad (12)$$

Donde V_{pq}^* representa la conjugada de V_{pq} .

Debido a que los momentos de Zernike están definidos sobre el círculo $x^2+y^2 \leq 1$ es necesario realizar una transformación de la imagen a coordenadas polares antes del cálculo de los momentos (13), (14).

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (13)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (14)$$

Donde ρ representa el radio en el punto (x,y) y θ representa el ángulo formado entre el eje de la abscisa y ρ .

La invariabilidad a traslación y escalado se logra al mover el centro de masa de la imagen (Z_{00}) al centro del círculo unitario y normalizando las imágenes a un radio de número fijo de píxeles. La invariabilidad a rotación se cumple utilizando sólo las magnitudes de los momentos ya que una rotación de la imagen original sólo produce un cambio de fase. Finalmente, la magnitud de los momentos de Zernike extraídos de la imagen mediante (12) son nor-

malizados (15) y utilizados como índice de la imagen.

$$N_{pn} = \frac{Z_{pn}}{Z_{00}} \quad (15)$$

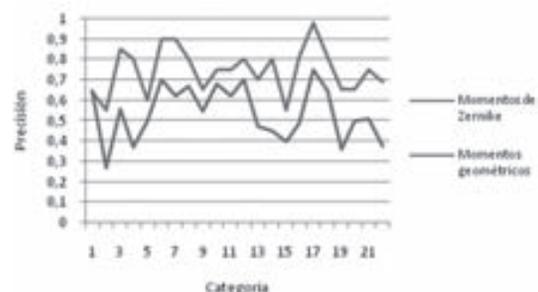
En la etapa de matching se utiliza la distancia Euclidiana como medida de similitud entre cada uno de los componentes de vector compuesto por los momentos de Zernike de la imagen ingresada por el usuario y los almacenados en la base de datos.

III. RESULTADOS

Para evaluar la calidad de los resultados arrojados por DORIS se ingresa cada una de las imágenes de la base de datos al sistema, obteniéndose un total de 970 pruebas. Utilizamos como medida de desempeño la precisión, la cual es una métrica de evaluación ampliamente utilizada en los sistemas de recuperación de información y definida como el número de imágenes relevantes recuperadas sobre el número total de imágenes recuperadas.

La precisión obtenida con los momentos de Zernike y momentos geométricos para las 23 categorías en las cuales fueron agrupadas las imágenes se muestra en la Fig. 1. Las Fig. 2, 3 y 4 muestran los resultados obtenidos para tres categorías distintas; la imagen más a la izquierda representa la imagen ingresada al sistema, en el panel de la derecha se presentan las 20 imágenes con un mayor grado de similitud. Las imágenes resultado se ordenan desde aquellas con una menor medida de disimilitud.

FIG. 1. PRECISIÓN OBTENIDA PARA CADA UNA DE LAS CATEGORÍAS.



A partir de los resultados, se observa cómo para ambos descriptores las recuperaciones son invariantes a rotación, traslación y escalado. Igualmente, se observa una mayor precisión de los momentos de Zernike frente a los geométricos, pruebas posteriores han mostrado satisfactoriamente, que se obtiene un bajo *recall*.

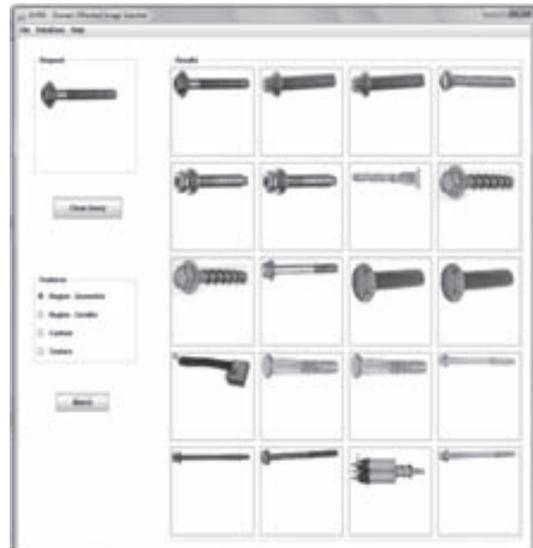
FIG. 2. RESULTADOS OBTENIDOS PARA RODAMIENTOS MEDIANTE MOMENTOS DE ZERNIKE



FIG. 3. RESULTADOS OBTENIDOS CON MOMENTOS DE ZERNIKE.



FIG. 4. RESULTADOS OBTENIDOS CON MOMENTOS GEOMÉTRICOS



IV. CONCLUSIONES

En este trabajo, se comprobó la efectividad de la definición matemática de imágenes mecánicas y de automoción para su recuperación basada en contenido. Aunque los resultados arrojados mediante los momentos de Zernike son en promedio superiores al 75%, queda como trabajo futuro aumentar la precisión en la recuperación, al implementar descriptores que filtren los resultados utilizando como posible criterio la textura.

REFERENCIAS

- [1] M. Flickner, H. Sawhney, W. Niblack, J. Ashley, Q. M. Huang, B. Dom, M. Gorkani, J. Hafner, D. Lee, D. Petkovic, D. Steel and P. Yanker, *Query by Image and Video Content: The QBIC System. IEEE Computer*, vol. 28, No. 9, pp. 23-32, 1995.
- [2] The Hermitage Museum, IBM. *The State Hermitage Museum*. Available: <http://www.hermitage-museum.org/>
- [3] Virage VideoLogger. *Searchable Video: A Watershed Event for the World Wide Web*. Available: <http://publications.autonomy.com/pdfs/Virage/Case%20Studies/>

- [4] Y. Rui, T. Huang, and S-F. Chang, *Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions and Open Issues*, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 10, pp 39-62, 1999.
- [5] R. Veltkamp, and M. Tanase, *Content Based Image Retrieval Systems: A Survey*. Reporte Técnico UU-CS-2000-34, 2001.
- [6] A. Pertland, R. W. Picard and S. Sclaroff, *Photo-book: Content-Based Manipulation of Image Databases*, *SPIE Storage and Retrieval Image and Video Databases II*, No. 2185, pp. 6-10, 1994.
- [7] J. R. Smith and S. F. Chang, *VisualSEEK: A fully automated Content- Image Query System*. In Proc. of the fourth ACM International Conference on Multimedia, pp 87-98, 1996.
- [8] T. Huang, S. Mehrotra and K. Ramchandran, *Multimedia Analysis and Retrieval System (MARS) project*. In Proc. of 33rd Annual Clinic on Library Application of Data Processing - Digital Image Access and Retrieval, pp. 100-117, 1996.
- [9] T. Sikora, *The MPEG-7 Visual Standard for Content Description – An Overview*. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 6, pp. 696-702, 2001.
- [10] M. Bober, *MPEG-7 Visual Shape Descriptors*. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, No. 6, pp. 716-719, 2001.
- [11] M. K. Hu, *Visual Pattern Recognition by Moments Invariants*. *IEEE Trans. on Information Theory*, 8, 1962.
- [12] M. Teague, *Image Analysis via the General Theory of Moments*. *Journal of the Optical Society of America*, vol. 70, pp. 920-930. 1980.
- [13] Y. Li, *Reforming the Theory of Invariant Moments for Pattern Recognition*. *Pattern Recognition*. vol. 25, No. 7, pp 723-730, 1992.
- [14] M. K. Hu, *Visual Pattern Recognition by Moments Invariants*. *IEEE Trans. on Information Theory*, 8, 1962.

Instrumentación electrónica y sistema de supervisión para el control de vuelo de un cohete

Fabián Rolando Jiménez López

*MSc (c) en Automatización Industrial,
Universidad Nacional de Colombia
Docente Tiempo Completo, Investigador Grupo
GINSCON, Universidad Santo Tomás USTA
Tunja, Colombia
fjimenez@ustatunja.edu.co*

Andrés José Mejía

*Ingeniero Electrónico,
Universidad Santo Tomás de Tunja
Investigador Grupo GITELCOM,
Universidad Santo Tomás USTA
Tunja, Colombia
andresjosemejia@gmail.com*

Resumen— Este documento describe el diseño, implementación y análisis de desempeño del sistema electrónico de instrumentación y control para realizar la supervisión, monitoreo y control de vuelo de un cohete prototipo. A través de una tarjeta de adquisición electrónica se capturan las variables de velocidad y aceleración longitudinal en los ejes x, y, z, así como la velocidad y aceleración angular en los ejes Pitch, Yaw y Roll, la altitud del prototipo, la temperatura ambiente y la posición del cohete con respecto a su centro de masa en el plano construido sobre los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste. La adquisición de las señales de las variables mencionadas se realizó mediante sensoría electrónica especializada, que previamente acondicionadas y filtradas ingresan a un sistema de supervisión que es capaz de procesar su información y ejercer sobre ellas un control para obtener un punto de operación deseado de la posición del cohete en la dirección apropiada a través de la manipulación de sus alerones localizados en los cuatro ejes del cohete. Así mismo, el prototipo se comunica con un computador personal terrestre vía Radio Frecuencia, en donde se pueden monitorear las variables medidas a través de un panel de control diseñado e implementado en MATLAB®.

Palabras clave— Comunicaciones vía RF, control automático de vuelo, control no lineal, instrumentación electrónica, sensoría especializada.

Abstract— This paper describes the design, implementation and performance analysis of electronic instrumentation and control to monitor and control

the prototype rocket's flight. Through an acquisition card are captured electronically the electrical variables such as speed and acceleration in the longitudinal axis x, y, z, as well as angular velocity and acceleration in the axes Pitch, Yaw and Roll, the height of the prototype, ambient temperature and the rocket's position with respect to its center of mass in the plane built on the cardinal points North, South, East and West. The acquisition of the signals of these variables was performed using specialized electronic sensors, which were previously instrumented and filtered entering in a monitoring system that is capable of processing information and exercise control over them to get a point of operation of the desired position's rocket in the right direction through the manipulation of its ailerons located in its four axes. Likewise, the prototype is connected to a personal computer via Radio Frequency, where it can monitor the variables measured through a control panel designed and implemented in MATLAB®.

Keywords— RF Communications, flight automatic control, non linear control, electronics instrumentation specialized sensor.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado nace de la culminación de una etapa del proyecto "Desarrollo del prototipo de un sistema de control para el vuelo de un cohete" perteneciente a una rama del Grupo de investigación GITELCOM de la Universidad Santo Tomás de Aquino de Tunja. Como trabajo de investigación aplicada, esta monografía abarca la problemática

ca de diseñar y elaborar un sistema capaz de sensor y monitorear las variables presentes en un cohete en vuelo y, así mismo, controlar su dirección o sentido de vuelo. Se diseñaron y construyeron tres tarjetas que se pueden integrar a cualquier cohete o planta en movimiento, es muy versátil para su uso en diferentes campos del conocimiento, y tiene como primordial objetivo ayudar a la evolución del proyecto Cohetes a través del semillero del grupo de investigación GITELCOM.

Se desarrolló el prototipo del sistema de control, monitoreo, protección y recuperación basado en sensores de inclinación, giro, aceleración, presión, temperatura y campo magnético de la tierra. Este sistema posiciona al cohete por medio de actuadores para mantener una dirección deseada y garantiza la activación de un sistema de recuperación basado en un paracaídas con el fin de reutilizar el sistema. Este proceso es monitoreado vía Radio Frecuencia (RF) por medio de un computador en el cual se visualizan las variables presentes en el cohete y permite variar la dirección deseada o activar el sistema de recuperación en cualquier instante de tiempo. Es importante aclarar que en el proceso de investigación no se contempla la prueba final del vuelo del cohete, sino que se desarrolla el prototipo basado en unas tarjetas de control e instrumentación que cumplen con lo descrito anteriormente.

El sistema de control desarrollado puede ser aplicado para varios proyectos aparte de este, es una herramienta versátil, ya que puede monitorear cualquier tipo de sólido estático o en movimiento de acuerdo a su aceleración, velocidad, inclinación, rotación, temperatura y altura. Además; por el tipo de instrumentación que se implementa, se pueden determinar vibraciones, giros, choques y movimientos fuertes.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONTROLADO

A. Partes de un cohete

En general son cuatro partes constitutivas y se encuentran ubicadas como se observa en la Fig. 1.: la carga útil, la cámara de instrumentos y/o control, el sistema de propulsión y los alerones estabilizadores [1].

FIG. 1. PARTES DEL COHETE.



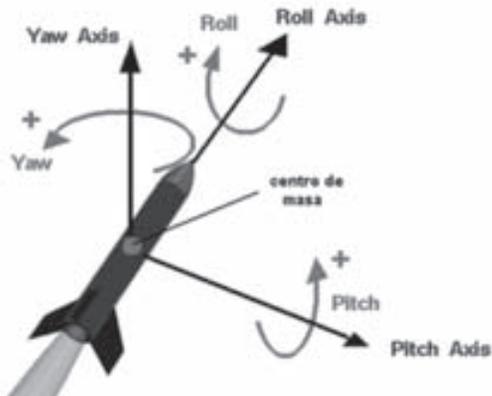
Fuente: Autores del artículo.

- 1) *Carga útil*: En este compartimiento se coloca el propósito del cohete. Ej.: satélites, instrumentos meteorológicos, paracaídas, entre otros.
- 2) *Cámara de instrumentos*: Aquí se colocan los sistemas electrónicos de monitoreo, control y comunicaciones necesarios para asegurar que se cumpla el objetivo del vuelo.
- 3) *Sistema de propulsión*: Es una parte vital del cohete, ya que proporciona la energía para el movimiento. Este sistema se basa en fundamentos químicos y físicos, los cuales provocan las reacciones necesarias para conseguir el empuje suficiente para alcanzar el vuelo.
- 4) *Alerones estabilizadores*: Estas piezas se encargan de mantener estable y en curso el vuelo. Aquí se manifiesta el sistema de control por medio de unos flaps que permiten variar las rotaciones del cohete, por medio de la incidencia del aire.

B. Movimientos de control en el cohete

Un cohete en vuelo presenta movimientos en 3 ejes: pitch, roll y yaw, como se ve en la Fig. 2. Estas rotaciones permiten mover el cohete en la dirección deseada por medio del control.

FIG. 2. ROTACIONES DEL COHETE.

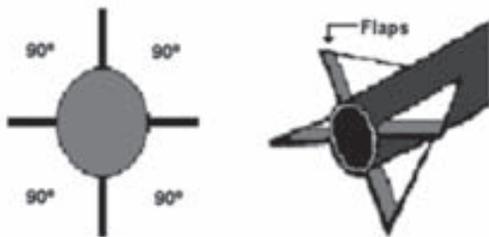


Fuente: <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rotations.html>.

C. Movimientos del cohete a partir de los flaps.

El cohete prototipo propuesto cuenta con cuatro flaps ubicados en los alerones distribuidos tal y como se observa en la Fig. 3, de la siguiente forma.

FIG. 3. UBICACIÓN DE LOS FLAPS EN EL COHETE.



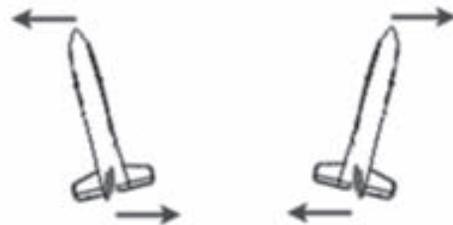
Fuente: Autores del artículo.

Por medio del movimiento de estos flaps el cohete puede variar su posición en Pitch, Roll y Yaw como se observa en las Figs. 4a, 4b, y 4c.

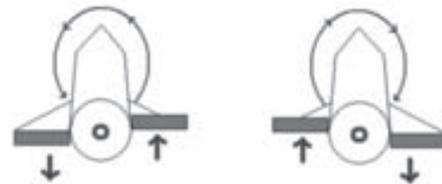
FIG. 4. MOVIMIENTOS EN EL COHETE



a. MOVIMIENTO EN PITCH.



b. MOVIMIENTO EN YAW.



c. MOVIMIENTO EN ROLL.

Fuente: Autores del artículo.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO ELECTRÓNICO

A. Adquisición de variables

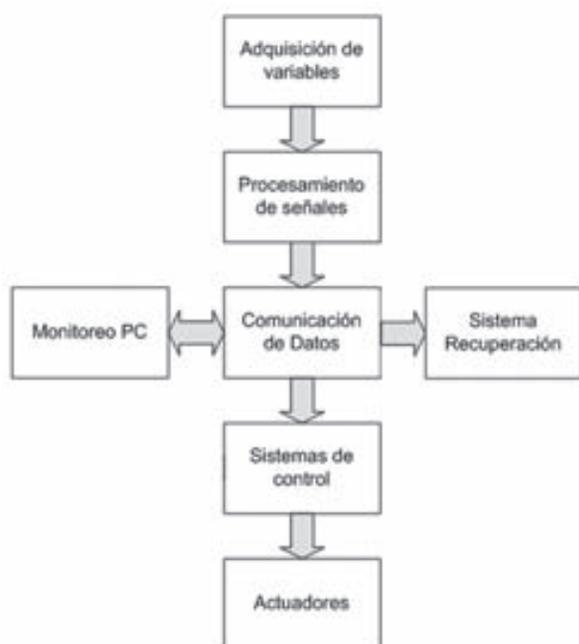
El prototipo diseñado se basa en el diagrama de bloques de la Fig. 5, en el cual se pueden observar todos los procesos del sistema y la secuencia en que se realizan.

La adquisición de variables está a cargo de una etapa de instrumentación compuesta por varios sensores especializados, seleccionados cuidadosamente, se tiene en cuenta que las variables que se van a medir para realizar los procesos de monitoreo y control son: la aceleración y velocidad angular y lineal, la altura, temperatura y dirección en la cual se desplaza el cohete en un plano de

referencia. Para cada una de estas variables se tuvo en cuenta la siguiente instrumentación:

1) Aceleración y velocidad lineal: Para este caso se usan los sensores de aceleración ADXL78 y ADXL278 de uno y dos ejes respectivamente, con salida análoga, y un rango de medida de ± 70 gravedades. Estos dispositivos se adquirieron según las grandes aceleraciones que puede experimentar un cohete en vuelo. Para conocer la velocidad lineal del cohete se deriva la aceleración sensada, este proceso es realizado en tierra.

FIG. 5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.



Fuente: Autores del artículo.

2) Aceleración y velocidad angular: Para el control del cohete es necesario conocer las velocidades angulares en Roll, Pitch y Yaw, estas variables se adquieren por medio de los giróscopos ADIS16100 con comunicación serial SPI – Serial Peripheral Interface de 16 bits. Este dispositivo permite la medición de la velocidad angular de un eje con un rango de $\pm 300^\circ/\text{s}$. Para adquirir el valor de la velocidad es necesario que los 3 sensores se encuentren ubicados en el centro de masa del cohete o mejor dicho, en el eje de rotaciones. Para conocer la aceleración angular del cohete se integra la velocidad sensada, proceso que se realiza en tierra.

3) Altitud: Para determinar la altura a la cual se encuentra el cohete se usa la presión atmosférica por medio de la relación no lineal mostrada en (1), donde se obtiene la altura en metros a partir de la presión en kilo pascales.

$$h = \frac{\left(1 - \left(\frac{P_1}{101.325}\right)^{0.19026}\right) 288.15}{0.00198122} \times 0.3048 \quad (1)$$

Donde h es la altura y P_1 la presión atmosférica, que se adquiere gracias al sensor MPX4100A análogo que tiene un rango de medida de 15 a 115 kPa o de 2.2 a 16.7 psi.

4) Temperatura: La temperatura de la cámara de instrumentos se puede adquirir por medio del sensor LM35, el cual entrega una salida de voltaje análogo lineal con un rango de 2 a $+150^\circ\text{C}$.

5) Dirección: en la cual se desplaza el cohete en un plano de referencia: para conocer en qué dirección se desplaza el cohete es necesario adquirir los grados de inclinación y su orientación en un plano de referencia, como se ve en la Fig. 6, respecto a los ejes cardinales y la gravedad de la tierra.

FIG. 6. PLANO DE REFERENCIA DEL COHETE



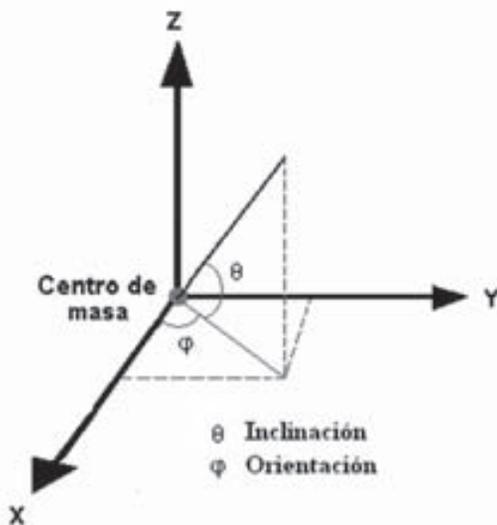
Fuente: Autores del artículo.

Para la inclinación se utiliza el sensor ADIS16201, que corresponde a un inclinómetro de dos ejes con comunicación SPI y rango de medida de $\pm 90^\circ$. Este sensor permite medir la inclinación en los ejes X y Y. En la ecuación (2) se ilustra cómo se puede calcular la inclinación total del cohete, representada por Φ en la Fig. 7.

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\tan(\text{incli}x) \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{\tan(\text{incli}x)}{\tan(\text{incli}y)} \right) \right) \right) \quad (2)$$

Para conocer la orientación del cohete respecto a los ejes cardinales de la tierra, representada por Theta en la Fig. 7, se implementaron los sensores magnéticos HMC1051 y HMC1052 que se configuran en forma de brújula electrónica de tres ejes capaz de sensar el campo magnético de la tierra.

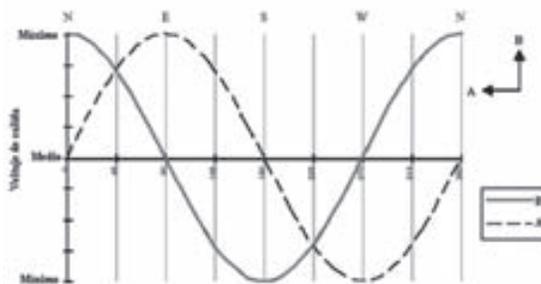
FIG. 7. DIRECCIÓN DE VUELO REPRESENTADA POR THETA Y PHI



Fuente: Autores del artículo.

Los sensores miden un valor máximo en el norte y un valor mínimo en el sur, siendo el oriente y el occidente los valores medios, como se observa en la Fig. 8.

FIG. 8. COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES MAGNÉTICOS



Fuente: Autores del artículo.

Con una configuración ortogonal de los sensores se puede calcular el ángulo de su dirección respecto al norte magnético por medio del arreglo

matemático de (3) a partir de los sensores A y B (en el eje X y en el eje Y respectivamente).

$$\begin{aligned} \text{Dirección}(A > 0) &= 90 - \left(\arctan \left(\frac{x}{y} \right) \right) \times \frac{180}{\pi} \\ \text{Dirección}(A < 0) &= 270 - \left(\arctan \left(\frac{x}{y} \right) \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (3) \\ \text{Dirección}(A = 0, B < 0) &= 180 \\ \text{Dirección}(A = 0, B > 0) &= 0 \end{aligned}$$

B. Procesamiento de señales

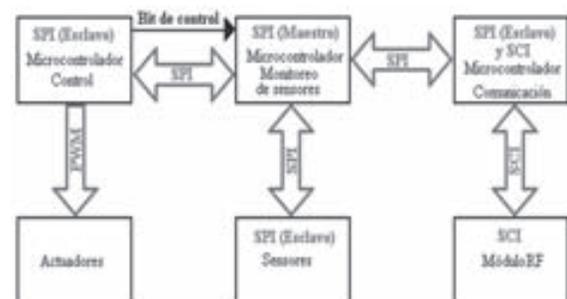
En el procesamiento de señales del sistema se tiene en cuenta que existen señales digitales en formato serial (Serial Peripheral Interface - SPI) de 16 bits (inclinómetro y giróscopos) y señales análogas que deben ser adquiridas por el microcontrolador GP32 de Freescale (Motorola). Para las señales análogas se implementó un convertor análogo digital de 10 bits con comunicación digital SPI de 16 bits, para así poder obtener todos los datos de los sensores por medio de la misma comunicación.

Todos los sensores magnéticos tienen una salida de forma diferencial del orden de los milivoltios [3]. Por tanto necesitan de un ajuste por medio de un amplificador de instrumentación que toma esta diferencia de voltaje para obtener una señal amplificada que puede ser interpretada por el convertor análogo digital y es proporcional al campo magnético sensado.

C. Comunicación de datos

Para la comunicación de datos es necesario aclarar que el sistema se dividió en tres subsistemas diferentes como se observa en la Fig. 9.

FIG. 9. CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE DATOS



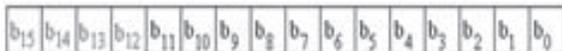
Fuente: Autores del artículo.

Subsistema de monitoreo de sensores: Es el maestro de todo el sistema. Utiliza la comunicación serial SPI para los sensores, adquiere todas las variables que después transmite a los subsistemas de control y de comunicación también en el mismo formato.

6) *Subsistema de control:* Toma los datos necesarios para realizar el proceso de control a partir de una petición realizada por medio de un bit. Estos datos son procesados generando una señal de Modulación por Ancho de Pulso (PWM - Pulse Width Modulation) para los actuadores del sistema.

7) *Subsistema de comunicaciones:* Es el enlace entre el usuario y el sistema general, por medio de la comunicación serial asíncrona SCI - (Serial Communication Interface), con un módulo de Radio frecuencia. Este subsistema transmite a un computador en tierra todos los datos medidos y a la vez recibe las peticiones del usuario [13]. Para el manejo de todos los datos de los sensores en cada uno de los subsistemas se utilizó una trama de comunicación, en donde los 4 bits más significativos representan la variable (sensor o control) y los 12 restantes el dato, como se ve en la Fig. 10.

FIG. 10. TRAMA DE DATOS DEL SISTEMA

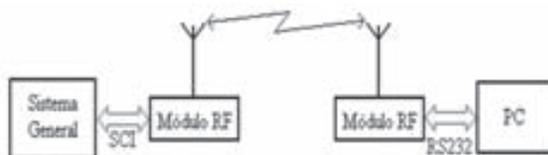


Fuente: Autores del artículo.

D. Monitoreo por computador

Para la adquisición de datos en el computador se uso una comunicación SCI con el cohete conformada por dos módulos RF X09-009NSC de MaxStream, utilizando la configuración que se observa en la Fig. 11.

FIG. 11. CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIÓN PC - COHETE

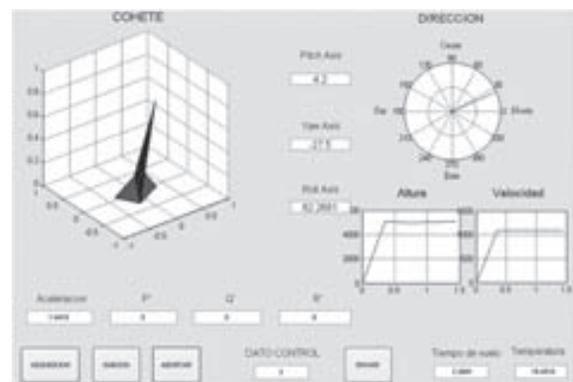


Fuente: Autores del artículo.

El monitoreo en el computador se realizó por medio del software MATLAB® [2]. Gracias al módulo RF y el puerto serial RS232 del computador, se adquieren todas las variables para procesarlas y visualizarlas en el panel de control de la Fig. 12.

Este panel permite observar la inclinación del cohete, la orientación respecto a los ejes cardinales de la tierra, la altura, la velocidad, la aceleración lineal, la temperatura en la cámara de instrumentos, el tiempo de vuelo, las magnitudes de los ángulos pitch, rol y yaw y sus respectivas aceleraciones angulares. Además este panel ofrece cuatro botones al usuario que permiten iniciar la adquisición de variables, empezar la ignición, abortar el vuelo y enviar un dato de control para la dirección del cohete.

FIG. 12. PANEL DE MONITOREO Y CONTROL EN MATLAB®

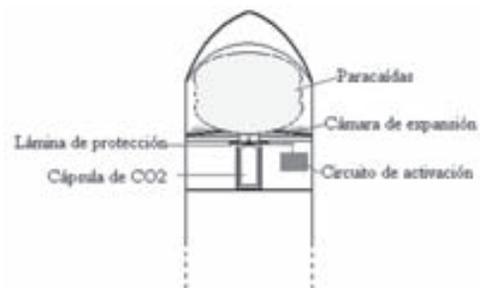


Fuente: Autores del artículo.

E. Sistema de recuperación

El sistema de recuperación mostrado en la Fig. 13 está diseñado para activar la expulsión de un paracaídas a partir de una cápsula de aire comprimido [5], cuando el sistema detecta que la aceleración lineal del cohete en el eje Z, es cero o empieza a hacerse negativa, o en el caso que el usuario en tierra lo considere necesario.

FIG. 13. SISTEMA DE RECUPERACIÓN



Fuente: Autores del artículo.

F. Sistema de control

El sistema que se va a controlar está compuesto por el sistema del cohete que, a través de las señales de control que se le envíen a los servomotores DC que gobiernan el movimiento de los flaps, hace que los alerones apliquen un torque para corregir el ángulo de desviación del cohete cuando se presenta una perturbación en el ángulo deseado. Es importante señalar que para realizar el control se consideraron las siguientes condiciones:

- La masa del sistema no varía durante la implementación del control. Esta condición radica principalmente en que, en los cohetes experimentales, los tiempos de combustión son pequeños, por lo tanto la masa del propulsor se agota rápidamente, sin embargo, el tiempo de vuelo del cohete es lo suficientemente largo para llevar a cabo una tarea de control.
- El control se realizará de forma secuencial y condicional. Esto quiere decir que hay un controlador independiente para cada rotación posible del cohete y además se establece que la rotación sobre su mismo eje (rotación Roll) es la primera controlada, si esto no se cumple las acciones de control de las otras rotaciones no se llevan a cabo.

1) *Ecuación Característica del Sistema:* Los tres sistemas controlados poseen características similares, el modelo del sistema de movimientos [6] en Pitch y Yaw son exactamente iguales puesto que su inercia es la misma, y el modelo del sistema de movimiento en Roll este valor varía. Habida cuenta de lo anterior sólo se realiza el modelamiento del sistema de control una vez y, al final se ajustan los valores de cada controlador mediante la realimentación de variables de estado.

El torque aplicado por dos flaps para cada rotación se describe en (4):

$$I_{xx}\ddot{\beta} = \rho ALv_1^2 \sin^3 \beta \quad (4)$$

En donde I_{xx} es el momento de inercia en la rotación, $\ddot{\beta}$ es la aceleración angular, ρ es la densidad del aire, A es el área de los flaps, L es la longitud de entre el flap y el punto de rotación,

v_1 es la velocidad del cohete y β es el ángulo de deflexión del flap y representa la entrada al sistema. A partir de lo anterior se puede realizar el modelamiento del sistema en el espacio de estados. Sea el sistema representado por el sistema de ecuaciones matriciales:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= CX + DU \end{aligned} \quad (5)$$

Las variables de estado definidas para cada uno de los sistemas y su entrada se definen en (6):

$$\begin{aligned} x_1 &= p \\ x_2 &= \dot{p} \\ \beta &= u \end{aligned} \quad (6)$$

Donde p es la posición angular del cohete, \dot{p} es la velocidad angular y u es el ángulo de entrada. Se puede apreciar que la velocidad del cohete no se toma como una variable de estado, esto se debe a que durante el vuelo, después de la combustión, se toma un valor promedio de la velocidad para realizar el control. Con las variables de estado y (4), se pueden escribir las ecuaciones de estado y de salida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{\rho ALv^2 \sin^3 u}{I_{xx}} \end{aligned} \quad (7)$$

Se define la constante c en (8), la cual incorpora los valores invariantes de la ecuación de la segunda ecuación de estado así:

$$c = \frac{\rho AL}{I_{xx}} v^2 \quad (8)$$

Y al reemplazar (8) en la segunda parte de (7), se obtiene (9).

$$\dot{x}_2 = c \sin^3 u \quad (9)$$

El arreglo matricial de la ecuación de estado se describe en (10)

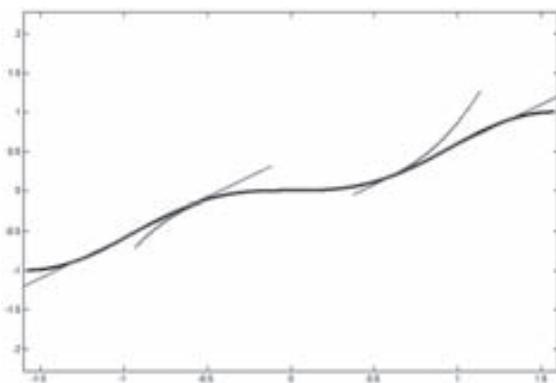
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c \lambda \end{bmatrix} u \end{aligned} \quad (10)$$

2) *Linealización*: Ya se tienen las ecuaciones con las cuales se puede modelar el sistema, pero se observa claramente que el sistema es no lineal por el componente seno al cubo que se presenta. Con esto, se realizó la linealización del sistema en un punto de equilibrio [4], pero el resultado arrojó que el sistema no era controlable.

Para solucionar este problema se decidió expresar la función seno al cubo como una función a trazos que permitió en cada uno de éstos, ser linealizado [8], o por lo menos, en caso de que uno de sus trazos no sea lineal, obtener un punto de equilibrio que al ser evaluado durante la linealización arroje como resultado un sistema controlable.

Con la ayuda del comando fitfun de Matlab® para ajuste óptimo de funciones no lineales, se realiza la representación aproximada del seno cubo $\sin^3(u)$ en 3 trazos lineales, Fig. 14, se tiene en cuenta que los valores de u están limitados entre $-\pi/2$ y $+\pi/2$, con lo cual la función queda expresada como se observa en (11).

FIG. 14. FUNCIÓN SENO CUBO Y FUNCIÓN $F_s(u)$ (A TRAZOS)



Fuente: Autores del artículo.

$$\sin^3 u = F_s(u) = \begin{cases} 1.023u + 0.434 & \text{Para } (-1.4; -0.57) \\ 0.8678u^3 + 0.006971u & \text{Para } (-0.57; 0.57) \\ 1.023u - 0.434 & \text{Para } (0.57; 1.4) \end{cases} \quad (11)$$

Al realizar el cambio de función no se alteran las variables de estado (12), pero sí las ecuaciones que describen la dinámica del sistema, entonces, ahora el sistema en el espacio de estados queda representado de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= c \times F_s(u) \end{aligned} \quad (12)$$

Como la función $F_s(u)$ de (11) está definida por tres funciones lineales a trazos se debe realizar el proceso de modelamiento del sistema de control por cada trazo de la misma, con especial cuidado en el segundo intervalo, pues es una función no lineal y se debe usar de nuevo un método de linealización.

3) *Diseño de Controladores*: El sistema de control, está fundamentado en las consideraciones y especificaciones del diseño del prototipo, como son: la velocidad promedio del cohete de 180 m/s, la longitud del cohete 1.3m, el radio de 0.15m y el peso de 8Kg entre otras.

Todas las funciones de transferencia tienen las mismas características sin importar el intervalo en donde se encuentre, poseen cada una dos polos en el origen, por lo tanto, son oscilatorios, es decir, críticamente estables y presentan la misma respuesta a la función escalón. En primer lugar se realiza el diseño para el comportamiento dinámico del sistema y luego teniendo este presente, se ajustan las ganancias correspondientes al comportamiento estático, estos dos procesos se realizan mediante la realimentación de variables de estados e implementando precompensadores.

Sea la función de transferencia (13):

$$G(s) = \begin{bmatrix} c_1 \\ s^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

En donde la constante c puede tomar cualquier valor invariante, entonces se define el polinomio característico deseado por medio de la realimentación de variables de estados correspondiente a un sistema de segundo orden subamortiguado. Se pretende que éste sea de la forma (14).

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (14)$$

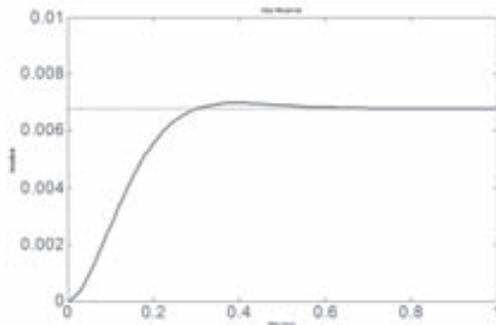
Y que cumpla con las siguientes especificaciones de diseño:

- Porcentaje de sobre pico máximo: $M_p = 0.15$
- Tiempo de establecimiento $t_2 = 0.5$ seg

Por tanto, el polinomio característico deseado obtenido a partir de (14) es:

$$s^2 + 2p\omega_n s + \omega_n^2 \quad (14)$$

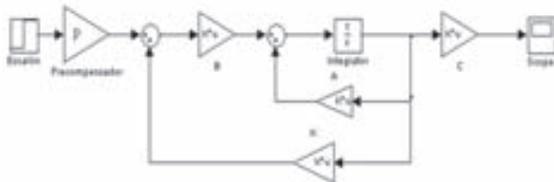
FIG. 15. RESPUESTA AL ESCALÓN PARA CUALQUIER INTERVALO



Fuente: Autores del artículo.

En la Fig. 15 se observa la respuesta del sistema (para cualquier intervalo) a una entrada escalón, cumplidas las condiciones establecidas pero por debajo de la respuesta estática deseada, con un error en estado estacionario muy elevado. Para solucionar la respuesta estática se utilizan precompensadores y un integrador, uno para cada sistema, como se observa en la Fig. 16, se asegura que el error en estado estacionario sea nulo.

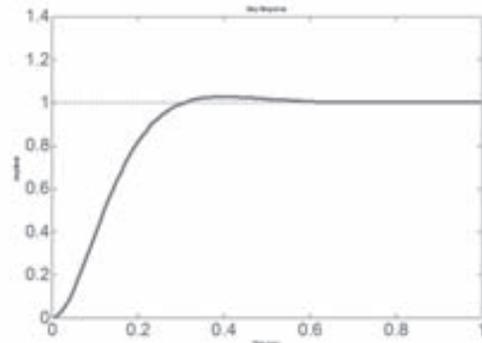
FIG. 16. ESQUEMA DE CONTROL POR REALIMENTACIÓN DE VARIABLES DE ESTADO



Fuente: Autores del artículo.

Se obtiene como resultado una salida apropiada que cumple con los objetivos propuestos en el proyecto, y con una respuesta al escalón como se observa en la Fig. 17.

FIG. 17. RESPUESTA AL ESCALÓN CON PRECOMPENSADOR



Fuente: Autores del artículo.

El sistema de control diseñado se implementó en forma digital en un microcontrolador GP32.

G. Actuadores

Los actuadores usados en el sistema son servomotores de referencia BMS-410 que permiten un movimiento angular de hasta 180° , controlados a partir de una señal PWM proveniente del subsistema de control. Estos servomotores mueven los flaps de los alerones para generar un cambio en la dirección del vuelo del cohete. La señal PWM utiliza un periodo de 10ms y el ancho del pulso varía proporcionalmente de acuerdo a la señal de control entregada entre un 5% a un 95% del periodo total, aunque estos valores pueden cambiar según el motor usado.

IV. CONCLUSIONES

Para obtener a resultados más precisos se deben realizar pruebas reales como en un túnel de viento o diferentes lanzamientos del cohete para así identificar aspectos que puede llegar a mejorar el sistema. Sin embargo, como el objetivo fue diseñar un sistema de instrumentación y control electrónico para mantener la posición del cohete, se omiten algunos aspectos particulares como aerodinámica, esfuerzos mecánicos de cada una de las piezas, determinación del punto de presión, variación de la masa del sistema, entre otros, el sistema puede ajustarse a cualquier tipo de vehículo volador no tripulado, modificando las ecuaciones que rigen el comportamiento del sistema.

El desarrollo final de este trabajo se integra en tres tarjetas que son capaces de realizar todo el proceso de instrumentación, comunicación y control. La ubicación de cada tarjeta en el cohete cumple con las especificaciones planteadas, para la adquisición de variables y genera un plano de referencia y valores correctos del movimiento respecto al centro de masa del cohete.

REFERENCIAS

- [1] J.D. Anderson, *Introduction to Flight*. Ed. McGraw-hill Science/engineering/math. 5ªEd, Boston, 2005.
- [2] E. Avendaño, "Matlab aplicado a la solución de problemas de ingeniería". Universidad Santo Tomás Tunja, Edición para Publicación, Colombia, 2006.
- [3] R. Coughlin, "Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados lineales". 5ªEd, México. 2002.
- [4] O. Duarte, "Introducción a los Sistemas No Lineales". Ed. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.
- [5] C. A. Duque, "Dinámica de gases de un pequeño motor-cohete- modelación por CFD". Trabajo de grado, Ing. Mecánica-Universidad Nacional de Colombia. 1999.
- [6] D. B. French, *Thesis. Hybrid control strategies for rapid, large angle satellite slew maneuvers*. Air force institute of technology. Ohio, USA. 2003. Disponible: <https://research.maxwell.af.mil/papers/ay2003/afit/AFIT-GA-ENY-03-2.pdf>
- [7] D. A. Garzón, "Introducción General a la tecnología de propulsión". Ed. Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2004.
- [8] H. Khalil, *Nonlinear Systems*. Prentice Hall, NY, 3ªEd, 2002.
- [9] Military Handbook. *Design of aerodynamically stabilized free rockets*. Departement of Defense, USA. 1990. Disponible: <http://www.foguete.org/pdfs/Pages%20from%20Aerodynamic%20Rocket%20Handbook.pdf>
- [10] W. J. Palm, *System dynamics*. EdMcGraw-Hill , 2005
- [11] C. Perez, "Matlab y sus aplicaciones en las ciencias y la ingeniería". Ed. Prentice Hall. 2002.
- [12] H. Sira; R. Márquez; F. Rivas, "Control de sistemas no lineales". Ed. Prentice Hall, España, 2005.
- [13] W. Tomási, *Advanced electronic communication systems*. Prentice Hall International, 4a. Ed., 2001.

Metodología para la detección de rostros y componentes faciales en imágenes digitales

Marta Lucía Guevara

Estudiante de Maestría en Ingeniería Eléctrica,
Universidad Tecnológica de Pereira
Investigadora Grupo de Control e Instrumentación,
Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
marluego@gmail.com

Cristian Guarnizo Lemus

MSc en Ingeniería Eléctrica,
Universidad Tecnológica de Pereira
Docente, Instituto Tecnológico Metropolitano
Investigador Grupo de Control e Instrumentación,
Universidad Tecnológica de Pereira
Medellín, Colombia
cdguarnizo@ohm.utp.edu.co

Álvaro Ángel Orozco

MSc en Ingeniería Eléctrica,
Universidad Tecnológica de Pereira
Profesor Titular y Director del Grupo de Investigación
en Control e Instrumentación,
Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
aorozco@ohm.utp.edu.co

Resumen— El rostro y sus componentes faciales son de gran importancia en aplicaciones de interacción humano-computador, sistemas de reconocimiento de personas, de emociones, aplicaciones de seguridad y otros. Las principales áreas de investigación del rostro para el desarrollo de aplicaciones incluyen: la detección, seguimiento, extracción de características y clasificación. Este trabajo se enfoca en la primera, la detección, para la cual se presenta la implementación y aplicación de un método de detección de rostros y componentes faciales, que servirá de etapa inicial a un sistema de reconocimiento de emociones. El método se basó en la extracción de características con filtros de base Haar y clasificadores en cascada, y fue probado sobre secuencias de imágenes de la base de datos FEEDTUM, se alcanzaron porcentajes de detección del 94% para el rostro y del 90.5% para los ojos y la boca.

Palabras clave— Detección, rostro, componentes faciales, imagen integral, haar, boosting.

Abstract— The face and facial components are of great importance in applications of human-computer interaction, systems for people and

emotions recognition, security applications, etc. The main research areas of the face for the development of applications include: detection, tracking, feature extraction and classification. This work focuses on the first one, detection, for which it presents the implementation and application of a method for face detection and facial components, which will serve as the initial stage to an emotions system recognition. The method was based on the feature extraction with Haar filters and cascade classifiers, and was tested on sequences of images from the FEEDTUM database, reaching rates of detection of 94% for the face and 90.5% for the eyes and the mouth.

Keywords— Detection, face, facial components, integral image, haar, boosting.

I. INTRODUCCIÓN

El rostro humano es un objeto dinámico que tiene un alto grado de variabilidad en su apariencia lo que hace de su análisis un problema difícil de tratar en el área de procesamiento de

imágenes. Este ha sido objeto de investigación desde hace algún tiempo, por su importancia a nivel neurobiológico, psicológico y computacional, y por la cantidad de aplicaciones que se pueden llegar a desarrollar a partir de su estudio como: interfaces hombre-máquina, aplicaciones de seguridad, interfaces animadas y sistemas de reconocimiento de emociones, entre otros [1].

Las principales áreas de investigación del rostro para el desarrollo de aplicaciones incluyen: la detección, seguimiento, extracción de datos y clasificación. Este trabajo se enfoca en la primera, la detección, por ser una de las más importantes ya que es la base para el desarrollo de sistemas automáticos de reconocimiento e interpretación [1].

Inicialmente la tarea de detección del rostro en los sistemas de reconocimiento no recibió la atención necesaria y se partía de que el rostro ya había sido detectado, fue solo en la década de los ochenta que surgieron los primeros algoritmos, basados en técnicas heurísticas y antropométricas, y en la década de los noventa cuando el desarrollo de algoritmos de detección de rostros inició su crecimiento [2], proponiéndose una gran variedad de técnicas, desde algoritmos básicos de detección de bordes hasta algoritmos compuestos de alto nivel que utilizan métodos avanzados de reconocimiento de patrones.

Estas técnicas de detección se han abordado desde diferentes enfoques: enfoques basados en rasgos faciales o características locales, en los que se buscan determinados elementos que componen el rostro, como los ojos, la nariz, la boca, enfoques holísticos o basados en la imagen, en este caso los métodos trabajan con la imagen completa o zonas concretas de la misma, de la cual se extraen características que puedan representar el objeto buscado, enfoques híbridos, estos métodos usan tanto la información local como la global para la detección, basándose en el hecho de que el sistema de percepción humano distingue tanto las características locales como globales del rostro [2, 3].

Alrededor de estos enfoques se han planteado diferentes trabajos como los de [4, 5,6], en los

que se usa la información de color para realizar la detección del rostro, con resultados alrededor del 90%. [7] usa redes neuronales para detectar el rostro y sus componentes faciales, con porcentajes de detección entre 77.9% y 90.3% para las diferentes configuraciones de la red. [8] usa una base Haar para la extracción de características, y Adaboost para la selección y clasificación de estas, con un porcentaje de detección del 94.1%. Este método propuesto por Paul Viola y Michael Jones, es uno de los métodos más usados hoy en día ya que ha permitido detectar múltiples rostros en una imagen con tiempos de procesamiento bajos. Alrededor de esta investigación se han realizado otros trabajos como los de [9, 10, 11,12], que han aplicado el método para detectar rostros y han adicionado otras etapas como la detección de componentes faciales, corrección de pose y seguimiento del rostro.

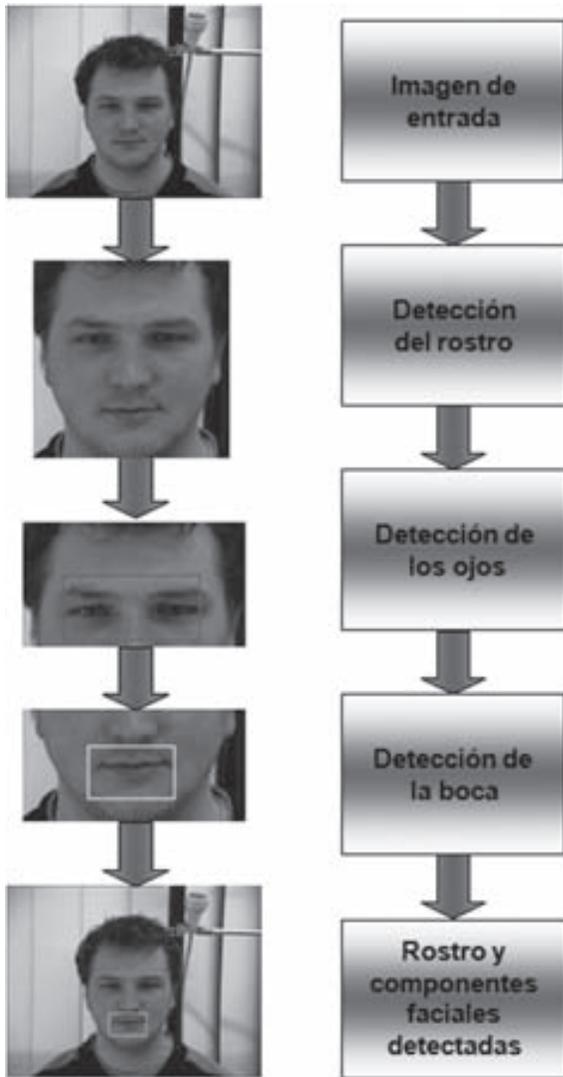
Este trabajo presenta la implementación y aplicación de un método de detección de rostros frontales y componentes faciales, sobre secuencias de imágenes, como etapa inicial de un sistema automático de reconocimiento de emociones a partir del análisis del movimiento y deformación de algunas de las partes más expresivas del rostro : los ojos, las cejas y la boca.

La estructura de este trabajo se dividió así: en la sección II se presenta la metodología, en la sección III se expone el método de detección que sustenta la metodología, en la sección IV se hace una descripción de la base de datos usada, de las pruebas realizadas y de los resultados y, por último, se presentan las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

La detección del rostro y sus componentes faciales se lleva a cabo en tres etapas, en la primera se realiza la búsqueda del rostro sobre toda la imagen usando el método propuesto por Viola & Jones, sobre la región detectada como rostro se definen dos zonas de interés, una de ellas comprende la región de la mitad superior, en la cual se aplica el detector de ojos, y la otra comprende la mitad inferior donde se aplica el detector de la boca (ver Fig. 1).

FIG. 1. ESQUEMA PROCESO DE DETECCIÓN



III. DETECCIÓN

A. Detección del rostro

El método aplicado en esta etapa está basado en el propuesto por [8], y se divide en tres fases: en la primera se realiza una transformación de la imagen, para generar una nueva, llamada imagen integral, en la segunda se realiza la extracción de características con filtros de base Haar, y en la última se usa boosting para la construcción de clasificadores en cascada.

- Imagen Integral

Esta es una imagen acumulativa que se construye a partir de operaciones básicas de sumas y res-

tas, y permite extraer de forma rápida características a diferentes escalas [8].

FIG. 2. IMAGEN INTEGRAL



La imagen integral (ver Fig. 2), en la localización x, y , contiene la suma de los píxeles de la parte superior izquierda, y se calcula como se muestra a continuación:

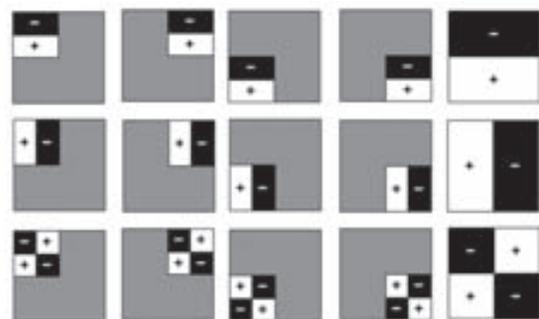
$$I(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I_m(x',y') \quad (1)$$

Donde $I(x,y)$ es el valor de la imagen integral en la localización (x,y) e I_m es la imagen original.

- Extracción de características

La extracción de características es realizada al aplicar a la imagen filtros con bases Haar. Estos filtros pueden ser calculados eficientemente sobre la imagen integral, son selectivos en el dominio espacial y de la frecuencia y permiten ser modificados en escala y orientación. En la Fig. 3, se muestran algunos de los filtros [13].

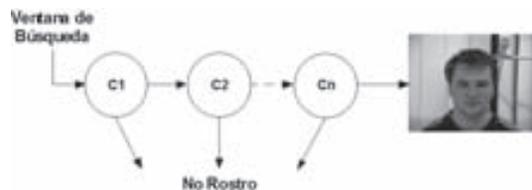
FIG. 3. FILTROS HAAR ROTADOS, TRASLADADOS Y CON CAMBIOS DE ESCALA



- Clasificación

Para realizar la clasificación se usa boosting [14]. Este es un método de clasificación que combina varios clasificadores básicos para formar un único clasificador más complejo y preciso. En la Fig 5, se muestra un esquema de un clasificador en cascada.

FIG. 4. ESQUEMA DE UN CLASIFICADOR EN CASCADA



Para aplicar la técnica de boosting primero se debe establecer un algoritmo de aprendizaje sencillo (clasificador base), que será llamado varias veces para crear diversos clasificadores base; para el entrenamiento de estos se emplea, en cada iteración, un subconjunto diferente de muestras de entrenamiento y una distribución de pesos diferente sobre las muestras [14]. Finalmente, estos clasificadores base se combinan en un único clasificador que se espera sea mucho más preciso que cualquiera de los clasificadores base por separado.

En función de los clasificadores base que se utilicen, las distribuciones de peso que se empleen para entrenarlos y el modo de combinarlos, podrán crearse distintas clases del algoritmo genérico de boosting. El algoritmo de boosting empleado por Viola y Jones en su trabajo es conocido como AdaBoost (Adaptive boosting).

B. Detección de componentes faciales

Los ojos y la boca son marcas faciales importantes, ambos usados para análisis, reconocimiento y procesos de normalización; especialmente los ojos, debido a que su distancia ínter-ocular es relativamente constante [1], [15].

La tarea de detección se llevó a cabo según el método expuesto en A, con la diferencia de que los objetos a ser detectados, en este caso, son los ojos y la boca.

En esta etapa se parte del rostro detectado, dentro del cual se definen dos zonas de interés (ver Fig. 5), una de ellas comprende la región de la mi-

tad superior, en la cual se aplica el detector de ojos, y la otra comprende la mitad inferior donde se aplica el detector de la boca.

FIG. 5. ZONAS DE INTERÉS DEFINIDAS PARA LA DETECCIÓN DE COMPONENTES FACIALES



IV. PRUEBAS Y RESULTADO

Para realizar la detección del rostro y componentes faciales y permitir en el futuro un análisis de estas regiones para el reconocimiento de emociones, se usó la base de datos FEEDTUM (Facial Expressions and Emotions from the Technical University Munich), esta base de datos es ampliamente usada en la actualidad para el desarrollo de métodos de análisis para el reconocimiento de expresiones faciales [1], [15], [16].

- Base de datos FEEDTUM

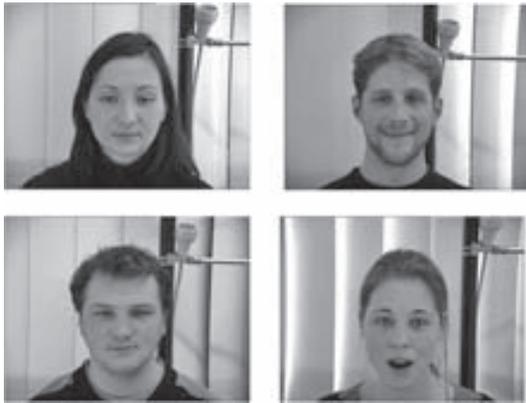
Pertenece a la Universidad Técnica de Munich (Alemania). Está conformada por secuencias de imágenes con rostro frontales de 18 personas que muestran las 7 emociones básicas (alegría, tristeza, sorpresa, miedo, disgusto, enojo y neutral), 6 de ellas definidas por Eckman y Friesen. Esta base de datos ha sido generada como parte del proyecto FG-NET (Face and Gesture Recognition Research Network), cada foto se encuentra en formato JPEG a 8 bits con un tamaño de 320x240 píxeles.

- Pruebas

La prueba de detección se realizó sobre 200 imágenes, pertenecientes a 4 secuencias de 4 personas que manifiestan diferentes emociones. Cada secuencia contiene alrededor de 100 imágenes, de las cuales se tomaron las primeras 50 (para cada persona). A cada imagen se le aplicó el método de detección de rostros y componentes fa-

ciales y se midió el tiempo de procesamiento por imagen.

FIG. 6. IMÁGENES DE CUATRO PERSONAS DE LA BASE DE DATOS FEEDTUM QUE MANIFIESTAN DIFERENTES EMOCIONES



Resultados

El porcentaje de detección y el tiempo de detección promedio se calculó como se indica a continuación:

$$\% \text{ de Detección} = \frac{NDC}{NTI} \quad (2)$$

$$\text{Tiempo de Detección} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{NIDC} \quad (3)$$

Donde NDC es el número de detecciones correctas, NTI número total de imágenes analizadas por secuencia, t_i tiempo de detección para cada imagen y NIDC es la cantidad de rostros o componentes detectados correctamente.

TABLA I Resultados de detección del rostro

	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4
No de Imágenes	50	50	50	50
No de Detecciones	48	49	49	42
No de Fallos	2	1	1	8
% de Detección	96%	98%	98%	84%

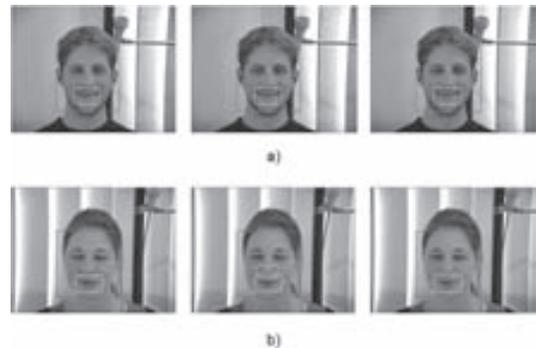
TABLA II Resultados de detección de los ojos

	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4
Nº de Imágenes	50	50	50	50
Nº de Detecciones	46	46	47	42
Nº de Fallos	6	4	3	8
% de Detección	92%	92%	94%	84%

TABLA III Resultados de detección de la boca

	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4
Nº de Imágenes	50	50	50	50
Nº de Detecciones	48	47	45	41
Nº de Fallos	2	1	5	9
% de Detección	96%	94%	90%	82%

FIG. 7. RESULTADOS PARA IMÁGENES DE DIFERENTES SECUENCIAS. A) SECUENCIA DE IMÁGENES FELICIDAD PARA LA PERSONA 3 Y B) SECUENCIA DE IMÁGENES SORPRENDIDO PARA LA PERSONA 4



V. CONCLUSIONES

La metodología se aplicó sobre la base de datos FEEDTUM creada para propósitos similares a los que se quieren alcanzar en esta investigación. Los resultados alcanzados fueron del 94% para la detección del rostro y del 90.5% para la detección de los ojos y la boca. La reducción del porcentaje de detección de las componentes faciales se atri-

buye a la poca información morfológica que contienen.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla en el marco de los proyectos: "Implementación y efectividad de un sistema basado en inteligencia artificial como herramienta para el tratamiento psicológico de personas con trastorno de estrés postraumático", financiado por Colciencias. Código 111037019600 y la Universidad Tecnológica de Pereira. Código 511-3-243-08, y el proyecto "Detección de objetos en imágenes digitales utilizando wavelets y boosting", financiado por el Centro de Investigación y Extensión, de la Universidad Tecnológica de Pereira. Código E6-07-4.

REFERENCIAS

- [1] RATLIFF, Matthew y PATTERSON, Eric. *Emotion Recognition Using Facial Expressions With Active Appearance Models*. University of North Carolina Wilmington, 2008.
- [2] RAMÍREZ, Carlos Alejo y PÉREZ, Manuel David. Detección de caras y análisis de expresiones faciales.
- [3] LECUMBERRY, R., Federico. Cálculo de disparidad y segmentación de objetos en secuencias de video. Tesis de maestría en ingeniería eléctrica. Universidad de la república Montevideo, Uruguay. 3 de agosto de 2005.
- [4] LI, Yadong, GOSHTASBY, Ardeshir y GARCÍA, Óscar. *Detecting and tracking human faces in videos*. Wright State University, 2000.
- [5] FERIS, Rogerio, EMIDIO DE CAMPOS, Teófilo y MARCONDES, César. *Detection and tracking of facial features in video sequences*. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 1793, pp. 197-206, 2000.
- [6] HABIL, Nariman. *Automatic segmentation of the face and hands in sign language video sequences*. *Technical report*, Adelaide University, Australia, 2001.
- [7] ROWLEY, Henry, BALUJA, Shumeet, y KANADE, Takeo. *Neural network-based face detection*. *IEEE*, 1998.
- [8] VIOLA, Paul y JONES, Michael. *Robust Real-Time Face Detection*. *International Journal of Computer Vision*, Vol.57, No.2, pp 137-154, 2004.
- [9] CASTRILLÓN, M., DÉNIZ, O., GUERRA, C y HERNÁNDEZ, M. *ENCARA2: Real-time detection of multiple faces at different resolutions in video streams*. ELSEVIER, *Journal Visual Communication and Image Representation*. Article in press (2007).
- [10] BARTLETT, Marian Stewart et all. *Real time face detection and facial expression recognition: development and applications to human computer interaction*. University of California, USA, 2004.
- [11] SILAPACHOTE, P, KARUPPIAH, D y HANSON, A. *Feature selecting using adaboost for face expression recognition*. University of Massachusetts Amherst, USA.
- [12] BELAROUSSI, Rachid y MILGRAM, Maurice. *Face detecting and skin color based tracking: a comparative study*. University Pierre an Maire Curie. Paris, Francia, 2007.
- [13] PAPAGEORGIU,C., OREN,M y POGGIO,T. *A general frame-work for object detection*. *Proceedings of International Conference on Computer Vision*, enero de 1998, Bombay, India.
- [14] SCHAPIRE, R y FREUND, Y. *A decision theoretic generalization of on-line learning and application to boosting*. AT&T Bell Laboratories. USA, 1995.
- [15] SAATCI, Yunus y TOWN, Christopher. *Cascaded Classification of Gender and Facial Expression using Active Appearance Models*. University of Cambridge Computer Laboratory, 2006.
- [16] WALLHOFF, F.; SCHULLER, B.; HAWELLEK, M.y RIGOLL, G. *Efficient Recognition of Authentic Dynamic Facial Expressions on the Feedtum Database*. En: *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Pag 493-496, ISBN: 1-4244-0367-7, 2006.

Sistema prototipo de medición en línea para perfiles extruidos basado en el principio de triangulación láser y procesamiento digital de imágenes

Juan Carlos Ramírez Rojas

*Ing. Electrónico, Candidato al Título de Magíster en Ingeniería Electrónica, Investigador Grupos GOTS y CEMOS. Universidad Industrial de Santander UIS. Director de mantenimiento Nexans Colombia
jramirez@nexanscolombia.com.co*

Jaime Enrique Meneses Fonseca

*Ph.D Sciences, Université de Franche-Comte Besançon-France. Docente Tiempo Completo, Investigador Grupo GOTS Escuela de Física Universidad Industrial de Santander UIS.
jaimen@uis.edu.co*

Jaime Guillermo Barrero Pérez

*Mpe. Potencia Eléctrica, Universidad Industrial de Santander UIS. Docente Tiempo Completo, Investigador Grupo CEMOS, Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones Universidad Industrial de Santander UIS.
jbarrero@uis.edu.co*

Resumen— En un proceso productivo las dimensiones de la sección transversal completa de perfiles extruidos se deben medir continuamente debido a que esta práctica minimiza los desperdicios de materia prima, lo cual se ve reflejado en una disminución en el costo total del producto. Normalmente, las muestras son medidas en un laboratorio de control de calidad con un proyector para perfiles o un aparato similar. Este método no permite un control de proceso efectivo debido a que se pierde mucho tiempo y el control de calidad continuo no es posible. Debido al carácter dinámico del proceso de extrusión, la medida se debe realizar de manera no invasiva (sin tocar la superficie del cuerpo). Por lo tanto se prefiere determinar la superficie del objeto en estudio por un método óptico. El sistema óptico de medición en línea presenta una solución práctica al problema. Basado en el principio de triangulación láser en el cual se proyecta un patrón láser que en este caso es una línea recta, que forma un ángulo conocido entre el objeto que se va a iluminar y una cámara CCD, que tomará la información de la intensidad luminosa del perfil en estudio. Por medio de cuatro dispositivos de triangulación láser, ubicados a

90° uno del otro sobre el plano láser, y de procesamiento digital de imágenes se pueden reconstruir los 360° de la sección transversal del perfil extruido.

Palabras clave— Extrusión, triangulación láser, cámara CCD, óptica, procesamiento digital de imágenes.

Abstract— In a productive process the size of the transversal-section of extruded profiles must be continuously measured because such practice minimizes raw material waste, which is obviously reflected in a total cost diminish in the product. Normally, the samples are measured in a quality control laboratory endowed with a profile projector or a similar device. This method does not allow an effective control process because it wastes a lot of time, and a continuous quality control is not possible either. Due to dynamic nature of the extrusion process, the measure must be done on a non-invasive surface (without touching the body surface) Therefore is prior to determine the object's surface under study by an optical method. The optical system for measuring online presents a practical

solution to the problem. Based on the principle of laser triangulation, which projects a laser pattern that in this case is a straight line, that has a known angle between the illuminated object and the CCD camera, which takes information from the intensive light profile under study. Through four laser triangulation devices, located 90° to each other over the laser surface and the digital image processing, it can rebuild 360° of the cross section of the extruded profile.

Keywords— Extrusion, laser triangulation, CCD camera, optics, digital image processing.

I. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de soluciones industriales que permitan realizar control de calidad de perfiles extruidos en línea con el proceso se requiere un método que permita medirlos y describirlos, pero que no sea invasivo ni destructivo.

En la presente investigación se hace uso del método de triangulación láser en el cual se proyecta un haz de luz en forma de línea sobre el perfil en estudio. De esta forma mediante métodos de procesamiento de imágenes se discrimina las variaciones en la intensidad de la luz que incide sobre el perfil y que son captadas por las cámaras CCD, lo que permite, luego de realizar un procesamiento, estimar la altura del objeto en la sección donde incide el láser. Lo que permite conocer las características de la superficie del perfil extruido.

En el procesamiento de las imágenes, antes de realizar la reconstrucción del sólido, se implementaron algoritmos que permitieron mejorarlas, métodos como filtrados espaciales, binarización, algoritmos de restauración y procesos de segmentación de imagen junto con estudios de morfología.

Como proceso final se reconstruye a partir de las características del montaje, como los grados de inclinación de la cámara, la distribución del láser sobre la sección transversal del objeto extruido, las verdaderas dimensiones del perfil tomado como muestra.

Este equipo se puede implementar en líneas de producción de perfiles como: canales para cableado, marcos de ventanas, cables eléctricos,

perfiles de construcción tales como dilatadores y esquineros entre otros.

II. CALIBRACIÓN DE LAS CÁMARAS

Se pretende describir los parámetros que definen la ubicación espacial de las cámaras con respecto al objeto. Por lo tanto, se tendrán que definir características propias de la cámara (endógenas), y características del sistema externo (exógenas) (1).

Entre las condiciones propias de la cámara se tienen: distancia focal, resolución y aberraciones entre otras. Los parámetros exógenos tienen que ver con el cálculo del ángulo de inclinación de la cámara respecto al perfil objeto de medida (2).

Esta calibración es necesaria, ya que al tomar las imágenes de la realidad, por medio de una fotografía se debe contar con las características de una buena representación, ya que de éstas se tomarán medidas que permitirán alimentar el modelo de reconstrucción 3D correctamente.

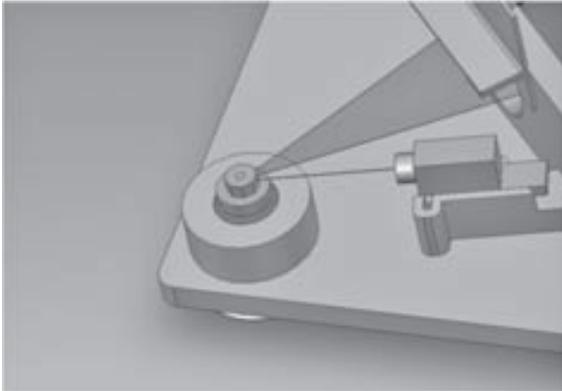
Puesto que se quiere obtener medidas a partir del plano 3D para luego llevarlas al plano 2D se debe ser muy cuidadoso a la hora de calibrar las cámaras, se hace uso de la Toolbox de Matlab dispuesta para tal objeto. Donde se indican claramente los pasos para obtener las mejores características del sistema. De resaltar la importancia de corregir las aberraciones que se producen en la imagen inducidas por las características propias de la cámara, estas distorsiones se corrigen de tal forma que las medidas que se toman en la fotografía sean reales, condición esencial para la correcta reconstrucción del patrón de forma.

III. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DE TRIANGULACIÓN LÁSER

Para el montaje mecánico del sistema se requirieron cuatro espejos con forma octogonal perfectamente pulidos montados sobre el eje de un motor de corriente directa a 2000 rpm, en los cuales al incidir el haz de luz láser sobre su superficie se refleja en forma de línea recta; que luego se focaliza por medio de una lente y

se envía directamente sobre la sección transversal del perfil.

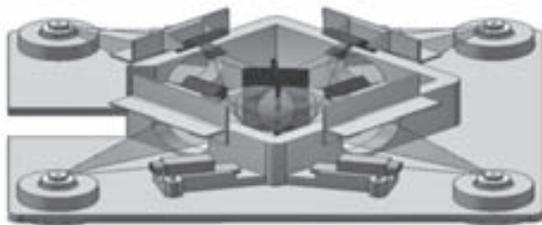
FIG. 1. SISTEMA DE PROYECCIÓN DE LÍNEA LÁSER



Fuente Autores

Esta línea toma la forma del cuerpo sobre el cual es dirigida, condición que permite que al capturar la imagen, se generen diferencias de intensidad que serán las características que se van a estudiar. Este proceso se realiza cada 90° de igual forma, se obtendrá la proyección de la línea láser por todo el contorno de la figura, es decir, se hará una proyección de 360°. En la Fig. 2 se puede observar la configuración del dispositivo en cargado de la triangulación láser.

FIG. 2. DISEÑO DE DISPOSITIVO DE TRIANGULACIÓN



Fuente. Autores

El montaje del sistema se realiza de tal forma que la línea láser sea lo más fina posible, hay que cuidar siempre que las distancias entre cada elemento sean precisas. Este sistema es clave para el éxito del proyecto ya que su sincronización junto con la calibración correcta de las cámaras, permite obtener imágenes de gran calidad.

Cabe resaltar que el sistema diseñado sirve para medir perfiles hasta 50mm x 50mm lo que

asegura que este equipo pueda ser usado para diferentes aplicaciones industriales.

IV ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMAGEN

Para esta etapa se montaron cuatro cámaras a noventa grados una de otra, con resolución 640 x 480 pixeles. Estas cámaras se conectan a una tarjeta Matrox Meteor II, que consta de 12 canales monocromáticos. Para clarificar la disposición de las cámaras se puede observar la Fig. 3 (3).

FIG. 3. MONTAJE REAL DE DISPOSITIVO DE TRIANGULACIÓN



Fuente: Autores

Para la construcción del software de procesamiento de imágenes se debe conocer las superficies que se van a estudiar, se pueden conocer sus características observar la Fig. 4.

FIG. 4. PERFILES A MEDIR



Fuente: Autores

Los principios desarrollados para este proyecto, en cuanto a procesamiento de imagen son, entre otros:

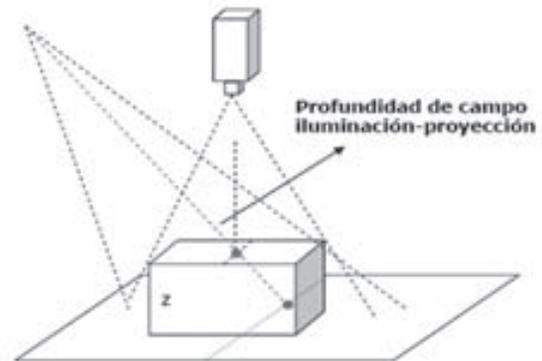
- Filtrado Espacial no lineal: El proceso de filtrado de imagen requiere la toma de un píxel como centro para aplicar operaciones que sólo impliquen cálculos con los píxeles de vecindades, y hacer que ese resultado tome el lugar del mencionado centro. El filtrado espacial no lineal toma su nombre debido a que las operaciones entre píxeles se realizan con procesos matemáticos no lineales. En la presente aplicación se realiza con un filtro laplaciano el cual es idóneo para este tipo de imágenes donde se requiere resaltar bordes finos (4).
- Para mejorar la resolución de los bordes del haz de luz se hizo uso del algoritmo de Lucy-Richardson el cual es bastante eficiente para mejorar las diferencias entre escala de grises en la imagen, este proceso se realiza para preparar la imagen para la binarización correcta de la línea sobre la superficie del sólido.
- El concepto de morfología es usado para reconstruir adecuadamente las líneas en un plano, la forma de la línea debe ser restablecida de tal manera que se interprete claramente, para su posterior medición con relación a los ángulos de inclinación de la cámara que captura las imágenes de la línea sobre el perfil, a continuación se realiza el proceso de binarización el cual dejará en cada una de las imágenes la definición total de la forma de la sección transversal del sólido donde incide el láser.
- En esta etapa se toman cada una de las cuatro fotos y se llevan sólo a una, midiendo cada ángulo de inclinación de cada cámara, lo cual permitirá describir cuánto se debe modificar (5), en cuanto a desplazamiento cada píxel del contorno de la superficie que describe el objeto. Al terminar el proceso el píxel el cual pertenece a la sección transversal quedará en el lugar correspondiente así se cambiará el observador 90° , lo que permite determinar la sección transversal del objeto totalmente al realizar este proceso a las cuatro fotografías.

V. PRINCIPIO DEL MÉTODO TRIANGULACIÓN LÁSER

En el método de triangulación láser se proyecta un patrón láser, ya sea un punto o una línea forma un ángulo conocido con respecto al objeto iluminado y con respecto a la cámara CCD, como se observa

en la Fig. 5. Si se mide la deformación geométrica del patrón láser con respecto al patrón proyectado sobre el plano de referencia donde se ubica el cuerpo, se puede obtener la altura del objeto. Para el desarrollo de este método es necesario hacer un barrido bidimensional al cuerpo debido a que se proyecta una línea (6).

FIG. 5. SISTEMA DE TRIANGULACIÓN LÁSER



Fuente: Alberto Patiño Vanegas, técnica de triangulación láser para scanner 3d, grupo de óptica moderna

A. Técnica de reconstrucción 3D por triangulación láser

Las cámaras digitales proporcionan una imagen en intensidad luminosa 2D del cuerpo en estudio. No se obtiene información en esta imagen sobre la topografía del cuerpo, a menos que se sepa de antemano cómo está codificada la información 3D en la imagen 2D a la cual se tiene acceso. La técnica de triangulación láser es la base de varios sistemas que codifican información 3D en una imagen 2D cuando se necesita reconstruir la topografía de objetos con precisión de micras. Es necesario, entonces, hallar las relaciones matemáticas que permitan obtener de las coordenadas de la imagen dadas generalmente en píxeles, las respectivas coordenadas de la superficie del objeto que se va a digitalizar dadas en unidades del sistema métrico (7).

B. Geometría de la triangulación usada

La técnica de triangulación láser consiste en iluminar el cuerpo con un patrón especial que en este caso es una línea. La intersección entre la iluminación proyectada y la superficie del cuerpo que se va a reconstruir, produce un único patrón

deformado según la forma y dimensiones del cuerpo. Por ejemplo, La Fig. 5, representa un montaje óptico de reconstrucción 3D por triangulación que utiliza un plano láser. Cuando se proyecta la línea láser sobre la superficie plana (XY) de referencia, la imagen 2D capturada por un sistema de observación libre de aberraciones, debe ser una línea recta (línea de referencia). Cuando se coloca un objeto sobre el plano XY, la imagen es una línea deformada debido a la topografía del objeto.

La cantidad de desplazamiento que sufre cada punto de la línea en la imagen 2D capturada respecto a la línea de referencia, está relacionada con la altura (Z) del objeto en ese punto. Es así, como una característica 3D es codificada en una imagen 2D.

La Fig. 6 muestra la geometría de la triangulación láser proyectando un plano sobre la superficie del cuerpo. (X, Y, Z) Corresponden al sistema coordenado del cuerpo y (U, V) corresponden al sistema

coordenado del plano imagen del objetivo. El eje de proyección del láser forma un ángulo Θ con el eje Z, Y el eje óptico forma un ángulo β con el eje Z.

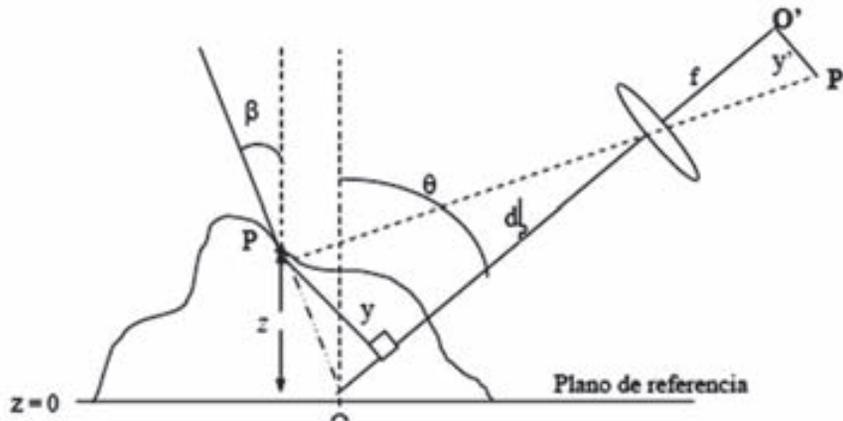
Así un punto sobre el plano P(X, Y, Z) es proyectado sobre la imagen en P (U, V). Si la altura Z del punto es cero, la coordenada del punto proyectada sobre la imagen es cero.

De esta forma según la ley de Gauss para las lentes delgadas, se puede mostrar que la coordenada Z del punto P en el mundo real está relacionada con la coordenada U de su imagen P' según la expresión:

$$Z(U) = \frac{U \cos \beta}{M \cos(\theta + \beta) \left[\tan(\beta + \theta) + \frac{U}{f} \right]} \quad (1)$$

Donde $M \cong f/d_o$, f es la focal efectiva del objetivo de la cámara y d_o la distancia desde O hasta el centro del sistema óptico del objetivo.

FIG. 6. GEOMETRÍA DE TRIANGULACIÓN LÁSER



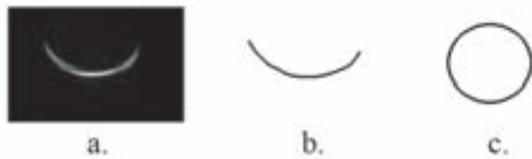
Fuente: Alberto Patiño Vanegas, Técnica de triangulación láser para scanner 3D, grupo de óptica moderna

VI. RESULTADOS

El método de triangulación láser implementado genera excelentes fotografías que muestran bien definida la línea láser sobre la figura, lo que permite a través del procesamiento digital de imágenes resultados óptimos sin demasiado costo computacional. Ya que el montaje realizado cuenta con cuatro cámaras, las cuales recogen información

de los 360° del perfil estudio, se adquirieron todos los ángulos necesarios para reconstruir correctamente los estilos de perfil planteados como figuras estudiadas. Los resultados después de realizar el procesado para una imagen cilíndrica se pueden observar en la Fig. 7. Se realizaron diferentes pruebas con diferentes perfiles que muestran de igual forma resultados apropiados para estimar la forma del objeto.

FIG. 7. A. IMAGEN CAPTURADA POR LA CÁMARA B. RECUPERACIÓN DE IMAGEN MEDIANTE ALGORITMOS DISEÑADOS C. RECONSTRUCCIÓN DE IMAGEN TRANSVERSAL DEL CILINDRO



Fuente: Autores

VII. CONCLUSIÓN

El sistema prototipo óptico permite medir la sección transversal de perfiles extruidos con precisión sin necesidad de entrar en contacto con el objeto en estudio. Se garantiza de esta manera que se pueda realizar un control en línea al proceso.

VII. REFERENCIAS

- [1] Diego Aracena Pizarro, Pedro Campos2 Clésio, Luis Tozzi,. Comparación de técnicas de calibración de cámaras digitales. Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá, vol. 13 no. 1, 2005 57-67.
- [2] Leiner Barba Jiménez, Lorena Vargas Quintero. ,Sistema óptico de reconstrucción tridimensional usando SHADES3D. Grupo de Óptica e Informática- Universidad Popular del Cesar.
- [3] Wenjing Chen, Manhai Li, Xianyu Su. ,*Error analysis about CCD sampling in Fourier transform profilometry. Received 21 August 2007; received in revised form 5 January 2008; accepted 11 February 2008.*
- [4] Gonzales Rafael, Woods Richard, Eddins Steven,. *Digital image processing, Using MATLAB.* Pearson. Prentice Hall 2004.
- [5] Pingfan Wu, Feihong Yu, Zhengmin Li, Zhongjun Yan, and Yangyuan Shun. *Analysis technique for the measurement of a three-dimensional object shape.* © 1993 Optical Society of America.
- [6] Zhifeng Zhang, Qibo Feng, Zhan Gao, *A new laser displacement sensor based on triangulation for gauge real-time measurement.* School of Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China.

- [7] N. Arias, J. Meneses, Sistema de Reconstrucción Tridimensional a Referencia Global: Parte I. Universidad Industrial de Santander, Congreso Nacional de Física 23-28 Octubre 2005 Barranquilla

Medición del espesor de las capas estructurales del pavimento flexible con visión artificial

Jaime Andrés Arango Gallardo

Estudiante Ingeniería Electrónica,
Universidad del Valle,
Grupo de investigación PSI
Santiago de Cali, Colombia
jaimeara@univalle.edu.co

Giovanny Corrales Corrales

Estudiante Ingeniería Electrónica,
Universidad del Valle,
Grupo de investigación PSI
Santiago de Cali, Colombia
giovacor@univalle.edu.co

Eduardo Caicedo Bravo

PhD en Informática Industrial,
Universidad Politécnica de Madrid,
Docente Tiempo Completo, Investigador
Grupo PSI, Universidad del Valle
Santiago de Cali, Colombia
ecaicedo@univalle.edu.co

Eval Bladimir Bacca Cortez

MSc(c) Magister en Automática,
Universidad del Valle, Investigador
Grupo PSI, Universidad del Valle
Santiago de Cali, Colombia
evbacca@univalle.edu.co

Resumen— Una de las variables para medir en la evaluación integral de pavimentos para la rehabilitación de vías, es el espesor de las capas estructurales que lo componen. El objetivo de este artículo es proponer una novedosa técnica para la medición del espesor de las capas que componen el pavimento flexible de una vía con un boroscopio, una cámara de video análoga, un digitalizador de imágenes y herramientas para su procesamiento. Se presenta el método de construcción de la imagen a partir de un video, la segmentación de la información deseada, el método de calibración del sistema y la extracción de características de textura para la medición de las capas. Este trabajo está enmarcado en el proyecto de investigación “Sistema Piloto para la Evaluación Integral de Pavimentos con un Robot Móvil”, el cual fue aprobado por COLCIENCIAS y se encuentra en la fase de finalización. Para la validación de esta técnica se construyó una plataforma piloto sobre la cual se desarrollaron diversas pruebas, las cuales revelaron errores promedio del 6%.

Palabras clave— Espesor capa asfáltica, visión artificial, boroscopio.

Abstract— One variable to measure in the evaluation of pavement for the rehabilitation of roads, is the thickness of the structural layers that compose it. The aim on this paper is to propose a new measuring technique for the thickness of the layers that make up the flexible pavement by using a bo-

roscope, an analog video camera, a digitizer and image processing tools. It is described a method to get an image from a video, the segmentation of the desired information, the method of system's calibration and the extraction of textural features for the measurement of the layers. This work is framed within the research project “Sistema Piloto para la Evaluación Integral de Pavimentos usando un Robot Móvil”, which was approved by COLCIENCIAS and is in the final stage. To validate this technique, it was built a pilot platform on which various tests were conducted, which showed an average error of 6%.

Keywords— Thick asphalt layer, machine vision, boroscope.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de las ciudades y carreteras, hacen necesario un enfoque técnico en los estudios de suelos, en el diseño, evaluación y mantenimiento de pavimentos; en la gestión de pavimentos es indispensable realizar una medición del espesor de la capa asfáltica, esto con el fin de evaluar el desgaste del pavimento y establecer los correctivos necesarios [1].

Actualmente, existe un método no invasivo (GPR) para esta medición pero los resultados son de difícil interpretación y no son muy fiables después de

la primera capa [2], además, su implementación es bastante costosa. Sin embargo, en Colombia, la medición se realiza manualmente con métodos altamente invasivos.

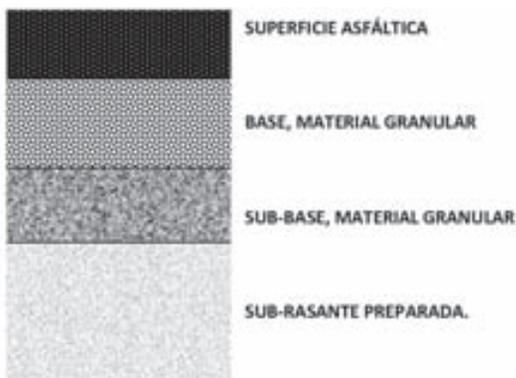
En este artículo, se propone una técnica para la medición del espesor de la capa asfáltica mediante procesamiento digital de imágenes mediante: un boroscopio, una cámara análoga de video y un digitalizador de imágenes. El boroscopio desciende con una velocidad constante por una perforación de 5cm de diámetro realizada previamente en el pavimento y se captura un video de las capas que componen el suelo durante el descenso, con éste se obtiene una imagen panorámica la cual es filtrada y suavizada para mejorar la adecuada detección de los límites de las capas.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. Estructura de pavimentos flexibles

Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores y calidades, las cuales al interactuar unas con otras ofrecen un grado de resistencia al paso de los vehículos [3]. Comúnmente está compuesto por 4 capas [4]: la sub-rasante, es la base del pavimento y de espesor infinito, encima de esta capa se encuentra la sub-base granular, esta según su espesor y la calidad del material aporta un grado de resistencia a la estructura del pavimento, sobre ella se encuentra la base granular que, por lo general, es de mejor calidad a la anterior y, por último, se encuentra la carpeta asfáltica (ver Fig. 1). La definición de los espesores de las capas del pavimento en la etapa de diseño, depende de algunas variables que son analizadas por los ingenieros civiles como el tráfico estimado de la vía.

FIG. 1. CAPAS ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE



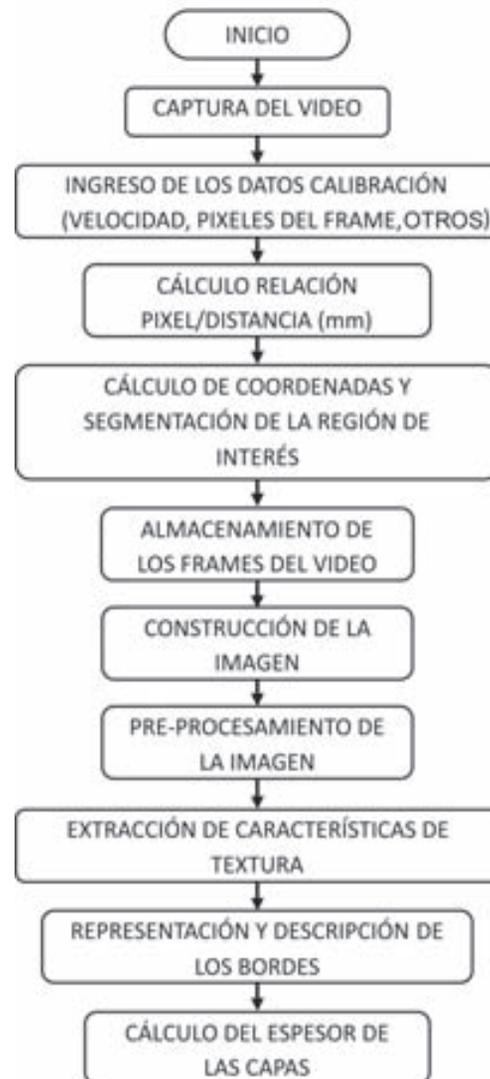
III. PROCEDIMIENTO

En la Fig. 2 se muestra el diagrama de flujo del procesamiento para la medición del espesor de las capas.

A. Calibración del sistema

Antes de la captura del video, se ajusta la velocidad de descenso del boroscopio, la distancia del lente a la pared del hueco y la intensidad de iluminación de la sonda. Igualmente, se captura un video previo con una regla guía, para la calibración y cálculo de la relación píxel/distancia en (cm).

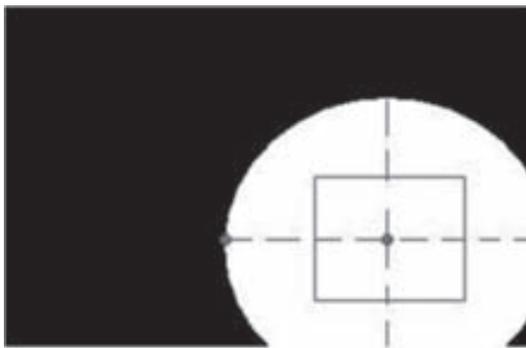
FIG. 2. DIAGRAMA DE FLUJO. PROCESAMIENTO DEL VIDEO



Con este video, se realiza una segmentación y se encuentra la región de interés de cada frame del video, ya que se requiere un recuadro de cada frame para la construcción de la imagen.

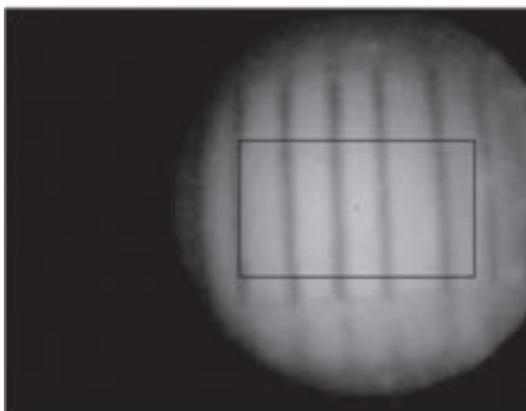
El método de segmentación consiste en definir un umbral de tal manera que los píxeles donde se visualice captura, queden blancos. En la búsqueda del recuadro deseado, se realiza un barrido a la imagen convertida en formato binario para encontrar el primer píxel blanco de izquierda a derecha y, a partir de éste, encontrar las coordenadas centrales de la región de captura, esto permite el centrado del rectángulo en dicha región. El tamaño del recuadro se asigna de manera manual, lo que hace que este método de segmentación sea semi-automático; como resultado de este procedimiento se obtienen las coordenadas del recuadro. En la Fig. 3 se muestra el método explicado.

FIG. 3. SEGMENTACIÓN DE LA REGIÓN DE INTERÉS



En la Fig. 4 se muestra la región seleccionada de la imagen de calibración.

FIG. 4. REGIÓN DE SEGMENTACIÓN. IMAGEN DE CALIBRACIÓN



Para la calibración del sistema, se calcula la relación píxel/cm (1).

$$pix_x = dist_pix / dist_x \tag{1}$$

Donde dist_x es la distancia en cm entre cada línea de la regla de calibración, y dist_pix es la cantidad de píxeles en esa distancia que se determina mediante un procesamiento a la imagen de calibración.

En la determinación de la distancia en píxeles de las líneas, primero se mejora el contraste normalizando los valores de la media y la varianza de los niveles de gris de la imagen (2) y se determinan los bordes de las líneas [5].

$$I'(x,y) = \begin{cases} \mu_d + \sqrt{\frac{\sigma_d^2 \cdot (I(x,y) - \mu)^2}{\sigma^2}}, & I(x,y) < \mu \\ \mu_d - \sqrt{\frac{\sigma_d^2 \cdot (I(x,y) - \mu)^2}{\sigma^2}}, & I(x,y) \geq \mu \end{cases} \tag{2}$$

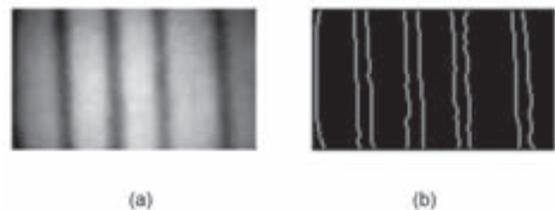
Donde I'(x,y) es la imagen mejorada, I(x,y) es la imagen actual, μ y σ^2 son la media y la varianza de la imagen respectivamente calculadas por medio de las ecuaciones (3) y (4). μ_d y σ_d^2 son la media y la varianza deseadas.

$$\mu = \frac{1}{N \times M} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} I(x,y) \tag{3}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N \times M} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} (I(x,y) - \mu)^2 \tag{4}$$

En la Fig. 5 se muestra la imagen con el contraste mejorado (a) y la detección de los bordes con el filtro de Canny (b) [6]. Con la imagen en formato binario, se calculan las distancias entre los bordes, y se promedian las distancias más largas para calcular dis_pix.

FIG. 5. (A) CONTRASTE MEJORADO POR LA NORMALIZACIÓN DE LA MEDIA Y LA VARIANZA. (B) DETECCIÓN DE BORDES EMPLEANDO FILTRO DE CANNY



B. Construcción de la imagen

En la construcción de la imagen, se debe ingresar a la aplicación la velocidad de descenso, el número de frames por segundo, el resultado de la

calibración del sistema (pix_x) y el factor de muestreo de frames. Este último determina el intervalo de frames que se muestrean para generar la imagen.

En el procedimiento, primero se capturan todos los frames del video, se obtiene la región de interés de cada uno con la coordenadas obtenidas en la calibración, se calcula la distancia de avance entre cada frame y se halla su equivalente en píxeles. Con este dato se agrega el número de píxeles de avance a la imagen que se construye. En las ecuaciones (5), (6) y (7) se muestran los cálculos.

$$x = \text{pix} / \text{pix}_x \quad (5)$$

Donde x es la distancia en centímetros capturada en un recuadro y pix es el número de píxeles (ancho) que tiene el recuadro.

$$xd = \text{vel} \cdot \text{tfps} \quad (6)$$

Donde xd es la distancia recorrida entre cada frame empleado para construir la imagen, vel es la velocidad de descenso y tfps es el intervalo de tiempo en el que se captura un frame.

$$\text{pixd} = \text{round}(xd \cdot \text{pix}_x) \quad (7)$$

Donde pixd es la distancia en píxeles que se recorre entre cada captura de frame.

En la Fig. 6 se muestra una fracción de la imagen construida, en ella se muestra el cambio entre la capa asfáltica (región oscura, parte derecha) y la capa de la base granular (parte izquierda). En la imagen también se observa un disturbio presente en la capa asfáltica correspondiente a una pequeña piedra fundida en el asfalto.

C. Pre-procesamiento de la imagen

Para obtener una información adecuada de la imagen, se convierte al modelo de color YUV, donde el plano Y contiene la información de la iluminación y los planos U y V contienen datos del color. Sin embargo, el ambiente de captura es muy oscuro y los planos U y V no contienen información relevante. Por esta razón, se decide trabajar solo con el plano Y de la imagen, lo cual reduce considerablemente el tiempo de procesamiento de la imagen.

En la Fig. 6, se observan los pliegues producidos por las uniones de los *frames*, este efecto ocurre por no uniformidad de la iluminación y es un dis-

turbio no deseable para el procesamiento. Con el objetivo de eliminar este efecto, se aplicó un filtro mediano con una ventana 15 x 15 píxeles. Este filtro elimina las transiciones agudas de niveles de gris (ver Fig. 7).

D. Extracción de características de textura

Debido a las difíciles condiciones de captura de los videos (ruido generado por el ambiente y el boroscopio, iluminación no uniforme y pequeños errores en la construcción de las imágenes) impide una correcta caracterización con los métodos tradicionales como la localización de bordes, es necesario recurrir al análisis de textura de la imagen para la detección de cada uno de los bordes.

Existen diversas técnicas para extraer información de la textura de una imagen, tales como la media, la desviación estándar y la varianza las cuales están basadas en estadísticas de primer orden y son obtenidas del vector de densidad de la imagen; otras técnicas son el contraste, la uniformidad, el momento de diferencia inverso, y la homogeneidad, entre otras, las cuales están basadas en estadísticas de segundo orden y se obtienen a partir de la matriz de coocurrencia. Esta técnica es una de las más empleadas, debido a la gran posibilidad de extraer descriptores que permiten clasificar texturas, en aplicaciones en las que otros métodos no pueden llegar a una segmentación correcta [3]. Por lo anterior se decidió emplear la técnica de la matriz de coocurrencia.

Los descriptores que se emplearon para extraer la información de la textura de la imagen se citan a continuación.

Contraste—El contraste de una textura proporciona información acerca de las variaciones bruscas de color en la imagen [7], así tiene un valor alto cuando la región dentro de la escala de la ventana tiene un alto contraste. En la ecuación (8) se muestra cómo se extrae este descriptor de la matriz.

$$C = \sum_{i=0}^{N-1} P_{i,j} (i - j)^2 \quad (8)$$

Donde $P_{i,j}$ son los elementos de la matriz de coocurrencia normalizada, e i, j son las coordenadas de la matriz de coocurrencia.

FIG. 6. PEQUEÑA FRACCIÓN DE LA IMAGEN CONSTRUIDA



FIG. 7. PLANO Y DE LA IMAGEN. FILTRADO MEDIANO, VENTANA=15



Uniformidad o Segundo momento angular—Esta medida entrega valores altos cuando la matriz de coocurrencia tiene pocas entradas de gran magnitud (hay diferencias grandes en los niveles de gris de los píxeles), y es baja cuando todas las entradas son similares [8]. En otras palabras, es una medida de la homogeneidad local. En la ecuación (9) se muestra su cálculo.

$$U = \sum_{i,j=0}^{N-1} (P_{i,j})^2 \quad (9)$$

Homogeneidad— El descriptor de homogeneidad local proporciona información sobre la regularidad local de la textura, la descripción matemática de este descriptor está dada por (10).

$$H = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2} \quad (10)$$

E. Detección de bordes

A partir de la información entregada por los descriptores, se calcula la ubicación de los bordes. Para esto se generaron múltiples matrices de coocurrencia de la imagen con valores de distancia entre 1 y 25 píxeles en las 4 direcciones y se aplicaron los 3 descriptores a todas las matrices generadas. Por las características de los descriptores se consideraron los valores máximos de homogeneidad y contraste, y los mínimos de uniformidad.

Para filtrar los datos de los descriptores y hallar los máximos o mínimos según sea el caso, se emplea una ventana deslizante con un tama-

ño de v posiciones (11), se conserva el máximo dato dentro de la ventana y el resto se multiplica por 0.

$$v = \frac{\text{dist} \cdot \text{pixd}}{\text{factor}} \quad (11)$$

Donde dist es igual a 3.48 cm, e indica que no se espera encontrar capas con espesor menor a este valor, factor es el intervalo de píxeles con el que se genera una matriz de coocurrencia en la imagen.

F. Cálculo del espesor de capas

El cálculo del espesor de las capas en centímetros se muestra en (12), donde pixcap es la distancia en píxeles que hay entre los bordes detectados por los descriptores, y pix_x es la relación píxel/cm calculada en (1).

$$\text{espesor} = \text{pixcap} \cdot \text{pix}_x \quad (12)$$

IV. RESULTADOS

Para la ejecución y validación del algoritmo, se implementó un sistema de adquisición de imágenes y un banco de pruebas que emula las capas asfálticas y las condiciones reales de captura (ambiente e iluminación). El sistema de adquisición emplea un motor de DC que se encarga del ascenso y descenso del boroscopio, una guía (ver Fig. 8 (b)) en la sonda con el fin evitar vibraciones en el proceso de captura, y una fuente de iluminación para el boroscopio. En Fig. 8 (a) se muestra el sistema de adquisición de imágenes y el banco de pruebas.

FIG. 8. (A) SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES Y BANCO DE PRUEBAS. (B) GUÍA DE DESCENSO DE BOROSCOPIO



En la Tabla I se muestran los resultados obtenidos para una estructura simulada con 3 capas (asfáltica, base granular y sub-rasante). En ella se aprecia que el mayor error es igual a 7,22%.

TABLA I Resultados obtenidos con una imagen

Capa	Espesor Real [cm]	Espesor Medido [cm]	Error [cm]	% Error
Base Granular	15	14,5	0,54	3,57
Asfáltica	4,2	4,5	0,3	7,22

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un nuevo método para medir el espesor de las capas estructurales del pavimento flexible basado en Visión Artificial, cuyos resultados son confiables y altamente satisfactorios, pues están por debajo del 10% de error que presentan otros métodos utilizados para realizar esta medición.

Adicional a ello, este método no es tan invasivo como la técnica manual utilizada para este fin y respecto del sistema GPR (Ground Penetrating Radar) los costos son mucho más bajos y no se requiere de personal altamente calificado para su utilización.

REFERENCIAS

[1] Comisión Diseño y Evaluación de Pavimentos - Corporación de Desarrollo Tecnológico, Rehabilitación de Pavimentos Flexibles con Mezclas Asfálticas, *Bit*, no. 15, septiembre 1999. Disponible en: http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_Articulo=249

- [2] J. Muñoz, Fiabilidad de las medidas del espesor de las capas de pavimentos de carreteras mediante georradar, en *Ingeniería Civil*, no. 126, pp. 27-34, Abril 2002.
- [3] A. Carrillo, E. Carrillo, I. Vera, O. Donayre, Evaluación de un modelo avanzado de diseño de pavimentos flexibles y su comparación con los métodos tradicionales, *XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil*.
- [4] H. A. Rondón, y F. A. Reyes, Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 17-2, pp. 41-65, Bogotá, diciembre 2007.
- [5] L. Wang, and G. Leedhman, *A Thermal Hand Vein Pattern Verification System, Pattern Recognition and Image Analysis, of Lecture Notes in Computer Science*, pp. 58-65, Springer, 2005.
- [6] J. F. Canny, *A computational approach to edge detection, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 8, pp. 679-698, Septiembre, 1986.
- [7] A. Jiménez, Análisis del comportamiento de descriptores de la matriz de coocurrencia en la extracción de características de textura en imágenes digitales. *Universidad Nacional*, 2002.
- [8] M. Presutti, La matriz de co-ocurrencia en la clasificación multispectral: tutorial para la enseñanza de medidas texturales en cursos de grado universitario, *Universidad Nacional de la Plata*, 2004.

Detección y seguimiento de vehículos automotores en video

David Armando Insuasti Insuasti

*M.Sc Ingeniería Electrónica,
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
dinsuasti@hotmail.com*

Resumen— En este proyecto de investigación se presenta una aplicación para el análisis del tráfico vehicular en un ambiente urbano real, la cual se basa en la detección y seguimiento de vehículos automotores presentes en un archivo de video mediante extracción de fondo, umbralización y técnicas de segmentación. Además se estiman parámetros como velocidad y trayectoria de los automóviles en la escena que permiten un estudio detallado del comportamiento vehicular.

Palabras clave— Procesamiento de señales, segmentación en video, detección de movimiento, tráfico vehicular.

Abstract— In this research project an application for the analysis of vehicular traffic in a real urban environment is described, which is based on the detection and monitoring of vehicles in a video file using background extraction, Thresholding and segmentation techniques. Moreover others parameters are estimated such as speed and cars trajectory at the scene to allow a detailed study of vehicle behavior.

Keywords— Signal processing, video segmentation, move detection, Vehicle traffic.

I. INTRODUCCIÓN

El control de tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá es un tema complejo y de vital importancia en la actualidad. La gran cantidad de vehículos, las calles y autopistas, que cada día parecen ser más pequeñas para el tránsito del creciente flujo vehicular, hacen de la movilidad un problema, que se puede abordar desde la tecnología, para contribuir con soluciones que mejoren el desempeño del tráfico en la ciudad y la calidad de vida de los ciudadanos.

El seguimiento de objetos en video puede ser aplicado para determinar la posición de uno o varios vehículos presentes en una secuencia de imágenes a través del tiempo, y estimar parámetros como velocidad y trayectoria. Para tal fin, el video fuente debe ser grabado según características como: posición e inclinación de la cámara con respecto al plano de la vía, iluminación y área del plano capturado.

Para segmentar vehículos en la escena, diferentes técnicas de procesamiento de imágenes son aplicadas a los cuadros que componen el video, para posteriormente realizar el seguimiento de cada uno de los vehículos. En este proyecto de investigación se presenta una aplicación para el análisis del tráfico vehicular en un ambiente urbano real. Esta aplicación se basa en la detección y seguimiento de vehículos automotores presentes en una secuencia de imágenes. La aplicación genera una estimación de la velocidad y la trayectoria de los automóviles en la escena, y del flujo vehicular en la vía. La utilización de este sistema en la ciudad de Bogotá puede contribuir a automatizar procedimientos de control de tráfico vehicular como el levantamiento de infracciones y/o la recopilación de información importante sobre las variables de tráfico. Además este sistema serviría de punto de partida para futuros trabajos que podrían abordar diferentes estrategias de control para enfrentar el problema de la densidad de tráfico vehicular en las ciudades.

II. ANTECEDENTES

En la actualidad existen muchos métodos de detección y análisis de movimiento, los cuales tienen muchas aplicaciones, por ejemplo, el rastreo de objetos en regiones de oclusión [1], el conteo au-

tomático de peatones [2], el rastreo de personas [3], rastreo de objetos no rígidos [4], análisis de movimiento en interfaz de escritorio [5], análisis de movimiento circular [6], análisis de movimiento reactivo [7], análisis de movimiento para sistemas de transporte inteligente [8], y también reconstruir imágenes [9].

Todas estas aplicaciones utilizan técnicas de detección o análisis de movimiento, algunos de los métodos existentes para la detección de movimiento varían de acuerdo a su aplicación. Por ejemplo, existe un método para detectar movimiento según la coherencia de los movimientos [10], otro usa arreglos de código con propiedades de correlación y convolución [11]. Otros autores, para su aplicación, utilizan la extracción de fondo [12] [13] [14] [15] [16]. También se pueden utilizar técnicas con redes neuronales o redes Bayesianas [17] [18]. Otros autores sugieren métodos probabilísticos [19], y también se ha utilizado la diferencia entre cuadros, también conocida como diferencia de imágenes [20] [21], algunos algoritmos trabajan dividiendo el video en bloques [13] [22] [23], otros algoritmos son diseñados para cámaras móviles [18] [24], unos utilizan técnicas gaussianas pero son poco utilizados por su gran complejidad computacional [14] [15]. Cabe mencionar que algunos de estos métodos son sistemas no causales, es decir, dependen de entradas futuras, lo cual implica que el video ya está grabado y que su implementación no es posible en tiempo real [23] [12].

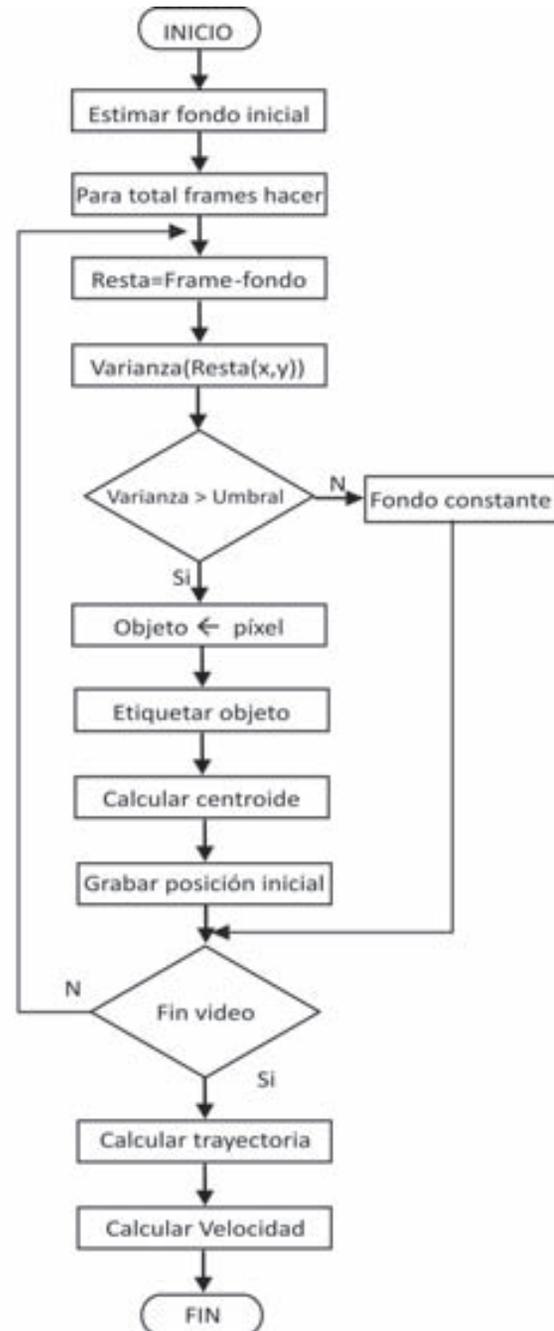
III. METODOLOGÍA

Para abordar el problema de investigación se define un algoritmo que segmenta el problema para reducir su complejidad. Primero, se define una región de interés en la imagen sobre la cual se realiza todo el procesamiento; esto para evitar trabajar con información innecesaria. Luego se estima y se actualiza el fondo, el cual es usado para distinguir los vehículos.

Para comprobar los resultados alcanzados en esta investigación, se ha escogido un punto de la ciudad de Bogotá: La Avenida - Carrera 30 en la intersección con la calle 47 que cumple con las condiciones deseadas de posición de la cámara, altura y ángulo de captura con respecto

al plano de la vía. Los fragmentos de videos han sido capturados alrededor del medio día para minimizar el efecto de las sombras en los vehículos. El algoritmo propuesto para plantear una solución al problema se describe en la siguiente figura.

FIG 1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO PROPUESTO.



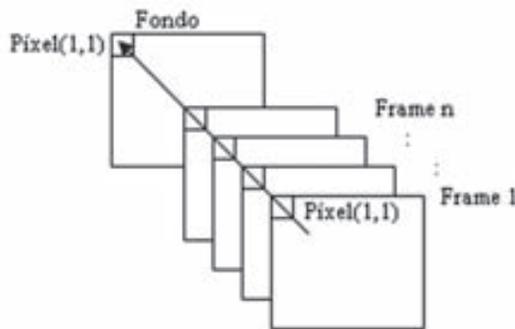
Fuente: Autor del artículo

A. Estimar fondo.

Para estimar el fondo inicial, así como las respectivas actualizaciones cada tiempo t , se utiliza la

mediana del arreglo de píxel (x,y,n), para los n frames usados como muestra. Se usa la mediana porque los valores extremos no tienen efectos sobre su resultado y si se tiene un flujo no saturado de vehículos, se puede esperar que en el arreglo de píxel (x,y,n), se tengan los valores del fondo alrededor del centro. La siguiente figura muestra el cálculo del arreglo de píxel (1,1,n).

FIG 2. CONSTRUCCIÓN DEL VECTOR QUE CONTIENE LOS VALORES DEL PÍXEL(1,1) EN EL TIEMPO.



Fuente: Autor del artículo

B. Cálculo de la Varianza de cada píxel

La varianza de cada píxel con respecto al fondo está dada por la expresión (1).

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

Como se mencionó anteriormente, si la varianza del píxel supera un umbral determinado, el umbral varía según las condiciones de luminosidad, se considera como movimiento; de igual forma al adoptar esta medida por umbral se corrigen posibles errores causados por movimientos de objetos despreciables como hojas de árboles o personas, entre otros.

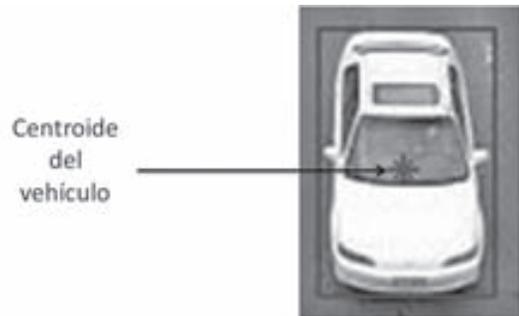
C. Etiquetar Objeto

Dado que en condiciones normales circula más de un vehículo al mismo tiempo por el espacio imagen y que la autopista seleccionada está compuesta de varios carriles, es necesario asignar a cada objeto segmentado un índice. Esto permite identificar cada vehículo para más adelante estimar su trayectoria y su velocidad promedio.

D. Cálculo de Centroide

El Centroide equivale al centro de gravedad de un objeto, es el lugar imaginario en el que puede considerarse que está concentrado todo su peso. Para este proyecto de investigación los objetos representan una moto, un vehículo mediano, o uno grande. Se define el centroide de cada vehículo para facilitar asignarle una etiqueta.

FIG 3. VEHÍCULO SEGMENTADO Y SU CENTROIDE.



Fuente: autor del artículo

E. Grabar Posición inicial del Objeto

Dado que se cuenta con un índice que identifica a cada objeto segmentado, se crea una matriz de tamaño 2xM para cada vehículo, donde M es el número de movimientos descritos por el centroide de ese objeto. Esta matriz contiene las posiciones x, y del centroide. Más adelante se utiliza esta matriz para calcular la trayectoria descrita y velocidad alcanzada por el objeto (vehículo).

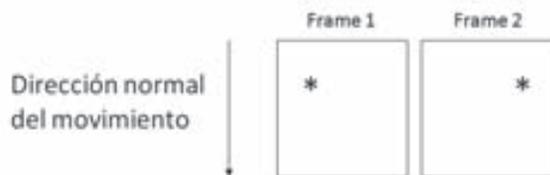
F. Ventana de restricción de movimiento

La ventana de restricción de movimiento es un área de la imagen alrededor de un vehículo detectado, en la cual se considera que se puede desplazar el centroide como consecuencia del avance y movimiento normal de un vehículo en la vía.

Esta ventana se define de acuerdo a que para el movimiento descrito por un vehículo en una vía existen movimientos alcanzables e inalcanzables. Se define movimiento inalcanzable como aquel que describe una trayectoria con cambios bruscos de dirección del centroide y que además dicha dirección no tiene el mismo sentido que el movimiento normal en la escena. Por ejemplo, el centroide de un vehículo que está ubicado en la posición x,y (50,50) en el frame actual, no puede aparecer en el siguiente frame en la posición

(200,50) si el desplazamiento normal de los centroides para esa escena es principalmente sobre el eje y de la imagen. La siguiente figura describe el movimiento inalcanzable del centroide de un vehículo.

FIG 4. MOVIMIENTO IMPOSIBLE DE UN CENTROIDE



Fuente: Autor del Artículo

En contraste, se define como movimiento alcanzable o posible, aquel desplazamiento del centroide descrito por movimientos suaves y coherentes con la dirección típica del movimiento en la escena del flujo vehicular

FIG 5. MOVIMIENTO POSIBLE DEL CENTROIDE



Fuente: Autor del artículo

G. Cálculo de Trayectoria y Velocidad

Con la matriz resultante de la posición x, y de cada uno de los centroides de los vehículos detectados se caracteriza la trayectoria descrita por cada uno de ellos. Para el caso de la velocidad es necesario realizar una calibración previa de la cámara con respecto a las marcas sobre la vía y la velocidad de captura de la cámara, en este caso 30 frames por segundo. De esta forma, cada píxel recorrido por el vehículo en el frame que se extrae de la matriz de descripción de trayectoria, equivale a una distancia real sobre la vía.

IV. RESULTADOS

Los videos de prueba fueron tomados con una cámara digital SONY CyberShot® W200 a 30 frames por segundo con una resolución de 640x480. Los videos fuente tienen una duración aproximada de tres minutos, pero se tomaron fragmentos de un minuto para realizar las pruebas del sistema. En la siguiente figura se presenta un frame típico.

FOTOG 1. ESCENA NORMAL.



Fuente: Autor del artículo

En la siguiente figura se muestra la estimación de fondo que se obtiene luego de aplicar el procedimiento expuesto.

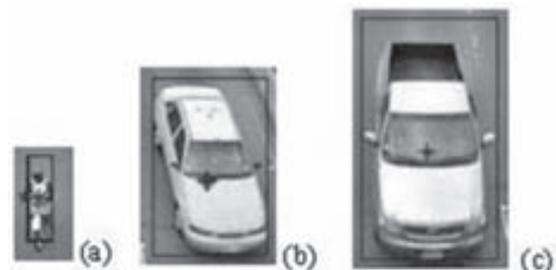
FOTOG 2.FONDO ESTIMADO.



Fuente: Autor del artículo

Todos los vehículos presentes en los fragmentos de video fueron detectados, un ejemplo de la segmentación de los objetos con movimiento (vehículos) que se obtiene se muestra en la siguiente figura.

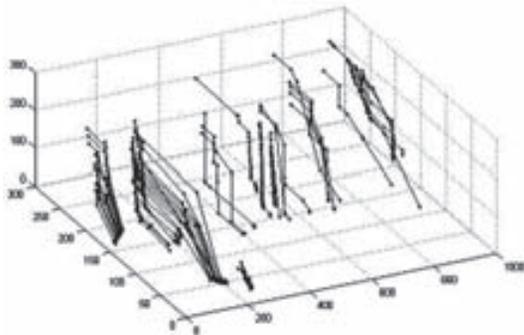
FIG 6. VEHÍCULOS DETECTADOS.



Fuente: Autor del artículo

El cálculo de trayectoria descrita por los vehículos se logra al graficar cada una de las tablas, un ejemplo se presenta en la siguiente figura.

FIG 7. TRAYECTORIAS DESCRITAS POR LOS VEHÍCULOS PRESENTES EN EL VIDEO



Fuente: Autor del artículo.

Para estimar la velocidad se utiliza una conversión de píxel a centímetros hecha a partir de la calibración. Para este caso cada píxel de la región de interés de la imagen equivale aproximadamente a ocho centímetros. Se multiplica el desplazamiento total en píxel en el eje y por su equivalencia en centímetros y se lo divide entre el tiempo que le tomó al vehículo recorrer dicha distancia.

El cálculo de la velocidad para 55 vehículos que aparecen en un fragmento de video se presenta en la Tabla I.

TABLA I Velocidad promedio alcanzada por los 55 vehículos presentes en el fragmento de video

Índice	Vel. Km/h
1	60,3
2	69,9
3	65,5
:	:
:	:
53	65,1
54	71,1
55	72,1

Fuente: Autor del proyecto

V. CONCLUSIONES

La automatización de la vigilancia de las principales vías en Bogotá y otras ciudades es importante no sólo como una herramienta tecnológica confiable sino también como una manera innovadora en

Colombia de ejercer control de manera permanente sobre sus vías.

En cuanto al tráfico se observó que la velocidad promedio alcanzada por los conductores en la vía utilizada como referencia en esta investigación, supera los límites máximos permitidos para transitar en la ciudad (60Km/h).

Es importante realizar más trabajos de investigación de este tipo encaminados a crear un sistema que trabaje en tiempo real para aplicarlo en las principales vías de las ciudades de Colombia.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga por la colaboración prestada durante la organización del STSIVA 2008.

REFERENCIAS

- [1] C. Stauffer, *Learning to track objects through unobserved regions*, IEEE Workshop on motion and video computing. 2005.
- [2] D.Biliotti, G. Antonini, J. P. Thiran, *Multi-layer hierarchical clustering of pedestrian trajectories for automatic counting of people on video sequences*, IEEE Workshop on motion and video computing. 2005.
- [3] J. Lim, D. Kriegman, *Tracking humans using prior and learned representations of shape and appearance*, IEEE International conference on automatic face and gesture recognition. 2004.
- [4] A. Jacquot, P. Sturm, O. Ruch, *Adaptive tracking of non-rigid objects based on color histograms and automatic parameter selection*, IEEE Workshop on motion and video computing. 2005.
- [5] Y. Sato, K. Oka, H. Koike, Y. Nakanishi, *Video-based tracking of user's motion for augmented desk interface*, IEEE International conference on automatic face and gesture recognition. 2004.
- [6] G. Jiang, Y. Wei, L. Quan, H. Tsui, H. Y. Shum, *Outward-looking circular motion analysis of large image sequences*, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 27 pp. 271-277. February 2005.
- [7] W. Choi, S. Z. Jeong, N. Hashimoto, S. Hasegawa, Y. Koike, M. Sato, *A development and evaluation of reactive motion capture system with haptic*

- feedback, *IEEE International conference on automatic face and gesture recognition*. 2004.
- [8] Q. Wu, H. Cheng, *Motion detection based on two-piece linear approximation for cumulative histograms of ratio images in intelligent transportation systems*, *IEEE International conference on networking, sensing & control*, March 2004.
- [9] Y. Zhang, J. Xiao, M. Shah, *Motion layer based object removal in videos*, *IEEE Workshop on applications on computer vision*. 2005.
- [10] M. Enzweiler, R. P. Wildes, R. Herpers, *Unified target detection and tracking using motion coherence*, *IEEE Workshop on motion and video computing*. 2005.
- [11] S. El-Khamy, N. El-Ganainy, *New techniques for image change and motion detection based on complete complementary code arrays*, 21st National radio science conference. March 2004.
- [12] T. Haga, K. Sumi, *Human detection in outdoor scene using spatio-temporal motion analysis*, *IEEE International conference on pattern recognition*, 2004.
- [13] M. Seki, H. Fujiwara, K. Sumi, *A robust background subtraction method for changing background*, IEEE pp. 207–213. 2000.
- [14] Z. Zivkovic, *Improved adaptive gaussian mixture model for background subtraction*, *IEEE International conference on pattern recognition*, 2004.
- [15] C. Stauffer, W. E. L. Grimson, *Adaptive background mixture models for real-time tracking*, IEEE, 1999.
- [16] T. Thongkamwitoon, S. Aramvith, T.H. Chalidabhongse, *An adaptive real-time background subtraction and moving shadows detection*, *IEEE International conference on multimedia and expo*, pp. 1459–1462. 2004.
- [17] M. Chen, G. Ma, S. Kee, *Pixels classification for moving object extraction*, *IEEE Workshop on motion and video computing*. 2005.
- [18] Z. Jia, A. Balasuriya, *Motion based image segmentation with unsupervised Bayesian learning*, *IEEE Workshop on motion and video computing*. 2005.
- [19] T. Veit, F. Cao, P. Bouthemy, *Probabilistic parameter-free motion detection*, *IEEE Computer society conference on computer vision and pattern recognition*, 2004.
- [20] P. Sangi, J. Heikkila, O. Silven, *Motion analysis using frame differences with spatial gradient measures*, *IEEE International conference pattern recognition*, 2004.
- [21] Y. Tian, A. Hampapur, *Robust salient motion detection with complex background for real-time video surveillance*, *IEEE Workshop on motion and video computing*. 2005.
- [22] V. Reddy, S. Sengupta, *A new predictive full-search block motion estimation*, *IEEE International conference pattern recognition*, 2004.
- [23] L. J. Latecki, R. Miezancko, D. Pokrajac, *Motion detection based on local variation of spatiotemporal texture*, *Proc. of CVPR Workshop object tracking and classification beyond the visible spectrum*. Washington, July 2004.
- [24] M. Agrawal, K. Konolige, L. locchi, *Real-time detection of independent motion using stereo*, *IEEE Workshop on motion and video computing*. 2005.

Instrucciones a los autores

Revista ITECKNE

Instrucciones Generales

- Los trabajos se aceptarán para la publicación previo un proceso cuidadoso de revisión por pares académicos.
- El editor en conjunto con el comité editorial hace una primera evaluación, después de la cual el trabajo puede ser rechazado sin evaluación adicional o se acepta para la evaluación de los pares académicos. Esto indica que al recibir un artículo y someterlo al proceso de evaluación, no se asegura a los autores la publicación inmediata de dicho artículo. La decisión de rechazar un trabajo es definitiva e inapelable.
- Los trabajos se rechazan en esta primera evaluación porque no cumplen con los requisitos de redacción, presentación, estructura o no son suficientemente originales y/o pertinentes con la publicación a editar. Los trabajos que son aceptados en esta primera etapa, son enviados a los pares académicos (árbitros) expertos en el área respectiva, cuyas identidades no serán conocidas por el autor y, a su vez, los pares evaluadores tampoco conocerá la(s) identidad(es) del(los) autor(es).
- Si el trabajo es aceptado, pero con la recomendación de hacer modificaciones, se le devuelve al (los) autor(es) junto con las recomendaciones de los árbitros para que preparen una nueva versión corregida para lo cual disponen del tiempo que le indique el comité editorial. Los autores deben remitir la nueva versión con una carta física o correo electrónico en la que expliquen detalladamente los cambios efectuados, de acuerdo a las recomendaciones recibidas. El editor junto con el comité editorial determinarán su aceptación, considerando el concepto de los evaluadores y las correcciones realizadas por el(los) autor(es).
- La lista de todos los árbitros se publicará en la revista, como miembros de un comité honorífico, sin anunciar el artículo calificado. Los árbitros realizarán la evaluación de acuerdo al formato de evaluación establecido por la revista y sólo serán publicados los artículos que superen en la calificación cualitativa en la escala de 1 a 50, 30 puntos.
- En todos los casos se comunicará a los autores los resultados del proceso de evaluación con los argumentos que sustenten la decisión del comité editorial y/o el comité de arbitraje.
- Un arbitro podrá calificar 2 artículos de diferentes autores al tiempo, de igual forma un artículo podrá ser calificado por dos árbitros diferentes, ya sean internos, nacionales o internacionales.
- Los integrantes de los comités editoriales y comité de arbitraje, no deberán evaluar sus propios productos, en caso que actúen como autores dentro de la misma publicación.
- Los trabajos no publicados serán archivados como artículos rechazados o en proceso de aceptación.
- La dirección de la revista ITECKNE no se responsabiliza por el contenido de los artículos, ni su publicación en otros medios. El contenido de cada artículo es responsabilidad exclusiva de su(s) autor(es) y no compromete a la Universidad.
- Los artículos deberán ser enviados en medio magnético (extensión .doc) a la siguiente dirección física y/o correo electrónico

Editor

Revista ITECKNE

División de Ingenierías

Universidad Santo Tomás

Carrera 18 N 9-27

Bucaramanga, Colombia

e-mail: iteckne@gmail.com- iteckne@ustabuca.edu.co

Forma de Presentación de los Artículos.

- La presentación de cada publicación estará de acuerdo con el diseño básico de la línea editorial, deberá mantener, entre otros aspectos, la congruencia entre el contenido y el público al que va dirigida. Todos los documentos presentados para a ser publicados deberán tener las partes requeridas y cumplir con los apartados descritos a continuación:

De las partes del documento.

El documento debe contener:

- Título
- Autor (es)
- Resumen
- Palabras clave
- Abstract
- Keywords
- Nomenclatura
- Introducción
- Contenido del documento
- Conclusiones
- Apéndice(s)
- Agradecimientos
- Referencias

De la redacción.

- Para lograr un buen estilo se recomienda respetar rigurosamente la sintaxis, la ortografía y las reglas gramaticales pertinentes. Se debe redactar en forma impersonal (la forma impersonal corresponde a la tercera persona del singular, por ejemplo: se hace, se define, se definió, se contrastó) (Ver políticas de Redacción). El trabajo debe estar exento de errores dactilográficos, ortográficos, gramaticales y de redacción. Para resaltar, puede usarse letra cursiva o negrilla.

De la Puntuación.

- Después de punto seguido se deja un espacio; y de punto aparte una interlínea.
- Los dos puntos se escriben inmediatamente después de la palabra, seguidos de un espacio y el texto continúa con minúsculas.

De los requerimientos físicos del artículo.

A continuación se presentan apartados de cumplimiento general en el desarrollo del artículo:

- El tamaño de la página será carta, con márgenes superior e inferior de 3 cm; izquierdo de 4 cm y derecho de 2 cm.
- El documento se desarrollará en dos columnas con separación central de 4,3 mm (ver plantilla revista Iteckne).
- El diseño de encabezado y pie de página se encontrará a un centímetro de la hoja.
- El contenido del documento, debe desarrollarse a espacio sencillo, dejando una línea cada vez que se desea iniciar un párrafo.
- El texto del contenido del artículo se formalizará con tipo de fuente Arial tamaño 10.

- La numeración del documento se iniciará desde la Nomenclatura en caso de existir una, hasta las conclusiones del documento. Los agradecimientos, apéndices y referencias bibliográficas, no son consideradas como Secciones numeradas del documento.
- Las tablas deberán llevar numeración continua, comienza en Tabla 1. se referencia a continuación su título, en mayúscula sostenida, ubicado éste, en la parte superior del cuerpo de la tabla con tabulación central, en tipo de letra Arial, tamaño 8. (Ver plantilla revista Iteckne).
- Las Figuras deberán llevar numeración continua, comienza en Fig. 1. se referencia a continuación su título, en mayúscula sostenida, ubicado en la parte superior del cuerpo de la figura, con tabulación central, en tipo de letra Arial, tamaño 8. Nótese que “Fig.” se ha escrito abreviada y hay doble espacio antes del texto.
- Las figuras incluidas en el contenido del artículo deben ser originales, suficientemente claras, para facilitar la edición de la revista.
- Las tablas y figuras del documento, deberán ir referenciadas (Fuente: XXX) en el cuerpo del artículo. Esa referencia debe ir en letra Arial tamaño 7, en la parte inferior de la figura o tabla, tabulado a la izquierda.
- Las columnas de la última página deben ser concluidas con un largo igual o simétrico.
- Las referencias ubicadas al final del documento, deberán ir enumeradas consecutivamente (Número entre corchetes [1], ordenadas alfabéticamente por el primer apellido del autor, y con el formato: Apellido del autor, con mayúscula inicial, Nombre de la publicación con mayúscula inicial, (ciudad y año de publicación separados por coma (,)), en paréntesis), y páginas referentes. Estas se encontrarán con fuente Arial, Tamaño 7. (ver plantilla revista Iteckne)
- En cuanto a las abreviaturas y símbolos, deben utilizarse solo abreviaturas estándar, evitar su uso en el título y el resumen. Se deben colocar al inicio del artículo en la parte de NOMENCLATURA. El término completo representado por la abreviatura debe preceder dicha abreviatura o nomenclatura. En caso de no existir la parte de NOMENCLATURA, el término completo representado por la abreviatura deberá aparecer la primera vez que aparece la abreviatura en el cuerpo del texto, a menos que se trate de una unidad.
- Las viñetas usadas para señalización especial, será el punto, de fuente Symbol y tamaño 8.
- Los artículos deben contener el día de recepción del artículo y el día de aceptación por parte del comité editorial.
- En el caso que los artículos contengan fórmulas matemáticas, deben estar digitadas en fuente Arial 10, mediante el Microsoft Editor de ecuaciones.
- El diseño de la revista debe contener leyenda bibliográfica en cada uno de los artículos y en la portada de la revista.
- El artículo deberá tener un mínimo de 4 caras de hoja y un máximo de 20 caras de hoja de contenido, en el formato establecido por la revista.

De las referencias bibliográficas.

Para citar referencias Bibliográficas ver la plantilla de la Revista Iteckne. Se recomienda a los autores tener 10 referencias como mínimo de bibliografía consultada, debido a que la política principal de la revista es investigación y de esta forma, se estaría promoviendo investigación en los autores de las publicaciones de la revista ITECKNE.

Alcance y política editorial

Revista ITECKNE Universidad Santo Tomás

Bucaramanga

La Revista ITECKNE es una publicación científica y tecnológica de la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga, que en la actualidad comprende las facultades de Ingeniería de Telecomunicaciones, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Industrial y Química Ambiental. El objeto de esta publicación es divulgar los resultados de las investigaciones que se realizan en el seno de dicha división.

La revista cuenta con la participación de diversos investigadores nacionales e internacionales, por esta razón recibe contribuciones en idiomas español e inglés, igualmente se aceptan traducciones al español de artículos publicados originalmente en cualquier otro idioma. La revista ITECKNE está dedicada a estudiantes, docentes, científicos e investigadores en los sectores académico, empresarial e investigación interesados en las áreas en las que se inscribe cada una de las publicaciones.

Debido a que la revista pertenece a la división de ingenierías de la USTA, los contenidos de las ediciones se publicarán mediante ponderación jerárquica de los programas profesionales que pertenecen a la División de ingenierías, es decir todas las ediciones pueden contener artículos de los 4 programas (Ingeniería de Telecomunicaciones, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Industrial y Química Ambiental), no obstante cada edición tendrá un porcentaje más elevado de cierto programa profesional. Esto último será decisión del comité editorial y su respectivo plan de publicaciones.

La revista aceptará artículos de los siguientes tipos, dándole prioridad a los tres primeros aquí presentados, ya que su propósito principal es hacer difusión de la investigación, considerando aquellos artículos de las tipologías aquí mencionadas con un alto nivel de calidad académico y que adicionalmente sean relevantes a la coyuntura económica y social a nivel local, nacional e internacional.

1) Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

2) Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, se recurre a fuentes originales.

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

4) 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.

5) Reporte de caso. 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.

La periodicidad de la revista ITECKNE es semestral.