AAL9242

N° 10 - 2007

tekhne

Revista de la Facultad de Ingeniería



Universidad Católica Andrés Bello

Caracas, Venezuela

tekhne
Revista de Ingeniería

Rector
Luis Ugalde, S.J.
Vicerrectora Académica
Silvana Campagnaro
Vicerrector Administrativo
Rafael Hernández Sánchez-Ocaña
Secretaria
María Isabel Martínez

Director de la Revista
Dra. Lourdes Ortiz
Consejo Editorial
Ing. María Barreiro
Ing. Willmer Pereira
Ing. José Manuel Marino
Ing. Mayra Narváez
Ing. Alonso Pérez Luciani
Dra. Lourdes Ortiz
Lic. Emilio Píriz Pérez

Producción
Publicaciones UCAB
Diseño y Composición
Publicaciones UCAB
Diagramación
Alexandra Loginow
Impresión
Editorial Texto

Diseño de Portada
Jhon Bruzual
Foto de la portada
E. Píriz Pérez

Depósito legal
Pp 97-0007
ISSN: 1316-3930

Website
Publicaciones de la Facultad de Ingeniería
http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/index.php?seccion=190

Revista virtual
http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/index.php?load=biblio_virt_rev_tekhne.htm&seccion=2500

Publicaciones UCAB
Edificio de Biblioteca, tercer piso
Montalbán - La Vega
Apartado 20.332
Caracas 1020 - Venezuela
Telf: 407.42.08
Fax: 407.43.51

tekhne
Revista de Ingeniería
Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Ingeniería

n° 10

Editorial 3

E S T U D I O S

1. Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas. *Licenciado Angel Aponte y Doctor José Moreno* 5
2. Herramienta software para el análisis de problemas cuya abstracción se fundamenta en grafos. *Ingeniero Alasia Delgado, Ingeniero Orielisa Carapaica y Doctora Lourdes Ortiz* 16
3. Diseño e implementación de un sistema para el control, supervisión y gestión de redes basadas en el protocolo IPv4. *Ingeniero Miguel Sabal* 31
4. Análisis del sistema de comunicaciones asociado a la red eléctrica de la región central de CADAFE. *Ingeniero Lorena López e Ingeniero Isis Marcano* 46
5. Análisis y rediseño del sistema de cobertura para televisión abierta de RCTV en la zona del litoral central de Venezuela. *Ingeniero Lorena Chacón* 62
6. Desarrollo de una herramienta de medición de desempeño en transmisión de datos para una red CDMA 1xEVDO. *Ingeniero Jorge Angulo e Ingeniero Arsenio Gómez* 76
7. Diseño de un sistema de reconocimiento del habla para controlar dispositivos electricos. *Ingeniero Dayana Salcedo e Ingeniero Alejandro Teixeira* 92
8. Diseño de una estructura organizativa para la comunidad de artesanos de Maderas Duras del sector Guadalupe, estado Lara, mediante el análisis de la cadena de suministro. *Ingeniero Alvaro de Jesús e Ingeniero Jonathan Fleischer* 107
9. Obtención y prueba de una metodología cuantitativa capaz de pronosticar el comportamiento de los datos experimentales de funcionamiento y limpieza de las correas de lijado de una máquina de control numérico. *Ingeniero Adrián Pirraglia* 121
10. Caracterización de agregados por zonas geográficas, Extensión del método del Manual de Concreto Estructural. *Ingeniero Guillermo Bonilla* 133
11. La bioética en la cultura de los gerentes y líderes avanzados. *Ingeniero Alfredo Gorrochotegui* 143
12. Normas para la publicación de artículos en la revista Tekhné 153

Revista Tekhne

Comisión de arbitraje

Doctor Horacio Biord
Doctor Saúl Buitrago
Doctora Lourdes Ortiz
Doctor Francisco Pérez
Doctor Vladimir Yackovlev
Doctor Wilmer Pereira
Doctora Lucía Raynero
Ingeniero Henry Gasparín
Ingeniero Carlos Pantsios
Ingeniero Nicola Buonanno
Ingeniero Luis Fernández
Ingeniero Wilfredo Torres
Ingeniero Iñaki Mendizábal
Magíster Adelmo Fernández
Ingeniero Rafael Hernández
Ingeniero Gonzalo Capriles
Ingeniero Jorge Serebriski
Doctor Ludwig Schmidt
Ingeniero Victor Nesterosky
Ingeniero Luis Barroso
Ingeniero Javier Barrios
Ingeniero María Barreiro
Ingeniero Gilberto Velazco

AUTÓMATAS CELULARES Y SU APLICACIÓN A LA MODELACIÓN DEL TRÁFICO AUTOMOTOR EN LA CIUDAD DE CARACAS

■ Lic. Angel Aponte
Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI)
Facultad de Ingeniería. Universidad Católica Andrés Bello
Caracas, DC. Venezuela
aaponte@ucab.edu.ve

■ Dr. José Alí Moreno
Laboratorio de Computación Emergente (LACE)
Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela
Caracas, DC. Venezuela
jose@neurona.ciens.ucv.ve

Resumen: En este trabajo se propone un modelo microscópico de tráfico vehicular de comportamiento emergente, basado en un autómata celular. Este modelo forma parte de un estudio de tráfico automotor que se ha iniciado recientemente para la ciudad de Caracas. El modelo incluye un solo tipo de vehículos y las velocidades de los mismos se asignan a través de una distribución gaussiana, de manera de tomar en cuenta que no todos los conductores acatan los límites de velocidad. La validación del modelo se lleva a cabo mediante la comparación entre los valores del flujo vehicular simulados y medidos empíricamente por medio de conteos mecánicos.

Abstract. *In this paper an emergent microscopic traffic model based on a cellular automaton is presented. The model is part of a vehicular traffic study recently initiated in the city of Caracas in Venezuela. The proposed simulation model is an extension of the Nagel and Schreckenberg model for identical vehicles incorporating several important features: Velocities of cars are picked from a Gaussian distribution to take into account that not every car driver honors velocity limits. The model is validated by fitting measured normalized average vehicle flows by means of an iterative unconstrained optimization algorithm. For this purpose mean and variance of the velocity distribution are considered as optimization parameters together with other model parameters. Objective Functions quantifying the mean square deviations of the differences of measured and simulated normalized averages flows, are defined. The results show that the proposed simulation models reproduce satisfactorily the general features of empirical flow measurements.*

1 Introducción

El estudio y simulación del tráfico vehicular ha adquirido gran auge en los últimos años, y constituye un área de investigación de sumo interés y gran actividad en mecánica estadística, física de materia condensada, computación emergente, ingeniería de tráfico y planificación urbana.

La literatura especializada reporta numerosos estudios de tráfico realizados en diferentes universidades e institutos de investigación alrededor del mundo. En muchos casos estos estudios tienen como objetivo el desarrollo de Sistemas de Información de Tráfico (SIT). Como referencia pueden mencionarse los SIT implementados para algunas autopistas en Seattle, Boston, Amsterdam, ciudad de México [1, 2, 3], para la red de *autobahns* de North Rhine-Wesphalia en Alemania [4, 5, 6, 7], y los SIT utilizados para estudios a gran escala para modelar el tráfico urbano y operaciones de transporte público, en las ciudades de Dallas (TX USA), Estocolmo (Suecia), Ginebra (Suiza), entre otras [8, 9, 10].

Los enfoques generalmente más utilizados para la modelación del tráfico vehicular son el "macroscópico" y el "microscópico" [11, 12, 13, 14]. Típicamente en los modelos "macroscópicos", el tráfico es considerado un fluido compresible. Los conceptos y formalismo de la dinámica de fluidos, son utilizados para caracterizar el fenómeno. Los vehículos no aparecen explícitamente en la teoría. Este enfoque genera modelos "gruesos", menos detallados y, por tanto, menos exigentes desde el punto de vista computacional.

Por otra parte, en los modelos "microscópicos" la atención se centra en cada "partícula" individual, en cada vehículo. De manera que la dinámica del tráfico y su desempeño estarán determinados por la manera en que cada vehículo influye sobre el movimiento de los demás. Por su naturaleza detallada, estos modelos caracterizan y describen mejor el fenómeno pero a un alto costo en lo que a cómputo se refiere.

La casi totalidad de los SIT mencionados más arriba, incorporan en sus algoritmos lo que se denomina un Modelo Microscópico de Comportamiento Emergente Basado en un Autómata Celular (MMCEBAC) [11]. En los MMCEBAC se implementan reglas muy sencillas con las cuales se busca reproducir las características más relevantes del comportamiento del tráfico automotor observadas en la realidad. Esto es posible además a un costo de cómputo relativamente bajo, ya que programas de este género, es posible ejecutarlos satisfactoriamente y en tiempos razonables en plataformas computacionales que no van más allá de PCs.

Pero ¿Por qué son tan importantes los SIT?

Una solución inmediata a los problemas de los congestionamientos de vehículos y a la reducción de sus efectos colaterales, pero de fuerte impacto económico, es sin duda alguna la ampliación de la infraestructura de calles, avenidas y autopistas. Sin embargo, los costos involucrados, incluido el costo social, particularmente en áreas densamente pobladas, son enormes. Una alternativa mucho más económica es la utilización efectiva de los recursos viales ya existentes. Los SIT permiten estudiar la dinámica del tráfico y de los congestionamientos y a partir de ese conocimiento, proponer acciones destinadas a mitigar sus efectos, optimizando así el uso y aprovechamiento de la vialidad disponible [2, 5], reduciendo considerablemente los costos operativos, ya que un SIT permite simular y evaluar en el computador múltiples escenarios estructurales y de desempeño, sin necesidad de movilizar un solo obrero ni una sola maquinaria. Un subproducto de este análisis es el diagnóstico oportuno de las locaciones donde la infraestructura vial debe crecer y simular con cuáles características debe hacerlo, permitiendo así planificar y ejecutar efectivamente proyectos futuros de mejoras y ampliaciones.

La ciudad de Caracas, como muchas de las ciudades mencionadas anteriormente, padece cotidianamente los efectos colaterales de los congestionamientos de tráfico en sus calles, avenidas y autopistas. Sin embargo, en esta ciudad no se ha llevado a cabo, hasta ahora, un estudio sistemático y a gran escala, que incluya una campaña masiva de levantamiento de información, así como también un análisis detallado que incorpore la modelación y simulación del comportamiento y desempeño del tráfico automotor en sus calles, avenidas y autopistas.

Con el propósito de contribuir a cubrir esta necesidad, en este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio de tráfico automotor que se ha iniciado recientemente en la ciudad de Caracas. Específicamente, se presentan los resultados de aplicar un MMCEBAC para simular el desem-

peño del tráfico en dos locaciones específicas de la ciudad. El modelo aquí propuesto será el punto de partida para la implementación e implantación en el mediano plazo de un SIT para el área metropolitana.

La estructura del trabajo es como sigue. En el apartado 2 se describen los elementos esenciales de un MMCEBAC. La sección 3 describe la implementación y validación del modelo propuesto. En el apartado 4 se presentan y discuten los resultados obtenidos. Se cierra en la sección 5 con las conclusiones y algunos comentarios finales.

2. Autómatas Celulares (AC) y modelos de tráfico

Tal como se mencionó en la introducción, existen básicamente dos enfoques en los que actualmente se fundamentan los modelos para el estudio del tráfico vehicular: el "macroscópico" y el "microscópico". La aproximación macroscópica produce modelos "gruesos" con los cuales es posible caracterizar aspectos generales del fenómeno [12, 13] a un bajo costo computacional. Sin embargo, la revolución en la tecnología de los PCs, pone hoy a la disposición equipos con gran poder de cómputo a costos relativamente bajos. De aquí que ahora esté al alcance llevar a cabo estudios de tráfico a gran escala, con una perspectiva microscópica donde pueden ser incorporados detalles de la geometría de la red vial, así como también, detalles de las interacciones entre los vehículos que circulan a través de ella [11, 12, 14].

Específicamente, dentro de los diferentes modelos microscópicos reportados en la literatura, los que incorporan un MMCEBAC en su implementación, son de los más difundidos. En ellos se incluyen reglas muy sencillas con las cuales es posible reproducir las características más relevantes del comportamiento del tráfico automotor observadas empíricamente. Todo esto a un costo computacional relativamente bajo, ya que algoritmos de este género, es posible ejecutarlos satisfactoriamente y en tiempos razonables en una PC o en una combinación de ellas ("*cluster*").

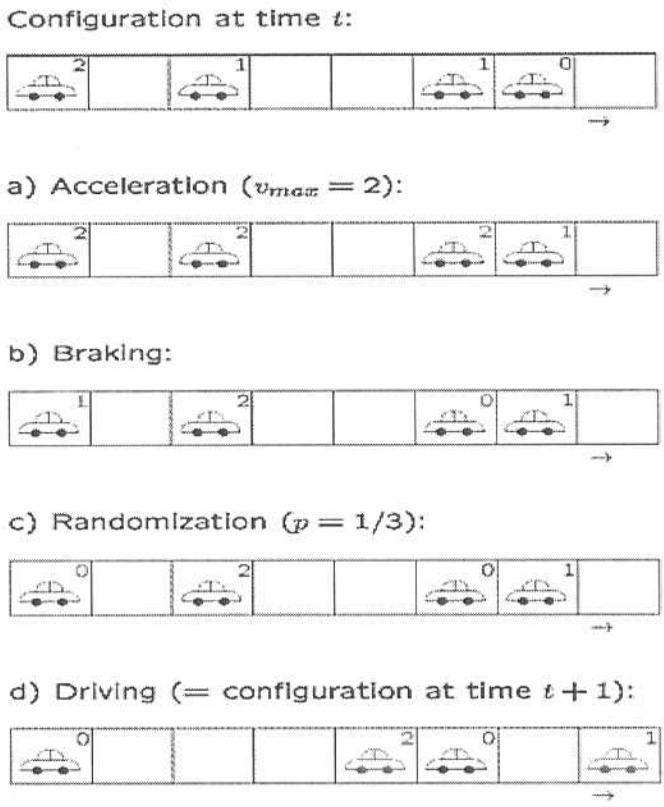


Fig. 1 Esquema del modelo de tráfico unidimensional propuesto por Nagel y Schreckenberg en 1992 (tomado de D. Chowdhury et al. Physics Reports 329, 199 –2000).

Un modelo de tráfico de este género fue propuesto por vez primera en 1992 por los investigadores alemanes K. Nagel y M. Schreckenberg (modelo de NaSch) [15], para modelar y simular el tráfico vehicular en las *autobhans* de North-Rhine Whesphalia en el noroeste de Alemania. La implementación requiere subdividir una vía de longitud L en n celdas. Algunas celdas son ocupadas con vehículos y el resto se dejan vacías (ver Fig.1). Se permite sólo un vehículo por celda. La densidad vehicular de la vía o canal de circulación (número de vehículos por unidad de longitud) se define por $\rho = n_{ocp}/L$, donde n_{ocp} es el total de celdas ocupadas. Las velocidades y posiciones se representan también por cantidades discretas, esto es, números enteros. La variable temporal se subdivide en pasos discretos de tiempo. La dinámica vehicular es modelada aplicando un conjunto de reglas sencillas derivadas de la observación empírica y el sentido común.

La Fig.1 muestra esquemáticamente el MMCEBAC originalmente propuesto por NaSch para modelar una vía rectilínea de un solo canal. Los

vehículos se desplazan de izquierda a derecha. La dinámica del proceso se divide en una secuencia de cuatro etapas: a) si la velocidad del vehículo es menor que la velocidad máxima establecida, entonces la velocidad es incrementada en una unidad (aceleración), en caso contrario la velocidad se toma igual a la máxima permitida; b) si la velocidad del vehículo es mayor que la distancia entre el mismo y el auto que tiene inmediatamente por delante, entonces la velocidad del primero se hace igual a esta distancia disminuida en una unidad (frenado), evitando así colisiones; c) para cualquier vehículo cuya velocidad sea mayor que cero, con cierta probabilidad, esta velocidad se reduce en una unidad (frenado aleatorio o "randomization"); d) finalmente, las posiciones y velocidades de los vehículos son actualizadas (conducción). Es importante destacar que el paso c) es determinante en la formación de los congestionamientos (espontáneos) [11]. La secuencia descrita se repite en cada uno de los pasos de tiempo. Se requiere además imponer Condiciones de Borde (CB), las cuales pueden ser Condiciones de Borde Periódicas (CBP) o Condiciones de Borde Abiertas (CBA).

El modelo de NaSch descrito en el último párrafo es considerado un "modelo mínimo". Sin embargo, se ha encontrado que reproduce cualitativa y cuantitativamente algunas características relevantes del comportamiento del tráfico automotor observadas en la realidad. De allí su importancia y trascendencia en este contexto. No obstante, para una descripción más completa del fenómeno y/o modelos más elaborados, se hace necesario considerar los diversos aspectos geométricos de la vialidad y por tanto incorporar reglas, según sea el caso, para cambios de canal, maniobras de adelantamiento, maniobras de cruce en intersecciones, etcétera. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta aspectos relacionados con el comportamiento de los conductores, el cual ejerce, según lo reporta la literatura [2, 16], gran influencia sobre la dinámica vehicular resultante.

Sistemas de Información de Tráfico como *OLSIN* [5, 6, 7], *MITSIMLab* [8], entre otros, incorporan en su implementación un MMCEBAC con características semejantes a las descritas en los últimos párrafos.

3. Implementación y validación del modelo

En este apartado se describe la implementación de un modelo computacional generado para el estudio del tráfico automotor en algunas locaciones de la ciudad de Caracas. El mismo incorpora un MMCEBAC basado en el modelo de NaSch descrito anteriormente. El MMCEBAC propuesto en este trabajo está conformado por dos módulos, los cuales permiten modelar y simular respectivamente: un tramo rectilíneo de autopista de dos canales, donde los vehículos circulan en el mismo sentido, y un tramo de carretera curva, donde los vehículos circulan en sentidos opuestos a través de un canal de ida y otro de vuelta.

En el tramo rectilíneo de autopista se establecen reglas para los cambios de canal. Para el tramo de carretera con una curva, se implementan reglas para maniobras de adelantamiento. Por seguridad no se permiten estos últimos en el sector curvo de la vía.

Se comienza fijando valores para el número total de celdas n, número de pasos de tiempo n_s, densidad vehicular relativa de los canales o vías df_{21}, probabilidades de frenado p_{c_1}, p_{c_2}, número total de corridas, parámetros geométricos de la vía, las velocidades de los vehículos, etcétera.

Seguidamente se calcula la densidad vehicular en cada canal o vía, las posiciones de las celdas ocupadas, y se asigna una velocidad a cada vehículo. Las velocidades se escogen según una distribución gaussiana para tomar en cuenta que no todos los conductores acatan los límites de velocidad establecidos. Se toma ahora la media de esta distribución como velocidad máxima. Se evalúa además la distancia entre los vehículos. Así se genera la primera generación del AC. Para los cambios de canal se implementa un algoritmo basado en los reportados en las referencias [17, 18, 19, 20]. Para la carretera, los adelantamientos se implementan con un algoritmo obtenido mediante la modificación del algoritmo de cambio de canal antes mencionado. Tanto para los cambios de canal como para los adelantamientos, se incorporan criterios de incentivo y de seguridad, siendo este último esencial para evitar las colisiones entre los vehículos. Seguidamente se aplica la secuencia de aceleración, frenado, "randomization" y conducción, obteniéndose una nueva generación del AC en cada paso de tiempo. A continuación se calculan y se almacenan en cada corrida los obser-

vables de interés: velocidad promedio y flujo vehicular (número de vehículos que pasan por unidad de tiempo por un punto dado). Por simplicidad se imponen en todos los casos CBP, esto es, los carros que llegan al final del arreglo son reintroducidos al inicio del mismo.

El proceso descrito en los dos párrafos anteriores representa una simulación o "experimento numérico". Se realizan tantos como se requieran.

Se encontró que el modelo de comportamiento emergente propuesto reproduce cualitativamente los diferentes regimenes de tráfico observados en la realidad: desde el flujo libre hasta la formación de los congestionamientos espontáneos. La Fig.2 muestra un ejemplo donde se comparan cualitativamente las trayectorias vehiculares simuladas en un canal y las trayectorias reales medidas en un canal de una autopista en Ohio USA. Adicionalmente se encontró que para los dos casos estudiados (tramo de autopista y carretera curva) los diagramas fundamentales derivados del modelo emergente propuesto muestran transiciones de fase congruentes con las reportadas en los diagramas fundamentales empíricos generados a partir de medidas reales [21,22].

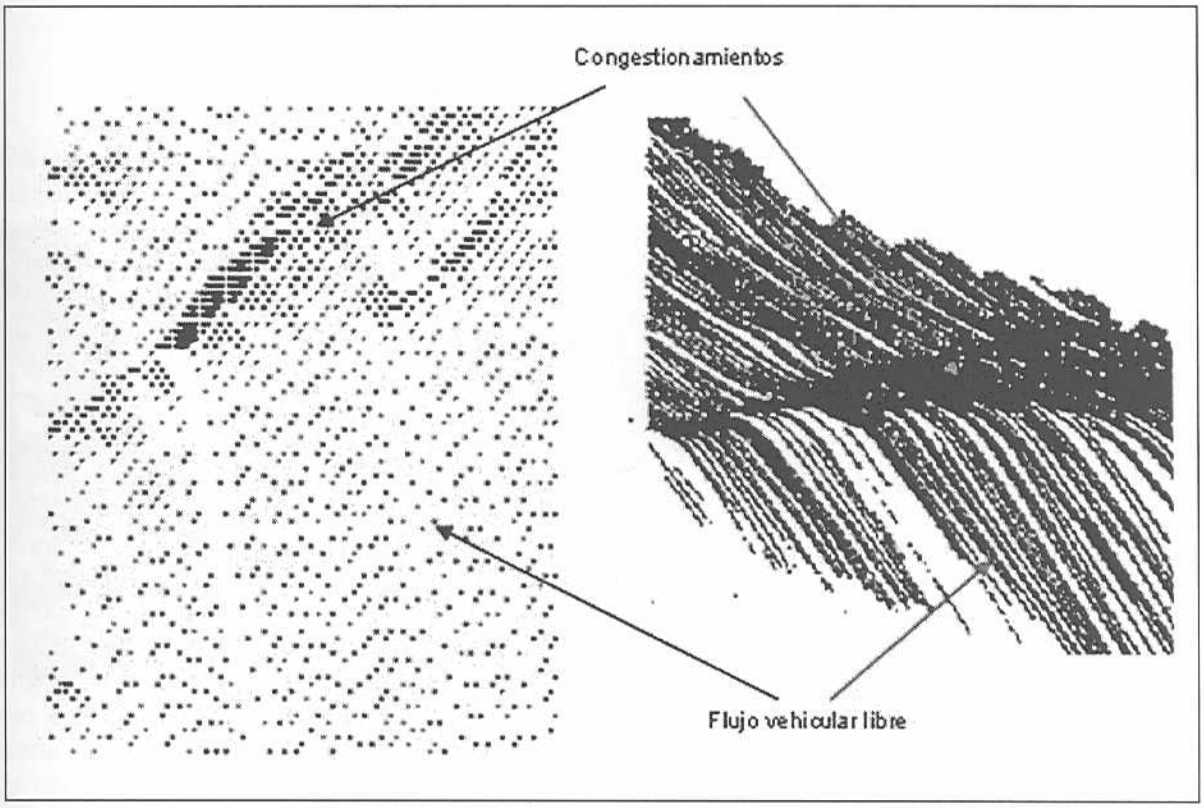


Fig. 2 Simulación vs. Observación empírica. Izquierda, simulación en un canal. En la imagen derecha las trayectorias de los vehículos individuales fueron dibujadas a partir de fotografías aéreas tomadas en un canal de una autopista del Estado de Ohio, USA (tomado de J. Teisterer: Ohio State Technical Report No. PB 246 094, 1975).

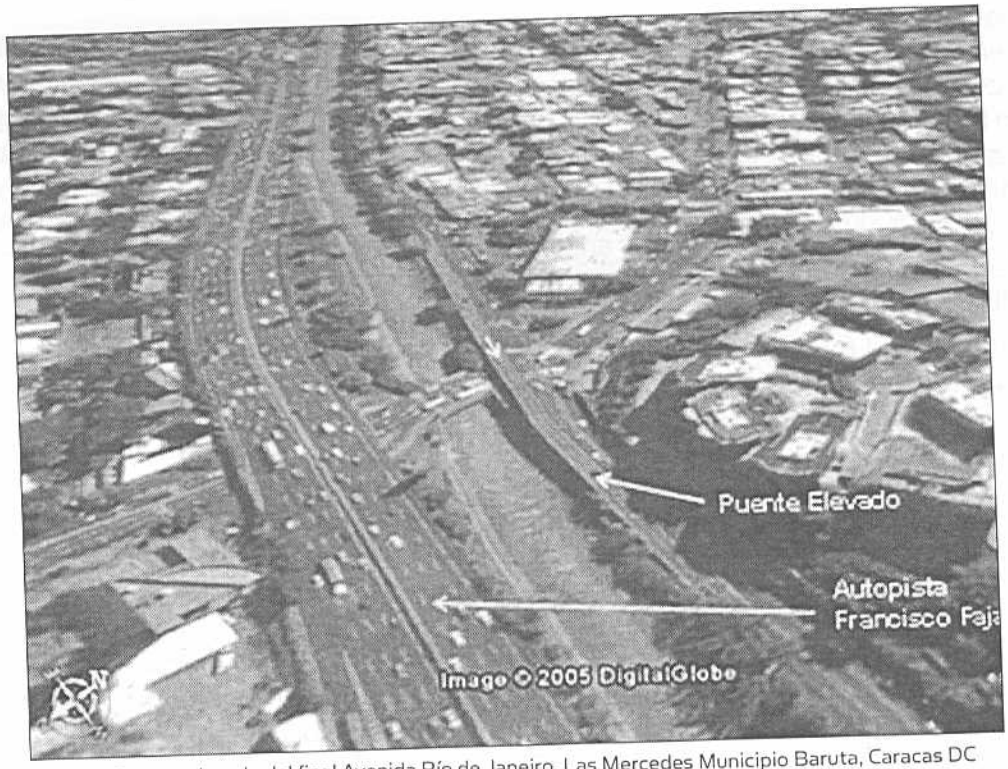


Fig. 3 Puente elevado del final Avenida Río de Janeiro. Las Mercedes Municipio Baruta, Caracas DC (tomado del sitio GoogleEarth).



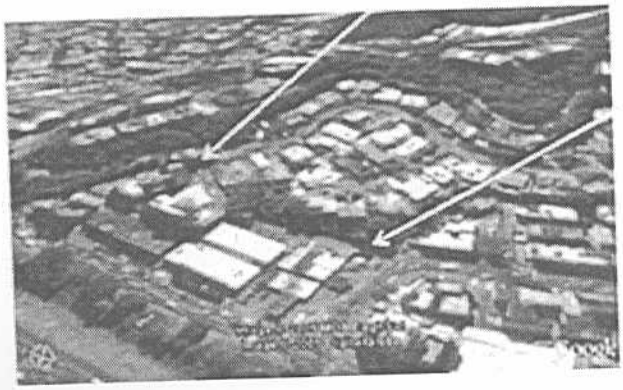


Fig. 4 Tramo curvo de Carretera Vieja de Baruta. Las Mercedes Municipio Baruta, Caracas DC (tomado del sitio GoogleEarth).

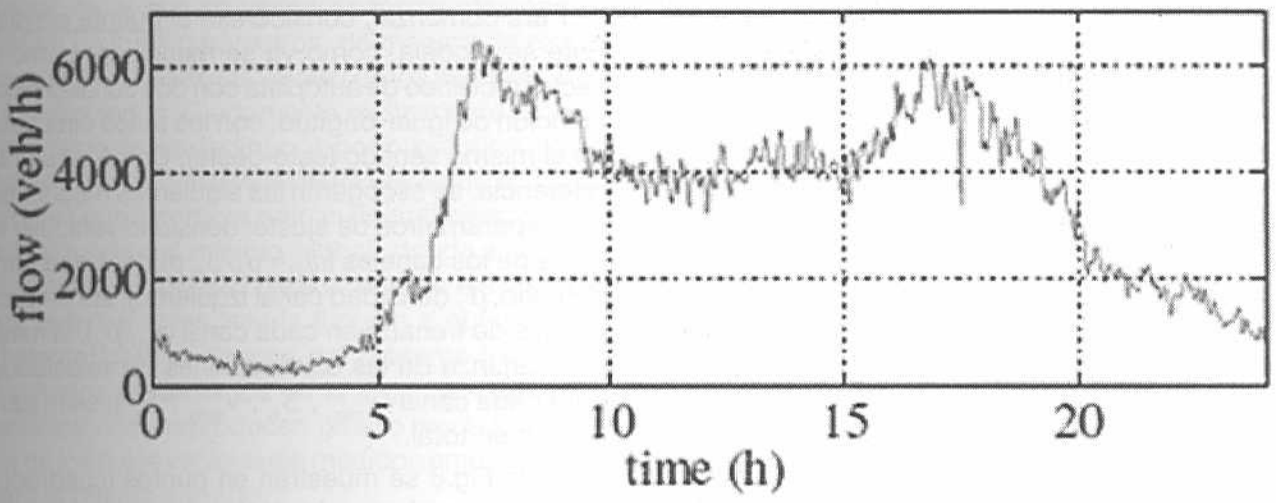


Fig. 5 Flujo vehicular en función del tiempo medido en la autopista E17 Gent-Antwerp en Bélgica (tomado de T. Bellemans, B. de Schutter & B. De Moor: Models for Traffic Control. 2 de marzo de 2000).

Para una validación cuantitativa del modelo son necesarios datos reales recopilados en vías cuyas configuraciones geométricas se asemejen a las implementadas en cada uno de los módulos del modelo emergente propuesto. Tal como se hizo referencia anteriormente, en la ciudad de Caracas no se ha llevado a cabo hasta ahora un levantamiento sistemático de información de tráfico a gran escala. Sólo están disponibles datos de flujo vehicular provenientes de conteos mecánicos realizados en algunos puntos de la ciudad. En el año 2002 la Alcaldía del Municipio Baruta realizó un levantamiento de información de tráfico en puntos selectos de la urbanización las Mercedes, al sur-este de la ciudad. Estos datos están reportados en [23]. De todas las locaciones donde se realizaron mediciones, dos poseen características geométricas que permiten comparar con las simulaciones: un puente elevado de dos canales esencialmente rectilíneos (dirección este-oeste), y un sector curvo de la Carretera Vieja de Baruta con una vía de ida (dirección oeste-este) y otra de vuelta (dirección este-oeste), ambas con un solo canal de circulación.

Las figuras 3 y 4 muestran imágenes satelitales del puente elevado y del sector curvo de carretera. Para el puente elevado no se realizaron mediciones (conteos mecánicos) individuales en cada canal. La referencia [23] reporta solamente el flujo "promedio" de los dos canales. Para la carretera sí se realizaron mediciones separadas para la vía de ida y para la vía de vuelta.

Los conteos mecánicos se realizaron simultáneamente en todas las locaciones entre los días 20 y 26 de febrero de 2002, ambos inclusive. Se reportaron 24 mediciones del flujo vehicular para cada día, entre la 1 de la madrugada y las 12 de la medianoche del día siguiente. Para llevar a cabo las comparaciones, las mediciones se ordenaron de menor a mayor, comenzando con los valores correspondientes de las 5 am (flujo mínimo). Salvo para los días sábados y domingos, típicamente los conteos diarios siguen una tendencia similar a la curva mostrada en la Fig.5, la cual fue obtenida en la autopista E17 Gent-Antwerp en Bélgica.

Es importante destacar que para la validación del modelo se llevarán a cabo comparaciones *vis-à-vis* entre curvas empíricas semejantes a la mostrada en la Fig.5 y las simulaciones. Las comparaciones se realizarán con las primeras 12 mediciones (que incluyen sólo el primer máximo de la curva), por las razones que se exponen a continuación.

En un día laboral típico, la variación del flujo en el intervalo temporal correspondiente a las primeras horas de la madrugada hasta pasado el mediodía, es producto del aumento de la densidad vehicular, consecuencia del incremento progresivo de la pre-

sencia de conductores en la autopista a medida que avanza la mañana. Para cierto valor de la densidad, el flujo alcanza un máximo. Superado el mismo, el flujo comienza a disminuir en la medida que la densidad vehicular continúa aumentando, hasta llegar a su valor mínimo alrededor de la "hora pico": hora en la cual la densidad vehicular en la vía es máxima. Este proceso describe una transición de fase típica, entre una fase de "flujo libre" y otra de "flujo congestionado" tal como lo reporta la literatura [11, 17, 18, 19].

A partir de la hora pico, se invierte el proceso en la medida que disminuye gradualmente la densidad vehicular, producto de la disminución del número de conductores que utilizan la autopista. Sin embargo, al irse aproximando la siguiente "hora pico", la densidad vehicular comienza a incrementarse nuevamente y se repite el proceso descrito en el párrafo anterior. Hacia las horas de la madrugada, el flujo alcanza de nuevo un valor mínimo, consecuencia de la ausencia casi total de conductores en la vía. Al avanzar el día, el ciclo comienza de nuevo, y así sucesivamente.

El modelo emergente propuesto ha sido implementado de manera de simular la primera transición de fase descrita, correspondiente a la primera etapa del ciclo mencionado en el párrafo anterior (el que incluye la primera "hora pico", el primer máximo de la curva).

La dinámica vehicular se simula fijando valores para los parámetros a los que se hizo referencia al inicio de este apartado, vale decir, densidad vehicular relativa de los canales o vías, probabilidades de frenado, etcétera. Pero, ¿es posible encontrar valores de estos parámetros que reproduzcan la tendencia de los flujos vehiculares reales reportados en [23] para el puente elevado y el sector curvo de carretera?

4. Resultados y discusión

Se comienza este apartado abordando la interrogante planteada al final de la sección anterior. En efecto, es posible encontrar valores de los parámetros de manera de reproducir las tendencias observadas empíricamente, por ejemplo, para el flujo vehicular.

Para comenzar, considérese el puente elevado. Éste se modela, como ya se mencionó, como un sector rectilíneo de autopista con dos canales de circulación de igual longitud, con los autos circulando en el mismo sentido (este-oeste). Como ya se hizo referencia, se escogerán las siguientes magnitudes como parámetros de ajuste: densidad vehicular relativa de los canales ($df_{21} = \rho_2/\rho_1$, ρ_1,densidad canal derecho, ρ_2 densidad canal izquierdo), las probabilidades de frenado en cada canal (p_{c_1}, p_{c_2}), la media y la varianza de las distribuciones de velocidades para cada canal (v_{max_1}, S_{v_1}, v_{max_2}, S_{v_2}); siete parámetros en total.

En la Fig.6 se muestran en puntos (cuadrados, triángulos, rombos y círculos), valores empíricos del flujo vehicular en función del tiempo, correspondientes a cinco días de mediciones (normalizados a la unidad), para el puente elevado, para ocho horas de desempeño (de 5 am a 12 m). No se incluyen los días sábado y domingo. La línea punteada representa flujos vehiculares (normalizados) obtenidos de simulación, para un cierto conjunto de valores de los 7 parámetros de ajuste.

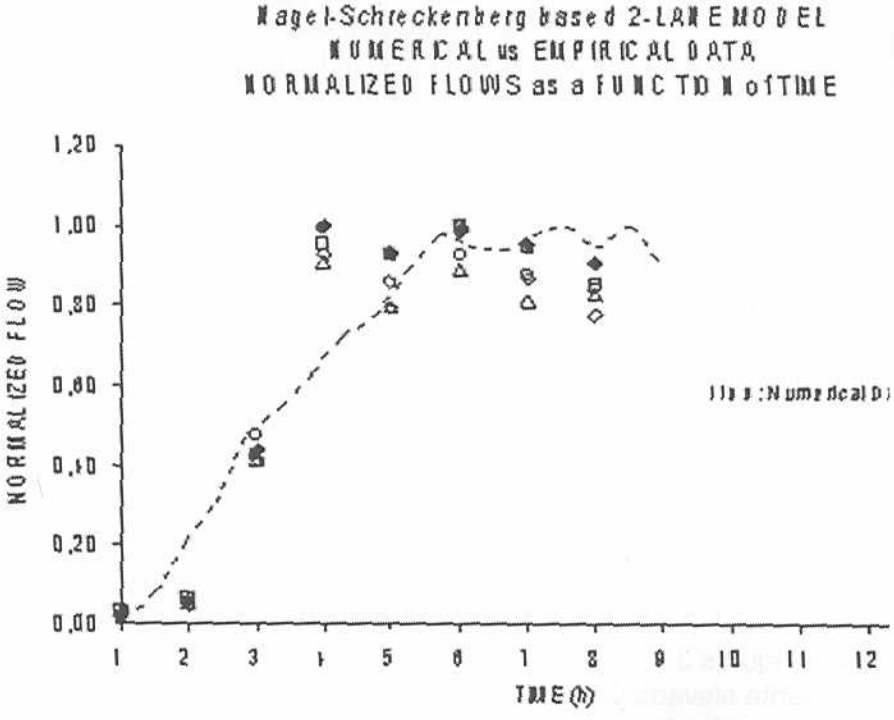


Fig. 6 Comparación resultados flujos normalizados simulados y empíricos, para un sector rectilíneo de dos canales de circulación (puente elevado).

El proceso de búsqueda de los mejores parámetros se realizó por medio de un proceso de ensayo y error, en el que se varían de forma aleatoria los valores de los 7 parámetros, de manera de reducir las diferencias entre los valores de los flujos medidos y los simulados. Ciertamente realizar este proceso manualmente es tedioso y poco práctico. Idealmente lo más conveniente sería utilizar un algoritmo iterativo que incorpore rutinas de optimización para la búsqueda del mínimo global, donde el modelo emergente propuesto para el puente elevado con sus siete variables, sea la función a optimizar. No obstante, para el alcance del presente trabajo los resultados presentados en la Fig.6 se consideran satisfactorios y reproducen *grosso modo* la tendencia de los flujos vehiculares medidos empíricamente para el puente elevado.

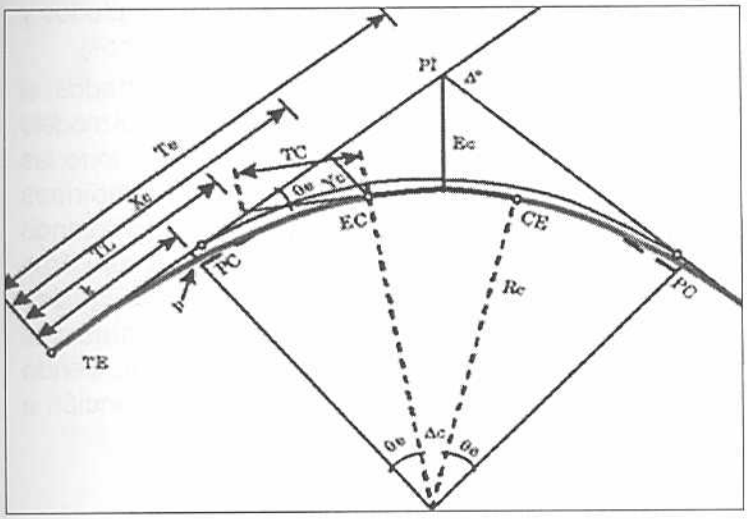


Fig. 7 Elementos de una curva circular con curvas de transición (clotoides) (tomado del curso Diseño de Carreteras Rurales, UCAB 2002).

En el caso del sector curvo de carretera, la función a optimizar depende de 9 parámetros: densidad vehicular relativa de las vías (df_{cg}=$\rho_c\rho_g$, ρ_g densidad de la vía de ida, ρ_c densidad de la vía de vuelta), las probabilidades de frenado en cada vía (p_{c_g}, p_{c_c}), la media y la varianza de las distribuciones de velocidad en cada una de las vías ($v_{\max_g}$, S_{v_g}, $v_{\max_c}$, S_{v_c}), el ángulo de curvatura (Θ) y el llamado factor de longitud f_{long}, el cual toma valores iguales o mayores a 1. Las dos últimas magnitudes están relacionadas, como se verá más adelante, con la geometría de la carretera curva. La Fig.7 presenta esquemáticamente el diseño de una carretera, según los estándares vigentes en ingeniería vial [24]. La misma consiste de dos tramos rectos unidos a un segmento curvo central (subtendiendo un ángulo $\Delta\Theta$), a través de sendas curvas conocidas como espirales de transición o *clotoides* (resaltadas en rojo en la figura).

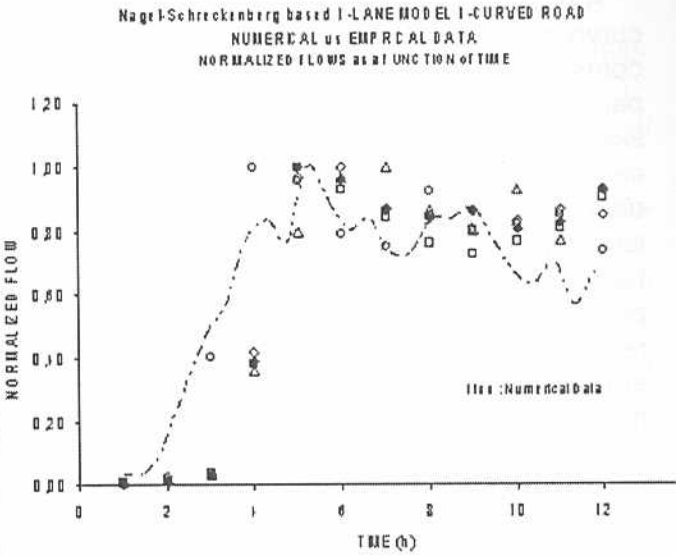


Fig. 8 Comparación resultados flujos normalizados simulados y empíricos, para sector curvo Carretera Vieja de Baruta: vía de ida (dirección este-oeste).

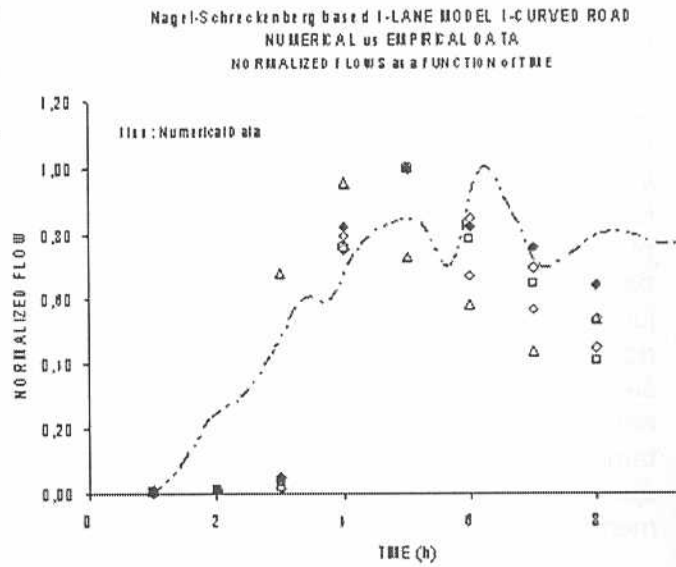


Fig. 9 Comparación resultados flujos normalizados simulados y empíricos, para sector curvo Carretera Vieja de Baruta: vía de vuelta (dirección oeste-este).

En el modelo propuesto en este trabajo, el diseño de la carretera se simplificó a dos sectores rectos idénticos de longitud l, unidos por un arco de circunferencia de radio $R = l f_{long}$ y longitud $S = R\Theta$. La longitud de los segmentos rectilíneos se calcula por la relación $l = n/(2 + \Theta f_{long})$, siendo n el número total de celdas en cada canal o vía.

A diferencia del puente elevado, para el sector curvo de carretera seleccionado (Fig. 4), existen conteos mecánicos tanto para la vía de ida como para la vía de vuelta. Con un procedimiento de ensayo y error semejante al utilizado para el puente elevado, se buscaron los valores de los parámetros de manera que la diferencia entre los flujos vehiculares medidos y simulados fuera la menor posible. Las figuras 8 y 9 muestran los resultados. Los puntos (cuadrados, triángulos, rombos y círculos) representan, igual que antes, los flujos vehiculares empíricos normalizados, obtenidos de los conteos mecánicos efectuados en cada vía, para cada uno de los cinco días laborales considerados. De nuevo, el modelo emergente propuesto reproduce satisfactoriamente las características generales de la dinámica vehicular en las vías de ida y vuelta del sector curvo seleccionado (ver Fig. 4) de la Carretera Vieja de Baruta.

Los ajustes presentados, en particular los mostrados en las figuras 8 y 9, pueden ser mejorados, como ya se hizo referencia, si se aplican técnicas de optimización en un algoritmo automático que incorpore además una función objetivo que incluya criterios de comparación que tomen en cuenta, además del flujo, mediciones de otros observables de interés, como por ejemplo, la velocidad promedio de los vehículos. Adicionalmente, el modelo emergente presentado puede ser mejorado al incorporar CBA, particularmente para el sector curvo de carretera, junto con vehículos de diferentes tipos, esto es, carros, camiones, autobuses, minibases, etcétera. Si se hace uso de las CBA, el número de vehículos que entran y el número de vehículos que salen podrían también ser incluidos dentro de los parámetros de ajuste. Actualmente se está trabajando en la implementación de éstas y otras mejoras al modelo.

5. Conclusiones y comentarios finales

Se implementó un MMCEBAC para simular el comportamiento y desempeño del tráfico automotor en dos locaciones de la ciudad de Caracas: un puente elevado con dos canales rectilíneos de igual longitud y sentido de circulación, y, un sector curvo de carretera con una vía de ida y otra de vuelta, encontrándose que el modelo emergente propuesto reproduce cualitativa y cuantitativamente las características más relevantes del tráfico vehicular reportadas para el elevado de Las Mercedes y un sector de la Carretera Vieja de Baruta.

Con el propósito de tomar en cuenta aspectos relacionados con el comportamiento de los conductores, el modelo emergente propuesto asigna las velocidades de los vehículos a través de una distribución gaussiana, de manera de tomar en cuenta que no todos los conductores acatan los límites de velocidad establecidos.

Para la validación del modelo se compararon *vis-à-vis* valores de flujos vehiculares simulados y medidos empíricamente (conteos mecánicos).

Específicamente para los casos presentados, el puente elevado y sector curvo de carretera, el modelo emergente propuesto reproduce *grosso modo* las tendencias de los flujos vehiculares empíricos reportados. Se lograría un mejor ajuste, incorporando mejoras al modelo emergente propuesto, así como también técnicas de optimización para la búsqueda del mínimo global de funciones de múltiples variables (variables continuas y discretas), siendo el modelo emergente propuesto aquí la función a optimizar.

Referencias

[1] D. J. Dailey y N. Taiyad. *A Cellular Automata Model for Use with Real Freeway Data. Washington State Transportation Center (TRAC).* Enero, 2002.

[2] Yang Q., Koutsopoulos H.y Ben-Akiva M. *A Simulation Laboratory for Evaluating Dynamic Traffic Management Systems. 79th Annual Meeting of Transportation Research Board.* Noviembre, 1999.

[3] del Río J. A.y Lárraga M. E. *Transient Situations in Traffic Flow: Modelling the Mexico City Cuernavaca Highway. Centro de Investigación en Energía Universidad Nacional Autónoma de México.* Enero, 2005.

[4] Hafstein S. F., Chrobok R., Pottmeier A., Wahle J. y Schreckenberg M. *Cellular Automaton Modelling of the Autobahn Traffic in North Rhine-Westphalia. Gerhard Mercator University Duisburg, Alemania.*

[5] Schreckenberg M., Chrobok R., Hafstein S. F. y Pottmeier A. *OLSIM-Traffic Forecast and Planning using Simulation. University of Duisburg-Essen Lotharstr, Duisburg Alemamia.*

[6] Pottmeier A., Chrobok R., Hafstein S. F., Mazur F. y Schreckenberg M. *"OLSIM: Up-to-Date Traffic information on the Web". Physics of Transport and Traffic. University of Duisburg- Essen, Duisburg Alemania.*

[7] Esser J. y Schreckenberg M. *Microscopic Simulation of Urban Traffic Based on Cellular Automata. Gerhard-Mercator-University-Duisburg, Alemania.* Junio 1997.

[8] Ben-Akiva M., Cortes M., Davol A., Koutsopoulos H. y Toledo T. *MITSIMLab: Enhancements and Applications for Urban Networks. Massachussets Institute of Technology. Civil and Enviromental Engineering. Cambridge USA.* Noviembre 1999.

[9] Chopard B., Dupuis A. y Luthi P. *A Cellular Automata Model for Urban Traffic and Its-Application to the City of Geneva. University of Geneva. Suiza.*

[10] Chopard B., Dupuis A. y Luthi P. *Parallel Simulation of Traffic in Geneva Using Cellular Automata. University of Geneva. Suiza.*

[11] Chowdury D., Santen L. y Schaschneider A. *Statistical Physics of Vehicular Traffic and Some Related Systems. Institut für Theoretische Phisik, Universität zu Köln, Alemania.*

[12] Hoogendoorn S., Bovy P. *State-of-the-Art of Vehicular Traffic Flow Modelling. Delft University Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Transportation and Trafiic Engineering Section. Holanda.*

[13] Burghout W. *Hybrid Microscopic-Mesoscopic Traffic Simulation. Doctoral Dissertation. Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia.* 2004.

[14] Taplin J. *Simulation Models of Traffic Flow. Department of Information Management and Marketing, University of Western Australia, Australia.*

[15] Nagel K. y Schreckenberg M. *A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic. J. Physique I 2, 2221-2229.* 1992.

[16] Zhang H. M. y Kim T. *Understanding and Modelling Driver Behavior in Dense Traffic Flow. University of California Trasportation Center, USA.* Octubre 2002.

[17] Nagel K., Wolf D., Wagner P. y Simon P. *Two-lane Traffic Rules for Cellular Automata: A Systematic Approach. Los Alamos National Laboratory, NM USA.* 1997.

[18] Nagel K., Wolf D., Wagner P. y Simon P. *Two-Lane Traffic Rules for Cellular Automata: A Systematic Approach. PHYSICAL REVIEW E, Vol. 58, NO. 2.* Agosto 1998.

[19] Schreckenberg M. y Nagel K. *Physical Modeling of Traffic with Stochastic Cellular Automata. Los Alamos National Laboratory, NM USA.*

[20] Daoudia A. y Moussa N. *Numerical Simulations of a Three-Lane Traffic Model Using Cellular Automata. CHINESE JOURNAL OF PHYSICS Vol. 41, NO. 6.* Diciembre 2003.

[21] Aponte A. *Modelaje de Tráfico Automotor Mediante Autómatas Celulares. Jornadas de Investigación de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).* Noviembre 2005.

[22] Aponte A. *Modelaje del Tráfico Automotor en una Carretera Mediante Autómatas Celulares. LV Convención Nacional de AsoVAC. Universidad Central de Venezuela (UCV)* Noviembre 2005.

[23] Urbanismo y Vialidad URVISA. *Estudio de Circulación y Diagnóstico, Alcaldía de Baruta.* Junio 2002.

[24] Miralles W. *Curso de Vías de Comunicación. Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).* Octubre 2004.

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE PROBLEMAS CUYA ABSTRACCIÓN SE FUNDAMENTA EN GRAFOS

■ Ing. Alasia Delgado Saab.
alasia.delgado@gmail.com

■ Ing. Orielisa J. Carapaica.
orielisa@gmail.com

■ Dra. Lourdes M. Ortiz Sosa.
lortiz@ucab.edu.ve

Resumen

Muchos problemas pueden resolverse de manera eficiente planteándose mediante la creación de grafos. Este trabajo plantea el desarrollo de una herramienta de software que permite representar la información y sus relaciones de manera gráfica, facilitando el análisis de ésta, apoyando de este modo la toma de decisiones durante la resolución de problemas. Este proyecto fue desarrollado con una metodología de cuatro fases: 1) investigación y análisis de información; 2) determinación del modelo conceptual del software por medio del enlace entre los fundamentos teóricos y las necesidades prácticas; 3) definición de los requerimientos de la herramienta software y 4) implantación de la herramienta. Como resultados fundamentales del desarrollo del proyecto se obtuvo: a) una clasificación de algoritmos utilizados en la aplicación de Teoría de Grafos que considera la perspectiva de diversos autores y expertos en la materia; b) una síntesis de los algoritmos más utilizados en seis áreas distintas; c) un modelo conceptual de una herramienta software escalable y d) una herramienta software que implementa el modelo conceptual considerando dos áreas específicas de aplicación. Entre las conclusiones más relevantes del proyecto se incluyen: a) algunos problemas fácilmente planteados como grafos, no tienen una posible resolución determinística, por lo que deben ser resueltos de manera heurística, lo que a su vez requiere de un alto tiempo de cómputo acorde con la complejidad del problema; b) la herramienta que se define y desarrolla debe

ser escalable para considerar la incorporación de funcionalidades y áreas de aplicación; c) la investigación es una actividad previa obligatoria para el desarrollo de cualquier herramienta innovadora; d) el desarrollo de software debe ser un proceso sistémico y determinado por la calidad; e) la herramienta desarrollada puede ser ampliada a corto plazo para un análisis cienciométrico extendido de gran valor en el desarrollo científico y la incorporación de reportes y algoritmos de análisis.

Palabras clave: grafos, modelaje de software.

Abstract

There are many problems that can be solved efficiently if they were approached through the use of graphs. This article deals with the development of a software application that allows to portray information and its' relationships graphically, thus simplifying data analysis and supporting the decision making process during problems resolution. This project has been developed under a four phase methodology: 1) Research and information analysis, 2) Determination of the conceptual model for the software, through the relationship between the established base theories and practical necessities, 3) Definition of the software requirements in place, and 4) Development of the application. Among the main results accomplished from the development of this project, there are: a) A classification of the algorithms used in Graph Theory considering the perspective of several authors and experts in the subject, b) An outline of some of the most used algorithms in six different areas of application, c) A conceptual model for a scalable software application and d) An application that implements that conceptual model considering two specific areas of application. Among the most relevant conclusions obtained from this project, there are: a) Some problems easily handled by graphs do not have a deterministic solution, because of this, they must be solved through the use of heuristics, which requires longer processing time according to the problem complexity, b) The application to be defined and developed should be scalable to allow for the incorporation of functionalities and different application areas, c) Previous research is a mandatory activity in the development of any innovative application, d) Software development should be an incremental process determined by quality, e) The application developed may be extended in the short term for a greater scientometric analysis adding much value to scientific research, as well as extended to incorporate new reports and analysis algorithms.

Keywords: *graphs, software modeling.*

Planteamiento del problema

Muchas situaciones complejas de la vida cotidiana pueden resolverse eficientemente a través de la implantación y análisis de Grafos que representan la información vinculada al problema estudiado y sus relaciones de interés, como suele hacerse, en organigramas, diagramas de bases de datos, redes cienciométricas y pert-cpm para la gestión de proyectos. Sin embargo, considerando la cantidad de información requerida, puede resultar un trabajo por demás tedioso la estructuración de la información de esta manera y más aún la aplicación de métodos para el análisis de ésta, especialmente si esta tarea debe hacerse de forma manual. Como una alternativa para la creación y análisis de estas representaciones gráficas, existe la teoría de grafos, cuyas aplicaciones pueden hallarse, entre otras cosas, en herramientas informáticas para la resolución de problemas o conformando aplicaciones para el planteamiento y resolución de problemas en entornos muy específicos.

Muchas de las aplicaciones disponibles para la representación gráfica de la información requerida por la teoría de grafos no facilitan la extracción de datos para su análisis. Las que sí lo hacen, se encuentran orientadas al análisis de problemas específicos, son limitadas en funcionalidad o, muchas veces, presentan una interfaz que requiere cierto dominio de estas teorías por parte del usuario, lo cual dificulta la manipulación de la información.

Considerando lo antes descrito, se planteó el desarrollo de una herramienta de software que provea al usuario la facilidad de representar información relacional de manera gráfica, facilitando su análisis, soportando así la toma de decisiones. Para ello, presenta una interfaz orientada al área de interés del usuario, evitándole así el posible costo que conlleva la instalación de varias aplicaciones necesarias para cubrir los diversos temas de interés y aislándolo de los procesos y estructuras de datos necesarias para el análisis de grafos.

1. Objetivos

Como objetivo general de este proyecto, se planteó desarrollar una herramienta software que permita la construcción y manipulación de grafos para el análisis de problemas diversos.

Para el logro del objetivo general planteado, se especificaron compromisos de menor alcance entre los que se incluyen:

- Investigar la teoría de grafos a fin de definir los métodos más apropiados para implementar una herramienta que permita modelar situaciones para su análisis basado en grafos.
- Implementar una herramienta gráfica que facilite el diseño y manipulación de grafos.
- Implantar métodos que permitan la asociación y extracción de información a partir de un modelo basado en grafos.
- Aplicar la herramienta para el análisis y resolución de casos de prueba.

Marco referencial

La base teórica del proyecto se encuentra dividida en dos temas principales:

- La teoría de grafos, en la que se explica un enfoque global de la misma, haciendo énfasis en la definición y caracterización de grafos y algoritmos frecuentemente utilizados así como áreas de aplicación.
- La ingeniería del software, donde se tratan temas que plantean la base tecnológica para la toma de decisiones requerida durante la implantación de la herramienta de software; haciendo énfasis en temas como estilos arquitectónicos disponibles y plataformas para la implementación de software.

2.1. Teoría de Grafos

Según la enciclopedia abierta Wikipedia (2005), se entiende como teoría de grafos la que se encarga de establecer los fundamentos y bases necesarias para resolver problemas de una determinada complejidad a través de estructuras matemáticas denominadas "Grafos". De acuerdo con esto, un *grafo G* puede ser definido como un par *(V, E)* donde *V* es un conjunto de puntos que conforman los vértices del grafo, y *E* el conjunto de relaciones binarias entre los elementos de *E*, lo que permite establecer una relación con notación matricial. Estos componentes pueden poseer atributos que proveen mayor información al grafo. Como atributos comúnes se pueden nombrar, la orientación o dirección de las aristas (definida entonces por un par ordenado) y la cantidad de aristas asociadas a un nodo. Existen otros atributos asociados a los nodos o aristas que denotan diversos tipos de relaciones y soportan además, en el caso de las aristas, lo que se entiende como el *peso de la arista* y determina un valor para la relación establecida. Dado que los grafos pueden poseer cualquier combinación de atributos en sus componentes, existen ciertas especificaciones de estas combinaciones que permiten denotar tipos de grafos y su clasificación.

Dado que el grafo no es más que una estructura de representación, el interés recae en las diversas formas de manipular esta representación. La información presentada en el grafo puede ser fácilmente analizada e interpretada gracias a los métodos y algoritmos existentes, que facilitan más que la extracción de la información, la automatización de este proceso.

A pesar de la versatilidad que poseen los grafos gracias a las variaciones en las características de sus componentes, la información que se extrae del grafo tiende a seguir ciertos lineamientos, delimitados en muchas ocasiones, de acuerdo al tipo de grafo que se presente.

Además de los algoritmos basados en la teoría de grafos, existen otros métodos utilizados para la resolución de planteamientos representados en grafos que han sido desarrollados y refinados para lidiar con temas y objetivos muy específicos. Estos algoritmos pueden ser obtenidos mediante el uso de heurísticas o algoritmos más específicos y son, por lo general, utilizados para los casos de optimización de resultados en donde los problemas suelen ser no determinísticos. Esta forma de resolución se puede encontrar en áreas como dinámica de sistemas, investigación operativa, cienciometría y ejemplos puntuales en otros campos como son redes de computación entre tantos.

Según Algarra & Argilaga (2003), el análisis de grafos ha experimentado un rápido desarrollo en los últimos años, y ha llegado a convertirse en un importante instrumento estadístico-matemático para ámbitos tan diversos como la Investigación Operativa, la Psicología, la Genética, la Lingüísti-

ca, la Sociología, las Redes, la Cibermetría, etc. En psicología existe ya una cierta tradición en la utilización de la teoría de grafos para el análisis de textos. Pero una de las disciplinas que en mayor medida ha contribuido al desarrollo de la teoría de grafos ha sido, sin duda, la sociología, en la que el modelaje matemático de redes sociales, en las últimas décadas, ha impulsado aún más el desarrollo básico y las posibilidades de aplicación de la teoría de grafos.

2.2. Planteamiento para las condiciones de la implantación del software

Para lograr mejores resultados en la implementación de software, es importante que desde tempranas etapas del desarrollo se evalúen las condiciones de arquitectura y plataforma tecnológica a la que se verá enfrentada la aplicación software. Es un error común, en los desarrollos de software, que una vez culminado el proyecto se tenga que incurrir en gastos de nuevas tecnologías, porque la herramienta implantada no opera de manera correcta, requiriendo su adaptación a nuevas condiciones tecnológicas.

2.2.1. Estilos arquitectónicos

Grimán (2005) señala que no es un secreto que en los grandes sistemas, el logro de algunas cualidades como el desempeño, la disponibilidad, la seguridad, la reusabilidad, la portabilidad e interoperabilidad y la modificabilidad no sólo son dependientes de las prácticas a nivel de código (selección del lenguaje, diseño detallado, algoritmos, estructuras de datos y pruebas), sino que también son dependientes, especialmente, de la arquitectura del software. La arquitectura de software es el correcto punto de partida para analizar la calidad del mismo. La definición de la arquitectura del software se obtiene en las etapas iniciales del ciclo de vida de un sistema, y es un elemento que puede ser utilizado para determinar cuán bien el sistema cumplirá con sus requerimientos, tanto implícitos como explícitos.

2.2.2. Definición de la plataforma tecnológica

Una vez definidas la arquitectura, metodología, herramientas y usuarios del software, se pueden determinar los equipos, redes, sistemas operativos y demás software a utilizar.

Según Miranda (2005), la plataforma es un vehículo para la tecnología y no debe ser tomada como dada ni definir la tecnología o herramientas a usar. Su definición debe depender de necesidades y herramientas así como de la noción, no de adquirir simples equipos para el funcionamiento de los sistemas, sino de implementar una "infoestructura" que brinde acceso a la tecnología y permita acceder, recopilar, divulgar y compartir información.

Marco metodológico

Se planteó una metodología que consta de 4 fases fundamentales, descritas a continuación:

3.1. Primera fase: investigación preliminar

Esta fase comprende principalmente una labor de investigación documental cuyo objetivo es determinar las bases para una definición conceptual de la herramienta a desarrollar, mediante el enunciado de conceptos, la descripción de alternativas y la definición de estructuras y funcionalidades básicas necesarias para el planteamiento y posible resolución de situaciones basadas en grafos.

Debido a que en esta primera fase se realizan planteamientos fundamentales para el desarrollo final del proyecto software, la metodología a seguir tiene una forma iterativa, dirigida a revisar las observaciones encontradas durante el proceso y ampliar correctamente en los temas necesarios.

El resultado de esta fase comprende, fundamentalmente, la definición de diversas áreas apoyadas en la teoría de grafos junto con aplicaciones reales, características y algoritmos habitualmente utilizados en ella.

3.2. Segunda fase: modelo conceptual

Esta es una fase de enlace entre los fundamentos teóricos planteados y los requerimientos funcionales técnicos propios del desarrollo de una aplicación. En ella se limitan las áreas o temas que serán integrados en la herramienta, así como la identificación de los algoritmos a utilizar y sus requerimientos, necesarios para la resolución de los planteamientos en cada área.

3.3. Tercera fase: definición de la herramienta

Esta fase representa el punto de congruencia de las metodologías habituales para el desarrollo de software donde se definen los requerimientos funcionales de la herramienta, así como características y formatos de la misma que servirán de

guía para el desarrollo de la aplicación, tomando en consideración los lineamientos establecidos en la etapa anterior.

3.4. Cuarta fase: desarrollo de la herramienta

Para la implantación de la herramienta, la metodología a seguir se apoya en un método RUP *(Racional Unified Process)* simplificado que permite su adaptación tanto desde el punto de vista de la arquitectura como del tiempo con el que se dispone para el desarrollo del proyecto.

Esta metodología consta de una espiral con tres fases fundamentales recurrentes a lo largo del desarrollo de la herramienta software; estas fases son:

- Fase de inicio: comprende una etapa de preparación y evaluación para el desarrollo a seguir. En ella se plantean los objetivos inmediatos y se analizan los posibles riesgos a encontrar para alcanzar esos objetivos.
- Fase de desarrollo: una vez planteados los objetivos y métodos a seguir durante la fase de inicio, se procederá con el desarrollo de los componentes de la herramienta.
- Fase de pruebas: consta de la evaluación de los componentes realizados para verificar su integridad, funcionalidad y robustez.

La culminación de esta etapa deja como resultados la herramienta funcional, así como la documentación asociada a ésta, tales como manual de usuario y manual técnico o de sistema.

Esta separación del proceso de desarrollo permite identificar con mayor facilidad los objetivos y condiciones de éxito de cada fase, aplicando además en cada etapa una metodología especialmente orientada a lograr la meta allí definida.

Desarrollo y resultados

Esta sección presenta las actividades realizadas, de acuerdo a las fases planteadas en la metodología referida en la sección anterior, para lograr la implantación de la herramienta software objetivo principal de este proyecto.

4.1. Primera fase: documentación preliminar

De manera de poder clasificar y organizar las ideas a tratar, la investigación documental fue dividida en dos temas fundamentales, (a) Teoría de grafos y (b) Fundamentos técnicos de implantación. Considerando además los objetivos del proyecto, estos temas fueron subdivididos en áreas de mayor relevancia y de influencia directa para la implantación de la herramienta. Esta subdivisión se encuentra representada en la tabla 1 (Temas Relevantes de Investigación).

Temas	Sub-Temas
Teoría de grafos	• Algoritmos basados en grafos. • Áreas relacionadas con la teoría de grafos. • Aplicaciones informáticas apoyadas en la teoría de grafos.
Fundamentos técnicos de implantación	• Estilos arquitectónicos. • Metodologías de implantación.

Tabla 1: Temas Relevantes de Investigación.
Fuente: Elaboración Propia.

Sobre la base de los temas seleccionados, se procedió a la compilación de la información a partir de diversas fuentes como artículos, libros de texto y documentos digitales. La información recopilada se complementa con la realización de entrevistas a personas expertas en los temas involucrados, cuyo aporte resultó muy satisfactorio.

Luego de sucesivas verificaciones de información, tanto con las personas involucradas, como con las diversas fuentes, la información fue relacionada y organizada para conformar el Marco Referencial del proyecto y se obtuvo como síntesis la clasificación de algoritmos aplicables para el análisis de grafos que se presenta en el Apéndice A, Algoritmos basados en la teoría de grafos.

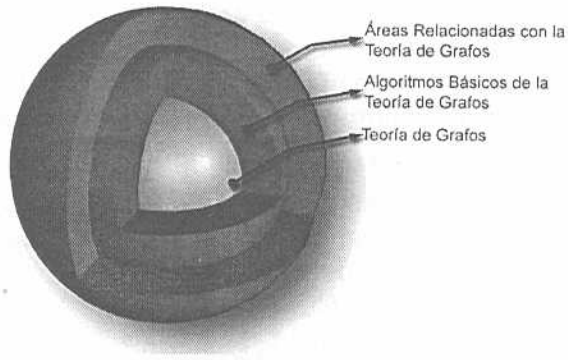


Figura 1: Modelo Conceptual de la herramienta.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Segunda fase: modelo conceptual

El modelo conceptual presentado en la figura 1 (Modelo Conceptual de la Herramienta), es una representación por capas donde el núcleo está conformado por los conceptos fundamentales de la teoría de grafos.

Apoyándose en los componentes básicos de grafos, se implementan diversos algoritmos que permiten la manipulación de los elementos de la primera capa y pasan a conformar el siguiente nivel de abstracción. Esta segunda capa sirve de interfaz entre los requerimientos del usuario y los grafos subyacentes; para el manejo de esos requerimientos se plantea una tercera capa (Áreas relacionadas con la teoría de grafos), que expone un análisis del área en particular para su interacción con el usuario.

4.2.1. *Áreas y funcionalidades para la aplicación de Teoría de Grafos*

Debido a la cantidad de temas involucrados con la teoría de grafos y a las diversas formas de abordarlos, se seleccionaron sólo algunos temas, evaluando diversos factores, como son, disponibilidad de información, grado de relación con algoritmos de la teoría de grafos y relevancia académica del tema. Estos temas fueron: Dinámica de Sistemas, Cienciometría, Genética, Manejo de Proyecto, Redes Computacionales y Redes Sociales

Una vez seleccionados los temas a considerar, se profundizó en la investigación sobre cada tema, siendo de particular interés los principales requerimientos y funcionalidades de éste, así como las posibles formas de resolverlos. Los resultados obtenidos se encuentran en el apéndice B (Áreas y funcionalidades para la aplicación de teoría de grafos).

La información obtenida fue analizada, en términos de utilidad y funcionalidad, resultando en información general de la funcionalidad de cada área, luego utilizada para identificar aquellos algoritmos que satisfagan los requerimientos planteados. Finalmente, la información fue filtrada para seleccionar los temas con la mayor funcionalidad considerando los algoritmos a utilizar. Este proceso puede apreciarse en la tabla 2 (Algoritmos de teoría de grafos utilizados en cada área), que presenta, del lado derecho, la cantidad de veces que el algoritmo es utilizado, y en la parte inferior la cantidad de algoritmos utilizados por área.

Como consecuencia al sistema de selección de algoritmos y áreas planteadas, se seleccionaron las áreas de *Redes Sociales* y *Cienciometría,* siendo la primera una de las áreas más representativas de la aplicación de la teoría de grafos y la segunda de especial relevancia académica para la implantación del proyecto. Para establecer la funcionalidad de éstas áreas, los algoritmos seleccionados para su implantación fueron los que resultan de más utilidad a una mayor cantidad de temas, los cuales se encuentran en la Tabla 2 con un "Total Uso" mayor que 1.

4.3. Tercera fase: definición de la herramienta

La definición de la herramienta consta fundamentalmente de la obtención y especificación de los requerimientos funcionales que deberá satisfacer; complementario a esto, es necesario identificar el entorno de implantación así como el lenguaje de desarrollo a utilizar, de manera que, en conjunto, satisfagan los requerimientos definidos.

Para la obtención de los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema se realizaron diversas entrevistas y se recurrió a diversas fuentes, tanto bibliográficas como al estudio de aplicaciones resaltantes en los temas considerados de teoría de grafos, donde se estudió la funcionalidad básica ofrecida, el manejo de resultados, y el estilo de la interfaz básica utilizada; información que sirvió de complemento a la definición de la herramienta a implantar. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos de esta investigación, estableciendo los requerimientos funcionales, no funcionales y de plataforma con los que debe contar la herramienta a desarrollar.

Una vez planteados los requerimientos funcionales de la herramienta, se procedió a desarrollarlos en funcionalidades específicas, obteniendo así los posibles casos de uso del sistema.

Para la definición del entorno de implantación se procedió a hacer un estudio de la plataforma de hardware y software disponible en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), de manera de analizar los requerimientos básicos establecidos por la plataforma tecnológica disponible. A partir de este estudio, se estableció que en la UCAB se utilizan principalmente tres plataformas de sistemas operativos; éstas son, en orden de cantidad de computadores en los que está instalado, Windows 2000, Linux (Red Hat) y Solaris.

Algoritmos	Áreas: Redes Sociales	Gráficas	Redes Computacionales	Dinámica de Sistemas	Manejo de Proyectos	Geometría	Total Uso
Recorrido de la matriz de adyacencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6
Recorrido de la matriz de distancias	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6
Caminos Hamiltonianos	✓	✓	✓			✓	4
Algoritmo de Roy-Warshall	✓		✓		✓	✓	4
DFS	✓		✓			✓	3
Grado de un vértice	✓		✓			✓	3
Algoritmo de Dijkstra	✓				✓	✓	3
Puntos de articulación	✓		✓			✓	3
BFS	✓					✓	2
Número Cromático	✓					✓	2
Algoritmo de Prim y Kruskal	✓		✓				2
Árbol cobertor	✓		✓			✓	3
Ecuaciones diferenciales				✓			1
Ordenamiento topológico					✓		1
Cálculo del árbol Steiner			✓				1
Algoritmo de Euler		✓					1
Algoritmos de flujo			✓				1
Algoritmo Pert – CPM					✓		1
Total Algoritmos:	12	3	9	2	4	11	

Tabla 2: Algoritmos de teoría de grafos utilizados en cada área. Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos Funcionales	Requerimientos No Funcionales	Requerimientos de Plataforma
• Debe permitir la selección del tema con el que trabajar. • Debe facilitar la creación de diagramas de gráficamente. • Debe facilitar la creación de nuevas estructuras, configurando sus atributos según convenga. • Permitirá la exportación de los grafos en formato imagen. • Debe permitir el almacenamiento y carga en de la información en archivos planos. • Debe generar reportes que permitan extraer información del grafo. • Los reportes a generar deberán ser configurables, • Los reportes deberán ajustarse de acuerdo al tema que el usuario este trabajando.	• Será desarrollado de forma tal que facilite su extensibilidad • El sistema a desarrollar es una aplicación autónoma, y debe ser compatible con la plataforma de software disponible en la Universidad. • La selección de herramientas y com-ponentes a utilizar como complemento a la herramienta principal de desarrollo deberán ser de licencia abierta.	Se recomienda poseer, como hardware mínimo en la computadora de instalación: • Memoria RAM de 128 MB. • Capacidad disponible de disco duro de 30 MB.

Tabla 3: Requerimientos funcionales, no funcionales y de plataforma del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se procedió a hacer un estudio de los principales lenguajes de programación orientados a objetos (Java y .Net) y las ventajas y desventajas que ofrecen en cuanto a las métricas de portabilidad, facilidad de uso y compatibilidad de lenguajes, haciendo notar que esta última está entre los requerimientos importantes del sistema de software.

Con base en el estudio de plataformas de desarrollo consideradas, se escogió la plataforma de Microsoft .Net Framework, ya que es compatible con gran variedad de lenguajes de programación y ofrece posibilidades de portabilidad a través del proyecto Mono, además de funcionar sobre el sistema operativo predominante en el entorno de implantación, ofreciendo una interfaz de usuario más amigable a los esperados usuarios del sistema.

4.4. Cuarta fase: desarrollo de la herramienta

Llegada a esta fase del desarrollo del proyecto, se tiene definida la estructura general de la herramienta, así como los requerimientos de ésta y las principales funcionalidades a implantar.

4.4.1. *Primer ciclo*

De acuerdo a la metodología establecida, el desarrollo de la aplicación fue realizado en diversos ciclos. El primer ciclo contempló la inicialización de la herramienta, que implica la carga de los elementos de interfaz del tema a manejar, así como la creación, lectura y escritura del grafo.

Se procedió a identificar los procesos de carga tanto de cada tema desarrollado (apoyando la extensibilidad), como la carga del grafo y sus componentes, lo que condujo a la definición de las estructuras de datos "Grafo", "Nodo" y "Arista" y, al uso del lenguaje XML como soporte a la herramienta.

Una vez definidas las estructuras fundamentales a utilizar, fue necesario establecer las relaciones entre ellas y sus principales interfaces de manipulación e integración con cada componente de la herramienta. Ya detalladas las relaciones e in-

terfaces, se procedió al desarrollo de este primer ciclo y a las posteriores verificaciones de robustez y funcionalidad de la aplicación.

Durante ese proceso de verificación se identificó un componente de código abierto (NetronGraphLib), disponible públicamente, que facilita el manejo de grafos y sus componentes. Contando con elementos más robustos, se pasó a definir la integración de los diversos módulos que conforman la herramienta.

La integración de esos elementos se encuentra representada en la figura 2 (Interacción de Componentes), que establece como base la librería NetronGraphLib, en la que se apoya una segunda capa para la creación y modificación de nodos y aristas, así como toda la funcionalidad básica requerida. La figura muestra además una capa final para la interacción de los componentes, que funciona además como interfaz para facilitar el entendimiento del usuario. Es de resaltar la modificación de la librería base, que fue necesaria para su adaptación a los requerimientos del sistema.

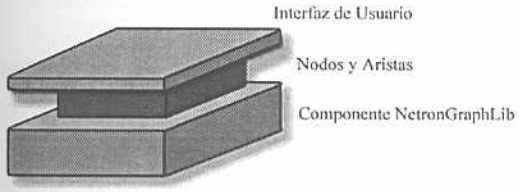


Figura 2: Interacción de Componentes.
Fuente: Elaboración propia

4.4.2. *Segundo ciclo*

Es en este ciclo donde se desarrollaron muchos de los requerimientos tanto funcionales como no funcionales de la herramienta y se definió además la estructura de navegación de la aplicación.

Uno de los procesos fundamentales llevados a cabo en esta etapa del desarrollo consistió en la adaptación de la herramienta al requerimiento de configuración de atributos de nodos y aristas, apoyándose en un proceso de creación y compilación dinámica de nodos y aristas. La figura 3 (Proceso de creación de estructuras) presenta una vista del proceso desarrollado para la adición de nuevas estructuras. Este proceso es además de gran importancia por ser utilizado para permitir la extensibilidad de la herramienta agregando funcionalidad extra, y conforma la base para el proceso de creación de reportes.

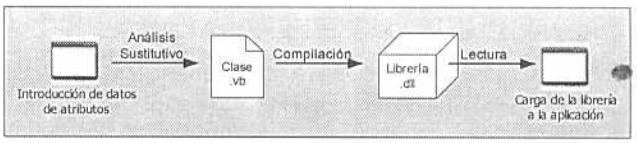


Figura 3: Proceso de creación de estructuras.
Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa además se implantaron los algoritmos de análisis de grafos seleccionados como producto de la investigación realizada.

Como resultado de este ciclo, se deja la aplicación en un estado casi terminado, estableciendo las bases para la creación de reportes sobre el grafo creado.

4.4.3. *Tercer ciclo*

Para el desarrollo de este ciclo se realizó un estudio acerca de los requerimientos, así como la funcionalidad y estructuras de datos utilizadas en el sistema. Este estudio incluyó pruebas sobre los algoritmos implantados y análisis de sus resultados, así como la consideración de diversos componentes que facilitan la generación de reportes.

El estudio de los componentes y herramientas de generación de reportes además requirió de un análisis de interfaz, funcionalidad y flexibilidad. Esto permitió la identificación del formato de los reportes de la herramienta, los métodos de generación de éstos así como las posibles entradas que requieran de forma de estandarizar el proceso de generación de reportes y permitir la fácil extensibilidad de la herramienta en esta área.

En vista de que entre los requerimientos de la aplicación se encuentra la parametrización o personalización de los reportes generados y que la información no proviene de un manejador de base de datos, se decidió desarrollar un módulo de creación de reportes, con funcionalidad parecida a la de las herramientas estudiadas y cuyo resultado sea un reporte en formato web (html), de manera de aprovechar las prestaciones a nivel de interfaz y la portabilidad brindadas por el lenguaje HTML.

Para complementar el módulo desarrollado para la generación de reportes, se procedió a la búsqueda de componentes que faciliten la creación de gráficas, y que además, sean de código abierto y compatibles con el ambiente de desarrollo. El componente seleccionado que satisface estas características y además es configurable y de fácil uso es ZedGraph.

4.4.4. *Cuarto ciclo*

Este cuarto ciclo está comprendido principalmente por la realización de documentación de apoyo al usuario y de soporte técnico para futuras versiones de la herramienta, así como de un período de pruebas a la aplicación, donde se intenta comprobar la integración de cada uno de los componentes desarrollados que la conforman.

Las pruebas realizadas constaron de la evaluación y, en algunos casos, la posterior modificación de los módulos utilizados en la herramienta. Para ello, además de las pruebas resultantes del constante uso de la aplicación, se realizaron estudios para medir el tiempo de carga de distintos grafos, con la intención de determinar la eficiencia relativa de la aplicación y se procedió a crear dos casos de uso, cada uno con la intención de simular la ejecución de la aplicación bajo las áreas de Cienciometría y Redes Sociales.

Como resultado de la medición de tiempos de carga en los distintos archivos probados, se obtuvieron los tiempos promedio de carga por nodo de 0,15 seg. y arista de 0,12 seg.

Estos resultados permiten estimar el tiempo de carga para grafos con gran cantidad de nodos, considerando que el tiempo de lectura para cada uno puede variar de acuerdo a la cantidad de atributos con información almacenada que posea, sin embargo, en líneas generales, esa variación es desestimable.

El apéndice C presenta un esquema de la navegación por la herramienta, mostrando las principales pantallas de interacción con el cliente y siguiendo las pautas establecidas en los distintos requerimientos funcionales planteados. En las distintas pantallas allí presentadas, se incluye, primeramente, la pantalla de inicio de la aplicación, que permite al usuario seleccionar el área de interés con la que desee trabajar; de allí, se muestra la pantalla principal de la herramienta, con el área de creación de grafos, el visor de nodos y la sección de propiedades de objetos entre otras cosas; finalmente se muestra la pantalla de creación de reportes, que presenta una interfaz que facilita el despliegue de la información deseada en el formato web; de manera adicional se muestran algunas pantallas intermedias, para la creación de estructuras de nodos y aristas, creación tabular de grafos y selección del tipo de componentes a utilizar, todas ellas accesibles en cualquier momento desde la pantalla principal.

El apéndice D presenta diversas imágenes de los reportes generados por la aplicación, basados en el estudio cienciométrico de los autores publicados en la revista Tekhne entre los años 1997 y 1999, así como un ejemplo del grafo allí trabajado.

Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones vinculadas a los resultados y desarrollo del proyecto:

5.1. Conclusiones

5.1.1. *En cuanto a la investigación*

- Algunos problemas planteados fácilmente como grafos no tienen una posible resolución determinística, por lo que deben ser resueltos de manera heurística, lo que a su vez requiere de un alto tiempo de cómputo acorde con la complejidad del problema.
- La investigación es una actividad previa obligatoria para el desarrollo de cualquier herramienta innovadora.

5.2. En cuanto al desarrollo de la aplicación

- El desarrollo de software debe ser un proceso sistémico y determinado por la calidad.
- La herramienta desarrollada puede ser extendida a corto plazo para un análsisis cienciométrico extendido de gran valor en el desarrollo científico y la incorporación de reportes y algortimos de análisis.
- La herramienta que se define y desarrolla debe ser escalable para considerar la incorporación de funcionalidades y áreas de aplicación.

5.3. Recomendaciones para trabajos futuros

Muchos temas científicos recurren a los planteamientos de la teoría de grafos como base para la resolución de situaciones que allí se puedan presentar, por ello, la realización de una investigación completa del tema de teoría de grafos y sus aplicaciones implica un arduo trabajo que requiere de la inclusión de muchas otras áreas del saber científico, por lo que es recomendable delimitar la investigación a áreas específicas de interés, con fines y procesos bien identificados, evitando así extenderse en otros temas relacionados pero sin relevancia para la investigación.

- Para futuras extensiones de la herramienta, es recomendable que la funcionalidad a agregar para cada nuevo tema sea analizada por expertos en el área, garantizando que el análisis del grafo brindado por la herramienta satisfaga las necesidades de los posibles usuarios en esa área de interés.
- Se recomienda la ampliación de la herramienta software agregando nuevos formatos de reporte, así como la creación de más estructuras de nodos, variando tanto su forma como su funcionalidad, de manera de hacer la aplicación más completa para el usuario.
- Se recomienda, además, la implantación de nuevos algoritmos que permitan el análisis de los grafos creados.

BIBLIOGRAFÍA

Algarra, P y Argilaga, M. (2003). *Aproximación al PERT en evaluación de programas desde las técnicas matemáticas de análisis de grafos.* Universidad de Barcelona. Consultado el 20 de octubre. Disponible en línea: http://www.um.es/analesps/v09/v09_2/08-09_2.pdf

Anglés, R, y Matos, G. (2004). *Modelo de apoyo en la selección de la metodología para un desarrollo de software, basado en la gerencia del conocimiento y soportado en tecnología de información*.Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.

Barrios, N., Alvarez, M., Marín, J., Valero, G., Baiz, R., González, R., Caldera, G. (2002). *Evaluación de Proyectos Informáticos.* Evaluación de Portales para la Empresa PETROVE, C.A. Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello, Dirección de Formación Continua.

Bertoa, M., Troya, J. y Vallecillo, A (2003). *Aspectos de calidad en el desarrollo de software basado en componentes.* Depto. Lenguajes y Ciencias de la Computación. Universidad de Málaga.

Buschmann, Frank. Meunier, Regine. Rohnert, Hans. Sommerlad, Peter. Stal, Michael. (2000). *Pattern-Oriented Software Architecture: A System Of Patterns.* West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd. Consultado el 28 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://www.vico.org/pages/PatronsDisseny/Pattern%20Layers/

Diestel, Reinhard. *Graph Theory*. Edición electrónica, 2005. Consultado el 22 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://www.math.uni-hamburg.de/home/diestel/books/graph.theory/GraphTheoryIII.pdf

Enciclopedia, *Dictionary.LaborLawTalk.com.* Consultada el día 24 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://encyclopedia.laborlawtalk.com

Enciclopedia, *Wikipedia, The Free Encyclopedia.* Consultada el día 24 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_(graph_theory)#Important_graphs

Fussell, Mark L. (1996). *A good Architecture for Object-Oriented Information Systems. Structures, Designs and Patterns*. Publicaciones Chimu. Consultado el 28 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://www.chimu.com/publications/oopsla96tutorial23/oopsla96tutorial23.pdf

García Mireles, G. y Rodríguez Jacobo, J. (2001). *Aplicación del modelado de procesos en un curso de ingeniería de software.* Revista Electrónica de Investigación Educativa. Consultado el 20 de octubre de 2005. Disponible en Línea: http://redie.ens.uabc.mx/vol3no2/contenido-mireles.html

Garlan, David. Shaw, Mary. (1994). *An Introduction to Software Architecture.* Escuela de Ciencias de la Computación, Universidad de Carnegie Mellon, Pittsburgh, Estados Unidos. Consultado el 28 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://rep1.iei.pi.cnr.it/~gnesi/matdid/intro_softarch.pdf

Grimán, A. (2005). *Evaluación Arquitectónica de la Calidad de Software*. Venezuela: Universidad Simón Bolívar, División de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Jiménez, Luz E. (2003). *Comparación entre Java y .Net*. Universidad ICESI. Consultado el 15 de diciembre de 2005.

Meza, Oscar & Ortega, Maruja(2004). *Grafos y Algoritmos*. Primera edición. Editorial Equinoccio. Universidad Simón Bolívar.

Miranda, C. (2005). *Formulación de Estrategias de Tecnología de la Información en la Educación para el Desarrollo.* Consultado el 9 de noviembre de 2005. Disponible en línea: http://www.civila.com/comun/presentaciones/261

Monzón, J. (2005). *Proyecto del Algoritmo de Fleury*. Universidad Politecnica de Madrid.

Consultado el 14 de octubre de 2005 en línea: http://www.dma.fi.upm.es/fleury/definicionesGrafos.htm

Ortiz, Lourdes y Sanchis, Francisco. (2004). La cienciometría como herramienta para la gestión del conocimiento. Su aplicación al caso de la investigación en Ingeniería del software. (MIFISIS'2004). Valladolid. España.

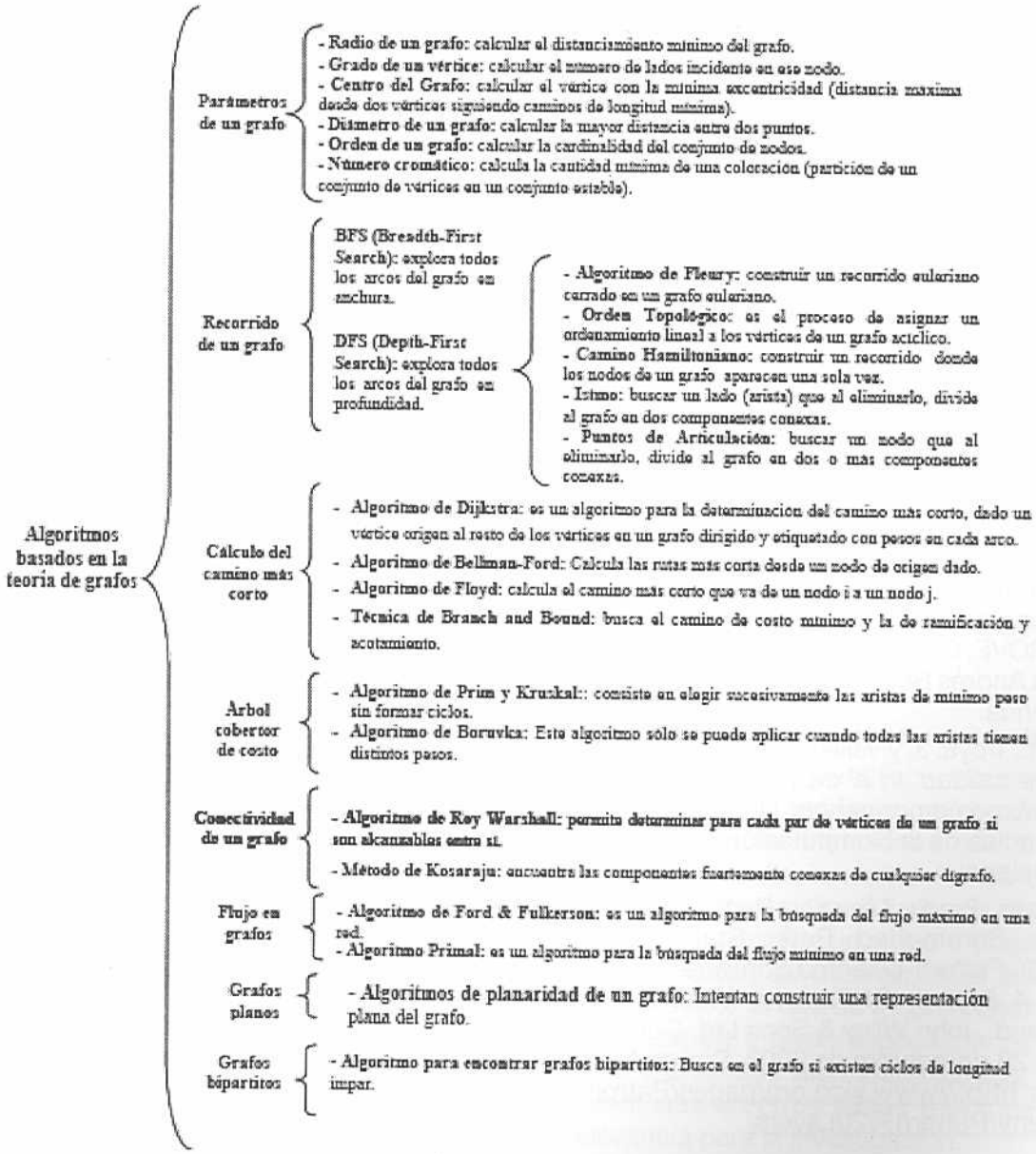
Publicaciones Honeywell. *Object-Oriented Software Architecture Styles.* Disponible en línea: http://www.htc.honeywell.com/projects/dssa/dssa_whatis/dssa_oo_style.html

Villaroel, R (2005). *Diseños de Sistemas.* Consultado el 28 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://www.eici.ucm.cl/Academicos/R_Villarroel/descargas/ing_sw_1/Arquitectura_Software.pdf

Weisstein, Eric. *Moore Graph.* MathWorld--A Wolfram. Consultado el 19 de octubre de 2005. Disponible en línea: http://mathworld.wolfram.com/MooreGraph.html

Apéndices

APÉNDICE A: Algoritmos basados en la teoría de Grafos. Fuente: Elaboración propia a partir de Meza & Ortega, (2004) y de Monzón J. (2005)

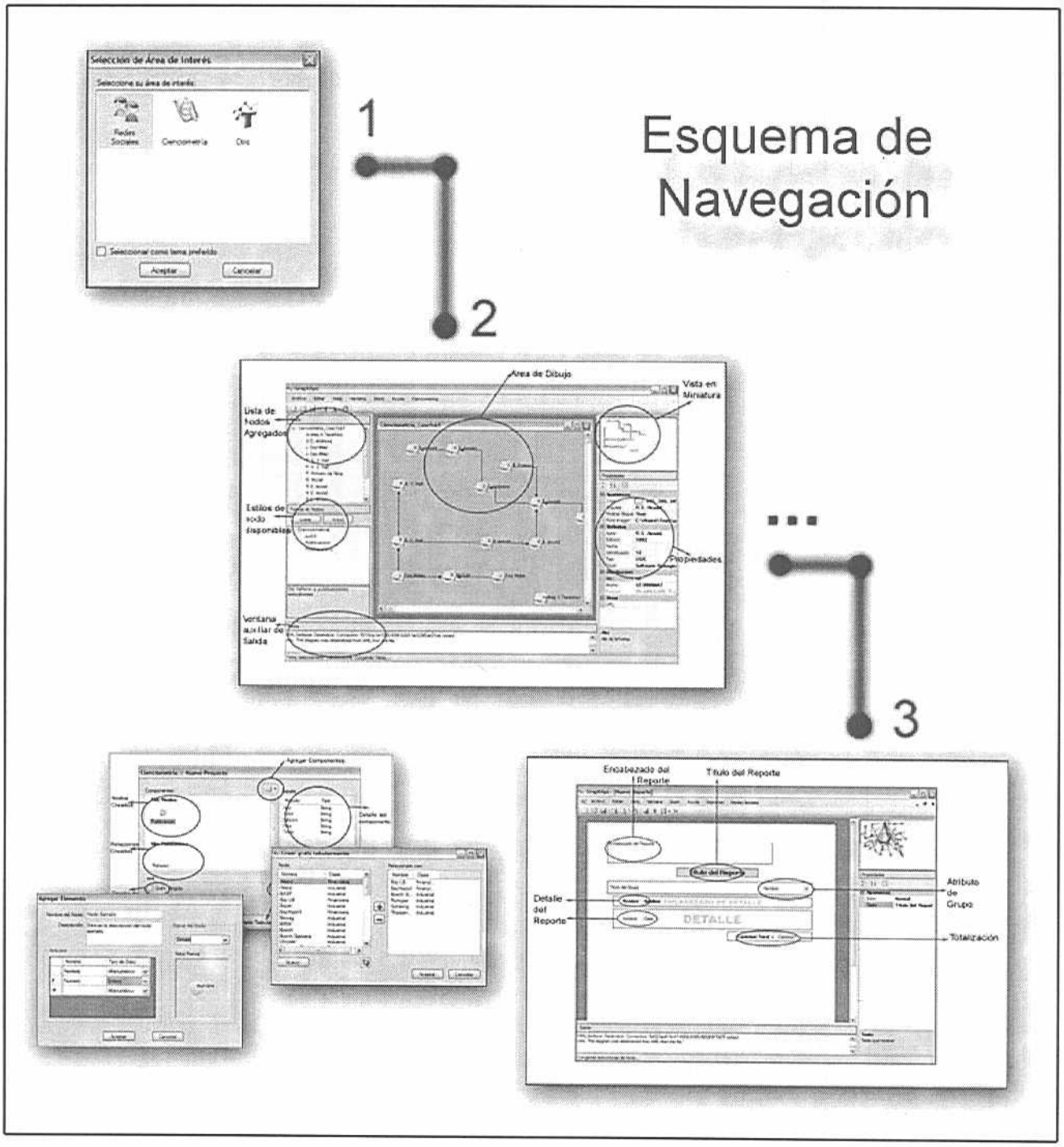


APÉNDICE B: Áreas y funcionalidades para la aplicación de teoría de grafos.

	Factores de Análisis	Información básica del grafo	Tipos de Algoritmos (Funcionalidad)
Redes Sociales	*1) Grado Nodal:* puede ser interpretado por la oportunidad de influir o ser influido directamente. Predice liderazgo, conocimiento, poder. *2) Intermediación:* Frecuencia en que un nodo aparece en el camino más corto que conecta a otros dos nodos. *3) Indicador de Popularidad (Eigenvector):* el nodo que tiene la puntuación más alta es el que está conectado a muchos nodos bien conectados (grado del nodo). *4) Agujeros estructurales:* Nodos con lados de articulación, mientras más lados tenga más útil el nodo. *5) Solapamiento: agrupación de nodos, tomando aquellos nodos que (a) no pertenezcan a un grupo o (b) pertenezcan a ambos, como nodos de solapamiento.* *6) Red Egocéntrica: una red "ego" es el sub grafo asociado a determinado nodo (el ego), con distancia 1.*	- *Nodos:* Representan una persona (actor) o una organización. - *Aristas:* Representan una instancia de una relación social, puede ser de tipo: Parentesco, Basada en Roles, Cognitiva / Perceptual, Afectiva, De interacción, De afiliación	- Recorrer Matriz de adyacencia. - Recorrer Matriz de distancia. - Calculo del grado de un nodo. - Calculo de la densidad de un nodo. - Hallar los puntos de articulación. - Recorrer el grafo (DFS).
Genética	*1) Ensamblaje de secuencia:* El proceso de secuenciación del código genético de un organismo comienza "rompiendo" físicamente el ADN en millones de fragmentos aleatorios. La información contenida en cada uno de estos fragmentos se analiza experimentalmente. El problema surge a la hora de ensamblar de nuevo los fragmentos para formar una única secuencia completa. *2) Comparación de secuencias.* Cuando se descubre una secuencia nueva de ADN y se dispone de una base de datos de secuencias ya estudiadas, se plantea el problema de hallar la secuencia almacenada en la base de datos que más se parezca a la nueva secuencia.	- *Nodos:* Cada nodo representa una secuencia experimentalmen-te obtenida de un fragmento. - *Aristas:* Enlazan nodos si las secuencias correspondientes pueden ser agrupadas con otras.	- Algoritmos de "superposición-trazado-consenso" - Algoritmo EULER. - Hallar caminos hamiltonianos.
Redes Computacionales	*1) Aumentación de Grafos:* hallar la forma óptima de extender la red aumentando así su redundancia. *2) Congestión de la red:* puede darse en dos instancias, congestión de nodos o congestión de aristas, y en general, se refiere a la cantidad de caminos que circulan por un segmento de red, sea una arista o un nodo específico. La definición del camino viene establecida de acuerdo al protocolo utilizado. *3) Árbol Steiner:* se refiere al árbol de costo óptimo de la red. *4) Flujo de Red:* Viene definido por los tipos de conexiones utilizadas y los concentradores que unen las redes. *5) Ruta Mínima:* Se refiere a la ruta mínima entre dos puntos definidos. *6) Tiempo mínimo de BroadCast:* Se busca definir el tiempo mínimo que tarda un mensaje en llegar a todos.	- *Nodos:* Pueden ser, Terminales (Computadores) o Concentradores. - *Aristas:* representan las conexiones físicas de la red, varios tipos de cables o conexiones en caso de ser tecnología inalambrica, con sus características de longitud y capacidad, entre otras.	- Recorrer el grafo (DFS). - Puntos de articulación. - Definir el flujo máximo de una red. - Hallar el árbol Steiner. - Hallar la ruta mínima (Dijkstra). - Determinar el grado de un nodo. - Determinar el árbol cobertor mínimo.
Dinámica de Sistemas	1) Construcción de modelos dinámicos que sirvan para el análisis de los impactos ambientales como en la gestión de los recursos naturales. 2) Construcción de modelos dinámicos que sirvan de apoyo sobre las patologías del comportamiento humano tanto de forma individual como colectiva. 3) Construcción de modelos dinámicos para mejorar la gestión de inventarios y cadenas de abastecimiento en general, no solo en procesos de fabricación. 4) Construcción de modelos dinámicos que ayuden a comprender y diseñar políticas para manejar las complejas relaciones entre las diferentes funciones empresariales, y los resultados del negocio.	- *Nodos:* Representa una acumulación de flujos. Se pueden expresar en unidades. - *Aristas:* Representa un cambio de estado del sistema. Ejemplos de este tipo de variables son, producción y despachos, nacimientos y muertes, nuevos clientes y clientes que se pierden.	- Ecuaciones diferenciales.
Manejo Proyectos	1) PERT (Project Evaluation and Review Technique): es una técnica basada en redes que contemplan las relaciones de precedencia e interdependencia de actividades.	-*Nodos:* Representan los sucesos. -*Aristas:* Representan las actividades. Las flechas irán de izquierda a derecha indicando que se avanza en el tiempo.	- Algoritmo de Roy Warshal - Orden Topológico. - Calcular rutas críticas.
Cienciometría	1) Autores por Área: es ubicar a los autores según la especialidad de sus publicaciones. 2) País de publicación: viene dado por el país en donde se registra la publicación, siendo indiferente a la nacionalidad del autor. 3) Frecuencia de citaciones por autor: son las referencias que se hacen sobre un autor.	-*Nodos:* Representan publicaciones. -*Aristas:* Pueden existir 3 tipos de aristas dirigidas: una representa la referencia entre los artículos, otra la autocitación y la tercera a los artículos referidos en más de un artículo analizado.	- Matriz de adyacencia. - Recorrer Matriz de distancia. - Calcular el grado de un nodo. - Densidad de un nodo. - Puntos de articulación. - Recorrer el grafo (DFS).

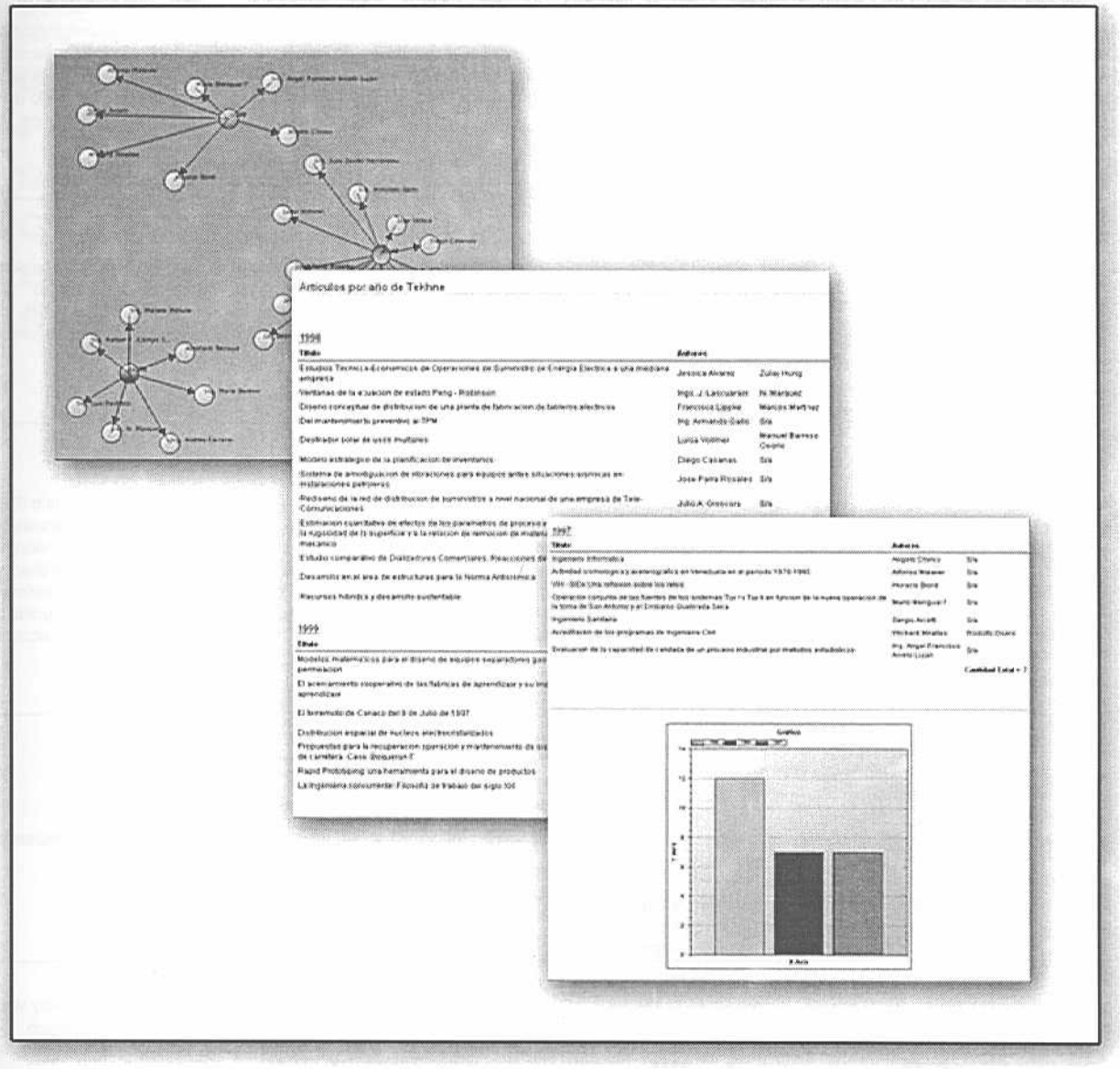
Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE C: Esquema de Navegación de la Herramienta.



Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE D: Grafos y reportes generados por la aplicación.



Fuente: Elaboración propia.

	Factores de Análisis	Información básica del grafo	Tipos de Algoritmos (Funcionalidad)
Redes Sociales	*1) Grado Nodal:* puede ser interpretado por la oportunidad de influir o ser influido directamente. Predice liderazgo, conocimiento, poder. *2) Intermediación:* Frecuencia en que un nodo aparece en el camino más corto que conecta a otros dos nodos. *3) Indicador de Popularidad (Eigenvector):* el nodo que tiene la puntuación más alta es el que está conectado a muchos nodos bien conectados (grado del nodo). *4) Agujeros estructurales:* Nodos con lados de articulación, mientras más lados tenga más útil el nodo. *5) Solapamiento: agrupación de nodos, tomando aquellos nodos que (a) no pertenezcan a un grupo o (b) pertenezcan a ambos, como nodos de solapamiento.* *6) Red Egocéntrica: una red "ego" es el sub grafo asociado a determinado nodo (el ego), con distancia 1.*	- *Nodos:* Representan una persona (actor) o una organización. - *Aristas:* Representan una instancia de una relación social, puede ser de tipo: Parentesco, Basada en Roles, Cognitiva / Perceptual, Afectiva, De interacción, De afiliación	- Recorrer Matriz de adyacencia. - Recorrer Matriz de distancia. - Calculo del grado de un nodo. - Calculo de la densidad de un nodo. - Hallar los puntos de articulación. - Recorrer el grafo (DFS).
Genética	*1) Ensamblaje de secuencia:* El proceso de secuenciación del código genético de un organismo comienza "rompiendo" físicamente el ADN en millones de fragmentos aleatorios. La información contenida en cada uno de estos fragmentos se analiza experimentalmente. El problema surge a la hora de ensamblar de nuevo los fragmentos para formar una única secuencia completa. *2) Comparación de secuencias.* Cuando se descubre una secuencia nueva de ADN y se dispone de una base de datos de secuencias ya estudiadas, se plantea el problema de hallar la secuencia almacenada en la base de datos que más se parezca a la nueva secuencia.	- *Nodos:* Cada nodo representa una secuencia experimentalmen-te obtenida de un fragmento. - *Aristas:* Enlazan nodos si las secuencias correspondientes pueden ser agrupadas con otras.	- Algoritmos de "superposición-trazado-consenso" - Algoritmo EULER. - Hallar caminos hamiltonianos.
Redes Computacionales	*1) Aumentación de Grafos:* hallar la forma óptima de extender la red aumentando así su redundancia. *2) Congestión de la red:* puede darse en dos instancias, congestión de nodos o congestión de aristas, y en general, se refiere a la cantidad de caminos que circulan por un segmento de red, sea una arista o un nodo específico. La definición del camino viene establecida de acuerdo al protocolo utilizado. *3) Árbol Steiner:* se refiere al árbol de costo óptimo de la red. *4) Flujo de Red:* Viene definido por los tipos de conexiones utilizadas y los concentradores que unen las redes. *5) Ruta Mínima:* Se refiere a la ruta mínima entre dos puntos definidos. *6) Tiempo mínimo de BroadCast:* Se busca definir el tiempo mínimo que tarda un mensaje en llegar a todos.	- *Nodos:* Pueden ser, Terminales (Computadores) o Concentradores. - *Aristas:* representan las conexiones físicas de la red, varios tipos de cables o conexiones en caso de ser tecnología inalambrica, con sus características de longitud y capacidad, entre otras.	- Recorrer el grafo (DFS). - Puntos de articulación. - Definir el flujo máximo de una red. - Hallar el árbol Steiner. - Hallar la ruta mínima (Dijkstra). - Determinar el grado de un nodo. - Determinar el árbol cobertor mínimo.
Dinámica de Sistemas	1) Construcción de modelos dinámicos que sirvan para el análisis de los impactos ambientales como en la gestión de los recursos naturales. 2) Construcción de modelos dinámicos que sirvan de apoyo sobre las patologías del comportamiento humano tanto de forma individual como colectiva. 3) Construcción de modelos dinámicos para mejorar la gestión de inventarios y cadenas de abastecimiento en general, no solo en procesos de fabricación. 4) Construcción de modelos dinámicos que ayuden a comprender y diseñar políticas para manejar las complejas relaciones entre las diferentes funciones empresariales, y los resultados del negocio.	- *Nodos:* Representa una acumulación de flujos. Se pueden expresar en unidades. - *Aristas:* Representa un cambio de estado del sistema. Ejemplos de este tipo de variables son, producción y despachos, nacimientos y muertes, nuevos clientes y clientes que se pierden.	- Ecuaciones diferenciales.
Manejo Proyectos	1) PERT (Project Evaluation and Review Technique): es una técnica basada en redes que contemplan las relaciones de precedencia e interdependencia de actividades.	-*Nodos:* Representan los sucesos. -*Aristas:* Representan las actividades. Las flechas irán de izquierda a derecha indicando que se avanza en el tiempo.	- Algoritmo de Roy Warshal - Orden Topológico. - Calcular rutas críticas.
Cienciometría	1) Autores por Área: es ubicar a los autores según la especialidad de sus publicaciones. 2) País de publicación: viene dado por el país en donde se registra la publicación, siendo indiferente a la nacionalidad del autor. 3) Frecuencia de citaciones por autor: son las referencias que se hacen sobre un autor.	-*Nodos:* Representan publicaciones. -*Aristas:* Pueden existir 3 tipos de aristas dirigidas: una representa la referencia entre los artículos, otra la autocitación y la tercera a los artículos referidos en más de un articulo analizado.	- Matriz de adyacencia. - Recorrer Matriz de distancia. - Calcular el grado de un nodo. - Densidad de un nodo. - Puntos de articulación. - Recorrer el grafo (DFS).

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL, SUPERVISIÓN Y GESTIÓN DE REDES BASADAS EN EL PROTOCOLO IPv4.

■ Ing. M, Sabal.
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones
miguel_sabal@ucab.edu.ve

Tutor: Ing. José Gregorio Cotua.
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones
jgcotua@yahoo.com

Resumen

Considerando la importancia que reviste la supervisión y gestión oportuna de las redes de telecomunicaciones en el mundo actual, se planteó el "Diseño e implementación de un sistema para el control, supervisión y gestión de redes basadas en el protocolo IPv4". Basado en un estudio tanto teórico como empírico, se realizó la investigación del *Protocolo Simple de Gestión de Redes* (SNMP), sobre el cual se soporta el desarrollo del sistema de gestión. Para la determinación de las características innovadoras de la aplicación, se realizó un estudio de mercado donde se evaluaron las diferentes herramientas que ofrecen servicios de gestión y supervisión. Adicionalmente, se realizó un análisis técnico que permitió decidir sobre qué plataforma realizar el desarrollo: Sistema Operativo Windows, lenguaje de programación orientado a eventos, ambiente de desarrollo Visual Basic 6.0. La programación del prototipo se caracterizó en dos macro etapas: a) el desarrollo de las funcionalidades de supervisión a través de la implementación del protocolo SNMP y b) el desarrollo y evaluación del sistema de control para la programación de las tablas de ruta de forma remota. Finalmente, se incluyó la funcionalidad de reportes de falla en tiempo real, a través de correo electrónico, después de realizado el estudio de alternativas existentes. El Trabajo Especial de Grado contiene las pruebas del prototipo desarrollado en una red TCP/IP de 10 estaciones lo cual se presenta a través de las pantallas de resultados y los diferentes casos de uso.

Palabras clave: Sistema de Gestión, SNMP, Sistema de Supervisión, TCP/IP.

Abstract

Considering the tremendous importance that opportune monitoring and management of telecommunication networks currently have, the "Design and implementation of a control, monitoring and management system for IPv4 based networks" has been raised. based on a theoretical and empirical study, a research was carried out upon Simple Network Management Protocol (SNMP) which supports the management system development. Thus, in order to determine the innovating features of the application, a market study was done to evaluate which are the tools available in management and monitoring services. Furthermore, a technical analysis was performed to determine the platform to be used: Windows Operating System, event-oriented programming language, and Visual Basic 6.0 developing environment. The application programming was divided into two phases: a) Developing the monitoring tools trough the implementation of the SNMP protocol and b) Developing and evaluating the control system, to carry out the routing tables remote programming. Finally, a real-time fault reporting functionality was included to send reports trough email (chosen after studying the existing alternatives such as short messaging, t-motion and email). The Dissertation Project contains the validation of the Prototype developed in a network of 10 workstations based on TCP/IP. Results are presented trough screenshots and the use cases.

Keywords: *Management System, SNMP, Monitoring System, TCP/IP.*

I. Introducción

Con el crecimiento del sector de las telecomunicaciones, las redes se han convertido en una herramienta esencial para la optimización de procesos y capital humano en cualquier organización. Los sistemas de control y supervisión de redes resultan indispensables para todas las empresas e instituciones que tienen como objetivo explotar los canales de telecomunicaciones, pues se hace cada vez más importante conocer de forma oportuna, rápida y eficiente, la condición de los nodos que forman parte de la topología de una red, como enrutadores, conmutadores, enlaces microondas, ordenadores personales, entre otros.

Hoy en día, los sistemas de supervisión y control de redes que ofrece el mercado, son sumamente costosos y su valor se incrementa a medida que aumenta el número de estaciones. Aplicaciones reconocidas a escala global como ORION, desarrollada por el equipo de administración de redes de Solarwinds, tiene un costo que oscila entre $ 1.945, para topologías de hasta 16 estaciones y $ 20.000, para redes que llegan a más de 1000 estaciones. Por esta razón, el uso de dichos sistemas se ha limitado a los Proveedores de Servicios de Internet (ISP) o a las instituciones con gran capacidad económica.

Además de la poca accesibilidad que tienen estas herramientas por la inversión económica que implican, la mayoría de los sistemas de supervisión son estáticos, es decir, no son capaces de tomar decisiones en cuanto al enrutamiento del tráfico en caso de existir congestión o pérdida del servicio en alguna estación de la red, siendo esto de vital importancia para organizaciones en las que se realizan numerosas operaciones a través de sus redes.

Por las razones expuestas anteriormente, se decidió desarrollar un sistema de control y gestión que permita la supervisión de todos los nodos que integran una red de cualquier topología basada en el protocolo de red IPv4, a través de la implementación del protocolo SNMP, que de forma dinámica tenga la capacidad de tomar decisiones con respecto al enrutamiento del tráfico dentro de la red.

El presente artículo se estructura por secciones, que permiten su fácil lectura y entendimiento. La primera es la introducción que involucra al lector en el contexto del tema, luego se encuentran los objetivos y la justificación del estudio para dar lugar a la descripción metodológica utilizada en la investigación e implementación del sistema. Finalmente se describe con detalle el desarrollo y los resultados obtenidos, para terminar con las conclusiones y recomendaciones.

II. Objetivos

- Realizar un estudio detallado de las herramientas existentes en el mercado que permitan el control y supervisión de redes, con el objeto de precisar sus funcionalidades, ventajas y desventajas para verificar la factibilidad de desarrollar una aplicación

competitiva y que cumpla con los requerimientos establecidos.

- Determinar en qué plataforma tecnológica realizar el diseño, Microsoft o Linux, tomando en cuenta para ello factores como los requerimientos planteados, complejidad del diseño y posibilidad de desarrollo en cada plataforma.
- Investigar de forma detallada el protocolo de control de redes SNMP (Simple Network Management Protocol), para su implementación en el sistema de gestión.
- Implementar la aplicación para generar reportes vía correo electrónico de los eventos que ocurran en cualquier estación de la red en gestión.
- Evaluar las alternativas existentes para generar reportes móviles en tiempo real (SMS, T-MOTION, VIPER, entre otros), precisando cuál de ellas resulta más adecuada para garantizar una supervisión que proporcione ventajas de movilidad.
- Realizar el diseño del sistema de gestión y supervisión implementando un prototipo que cumpla con las funcionalidades establecidas y las ventajas que presenta este diseño ante las herramientas existentes en el mercado.
- Verificar el funcionamiento del prototipo a través de distintas pruebas sobre una red TCP/IP de al menos 10 nodos.

III. Justificación

Dado el gran auge que han tenido las redes en los últimos años, surge la necesidad de tener un control preciso de las actividades que se llevan a cabo en las mismas. Al implementar un sistema que permita obtener en forma rápida y veraz estadísticas y reportes del estado de la red, se puede detectar con mayor exactitud cualquier irregularidad que ocurra de forma muy eficiente. Esto podrá lograrse a través de un prototipo de usuario final que le permita a éste realizar consultas haciendo uso de una interfaz gráfica amigable, logrando un alto nivel de flexibilidad para la obtención de información, permitiendo confirmar cualquier sospecha que pueda existir con respecto a cierto comportamiento de la red. Al desarrollar la aplicación de esta forma, se puede cubrir prácticamente cualquier solicitud que el usuario requiera sin importar el nivel de detalle al cual desee llegar.

Las facilidades que proporciona este sistema con respecto a los existentes en el mercado, además de los costos evidentemente, es el hecho de poder realizar un control dinámico de los eventos que ocurren en las estaciones de trabajo, solucionando de forma casi inmediata, remota y automática congestiones y caídas del sistema.

Una vez definidos los objetivos y la justificación que sustentó la realización del proyecto, se concebió el alcance del mismo, estableciéndose que el sistema se limitara a redes basadas en el protocolo IPv4. Su diseño se pensó para operar hasta un máximo de 60 nodos. Además, que fuera capaz de proveer de la información relacionada a la disponibilidad, ancho de banda, errores de hardware y consumo de memoria y del CPU. Se consideró necesario que fuera un sistema escalable y amigable, con capacidad de generar reportes estadísticos en cuanto a fallas e interrupciones del servicio.

IV. Metodología

El presente Trabajo Especial de Grado contempla un estudio tanto teórico como empírico que abarca la utilización de distintas estrategias de recolección y análisis de datos, así como la implementación tecnológica del Protocolo Simple de Gestión de Redes, SNMP. Para ello, se empleó una metodología compuesta, basada en cinco estrategias de investigación y desarrollo:

III.1. Investigación de mercado:

Es una herramienta que permite conocer, comparar y evaluar las características del mercado en términos de demanda, calidad de los servicios ofrecidos, vida útil de los productos existentes, relación costo-beneficio, debilidades, oportunidades, amenazas y fortalezas propias y de la competencia, entre otras variables relevantes *(Hernández, 2006)*.

En el ámbito tecnológico, la investigación de mercado provee información útil para la definición del alcance y análisis de factibilidad de los proyectos de desarrollo, facilitando la estimación de resultados y promoviendo la generación de ideas competitivas.

III.2. Estudio Comparativo:

Para que la toma de decisiones esté fundamentada en argumentos sólidos, se utiliza el estudio comparativo como estrategia de documentación y soporte de las estrategias y acciones que se tomen en la ejecución de un determinado proyecto.

El estudio comparativo pretende hacer uso de las diferencias y similitudes encontradas en los elementos en proceso de análisis, para facilitar su comprensión y poder emitir juicios asertivos en relación a las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de ellos.

III.3. Recolección de datos:

Documentación teórica:

A través de la investigación aplicada y descriptiva, "que consiste en la descripción de algunas características fundamentales de fenómenos o procesos homogéneos"*(Sabino, 1986)* se realizará la documentación teórica para la obtención de los contenidos y conocimientos que soportan el desarrollo del proyecto.

III.4. Diseño del sistema:

La utilización de mapas conceptuales, diagramas de clases y descripción de métodos, permite una aproximación lo más exacta posible a las necesidades y requerimientos del proyecto en desarrollo *(Ortiz, 2006)*. El diseño del sistema se basa en la utilización de las herramientas mencionadas anteriormente, entre otras, para generar un modelo inicial a partir del cual se implementará la aplicación.

III.5. Desarrollo del prototipo: programación orientada a eventos y orientada a objetos:

La metodología a utilizar para el desarrollo del Prototipo se basa en el Paradigma de la Programación Orientada a Objetos, la cual define la implementación en términos de objetos que son entidades que combinan estado, comportamiento e identidad (*Wikipedia*, 2006).

Adicionalmente, para la realización de una interfaz gráfica amigable, se empleará la Programación Orientada a Eventos, que tiene como ventajas que proporciona al usuario la posibilidad de construir aplicaciones utilizando interfaces gráficas sobre la base de ocurrencia de eventos.

A través de la convergencia de la programación Orientada a Objetos y la Orientada a Eventos se garantiza el desarrollo de aplicaciones robustas, eficientes, escalables y sobre todo amigables.

IV. Marco referencial

Hoy en día se hace uso de distintas herramientas para la administración, supervisión y gestión de redes. Según los resultados que generan estas herramientas, el administrador puede identificar fallas dentro de la red, prevenir congestión, enrutar el tráfico y hasta prevenir ataques informáticos.

Existen varios protocolos utilizados para la gestión de redes basadas en TCP/IP; los más conocidos son el SNMP (*Simple Network Management Protocol*), descrito en el RFC 1157 y el CMIP (*Common Management Information Protocol*), descrito en el RFC 1189.

SNMP en sus distintas versiones, es un conjunto de aplicaciones de gestión de red que emplea los servicios ofrecidos por TCP/IP, y que ha llegado a convertirse en un estándar. Surge a raíz del interés mostrado por la IAB (*Internet Activities Board*) en encontrar un protocolo de gestión que fuese válido para la red Internet, dada la necesidad del mismo debido a las grandes dimensiones que estaba tomando (*Huidobro, 2004*).

V.1. Arquitectura SNMP

Implícita en el modelo de arquitectura del SNMP existe una colección de estaciones de gestión de red y de elementos de red. Las estaciones de gestión de red ejecutan aplicaciones de gestión que supervisan y controlan los elementos de red. Los elementos de red son dispositivos como hosts, gateways, servidores de terminal, etc., que poseen agentes de gestión para realizar las funciones solicitadas por las estaciones de gestión de red. El SNMP es usado para comunicar información de gestión entre las estaciones de gestión de red y los agentes en los elementos de red. En la figura 1 se muestra un esquema de la arquitectura del protocolo SNMP (*RFC 1157,1999*).

SNMP es un protocolo del nivel de aplicación que utiliza como protocolo de transporte UDP. Define una relación cliente/servidor entre el gestor de red (que actúa de cliente) y los elementos gestionados (que son los servidores y reciben el nombre de "agentes SNMP").

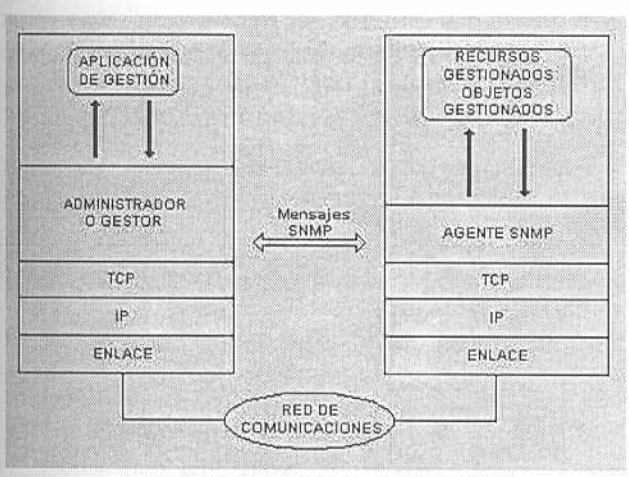


Figura 1. Arquitectura Protocolo SNMP
Fuente: HUIDOBRO, J.

De esta forma, para el protocolo SNMP la red constituye un conjunto de elementos básicos integrados por los *Administradores o Management Stations* ubicados en los equipos de gestión de red y los *Agentes* (elementos pasivos ubicados en los nodos -host, routers, modems, multiplexores, etc.- a ser gestionados), siendo los segundos los que envían información a los primeros, relativa a los elementos gestionados, por iniciativa propia o al ser interrogados (*polling*) de manera secuencial, apoyándose en los parámetros contenidos en sus MIB (*Management Information Base*). La *figura 2*, muestra una topología de red que se comunica a través de SNMP.

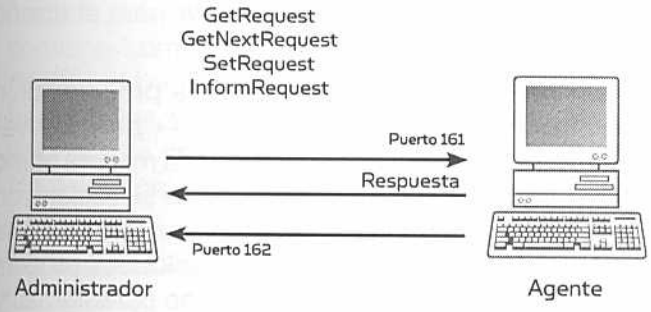


Figura 2. Modelo de funcionamiento del Protocolo SNMP
Fuente: Elaboración Propia

V. Desarrollo

El presente proyecto se dividió en dos (2) macro etapas que engloban todas las actividades que condujeron al desarrollo del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4. Dichas etapas se estructuraron en tareas específicas, cada una de ellas asociada a los objetivos planteados.

En la *figura 3* se presenta un modelo relacional de las etapas de desarrollo del Sistema.

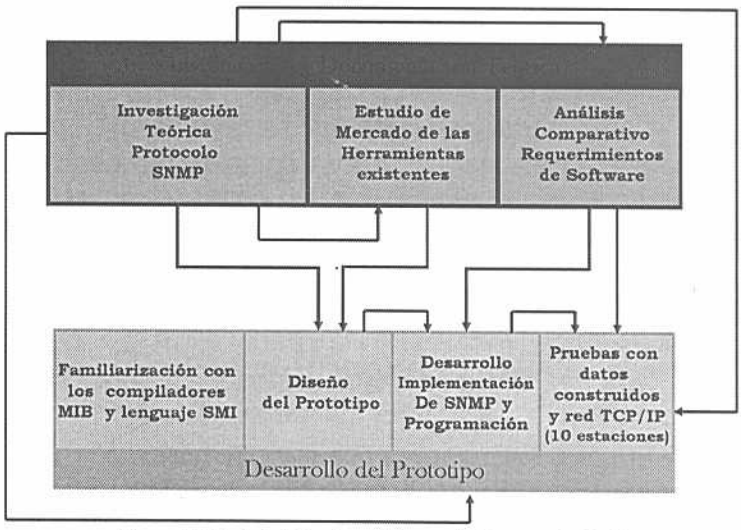


Figura 3. Modelo Relacional Etapas de Desarrollo TEG
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el Modelo Relacional, existe una real interdependencia entre los procedimientos y tareas específicas utilizadas para el desarrollo del Sistema de Control y Supervisión de Redes.

A continuación se describen cada una de las actividades llevadas a cabo durante la ejecución del proyecto, así como el procedimiento detallado para la implementación del prototipo.

V.1 Documentación Teórica Protocolo Simple de Gestión de Redes SNMP

La documentación teórico-práctica del protocolo que sustenta el Sistema desarrollado (SNMP), sirvió como base para todas las actividades sucesivas que formaron parte del proyecto. De hecho, la investigación del protocolo fue un proceso considerablemente dinámico, ya que el diseño e implementación del sistema exigió de actualizaciones continuas y de un dominio absoluto de la arquitectura y funcionamiento de SNMP.

V.2 Investigación de las Herramientas existentes en el Mercado

Realizar el estudio y el desarrollo de un sistema de gestión de redes es una tarea ambiciosa si se piensa en la gran cantidad de productos similares que existen en el mercado y en la importancia que ha ido adquiriendo la supervisión oportuna y eficiente de las estaciones que la conforman. Por lo tanto, antes de iniciar el diseño y determinar las características específicas del sistema a desarrollar, se consideró indispensable realizar un análisis de las herramientas de supervisión que se ofrecen en el mercado con el fin de presentar un prototipo competitivo y capaz de introducir elementos innovadores en los futuros desarrollos.

Como estrategia para organizar la investigación y obtener una información lo más completa y confiable posible, se utilizó la Internet como herramienta de búsqueda y se realizó una lista de todos los sistemas de gestión y supervisión de redes basadas en el protocolo IPv4; adicionalmente, se agregaron sus fuentes electrónicas para su fácil estudio.

Una vez finalizada la búsqueda, se seleccionaron 5 de los sistemas que se consideraron más completos, evaluando para esa selección no sólo el nivel de reportes que proporcionaba cada uno, ni la robustez del desarrollo, sino también parámetros de estimación de mercado como los comentarios emitidos por los usuarios de estos sistemas en los foros de discusión.

Los 5 sistemas que se estudiaron con detalle fueron los siguientes:

- JFFNMS (*Just For Fun Network Management System*). Desarrollado por Cisco System.
- OPENNMS (*Open Network Management System*). Basado en código abierto (*Open source*), implementado por los mismos creadores de Wikipedia.
- *Fidelia Netvigil:* Desarrollado por Network General.
- IP-MONITOR. Desarrollado por IPMonitor Corporation. Sistema de Gestión con certificado Microsoft.
- ORION NPM. (*Network Performance Monitor*). Desarrollado por Solarwinds empresa líder en sistemas de Gestión y Supervisión de Redes IP.

V.3 Análisis de los Requerimientos de Software.

Conocidas las características mínimas que se requieren para generar un producto competitivo, se procedió a realizar el análisis comparativo de la plataforma tecnológica sobre la cual se debía realizar el diseño y la implementación del sistema.

Se inició el análisis evaluando los dos Sistemas Operativos por excelencia, el soportado por Microsoft: Windows XP, y el que se basa en la tendencia del software libre, LINUX: en cualquiera de sus versiones.

Para soportar la documentación, se realizó una investigación detallada de ambos sistemas y se realizó la comparación en ciertos elementos específicos, seleccionados previamente, que se consideraron trascendentales para la toma de decisiones, tales como instalación, compatibilidad, interfaz gráfica, administración de redes, estabilidad y facilidad de uso.

Resultó bastante complejo tomar una decisión de cuál plataforma tecnológica utilizar para el diseño e implementación del Sistema. En primer lugar, Windows es un Sistema Operativo amigable, fácil de instalar y resulta mucho más sencillo desarrollar interfaces gráficas de calidad bajo este entorno. Sin embargo, en términos generales la tendencia del Software Libre es cada vez mayor y Linux está teniendo gran auge debido a que resulta un poco más estable y es más potente para la administración de redes. Basado en la realización de esta investigación y bajo la premisa de la familiarización que existe con el entorno Microsoft, la facilidad de desarrollar ambientes gráficos amigables y la compatibilidad con los diversos fabricantes de hardware, se decidió realizar el desarrollo haciendo uso del Sistema Operativo Windows XP.

Definido el Sistema Operativo sobre el cual soportar el desarrollo, se procedió al análisis del lenguaje de programación a utilizar para el diseño y posterior implementación del mismo.

Se seleccionaron 3 lenguajes de programación estándares, Visual Basic, JAVA y C++ para su evaluación y comparación, y de la misma manera como se realizó con el Sistema Operativo, se seleccionaron 3 variables que de forma objetiva, sustentaran una evaluación enmarcada en las necesidades propias del sistema en desarrollo y no en los paradigmas y argumentaciones tradicionales de los programadores. Dichas variables fueron: Portabilidad, Interfaz Gráfica y Gestión de Redes.

Realizado el análisis comparativo-descriptivo de las características mencionadas anteriormente en cada uno de los lenguajes de programación y considerando la inminente necesidad de realizar un desarrollo robusto, amigable y competitivo, se decidió inicialmente utilizar el lenguaje Visual Basic 6.0

Ante los paradigmas existentes de la poca fortaleza del lenguaje seleccionado, se realizó una investigación documental y experimental que permitiera blindar cualquier tipo de argumentación contra el nuevo ambiente de desarrollo. Tomando en consideración las premisas utilizadas para la primera evaluación de los lenguajes (Portabilidad, Interfaz Gráfica y Gestión de Redes), sólo en uno de los aspectos Visual Basic 6.0 presenta una debilidad considerablemente importante: sólo trabaja bajo entorno Microsoft. Sin embargo, dicha debilidad se atenúa ante las herramientas que ofrece el lenguaje para la programación gráfica y el paradigma de Programación Orientada a Objetos y Eventos.

V.4 Familiarización con los Compiladores MIB y Lenguaje ASN.1

En la descripción del desarrollo del proyecto se ha mencionado frecuentemente la importancia del dominio de la información contenida en el *Management Information Base* (MIB) para la implementación del Sistema. La razón por la cual se ha redundado tanto en este tema es porque todas las variables que solicita el protocolo SNMP se encuentran contenidas en dicha base datos que organiza sus valores según un árbol jerárquico cuyas "ramas" están caracterizadas en distintas Macro-Divisiones de los parámetros de supervisión, en otras palabras, una "rama" contiene todos los valores relacionados con las características generales del sistema (e.j. nombre, ubicación, contacto, descripción); otra contiene los valores del estado de las interfaces de entrada y salida (e.j. ancho de banda, errores transmitidos, fabricante, etc.). y así con más de 1000 valores que se pueden obtner de forma remota a través del protocolo SNMP.

Todos los dispositivos de red basados en IPv4, por convención tienen uno o más archivos *.mib* en las carpetas del sistema. Sin embargo, la dificultad se presenta en cómo interpretar la información contenida en esos archivos. Procurar abrirlos a través de un editor de texto resultaría un fracaso, pues están codificados en lenguaje ASN.1 imposibles de interpretar sin una herramienta especializada.

Debido a la inminente necesidad de conocer a profundidad la información contenida en el MIB, su estructura y significado, se utilizó un compilador denominado MIB Compiler, desarrollado por MG-SOFT LAB, empresa norteamericana especializada en sistemas de supervisión de redes.

El compilador se basa en una especie de traductor que decodifica cualquier archivo *.mib* y despliega de forma detallada el significado de cada OID, su tipo de acceso (lectura o escritura) entre otros. En la *figura 5* se muestra una imagen del software y la forma en que presenta la información al usuario.

V.5 Diseño del Sistema

Para el diseño del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4 se aplicó el concepto de la Teoría General de Sistemas, el cual define a éstos como conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que lo mantienen directa o indirectamente unidos de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (*Arnold, 1998*).

Para completar la definición de la metodología utilizada, se trabajó con la concepción de Sistemas Abiertos, en donde queda establecida como condición para la continuidad sistémica el establecimiento de un flujo de relaciones con el entorno.

Basado en el paradigma de la Programación Orientada a Objetos y explotando las fortalezas del ambiente de desarrollo de facilitar la Programación Orientada a Eventos, se realizó el diseño del Sistema dividiéndolo en 4 módulos funcionales que interactúan entre sí. La clasificación se realizó sobre la base del alcance del proyecto, considerando todos los requerimientos establecidos en la planificación inicial, e incluidas algunas novedades que surgieron como parte del aporte innovador y diferencial que se le dio al prototipo durante su desarrollo.

Los 4 módulos funcionales son los siguientes:

- Sesión y Configuración
- Supervisión
- Control
- Reportes

Los módulos funcionales son interdependientes e interactúan con una lista de objetos "Agentes" que presentan todos los atributos de las estaciones que se encuentran en supervisión y los métodos que hacen posible la comunicación Administrador-Estación.

V.5.1 Módulo de Sesión y Configuración

En el módulo de Sesión y Configuración, se realiza la apertura de los puertos de envío y recepción de mensajes SNMP, a través de los cuales se lleva a cabo el intercambio de información entre el administrador y los agentes en gestión.

Adicionalmente, tiene un atributo troncal representado por la *Lista de Objetos Agentes* que se inicializa en la carga del sistema y se actualiza periódicamente dependiendo de las estaciones que se vayan integrando a la topología de la red administrada.

Es en esta fase del sistema donde se configuran los parámetros de gestión y control de la aplicación, indicados por el modo de supervisión, dimensiones de las escalas temporales de los reportes gráficos, dirección de correo electrónico del administrador de la red, entre otros.

El Sistema desarrollado funciona bajo la topología cliente-servidor. El software de administración de la red envía mensajes de solicitud de información y cada estación remota tiene un agente SNMP corriendo que se comporta como servidor. En este módulo se realiza el primer intercambio de mensajes de solicitud y se cargan los valores iniciales de cada agente.

V.5.2 Módulo Supervisión

Los métodos y procedimientos que forman parte del presente módulo representan la columna vertebral de todo el sistema. Una vez configurados los parámetros generales en el módulo anterior y cargada la lista de agentes que se encuentran activos, el sistema inicia un proceso de encuesta periódica (*polling*) a través de mensajes *GetRequest* y *GetNextRequest*. Cada agente activo tiene un tiempo global asignado para solicitar todos los valores y cada mensaje de solicitud también tiene asignado un tiempo determinado. En otras palabras, como se muestra en el diagrama general del diseño, el objeto Agente tiene un atributo que define cuando le corresponde realizar su encuesta (como una globalidad) y otro que determina cuándo solicitar cada dato específico.

Esa distribución temporal tan compleja se debe a que por el puerto SNMP 161 se puede establecer una sola comunicación simultánea, por tanto el esquema de encuestas periódicas a través de las cuales se van a generar los reportes gráficos, debe garantizar una asignación de tiempos para cada estación que se encuentre activa.

V.5.3 Módulo de Control

Una de las características que hacen del Sistema en desarrollo una herramienta novedosa frente a las alternativas que ofrece el mercado actual, es que además de supervisar y gestionar las estaciones activas en una red, es capaz de modificar las tablas de ruta de los nodos en caso de existir alguna falla, caída del sistema o congestión. Para ello, el módulo de control utiliza el protocolo SNMP para modificar los valores de las rutas por defecto que tiene cada estación.

Tanto el módulo de supervisión como el de control, tienen como función compartida la gestión de los TRAPS recibidos. Como se describió anteriormente, durante el proceso de supervisión se registran todas las alertas que llegan al sistema en un archivo de texto, mientras que en el proceso de control se evalúan esas alertas y el sistema, si se encuentra en modo de supervisión automático toma las decisiones que posiblemente solventen de manera temporal la causa que generó dicha alarma. En caso de que el modo de gestión sea manual, el administrador de la red tomará las decisiones que considere conveniente, modificando el valor del parámetro adecuado.

IV.5.4 Módulo Reportes

Para poder ofrecer una información amigable al administrador de la red se incluyó dentro del diseño un módulo de reportes que presenta los valores obtenidos en el proceso de supervisión a través de diversos formatos como tablas, gráficas, listas, entre otros.

El módulo de reportes es la interfaz directa con el usuario, sin embargo es producto del procesamiento de datos y mensajes entre los tres módulos anteriores.

- Incluye también las funciones especializadas que permiten que el administrador de la red

reciba correos electrónicos con el reporte de las alertas detectadas por el sistema en tiempo real.

V.6 Desarrollo e implementación del Prototipo

Después de realizado el diseño del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de redes basadas en el protocolo IPv4, se procedió al desarrollo de un prototipo capaz de brindar las facilidades descritas en los apartados anteriores, a través de una interfaz amigable y basados en los paradigmas de Programación Orientada a Objetos y Orientada a Eventos que ofrece el ambiente de desarrollo empleado.

Para modelar el funcionamiento del prototipo se presentaron las secuencias dinámicas de acción entre los distintos grupos de objetos de la aplicación, para lo cual se emplearon diagramas distintos, denominados Diagrama de Colaboración y Diagrama de Secuencia.

En los resultados de la investigación, se explicarán con detalle los procedimientos implementados y el comportamiento de la aplicación, caracterizando de esta forma cada módulo funcional.

V.7 Evaluación de alternativas para generar reportes móviles

Uno de los objetivos que se plantearon inicialmente durante el proceso de formulación del presente proyecto de investigación y desarrollo, fue la evaluación de las alternativas para generar reportes móviles en tiempo real. En otras palabras, investigar la necesidad y conveniencia de agregar un módulo que ofreciera ventajas de movilidad para el desarrollo futuro de una versión más innovadora del prototipo implementado.

Se realizó un análisis económico y técnico, considerando la real utilidad de los sistemas de Gestión de Redes existentes en el mercado y la relación costo-beneficio de incluir una arquitectura de comunicación que ofreciera estas ventajas; se derivó en que recibir el reporte de un evento o estado de una estación que forme parte de la topología de una red, a través de un SMS, no genera ningún valor agregado en cuanto a solución del problema se refiere. Los administradores de red no pudieron modificar a través del teléfono celular la configuración de las estaciones en gestión, por lo tanto, la movilidad, más allá de ser un elemento innovador, propio de las nuevas tendencia de comunicación, no representa un factor determinante en los reportes que genera un sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes.

V.8 Pruebas con datos construidos y reales en una red TCP/IP de 10 estaciones.

Con la finalidad de validar y verificar el funcionamiento del prototipo implementado, se realizaron pruebas con datos construidos y datos reales.

La primera etapa de prueba se basó en un híbrido entre datos reales y simulados en una red privada, enlazada a través de un enrutador inalámbrico LinkSyS, formada por cuatro estaciones de computadoras personales con Sistema Operativo Windows XP, un ordenador portátil con Sistema Operativo Linux, versión Ubuntus y un teléfono VoIP Linksys. Los datos construidos se generaron automáticamente a través de la simulación de una red virtual de seis estaciones. En el capítulo V se presentan algunos gráficos que se obtuvieron en la primera sesión de pruebas.

Posteriormente se instaló el prototipo en un laboratorio de 16 estaciones. Se realizaron las pruebas midiendo las mismas características que en la primera fase, pero en este caso con todos los datos reales. Adicionalmente, se verificó el funcionamiento del módulo de control del prototipo que se encarga tanto del enrutamiento del tráfico de la red, al existir falla o congestión, como de la modificación de forma remota de las variables de lectura y escritura contenida en el MIB de cualquier estación en gestión.

Se capturaron las pantallas de reporte generadas por el sistema durante el proceso de validación y pruebas, las cuales serán presentadas en el capítulo V, correspondiente a los resultados del proyecto.

VI. Resultados

Después de la realización de todas las actividades planificadas para el diseño e implementación del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de redes basadas en el protocolo IPv4, se obtuvieron los siguientes resultados, caracterizados por etapa de desarrollo.

VI.1 Documentación Teórica

A través del proceso de investigación, tanto aplicada como descriptiva realizada en la primera etapa de desarrollo del Trabajo Especial de Grado, se obtuvieron los basamentos teóricos del funcionamiento del Protocolo Simple de Gestión de Redes SNMP, necesarios para el diseño e implementación del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el Protocolo IPv4.

VI.2 Investigación de Mercado

La realización del estudio de las herramientas existentes en el mercado derivó en la definición de las características mínimas que debía contener el sistema en desarrollo para considerarse una herramienta competitiva. Dichas características son:

a) Tener la capacidad de generar reportes en tiempo real del ancho de banda, consumo de memoria del CPU, datos transmitidos y recibidos por cada interfaz, errores transmitidos y recibidos, latencia, disponibilidad.

b) Presentar una interfaz amigable, que sea operable no sólo por personas en capacidad de administrar la red, sino por cualquier usuario en general con conocimientos medios de interoperabilidad y redes de comunicación.

c) Generar reportes estadísticos en forma de gráficos de barra y de líneas, que permitan visualizar el comportamiento de la red a través de una escala dinámica de tiempo.

VI.3 Requerimientos de Software

La definición de los requerimientos de software se dividió en dos partes fundamentales. La primera de ellas referida a la selección del Sistema Operativo sobre el cual soportar el diseño y posterior implementación de aplicación y la segunda, relacionada con la determinación del lenguaje de programación a utilizar.

Como se mencionó en el Capítulo IV, el Sistema Operativo seleccionado fue Windows XP, por sus ventajas en cuanto a compatibilidad con los fabricantes de hardware, facilidad para desarrollar entornos gráficos amigables, sus opciones para gestionar redes de comunicación y un aspecto importante, la familiarización que existe con esa plataforma.

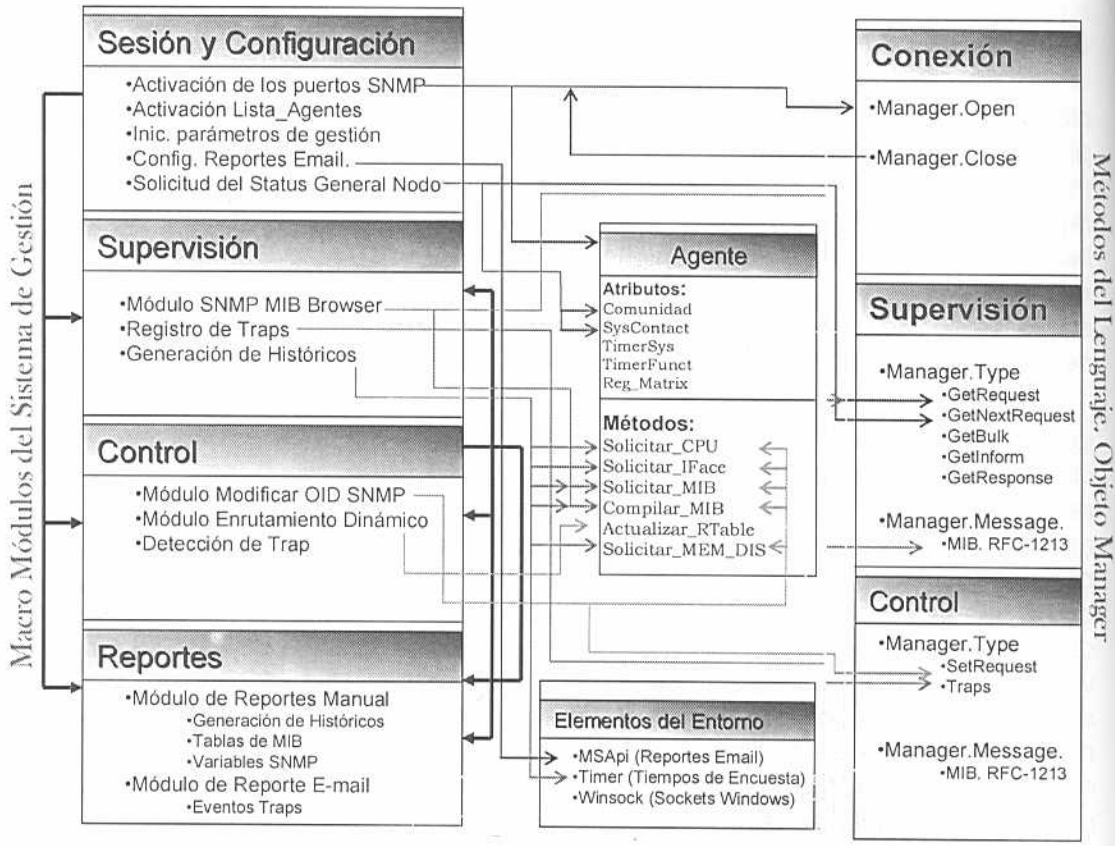


Figura 4. Diseño General del Sistema de Control, Supervisión y Gestión
Fuente: Elaboración Propia

Por su parte, la selección del lenguaje de programación resultó un poco más compleja. En el desarrollo del Trabajo Especial de Grado se explicaron las causas por las cuales se decidió sustituir el lenguaje C++ y el compilador Borland Builder, por Visual Basic 6.0.

VI.4 Diseño del Sistema

En la *figura 5,* se muestra el diseño del sistema y la relación existente entre cada uno de los módulos funcionales, el Objeto Agentes, los métodos del ambiente de programación provenientes de la librería importada *PowerSNMP* y los elementos del entorno que permiten la interconexión a nivel de software de todos los factores que intervienen.

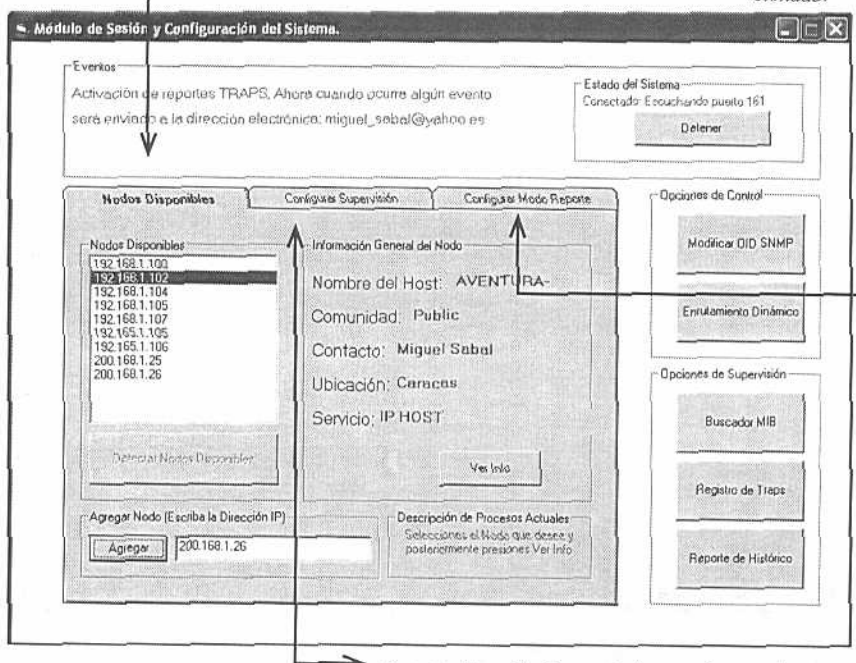
El diseño general presentado, modela el funcionamiento completo del sistema. Los 4 módulos funcionales, Sesión, Supervisión, Control y Reportes, invocan los métodos del Objeto Agentes y éstos a su vez utilizan las funciones específicas del lenguaje de programación y de la librería P*owerSNMP.*

VI.5 Prototipo

Una vez finalizado el diseño general del sistema, se procedió a realizar el desarrollo de la aplicación. En la sección anterior se describieron las características de cada módulo; en ésta se presentará el resultado final de la programación del prototipo, diferenciado por módulo funcional.

VI.5.1 Módulo de Sesión y Configuración

El Módulo de Sesión y Configuración se divide en 3 fases. La primera relacionada con la inicialización o actualización de la lista de agentes disponibles y la presentación de las características generales de cada estación. La segunda, se refiere a la sesión de los parámetros de supervisión, tales como tiempos de encuesta, tipos de información; finalmente, la tercera fase se refiere a la configuración del modo de reporte que realizará el sistema. En la figura 5 se presenta la pantalla del módulo de Sesión y Configuración.



Pestaña Fase I: Actualización o inicialización de los nodos de la red. Despliegue de las características de la estación seleccionada.

Pestaña Fase III: Configuración del modo de reporte: Manual o Automática dependiendo de la ubicación del administrador. Identificación del correo electrónico al cual llegarán los eventos ocurridos

Pestaña Fase II. Carga de los parámetros de supervisión tales como duración de los Timers (tiempors de encuesta), tipo de información a gestionar, entre otros

Figura 5. Pantalla de Inicio del Prototipo. Módulo de Sesión y Configuración
Fuente: Elaboración propia

VI.5.2 Módulo de Supervisión

El Módulo de Supervisión se representa en el prototipo a través de dos aplicaciones. La primera, estipulada en el alcance inicial del proyecto, facilita la obtención de diversas variables que se procesan y en conjunto con el módulo de reportes, generan gráficas amigables que permiten visualizar el comportamiento de la red. La segunda, surgió como valor agregado durante la implementación del sistema y consiste en un "Buscador MIB", que es una herramienta similar a la utilizada durante el desarrollo del proyecto (MG-SOFT LAB), que permite conocer el significado y el valor de los distintos identificadores de objetos (OID's) contenidos en el MIB de cualquier estación.

En la *figura 6* se presenta el estándar de la pantalla que representa el Buscador MIB del prototipo, en la cual se distingue una lista de todas las variables que pueden ser gestionadas a través de SNMP, una ventana que reporta el estatus del mensaje de solicitud y un espacio para visualizar el detalle (descripción del significado) de cada uno de los Objetos contenidos en la lista. El Buscador MIB desarrollado, según la investigación realizada, es la única herramienta existente que presenta la descripción de los Identificadores Objetos en español, por lo tanto, este resultado además de sobrepasar las expectativas planteadas inicialmente, porque no se encontraba en el alcance, genera un aporte importante en la gestión de redes.

VI.5.3 Módulo de control

El módulo de control también ofrece dos grandes funcionalidades. La primera de ellas, permite modificar el valor de cualquier variable de las estaciones activas, siempre que éstas sean de lectura y escritura. Y la segunda, que no se puede visualizar a través de ninguna pantalla, es la toma de decisiones que realiza el sistema en cuanto al enrutamiento del tráfico en caso de ocurrir cualquier falla o congestión de una estación, basado en la modificación de las rutas por defecto.

VI.5.3 Módulo de Reportes

El módulo de reportes representa la interfaz más importante de todo el prototipo ya que a partir de éste se hace la demostración de todos los procesos de supervisión y control ejecutados por los módulos anteriores. La pantalla estándar que se muestra en la *figura 7* presenta un menú de opciones en la columna izquierda. Cada botón se refiere a un tipo de reporte: Interfaces de Red, Memoria Física y Dispositivos, Latencia, Consumo de CPU y el último

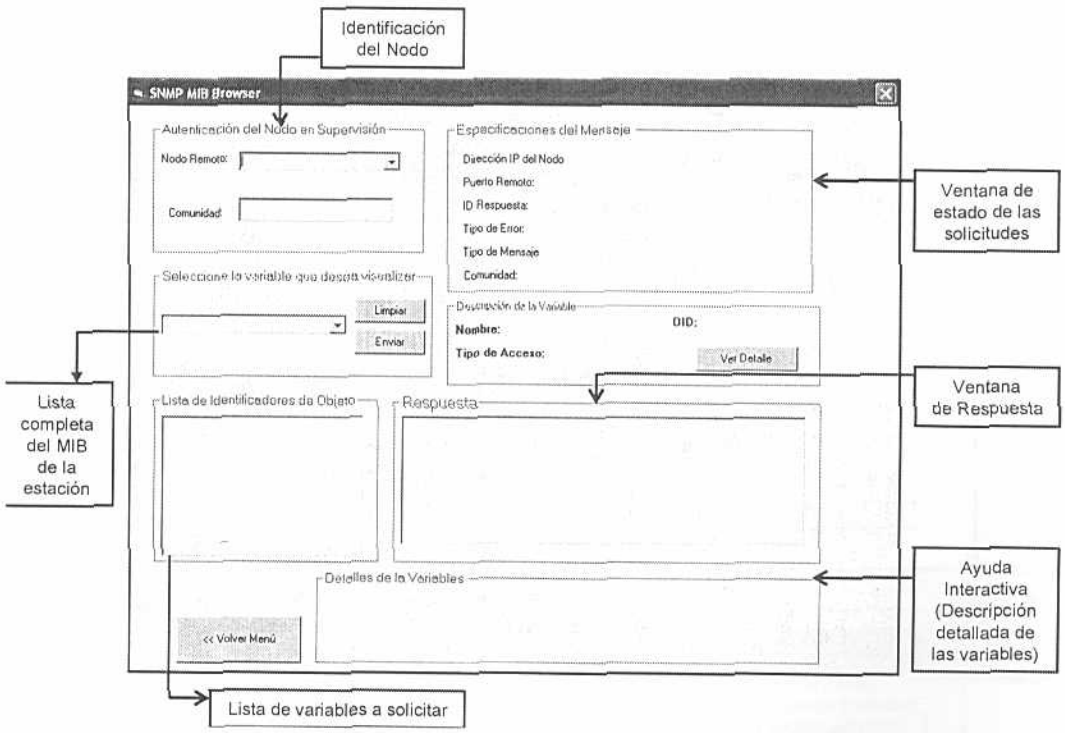


Figura 6. Pantalla Estándar Buscador MIB
Fuente: Prototipo

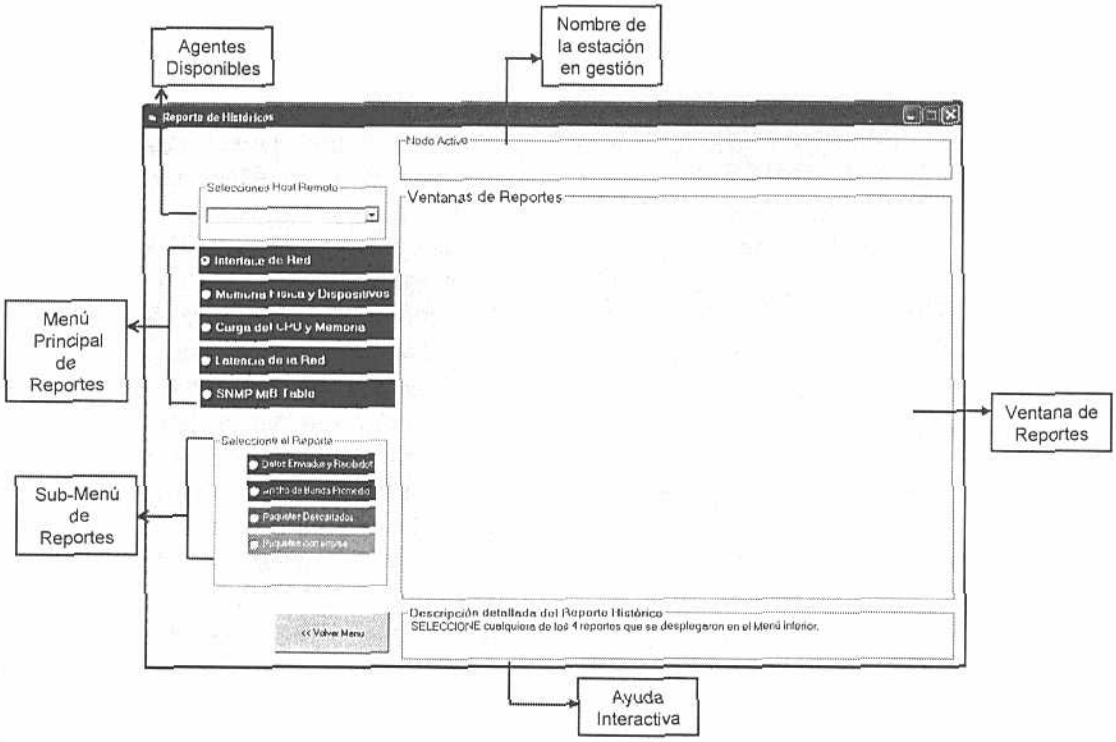


Figura 7. Pantalla Estándar Módulo de Reporte
Fuente: Prototipo

que se refiera al SNMP MIB Table. Al seleccionar alguna de las alternativas, se despliega un sub-menú debajo de los botones, que especifica aún más las características del reporte solicitado. En el centro de la pantalla se encuentra la Ventana de Reportes en la cual aparecerán las gráficas de históricos y las listas de dispositivos, procesos o programas según sea el caso. La pantalla estándar muestra también el espacio para la ayuda interactiva, presente en todos los módulos del prototipo.

VI.6. Pruebas

Después de culminado el desarrollo del prototipo, se realizaron pruebas con datos construidos (simulados) y datos reales un una red TCP/IP de 10 nodos. En las *figuras 9 y 10* se muestran algunos de los resultados de las pruebas realizadas.

La *figura 8* presenta el reporte de los Datos Enviados *vs.* Datos Recibidos (medido en cantidad de paquetes), de una estación cuyo proceso de supervisión tuvo una duración de 8 horas (desde la 5 de la tarde hasta las 12 de la noche). En la gráfica se puede apreciar claramente una línea asociada al tráfico entrante y otra al saliente, así como los picos que se generan en las horas que hubo mayor utilización de la interfaz para el intercambio de información

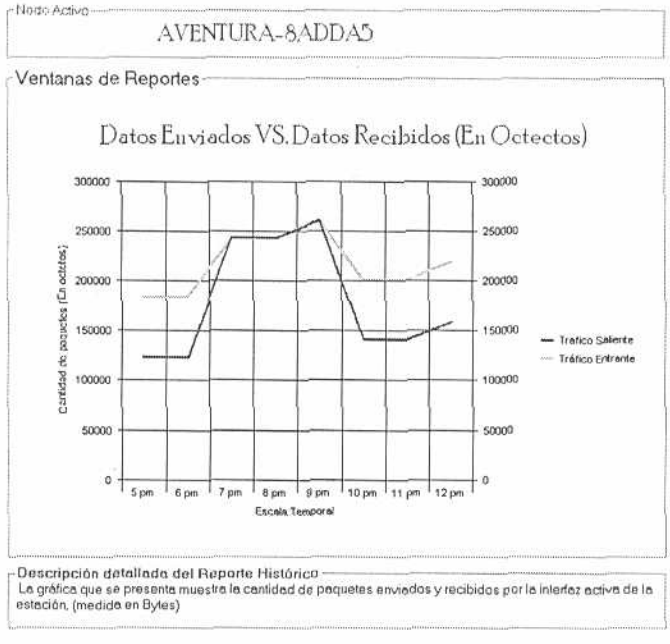


Figura 8.. Prueba datos Reales. Datos Enviados Vs. Datos Recibidos
Fuente: Prototipo

En la *figura 9* se despliega una lista de las unidades de almacenamiento disponibles en el mismo nodo. Una de las ventajas más resaltantes del prototipo es la capacidad de detallar la información actual de las estaciones. Como se observa en resultado presentado la *figura 19* en la lista se detalla inclusive el nombre del CD que se encuentra dentro de la unidad D del nodo en supervisión, garantizando esto características muy poderosas de control y gestión.

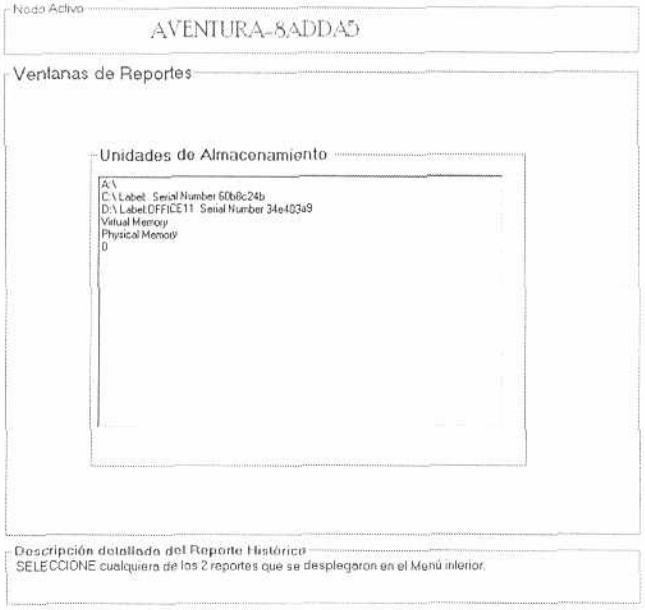


Figura 9.. Prueba datos Reales. Unidades de Almacenamiento
Fuente: Prototipo

VII. Conclusiones y recomendaciones.

Una vez realizado el diseño y desarrollo del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4, a través de la implementación del protocolo SNMP, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

En la investigación teórica de SNMP se determinó que la ventaja fundamental de este protocolo es que su diseño es simple por lo que su implementación es sencilla en grandes redes y la información de gestión que se necesita intercambiar ocupa pocos recursos de la red. Además, permite al usuario elegir las variables que desea supervisar. Es el protocolo más extendido y la popularidad la ha conseguido al ser el único protocolo que existió en un principio y por ello casi todos los fabricantes de dispositivos como bridges, host y enrutadores diseñan sus productos para soportar SNMP.

A través de la realización del estudio de mercado, se apreció con claridad que los sistemas de gestión existentes son muy poderosos y competitivos. En la mayoría de los casos, tienen la capacidad de proveer información en tiempo real del estado de los nodos: disponibilidad, latencia, ancho de banda utilizado, consumo de memoria y CPU, entre otros. Algunos tienen la ventaja de determinar el rendimiento general de una estación y de presentar históricos que permiten visualizar el comportamiento de la red en un lapso de tiempo determinado. Sólo uno de los sistemas estudiados realiza alertas en tiempo real que van directamente a la persona encargada de administrar la red a través de correo electrónico. Sólo algunos de los sistemas, a parte de la supervisión, controlan la red en caso de presentarse caídas del sistema, congestión o fallas en general, siendo esto una de las características diferenciales e innovadoras del prototipo desarrollado

En cuanto al prototipo desarrollado se puede concluir que sus funcionalidades sobrepasaron las expectativas planteadas inicialmente. Además de proveer herramientas para la supervisión oportuna de las estaciones de la red y tener las funciones de control que permiten el enrutamiento dinámico del tráfico en caso de fallas o congestión, se incluyeron dos módulos adicionales que permiten complementar los procesos antes descritos, a través de las facilidades que ofrece el protocolo SNMP.

Basado en las descripciones anteriores, se puede afirmar que el prototipo desarrollado cumple con las características planificadas inicialmente, es decir, permite el **control:** a través del enrutamiento dinámico del tráfico de la red, **la supervisión:** a través del reporte del estado de los nodos y las alertas que se generan vía correo electrónico de los eventos ocurridos y la **gestión:** que se alcanza a través de la sinergia de los dos conceptos anteriores, al permitir administrar de forma remota los parámetros de funcionamiento de las estaciones que forman la topología de la red.

Se soluciona entonces la situación problemática que motivó la realización del presente proyecto, a través del desarrollo de un sistema que permite la supervisión de los nodos que integran una red basada en protocolo IPv4, que no representa una inversión mayor a los $19 (costo de la librería SNMP utilizada) y que además ofrece la facilidad de con-

trolar de forma dinámica el tráfico de la red en caso de existir falla o congestión.

El prototipo desarrollado es escalable, por tanto se recomienda la continuidad de su implementación técnica y evaluación. Según las pruebas realizadas y tal como se planteó inicialmente, soporta la supervisión de redes de hasta 100 estaciones. Un próximo Trabajo Especial de Grado desarrollado por un estudiante aspirante al título de Ingeniero en telecomunicaciones, puede ser la evaluación del funcionamiento del prototipo y la inclusión de mecanismos de "Seguridad Computacional" a la herramienta, a través de la implementación de algoritmos de encriptamiento o haciendo uso de SNMP v3 que aún está en proceso de evaluación, pero que ofrece considerables ventajas en el tema de seguridad.

Debido a la importancia que tiene el protocolo SNMP en el estudio y gestión de redes, se recomienda:

- Abrir líneas de investigación de los Sistemas de Gestión y Administración de Redes ya que las nuevas tendencias de las comunicaciones en Venezuela y en el mundo se mueven velozmente hacia el entorno IP siendo los sistemas de gestión y supervisión cada vez más necesarios.
- Incluir SNMP en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería de telecomunicaciones, específicamente en las cátedras de Telemática y Sistemas Telemáticos, debido a que representa el protocolo por excelencia de gestión y administración de redes.

VIII. Bibliografía

Libros consultados

- Radcom. (2002). *Guía Completa de Protocolos de Telecomunicaciones*. McGraw-Hill.
- Forouzan. (2002) *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones*. McGraw-Hill.
- León, A. Widjaja, I.(2002). *Redes de Comunicación*. McGraw-Hill.
- [l1] Booch, G. (1994). *Análisis y Diseño Orientado a Objetos con Aplicaciones* (2da ed.). España: Addison-Wesley.

Citas de charlas, clases magistrales o talleres:

- Hernández (2006). Mercadotecnia para Ingenieros. Clase Magistral Importancia del estudio de mercado en el desarrollo de nuevos productos. UCAB, Caracas.
- Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI). Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. (2005). *Taller: Informe de Avance del Trabajo Especial de Grado de Ingeniería de Telecomunicaciones.* Trabajo no publicado.
- Sabino, C. (1986). *El proceso de la Investigación.* Caracas. Editorial Panapo

Fuentes electrónicas

- Huidobro, J. *SNMP. Un protocolo Simple de Gestión*. .http://www.coit.es/publicac/publbit/bit102/quees.htm. (2005).
- Tobal, J. *SNMP.* (30 Agosto 1999). http://www.arrakis.es/~tobal/snmp.htm. (Diciembre 2005).

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ASOCIADO A LA RED ELÉCTRICA DE LA REGIÓN CENTRAL DE CADAFE

■ Ing. López, Lorena
lore_alelopezo@yahoo.com

■ Ing. Marcano, Isis
isism@mayatel.com

■ Tutor Ing. Soruco, Laura

1. Resumen

Considerando la importancia de la energía eléctrica y la calidad del suministro de este servicio para un país, es justificada la inversión adecuada de recursos financieros en infraestructura para el sistema eléctrico. Este proyecto contempla el análisis de la plataforma de comunicaciones asociada a la red eléctrica de la Región Central de CADAFE basándose en estudios teóricos y evaluaciones de los enlaces actuales y a implementarse. Se desarrollan dos estudios, el primero relacionado con la confiabilidad de los enlaces basados en tiempos típicos de fallas de los equipos y el segundo, un estimado de costos de enlaces tipo. Se realizan además tres análisis, el primero con base al solapamiento de equipos y proyectos, el segundo evaluando la fusión de la red en cuanto a topología y mecanismos de respaldo y el tercero con base en los servicios que se transmitirían en cada subestación. Se realiza una propuesta fundamentada en las deficiencias encontradas o mejoras necesarias para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos y elevar la confiabilidad de la Red.

Palabras claves: Análisis, Estudios, Sistemas de Comunicaciones, Red eléctrica

Abstract. *Considering the importance of the electrical energy and the quality in providing the service to any given country, the suitable infrastructure investment for the electrical system is justified. This project contemplates the analysis of the communi-*

cations platform associated to the electric network at the Central Region of CADAFE being base on theoretical studies, evaluations of the existing connections and with implementation in a short and medium term. This document developed two parts, one related to the trustworthiness of the connections based on equipment typical failure times and the other one, cost estimate on important links. In addition, three analyses have been done, the first one on the basis of equipment and projects overlapping, the second, evaluating the fusion of the networks as far as topology and mechanisms of endorsement and third on the basis of the services that would be transmitted in each substation. A proposal is presented based on deficiencies found or the necessary improvements to obtain a better advantage of the resources and to elevate the trustworthiness of the Network.

2. Introducción

Los sistemas de comunicaciones son vitales para la transmisión de información de un punto a otro. En el caso de las redes de energía eléctrica, los sistemas de comunicación constituyen componentes esenciales de su plataforma tecnológica para la supervisión y control de sus líneas de transmisión y subestaciones e, incluso, para ejercer ese control de forma remota. La Compañía Anónima de Administración y Fomento de Eléctrico (CADAFE) fundada en 1958, basa sus comunicaciones entre sus despachos y subestaciones, en el sistema de onda portadora para la transmisión de voz, datos y transferencias de disparos. Dicho sistema utiliza las líneas de potencia como medio de transmisión de la radiofrecuencia de portadora y enlaza telefónicamente, entre si, las diferentes gerencias de producción (cada gerencia está básicamente asociada a un centro de control).

En la actualidad, CADAFE está modificando su sistema de comunicaciones para optimizar su plataforma de control y, a su vez, poder brindar un mejor servicio eléctrico sin indisponibilidades o interrupciones. Entre estas modificaciones se encuentran el establecimiento de nuevos enlaces y equipamiento de fibra óptica, microondas y onda portadora digital, para aumentar la confiabilidad en el envío de señales entre las subestaciones.

Este trabajo contempla el análisis de los diferentes sistemas de comunicaciones existentes y próximos a ser instalados en la red eléctrica de la Región Central de CADAFE, la evaluación de los servicios de telecomunicaciones que brinda cada subestación, los estudios de costos, confiabilidad y disponibilidad de ciertos enlaces y, posteriormente, la elaboración de una propuesta en relación a la optimización del sistema de comunicaciones, obteniendo un mejor aprovechamiento de los recursos.

3. Marco Referencial

La Región Central de CADAFE está integrada por 96 subestaciones (SS/EE) que, en su mayoría, emplean como plataforma de comunicaciones el sistema de Onda Portadora Analógico. Los servicios transmitidos por las SS/EE son básicamente voz, datos y teleprotecciones.

3.1 Teleprotecciones

Los sistemas de protecciones de línea adquieren la información de tensión y corriente de la línea y disponen del valor complejo de la impedancia de la misma en su modo de operación normal. Ante una falla en la línea, la corriente de cortocircuito crece, la tensión disminuye y el valor de la impedancia visto por la protección se reduce. Los relés de protección reciben continuamente el resultado de la medición local y la información del extremo distante desconectando la línea en caso de falla (*Guía de diseño y normas de sistemas de teleprotecciones*, s.f.).

El intercambio de información de variables de estado en forma permanente entre los equipos terminales de una línea se denominan *Protecciones diferenciales*. La información de órdenes enviadas en forma instantánea y única en base a cambios abruptos de impedancia en la línea o cortocircuitos, entre otros, recibe el nombre de *Protecciones de Disparo*.

3.2 Sistemas de Onda Portadora (OP)

En la figura 1 se presenta la configuración típica de un enlace de OP sobre líneas de alta tensión.

Los dispositivos de acoplamiento de la línea están constituidos por trampas de onda, condensadores de acoplamiento, protecciones, transformadores o

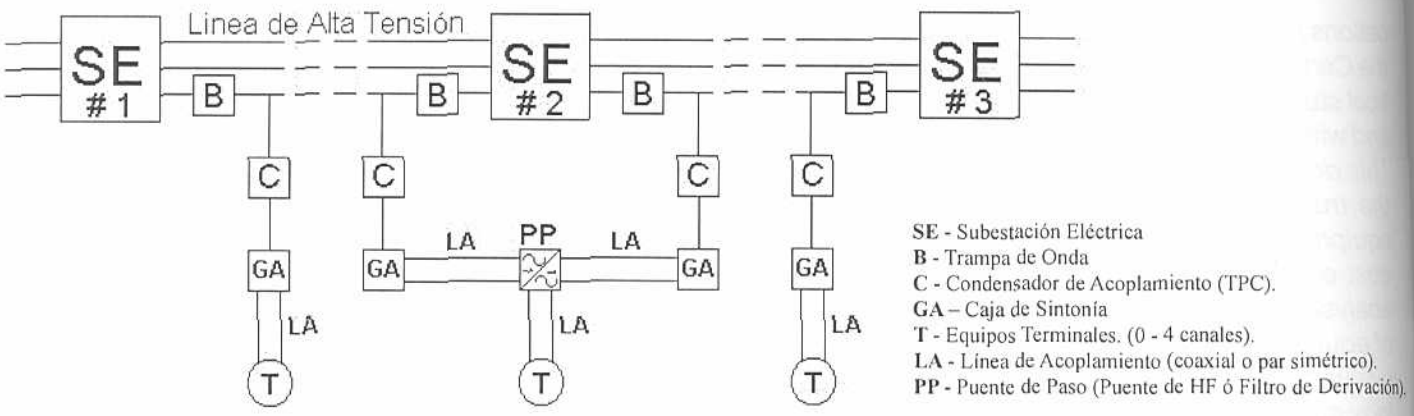


Figura 1.-Configuración típica de un enlace de OP sobre líneas de potencia

filtros de acoplamiento y por las líneas de conexión de HF (*High Frecuency*). Su función es enviar la señal de HF sobre la línea de alta tensión sin riesgo alguno para los equipos terminales de OP y evitar que se introduzcan pérdidas apreciables en la transmisión de energía a frecuencia industrial

Los equipos terminales de OP se emplean para la transmisión simultánea de voz y señales de supervisión. Se encargan de empaquetar las señales de datos que vienen de la RTU (Unidad Terminal Remota, *Remote Terminal Unit*) y las señales de voz que vienen de la central telefónica, y modularlas a través de las líneas de transmisión, con la finalidad de que la información proveniente de cada una de las SS/EE llegue al Despacho de Carga. El método de modulación comúnmente utilizado es el de banda lateral única (SSB, *Single Side Band*), ya que éste produce un mayor aprovechamiento del espectro de frecuencias (*López Da Silva, 1994*). Para terminales de un solo canal y para un solo tipo de transmisión (voz o señales de control), se puede emplear también doble banda lateral (DSB, *Double Side Band*) o frecuencia modulada (FM, *Frequency Modulation*).

3.2.1 Sistema de Onda Portadora Analógica (OPA)

Los equipos de comunicaciones de las SS/EE que emplean el sistema de OPA, se encuentran localizados en la sala de telecomunicaciones, en la cual se pueden encontrar:

- ***Equipos de OPA:*** la capacidad de canales varía entre uno y dos canales por equipo, dependiendo del mismo. El ancho de banda utilizado está entre 4 y 8 KHz. Las bandas de transmisión y recepción están separadas en múltiplos de 4 KHz.
- ***Centrales Telefónicas:*** se encuentran ubicadas en aquellas S/E donde se maneja mayor cantidad de información. Se encargan de codificar y decodificar las llamadas salientes y entrantes a las SS/EE
- ***Unidad Terminal Remota (UTR):*** Se encarga de tomar muestras de las variables de tensión, potencia, corriente, frecuencia, estado de las interrupciones, alarmas, indicaciones, etc., para luego convertir dicha información en código binario, según el formato convenido, y enviarla por un canal de comunicaciones a la estación maestra

3.2.2 Sistema de Onda Portadora Digital (OPD)

Los sistemas OPD permiten obtener un mejor aprovechamiento del espectro de frecuencias disponible. Esto se logra con el empleo de módems de alta velocidad, técnicas de compresión de voz y multiplexación de datos, que hacen posible incrementar la cantidad de información que puede transmitirse en un ancho de banda determinado (*DIMAT*, 2004). La estructura del sistema de OPD es similar al de los sistemas analógicos; las variantes se presentan en los equipos terminales que poseen mayor velocidad y en los sintonizadores de línea, que deben ser sustituidos para el sistema digital, ya que la función principal de estos elementos es acoplar los equipos a la impedancia de la línea para

protegerlos, por lo que es necesario ajustarlos a las impedancias de los nuevos terminales. El resto del sistema mantiene principio de funcionamiento de los sistemas de OP explicados anteriormente.

Los equipos de OPD actuales están constituidos por un módem y un convertidor de frecuencias. La capacidad de transmisión es de 81 Kbps, de los cuales se transmiten las informaciones de sincronismo y las del canal de servicio a la velocidad de 1 Kbps quedando como capacidad útil del sistema 79 Kbps, permitiendo multiplexar varios canales de voz y datos y, como alternativa, establecer un canal de 64 Kbps más otros canales adicionales, de hasta un total de 15 Kbps para señalización, telecontrol, etc.

3.3 Sistema de microondas

Son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija en 300 GHz.

Cuando la distancia entre las SS/EE es elevada y además no se obtiene el nivel de recepción mínimo para conseguir una calidad aceptable de la señal transmitida, se emplean técnicas de Diversidad de Frecuencia y *Hot Standby* (HSB). En la primera, se transmiten dos señales que al llegar al receptor pasan por un combinador por diversidad que suma estas señales para obtener en la salida una mejor señal. El método HSB consiste en dos transmisores a una misma frecuencia, cuya salida a la antena se encuentra comandada por un diodo PIN, el cual conmuta uno de los dos transmisores. En el otro extremo, dos receptores reciben la misma señal y emplean un combinador que mezcla ambas señales, mejorando de esta manera la relación S/N. En la figura 2 se presenta el diagrama de bloques de un sistema de microondas.

Entre los elementos de un sistema de microondas se encuentran el Multiplexor de Acceso que agrega los servicios de voz, datos y teleprotecciones de nivel PDH a SDH y viceversa. El Conmutador, el cual reencamina las líneas de transporte punto a punto mediante la unión de líneas de entrada a líneas de salida. El MODEM que actúa como equipo terminal del circuito de datos permitiendo la transmisión de un flujo de datos digitales a través de una señal analógica y el transceptor que realiza las funciones de transmisión y recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones. Los elementos pasivos constituidos por las antenas, guía de ondas, etc.

3.4 Sistemas de Fibra Óptica

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces.

Entre los elementos de este sistema se encuentra: a) la fibra óptica propiamente dicha, que constituye el medio de transmisión de la información. En CADAFE el sistema SDH está diseñado para la transmisión digital utilizando fibras ópticas monomodo. Se emplean cables OPGW *(Optical Ground Wire) y* ADSS *(All Dielectric Self Supporting)* para interconectar las SS/EE y cables dieléctricos subterráneos para empalmar el pórtico de entrada de la S/E con los cables aéreos; b) el multiplexor óptico lleva a cabo funciones de multiplexación y terminal óptico de línea, entre otras; c) el Multiplexor de Acceso y Conmutador, los cuales tienen las mismas funciones que para el caso de microondas.

3.5 Proyectos planificados a corto y mediano plazo

3.5.1 Empresa ZTE

Este proyecto consiste en la construcción de una red de fibra óptica con cable OPGW; incluye la instalación de cinco anillos que cubrirán prácticamente todo el territorio nacional. El anillo principal estará ubicado en la Región Central de CADAFE y operará a nivel STM-64 con fibras de 72 hilos. Los nodos de los ramales de ese anillo principal, operarán a nivel STM-16 o STM-1, según sea el caso.

3.5.2 Empresa Asea Brown Boveri (ABB)

Esta empresa está encargada de la implementación de tres proyectos en la Región Central de CADAFE. El primer proyecto ya ha sido desarrollado y consiste en dos enlaces punto a punto definidos a nivel STM-1 entre tres SS/EE cada uno. El segundo proyecto contempla la instalación de una troncal de 374 Km entre seis SS/EE. El tercer proyecto es la continuación de la troncal anterior y se incluye la

ampliación de tarjetas para multiplexores ópticos y equipos de transferencia de disparo en las SS/EE de la primera troncal que se comunicarán con la segunda. Los enlaces están soportados por canales de transmisión digital a velocidades de 622 Mbps (STM-4).

3.5.3 Empresa Eprotel

El proyecto a ser desarrollado por esta compañía comprende una red de microondas a nivel STM-1. La red a implementarse está constituida por 13 SS/EE, de las cuales seis son repetidoras. Para el funcionamiento de las teleprotecciones se emplearán equipos externos de transferencia de disparo.

3.5.4 Empresa PLC de Venezuela

Está encargada de dos proyectos que comprenden la construcción de una red de conmutación de voz y datos sobre enlaces digitales para el sistema eléctrico troncal de CADAFE. Incluye la instalación de 30 enlaces de OPD y un enlace de fibra óptica a nivel STM-1.La mayoría del equipamiento a ser instalado está constituido principalmente por equipos de OPD, sintonizadores de línea, un *NetPerformer* por cada equipo de OPD y centrales telefónicas. El enlace de fibra óptica es a nivel STM-1.

3.5.5 Empresa Elecnor

El proyecto a ser desarrollado por esta compañía comprende el desarrollo de un sistema de comunicaciones de OPD en un total de ocho SS/EE; así como los NetPerformer (NP) y demás equipos asociados que permitan la implantación de una red de datos conmutados con VoIP. Incluye también equipos terminales electro-ópticos SDH para cuatro SS/EE. Los enlaces estarán soportados por canales de transmisión digital a velocidades que están comprendidas entre los 28,8 Kbits/s y los 64 Kbits/s, con anchos de banda individuales, no superior a los 4 KHz para el caso de OPD y 155 Mbps (STM-1) para el caso fibra óptica.

Se tiene previsto emplear un NP por cada S/E con "n" salidas para conectar "n" cantidad de equipos OPD que se encuentren en la misma.

3.5.6 Empresa Teletrol

Instalará enlaces de OPD en cuatro SS/EE y enlaces de fibra óptica entre dos SS/EE. Se emplean equipos OPD, sintonizadores de línea y centrales telefónicas privadas. Para el sistema de fibra óptica, se utilizan nodos digitales SDH, multiplexores de acceso PDH y centrales telefónicas. Adicionalmente para las funciones de teleprotección se emplean terminales de teleprotección digital externo. El sistema de Fibra óptica es a nivel STM-1.

4. Metodología

El proyecto se dividió en cuatro fases. La primera fase se basó en el levantamiento de la información referida a fuentes primarias y secundarias: licitaciones, contratos, bases de datos y material interno de la empresa. La segunda fase consistió en la organización de la información por proyectos y por sistemas de comunicaciones, de forma tal que posteriormente fuera posible la elaboración de un plano de convergencia de todos los sistemas de comunicaciones, que constituye la herramienta principal para la siguiente fase de análisis. Dicha fase comprendió la evaluación de solapamiento de proyectos, exceso o déficit de enlaces y equipos, estudios de fusión y rutas de las red basados en las ventajas y desventajas de cada sistema y finalmente el análisis desde el punto de vista de servicios transmitidos. Adicionalmente se realizaron dos estudios, el primero basado en la disponibilidad y confiabilidad de ciertos enlaces empleando como herramienta el software MatLab y el segundo, definido como una evaluación de costos estimados. La última fase se basó en la elaboración de una propuesta basada en los tres análisis realizados así como en los estudios, de forma que se pudiera obtener el mayor aprovechamiento de los recursos empleados sin afectar la calidad del sistema, reduciendo la posibilidad de falla de la red.

5. Resultados

5.1 Estudio de confiabilidad

En este estudio se determina por aproximación el nivel de confiabilidad presente en los sistemas de comunicaciones de OP y fibra óptica, basándose en datos típicos del comportamiento de fallas y tiempos de reparación de componentes y equipos del sistema. Para poder pronosticar el desempeño operacional, se empleó el modelos de redes, en el que se calcula la confiabilidad de cada componente

del sistema y posteriormente la confiabilidad total basados en configuraciones en serie o paralelo (*Fernández, Boriani y Cairós,* 1996).

La confiabilidad o disponibilidad (D) de un sistema se define como se muestra en la ecuación 1.

$$D = 1 - I.$$

Donde D= disponibilidad; I= Indisponibilidad.

El cálculo de disponibilidad se realiza según la ecuación 2, donde $MTBF_{SIST}$ es el tiempo medio entre fallas del sistema, $MTTR_{SIST}$ es el tiempo medio para repararles y $M = MTBF_{SIST} + MTTR_{SIST.}$

$$D = \frac{MTBF_{SIST}}{(MTBF_{SIST} + MTTR_{SIST})} = \frac{MTBF_{SIST}}{M}$$

Sustituyendo en la ecuación 1 y posteriormente derivando ambos miembros simplificando los términos e integrando, se obtiene la ecuación 3, que puede ser utilizada como aproximación de la ecuación de confiabilidad para el caso que no se tengan los valores de MTTR (*Huerta*, 2006).

$$D(t) = e^{-\lambda . t}$$

Donde λ representa la tasa de fallas entre equipos, la cual se puede calcular por medio de la ecuación 4.

$$\lambda = {}^{1}\!/_{MTBF}$$

Para el modelo de redes se establece que la disponibilidad de elementos en serie se multiplica y la disponibilidad total se calculará según la ecuación 5.

$$D_{TOTAL} = D_1 \, x \, D_2 \, x \ldots \; D_n$$

La disponibilidad de dos elementos conectados en paralelo se obtendrá según la ecuación 6.

$$D_{TOTAL} = D_1 + D_2 - D_1 \, x \, D_2$$

Para todos los sistemas se calcula la confiabilidad del enlace en un año, por lo que t = 24 horas/día * 365 días/año = 8760 horas/año.

5.1.1 Sistema de Fibra Óptica

El valor de la confiabilidad va a depender de la configuración que presente el sistema. Teóricamente se puede demostrar que este valor aumenta cuando existe redundancia, ya sea de equipos o de rutas alternas. CADAFE instalará dos configuraciones en los proyectos de fibra óptica (*Pérez y Soruco*, 1995).

Configuración a: instalación de anillos de fibra óptica con redundancia de rutas y equipos (caso de empresa ZTE).

Configuración b: instalación de troncales I y II de fibra óptica sin redundancia (caso de empresa ABB).

En la figura 2 se muestran los esquemas de bloques que representan las dos situaciones mencionadas.

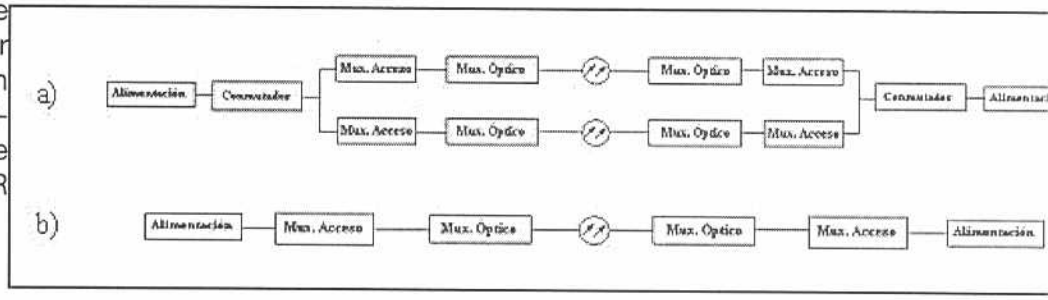


Figura 2.- Esquema de bloques de enlaces de fibra óptica. a) Con redundancia de rutas y equipos. b) Sin redundancia de equipos.

En la tabla 1 se presentan los MTBF de los equipos con sus tasas de fallas y valores de confiabilidad.

Elemento	MTBF (Horas)	Tasa de Fallas (horas $^{-1}$)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	$7{,}69 \times 10^{-6}$	0,93483558
Mux.Acceso	79.365	$12{,}6 \times 10^{-6}$	0,8954972661
Mux. Óptico	303.096	$3{,}299 \times 10^{-6}$	0,9715119263
Fibra óptica	350.400	2,85 x10-6	0,975309912
Conmutador	2.000.000	5×10^{-7}	0,9956295782

Tabla 1.- Valores de MTBF y tasas de fallas de los elementos del sistema de fibra óptica

Al aplicar el modelo de redes en ambas configuraciones a elementos en serie y paralelo, se obtiene un valor de confiabilidad de **80,89%** para la empresa ZTE y **64,71%** para la configuración a instalar por la empresa ABB. Los valores obtenidos demuestran que la configuración empleada por la empresa ZTE aumentará la confiabilidad de los enlaces y la red, ya que empleará como mecanismo de respaldo la conmutación en el otro sentido del anillo en caso de ocurrir una falla.

5.1.2 Sistema de Microondas

El diagrama en bloques para un sistema de microondas se presenta en la figura 3.

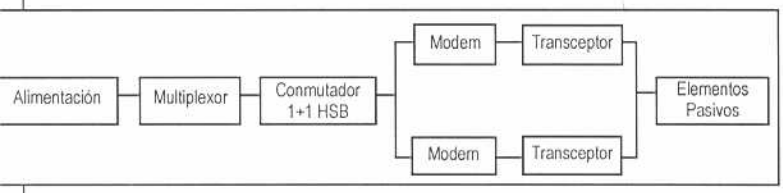


Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de microondas

En la tabla 2 se presentan los MTBF de los equipos con sus tasas de fallas y valores de confiabilidad obtenidos.

Elemento	MTBF (horas)	Tasa de Fallas ($horas^{-1}$)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	$7{,}69 \times 10^{-6}$	0,93483558
Mux. Acceso	60.000	$1{,}67 \times 10^{-5}$	0,8641577032
Conmutador	2.000.000	5×10^{-7}	0,9956295782
MODEM	130.000	$7{,}69 \times 10^{-6}$	0,93483558
Transceptor	120.000	$8{,}33 \times 10^{-6}$	0,92960083
Elementos Pasivos	50.000	2×10^{-5}	0,8392891462
Medio de transmisión (valor exigido por el CCIR)			0,999999

Tabla 2. Valores de MTBF y tasas de fallas de los elementos del sistema de microondas

Aplicando el modelo de redes, según el diagrama mostrado, en el que se tienen elementos en serie y en paralelo, se obtiene un valor de confiabilidad de **44,51%.**

5.1.3 Sistema de Onda Portadora Analógica

Para el estudio de confiabilidad en el sistema OPA, se emplea el diagrama en bloques presentado en la figura 4. No se considera en este diagrama la trampa de onda, ya que ésta funciona como un filtro pasa-bajo impidiendo que las señales de HF pasen hacia la S/E, pero en caso de que fallara, el enlace de comunicaciones seguiría funcionando, por lo que para efectos de este estudio se considerará que ésta no afecta la confiabilidad.



Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de OP

En la tabla 3 se presentan los valores de MTBF para cada elemento del sistema, con sus respectivas tasas de fallas y valores de confiabilidad obtenidos.

Elemento	MTBF (Horas)	Tasa de Fallas ($horas^{-1}$)	Confiabilidad
Alimentación	130.000	$7{,}69 \times 10^{-6}$	0,93483558
Equipo de OPA	15.304,56	$65{,}34 \times 10^{-6}$	0,5641819913
Sintonizador de Línea (SL)	1.000.000	1×10^{-6}	0,991278257
Capacitor de Acoplamiento (CA)	1.000.000	1×10^{-6}	0,991278257
Medio de transmisión	1.000.000	1×10^{-6}	0,991278257

Tabla 3.- Valores de MTBF y tasas de fallas para los elementos del sistema de OPA

Aplicando el modelo de redes y considerando que todos los elementos del sistema, según el diagrama del sistema, se encuentran en serie, se obtiene un valor de confiabilidad de 26,62%.

5.1.4 Calculo de disponibilidad del sistema de Microondas

El cálculo del desvanecimiento plano Po viene dado por la ecuación 7.

$$P_o = k \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot \left(1 + E_p\right)^{-1,4}$$

Donde k es el factor climático, calculado según la ecuación 8, Ep es la inclinación en miliradianes, d es la distancia del enlace en kilómetros y f la frecuencia en GHz.

$$k = 5\times10^{-7}\cdot P_L \times 10^{-0,1\cdot(C_o - C_{lat} - C_{lon})}$$

En esta ecuación C_o, C_{lat} y C_{lon} son los coeficientes de altura, latitud y longitud, respectivamente, y P_L es el porcentaje de tiempo que el gradiente del índice de refracción es menor a 100 N/K.

El cálculo del desvanecimiento selectivo P_s viene dado por la ecuación 9, donde S_{Rx} es el factor de signatura del receptor, η es el factor de actividad multitrayecto, τ_m es el retardo medio y τ_o es el retardo típico.

$$P_s = 430\cdot\eta\cdot S_R \cdot \frac{\tau_m^{\,2}}{\tau_0}$$

El cálculo del factor de actividad multitrayecto η y el retardo medio τ_m, se calculan según se indica en las ecuaciones 10 y 11, respectivamente.

$$\eta = 1 - e^{-0,2\cdot\left(\frac{P_o}{100}\right)^{0,75}}$$

$$\tau_m = 0,7\cdot\left(\frac{d}{50}\right)^{1,3}$$

La probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento total P_{tot} se calcula según la ecuación 12.

$$P_{tot} = P_o + P_s$$

El cálculo de disponibilidad considerando un criterio de grado alto para un BER ("Bit Error Rate") de 10^{-6}, se realiza según la ecuación 6.22.

$$C = 100 - P_{tot}$$

El criterio de grado alto exigido por la UIT se presenta en la ecuación 13. El valor de confiabilidad obtenido según la ecuación anterior debe ser superior al valor de grado alto de la UIT.

$$C \geq 100 - \left(\frac{d}{2500}\right)\cdot 0,4$$

En la tabla 4 se presentan los valores de disponibilidad obtenidos para cada enlace.

Enlace	Disponibilidad exigida por la UIT (Grado Alto)	Disponibilidad obtenida
Mariposa - Cerro CADAFE	99.99969120000000	99.99999999999693
Cerro CADAFE – Cerro Boquerón	99.99900160000000	99.99999926237510
Cerro Boqueron - Santa Teresa	99.99535360000000	99.99999393525251
Cerro Boquerón - Cerro Platillón	99.98620960000000	99.92811334352433
Cerro Platillón - Cerro Café	99.98795360000000	99.99133962356059
Cerro Café - Valencia	99.99766400000000	99.99999922284674
Cerro Café – Arenosa	99.99596960000000	99.99999439905758
Cerro Café - Horqueta	99.98985600000000	99.99608698375755
Cerro Café – Cerro El Silencio	99.98834880000000	99.99444833249234
Cerro El Silencio – Planta Centro	99.9926656000000	99.99949760498774
Cerro Platillón – Filial Elecentro	99.99315360000000	99.99996681624285
Cerro Café – Filial Eleoccidente	99.99873760000000	99.99999995967892

Tabla 4.- Valores de disponibilidad obtenidos para los enlaces de microondas a instalar

5.2 Estudio de Costos

El estimado de costos fue realizado para los enlaces mostrados en la figura 5, correspondientes al núcleo de la red híbrida a instalarse, conformada por los tres sistemas de fibra óptica, microondas y OPD.

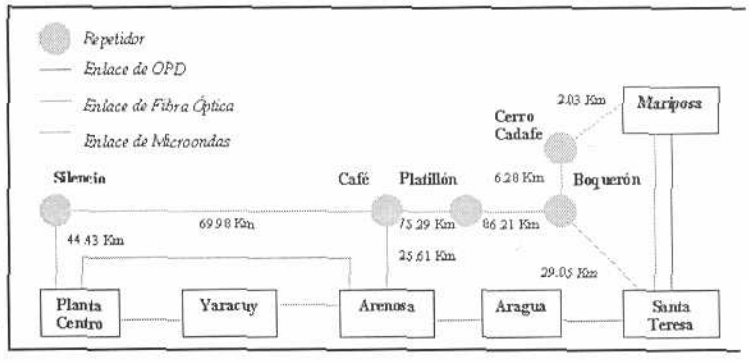


Figura 5. Conexión entre las SS/EE centrales de la red de comunicaciones

5.2.1 Sistema de Onda Portadora Digital

Para este sistema, la inversión realizada es en equipos y por lo tanto será estándar para cualquier enlace de OPD. No se consideró para este estimado los costos de cableado, ingeniería de detalle y puesta en servicio. Los equipos tomados en cuenta para el estudio se muestran en la tabla 5 con sus respectivos costos.

Equipo	Costo (US$)
Onda Portadora Digital	28.000
Sintonizador de Línea	3.000
NetPerformer	7.500
Armario para equipos	2.500

Tabla 5. Costo de los equipos para enlaces de OPD

En la red que se implementará se observan dos casos en relación a los *NetPerformer* (NP). El primero es el caso de la empresa PLC que emplea un NP por cada OPD y el segundo es el caso de la empresa ELECNOR que emplea un NP por *n* OPD, siendo *n* la cantidad de equipos OPD presentes en la S/E. Para este análisis se tomó en cuenta que los NP tienen hasta 4 salidas V.35. De las seis SS/EE a las que se les aplicó este estudio, se consideró el caso de la S/E *Arenosa*, ya que en la misma se instalarán mayor cantidad de equipos de OPD (siete equipos en total). En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para los casos y su respectiva desviación porcentual.

	Costo Total (7 enlaces desde Arenosa)	Δ	Δ %
Caso A	287000	37500	13,06
Caso B	249500	0	0

Tabla 6. Tabla comparativa entre casos

5.2.2 Sistema de Microondas

En la tabla 7 se establece que para los equipos terminales SDH, los costos incluyen las tarjetas, antenas, equipos de transferencia de disparo y guías de onda a emplear; en el caso de las torres se incluye en el costo mostrado el suministro, transporte e instalación de las mismas. En los puntos repetidores sólo se considerarán los terminales SDH, ya que este punto funciona como tránsito y no es necesario insertar o extraer la información de servicios.

Equipo	Costo (US$)
Equipo SDH	22.000
Multiplexor de Acceso	46.000
Cableado	3.000
Torre triangular 50 mts.	100.000
Torre triangular 30 mts.	40.000
Torre Triangular 15 mts.	10.000
Armario para equipos	2.500

Tabla 7. Costo de los Equipos para Enlaces de Microondas

En la tabla 8 se presentan los costos totales obtenidos para cada enlace.

Enlace	Costo Total ($)
Planta Centro – Arenosa	490.000
Arenosa – Santa Teresa	751.000
Santa Teresa - Mariposa	411.000

Tabla 8. Costos totales obtenidos para cada enlace de microondas

5.2.3 Sistema de Fibra Óptica

Del total de enlaces a los que se les aplicó este estudio, se implementarán con fibra óptica. Los multiplexores ópticos empleados en los mismos cubren hasta 90 Km de distancia. Los equipos y el cable que se consideraron se muestran en la tabla 9 con sus respectivos costos. No se consideraron en este estudio los costos de instalación.

Equipo	Costo (US$)
Mux STM-4	78.500
Multiplexor de Acceso	27.500
Eq. Transferencia de Disparo	14.000
Amplificador Óptico	42.000
Cable OPGW	2.600 / Km
Armario para equipos	2.500

Tabla 9. Costos de equipos del sistema de fibra óptica

En la tabla 10 se presentan los costos totales obtenidos para cada enlace.

Enlace	Costo Total ($)
Planta Centro – Arenosa (63 Km)	291.300
Arenosa – Yaracuy (160 Km)	630.000
Santa Teresa – Mariposa (41 Km)	288.100

Tabla 10. Costos totales obtenidos para cada enlace de fibra óptica

5.3 Análisis de Solapamiento

La tabla 11 muestra las SS/EE que presentaron coincidencia o solapamiento de proyectos en el estudio realizado.

Caso	S/E	Equipos existentes	Equipos a instalar	Contratista	Otros Proyectos en la S/E
A	La Mariposa	2x OPD-1	3x OPD + 3x NP (1xV35)	PLC	Fibra Óptica
			2x OPD + 1x NP (2x V.35)	ELECNOR	Micro ondas
B	Santa Teresa	4x OPD-1	6x OPD + 6x NP (1xV35)	PLC	Fibra Óptica
			4x OPD + 1x OPA + 1x NP (5x V35)	ELECNOR	Micro ondas
C	Planta Centro	N/A	1x MUX STM-1 + 1x MUX Acceso	ELECNOR	Micro ondas
			1x MUX STM-4 + 1x MUX Acceso	ABB	OPD
D	S/E pertenecientes al proyecto Banda Ancha				

Tabla 11. Casos de SS/EE con solapamiento de proyectos

Para los casos A y B de la tabla 11 se tienen dos contratistas instalando el mismo sistema de comunicación en la misma S/E. Evaluando los enlaces entre *La Mariposa* y *Santa Teresa*, se tiene que hay dos enlaces existentes con equipos OPD-1; adicional a esto, la empresa PLC instalará tres nuevos enlaces entre estas SS/EE y posteriormente la empresa ELECNOR agregará otros dos enlaces; se tendrán entonces siete enlaces de OPD entre estas SS/EE. Tomando en cuenta que entre las mismas además de fibra óptica (STM-4) también se instalará microondas (STM-1), se tendrá triple redundancia de sistemas de comunicación. En lo que a confiabilidad se refiere, se consideraría la fibra óptica como sistema principal, los radioenlaces como respaldo y el sistema de OPD como segundo respaldo.

Para el caso C, la empresa ELECNOR instalará equipos ópticos que operarán a nivel STM-1 adicionales a los que instalará la empresa ABB a nivel STM-4 en la segunda troncal de su red de fibra óptica. La idea de instalar el multiplexor STM-1 es continuar el enlace *Yaracal – Tucacas – Morón* de fibra óptica, pero lo óptimo sería emplear los equipos que instalará ABB para hacer una conexión de ese enlace en *Planta Centro* con la red de ABB.

El caso D se refiere a todas las SS/EE que pertenecen al proyecto de Banda Ancha y que forman parte del anillo principal y del ramal secundario. Para varios de estos casos se está considerando la instalación de equipos a nivel STM-1 y STM-4 en SS/EE que incluirán equipos a nivel STM-16 y STM-64; se debe considerar que cuando esté implementada la red de banda ancha se tendrá ampliada la red de comunicaciones, aumentando la transmisión de la información y proporcionando redundancia de equipos en ciertas SS/EE.

También se evaluó en este estudio el déficit en SS/EE que no ha sido considerado en ningún proyecto y que aunque, en gran parte, son estaciones terminales y no de tránsito entre SS/EE, no dejan de ser menos importantes. En los casos analizados se encontró que alrededor de 27 SS/EE serán consideradas solamente por el proyecto de Banda Ancha según el anillo principal; el resto de ellas (aproximadamente 25 SS/EE) no han sido consideradas en ningún proyecto, siendo el único sistema con el que se comunican actualmente el de OPA.

5.4 Análisis de Fusión de los Sistemas de Comunicaciones

A continuación se realiza un análisis cualitativo de las ventajas y desventajas que presenta cada sistema de comunicación, con la finalidad de evaluar la forma en la que se han dispuesto los sistemas principales y de respaldo entre las diferentes SS/EE.

5.4.1 Sistema de Onda Portadora

Debido a que el medio empleado para este tipo de sistema es la línea de transmisión eléctrica de alta tensión, éstas están diseñadas para resistir movimientos sísmicos, daños producidos por el hombre, vandalismo, etc. Otra ventaja importante es que se pueden implementar enlaces en trayectos de gran longitud (cientos de kilómetros) que ya están cubiertos por la línea de transmisión eléctrica, siendo únicamente necesario instalar los componentes y equipos en las SS/EE origen y destino. Sin embargo, en relación a este último aspecto, a pesar de que pueden cubrir grandes distancias, hay factores que intervienen limitando la longitud del enlace, entre estos el ruido producido por las altas tensiones, en especial el ocasionado por el efecto corona. En relación a la capacidad, los equipos de OPD, los cuales pueden alcanzar mayores velocidades que los analógicos, en la mayoría de los casos no es posible obtener de los mismos los valores establecidos

por los fabricantes de los equipos, debido a que éstos se ven seriamente afectados por el ruido de la línea, el cual muchas veces es mayor al esperado por no recibir el mantenimiento adecuado.

5.4.2 Sistema de Microondas

Estos sistemas presentan la ventaja de poder transmitir en banda ancha, ya que debido a que la frecuencia de transmisión es alta, la razón del ancho de banda ocupado por la señal a la frecuencia de transmisión es pequeña; además, gracias al ancho de banda es posible emplear una antena para transmitir y recibir varios canales de radio. La transmisión en HF hace posible tener antenas de alta ganancia porque la longitud de onda será corta; lo que a su vez, permitirá emplear transmisores de baja potencia y tener antenas de gran directividad, logrando instalar varias antenas en una misma torre sin ningún inconveniente, siempre y cuando se empleen canales de frecuencia adecuados.

Entre las desventajas, se tiene que son susceptibles a desvanecimientos o atenuación de la señal por cambios atmosféricos, reflexiones, etc; estos valores aumentan para frecuencias superiores a los 10 GHz. Además, debido a que el medio de transmisión es el aire, es necesario tener línea de vista para que la señal llegue al receptor; en muchos casos no es posible evitar los obstáculos ya que éstos dependerán de la topología del terreno, lo que implica la instalación de repetidores que aumentan notablemente los costos de un enlace, sobre todo para enlaces de largas distancias como se pudo evidenciar en la sección 5.2.

5.4.3 Sistema de Fibra Óptica

Este tipo de sistemas presentan grandes ventajas en comparación con los sistemas de comunicaciones mencionados anteriormente y muchos otros más, sobre todo por el gran ancho de banda que es posible obtener al emplearlos. Las atenuaciones son mínimas debido a las bajas pérdidas del cable de fibra óptica y las distancias que pueden alcanzar los enlaces son considerablemente mayores sin el empleo de estaciones repetidoras (*Gómez*, 2004). Además, el aislamiento eléctrico permite que atraviesen zonas de fuertes inducciones sin riesgos de cortocircuitos. Otras ventajas son: mayor resistencia a la corrosión que los cables metálicos; resistencia a altas temperaturas, entre otras. En este sentido, sin embargo, es necesario realizar los cálculos correspondientes a los valores de temperatura que puede alcanzar el cable durante las corrientes de cortocircuito, producidas por fallas en las líneas, las cuales pueden ocasionar el oscurecimiento (atenuación) de las fibras al sobrepasar valores en el orden de 85-100 °C durante los tiempos de actuación de las protecciones de aproximadamente 350 ms.

5.4.4 Fusión de Sistemas de Comunicaciones

En la figura 5 se presenta el esquema de fusión de los diferentes sistemas y proyectos que se implementarán en las SS/EE de la Región Central de CADAFE.

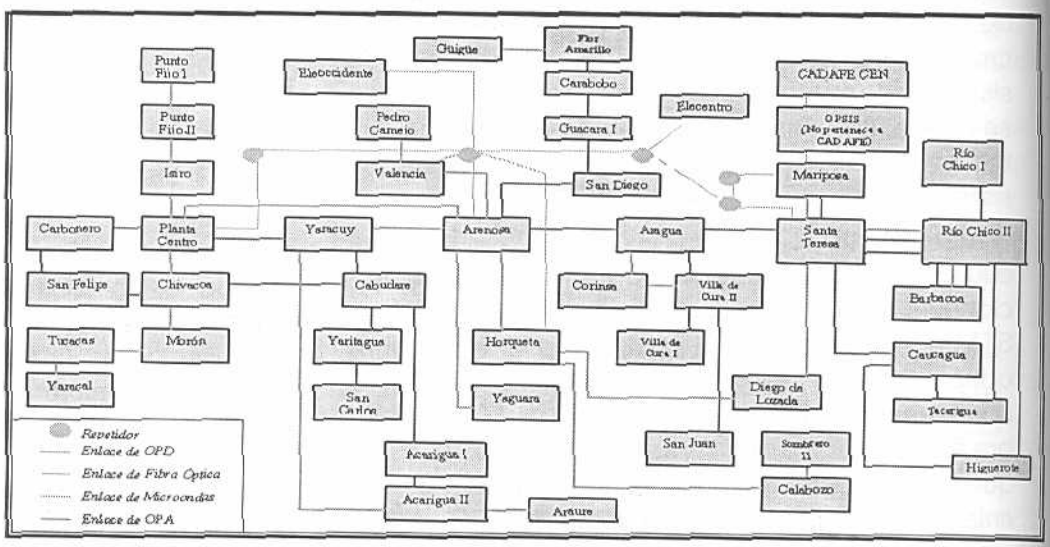


Figura 6.- Esquema de fusión de sistemas y proyectos que se implementarán en las SS/EE de la Región Central de CADAFE

En la red predominan los enlaces de OPD y de fibra óptica. También se detallan los casos de SS/EE entre las cuales hay tramos de enlaces de fibra

óptica acoplados con tramos en los que el sistema principal es el de OPD; tales como: *Güigüe - Flor Amarillo* y *Villa de Cura II – Corinsa - Aragua*. En estos casos la capacidad de la fibra de 155 Mbps está siendo desperdiciada al entrar en un tramo no mayor a 64 Kbps.

Existen en la red dos enlaces de OPA que complementan tramos en los que ya existen sistemas principales y de respaldo; éstos son los casos de los enlaces *Santa Teresa – Río Chico II – Barbacoa*. La capacidad de estos enlaces es notablemente más baja a la del sistema principal y el de respaldo que se encuentran trabajando a 622 Mbps y 64 Kbps, respectivamente.

La instalación de la red de microondas observada en el núcleo de la red, se encuentra en redundancia con el sistema de fibra óptica que se implementará, por lo que estaría funcionando como sistema de respaldo en la mayoría de los enlaces, ya que hay que considerar que la red de microondas trabajará a nivel STM-1 y la red de fibra óptica a nivel STM-4. Según el estimado de costos realizado en la sección 5.2, en los enlaces correspondientes a las SS/EE principales de la red, los enlaces de microondas constituyen un costo significativamente mayor que los enlaces de fibra óptica por la cantidad de repetidores que se emplean y, además, porque tratándose de trayectos tan largos, es necesario emplear diversidad de frecuencia.

En cuanto a la topología general de la red, la mayoría de los enlaces, incluso la red de microondas que funcionaría de respaldo para una parte de los enlaces de fibra óptica, está configurada punto a punto, lo que implica que en caso de falla en algún repetidor, el tramo quedaría aislado y no se efectuaría la comunicación.

5.4.5 Análisis de Servicios

Los medios de comunicación permiten el envío de las señales de protección según lo siguiente:

- Radioenlaces digitales punto a punto (típicamente información de protecciones intercambiada a 64 Kbps).
- Transmisión digital por fibra óptica (por lo general intercambiando a 64 Kbps).
- Onda portadora sobre la línea de alta tensión: analógicas (hasta 9600 Bd) y digitales (hasta 64 Kbps).

A continuación se realiza una comparación entre las ventajas que presentan los diversos sistemas de comunicaciones que se están implementando actualmente en CADAFE basados en las necesidades para cada tipo de servicio.

5.4.5.1 Sistema de Onda Portadora

Actualmente el sistema de protecciones es analógico y se encuentra funcionando, en su mayoría, sobre un medio de comunicaciones también analógico que posee baja capacidad y que por lo tanto debe ser configurado de forma tal que los diferentes servicios convivan en el mismo sistema, superponiéndose. Para estos efectos, debido a que se cuenta con un canal de 4 KHz, en la banda de telefonía se emplea la mitad del ancho de banda y se superpone con las señales de teleprotección (disparos). El resto del canal se emplea para la transmisión de datos, que por las condiciones que el mismo presenta, no supera los 2400 Bd con el canal compartido, permitiendo alcanzar sólo los 9600 Bd utilizando canales extendidos y sólo dedicados para este tipo de servicios; aunque también se debe considerar que el aumento de la velocidad traerá ligado un mayor valor de ruido. Sin embargo, considerando que el envío de teleprotecciones a través de los enlaces constituye uno de los servicios más importante para la empresa, no se le puede dedicar canales exclusivos a ninguno de los otros dos servicios, ya que en caso de emergencia se les da prioridad a las teleprotecciones y se envían únicamente éstas por la línea de transmisión, interrumpiendo los demás servicios.

Para el envío de las teleprotecciones por medio del sistema de OPA, no es posible abastecer un gran número de canales, dada la limitación física que impone el espectro de RF. En los vínculos de comunicaciones digitales se dispondrá de canales PCM a 64 Kbps o normalizados en 56Kbps.

Para el caso de protecciones diferenciales, el contenido de información es mayor que cuando solamente se transmiten disparos, por lo cual la calidad del canal de comunicaciones debe asegurar valores de relación señal a ruido (S/N) de 20 dB en condiciones adversas o BER=10^{-7} (tasas de error, *Bit Error Rate*), según sea el caso, canales analógicos o canales digitales. En las protecciones por órdenes, el contenido de información es menor que para las protecciones diferenciales, por lo cual la calidad

del canal de comunicaciones debe asegurar valores de S/N=15 dB o BER=10^{-6} de forma análoga al caso anterior. En los enlaces de comunicaciones por OPA se utiliza sólo una parte del mismo para transmitir los disparos, por lo cual el valor de ruido en el canal disminuye y pueden obtenerse mejores valores de S/N. Como consecuencia, la velocidad de transmisión será menor que para las protecciones diferenciales (*Guía de diseño y normas del sistema de Teleprotección,* s.f.).

Para el caso de los disparos directos remotos es vital la confiabilidad, ya que desconexiones erróneas causarían indisponibilidades importantes en el sistema de transmisión, además que, si no se realiza una transmisión inmediata pueden ocasionarse serios daños al sistema. Las teleprotecciones enviadas por el sistema de OPA e incluso para el OPD, pueden ser perturbadas por el ruido de la línea, distorsionando la información recibida en el receptor que puede provocar errores, retardando la llegada de una orden, impidiendo un comando o confundiéndolo, entre otros.

Cuando se tienen equipos de OPD que permiten una capacidad de transmisión para los servicios de 64 Kbps, ya que se tiene una capacidad útil de 79 Kbps de los cuales se emplean 15 Kbps para señalización (*DIMAT, 2004),* hay que tomar en cuenta que estos resultados se obtienen en función de la relación S/N, que se ve seriamente afectada por el alto ruido de la línea de alta tensión ocasionado, entre otros factores, por el efecto corona que se genera en las descargas parciales existentes en los elementos constitutivos de la línea y se encuentra presente dentro del espectro del RF de OP en forma inversamente proporcional a la frecuencia a transmitir. En ambientes altamente ruidosos es posible que la capacidad útil del equipo deba reducirse a la mitad o a un tercio del valor máximo, es decir, a 39,5 Kbit/s y a 26,3 Kbit/s, respectivamente; esto con el fin de poder establecer la comunicación en condiciones de reflexiones de la señal y de ruido de línea muy desfavorables, como es el caso de las líneas de alta tensión. El ruido impulsivo también puede afectar seriamente la transmisión de información utilizando el sistema de OP. Este tipo de ruido, a pesar de que no está presente constantemente en la línea, se produce cuando se accionan equipos eléctricos, disparos remotos, etc; lo que lo hace particularmente importante a considerar en la implementación de estos sistemas, ya que el mismo debe coexistir con el envío de señales de teleprotección. Otro factor importante a considerar es el hecho de que los equipos de OPD a instalar utilizan modulación QAM, que no es recomendable para el envío de teleprotecciones digitales por el retardo que introducen (*Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora*,s.f.).

5.4.5.2 Sistemas de Microondas

Para este caso se tienen grandes ventajas en comparación a los sistemas de OP, comenzando por el hecho de que permiten mayor capacidad ya que se encuentran operando a nivel STM-1, es decir, a 155 Mbps. En este sentido, para el caso de las teleprotecciones la vinculación es a través de un equipo de teleprotección digital, por medio de una interfaz G.703 a velocidad de 64 Kbps (nivel PDH) que es insertada en el multiplexor de acceso. Este último se conecta al nodo SDH por medio de interfaz E1 y se transmite por el enlace de microondas a nivel STM-1. En este caso, la velocidad no se reducirá por problemas de ruido en la línea de alta tensión como ocurre en los equipos de OP, ya que el enlace utiliza como medio de transmisión el aire.

Ya que se dispone de mayor ancho de banda, es posible el envío de telefonía y datos a mayor velocidad sin interrupciones del sistema en el momento en el que se transmitan los disparos y sin emplear equipos adicionales que permitan un mejor aprovechamiento del ancho de banda como sucede en el caso anterior.

5.4.5.3 Sistema de Comunicaciones por Fibra óptica

La utilización del sistema de fibra óptica para la transmisión de señales de teleprotección resulta muy conveniente debido a la alta velocidad del medio y a la alta inmunidad a interferencias electromagnéticas. Para este tipo de sistemas se está considerando la transmisión de información a nivel STM-4 (622 Mbps), lo que implica suficiente capacidad para transmitir voz y datos sin necesidad de emplear equipos adicionales que mejoren el ancho de banda, el uso de canales exclusivos para el envío de teleprotecciones de forma completamente independiente al resto de los servicios y la posibilidad, incluso, de emplear en el futuro videoconferencia.

La vinculación de los equipos de teleprotecciones se realiza a través de interfaz G.703, en velocidades 64 Kbps (o equivalente); o por medio de tarjetas incluidas en el multiplexor que luego accederán al enlace a nivel STM-4.

Para este tipo de sistema de comunicaciones no se tiene el problema de asignación de frecuencias y utilización del espectro y tampoco se tienen atenuaciones por condiciones atmosféricas. Todos los puntos mencionados proporcionan a la transmisión de los diferentes servicios mayor confiabilidad.

5.4.6 Propuesta

Tomando en consideración las configuraciones de los sistemas de OPD evaluadas en los análisis anteriores, en las que se observó la diferencia notable en la cantidad de **NetPerformer** a ser instalados por las empresas PLC y ELECNOR, se propone el empleo de dos o hasta tres **NetPerformer** en cada una de las SS/EE que posean gran cantidad de enlaces OPD o en aquellas en las que este sistema funcione como sistema principal para elevar la confiabilidad.

Para el caso del enlace *Mariposa – Santa Teresa,* presentado en el análisis de solapamiento en el que se implementarán siete enlaces de OPD adicionales a los sistemas de microondas y fibra óptica que también se instalarán, se considera que es posible realizar un mejor aprovechamiento de los recursos reubicando los equipos que se instalarán en la ampliación de los últimos dos enlaces. Se propone la reubicación de estos dos enlaces hacia los definidos entre *La Mariposa – Tejerías* y *Tejerías – Soco*, que actualmente se encuentran operando con equipos de OPA, para que estas dos últimas SS/EE pasen a formar parte de la nueva red en la que convergerán los nuevos sistemas de comunicaciones proporcionando mayor confiabilidad. Igualmente, para el caso de la instalación de equipos ópticos a nivel STM-1 en la S/E *Planta Centro* adicionales a los equipos STM-4 que se tienen previstos, se plantea ubicar los multiplexores de la empresa ELECNOR en la S/E *San Juan*; de esta manera se tendría la posibilidad de conectar el tramo *Arenosa – Horqueta – Calabozo – Sombrero II* por medio de esta S/E al tramo *Villa de Cura II – Corinsa – Aragua*, aumentando la confiabilidad de los enlaces *Villa de Cura II – San Juan* y *San Juan – Sombrero II*, en los que sólo se instalará OPD y OPA, respectivamente.

Para lograr establecer comunicación por medio del sistema de fibra óptica entre las SS/EE *Sombrero II – San Juan – Villa de Cura II*, es necesario la construcción de enlaces de fibra óptica entre *San Juan - Villa de Cura II* (17 Km) y *Sombrero II – San Juan (72 Km),* que implicarán una inversión aproximada de 44.200$ para el primer enlace y de 187.200$ para el segundo, según los costos estimados que se han considerado. Adicional a esto, es posible conectar este enlace de fibra óptica al enlace de la primera troncal, ya que actualmente el enlace de fibra óptica *Horqueta – Calabozo* se encuentra en funcionamiento. Con estas conexiones se lograría establecer el enlace punto a punto *Aragua – Corinsa – Villa de Cura II - San Juan – Sombrero II – Calabozo – Horqueta – Arenosa.*

Con la propuesta aquí expuesta, se obtendrá un enlace entre las SS/EE implicadas de mayor capacidad. Sin embargo, ya que la mayoría de los enlaces conformados en la red que se ha fusionado son punto a punto y sin redundancia, la confiabilidad del sistema se puede ver afectada en caso de que alguno de los enlaces intermedios falle lo que se puede solucionar diseñando mecanismos de respaldo. Para evitar inversiones mayores en sistemas independientes como el de microondas, se propone cerrar anillos con los enlaces de fibra óptica que se instalarán para tener redundancia de rutas, enviando la información en los dos sentidos del anillo. Considerando esto, se propone la instalación de cable OPGW en los siguientes enlaces: *Arenosa – Aragua* (81 Km), *Aragua – Santa Teresa* (100 Km) y *Planta Centro – Yaracuy* (152 Km); aprovechando que las SS/EE involucradas ya cuentan con equipos terminales instalados porque pertenecen a otros enlaces hacia otras SS/EE, por lo que sólo sería necesario invertir en la compra e instalación del cable que se estima estaría en el orden de 210.600$, 260.000$ y 395.000$, para el primero, segundo y tercer enlace, respectivamente. Con estos tres enlaces y la propuesta realizada en el párrafo anterior, se estarían cerrando tres anillos que mejorarán la confiabilidad de la red sin tener que implantar otros sistemas. En la figura 7 se muestra cómo quedaría la ubicación de los tres anillos mencionados.

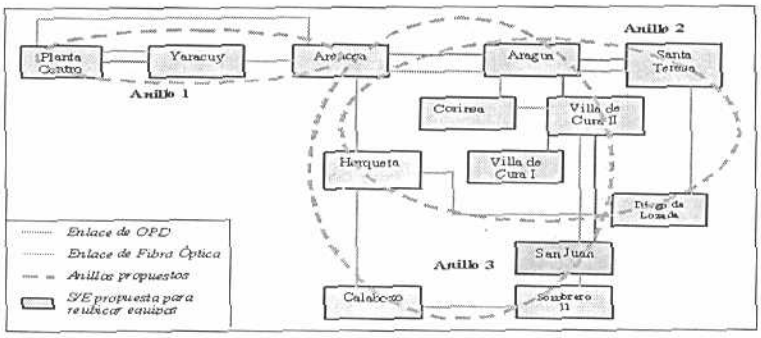


Figura 7. Propuesta de creación de anillos de fibra óptica con reubicación de equipos y construcción de enlaces de fibra óptica

Anillo 1: *Arenosa – Yaracuy – Planta Centro – Arenosa*

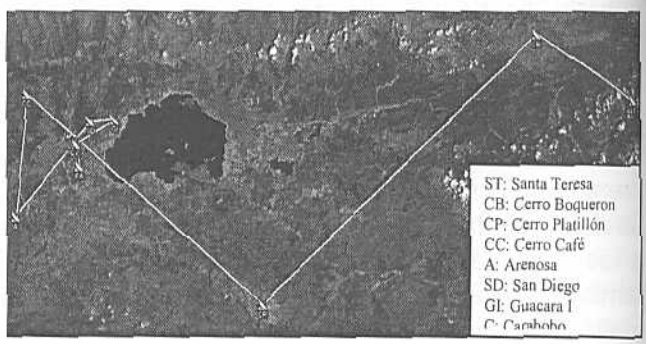
Anillo 2: *Santa Teresa – Aragua – Arenosa – Horqueta – Diego de Lozada – Santa Teresa*

Anillo 3: *Arenosa – Horqueta - Calabozo – Sombrero II – San Juan – Villa de Cura II – Corinsa - Aragua - Arenosa*

Según el análisis realizado en la sección 5.4.4, la implementación de la red de microondas tal como está prevista estaría funcionando como sistema de respaldo para los enlaces de fibra óptica que se implementarán en la misma zona. Con la propuesta de diseño de un mecanismo de respaldo basado en anillos que proporcione mayor confiabilidad al sistema en caso de que falle algún enlace, sería posible realizar la reubicación de los equipos de microondas.

Tomando en cuenta los análisis y propuestas desarrollados, se ha considerado la opción de mantener el enlace de microondas *Santa Teresa - Arenosa*, ya que es el que se considera realmente necesario debido a que no hay enlace directo entre dichas SS/EE, siendo la ruta opcional: *Arenosa – Aragua – Santa Teresa,* cuyo sistema principal es el de OPD, en caso de que no se implementara la propuesta desarrollada con respecto a este enlace. Sin embargo, debido a que se han realizado dos recomendaciones con respecto a este enlace, es conveniente realizar una comparación entre las mismas. Para el caso del enlace de fibra óptica propuesto, sería necesario invertir sólo en la instalación del cable OPGW entre los enlaces *Arenosa - Aragua* y *Aragua – Santa Teresa*, que como se mencionó, implicaría un costo aproximado de 471.000$ entre los dos enlaces, ya que se tienen los equipos terminales en las SS/EE. Para el caso del enlace de microondas, es necesario invertir en tres repetidores por la topografía del terreno, debido a que existen obstáculos que no permiten tener línea de vista directa, y emplear diversidad de frecuencia en los enlaces de largas distancias; obteniendo como resultado un valor de la inversión del enlace aproximado a 751.000$. Cabe destacar que independientemente de la elección tomada entre las dos propuestas anteriores, es posible cerrar el anillo 3 mostrado en la figura 6.

Con base en las consideraciones y evaluación realizada, se propone una nueva red de microondas que mantiene el enlace entre *Santa Teresa – Arenosa* y además incluye el enlace *Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo,* cuyos perfiles topográficos y relativa cercanía geográfica al enlace *Santa Teresa – Arenosa,* permitirán la reubicación de la red y la posibilidad de mantener este último enlace vía microondas, en caso de elegir esa propuesta. En la figura 7 se muestra la red diseñada.



ST: Santa Teresa
CB: Cerro Boqueron
CP: Cerro Platillón
CC: Cerro Café
A: Arenosa
SD: San Diego
GI: Guacara I
C: Carabobo
FA: Flor Amarillo
PC: Pedro Camejo

Figura 8. - Enlace de microondas propuesto: Santa Teresa – Cerro Boqueron – Cerro Platillón – Cerro Café – Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo

La nueva red fue propuesta debido a que los enlaces definidos entre las SS/EE *Arenosa – Carabobo* sólo cuentan con el sistema de OPD como sistema de comunicación principal y porque no existe comunicación directa entre las SS/EE *Flor Amarillo – Pedro Camejo*; además, implementando este enlace se crearía un anillo adicional a los tres propuestos anteriormente, como se muestra en la figura 8. Aunado a esto, la creación de este enlace de microondas permitirá que el enlace de fibra óptica *Güigüe – Flor Amarillo* se comunique a un nivel más alto de capacidad.

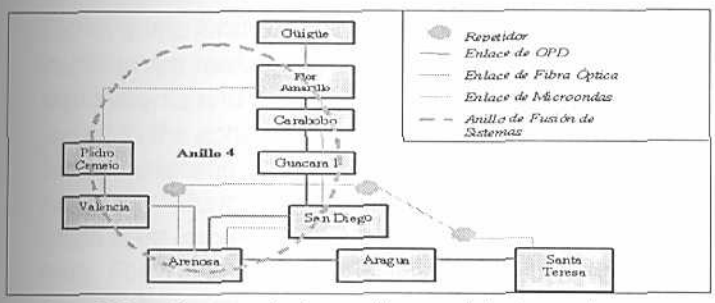


Figura 9. Creación de topología en anillo con red de microondas propuesta

Anillo 4: Arenosa – San Diego – Guacara I – Carabobo – Flor Amarillo – Pedro Camejo – Valencia – Arenosa

6. Conclusiones y Recomendaciones

El uso de las líneas de alta tensión como medio de señales de control posee diversas ventajas en comparación a las demás vías de comunicación existentes, debido a que permiten brindar servicio de electricidad en aquellas poblaciones relativamente alejadas; que para el caso en que se implementara fibra óptica en la totalidad del tendido eléctrico de CADAFE, sería posible ofrecer otros servicios tales como: telefonía, televisión por IP, banda ancha, etc.

La configuración punto a punto en todos los enlaces que se implementarán resulta la menos indicada para la red, ya que obliga a realizar una mayor inversión en sistemas que funcionen como mecanismo de respaldo. Una topología en anillo permitiría aumentar la confiabilidad de dicha Red ya que se haría posible el enrutamiento de la información en caso de falla de algún enlace. Este mecanismo de respaldo permitiría además reducir los costos, ya que sólo sería necesaria la inversión en enlaces que cerrarían los anillos.

Se encontraron fallas en la planificación de algunos proyectos, puesto que no se lleva un estricto orden y seguimiento de las mismas para la puesta a punto e implementación del proyecto a ser desarrollado.

7. Referencias bibliográficas

- DIMAT (2004). *Sistema de onda portadora digital tipo OPD-1.* Barcelona, España.
- Fernandez, M., Boriani, D. y Cairós, E. (1996) *Evaluación de Confiabilidad aplicada a Sistemas de Comunicaciones.* Unidad Técnica Eléctrica. Centro de Ingeniería Eléctrica y Sistemas.
- Gómez, E. (2004). *Sistemas de Comunicaciones con fibra óptica.* Fuente: http://www.fibernet.es/pdf/mono11.pdf
- Huerta, R (2006). *Proceso De Análisis Integral de Disponibilidad y Confiabilidad como Soporte para el Mejoramiento Continuo de las Empresas.* Noria. Monterrey, N.L. México. Fuente: http://www.noria.com/sp/rwla/conferencias/mem/Paper%20Rosendo.pdf#search=% 22calculo%20de%20confiabilidad%20mtbf%22
- López Da Silva, J. C. (1994) *Estudio, análisis de carga y reconfiguración del sistema de comunicaciones del despacho de carga central basado en onda portadora para la transmisión de datos al sistema de supervisión y control de CADAFE.* Tesis de Grado. Caracas, Venezuela.
- Pérez, B. & Soruco, Z. (1995) *Análisis del sistema de comunicaciones asociado al sistema de potencia de la C.A. La Electricidad de Caracas.* Trabajo de Pasantía. Caracas, Venezuela.
- *Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora.* Sistema de Transporte de energía eléctrica en alta tensión. Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora. Transener S.A.(sf). Fuente: http://www.enre.gov.ar/web/bibliotdNSF/0/a77173f939815daa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VIII.pdf#search=%22Gu%C3%ADa%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20Sistemas%20de%20Comunicaci%C3%B3n%20por%20Onda%20Portadora%22
- *Guía de diseño y normas del sistema de Teleprotección.* Sistema de Transporte de energía eléctrica en alta tensión. Transener S.A. (s.f.). Fuente: http://www.enre.gov.ar/web/BIBLIOTD.NSF/e816834a9a1f3df70325669d005baad3/a77173f939815daa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VI.pdf#search=%22costo%20%2B%20onda%20portadora%20anal%C3%B3gica%22

Análisis y rediseño del sistema de cobertura para televisión abierta de RCTV en la zona del Litoral Central de Venezuela

Resumen

El Litoral Central de Venezuela sufrió modificaciones después de los deslaves en 1999, demostrando ser un área de alta sensibilidad, con zonas de alto riesgo, por lo que la Autoridad Única de Área del estado Vargas establece una serie de lineamientos para garantizar que las próximas construcciones sean realizadas en zonas que cumplan los requisitos de seguridad y estabilidad. La señal de RCTV actualmente llega a la zona del Litoral Central a través de un sistema de cobertura formado por 2 estaciones transmisoras ubicadas en Punta de Mulatos y Caraballeda, las cuales se implantaron en 1973 y 1997 respectivamente. Por estas razones, surge la necesidad de analizar el servicio de cobertura existente, evaluando la ubicación de las estaciones considerando las zonas de alto riesgo, levantando sus perfiles topográficos, efectuando los cálculos de cobertura para la difusión del servicio de televisión y realizando mediciones de intensidad de campo. Además, se propone rediseñar el sistema de cobertura, proponiendo una solución con base en el estudio de alternativas; logrando asegurar un diseño adecuado y factible tanto a nivel técnico como económico para la empresa.

Palabras claves: Sistema de cobertura, difusión, zonas de alto riesgo.

■ Ing. Lorena del Carmen Chacón Carrero
lorena.ch@gmail.com

■ Tutor Ing. Nicola Buonanno
nibu95@hotmail.com

Abstract

The Central Littoral of Venezuela suffered modifications after the mudslides in 1.999, demonstrating to be an area of high sensibility, with zones of high

risk. Therefore, the Vargas State Area Authority establishes some limits to guarantee that the next constructions are realized in zones that fulfill the safety requirements and stability. RCTV's signal nowadays comes to the zone of the Central Littoral with a system of coverage formed by 2 transmitter stations; located in "Punta de Mulatos" and "Caraballeda", which were implemented in 1973 and 1997 respectively. For these reasons, there arises the need to analyze the existing service of coverage, evaluating the stations location considering the zones of high risk, raising topographic profiles, effecting television broadcast coverage calculations, and realizing measurements of field intensity. Moreover, this investigation proposes to re-design the system of coverage, giving a solution based on the study of alternatives, assuring a suitable and feasible both technical and economic design for the company.

Key words: *System of coverage, broadcast, zones of high risk.*

Introducción

Las condiciones del servicio de televisión de RCTV brindado a la población del Litoral Central, después del deslave ocurrido en diciembre de 1999, motivaron la realización de este Trabajo Especial de Grado, debido a que el estado Vargas fue el más afectado con el deslave.

Desde la primera etapa de la emergencia, se constituyeron comisiones de atención, y surgieron las dudas sobre cómo recuperar el Litoral, cómo establecer prioridades y cómo reconstruir respetando las amenazas ambientales. Bajo estas preocupaciones, se creó la Autoridad Única de Área del estado Vargas (AUAEV) integrándo distintos profesionales para atender la visión de la reconstrucción.

La empresa RCTV, para proveer el servicio de difusión de televisión en una zona determinada requiere hacer un diseño adecuado, de acuerdo a los recaudos técnicos de la Guía para la Obtención de las Habilitaciones de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta, sus Atributos y las Concesiones de Radiodifusión tomando en cuenta las características del área a cubrir, la ubicación de las estaciones, el sistema de puesta a tierra, el arreglo de antenas y los equipos de la caseta de transmisión, entre otros aspectos, con la finalidad de lograr una cobertura apropiada, empleando equipos y sistemas adecuados, de tal manera que sea posible ofrecer a la población un servicio de difusión (*broadcast*) de la mejor calidad posible.

Actualmente, RCTV cuenta con un sistema de cobertura diseñado e implantado en el Litoral Central de Venezuela, antes de los sucesos del año 1999, formado por 2 estaciones transmisoras ubicadas en Punta de Mulatos y Caraballeda. Adicionalmente, existe una situación de inseguridad en la estación de Punta de Mulatos, en la cual han ocurrido diversos robos, debido a la cercanía de los barrios que se han ido asentando en el área.

De acuerdo a lo expuesto, se puede observar la necesidad de evaluar la situación actual para cubrir el Litoral Central y a su vez rediseñar el sistema de cobertura evaluando las características actuales de la región. Con este fin se plantean ciertos objetivos que se presentan a continuación:

- Identificar las áreas definidas para ser habitadas y las zonas de alto riesgo en el Litoral Central, a través de las regulaciones vigentes en el estado Vargas.
- Conocer los patrones de radiación de las estaciones que cubren el Litoral Central.
- Realizar mediciones de intensidad de campo eléctrico en el Litoral Central para la frecuencia asociada al canal de operación de RCTV.
- Estudiar las características topográficas del Litoral Central a través del levantamiento de perfiles para las estaciones existentes y propuestas.
- Rediseñar el sistema de cobertura para cubrir el Litoral Central de Venezuela cumpliendo con las regulaciones de CONATEL para el estudio de cobertura.

La realización de este artículo presenta la estructura del Trabajo Especial de Grado definiendo el marco referencial, la metodología, donde se presenta una descripción del desarrollo de la investigación, los resultados obtenidos y las conclusiones.

I. Marco referencial

I.1 Antecedentes de la empresa

Radio Caracas Televisión es la empresa pionera en la televisión venezolana e inició sus transmisio-

nes el 15 de noviembre de 1953 desde la Colina, en Caracas. Ésta siempre ha dado lo mejor tanto en recursos humanos como en recursos técnicos. Ahora y siempre, RCTV ha tenido como objetivo entretener al venezolano, mantenerlo informado de forma veraz y objetiva presentando programas de opinión y programas educativos, entre otros. Es por esto que RCTV se ha mantenido en un lugar privilegiado dentro del hogar de los venezolanos.

La televisión es uno de los medios más extendidos en la sociedad y en la actualidad se considera el pasatiempo nacional de mayor popularidad. Una prueba de esto se tiene al consultar las mediciones de hábitos y tendencias televisivas en Venezuela efectuadas por la AGB Panamericana donde se revela que para el año 1999 el número medio de televisores encendidos durante las horas de programación fue del 12.1% y dos años después, en el 2001, se incrementa a 13.1%. "La televisión hoy en día es una parte integral de los negocios y la vida social de América" (RABINOFF, 1953, p.1)

1.2 Bases teóricas

El estudio de propagación y generación de las ondas electromagnéticas requiere del conocimiento de los principios de funcionamiento y las características de los sistemas más usados en ingeniería, así como también es necesario contar con las herramientas matemáticas apropiadas para que sea posible expresar ciertos parámetros y resultados. Por estos motivos a continuación se presentan algunos conceptos básicos que se manejarán a lo largo de la siguiente investigación.

Radiación Electromagnética

Es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío. Durante la propagación de la onda, el campo eléctrico oscila en un eje perpendicular a la dirección de propagación, y el campo magnético también oscila pero en dirección perpendicular al campo eléctrico. En la figura 1 se muestra una representación del campo eléctrico y el campo magnético.

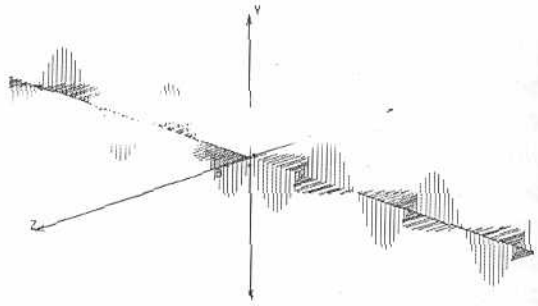


Figura 1. Representación campo eléctrico y magnético
Fuente: Elaboración Propia

Antena

La radiación de energía electromagnética de forma eficiente y en determinadas direcciones requiere la distribución de las cargas y corrientes de manera específica. "Las antenas son estructuras diseñadas para radiar y recibir energía electromagnética eficazmente" (CHENG, 1998, p. 426).

Algunos de los parámetros característicos de las antenas son: la directividad, la polarización, la ganancia y la potencia.

Altura sobre el promedio del terreno "ASPT"

Representa el parámetro que proporciona un promedio de la topografía del terreno y la influencia de las condiciones de propagación. El cálculo de la ASPT requiere las alturas en las diferentes distancias del trayecto.

Para calcular la altura sobre el promedio del terreno o ASPT es necesario contar con las alturas y distancias del trayecto.

La expresión general es la siguiente:

$$ASPT = h_{or} - NMT \qquad (1)$$

Donde la h_{or} es la altura del origen de radiación sobre el nivel del mar y NMT es el nivel medio del terreno (también conocido como altura promedio del terreno APT) y se determina dividiendo el área bajo la curva de la fracción del trayecto considerado. Para calcular la ASPT existen cuatro casos posibles:

- Terreno plano: para cuando la antena se encuentra directamente sobre el terreno a cubrir; en este caso el NMT es igual a cero y la ASPT es igual a la altura del origen de la radiación.

- Distancias menores de 3 Kilómetros: se toma como ASPT la diferencia de altura entre el origen de la radiación y la altura del sitio o antena de recepción.
- Distancias entre 3 y 15 kilómetros: se calcula la ASPT restándole a la altura de origen el cociente del área bajo la curva del trayecto.
- Distancias mayores de 15 kilómetros: la ASPT se calcula restándole a la altura de origen el cociente bajo la curva del trayecto entre los 3 y 15 kilómetros.

Intensidad de campo

"Es el parámetro que nos permite saber la magnitud con que una onda electromagnética radiada por una antena o sistema radiante llega a un punto cualquiera del espacio" (Gómez & García, 2005, p. 2).

La intensidad de campo se suele medir en unidades de tensión/longitud, como por ejemplo: Voltios/metros, dBμV/m, dBmV/m.

Existen contornos de intensidad de campo definidos por CONATEL para brindar un servicio de televisión, de acuerdo al canal de operación. La tabla I muestra el valor en dBμV/m de cada contorno definido, donde el contorno 1 y el contorno 2 se emplean para representar la cobertura a la comunidad deseada. A su vez, el contorno 3 se considera para indicar el límite de la extensión de cobertura para protección de interferencia y es considerado en la autorización de otras estaciones de televisión. Los contornos requeridos que deben indicarse en un estudio de cobertura para un servicio de televisión de acuerdo al canal que se emplee, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla I. Contornos definidos para servicio de televisión

Servicio	Contorno 1	Contorno 2	Contorno 3
TV VHF (Canales 2 al 6)	74 dBμV/m	68 dBμV/m	47 dBμV/m
TV VHF (Canales 7 al 13)	77 dBμV/m	71 dBμV/m	56 dBμV/m
TV UHF (Canales 21 al 69)	86 dBμV/m	74 dBμV/m	64 dBμV/m

Fuente: CONATEL

Para predecir la distancia desde la estación transmisora al contorno de intensidad de campo para televisión, la FCC provee las curvas de propagación FCC (50, 50), que representan la intensidad de campo estimada en el 50% de las localidades el 50% del tiempo.

Curvas FCC (50,50)

"Las curvas FCC (50,50) son unas curvas experimentales de intensidad de campo eléctrico utilizadas para predecir el nivel de señal en un lugar determinado. Este método estadístico desarrollado por la FCC refleja la influencia de todos los factores que modifican las condiciones de propagación" (RAMIREZ, 2001, p. 55).

Las curvas FCC (50,50) proveen la distancia a los contornos de intensidad de campo eléctrico para un determinado nivel de potencia con una cierta altura de antena (ASPT), que es calculada considerando su centro de radiación sobre el promedio del terreno. (BARTLETT, 1975, p. 136)

Servicio de difusión

De acuerdo a CONATEL (2005) "es aquel en el cual la transmisión se hace en un solo sentido, desde uno o más puntos de emisión y quien recibe la señal lo hace sintonizando libremente de acuerdo a su interés". La antena transmisora envía la señal que es captada por los equipos receptores de diferentes usuarios, ubicados en cualquier zona geográfica dentro del área de cobertura.

Cobertura

Es la capacidad de proporcionar un servicio de comunicaciones a los usuarios del área geográfica autorizada para tal efecto.

Zona de sombra

Es aquella parte del área de cobertura en la que debido a obstáculos topográficos del terreno, la estación no puede proporcionar un servicio adecuado.

Radiodifusión de televisión

"Es aquél cuyas emisiones son de video, audio y datos. Se transmiten al público en general en bandas especificadas en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, en señal abierta de libre recepción." (CONATEL, 2005).

III. Metodología

III.1 Análisis del sistema de cobertura actual:

Para la elaboración de la investigación se realizan una serie de actividades de investigación, consulta y análisis, recogiendo información del estado Vargas, que permiten conocer las actividades más importantes que se desarrollan y su distribución, junto con datos demográficos y su tendencia en el futuro de acuerdo a las parroquias. Estos datos se consiguen consultando el informe síntesis del Plan de ordenamiento del Área de Protección y Recuperación del estado Vargas.

Adicionalmente, se determinan las zonas de alto riesgo a través de los mapas y reglamentos existentes proporcionados por la Autoridad Única de Área del estado Vargas (AUAEV), lo cual permitirá determinar si las estaciones existentes se encuentran en zonas de riesgo y a su vez contar con datos precisos para analizar y proponer un nuevo diseño de cobertura.

La fase de análisis de los patrones de radiación de las estaciones de televisión de RCTV, que actualmente dan cobertura al estado Vargas y las frecuencias que emplean, se logró mediante la solicitud de los informes técnicos que posee la empresa. Es importante destacar que dichos informes fueron aprobados por CONATEL para brindar el servicio de televisión abierta.

Para graficar el patrón de radiación, se utilizó un programa propiedad de la empresa, en el cual se introducen cada 10 grados los valores normalizados del campo eléctrico, obtenidos a partir de las especificaciones de las antenas. La gráfica del patrón horizontal de radiación se encuentra en coordenadas polares, lo cual permite conocer la distribución de campo eléctrico en función del azimut, tomando como centro el punto de origen de radiación. Es importante destacar que todos los grados en este Trabajo Especial de Grado tienen como referencia el norte y son medidos en sentido de las agujas del reloj.

Con la finalidad de conocer los valores reales de intensidad de campo eléctrico de la señal de RCTV en el Litoral Central para sus dos canales de operación (canal 2 y canal 7), se seleccionaron 7 puntos en diferentes áreas, los cuales se muestran a continuación:

Tabla II. Puntos seleccionados para medir la intensidad de campo eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

PUNTOS	LUGAR DE MEDICIÓN
1	Plaza Las Palomas, frente a gobernación del Estado Vargas; calle 3 Guzmania. Macuto
2	Calle 1 Álamo, al lado de plaza San Bartolomé
3	Avenida Carlos Soublette, al lado de los silos. La Guaira
4	Urbanización Soublete, plaza Libertador Simón Bolívar.
5	Bulevar la marina, frente a restauran El Caney del Chivo. Catamare
6	Urbanización Páez, plaza Páez, calle Central.
7	Avenida principal Los Corales

Los equipos empleados para las mediciones de campo eléctrico en la zona del Litoral Central de Venezuela consistieron en:

- Analizador de Espectro y TV PROLINK - 3C+.
- Antena ANT – 71, tipo dipolo ajustable.
- Cable Coaxial.
- Mástil con trípode.

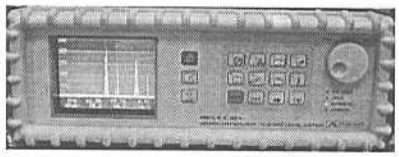


Figura 2. Equipo PROLINK-3C+ empleado para medir intensidad de campo eléctrico

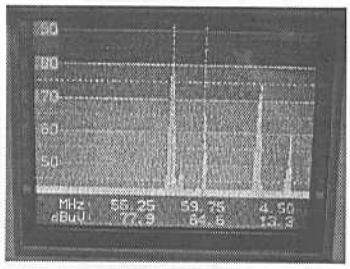


Figura 3. Pantalla del equipo PROLINK 3C+ en Modo de Analizador de Espectro

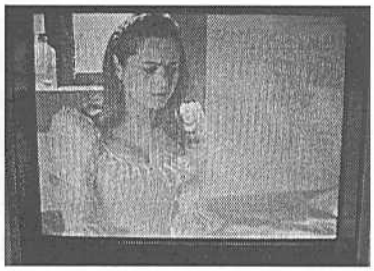


Figura 4. Pantalla del equipo PROLINK 3C+ en Modo de operación TV (presenta señal de TV demodulada)

Fuente: Elaboración Propia

Para medir la intensidad de campo radiada, se utilizó la antena patrón de medida ANT -71, un medidor de nivel de señal PROLINK-3C+, y los factores de corrección de la antena utilizada. De esta forma, la antena colocada previamente sobre el mástil se conecta al medidor de nivel de señal mediante cable coaxial, luego se procede a medir en cada uno de los 7 puntos escogidos el nivel de intensidad de señal recibido y se aplica el factor de corrección **K.**

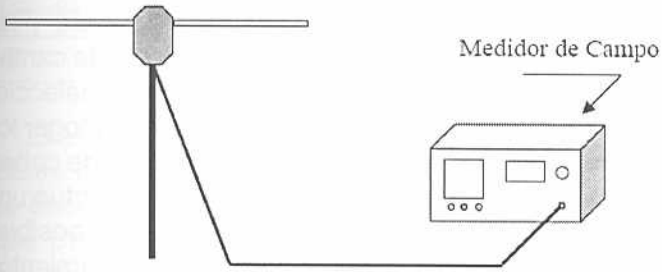


Figura 5. Esquema de conexión entre equipo medidor del nivel de señal y antena
Fuente: Gómez & García (2005, p. 3)

Adicionalmente, se midió la intensidad de la señal de Venevisión (canal 9), y Venezolana de Televisión (canal 11). Los datos obtenidos fueron corregidos por su factor de corrección "**K**" correspondiente, para posteriormente ser tabulados y presentados en gráficas comparativas entre los niveles medidos de los diferentes canales tanto para audio como para video.

Para analizar el sistema de cobertura actual, se levantaron 18 perfiles por cada una de las 2 estaciones existentes, los cuales corresponden al trayecto de radiales separados 20 grados entre sí y trazados desde la estación que se analiza, mediante los mapas suministrados por la Autoridad Única de Vargas en escalas 1:10.000 (1 centímetro equivale a 0.1 Km) y 1: 25.000 (1 centímetro equivale a 0.25 Km), y el programa Radio Mobile.

Cada perfil tiene un alcance de 50 Km, tomándose las cotas de los puntos más significativos del trayecto del radial que se analiza. La actividad se realizó de esta manera porque la empresa posee un programa aprobado por CONATEL, que toma entre otros datos, los 18 perfiles realizados por estación para presentar los cálculos de cobertura y las distancias a los contornos de intensidad de campo eléctrico definidos por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones de acuerdo al canal. Estos datos fueron tabulados y posteriormente graficados empleando el software mencionado propiedad de la empresa.

El programa emplea las curvas FCC (50,50) que proporcionan la intensidad de campo para dar un servicio estimado al 50 % de las localidades, el 50% del tiempo, a través de la entrada de datos de transmisión, de antena a emplear pérdidas del cable y datos topográficos.

Una vez recibidas todas las entradas, el programa entrega una tabla con los siguientes cálculos para cada radial:

- Nivel medio del terreno (NMT), también conocida como altura promedio del terreno (APT) en metros.
- Altura sobre el promedio del terreno (ASPT) en metros.
- Factor de rugosidad del terreno (Delta H) en metros.
- Potencia efectiva radiada (PER), tanto en Kw como dB.
- Distancia en kilómetros a los contornos de intensidad de campo eléctrico correspondientes al canal que se emplea.
- Gráfico de distancia a los contornos de intensidad de campo eléctrico.
- Gráfico del patrón de radiación horizontal.

Es importante resaltar que se analizó visualmente el terreno en los diferentes radiales, debido a que las curvas FCC (50, 50) no son del todo precisas por ser modelos empíricos, lo cual puede generar errores de cobertura. Estas curvas toman como altura de la antena la ASPT, la cual considera la altura del centro de radiación y un promedio del nivel del terreno del trayecto analizado, y en caso de existir una topo-

grafía con una elevación repentina muy abrupta, el programa puede sobreestimar la cobertura. Es por ello que no se debe usar un determinado software sin conocer sus limitaciones.

III. 2 Nuevo diseño del sistema de cobertura

Se evaluaron las condiciones de vialidad actual en el estado Vargas y las zonas de alto riesgo, de acuerdo a los mapas obtenidos a partir de la AUAEV, el software *MapSource* y *Google Earth*, con la finalidad de localizar posibles puntos para la ubicación de las estaciones trasmisoras en el nuevo diseño de cobertura.

Se estableció como criterio la necesidad de establecer alternativas para escoger dos puntos, uno que cubriese la zona de la costa que la Estación Caraballeda actualmente cubre, y otra más cercana a la población de Catia la Mar para reemplazar la Estación de Punta de Mulatos, mejorando su cobertura a través de un patrón más amplio. Los 2 puntos escogidos conformarían en conjunto un sistema capaz de cubrir el área de interés en el Litoral Central, donde existe población. La razón por la que se seleccionarán dos puntos es que con una sola estación no es factible cubrir todo el territorio del Litoral con un buen nivel de señal, por la presencia de múltiples obstáculos del terreno.

Se ubicaron los 4 puntos escogidos en zonas con cierta altura para evitar obstrucciones de la señal y así poder evitar al máximo las zonas de sombra. La ubicación definitiva de los lugares donde se localizarán las estaciones se decidirá luego del levantamiento de perfiles de cada uno de los posibles puntos y los resultados del análisis de cobertura para tomar una decisión lo más acertada posible de acuerdo a las condiciones analizadas y las visitas a las zonas.

De igual forma que en el análisis topográfico de las estaciones existentes, se procedió al levantamiento de perfiles para cada uno de los 4 posibles puntos seleccionados como alternativas en el nuevo diseño para el Litoral Central.

Adicionalmente, se revisaron modelos de antenas de varios fabricantes y se solicitó información por correo electrónico a la empresa Kathrein sobre antenas para canal 2 y 7, seleccionando las más apropiadas dependiendo del área que se deseaba cubrir.

A los puntos 1 y 2 se les asignará el mismo modelo de antena para operar bajo el canal 2 a partir la selección anteriormente mencionada, por estar en montañas adyacentes muy similares entre sí. Esta antena debe tener dos lóbulos principales en dirección de 70 grados y 290 grados aproximadamente tomando como referencia el norte.

A los puntos 3 y 4 se les asignará la misma antena seleccionada para operar bajo las frecuencias asociadas al canal 7 y por tener ubicaciones bastante diferentes, debe rotarse este equipo de acuerdo a la localización geográfica de cada punto. El punto 3 debe dirigirse hacia el norte para tener un patrón con dos lóbulos laterales mayores en la dirección de 70 grados (Maiquetía) y 280 grados (Catia la Mar) aproximadamente, y el punto 4 hacia los 100 y 250 grados, lo cual indica una rotación de la antena de 180 grados con respecto al punto 3. De esta forma se logra que los dos lóbulos principales se orienten hacia la población a cubrir en ambos casos.

El método para determinar las zonas de cobertura de cada alternativa se realiza a través del mismo programa utilizado para analizar el sistema de cobertura actual, basado en las curvas FCC (50, 50).

Una vez realizado el estudio topográfico que permitió obtener los cálculos de cobertura y las distancias a los contornos de intensidad de campo requeridas para cada uno de los 4 puntos seleccionados como alternativas, se procede a escoger los más convenientes en términos de calidad de cobertura y seguridad. Con este objetivo, se efectuó una visita a las zonas donde se ubicaban los 4 posibles puntos para observar los tipos de asentamientos urbanos cercanos y las vías de acceso. Con base en la mejor opción se tomo la decisión.

Dado que las estaciones existentes en sus casetas de transmisión poseen equipos en perfecto estado y adecuados para las características de las nuevas estaciones, se decide utilizarlos. Esto contribuye a lograr un abaratamiento de costos para la empresa, y se garantiza que el personal encargado de manejar estos equipos ya tenga el conocimiento necesario para operarlos sin inconvenientes. Por último, se selecciona las características de las torres presentes en el nuevo diseño, su forma y dimensiones, consultando a la empresa OPTODATA. Además de selecciona los componentes del sistema de puesta a tierra para drenar la corriente eléctrica al interior de la masa terrestre en las estaciones que conforman el nuevo diseño de cobertura en el Litoral Central.

IV. Resultados

IV.1 Análisis del sistema de cobertura actual

La población del estado Vargas es un factor de gran importancia para la planificación de los desarrollos futuros, por lo que se obtuvo la información de crecimiento esperado, donde se puede apreciar que la mayor densidad de población por parroquia se encuentra en Catia la Mar y Maiquetía.

Tabla III. Proyección tendencial de la población a nivel de parroquias
Fuente: Elaboración Propia

PARROQUIAS	POBLACIÓN (hab)				
	2000	2005	2010	2015	2020
Caraballeda	34,702	36,693	38,799	41,877	45,200
Catia La Mar	115,233	120,513	126,034	130,313	134,738
La Guaira	24,818	25,205	25,598	25,880	26,166
Macuto	13,639	13,268	12,907	12,664	12,425
Maiquetía	57,748	55,813	53,943	52,661	51,409
Naiquatá	16,297	17,087	17,915	18,562	19,233
TOTAL	262,439	268,400	275,196	280,567	289,171

El estado Vargas es un área afectada por el desastre natural ocurrido en 1999, razón por la cual se declara un régimen especial de administración que permita su recuperación. Como parte de la caracterización y diagnóstico, la AUAEV produjo un conjunto de mapas, producto de la delimitación del área en macro-unidades de ordenamiento y manejo, en las cuales se identifican las zonas de alto riesgo denominadas UU6 de acuerdo a los reglamentos definidos.

En las figuras 6, 7 y 8 se muestra un acercamiento en el área total del mapa para apreciar la región UU6, en las macrounidades I, II y III respectivamente. Es importante destacar que la macrounidad IV no posee zona UU6.

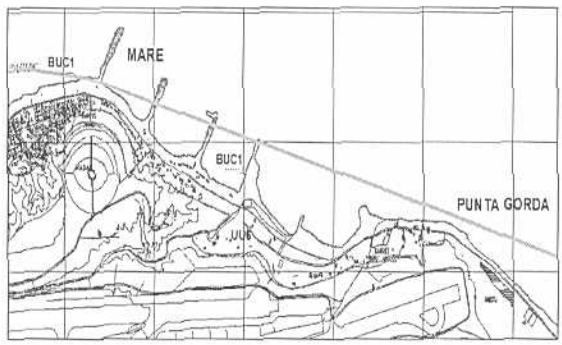


Figura 6. Zona UU6 en Macrounidad I

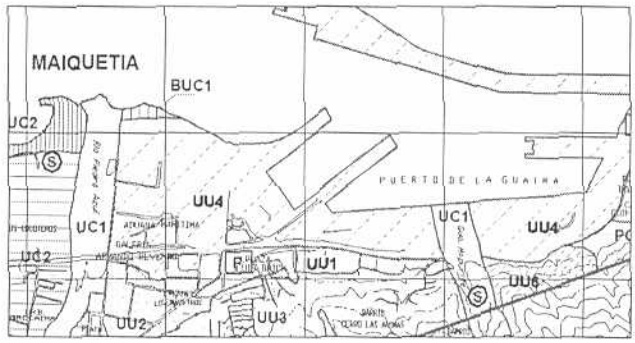


Figura 7. Zona UU6 en Macrounidad II

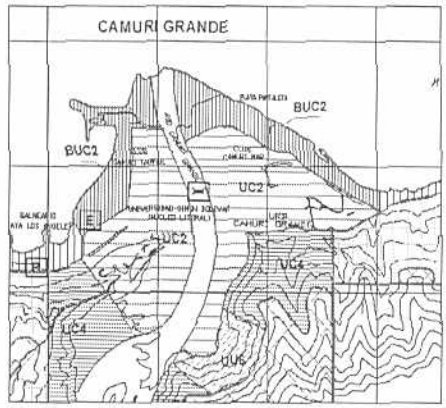


Figura 8. Zona UU6 en Macrounidad III

Fuente: Mapas de Macro Unidads del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Estado Vargas.

Una vez analizada la ubicación de las zonas de alto riesgo definidas por las autoridades existentes, es posible a su vez llegar a la conclusión de que las estaciones existentes no se encuentran en zonas de alto riesgo. La estación Caraballeda se encuentra en la zona definida como subunidad de protección y conservación llamada BUC 2, caracterizada por estar dentro del área de mayor influencia marina,

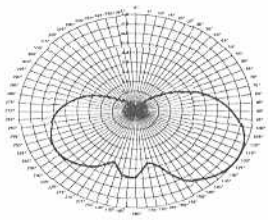


Figura 9 Patrón de radiación horizontal de Caraballeda
Fuente: Informe técnico de la estación Caraballeda

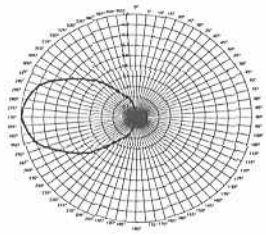


Figura 10. Patrón de radiación horizontal de Punta de Mulatos
Fuente: Informe técnico de la estación Punta de Mulatos

presentando amenazas potenciales. La estación Punta de Mulatos se localiza en el área UU3 o subunidad de rehabilitación de barrios, que se identifica como el área que comprende los asentamientos informales o barrios.

Como siguiente fase del análisis del sistema actual, se obtienen los diagramas de radiación de las antenas empleadas. El patrón de radiación de una antena representa la variación de la intensidad de campo eléctrico emitido por ésta. A continuación se presenta la gráfica del patrón horizontal de radiación en coordenadas polares, lo cual permite conocer la distribución de campo eléctrico en función del azimut, tomando como centro el punto de origen de radiación tanto para la estación Caraballeda como Punta de Mulatos.

El patrón de radiación horizontal de la estación Caraballeda presentado en la figura 9 es una cardioide, donde el lóbulo derecho es más ancho y presenta mayor cobertura en la dirección de los 120 grados, medidos a partir del norte en sentido horario. La estación de Punta de Mulatos presenta un patrón directivo orientado hacia los 270-280 grados aproximadamente, donde se encuentra la zona de Catia la Mar.

En cuanto a las frecuencias de operación de ambas estaciones, se obtiene que la estación Caraballeda funciona bajo el canal 2 (54 – 60 MHz) y la estación Punta de Mulatos bajo las frecuencias correspondientes al canal 7 (174 – 180 MHz), las cuales se encuentran dentro de la banda VHF.

Adicionalmente, se efectúan las mediciones de campo en los puntos más importantes escogidos dentro del área del estado Vargas, donde se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas IV y V, obtenidos tanto para video como para audio en los 2 canales de operación de RCTV, Venevisión (VV) y Venezolana de Televisión (VTV).

Tabla IV. Cuadro comparativo de los niveles de video de distintos canales de TV medidos y corregidos
Fuente: Elaboración Propia

	RCTV (CANAL 2)	RCTV (CANAL 7)	VV (CANAL 9)	VTV (CANAL 11)
PUNTOS	dBμV/m	dBμV/m	dBμV/m	dBμV/m
1	50,25	62,56	79,13	58,06
2	53,75	61,16	75,63	56,66
3	59,15	99,76	97,23	63,96
4	RUIDO	44,46	50,33	62,46
5	89,25	45,96	58,83	70,46
6	45,35	37,76	50,23	63,56
7	45,35	62,56	91,83	80,76

Tabla V. Cuadro comparativo de los niveles de audio de distintos canales de TV medidos y corregidos
Fuente: Elaboración Propia

	RCTV (CANAL 2)	RCTV (CANAL 7)	VV (CANAL 9)	VTV (CANAL 11)
PUNTOS	dBμV/m	dBμV/m	dBμV/m	dBμV/m
1	35,15	57,06	74,23	42,36
2	23,05	42,76	70,53	42,46
3	35,75	93,46	85,93	56,06
4	RUIDO	40,66	43,03	43,96
5	32,35	42,46	47,93	61,66
6	22,95	29,06	39,83	53,26
7	22,95	42,06	70,03	65,06

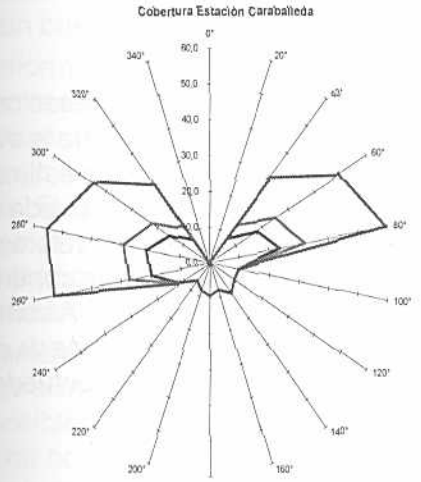
Finalmente, se efectúan los cálculos de cobertura a través del software descrito en la metodología para las dos estaciones que conforman en sistema de cobertura actual.

La estación Caraballeda, por tener un patrón de radiación orientado hacia el sur, sin ganancia entre

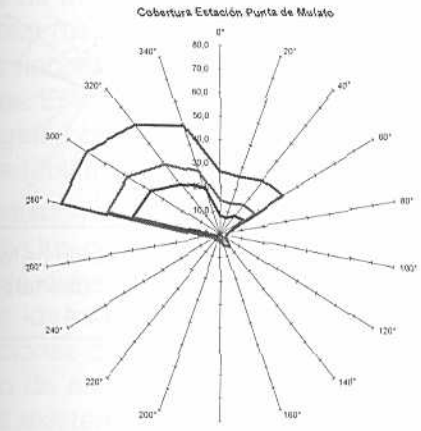
los 340° - 20 ° (medidos a partir del norte), tiene como potencia efectiva radiada un valor igual a 0 en estos radiales. Es posible observar que el contorno de ciudad principal es menor entre los 140° y 240° debido a la cercanía de las altas montañas del Ávila que impiden el paso de la señal.

La estación Punta de Mulatos también fue analizada con base en sus condiciones de cobertura. Las distancias a los contornos son mucho mayores entre los 280 y 340 grados, debido a la directividad de la antena.

Tabla VI. Representaciones de cobertura de las estaciones existentes
Fuente: Elaboración Propia



Representación de los contornos de cobertura de la Estación Caraballeda



Representación de los contornos de cobertura de la Estación Punta de Mulatos

IV.2 Nuevo diseño del sistema de cobertura

Se localizaron 4 puntos posibles en el estado Vargas para la localización de las estaciones transmisoras en el nuevo diseño.

Dos de los puntos se ubicaron en montañas adyacentes en la zona de Macuto, con la finalidad de dar cobertura a las zonas que la estación Caraballeda alcanzaba; estos puntos se llamaron "Punto 1" y "Punto 2".

Los otros dos puntos, llamados "Punto 3" y "Punto 4", fueron ubicados cercanos a la región de Catia la Mar. El punto 3 se encuentra en una montaña en los alrededores de la zona y el punto 4 se localiza en la región de Playa Grande cercana al aeropuerto de Maiquetía.

Tabla VII. Datos de los posibles puntos de cobertura en el nuevo diseño
Fuente: Elaboración Propia.

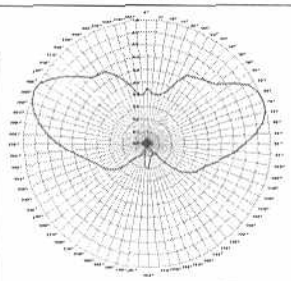
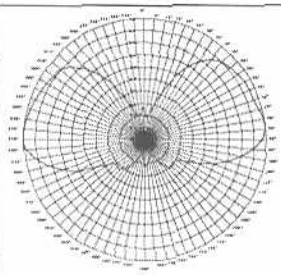
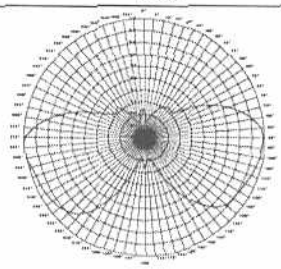
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Coordenadas	10° 36'11.39" N 66° 53'12.24" W	10° 36'3.72" N 66° 53'34.07" W	10° 35'9.65" N 67° 1'24.6" W	10° 36'27" N 67° 0'30" W
Altura	201	241	217	66

Cada una de las alternativas seleccionadas se encuentra fuera de las zonas de alto riesgo UU6, para garantizar la viabilidad y factibilidad del nuevo sistema de cobertura considerando las regulaciones existentes.

Los puntos 1 y 2 están dentro de la zona PCA2, caracterizada por permitir el desarrollo de nuevas infraestructuras, construcción de caminerías y vialidad. Además permite el mantenimiento de estructuras de transmisión y distribución eléctrica, así como también instalaciones para la recreación (AUAEV, p. 48). El punto 3 se ubica en la subunidad PCA3, que si bien no está definida como zona de alto riesgo UU6, presenta ciertas restricciones físico–ambientales, tales como altas pendientes y propensión a movimientos de masa. Por otra parte, el punto 4 se encuentra en la región UU4, la cual comprende las áreas destinadas al desarrollo de diversas actividades.

Las antenas seleccionadas para el punto 1, punto 2, punto 3 y punto 4 poseen las siguientes características:

Tabla VIII. Resumen características de las antenas seleccionadas
Fuente: Elaboración Propia

Características	Punto 1 y Punto 2	Punto 3	Punto 4
Marca	Kathrein	Kathrein	Kathrein
Modelo	3 x 2 K52 31 827	2 x 2 K52 33 57	2 x 2 K52 33 57
Frecuencia (MHz)	54 - 60	174 - 180	174 - 180
Canal	2	7	7
Ganancia (dBd)	10.3	10.2	10.2
Patrón de radiación horizontal			

Es importante recordar que la antena para el punto 3 y punto 4 es las misma, sólo que el patrón en el caso del punto 4 se encuentra rotado 180 grados respecto al norte para orientarlo apropiadamente a la ubicación de la población, debido a que esta estación se encuentra más cercana a la costa que la estación en el punto 3.

En el caso del punto 1 y punto 2 no se requiere rotar la antena, porque la ubicación de ambos es muy próxima, se encuentran en montañas adyacentes.

Al igual que en el caso de las estaciones existentes, es indispensable conocer para la evaluación de las 4 alternativas existentes una estimación del área de cobertura que cada punto puede alcanzar. Con esta finalidad, se obtienen los valores para los diferentes parámetros del cálculo de cobertura en el punto 1, punto 2, punto 3 y punto 4. A continuación se muestra una representación del área de cobertura obtenida a partir de los cálculos efectuados.

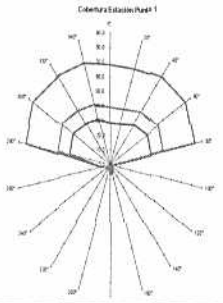
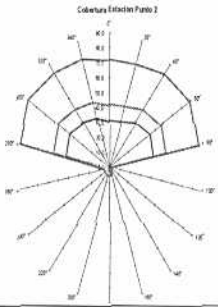
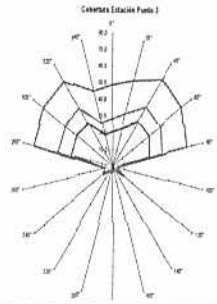
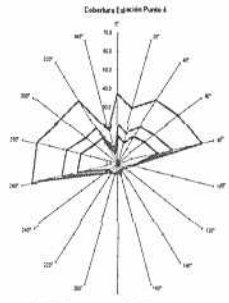
			
Representación de los contornos de cobertura del Punto 1	Representación de los contornos de cobertura del Punto 2	Representación de los contornos de cobertura del Punto 3	Representación de los contornos de cobertura del Punto 4

Tabla IX. Representaciones de cobertura de las alternativas para el nuevo diseño
Fuente: Elaboración propia

Una vez analizada la situación de riesgo, topografía, parámetros de cobertura y distancia a los contornos de intensidad de campo de cada alternativa, se realizan visitas a las diferentes zonas. Se pudo observar que las vías de acceso tanto para el punto 1 como para el punto 2 requieren cierta inversión, dado que las carreteras mostradas en los diversos mapas son muy estrechas y sólo es posible acceder mediante motos y no existe tránsito vehicular. Sin embargo, el trayecto hacia el punto 1 es más corto desde la vía de acceso más cercana, por lo que la inversión sería menor. Además, se pudo observar que las cercanías a las montañas tienen sistema eléctrico y presentan la ventaja de no estar pobladas por barrios. Finalmente, se seleccionó el punto 1 sobre el punto 2 para reemplazar a la estación de Caraballeda, considerando que ambas alternativas poseen un buen nivel de cobertura estimado.

Posteriormente, se visitaron las zonas del punto 3 y punto 4; el primero de ellos se encuentra a una mayor altura y posee vías de acceso a la montaña, sin embargo, presenta la desventaja de tener barrios alrededor. El punto 4, se encuentra en un terreno cercano a la urbanización de Playa Grande y al aeropuerto, por lo que es más seguro y con vías de acceso desarrolladas.

Adicionalmente, de acuerdo al análisis de zonas de riesgos al momento de establecer las alternativas de los posibles puntos se conoce que al punto 3, a pesar de no estar declarado como zona de alto riesgo, se le atribuyen aspectos relacionados a altas pendientes y movimientos de masas, en contraposición al punto 4 que se describe como una zona favorable para diferentes tipos de desarrollos.

Si bien el punto 3 puede dar cobertura a las regiones de interés, se seleccionó el punto 4 por representar menores riesgos y contar con las condiciones necesarias para brindar un buen nivel de cobertura. Esto solucionaría la situación de robos e inseguridad presente en la estación existente en Punta de Mulatos.

Los equipos a emplearse en las casetas de transmisión de los puntos seleccionados para el nuevo diseño de cobertura propuesto (punto 1 y punto 4), serán los mismos que actualmente existen en las estaciones de Caraballeda y Punta de Mulatos, logrando de esta manera un uso eficiente de los recursos existentes para contribuir con la factibilidad económica de la implantación del proyecto, debido a que los equipos se encuentran operando en perfectas condiciones.

El diseño de la torre para el punto 1 es triangular y cuenta con 50 metros de altura; por otra parte, el punto 4 posee 100 metros de altura por lo que selecciona una base cuadrada para brindar mayor estabilidad a la infraestructura.

El sistema de puesta a tierra para ambas estaciones está formado por una Punta de Flanklin separada del tope de la torre a través de un tubo de 2 metros de longitud, unido a un cable de acero 2/0 AWG que desciende al anillo de tierra en la base y es sujetado mediante aislantes de poliuretano que brindan aislamiento a nivel físico entre la torre y el cable. A su vez en el anillo de tierra se encuentran las barras Copperweld capaces de drenar la corriente eléctrica al interior de la tierra en forma segura, y una tanquilla de inspección del anillo permite controlar su buen funcionamiento.

V. Conclusiones

El desarrollo de esta investigación permitió conocer y analizar las condiciones del estado Vargas, poniendo en evidencia la necesidad de considerar los cambios topográficos y circunstancias de riesgo en la construcción de cualquier tipo de infraestructura dentro del territorio del Litoral Central.

El análisis del sistema de cobertura actual demostró que a pesar de que las dos estaciones existentes no se localizan en las zonas definidas como alto riesgo (UU6), no se encuentran en lugares apropiados. La estación Caraballeda se encuentra en la zona definida como subunidad de protección y conservación llamada BUC 2, caracterizada por estar dentro del área de mayor influencia marina, presentando amenazas potenciales ante movimientos sísmicos, fuertes oleajes e inundaciones. La estación Punta de Mulatos, se localiza en el área UU3 o subunidad de rehabilitación de barrios, que de acuerdo a los reglamentos de la AUAEV se identifica como el área que comprende los asentamientos informales o barrios localizados en forma dispersa

El sistema de difusión de RCTV tiene asignados dos canales de operación en Vargas: Caraballeda el canal 2 y Punta de Mulatos el canal 7, por lo que existen localidades que cuentan con ambos canales para ver la señal de la empresa, lo cual pudo corroborarse mediante las mediciones de intensidad de campo efectuadas en esta investigación.

El levantamiento de perfiles topográficos para los diferentes radiales demostró que el estado Vargas presenta un terreno con múltiples desigualdades de altura. Por una parte existen áreas de pocos metros de altura debido a la cercanía de la costa y por otra emergen elevaciones montañosas que separan al Litoral Central del Valle de Caracas.

El sistema existente logra dar cobertura a las zonas de interés del Litoral Central; sin embargo, en el contexto de un Estado vulnerable a inundaciones y deslizamientos, es un factor de riesgo contar con una estación sobre losa flotante en la costa, como lo es el caso de Caraballeda. Por otra parte, Punta de Mulatos, presenta múltiples dificultades para su manejo y operación, dada su ubicación en una zona insegura.

Una vez analizado el sistema de cobertura actual, se estudió el estado Vargas en búsqueda de posibles puntos que permitieran establecer alternativas para la ubicación de las nuevas estaciones transmisoras. Se tomaron en cuenta cuatro posibilidades, nombradas punto 1, punto 2, punto 3 y punto 4, ubicadas fuera de la zona de alto riego en los decretos de la Autoridad Única de Vargas; cada una de ellas fue estudiada por separado, levantando sus perfiles topográficos, realizando sus cálculos de cobertura y visitando su lugar de ubicación dentro del estado Vargas.

Entre las posibles alternativas de solución se escogió el punto 1 y el punto 4 para reemplazar las estaciones Caraballeda y Punta de Mulatos respectivamente. El punto 1, a pesar de tener condiciones tan similares al punto 2 se encuentra más cerca de la vía construida más próxima, por lo que la inversión por construcción de vías de acceso es menor. Por otra parte, el punto 3 se ubica en una zona muy similar en cuanto a los barrios presentes en Punta de Mulatos, por lo cual se decidió escoger el punto 4, con lo cual se logró cumplir con la premisa fundamental de este estudio para encontrar la ubicación más ventajosa, capaz de dar cobertura al Litoral Central, asegurando el resguardo de los equipos y la seguridad en la estación para los operadores y personal de la empresa, además de conseguir una cobertura adecuada.

Finalmente, para darle cobertura al Litoral Central se propuso un sistema formado por dos estaciones transmisoras, una localizada en una montaña cerca de la zona de Macuto a 201 m.s.n.m. (punto 1) y otra en las zonas cercanas al aeropuerto de Maiquetía a 66 m.s.n.m. (punto 4) con arreglos de antenas seleccionados para conseguir un patrón capaz de distribuir la energía a radiar en forma eficiente en el área del Litoral Central. Ambas estaciones que forman el nuevo diseño emplearán los transmisores de las estaciones que reemplazarán, puesto que operarán con la misma potencia.

Un sistema puede ser factible desde el punto de vista técnico y operacional, pero si no es factible económicamente para la organización, no puede ser implantado. Por esta razón, se consideraron todos aquellos factores que pudiesen contribuir con la reducción de costos. Consecuentemente, se planteó utilizar los equipos de las casetas de transmisión actuales por funcionar en perfectas condiciones, con lo cual se reducen los recursos financieros necesarios para incorporar la puesta en marcha del proyecto a los planes de desarrollo de la empresa. De tal forma, la inversión necesaria para el nuevo sistema de cobertura está constituida por las torres, arreglos de antenas, costos de instalación de ambas estaciones y construcción de carretera de acceso para el caso del punto 1.

En este Trabajo Especial de Grado se consiguió y presentó una solución tecnológica adecuada y factible, considerando indispensable cubrir las exigencias y requerimientos actuales del Litoral Central cumpliendo las regulaciones de CONATEL, con los menores costos de inversión, optimizando de esta forma el uso de los recursos de la empresa y cumpliendo con los objetivos planteados dentro del alcance definido para la investigación.

VI. Bibliografía

Autoridad Única de Área del estado Vargas (2005). *Informe síntesis Plan de Ordenamiento del Área de Protección y Recuperación Ambiental del estado Vargas*. Caracas.

Autoridad Única de Área del Estado Vargas (2004). Arrecife - Puerto Viejo, Venezuela (plano).

Autoridad Única de Área del Estado Vargas (2004). Puerto Viejo - Punta Mulatos, Venezuela (plano).

Autoridad Única de Área del Estado Vargas (2004). Punta Mulatos - Punta Tanaguarena, Venezuela (plano).

Autoridad Única de Área del Estado Vargas (2004). Punta Tanaguarena - Los Caracas, Venezuela (plano).

Bartlett George, W. (1975). *Engineering Handbook* (Sixth Edition). Washington DC: Published by the National Association of Broadcasters.

Cheng, D. (1998). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería* (Versión en español). Editorial Pearson Education, Addison Wesley Logman.

Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Honduras. *Glosario de Términos*. Extraído el 15 de noviembre de 2005, del sitio Web: http://www.conatel.hn/glosario.htm

Gómez, P. & García, I. (2005). *Medidores de Campo y su uso en medidas de señales de TV*. Prácticas de Radiocomunicación de la Universidad de Vigo. Extraído el 2 de febrero de 2006, del sitio Web: http://www.com.uvigo.es/asignaturas/rcom/GuionPractica1.pdf

Presidencia de la República (2005). *Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Área de Protección y Recuperación Ambiental del* estado Vargas (Decreto 3.413, Gaceta Oficial N° 5.758). Caracas.

Rabinoff, C. (1.983) *Principles of Television Servicing*. USA: Mc. Graw – Hill.

Ramírez, L. (2000). *Factores que impiden que la señal de televisión de RCTV transmitida desde la estación Terepaima, se propague hasta la ciudad de Carora., Venezuela*. Tesis de Grado no publicada, Escuela de Electrónica, Universidad Nueva Esparta.

Desarrollo de una herramienta de medición de desempeño en transmisión de datos para una red CDMA 1xEVDO

■ Ing. Angulo, J. e Ing. Gómez, A.
[jlangulo, arseniogomez]@lucent.com

■ Tutor Ing. Luis Birollo
[jlangulo, arseniogomez]@lucent.com

ABSTRACT

Taking into consideration the recent implementation of the 1xEvDO and 3G1x networks and the increasing demand of wireless mobile Internet services, the Lucent Technologies Technical Support Services Department developed the project: "DEVELOPMENT OF A PERFORMANCE MEASUREMENT TOOL FOR A 1xEVDO NETWORK". The objective of this project is to measure in real time the behavior of the network and the conditions under which it is operating in a fast and user-friendly manner. This tool makes a constant sampling of different parameters to measure the behavior of the different TCP/IP levels of information processing that take place in a data transference on the Internet. Some of these parameters are download and upload throughput, current bandwidth, connection attempts and quality of service, among others. The performance measurement tool also integrates a Web Browser and a FTP client so that the test can be made automatically and detect any failure fast and accurately.

One of the main characteristics of de 1xEvDO system is the user's mobility. Because of this feature, the tool uses the GPS system to measure the user's latitude and longitude and speed during the test. This information is later analyzed on a map, where the route of the test can be viewed with more detail. Each of the TCP/IP parameter are also shown on the route map for every position the user went through during the test.

Finally, at the end of every test, the tool generates a statistical report. This report shows a

summary of the most important parameters measured and allows the user to observe the results of the test fast and accurately.

Key Words: *Real time, Performance, FTP, GPS, Statistical Report.*

1. RESUMEN

Considerando la necesidad existente debido a la reciente implementación del sistema 1xEVDO y 3G1x y la creciente demanda del servicio de Internet móvil inalámbrico, se diseñó el proyecto de tesis *"Desarrollo de una herramienta de medición de desempeño en transmisión de datos para una red CDMA 1xEVDO"* con la finalidad de medir en tiempo real el desempeño de la red y las condiciones en las cuales se está operando de forma fácil, rápida y amigable. La herramienta que se desarrolla realiza un muestreo periódico de diferentes parámetros que contemplan los distintos niveles que abarcan una transmisión de datos a través de Internet, destacando principalmente la velocidad de transmisión, el ancho de banda, intentos de conexión, degradación de la calidad de servicio, basándose en la configuración del modelo TCP/IP en sus capas de transporte, red e interfaz de red.

Asimismo, integra la navegación en Internet y la transferencia de archivos vía FTP (*File Transfer Protocol*) en módulos para automatizar la realización de dichas pruebas y facilitar la detección de fallas.

Una de las principales características de EVDO es su movilidad por lo que el empleo del sistema GPS (*Global Positioning System*) representa una gran ayuda puesto que permite establecer la ubicación (latitud, longitud y velocidad) en el momento en que se realiza la prueba. Posteriormente, la información recabada se traslada a un mapa que muestra el recorrido realizado en la prueba, indicando los parámetros solicitados en los distintos puntos de medición.

Por último, permite generar un reporte estadístico general de las pruebas realizadas para poder observar de forma concisa los resultados obtenidos.

Palabras claves: tiempo real, desempeño de la red, ftp, gps, reporte estadístico.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente no se dispone de un software de interfaz gráfica, de bajo costo, que permita monitorear en tiempo real el desempeño de una conexión de datos inalámbrica establecida a través de una red CDMA/1xEVDO. El desarrollo de una herramienta de esta naturaleza permitiría al personal que labora en la gerencia de Soporte Técnico de Lucent Technologies (*Technical Support Services*) simplificar las tareas de aislamiento y depuración de problemas de transmisión de datos, contribuyendo con esto a reducir los tiempos de respuesta y resolución asociados.

Este Trabajo Especial de Grado se realiza debido a la rápida evolución de las tecnologías de las telecomunicaciones, lo que genera que se requiera de herramientas capaces de medir el desempeño de las nuevas redes.

La empresa Lucent Technologies es una de las pioneras a nivel mundial en el desarrollo y suministro de equipos de telecomunicaciones, y por esta razón requiere de una herramienta que les permita monitorear el desempeño en tiempo real de las redes CDMA 1xEVDO.

El objetivo general del proyecto es diseñar e implementar una aplicación de interfaz gráfica para medir el desempeño de una conexión de datos inalámbrica establecida a través de una red CDMA/1xEVDO.

Este documento consta de siete partes. La parte uno muestra un resumen del contenido del artículo; la parte dos presenta la introducción en la cual se describe el problema a resolver, la justificación, los objetivos y la estructura del artículo; la parte tres describe el marco referencial donde se muestra la teoría que sustenta el trabajo; la parte cuatro indica la metodología seguida en el desarrollo del proyecto y las estrategias a seguir; la parte cinco muestra los resultados obtenidos al finalizar la herramienta; la parte seis indica las conclusiones del proyecto y la parte siete muestra las referencias bibliográficas.

Las nuevas tecnologías de las comunicaciones abarcan las redes CDMA 1xEVDO y 3G1x, por lo que le invitamos a que disfrute de este artículo en el cual podrá encontrar la respuesta a muchas de sus interrogantes sobre las herramientas que monitorean el desempeño de este tipo de redes.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 1xEVDO

EVDO (*Evolution Data Only o Evolution Data Optimized*) es un estándar inalámbrico para transferencia de datos de banda ancha el cual ha sido adoptado por varios proveedores de servicios de telefonía celular CDMA en distintas partes del mundo (Enciclopedia Wikipedia, 2005). Es estandarizado por 3GPP2, como parte de la familia de estándares CDMA2000.

IS-856, conocido como 1xEV-DO, involucra una nueva tecnología en la interfase de aire, especialmente diseñada para transmitir paquetes de datos y ofrecer un eficiente uso del ancho de banda para tráfico de datos, que es de tres a cuatro veces más grande que los actuales estándares de tercera generación (W-CDMA y 1xRTT).

El protocolo de la interfase de aire de 1xEVDO está definido como una evolución del protocolo de CDMA2000 3G-1xRTT, el cual ha sido optimizado para transmitir paquetes usando una portadora separada y exclusiva de 1.25 MHz.

1xEVDO puede ser implementado como una solución "*Stand Alone*" sobre cualquier tipo de sistema CDMA. A su vez, es lo suficientemente flexible para brindar sus bondades a usuarios móviles y fijos.

1xEVDO es significativamente más rápida, proveyendo terminales de acceso (dispositivos móviles) con velocidades de interfaz de aire hasta de 2.4576 Mbps (Rev. 0) y hasta de 3.1 Mbps (Rev. A), disponible para finales de este año.

3.1.1 Evolución

El diseño inicial de 1xEVDO fue desarrollado por Qualcomm en 1999 para satisfacer los requerimientos IMT-2000 de velocidades de bajada (*downlink*) superiores a 2 Mbps para comunicaciones estacionarias. Inicialmente, el estándar era denominado HDR (*High Data Rate*) y fue renombrado a 1xEVDO una vez que fue ratificado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). El nombre hacía referencia a "*1x Evolution Data Only*", refiriéndose a ser una evolución directa del estándar de interfaz de aire 1x, con sus canales portando únicamente tráfico de datos (Enciclopedia Wikipedia, 2005). Posteriormente, debido a la posibilidad de erradas connotaciones de la palabra *'only'* en su mercadeo, la parte "DO" del estándar cambió para referirse a "*Data Optimized*". Por lo que ahora 1xEVDO significa "*1x Evolution Data Optimized*", proveyendo un énfasis de mercadeo más amigable puesto que la tecnología es optimizada para transferencia de datos.

Cuando 1xEVDO se desarrolla con una red de voz, requiere un canal de radio separado de 1.25 MHz. La Rev. A (implementación en el año 2006) ofrece un establecimiento de paquetes más rápido en los enlaces de aire, reduciendo la latencia y mejorando las tasas de datos. Además provee un incremento de la tasa máxima de bajada de datos (*downlink*) de 2.4576 Mbps a 3.1 Mbps. Rev. A mejora aproximadamente 12 veces la tasa de datos de subida (*uplink*) pasando de 0.15 Mbps a 1.8 Mbps. EVDO Rev. A soporta servicios de baja latencia incluyendo VoIP y Video telefonía en la misma portadora con servicios de datos de paquetes de Internet tradicionales.

3.1.2 Arquitectura

1xEVDO utiliza el modelo para las redes de datos inalámbricos basado en el Protocolo de Internet (IP) en la RAN (*Radio Access Network*), permitiéndole al operador ganar experiencia antes de evolucionar los sistemas de voz a sistemas basados en *All-IP* (Clark, Estrella & Robleh, 2005). A su vez, permite el acceso tanto en "*Simple IP*" y "*Mobile IP*" dependiendo de las capacidades del terminal y/o el PDSN (*Packet Data Service Node*). La figura 1 muestra el diagrama del sistema 1xEVDO con todos los componentes que lo constituyen.

Toda la información del suscriptor reside en los servidores AAA los cuales realizan el "*Accounting, Authentication and Authorization*". Los usuarios son identificados por un NAI (*Network Access Identifier*), como por ejemplo, rodrigo@3g.empresa.com. Las autenticaciones son realizadas vía RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*) hacia los servidores AAA basados en nombre, clave, información secreta.

La interoperabilidad de 1xEVDO y CDMAOne / CDMA2000 dependerá de que los móviles duales puedan monitorear canales de voz y otros servicios de IS41/IS2000 simultáneamente intercambiando datos en 1xEVDO.

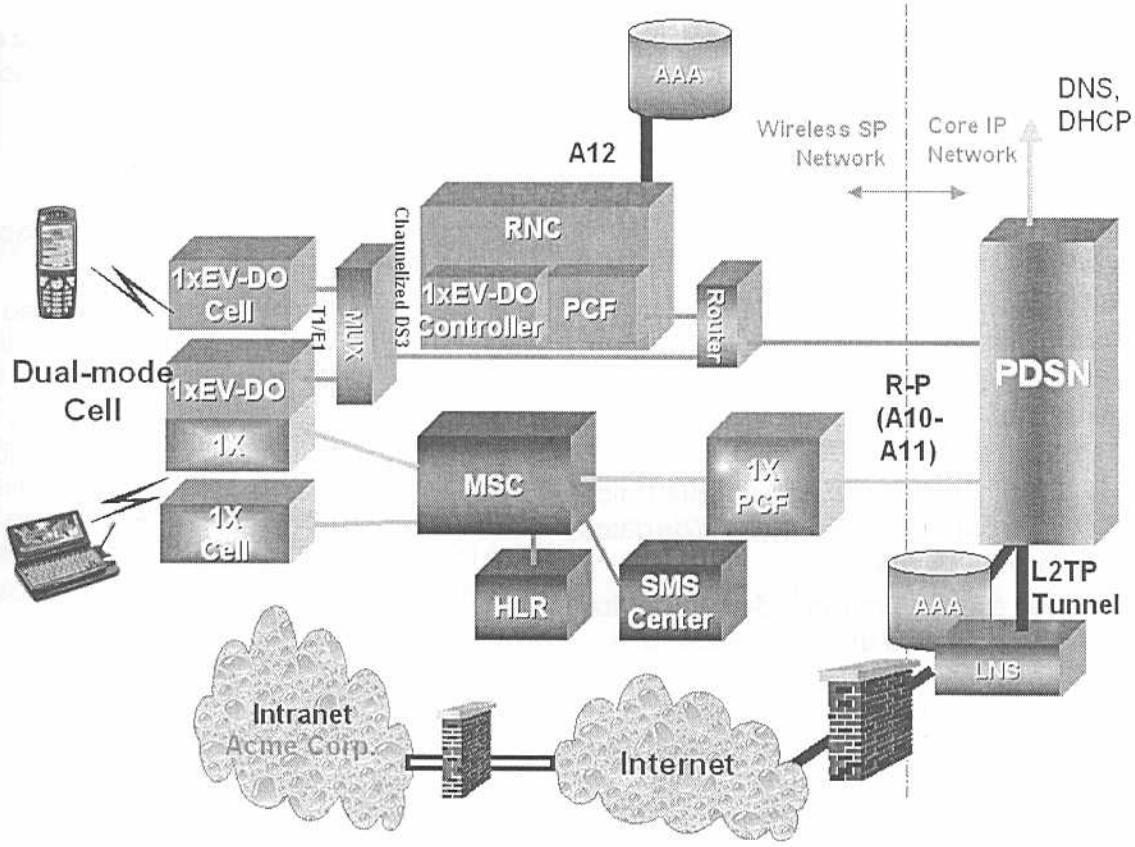


Figura 1. Diagrama del sistema 1xEVDO (tomado de 1xEVDO. Ayala, M)

3.1.3 Componentes del sistema

El sistema 1xEVDO es una combinación de dos redes: la RAN y la red IP.

La RAN consiste de los siguientes componentes (Clark, Estrella & Robleh, 2005):

- Estación Base 1xEVDO. El sistema transmisor / receptor base provee la interfase de aire 1xEVDO.
- Controlador 1xEVDO. La trama 1xEVDO FMS (*Flexent Mobility Server*), que consiste en Aps (*Application Processors*) y TPs (*Traffic Processors*), controla el sistema 1xEVDO y las interfases al 1xEVDO BTS (*Base Transceiver Station*), 1xEVDO EMS (*Element Management System*), y PDSN.
- 1xEVDO EMS. El EMS provee la interfaz de usuario de operación y mantenimiento para el 1xEVDO RAN. 1xEVDO EMS gerencia las celdas y el controlador 1xEVDO. El 1xEVDO EMS corre en el OMP-FX (*Operation and Maintenance Platform for Flexent*).

Los elementos de la red IP son manejados independientemente de la 1xEVDO RAN. Los elementos de la red IP son:

- PDSN. Un enrutador estándar que interconecta el sistema 1xEVDO, el servidor AAA y la red IP externa.
- Enrutador RAN. El enrutador provee conexión a los controladores 1xEVDO.
- Servidor RADIUS AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*).
- HA (*Home Agent*). HA es un requisito para IP móvil.
- Servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).
- DNS (Domain Name Server).

3.1.4 Enlace de bajada

Entre las principales características de los enlaces de bajada tenemos las siguientes (Ayala, 2005):

- Es un canal compartido en tiempo, no en potencia.
- Hay *soft/softer handoff* VIRTUAL, no hay *soft/softer handoff* como en IS-95A/B
- El sector sirve a un usuario a la vez, este usuario recibe toda la potencia disponible.
- El AT le dice al sector a qué rata de datos debe transmitirle.
- Posee un algoritmo de *scheduling* estadístico que permite optimizar la transmisión de datos en el canal de bajada.
- Se pueden servir un máximo de 59 usuarios simultáneamente, es decir, en estado activo (64 códigos de Walsh cubren el canal de trafico, 59 para usuarios). Si el factor de actividad es de 10% se pueden servir hasta 600 usuarios por sector.
- Los canales no son fijos, cada AT escucha un preámbulo para determinar si se le está enviando un paquete o no.

A continuación se muestra la estructura de enlace de bajada en la figura 2.

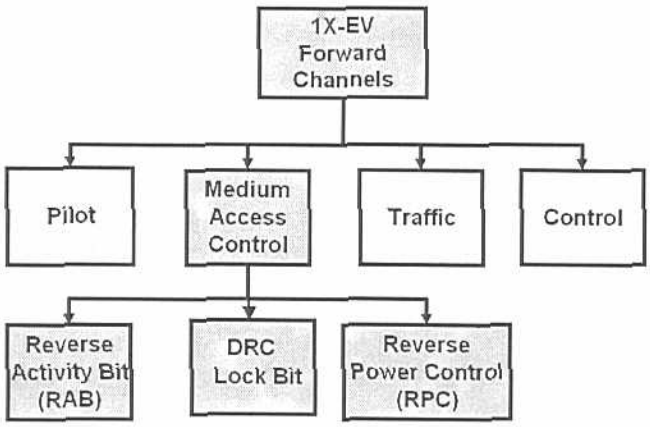


Figura 2. Estructura de enlace de bajada (tomado de 1xEVDO. Ayala, M)

La velocidad en el canal de bajada va desde 38.4 Kbps hasta 2.4 Mbps. El objetivo es optimizar la eficiencia espectral (bits/seg/Hz) adaptando el canal a las variables condiciones de RF en la que se mueve el usuario.

3.1.5 Enlace de subida

El enlace de subida está estructurado de la siguiente manera (Ayala, 2005):

- Canal de tráfico
  - Canal piloto.
  - Canal de control de acceso al medio (MAC).
    - Indicador de tasa inverso (RRI - Reverse Rate Indicator): indica la tasa de transmisión del canal de datos.
    - Control de tasa de datos (DRC - Data Rate Control): indica cuál deber ser la estación base que le otorgue servicio y la tasa a la que el canal de bajada debe transmitir.
  - Canal ACK: indica al AP si los paquetes fueron recibidos exitosamente.
  - Canal de datos (Tráfico): transmite a 9.6, 19.2, 38.4, 76.8 o 153.6 Kbps.
- Canal de acceso
  - Canal piloto
  - Canal de datos (Acceso).

Esta estructura de enlace de subida se muestra esquemáticamente en la figura 3.

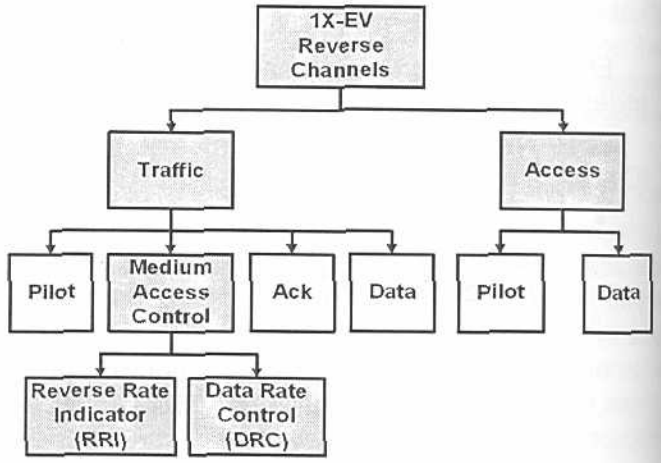


Figura 3. Estructura de enlace de subida (tomado de 1xEVDO. Ayala, M)

3.2 3G1x

Los sistemas 3G1x proveen acceso de tercera generación a clientes móviles a redes de paquetes de datos. 3G1x se refiere a CDMA 2000 1x en todo lo relacionado con la parte de datos, adicionalmente

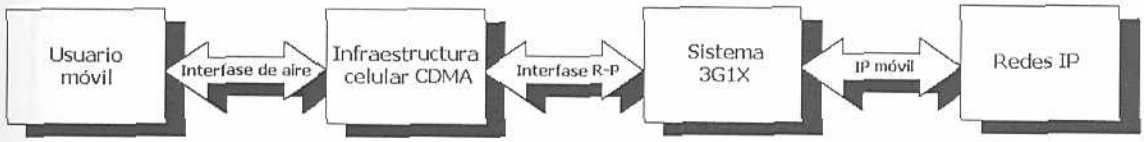


Figura 4. Integración de paquetes de datos y celulares del sistema 3G1x (tomado de: Wireless 3G System. 3Com Corporation)

CDMA 2000 1x abarca la parte de voz. 3G1x ofrece datos a una tasa promedio de 80 Kbps, la cual puede alcanzar hasta 153 Kbps.

La designación de 1x es utilizada para identificar la versión de la tecnología de radio CDMA2000 que opera en un par de canales de radio de 1.25 MHz.

La figura 4 muestra cómo el sistema 3G1x integra el concepto de las redes de paquetes de datos y celulares.

3.2.1 Usuario móvil

El usuario móvil es un usuario con un teléfono CDMA o un nodo móvil (MN – *Mobile Node*) que puede cambiar su punto de conexión de una red a otra sin cambiar su dirección IP mientras mantiene comunicación continua con los nodos móviles correspondientes (3Com Corporation, 2001).

Para acceder a una red de datos como Internet, el teléfono CDMA debe tener la habilidad de conectarse a una computadora personal (PC) o soportar servicios WAP (*Wireless Application Protocol*). Los teléfonos que se conectan a un laptop lo hacen a través de la interfaz serial (EIA-232 / RS-232) o la interfaz PCMCIA (*PC Memory Card International Association*). El laptop corre aplicaciones compatibles a PPP (*Point to Point Protocol*), para comunicarse con la red de paquetes de datos. El teléfono es el responsable de convertir la data del laptop para adaptarla a una forma óptima para ser enviada por el aire.

El sistema 3G1x provee una solución completa a la red de datos para los equipos de la infraestructura celular CDMA. 3G1x conecta dichos equipos a una red IP.

3.2.2 Características

Entre las principales características de 3G1x se tienen las siguientes:

- Provee acceso público a Internet o acceso a una VPN a 9.6 KB (mínimo) y ráfagas de hasta 153.6 KB (máximo).
- Una llamada 3G1x siempre se establece usando un canal fundamental de 9.6 KB.
- Soporta tres algoritmos de compresión de data: MPPC, LZS y Deflate.
- Permite encriptación de data.
- Permite un uso más eficiente de los recursos.
- Tipos de llamadas: originada por móvil, reactivada por móvil o reactivada por red.
- Las ráfagas sólo ocurren por pequeñas porciones de tiempo (hasta pocos segundos) y es controlada por la celda. Sus tasas suelen ser de: 19.2 KB, 38.4 KB, 76.8 KB y 153.6 KB.

La figura 5 muestra una sesión de datos 3G1x, en la cual se pueden apreciar el canal fundamental y los canales suplementarios, y los intervalos de tiempo en los cuales se pueden presentar las ráfagas, las cuales no se establecen por prolongados períodos de tiempo.

4. METODOLOGÍA

El proyecto de Trabajo Especial de Grado se dividió en cuatro actividades principales, donde cada una de ellas tiene a su vez actividades específicas que permitieron cumplir en los plazos establecidos los objetivos pautados inicialmente. Las actividades se describen a continuación:

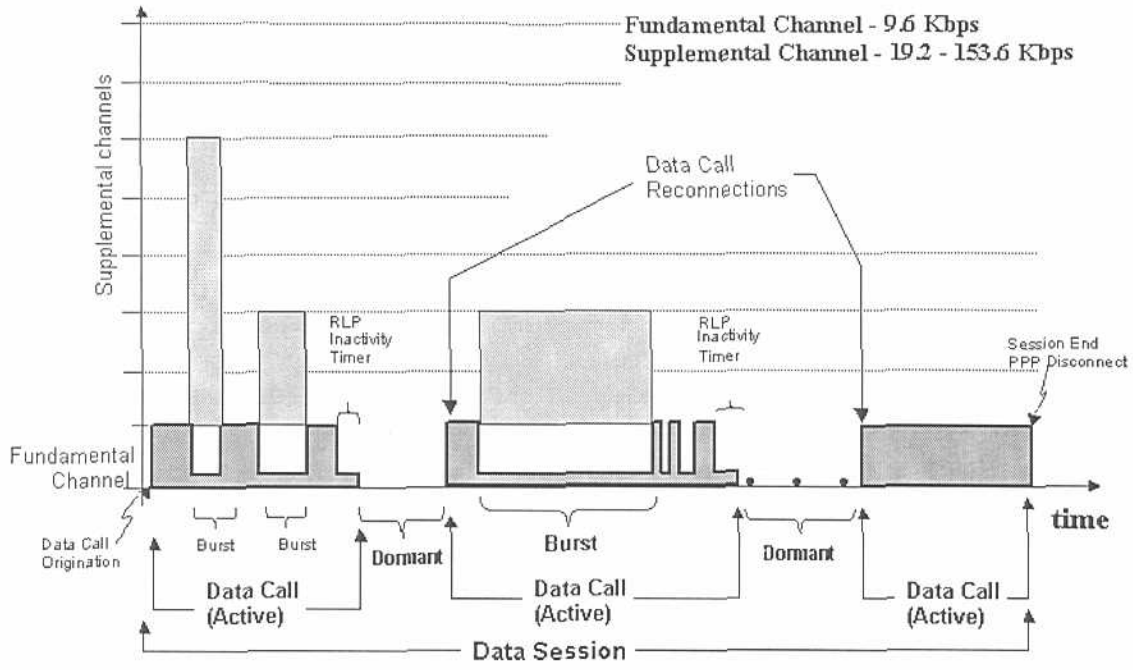


Figura 5. Sesión de datos 3G1x (tomado de CDMA 3G-1X Packet Mode Data. Cast, K.)

1. Estudio introductorio de la arquitectura Lucent en redes CDMA EVDO y datos 3G1x.
2. Estudio de los protocolos involucrados, búsqueda de especificaciones de los fabricantes e información detallada de los terminales a emplear.
3. Diseño e implementación de la herramienta.
4. Pruebas, verificación y corrección de errores.

4.1. Estudio introductorio de la arquitectura CDMA EVDO y datos 3G1x.

La metodología seguida en el estudio de la arquitectura CDMA EVDO y datos 3G1x se basa en una consulta bibliográfica de libros específicos, manuales de operación (*Lucent Technologies*), articulos de revistas especializadas y cursos proporcionados por la empresa (*3G1x Packet Data Architecture, CDMA 3G1x Packet Mode Data, CDMA2000 1xEV-DO Overview*). Una vez que se tiene la información recopilada, se procede a realizar un análisis de ésta, para poder establecer la documentación necesaria para llevar a cabo el proyecto.

4.2. Estudio de los protocolos involucrados

Para el estudio de los protocolos involucrados, se utilizó una estrategia similar a la del punto 4.1, basando el estudio en libros enfocados sobre Internet y toda su gama de protocolos y en los cursos proporcionados por Lucent Technologies relacionados con IP, TCP y UDP (*Introduction to TCP/IP and Routing Protocols*).

4.3. Diseño e implementación de la herramienta

La herramienta debe tener la capacidad de salvar toda la información que se recolecte y a su vez mostrar en tiempo real los datos durante una cierta ventana de tiempo, para de esta manera hacer posible la percepción de los efectos producidos por cambios en el sistema. Como las tecnologías 1xEVDO y 3G1x involucran protocolos de comunicaciones como PPP para el establecimiento de la conexión a través de puertos RAS (*Remote Access Server*) y protocolos como TCP, UDP e IP para la transferencia de datos, se esquematizó el funcionamiento de la herramienta tomando como base el modelo OSI, como muestra la figura 6.

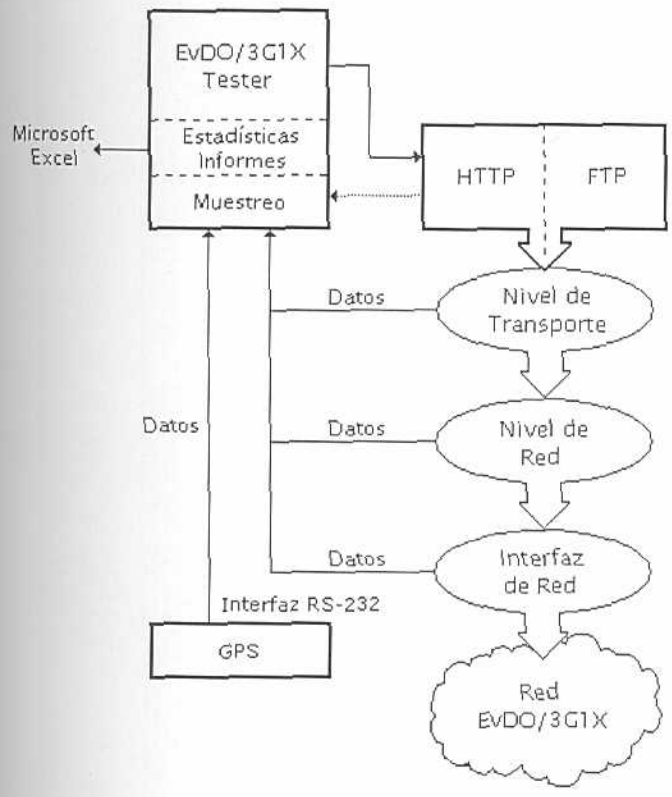


Figura 6. Esquema de funcionamiento de la herramienta (elaboración propia).

Se planteó entonces la idea de diseñar la aplicación de forma tal que permita generar tráfico en la red y medir ciertos parámetros de red en distintos niveles del modelo OSI, para de esta manera obtener una visión integral del desempeño del sistema. Asimismo, como las tecnologías 1xEVDO y 3G1x permiten al usuario total movilidad en el área de cobertura de la red, la aplicación debe ser compatible con equipos GPS que indiquen la posición del usuario en todo momento y así poder identificar durante las pruebas los lugares geográficos en los cuales existen fallas del sistema.

La metodología para diseñar la herramienta se basa en los siguientes pasos:

- Obtención y registro de los parámetros de red.
- Diseño del Módulo HTTP
- Diseño del Módulo FTP
- Diseño del Módulo Ping/TraceRT
- Obtención y registro de parámetros GPS.
- Generación de Informes y análisis de datos.
- Exportación de Datos a Mapas MapInfo®.
- Automatización de pruebas.

4.4 Pruebas, verificación y corrección de errores

La última etapa de la metodología consiste en realizar las pruebas pertinentes a la herramienta desarrollada, lo que permite verificar el funcionamiento de la misma y también realizar las depuraciones y corrección de errores necesarios a la herramienta para que se encuentre en un estado óptimo de rendimiento.

5. RESULTADOS

La herramienta desarrollada en este Trabajo Especial de Grado permite establecer un monitoreo completo de las redes 1xEVDO y 3G1x. El programa se basa en una interfaz gráfica de fácil manejo, la cual está dividida en dos bloques principales. En el sector de la izquierda, se presentan los resultados obtenidos tanto numérica como gráficamente a nivel de interfaz de red, capa de red y capa de transporte, así como los campos relacionados con el estado de la conexión. En el sector derecho, se presentan tres pestañas que permiten acceder a los módulos de páginas Web, transferencia vía FTP y la información de enrutamiento.

La herramienta posee un menú con tres opciones principales: Archivo, Prueba y Ver. En Archivo se puede acceder a: nueva sesión (ctrl. + N), abrir sesión (ctrl. + A), generar reporte (ctrl. + R), exportar archivo *MapInfo®* (ctrl. + M) y salir (ctrl. + S). En Prueba se accede a: iniciar prueba (F5), detener prueba (F6) y configuración (ctrl. + F). En Ver se puede acceder a: ocultar / mostrar funciones (ctrl. + H) y mostrar / ocultar información GPS (ctrl. + P).

La figura 7 muestra la pantalla general de la herramienta desarrollada, en la cual se puede observar la distribución de todos los elementos que la componen. Posteriormente en este capítulo se explica de forma detallada cada una de las secciones que conforman la herramienta.

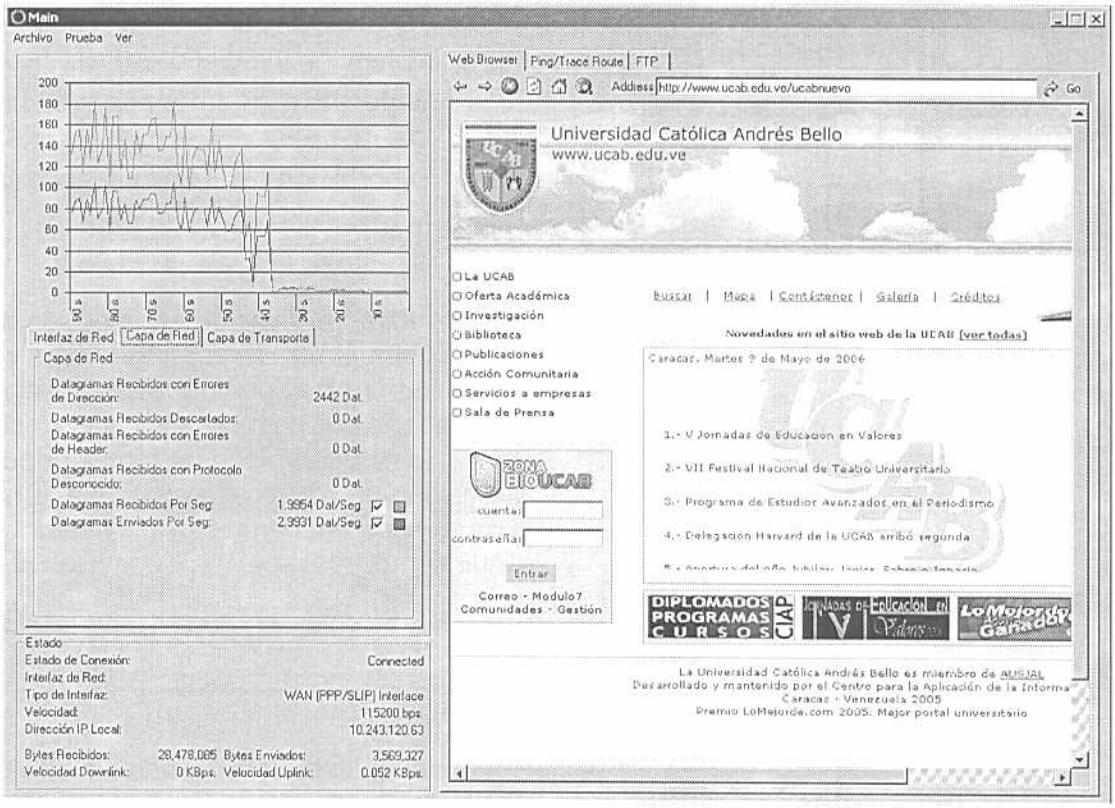


Figura 7. Aspecto general de la herramienta (elaboración propia)

La sección de la herramienta relacionada con el estado presenta nueve campos: estado de conexión, tipo de interfaz, interfaz de red, velocidad de conexión, dirección IP local, bytes recibidos, bytes enviados, velocidad de bajada (*downlink*) y velocidad de subida (*uplink*). La figura 8 muestra el sector de la herramienta que presenta toda esta información.

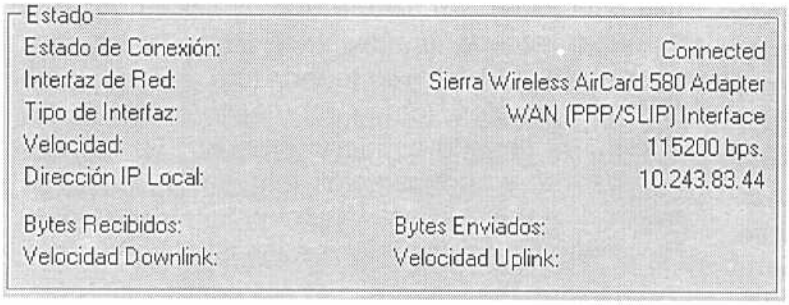


Figura 8. Estado de la conexión (elaboración propia).

A continuación se presentan los tres niveles que se están monitoreando con esta herramienta: interfaz de red, capa de red y capa de transporte. Cada uno de ellos presenta dos modalidades para indicar los resultados que se están obteniendo de la red en estudio; de forma numérica o de forma gráfica (no todos los parámetros). Los resultados gráficos se encuentran en una escala de tiempo que muestra los últimos 90 segundos de muestreo, y que se va actualizando cada segundo.

En cada uno de los niveles se puede seleccionar alguno(s) de los parámetros que posean una casilla en su parte derecha. Cuando aparece seleccionado dicho renglón, se le asigna un color con el cual se va a diferenciar de otros parámetros elegidos. Es importante tener en cuenta los elementos que se seleccionan puesto que las escalas pueden ser diferentes y por tanto algunos de los valores no van a ser apreciados en la gráfica.

La interfaz de red representa el nivel de enlace del modelo OSI. Este nivel proporciona facilidades para la transmisión de bloques de datos entre dos estaciones de red. La principal función de la interfaz de red es transformar el nivel físico en un enlace fiable y es responsable de la entrega nodo a nodo.

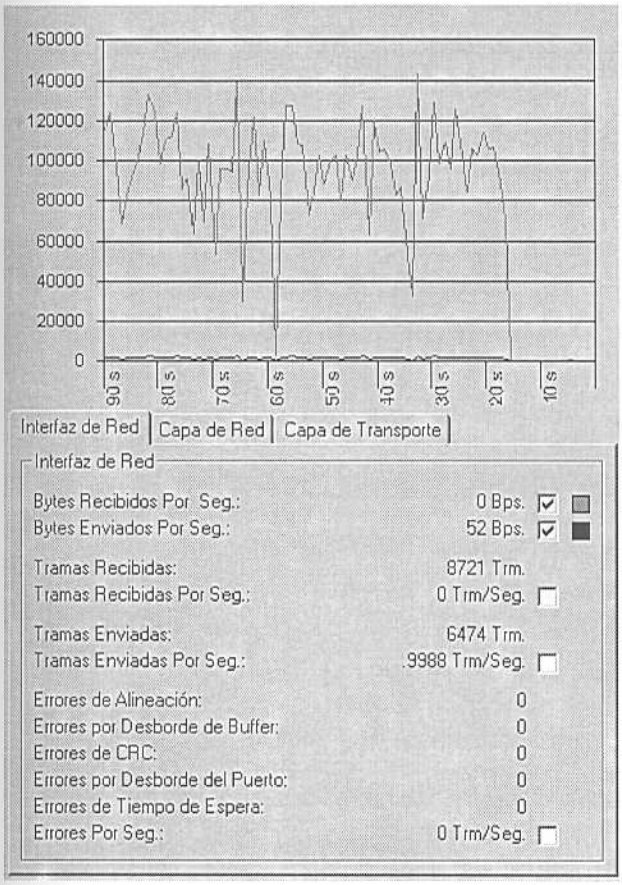


Figura 9. Monitoreo de la Interfaz de Red (elaboración propia).

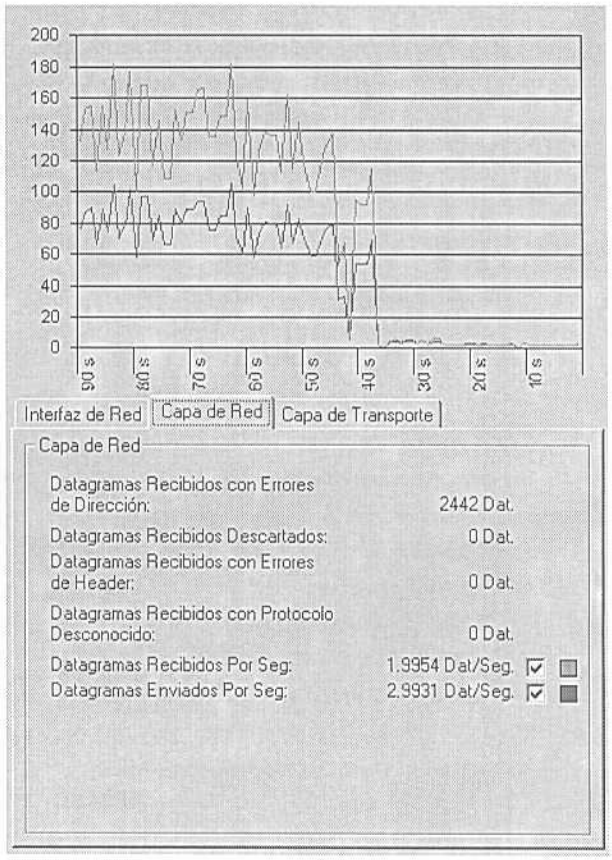


Figura 10. Monitoreo de la capa de red (elaboración propia).

Cada uno de los niveles posee su pestaña para poder evaluar la información pertinente en el momento que sea necesario. En la figura 9 se puede observar la sección para realizar las mediciones respectivas a la interfaz de red, en la figura 10 las de la capa de red y en la figura 11 la de la capa de transporte.

La capa de red perteneciente al modelo OSI define el enrutamiento y el envío de paquetes entre redes, así como el estado de los mensajes que se envían a cada nodo de la red. En este nivel se analizan los datagramas que transitan por la red.

La capa de transporte es responsable de la entrega origen a destino (extremo a extremo) de todo el mensaje. Asegura que todo el mensaje llega intacto y en orden, supervisando tanto el control de errores como el control de flujo a nivel origen a destino.

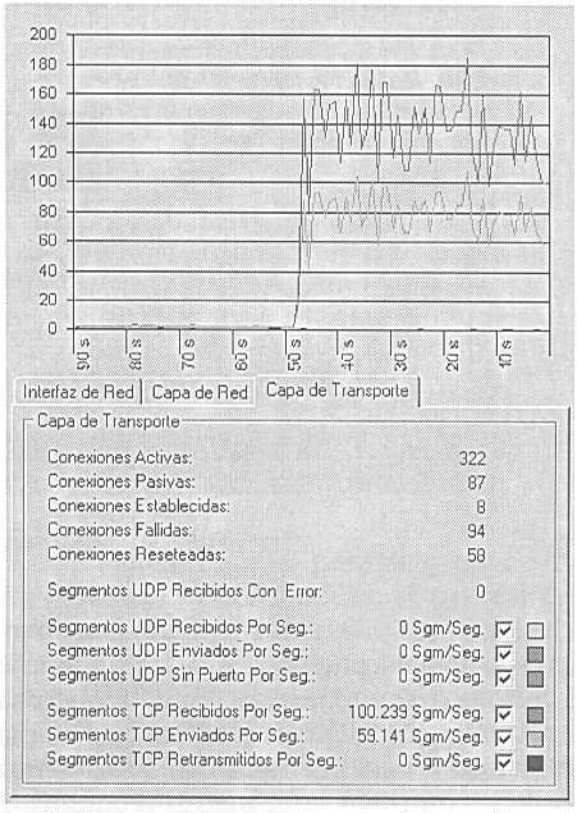


Figura 11. Monitoreo de la capa de transporte (elaboración propia).

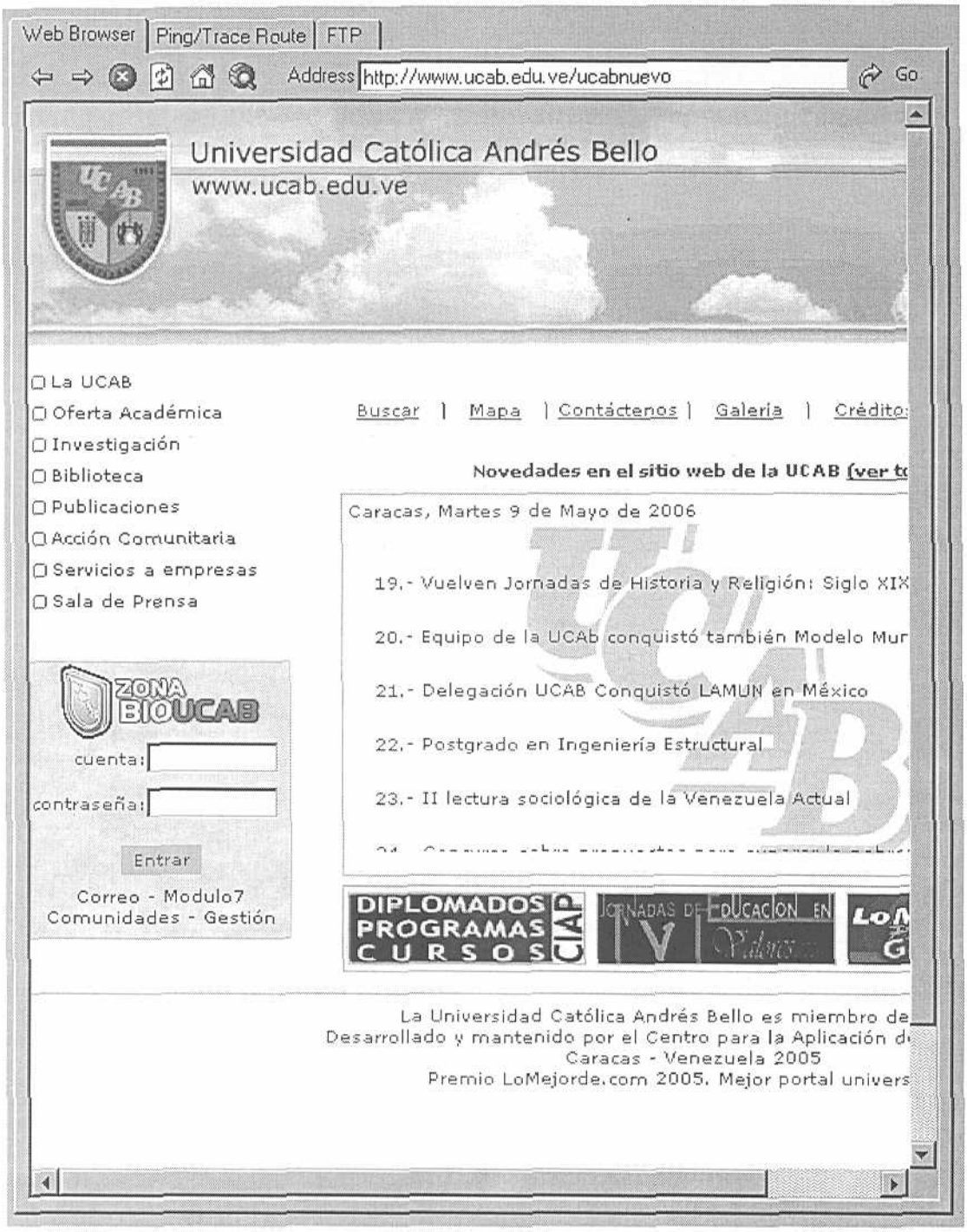


Figura 12. Pantalla para la navegación en páginas Web (elaboración propia).

La herramienta está desarrollada para permitir la navegación en páginas Web, con sus funciones básicas. Esta actividad permite monitorear el comportamiento de la red, a su vez que se puede estar trabajando en Internet simultáneamente con las pruebas que está realizando el programa. Este módulo se observa en la figura 12.

La herramienta permite establecer un monitoreo constante de la red y del enrutamiento presente para cada paquete. Para esta finalidad se introdujeron los comandos "*Ping*" y "*TraceRT*". La figura 13 muestra la sección de la herramienta desarrollada para controlar estos comandos.

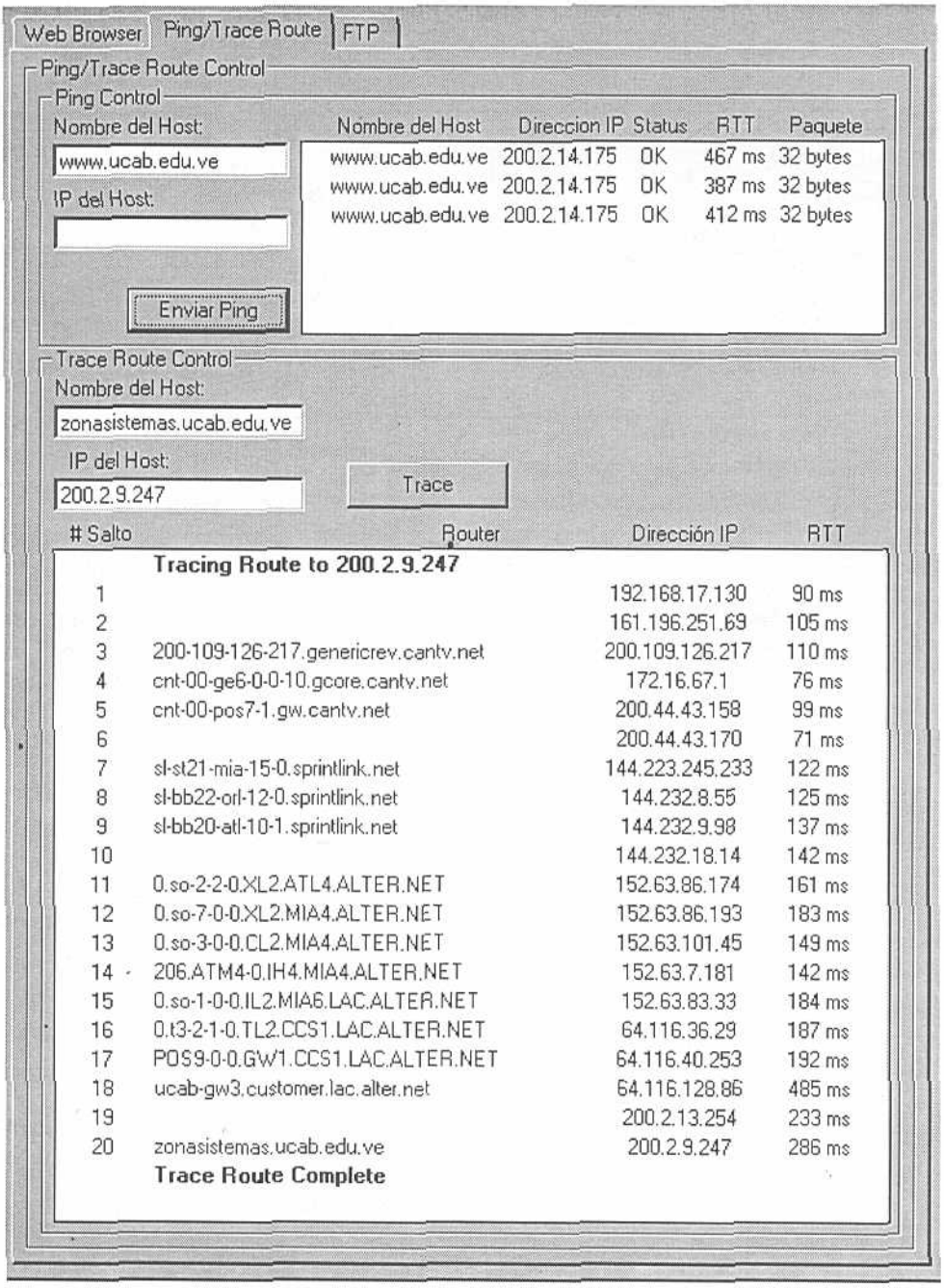


Figura 13. Pantalla de los comandos Ping y TraceRT (elaboración propia).

El controlador Ping permite verificar la conectividad con otro terminal, para lo cual es necesario introducir el nombre del *host* o su dirección IP. Una vez que se determina la conectividad entre ambos *host*, aparece en pantalla el nombre del mismo, así como su dirección IP, el estado de la conexión entre ellos (*OK, Req Timed Out, Bad Route*), el tiempo que toma en alcanzar el otro terminal (RTT – *Round Trip delay Time*) y el tamaño del paquete.

El controlador *TraceRT* permite a través de un nombre de *host* y/o su dirección IP, rastrear la ruta que sigue un paquete en la búsqueda de su destino. En pantalla se muestra el enrutador alcanzado, su dirección IP y el tiempo transcurrido (RTT). Si la búsqueda resulta exitosa, el último salto debe indicar el *host* solicitado y se muestra un mensaje "*Trace Route Complete*".

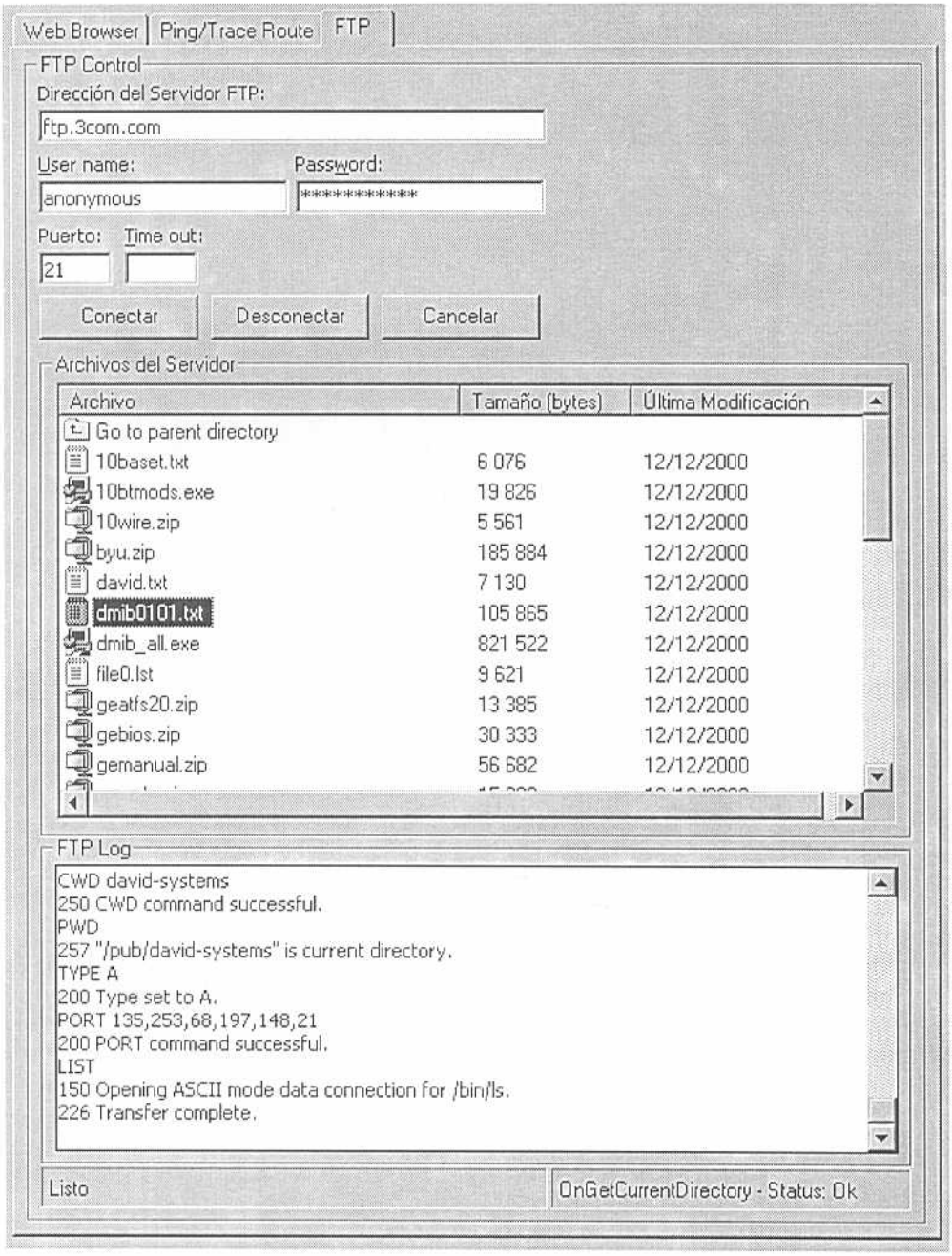


Figura 14. Pantalla para la transferencia de archivos vía FTP (elaboración propia).

Otra opción que presenta la herramienta es la carga o descarga de archivos vía FTP (*File Transfer Protocol*) para la cual es necesario indicarle al programa cuál es la dirección del servidor FTP con el cual se va a establecer el intercambio de datos, el nombre de usuario y contraseña de acceso al mismo; el puerto y el tiempo de espera son opcionales.

En la sección "Archivos del Servidor" aparecen todos los archivos que se encuentran en el directorio del servidor, los cuales pueden ser seleccionados para ser cargados o descargados según sea el caso. En "*FTP Log*" se muestra el registro de acciones que efectúa el protocolo de transferencia de archivos. Esto se puede observar en la figura 14.

Las tecnologías 1xEVDO y 3G1x se caracterizan por ser inalámbricas y móviles, por lo que emplear un sistema GPS es de suma importancia para obtener resultados más consistentes y precisos. La figura 15 muestra la pantalla GPS de la herramienta desarrollada en la cual se indican los tres valores principales de este tipo de sistemas: la latitud, la longitud y la velocidad.

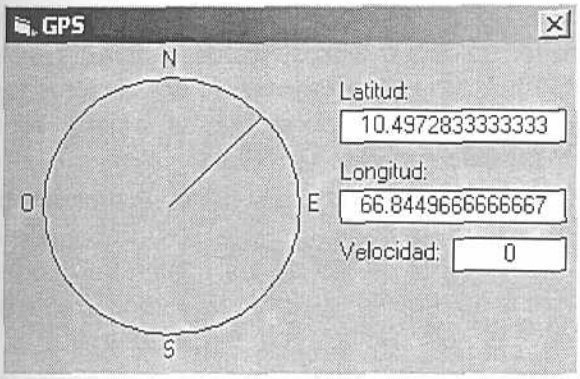


Figura 15. Pantalla para el sistema GPS (elaboración propia).

La herramienta permite establecer las configuraciones de la prueba en forma automática, así como también de las páginas Web que va a visitar, las direcciones de los comandos ping que se quiere enviar, los archivos FTP y la información del GPS.

La herramienta permite con la ayuda de *MapInfo®*, graficar en un mapa de la zona donde se haya realizado la prueba, el ancho de banda que se estuvo empleando en el momento del recorrido. Para facilitar el entendimiento del gráfico se emplea una tabla que asigna a un color específico, un rango de kilobits por segundo con el cual está asociado. Este rango varía dependiendo si el archivo se está descargando o cargando. También se pueden graficar los errores que ocurren durante la prueba, para lo cual existe un código de colores respectivo. En la figura 16 se puede observar un recorrido realizado por la autopista Francisco Fajardo donde se muestran los valores obtenidos (ancho de banda) para la descarga de datos.

Una vez que se tienen todos los resultados de la prueba efectuada, se puede generar un reporte estadístico que permite visualizar de forma más concreta los resultados obtenidos. Este reporte se genera en una hoja de cálculo. El formato predeterminado de ésta se divide en cuatro partes. La primera muestra los cálculos de las estadísticas generales de la prueba, donde se calculan promedios, desviaciones, mínimos y máximos de cada parámetro de red en el transcurso de toda la prueba, sin importar que no haya habido tráfico durante ciertos momentos (por ejemplo, entre el fin y el inicio de dos transferencias de datos diferentes). La segunda parte del análisis muestra una lista de las páginas Web que se visitaron durante la prueba utilizando el módulo HTTP de la herramienta, donde se muestra para cada una de las páginas visitadas el RTT medido en ese momento y el tiempo que le tomó a la herramienta

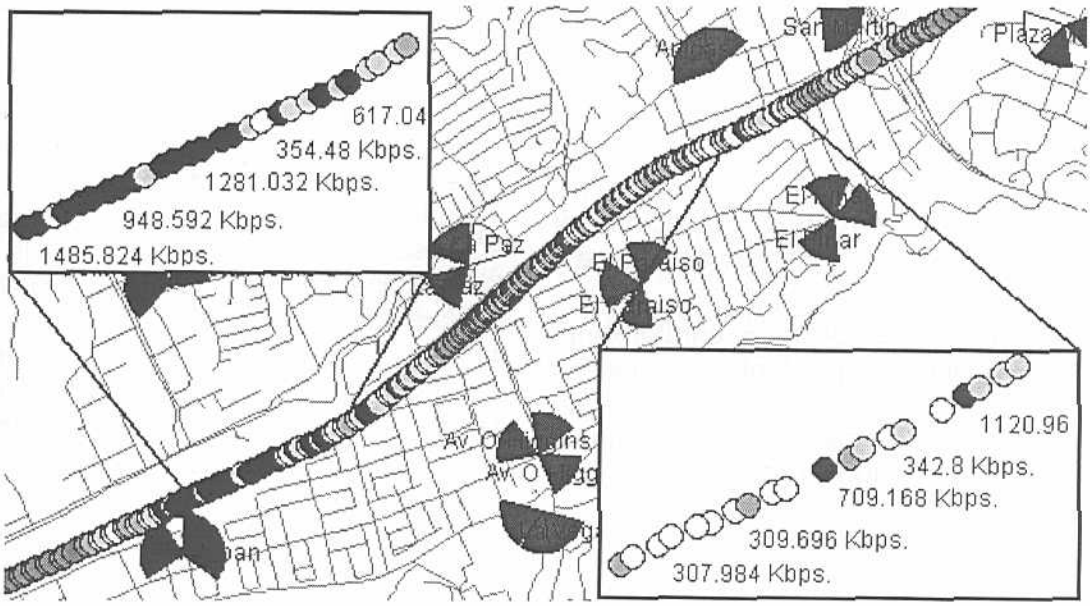


Figura 16. Gráfica utilizando MapInfo® (elaboración propia).

descargar la página por completo. A esta sección le sigue una tercera parte, donde se muestra una lista de las transferencias de datos que se realizaron a través del módulo FTP. Esta sección calcula la velocidad promedio de cada una de las transferencias hechas a cada servidor FTP e indica el tamaño, la cantidad de errores y la confiabilidad para cada una de ellas. Por último, la cuarta sección permite al usuario comparar la prueba que se está realizando con cualquier otra prueba previa que se haya hecho utilizando la herramienta. Esto resulta sumamente útil a la hora de verificar los resultados de cambios hechos en la red, después de haber detectado un bajo rendimiento o fallas en la red.

6. CONCLUSIONES

Las tecnologías 1xEVDO y 3G1x representan el presente y futuro de las comunicaciones inalámbricas móviles y por tanto requieren de equipos y herramientas que permitan optimizar su desempeño.

La herramienta desarrollada permite medir en tiempo real el desempeño de la red CDMA 1xEVDO así como 3G1x, en los niveles de interfaz de red, capa de red y capa de transporte y tiene como finalidad presentar los reportes pertinentes a las mediciones realizadas donde se puedan apreciar los posibles fallos que puedan ocurrir en la red, pero bajo ninguna circunstancia va a solventar los problemas que puedan presentar las redes que esté analizando.

La interfaz de red representa el nivel de enlace del modelo OSI y se encarga principalmente de la transmisión de datos entre dos estaciones de una red por lo que se muestran valores como: bytes enviados por segundo, bytes recibidos por segundo, tramas recibidas, recibidas por segundo, enviadas y enviadas por segundo, errores de alineación, por desborde de buffer, CRC, de tiempo de espera y por segundo.

El nivel de capa de red define el enrutamiento y la entrega de paquetes y por tanto se muestran valores como: datagramas recibidos con errores de dirección, con errores de encabezado, descartados, con protocolos desconocidos y por segundo y datagramas enviados por segundo.

El nivel de transporte asegura que todo el mensaje llega intacto y en orden y los valores que se monitorean son: conexiones activas, pasivas, establecidas, fallidas y reseteadas, segmentos TCP enviados por segundo, recibidos por segundo y retransmitidos por segundo, segmentos UDP recibidos con error, recibidos por segundo, enviados por segundo y sin puerto por segundo.

Para realizar las pruebas, la herramienta presenta dos modalidades que permiten obtener los valores de desempeño de la red que se está analizando. La primera opción es a través de la navegación en páginas Web, la cual se puede realizar de forma manual o de forma automática, mientras que la otra forma es a través de transferencia de archivos (FTP) tanto para carga como para descarga, para lo cual es necesario conectarse con algún servidor FTP privado o público (FTP anónimo).

En todo momento que se esté empleando la herramienta es posible utilizar los comandos *Ping* y *TraceRT*, por medio de los cuales se puede observar la conectividad entre terminales y rastrear los paquetes nodo a nodo a lo largo de la red.

Una de las principales ventajas que posee la herramienta y que representa un valor agregado para este tipo de aplicaciones es que se le introdujo el uso de un sistema GPS que permite establecer en todo momento la ubicación de la prueba, arrojando valores de latitud, longitud y velocidad. Este aspecto es sumamente importante para las tecnologías de EVDO y 3G1x debido a que una de sus principales características es la movilidad.

Para darle mayor profundidad a la herramienta se complementó con el uso del programa *MapInfo®*, el cual permite ubicarse en cualquier lugar del planeta (se necesita la data de la ciudad o país), mostrando las calles, avenidas, principales infraestructuras y sitios de interés de la zona.

Una de las acciones más importantes que debe tener una herramienta que monitorea el desempeño de una red es presentar de forma clara y concisa los resultados obtenidos, es por ello que una vez que se finalizan las pruebas, la herramienta desarrollada presenta un informe estadístico mostrando la velocidad de transmisión, tramas, errores, valores de la capa de red, capa de transporte y la confiabilidad, así como la información pertinente a las páginas Web visitadas y a los archivos transferidos vía FTP.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS:

Carlson, A., Crilly, P. y Rutledge, J. (2002). *Communication Systems. An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication* (4ª ed.). New York: McGraw Hill.

Charte, F. (1998). *Programación con Visual Basic 6. Adquiera los fundamentos básicos de programación*. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia.

Forouzan, B. (2002). *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones* (2ª ed.). Madrid: McGraw Hill.

Hac, A. (2003). *Mobile Telecommunicatios Protocols for Data Netwoks*. New Jersey: John Wiley & Sons, LTD.

Kozierok, C. (2005). *The TCP/IP Guide: A comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference*. San Francisco: No Starch Press.

León-García, A. y Widjaja, I. (2002). *Redes de Comunicaciones. Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas*. Madrid: McGraw Hill.

Sendín, A. (2004). *Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles.* Madrid: McGraw Hill.

Tanenbaum, A. (2003). *Redes de Computadoras* (4ª ed.). México: Prentice Hall.

Universidad de Las Palmas de Gran Canarias. *Tutorial y Descripción Técnica de TCP/IP.* Las Palmas de Gran Canarias.

INFORMES DE UNA ORGANIZACIÓN PRIVADA:

3Com Corporation (2001). *Wireless 3G System*. California, USA.

Lucent Technologies (2005). *CDMA2000 1xEV-DO. Overview*. Clark, M., Estrella, D. & Robleh, I.

Lucent Technologies (2005). *CDMA 3G-1X Packet Mode Data*. Cast, K.

Lucent Technologies (2002, Enero). *3G-1X Packet Data Architecture*. Minzer, S.

Lucent Technologies (2001, Diciembre). *Introduction to TCP/IP and Routing Protocols*. Gragido, W.

Lucent Technologies (2005, Mayo). *Flexent Wireless Networks. CDMA2000 1xEV-DO Radio Networks Controller Application Processor Operations, Administration, and Maintenance* (Issue 8 Release 24.0). Abell, M.

Lucent Technologies (2005). *Redes Celulares de Próxima Generación*. Weinschenk, C.

Lucent Technologies (2002). *Performance Analysis of 3G-1X EVDO*. Bi, Q. & Vitebsky, S.

Telefónica Venezuela (2005). *1xEVDO*. Caracas: Ayala, M.

Nortel Netwoks (2003, Noviembre). *CDMA 2000 1xEVDO System Overview Guide*. Nortel Networks.

ARTÍCULOS DE REVISTA:

Bhushan, N., Lott, C., Black, P., Attar, R., Yu-Cheun Jou, Mingxi, F., Ghosh, D., Jean A. (2006). "CDM2000 1xEVDO Revision A: a physical layer and MAC layer overvier". *IEEE Communications Magazine*, Febrero 2006, 37-49.

Rezaiifar, R., Agashe, P., Bender, P. (2006). "Macro: Mobility Management in EVDO". *IEEE Communications Magazine*, Febrero 2006, 65-72.

Yavuz, M., Diaz, S., Kapoor, R., Grob, M., Black, P., Tokgoz, Y., Lott, C. (2006). VoIP over cdma2000 1xEVDO Revision A. *IEEE Communications Magazine*, Febrero 2006, 50-57.

FUENTES ELECTRÓNICAS (INTERNET):

Enciclopedia libre Wikipedia. Evolution-Data Optimized. http://en.wikipedia.org/wiki/Evdo (2005, octubre)

Enciclopedia libre Wikipedia. CDMA 2000 1x. http://en.wikipedia.org/wiki/Cdma2000_1X (2005, octubre)

Enciclopedia libre Wikipedia. TCP/IP. Internet Protocol Suite. http://en.wikipedia.org/wiki/TCP/IP (2005, noviembre)

Diseño de un sistema de reconocimiento del habla para controlar dispositivos eléctricos

■ Ing. D. K. Salcedo
dayanasa@gmail.com

■ Ing. A. P. Teixeira
apteixeira@gmail.com

■ Tutor Ing. María Stefanelli
mstefan@usb.ve.com

Resumen

En este trabajo se plantea el reto de desarrollar un sistema que, usando el reconocimiento del habla como herramienta, permita el control de dispositivos eléctricos de una forma sencilla y sin ambigüedades. El desarrollo de este proyecto se basa en un estudio teórico sobre la naturaleza, parametrización, características y procesamiento de señales de voz, además de un estudio práctico que contempla simulaciones en MATLAB de distintas señales de voz, para analizar sus semejanzas y diferencias de acuerdo a la persona que las genera. Se realizó la evaluación teórica y práctica del desempeño de las técnicas de parametrización de la señal de voz *Mel Frequency Cepstrum Coefficients* (MFCC), *Linear Frequency Cepstrum Coefficients* (LFCC) y *Linear Predictive Cepstrum Coefficients* (LPCC) dentro del esquema del reconocimiento del habla, la programación de un microcontrolador como elemento de procesamiento dentro del hardware encargado de controlar los dispositivos eléctricos, para interpretar los comandos de la aplicación y convertirlos en acciones de encendido y apagado de los mismos; además se recolectaron un total de 300 señales de voz entre 20 participantes, 200 de ellas para la creación de una base de datos de entrenamiento y 100 de ellas para la base de datos de pruebas del sistema. Entre los resultados más resaltantes se destacan la escogencia del MFCC como técnica de parametrización por su alto porcentaje de acierto en el reconocimiento del habla, además del "Sistema de reconocimiento del habla para controlar dispositivos eléctricos" completamente funcional.

Palabras clave: procesamiento digital de la voz, parametrización de la voz, reconocimiento del habla

Abstract *The development of this project is based on a theoretical study about the nature, parametric representation, characteristics and signal voice processing, in addition to a practical study that it contemplates simulations in MATLAB with different signals voices in order to analyze its similarities and differences according to the person who generates them. The theoretical and practical evaluation of the performance of the parametric representation techniques was made, including in this study the Mel Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC), Linear Frequency Cepstrum Coefficients (LFCC) y Linear Predictive Cepstrum Coefficients (LPCC) within the scheme of the speech recognition. In addition, this study contemplates the programming of a microcontroller as a processing element within the hardware, in charge of controlling the electrical devices in order to interpret the commands of the application and to turn them into actions (On/Off). A total of 300 signals of voice between 20 participants were collected, 200 of them for the creation of a training data base and 100 of them for the testing data base of the system. Between the most important results that stand out, is the chose of MFCC as the parametric representation technique used in the application, because of its high percentage of success in the speech recognition.*

Introducción

El reconocimiento del habla tiene como objetivo permitir la comunicación hablada entre el ser humano y el computador, para ejecutar acciones determinadas mediante comandos de voz. El principal reto que se plantea en un sistema de reconocimiento del habla es el de interpretar un conjunto de informaciones que proceden de diversas fuentes de conocimiento (acústica, fonética, fonológica, léxica, sintáctica, semántica y pragmática), en presencia de ambigüedades e incertidumbres para obtener una interpretación aceptable del mensaje acústico recibido. La finalidad de uso del reconocimiento del habla en el sistema desarrollado en este trabajo es la del control de dispositivos eléctricos utilizando comandos de voz.

El principal objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema que, utilizando el reconocimiento del habla como herramienta, permita controlar dispositivos eléctricos usualmente encontrados en un ambiente doméstico y hacer de éste un espacio cómodo, flexible y moderno. Además, este estudio pretende traer beneficios adicionales para las personas discapacitadas, las cuales requieren de una ayuda extra para realizar tareas cotidianas como encender una luz, mover una cama clínica o apagar la televisión.

Para la implementación del sistema que se muestra en la figura 1 se desarrolló una aplicación encargada del reconocimiento del habla, basada en los resultados obtenidos del estudio de la voz, sus características y técnicas de parametrización. Además, se implementó el hardware encargado del encendido y apagado de los dispositivos eléctricos conectados a él, de acuerdo al comando de voz procesado por el sistema de reconocimiento del habla. Los dispositivos que el sistema puede manejar son aquellos cuyo encendido y apagado no depende de un circuito electrónico y que al activarse un relé que permite o impida el paso de corriente hacia ellos, se enciendan o apaguen. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos son: televisores y lámparas con perilla de encendido/apagado, cargador del celular y cargador del laptop.

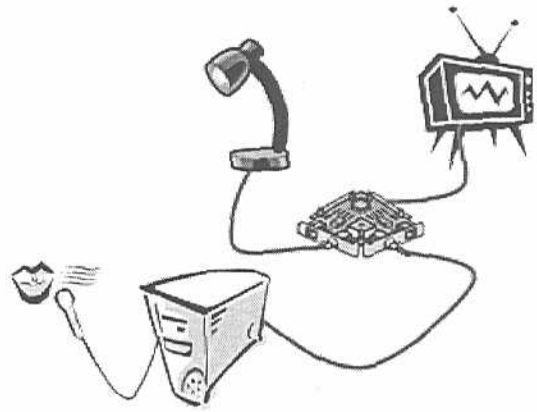


Figura 1. Componentes del Sistema de Reconocimiento del habla para el control de dispositivos eléctricos

La aplicación encargada de realizar el reconocimiento del habla está diseñada para el idioma español y para reconocer la palabra clave que constituye el comando de voz, no quién la dice (hombre, mujer, niño o niña). El sistema descrito maneja cinco comandos de voz correspondientes a las vocales a, e, i, o, u. Además, contempla una única implementación de hardware, el cual se conecta al

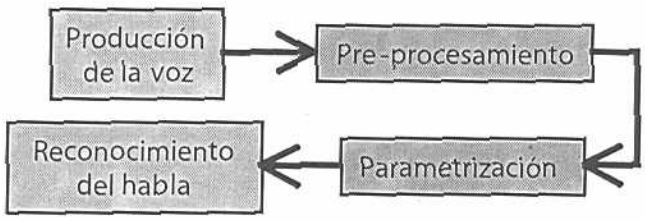
computador mediante el puerto serial, utilizando la interfaz EIA232 y es el encargado del encendido y apagado de los dispositivos eléctricos.

En este artículo se presenta, de una forma estructurada por secciones, el desarrollo del "Sistema de reconocimiento del habla para controlar dispositivos eléctricos". En la sección 1 se hace un resumen del proyecto, la sección 2 habla sobre el planteamiento del proyecto, sus objetivos, alcance y limitaciones. Por su parte, en la sección 3 se hace un breve resumen de la investigación teórica realizada para el desarrollo del proyecto; seguido por la sección 4 en la que se describen las fases en la metodología seguidas para la implementación del sistema. En la sección 5 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las fases descritas en la sección 4 y, por último, la sección 6 se refiere a las conclusiones y recomendaciones que se derivan del diseño e implementación del sistema en cuestión.

Marco referencial

Para la realización de cualquier tarea que involucre el procesamiento de la señal de voz es fundamental el conocimiento de ciertos aspectos que ayudan a crear las bases necesarias para la comprensión de las características de la voz y del tratamiento que se le debe dar de acuerdo al fin deseado. Para la aplicación particular de reconocimiento del habla, el esquema de procesamiento que se sigue es similar al que se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema de procesamiento de la voz para el reconocimiento



del habla

Reyes y Herrera (2005) indican que la voz se obtiene por la acción conjunta de varias regiones de órganos: el *tracto pulmonar*, el cual controla la amplitud de los sonidos, *la laringe*, en la que se sitúan las cuerdas vocales, las cuales funcionan como un control de entrada a los sonidos y cuya tensión afecta la frecuencia de la señal de voz, por último se encuentra *el tracto vocal*, que se encarga de la articulación de la voz. Dependiendo del comportamiento de la cavidad bucal y de la configuración de los órganos, la señal que se genera se clasifica en dos tipos:

- *Señal sonora:* se produce por la vibración de las cuerdas vocales, las cuales se abren y cierran modificando el área de la tráquea y produciendo un tren de impulsos cuasi-periódicos, con un período o frecuencia fundamental llamado *pitch.*
- *Señal no sonora*: en su generación el aire fluye libremente hasta alcanzar el tracto vocal al permanecer abiertas las cuerdas vocales, por lo que la señal generada se constituye de una contribución desordenada de componentes frecuenciales y se caracteriza por presentar aleatoriedad similar a la del ruido blanco.

Para las señales sonoras, el tracto vocal actúa como una cavidad resonante, estando centradas las frecuencias de resonancia generalmente en 500 Hz y sus armónicos pares. Esta resonancia produce grandes picos en el espectro resultante, a los cuales se les llama *formantes*. Por su parte, para las señales no sonoras, el tracto vocal presenta una estructura ruidosa y aleatoria tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, por lo que no se tienen formantes.

La Transformada de Fourier es una herramienta muy importante para el análisis de las señales de voz en el dominio de la frecuencia, ya que permite obtener información de las mismas que no es evidente en el dominio del tiempo. Una de las características de la Transformada de Fourier es que permite extraer el contenido frecuencial de la señal, lo cual es muy importante para establecer el muestreo adecuado para la misma, el cual deber ser por lo menos 2 veces mayor que la frecuencia máxima de la señal.

Pre-procesamiento

La etapa de pre-procesamiento de la señal de voz corresponde a los pasos previos a la parametrización, necesarios para resaltar las características más importantes de la señal de voz y luego poder

analizarlas con la técnica de parametrización escogida para tal fin. La figura 10 muestra un diagrama de bloques del pre-procesamiento aplicado a una señal de voz antes del paso correspondiente a la parametrización.

Figura 3. Esquema de pre-procesamiento de la señal de voz



- *Preénfasis:* después de que la señal de entrada se tiene digitalizada, la etapa de *preénfasis* se realiza para hacer el procesamiento de la señal menos susceptible a truncamientos, aplanarla espectralmente y para compensar la caída de 6 dB que experimenta la señal al pasar a través del tracto vocal *(Kornhauser, 1999).*
- *Endpoint detection:* Una vez que la señal de voz se tiene grabada en el computador, es importante determinar el comienzo y final de la parte útil de la señal, para lo cual se utiliza la técnica denominada *endpoint detection*, que mediante un algoritmo busca los puntos de la señal donde se concentra la energía y extrae sólo ese fragmento (Slavinsky, 1999).
- *Segmentación y aplicación de la ventana:* después de que se tiene la información útil de la señal de voz, se hace necesario dividir la señal en tramas de N muestras, donde N es un valor que se escoge tomando en cuenta que la señal de voz es estacionaria a "trozos" (condición necesaria para poder realizar el análisis de Fourier en tiempo corto). El intervalo de tiempo en el que la señal se considera estacionaria comúnmente se establece en un valor entre 20 y 40 ms. En la figura 4 se muestra un ejemplo de segmentación. Por lo general se utilizan tramas de 256 muestras por ser un valor que establece un equilibrio entre la resolución en tiempo y en frecuencia para una señal de voz.

La siguiente fase de la etapa de pre-procesamiento corresponde a la escogencia del tipo de ventana que se le aplica a cada trama. Dicha escogencia es muy importante para analizar el efecto de la misma sobre la resolución espectral de la señal. Otro aspecto que es importante analizar es el solapamiento entre tramas consecutivas, el cual para la figura 4 es de 156 muestras y se realiza con dos propósitos principales: el primero consiste en que las mismas guarden relación entre sí para que el análisis de cada trama no sea aislado y el segundo consiste en compensar la caída que tienen comúnmente las ventanas en los bordes de la trama.

Técnicas de parametrización de la señal de voz

La selección de la mejor representación paramétrica de la señal de voz es una tarea importante en el diseño de cualquier sistema de reconocimiento del habla. Los objetivos principales de esta representación son los de comprimir los datos correspondientes a la señal de voz, eliminando información no pertinente al análisis fonético de la información y mejorar esas características de la señal de voz que contribuyen significativamente con la detección de las diferencias fonéticas y que no son apreciables mediante un simple análisis en tiempo o en frecuencia, sino usando un análisis más exhaustivo como el Cepstrum.

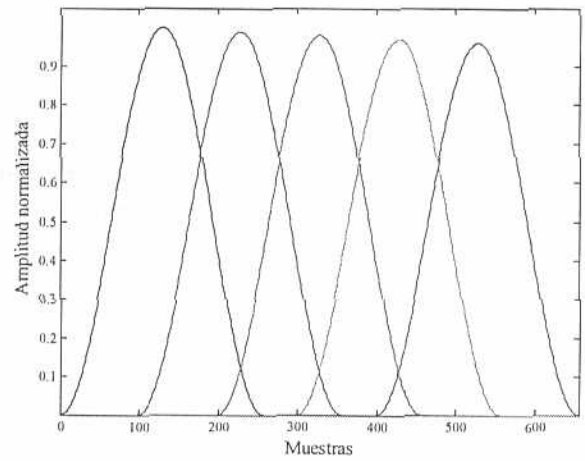


Figura 4. Segmentación de la señal de voz en tramas solapadas entre ellas

Cepstrum

Es una herramienta muy utilizada para la representación paramétrica de las señales de voz y se define como la Transformada de Fourier del espectro logarítmico de la señal, por lo que existe un cepstrum complejo y un cepstrum real dependiendo de si la función logarítmica está definida para valores reales o complejos. La diferencia entre uno y otro radica en el hecho de que el cepstrum complejo permite reconstruir la señal y el real no, ya que se pierde la información correspondiente a la fase. El cepstrum real se utiliza en muchas aplicaciones y como no depende de la fase de la transformada de la señal es mucho más fácil de calcular que el cepstrum complejo, aunque la señal original no pueda ser recuperada (Oppenheim & Schafer, 1989).

El análisis cepstral es comúnmente utilizado para obtener información de la señal de voz que permita parametrizarla para luego ser usada en la fase de reconocimiento. Las representaciones paramétricas más utilizadas para trabajar con señales de voz y que están basadas en el análisis cepstral de la misma, pueden ser divididas en dos grupos: aquellas basadas en la predicción lineal del espectro y aquellas basadas en el espectro de Fourier.

Una de las técnicas más usadas en el procesamiento de señales de voz es el análisis de predicción lineal. Esta técnica ha probado ser muy eficiente debido a la posibilidad de parametrizar la señal con un número pequeño de patrones con los cuales es posible, entre otras cosas, reconstruirla adecuadamente. Mediante esta técnica se puede representar a la señal vocal usando parámetros que varían en el tiempo y que están relacionados con la función de transferencia del tracto vocal y las características de la fuente sonora.

Predicción lineal de los coeficientes cepstrales: LPCC

La técnica LPCC permite estimar los coeficientes cepstrales mediante el uso del algoritmo LPC, el cual establece un modelo que permite predecir la próxima muestra de la señal empleando un filtro de puros polos, cuyos coeficientes varían en el tiempo. Dicho filtro se basa en el modelo de producción de la voz y su idea fundamental es que la voz puede modelarse a través de una combinación lineal de p muestras anteriores más una señal de excitación (periódica o ruido blanco dependiendo de la naturaleza de la señal).

Los coeficientes de predicción se usan en el proceso de parametrización para calcular los coeficientes cepstrales. La determinación de los coeficientes de predicción se realiza minimizando el error de predicción de orden p que se comete cuando se intenta realizar la aproximación de la señal. Estos coeficientes modelan el tracto vocal y pueden ser utilizados para el cálculo de los coeficientes cepstrales o LPCC's mediante la ecuación 1

$$c_i = a_i + \sum_{k=1}^{i-1}\left(\frac{k-i}{i}\right)\cdot c_{i-k}\cdot a_k$$

De esta manera se puede observar cómo la predicción lineal de los coeficientes del filtro que modela el tracto vocal puede ser utilizada para estimar los coeficientes cepstrales utilizados para el reconocimiento del habla.

Por su parte, para las técnicas de parametrización basadas en el espectro de Fourier, las características espectrales de la señal de voz se derivan del análisis de Fourier de tiempo corto. En la siguiente sección se muestran dos aplicaciones la técnica basada en el espectro de Fourier: MFCC y LFCC.

Coeficientes cepstrales de frecuencia Mel: MFCC

Los MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients) son de gran utilidad en la extracción de los parámetros de la señal de voz, ya que están basados en la variación conocida de los anchos de banda de las frecuencias críticas del oído (Do, M). Los filtros que se le aplican a la señal en la técnica MFCC están espaciados linealmente para frecuencias menores a 1000 Hz y logarítmicamente para frecuencias mayores de 1000 Hz, con el fin de capturar las características fonéticamente importantes del habla. A esta escala se le denomina "Escala Mel" y su fórmula matemática se describe en la ecuación 2

$$Mel(f) = 2595\cdot\log\left(1+\frac{f}{700}\right)$$

Los pasos necesarios para el cálculo de los MFCC se muestran en la figura 5:

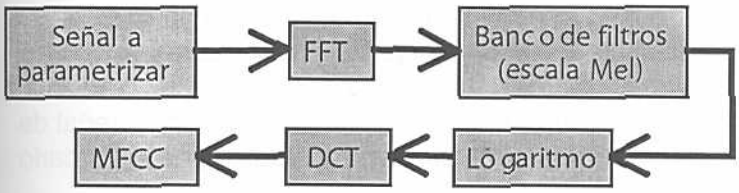


Figura 5. Diagrama de bloques para el cálculo de los MFCC's

El banco de filtros linealmente espaciado en la escala Mel puede tener distintas formas de ventana, tales como: Hamming, Hanning, Kaizer o triangular, siendo este último el más utilizado.

Mediante el proceso descrito anteriormente, para cada trama de voz de duración aproximada igual a 30 ms con solapamiento, se calcula un conjunto de coeficientes cepstrales. Este es el resultado de la transformada Discreta de Coseno de la Densidad Espectral de Potencia expresada en la escala Mel. A este conjunto de coeficientes se le denomina *Vector Acústico*, por lo que cada entrada es transformada mediante este proceso en una secuencia de vectores acústicos que representan las características más importantes de la voz, necesarias para el proceso de reconocimiento del habla.

Coeficientes cepstrales de frecuencia lineal: LFCC

El esquema bajo el cual funciona esta técnica es similar al mostrado en la figura 5, la única diferencia es que los filtros que conforman el banco de filtros que se le aplica a la señal, se encuentran sobre una escala lineal, es decir: $f(Hz) = f_{Mel}$.

Reconocimiento del habla

Las técnicas de parametrización explicadas en la sección 5 tienen como finalidad generar una serie de coeficientes que representan las características de la señal de voz, que pueden ser usadas en la fase de reconocimiento del habla y que no se obtienen mediante un análisis temporal o frecuencial. El tamaño de la matriz obtenida del proceso de parametrización depende directamente de la longitud (variable) de la señal de voz, por lo que se hace necesaria la estandarización de la matriz que contiene los coeficientes cepstrales calculados, para que el tamaño de las matrices usadas para el reconocimiento del habla sea el mismo. Este proceso se denomina *cuantización vectorial* y el paso siguiente corresponde al cálculo de la diferencia entre la señal de voz del hablante y las señales que se encuentran en la base de datos de entrenamiento del sistema mediante el cálculo de la *distancia euclidiana* en varias dimensiones.

Cuantización vectorial

La esencia de la cuantización vectorial, aplicada al caso particular del reconocimiento del habla, es la de obtener a partir de una matriz cualquiera de coeficientes cepstrales, una matriz de tamaño fijo que se parezca lo más posible a la original. Para ello, el espacio generado por los coeficientes cepstrales es dividido en un conjunto de regiones convexas mutuamente excluyentes y para cada una se calcula el *centroide,* que en dos dimensiones se representa como un punto que se encuentra a la menor distancia de todos los puntos (coeficientes cepstrales) que pertenecen a esa región. El conjunto de centroides obtenidos de la partición del espacio generado por los coeficientes cepstrales se denomina *codebook*. Por lo tanto, para caracterizar cada palabra se calcula su *codebook* correspondiente (Faúndez y Rodríguez, 2005).

Distancia euclidiana

Este método se emplea para calcular la diferencia existente entre el *codebook* obtenido de la palabra dicha por el hablante y el resto de *codebooks* almacenados en la base de datos de entrenamiento del sistema. El resultado final de dicha comparación es un valor numérico que representa la distancia entre dos matrices de iguales dimensiones y dependiendo de dicho valor se establece semejanza o diferencia entre las palabras

Metodología

Las fases en la metodología que se siguieron para el desarrollo e implementación del sistema de reconocimiento del habla para controlar dispositivos eléctricos se describen a continuación:

Recopilación de información y realización de pruebas con señales de voz

La búsqueda y recopilación de información realizada se basó en una consulta bibliográfica en sitios de Internet, así como en artículos de la IEEE *Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* y bibliografía especializada en el procesamiento de señales y sistemas como el libro Signals and Systems de Alan V. Oppenheim, entre otros.

Diseño de la aplicación encargada del reconocimiento del habla

El código desarrollado para la programación de la aplicación encargada del reconocimiento del habla está conformado por un bloque principal denominado "POcoNE", desde el cual se hacen llamadas a varios bloques secundarios conformados por funciones que realizan las tareas de pre-procesamiento, parametrización y reconocimiento de la señal de voz. La primera acción que se ejecuta en el bloque principal de la aplicación es el entrenamiento del sistema, leyendo todas las señales de voz guardadas en la base de datos de entrenamiento del sistema y aplicando los algoritmos correspondientes al pre-procesamiento y parametrización.

Pre-procesamiento

El diseño de las funciones que realizan las tareas de pre-procesamiento para cada una de las etapas que se muestran en la figura 3, se describen a continuación

- *Preénfasis:* se realizó usando una función denominada *prenfasis,* en la que se le aplica un filtro pasaalto a la señal de voz con la finalidad de prepararla para la detección de la información útil mediante el *endpoint detection.*
- *Endpoint detection:* la finalidad de esta etapa es la de eliminar los silencios usualmente presentes al comienzo y final de la señal de voz que graba el usuario. Se realizó mediante la función *energia* que divide la señal de voz en tramas (sin solapamiento), calcula la energía de cada una de las mismas y guarda esos valores en un vector *E*. Luego se establece un valor de comparación por encima del cual se considera que la energía es suficiente como para tomar la decisión de dónde empieza y termina la parte de la señal grabada que se considera información útil, extrayendo ese intervalo de la señal de voz original (sin preénfasis), para guardarlo como información útil.
- *Segmentación:* se realizó mediante la función *framing* que divide la señal en tramas de 256 muestras, que representan 25,6 mseg de voz, para considerar la señal de voz como estacionaria en ese intervalo de tiempo y crea una matriz *"M"* que tiene en cada una de sus columnas las muestras correspondientes a cada trama en la que se dividió la señal de voz. Para la segmentación se utilizó un solapamiento entre tramas consecutivas de 156 muestras.
- *Aplicación de la ventana Hamming:* una vez obtenida la matriz *M* de la etapa de segmentación, mediante la función *windowing* se creó una matriz *h* que en su diagonal contiene los valores de una ventana Hamming y que multiplicada por *M*, devuelve una matriz *"M2"* que corresponde a la ventana aplicada a cada una de las tramas contenidas en *M*.

Una vez que ya se tienen las tramas correspondientes a la señal de voz con la ventana aplicada a cada una de ellas, la parametrización es el paso siguiente en el esquema de reconocimiento del habla

Parametrización

El bloque correspondiente a la parametrización de la señal de voz, se basa en el desarrollo de tres algoritmos básicos que representan cada una de las técnicas de parametrización estudiadas, ya que esta fase corresponde a las pruebas que se realizaron con cada una de ellas y no a la escogencia de un método en particular. La explicación del funcionamiento de cada uno de los algoritmos desarrollados se muestra a continuación

- ✓ Coeficientes cesptrales de frecuencia Mel y lineal

- *Cálculo de la FFT:* mediante la función *fftframe* se calcula la Transformada de Fourier a

cada columna de la matriz *M2* (que corresponde a la señal de salida de la etapa de pre-procesamiento), obteniéndose la matriz *"fframe"* que corresponde a la FFT de cada trama. Esto se hace con el fin de aprovechar las características estacionarias de la voz en cortos intervalos de tiempo.

- *Creación del banco de filtros:* la creación del banco de filtros se realiza mediante la función *filterbank*, la cual tiene la opción de crear un banco de filtros separados linealmente en la escala Mel (MFCC) o separados linealmente en frecuencia (LFCC). Para el primer caso, se crea una escala de frecuencias Mel de acuerdo a la ecuación 2 y calculan cada una de las frecuencias en las cuales se centrarán los filtros del banco. Para el segundo caso, las frecuencias centrales de los filtros se calculan mediante una correspondencia directa y no logarítmica. Para ambos casos se utilizó un banco de 20 filtros, por ser un número que establece un equilibrio entre la rapidez del algoritmo y la calidad de la parametrización. Luego de que la escala de frecuencias está establecida, se crea el "banco de filtros triàngulares de escala Mel" o "banco de filtros triangulares de escala lineal" según sea el caso. La función descrita devuelve una matriz *"fb"* de 20 filas x 129 columnas, correspondiente a dicho banco.
- *Cálculo de la densidad espectral de potencia y aplicación del banco de filtros a la señal:* éste corresponde al siguiente paso en el cálculo de los MFCC o LFCC y se hace determinando la densidad espectral de potencia como el cuadrado de la magnitud de la matriz obtenida del cálculo de la FFT de *fframe*, y multiplicando el resultado de este cálculo por el banco de filtros *fb*, de lo cual se obtiene la matriz *"z"*. La razón para utilizar el cepstrum real como herramienta para el cálculo de los coeficientes cepstrales, radica en el hecho de que ésta representa una forma más fácil y rápida de parametrizar la señal de voz, ya que, aunque se pierde información sobre la fase de la señal y, a partir de estos coeficientes no se puede recuperar la señal de voz, se obtienen características de la misma que son especialmente útiles para las posteriores tareas de reconocimiento.
- *Cálculo de la transformada discreta de coseno (DCT):* este cálculo corresponde a pasar toda la información obtenida de la etapa previa al dominio del tiempo, lo cual es un paso fundamental para la obtención de los coeficientes cepstrales. En este caso se aplica la DCT, que representa la parte real de la Transformada Inversa de Fourier, ya que la matriz "z" es totalmente real en el dominio de la frecuencia y mediante la DCT se lleva al dominio del tiempo.

✓ Predicción Lineal de los Coeficientes Cepstrales: LPCC

El cálculo de los LPCC se realiza dentro de la función *parametrizar* en un bloque que se basa la ecuación 1, en la cual se puede observar que, partiendo del cálculo de los LPC de una señal, se pueden obtener sus LPCC. Usando la función *lpc* de MATLAB se calcularon los coeficientes de predicción lineal a la matriz *"M2"* y luego, a partir de esta matriz *"a"*, se realizó el cálculo de los LPCC, los cuales se guardaron en la matriz *"v"*.

Reconocimiento del habla

La etapa de reconocimiento del habla se realiza dentro de la función *test*, donde se compara la señal de voz dicha por el usuario y las señales pertenecientes a la base de datos de entrenamiento del sistema. Dicha función basa su funcionamiento en dos grandes bloques:

- *Cuantización vectorial:* este proceso se realiza mediante el uso de la función *VQLBG*. La matriz correspondiente al *codebook* de la palabra parametrizada tiene 20 filas y 16 columnas, éstas últimas correspondientes al número de centroides calculados por el LGB.
- *Distancia euclidiana:* este cálculo se realiza mediante el uso de la función *disteu*, la cual devuelve un valor numérico que representa la menor distancia entre la voz del hablante parametrizada y la señal de voz guardada en la base de datos de entrenamiento del sistema que más se parece a la primera.

Recolección de señales de voz

Para crear las bases de datos para el entrenamiento y pruebas del funcionamiento del sistema de reconocimiento se hizo con un total de 20 personas, de las cuales 11 eran hombres con edades comprendidas entre 20 y 24 años y 9 eran mujeres con edades comprendidas entre 20 y 22 años. La recolección de las voces se realizó en ambientes con diferentes niveles de ruido, por lo que se obtuvo una gran diversidad entre las señales de voz grabadas. Se grabaron las vocales desde la *a* hasta la u un total de tres veces: las primeras dos secuencias para agregarlas a la base de datos utilizada para el entrenamiento del sistema y la tercera secuencia para agregar a la base de datos usada para simular el funcionamiento "en vivo" del sistema de reconocimiento. Posteriormente se le aplicó a cada una de ellas el algoritmo correspondiente al *endpoint detection*, para guardar en las bases de datos sólo la información útil de la señal de voz.

Pruebas comparativas entre los métodos de parametrización estudiados

El criterio establecido para realizar la comparación entre los diversos métodos de parametrización desarrollados fue el porcentaje de error que arroja cada uno en cuanto a la exactitud del reconocimiento de los vocablos. Para realizar esta comparación se utilizaron las señales obtenidas en la fase de recolección de señales de voz para entrenar al sistema y para simular el funcionamiento "en vivo" del mismo.

Hardware encargado del control de los dispositivos eléctricos

Se siguieron varias fases de diseño, las cuales se describen a continuación.

Programación del microcontrolador

El papel del microcontrolador dentro del hardware es el de interpretar las señales provenientes del puerto serial del PC y transformarlas en salidas que el circuito de encendido y apagado pueda entender. El modelo del microcontrolador empleado fue el PIC 16F873, el cual posee un módulo de comunicación serial y varios puertos de entrada y salida, de los cuales sólo 5 de ellos fueron empleados para controlar el encendido y apagado de los dispositivos eléctricos conectados al hardware.

Circuito de encendido y apagado de los dispositivos eléctricos

Un circuito aparte del que se implementó para el microcontrolador fue necesario para generar el suministro de corriente necesario para la polarización de los relés encargados del encendido y apagado de los dispositivos. Dicho circuito está basado en el funcionamiento de un transistor como *suiche*, un diodo y un relé, tal y como se muestra en la figura 6

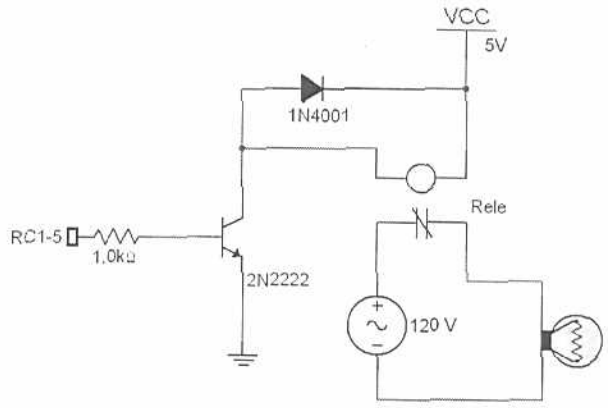


Figura 6. Diagrama circuital del módulo de encendido y apagado de los dispositivos eléctricos

El funcionamiento del circuito mostrado en la figura 6 es el siguiente: Se polariza la base del transistor con 5 voltios y el colector cae a tierra. Por su parte, la diferencia de potencial en el diodo es de 5 voltios (provenientes directamente de la fuente regulada) y la corriente suministrada por éste es suficiente para cambiar el estado del relé y, por ende, encender el dispositivo eléctrico.

Circuito impreso para el hardware de control de los dispositivos eléctricos

El montaje del hardware para el control de los dispositivos eléctricos se realizó en una placa de cobre, sobre la cual se diseñó un circuito impreso mediante el uso del software PCBExpress. Dicho circuito impreso incluye en su diseño el módulo de alimentación, además de todas las conexiones necesarias para la unión del circuito relacionado al microcontrolador y el circuito de encendido y apagado de los dispositivos eléctricos.

Resultados

Los resultados obtenidos del desarrollo del proyecto se describen a continuación.

Diseño en MATLAB de la aplicación encargada del reconocimiento del habla

La estructura de la aplicación encargada del reconocimiento del habla se basa en el esquema mostrado en la figura 2. Para ejemplificar los resultados obtenidos de las etapas que conforman el esquema mencionado, se utilizó la señal de voz que se muestra en la figura 7

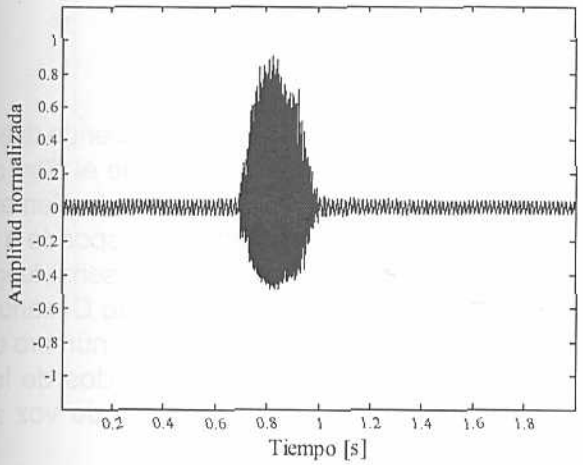


Figura 7. Representación en tiempo de la señal de voz correspondiente a la vocal "a"

Pre-procesamiento

La primera etapa del pre-procesamiento corresponde a la aplicación del filtro de *preénfasis* a la señal de voz. La finalidad de aplicar el filtro de preénfasis dentro del contexto de este proyecto es la de disminuir el nivel de ruido para que la detección del inicio y fin de la información útil *(endpoint detection)* sea más precisa. Una vez obtenidos el comienzo y final, la señal que se truncó fue la original (figura 7).

El paso siguiente a la obtención de la información útil de la señal es el de *segmentación y aplicación de la ventana*, paso que permite aprovechar que la señal es estacionaria en períodos cortos de tiempo y establecer un equilibrio entre la resolución temporal y frecuencial de la señal, tal y como se observa en la figura 8

Evaluación de las técnicas de parametrización estudiadas

A cada una de las tramas de voz obtenidas del pre-procesamiento, se le aplica el método de parametrización correspondiente. Los resultados que se muestran a continuación corresponden a pasar la trama que se muestra en la figura 7 por cada uno de los bloques correspondientes al esquema de parametrización de la señal de voz.

Al pasar dicha señal por el esquema mostrado en la figura 5, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 9, la cual representa dos de las 20 dimensiones que se generan con el cálculo de los coeficientes cesptrales, tanto de escala Mel

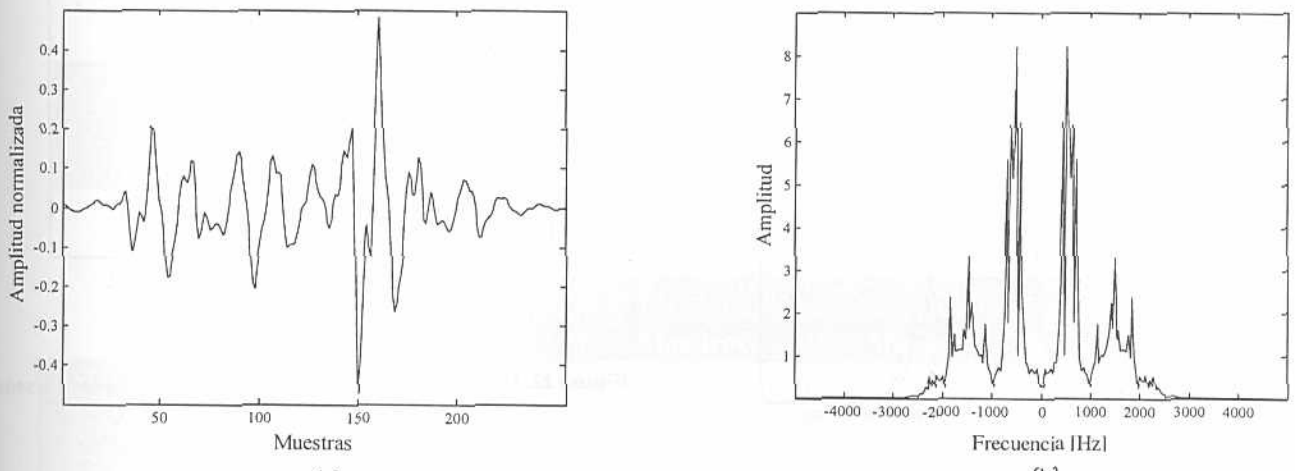
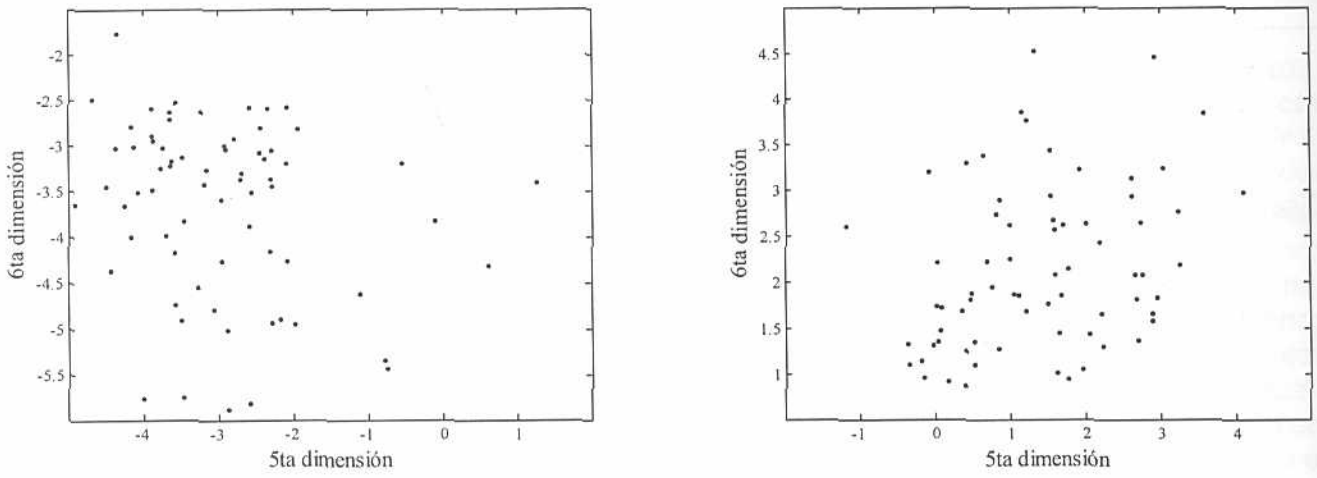


Figura 8. Representación de un segmento de la señal de voz con ventana Hamming: (a) En tiempo, (b) En frecuencia



(a) (b)

Figura 9. Coeficientes cepstrales: (a) Escala Mel (MFCC), (b) Escala lineal (LFCC)

(figura 9a) como de escala lineal (figura 9b). La ubicación de los MFCC y los LFCC es la principal diferencia entre ellos, y el tamaño de la matriz que se genera del proceso de paramatrización depende de la cantidad *n* de tramas en las que se divide la señal de voz.

Por su parte, para el caso del LPCC, los resultados obtenidos representan características diferentes, ya que se calculan primero los coeficientes del filtro de predicción lineal mediante la técnica del LPC y a partir de estos coeficientes se realiza la predicción del espectro de Fourier, tal y como se muestra en la figura 10. Esto equivale al cálculo de la Transformada de Fourier de la trama con la que se está trabajando.

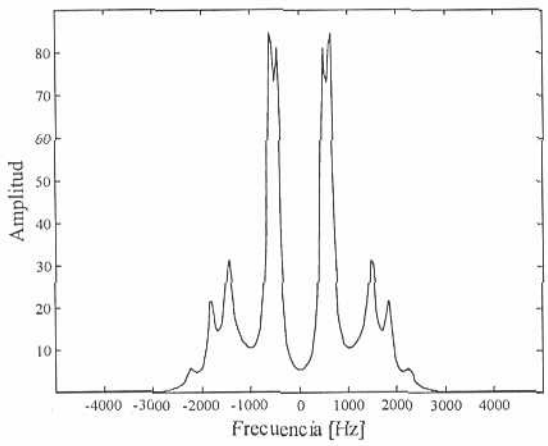


Figura 10. Predicción del espectro de Fourier de una trama de voz mediante la técnica del LPC

En este caso, el número de LPCC depende directamente del número de polos que tiene el filtro de predicción lineal, que para el proyecto implementado es de 20. El paso siguiente corresponde a la obtención del espectro logarítmico de la señal, luego se le aplica la Transformada Discreta de Coseno y se obtiene una matriz que depende del número de tramas. La representación gráfica de dos de los coeficientes calculados para la señal de voz se muestra en la figura 11

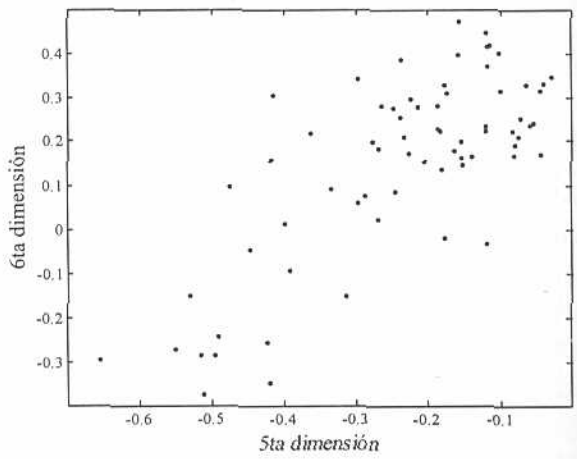


Figura 11. Representación de dos de los LPCC's calculados a la señal de voz

La diferencia entre la ubicación de los MFCC, LFCC y LPCC radica en los pasos realizados para su cálculo y en el hecho de que cada técnica extrae características diferentes para parametrizar la señal de voz.

Reconocimiento del habla

La señal que se obtiene del proceso de parametrización pasa por el proceso de cuantización vectorial. La representación gráfica de los VQ calculados a los MFCC de la figura 9a se muestra en la figura 12.

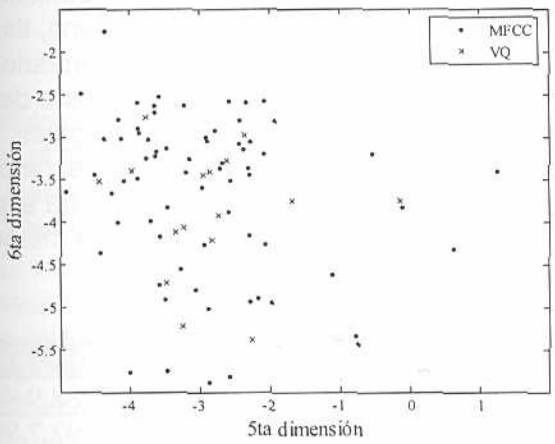


Figura 12. Cuantización vectorial de los MFCC's

Las cruces rojas que aparecen en la figura representan los 16 centroides calculados para la señal de voz de la figura 28, mientras que los puntos azules corresponden a los MFCC calculados anteriormente. Estos centroides corresponden a un vector que contiene los 16 puntos ubicados a la menor distancia de todos los coeficientes cesptrales obtenidos del proceso de parametrización (bien sea mediante MFCC, LFCC o LPCC).

Comparación entre los métodos de parametrización estudiados

Usando la base de datos para simular el funcionamiento en vivo del sistema, se realizaron las pruebas para comparar los métodos de parametrización evaluados. De acuerdo a la metodología seguida para la recolección de señales de voz, se obtuvieron 200 muestras para la base de datos de entrenamiento y 100 muestras para la base de datos de prueba del sistema. Se realizaron pruebas comparativas entre los tres métodos de parametrización estudiados: MFCC, LFCC y LPCC, usando como criterio de evaluación el porcentaje de acierto en el reconocimiento de los vocablos. El resultado obtenido para las muestras de voz correspondientes a las mujeres se muestra en la tabla 1.

La celda sombreada en la tabla 1 representa el número de aciertos que tuvo el algoritmo del LPCC para la vocal "i". Según este resultado, de 9 muestras de voz correspondientes a la vocal "i" para las mujeres, este algoritmo identificó 8 de ellas correctamente, lo que corresponde a un 88,9% de acierto para esta palabra y así se puede observar para el resto de los métodos y las vocales. Por su parte, en la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas para los hombres.

	a		e		i		O		u	
	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%
MFCC	9	100	9	100	9	100	9	100	8	88,9
LFCC	9	100	9	100	9	100	6	66,7	7	77,8
LPCC	9	100	9	100	8	88,9	8	88,9	6	66,7

Tabla 1. Resultados de las pruebas para las mujeres

	a		E		i		O		u	
	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%
MFCC	11	100	10	90,9	10	90,9	8	72,7	10	90,9
LFCC	10	90,9	11	100	8	72,7	6	54,5	8	72,7
LPCC	11	100	10	90,9	11	100	10	90,9	9	81,8

Tabla 2. Resultados de las pruebas para los hombres

	a		e		i		O		u	
	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%	Muestras	%
MFCC	20	100	19	95	19	95	17	85	18	90
LFCC	19	95	20	100	17	85	12	60	15	75
LPCC	20	100	19	95	19	95	18	90	15	75

Tabla 1. Resultados de las pruebas independiente del sexo del hablante

Según el ejemplo que se resalta en la tabla 2 se puede ver, de manera similar a la descrita para la tabla 1 que, para el caso de la vocal "a" y el método MFCC, de 11 muestras de voz recolectadas, el algoritmo acertó las 11 identificaciones correspondientes. Este mismo análisis se puede hacer para el resto de los métodos y vocales. En la tabla 3 se observa el comportamiento general de cada uno de los métodos, independientemente del sexo del hablante.

De forma similar a la que se menciona para las tablas anteriores, en la celda que se destaca en la tabla 3 se puede observar que de un total de 20 muestras de voz recolectadas para la letra "o" (9 de mujeres y 11 de hombres), el algoritmo LFCC identificó sólo 12, lo que corresponde a un 60% de acierto, bastante bajo en relación con los porcentajes de acierto del resto de los métodos.

Un aspecto importante que vale la pena destacar de los resultados mostrados en las tablas anteriores es que, independientemente del método o sexo del hablante, la mayor parte de los errores en el reconocimiento se dan para las vocales "o" y "u". Para comprender el por qué de esta situación, se muestra en la figura 13 las zonas donde se ubican los MFCC de las vocales a, e, i, o, u

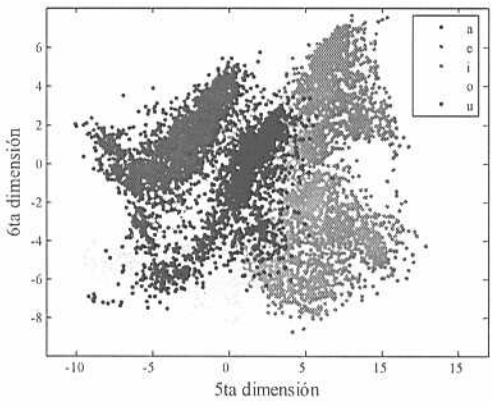


Figura 13. Principales formantes de las vocales a, e, i, o, u

La figura 13 corresponde al cálculo de los MFCC de las 20 personas que participaron en la recolección de señales de voz realizada. Se puede notar que los MFCC de las vocales "o" y "u" están ubicados en la misma zona, lo que hace muy probable que la aplicación encargada del reconocimiento al realizar el cálculo de la distancia euclidiana, tienda a confundir estas dos vocales. Por el contrario, se observa también cómo los MFCC del resto de las vocales se encuentran en diferentes lugares, por lo que se presentan escasos errores en el reconocimiento de éstas. En la tabla 4 se muestra el porcentaje promedio de acierto para los tres métodos de parametrización evaluados

	MFCC	LFCC	LPCC
Mujeres	97,8 %	88,9 %	88,9 %
Hombres	89,1 %	78,2 %	92,7 %
Total	**93 %**	83 %	91 %

Tabla 4. Porcentaje promedio de acierto de cada uno de los métodos de parametrización

De la tabla 4 se puede observar que el método con el mayor porcentaje de acierto total es el MFCC, por lo que se escogió esta técnica de parametrización para la implementación de la aplicación encargada del reconocimiento del habla. Se observa también que este porcentaje de acierto está seguido de cerca por la técnica del LPCC, pero la información encontrada en la revisión bibliográfica sobre el gran uso de la técnica MFCC para la parametrización de señales de voz en aplicaciones para el reconocimiento del habla, permitió hacer la escogencia de esta técnica como definitiva.

Diseño e implementación del hardware encargado del encendido y apagado de los dispositivos eléctricos

El hardware encargado del control de los dispositivos eléctricos conectados a él consta de varios

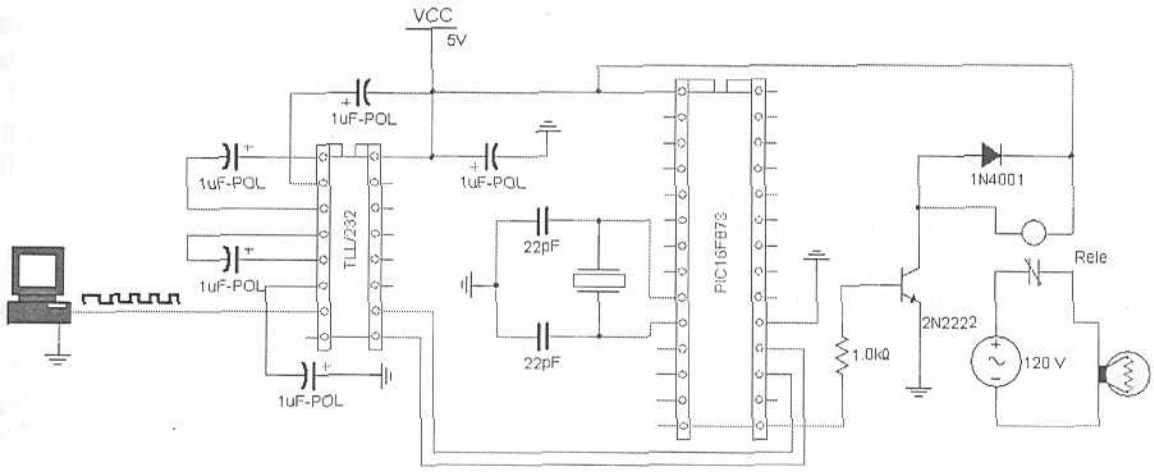


Figura 14. Diagrama circuital del hardware encargado del control de los dispositivos eléctricos

módulos: alimentación, comunicación serial con el PC y el módulo de encendido y apagado como tal, los cuales fueron combinados en el mismo circuito impreso de la forma que se observa en la figura 14

El módulo de comunicación serial con el PC representa la parte fundamental del hardware, ya que éste se basa en el uso del microcontrolador 16F873 como elemento para el procesamiento de la información proveniente del PC como resultado de la interpretación del software encargado del reconocimiento del habla. El PIC recibe por unos de sus pines de comunicación serial una señal en formato TTL, provenientes del conversor HIN232 e interpreta la misma como un comando de encendido o apagado, verifica a cuál dispositivo se hace referencia y su estado actual (encendido o apagado) y luego niega el valor lógico presente a la salida de uno de sus 5 pines (dependiendo del dispositivo, se usa un pin diferente del puerto de salida c). Tal y como se explicó en la sección II.8.2, dependiendo de la salida que produce el microcontrolador (0 ó 1 lógico), el transistor se comporta como un interruptor que cierra el circuito para polarizar la bobina del relé para encender o apagar el dispositivo eléctrico involucrado (dependiendo del estado inicial del dispositivo) o, por el contrario, mantiene el estado de actividad del mismo.

Por su parte, el módulo de alimentación se incluyó como parte integral del hardware para prescindir de alimentación externa para polarizar la bobina del relé. Este módulo consiste en una fuente fija de 5 voltios que proporciona la corriente que el PIC no puede suministrar al circuito de polarización. La unión de los módulos mencionados se realizó en una placa metálica mediante el diseño e implementación de un circuito impreso.

Conclusiones y recomendaciones

Se determinó mediante el estudio teórico-práctico que la etapa de pre-procesamiento es de gran importancia, ya que en ésta se resaltan y mejoran sustancialmente las características de la señal a parametrizar. Dentro de esta fase, la segmentación y aplicación de la ventana son especialmente importantes para asumir que la señal de voz es estacionaria en esa ventana y aplicar técnicas que permitan el Análisis de Fourier en tiempo corto. La ventana utilizada fue la Hamming, ya que ofrece el equilibrio entre la resolución en tiempo y frecuencia requerida.

Del estudio realizado para la etapa de parametrización, se encontró una gran variedad de técnicas. Se consideró desde un principio el uso de técnicas basadas en el cálculo de los coeficientes cepstrales por su gran uso en aplicaciones que involucran el procesamiento de señales de voz y por la gran variedad de combinaciones que entre ellos se pueden obtener. Como resultado del estudio comparativo, se escogió la técnica del MFCC porque su porcentaje de acierto del 93% indica el excelente desempeño que este algoritmo tiene para la aplicación desarrollada en este trabajo.

De las pruebas realizadas con la aplicación para determinar el desempeño de cada una de las técni-

cas de parametrización evaluadas, se observó que para el MFCC, el porcentaje de acierto en el reconocimiento de la vocal "a" fue de 100%, mientras que para las vocales "o" y "u" fue de 85% y 90% respectivamente. Este resultado se debe a la gran cercanía que tienen los MFCC de las dos últimas vocales, lo que crea un margen de ambigüedad en la fase de reconocimiento, mientras que la vocal "a" tiene una zona muy bien definida en la cual se ubican sus MFCC, disminuyendo cualquier posible margen de error en el reconocimiento.

En cuanto al lenguaje de programación utilizado en la aplicación encargada del reconocimiento, la elección fue MATLAB, ya que éste posee una amplia gama de módulos que pueden usarse para el desarrollo de aplicaciones relacionadas con procesamiento de señales de una forma sencilla, en comparación con otros lenguajes de programación tales como C++, Visual Basic, entre otros.

A pesar de que en el sistema no se hace consideración alguna de la influencia de un ambiente ruidoso en el desempeño y porcentaje de acierto en el reconocimiento del habla, se realizó la recolección de las señales de voz para el entrenamiento y pruebas del sistema, en ambientes con distintos niveles de ruido para simular el funcionamiento "en vivo" del sistema.

El entrenamiento del sistema se realiza al inicio de la aplicación, ya que éste consiste en el cálculo de los *codebooks* de cada una de las señales y esto lleva cierto tiempo que es preferible que el usuario espere al comienzo de la aplicación, y no cada vez que quiera realizar el reconocimiento de una palabra. De esta observación se desprende además la conclusión de que mientras más *codebooks* estén guardados en la base de datos de entrenamiento del sistema, más acertado es el reconocimiento, aunque esto implica un incremento en el tiempo de inicialización de la aplicación.

Entre algunas de las recomendaciones que se desprenden del desarrollo de este proyecto se encuentran: estudio de otras técnicas de parametrización de la señal de voz como modelos ocultos de Markov, redes neuronales, algoritmos genéticos, entre otros. Para la etapa de reconocimiento pueden considerarse otros métodos de compresión basados en cuantización vectorial, ya que ayudan a mejorar la comparación; además pueden evaluarse otros métodos de medición diferentes a la distancia euclidiana, como el Hitakura.

En cuanto al hardware empleado para controlar los dispositivos, en lugar de relés, se pueden emplear transistores de potencia y también ampliar el alcance de control de dicho hardware a dispositivos de estado sólido y no solamente electromecánicos.

Referencias bibliográficas

Davis, S. & Mermelstein, P. (Agosto de 1980). "Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences". *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Volumen 28, páginas: 357 – 366.

Do, M. (n.d). *An Automatic Speaker Recognition System.* Extraído el 25 de noviembre de 2005 desde http://lcavwww.epfl.ch/~minhdo/asr_project/asr_project.pdf

Faúndez, M. y Rodríguez, D. (10 de febrero de 2005). *Estudio comparativo de diferentes distancias en sistemas basados en VQ para identificación automática de locutores.* Extraído el 27 de junio de 2006 desde http://veu.eupmt.es/publicacions/docs/ursi98-1.pdf

Kornhauser, D. (4 de marzo de 1999). *Diseño de un reconocedor de voz de palabras aisladas público.* Extraído el 3 de febrero de 2006 desde http://bq.unam.mx/~daniel/gvoice/tesis/node22.html

Oppenheim, A. y Schafer, R. *Discrete-Time Signal Processing.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.

Reyes, J. A. y Herrera, J. A. (2005). *Reconocimiento de comandos de voz para Windows y Word.* Extraído el 10 de mayo de 2006 desde http://www.fip.unam.mx/_simposio_investigacion2005/ponencia29_ext.html

Slavinsky, J. (19 de diciembre de 1999). *Speaker Verification*. Extraído el 16 de febrero de 2006 desde http://www.owlnet.rice.edu/~elec301/Projects99/_wrcocee/endpt.htm

DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA PARA LA COMUNIDAD DE ARTESANOS DE MADERAS DURAS DEL SECTOR GUADALUPE, ESTADO LARA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTRO

■ De Jesús, Alvaro
dejesus.alvaro@gmail.com

■ Fleischer, Jonathan
jonathanfleischer@gmail.com

■ Tutor Ing. Luis Gutierrez
lgutierr@ucab.edu.ve

RESUMEN

Venezuela se encuentra actualmente en el puesto 89 de 117 países en materia de competitividad, según un estudio realizado por la Foro Económico Mundial (FEM). La falta de articulación empresarial es uno de los factores determinantes de tal fracaso. La práctica imperante es la competencia aislada; se evita colaborar con los demás en la elaboración de una visión conjunta que permita crear sectores de la industria altamente competitivos.

El grupo de artesanos de maderas duras del sector Guadalupe en el estado Lara, objeto de estudio de esta investigación, no es la excepción en este panorama. Su falta de cohesión constituye un impedimento para el posicionamiento de sus productos en los mercados internacionales, pese a que han venido desarrollando destrezas que los hacen ser reconocidos en los mercados regionales. Se trata de una comunidad que integra ese 80% de venezolanos bajo la línea de pobreza; es imperativo que reciban apoyo de diversas naturalezas para evitar que su actividad desaparezca, y con ella su sustento diario.

Por ello, el presente estudio se propuso analizar detalladamente la cadena de suministros, iniciando con un estudio de mercado, haciendo especial énfasis en el estudio de los procesos de manufactura y culminando con el diagnóstico del abastecimiento de materia prima. A partir de tal estudio, se diseñaron estrategias que ayudarán a desarrollar plenamente el potencial de esta comunidad como polo de exportación artesanal.

Para lograr tal objetivo se siguió una metodología que permitió la consideración de diversos factores de índole productiva, competitiva y social. Dicha metodología constó de cuatro pasos: i) identificación de una oportunidad de desarrollo, ii) diagnóstico de la actividad productiva y la realidad social, iii) generación de propuestas para el desarrollo y iv) el diseño de estrategias y una estructura organizativa para impulsar el desarrollo de la comunidad y el bienestar de sus miembros.

Como resultado de la investigación realizada, se pudieron hacer propuestas relativas a la adquisición eficiente de la madera; se diseñaron el *layout* y una estación de trabajo que maximizan la eficiencia de su trabajo (sin modificar su esencia artesanal); se hicieron propuestas concretas para el posicionamiento del producto como altamente diferenciado.

Se espera que con la implementación de tales estrategias Guadalupe se convierta en un polo de exportación artesanal.

ABSTRACT

The latest competitiveness report published by the World Economic Forum locates Venezuela in 89th place out of 117 countries in the area of competitiveness. Among many factors, the lack of coherent strategic planning for industry integration is the main cause of such a poor performance. Enterprises are competing separately rather than pulling together joint visions that would allow them to develop complex competitive advantages.

Guadalupe's Wood Crafts Cluster, is a perfect example. Their main barrier to gaining competitiveness in international markets is the lack of a joint vision that would enable them to compete, not as individual craftsmen but as a whole unit. The local craftsmen are not only failing to gain competitiveness but are also endangering the sustainability of the main economic activity of their community.

Furthermore, the community of Guadalupe is among the 80% that are under the poverty line in Venezuela, thus requiring extra attention and support to help them develop competitive advantages and exploit their full potential. This investigation was initiated to identify the necessary course of actions needed in order to transform Guadalupe Cafts' incipient Cluster into a highly developed one.

A new methodology consisting of four steps was developed in order to achieve this goal: i) Identification of a growth opportunity, ii) Diagnosis of the economic activity, value chain and social reality, iii) Generation of new development strategies and iv) Design and validation of the most suitable development strategies.

As a result of this research, a group of strategies were drawn up, which took into account suppliers, operations, marketing and organization. It is expected that with their implementation Guadalupe should make the transition from an early to a developed Cluster, thus creating competitive advantages and improving the way of life of the local wood craftsmen.

INTRODUCCIÓN

Venezuela se encuentra actualmente en el puesto 89 de 117 países en materia de competitividad, según un estudio realizado por la Foro Económico Mundial (FEM). La falta de articulación empresarial es uno de los factores determinantes de tal fracaso. La práctica imperante es la competencia aislada; se evita colaborar con los demás en la elaboración de una visión conjunta que permita crear sectores de la industria altamente competitivos.

El grupo de artesanos de maderas duras del sector Guadalupe en el estado Lara, objeto de estudio de esta investigación, no es la excepción en este panorama. Su falta de cohesión constituye un impedimento para el posicionamiento de sus productos en los mercados internacionales, pese a que han venido desarrollando destrezas que los hacen ser reconocidos en los mercados regionales. Se trata de una comunidad que integra ese 80% de venezolanos bajo la línea de pobreza; es imperativo que reciban apoyo de diversas naturalezas para evitar que su actividad desaparezca, y con ella su sustento diario.

Por ello, el presente estudio se propuso analizar detalladamente la cadena de suministros, iniciando con un estudio de mercado, haciendo especial énfasis en el estudio de los procesos de manufactura y culminando con el diagnóstico del abastecimiento de materia prima. A partir de tal estudio, se diseñaron estrategias que ayudarán a desarrollar plenamente el potencial de esta comunidad como polo de exportación artesanal.

Para lograr tal objetivo se siguió una metodología que permitió la consideración de diversos factores de índole productiva, competitiva y social. Dicha metodología constó de cuatro pasos: i) identificación de una oportunidad de desarrollo, ii) diagnóstico

de la actividad productiva y la realidad social, iii) generación de propuestas para el desarrollo y iv) el diseño de estrategias y una estructura organizativa para impulsar el desarrollo de la comunidad y el bienestar de sus miembros.

Como resultado de la investigación realizada, se pudieron hacer propuestas relativas a la adquisición eficiente de la madera; se diseñaron el *layout* y una estación de trabajo que maximizan la eficiencia de su trabajo (sin modificar su esencia artesanal); se hicieron propuestas concretas para el posicionamiento del producto como altamente diferenciado.

Se espera que con la implementación de tales estrategias Guadalupe se convierta en un polo de exportación artesanal.

Los artesanos de Guadalupe trabajan finas maderas tropicales como la Mora *(Chlorophora tinctoria)*, Zapatero (*Peltogyne spp)*, Roble (*Platymiscium polystachum)*, Miguelito (*Vallea stypularis)* y Cartán (*Centrolobium spp)* entre otras. A través de una larga tradición en el tallado de estas maderas exóticas, los artesanos han logrado obtener un conjunto de conocimientos y destrezas para la elaboración de piezas tanto utilitarias como de alto valor estético. Éstos y otros factores han constituido un conjunto de ventajas comparativas que han permitido la penetración de los productos artesanales madereros en el mercado nacional y el haber incluso hecho incursiones en el internacional. Sin embargo, algunas de estas ventajas comparativas se han ido deteriorando y perdiendo en el transcurso del tiempo por la falta de una estrategia adecuada. Por ejemplo, la madera, la cual anteriormente era encontrada en los alrededores de los poblados, en la actualidad debe ser comprada a comerciantes que la obtienen ilegalmente de otras regiones del país, debido a la deforestación causada por la tala irresponsable.

Ante esta situación, es indispensable el establecimiento de un modelo organizacional, que permita la elaboración de estrategias enfocadas hacia la creación de ventajas competitivas las cuales promuevan el desarrollo sostenible de la comunidad artesanal guadalupeña.

El problema de la comunidad artesanal es considerado desde el punto de vista de la cadena de suministros, se hace énfasis en los productores, se estudian cada uno de sus eslabones y se utiliza el modelo de la Cadena de Valor de Porter para analizar los problemas de los artesanos.

Dado que el foco central de este estudio es la población del sector Guadalupe, se comenzó por analizar el eslabón al cual éstos pertenecen: el de fabricante. Gracias a este análisis se pudo contextualizar el problema (ver tabla 1) y se tomaron en cuenta las variables, tanto internas como externas, que rigen el *status quo* de la población guadalupeña. Las variables internas se dividen como sigue: la estructura bajo la cual están organizados como artesanos, las características de la producción, los niveles de cooperación y competencia que existen entre los distintos talleres y los elementos culturales que los unen o separan como comunidad. Las variables externas son las siguientes: el suministro de madera, los clientes y los servicios básicos y complementarios.

MARCO REFERENCIAL

2.1 Clusters y competitividad

2.1.1 Definición de cluster: los *cluster* son definidos por Porter (1998) como "un grupo de compañías e instituciones interconectadas asociadas a un campo particular y próximo, geográficamente unidas por prácticas comunes y complementarias". En estos *clusters* las empresas de un mismo campo de la industria o campos complementarios se unen alrededor de sinergias potenciales entre ellos con el fin de crear ventajas para poder competir. En ellos conviven empresas que son a la vez cooperadoras y competidoras, son cooperadoras a la hora de desarrollar mercados, aumentar el poder de negociación con proveedores, destinar recursos para la investigación y desarrollo, etc.; y son competidoras a la hora de repartirse los beneficios que estas sinergias generan.

Pero quizá el mayor beneficio que obtienen las empresas de un mismo *cluster* es el acceso rápido a la información, conocimiento e innovaciones de los proveedores. Las estrechas relaciones de confianza de empresas que trabajan juntas impulsan un proceso permanente de aprendizaje que permite la generación y acumulación de conocimientos al interior de un mismo *cluster*, conocimientos que finalmente se traducen en ventajas competitivas. Así, el *cluster* viene a ser el espacio natural en el que se produce la innovación a través de la cooperación entre las empresas.

Tabla 1. Problemática de la actividad artesanal maderera del Sector Guadalupe según el modelo de la Cadena de Valor de M. Porter

Proveedores

1. Disponibilidad de materia prima -Escasez de madera en la zona obliga a los artesanos a abastecerse por medio de comerciantes ilegales de otras regiones del país.
2. Legalidad –La mayoría de los proveedores son ilegales y a su vez están sujetos a decomisos por parte de la Guardia Nacional para poder comercializarla.

Logística de Entrada	Operaciones	Logística de salida	Mercadeo y ventas
1.Tipos de materia prima -Los artesanos utilizan más de doce tipos de madera en diferentes combinaciones para las piezas, por lo tanto se requiere una gestión de inventarios. **2. Recepción de materia prima** -El suministro es inconsistente y los artesanos no cuentan con la información ni de los tiempos de entrega ni del tipo madera que pueden adquirir. -Se recibe en forma de tablas. -No existe un control de la calidad. **3. Centros de Almacenamiento** - El almacenamiento es a la intemperie, sujeto a las precipitaciones que humedecen la madera, lo cual influye negativamente en la calidad final de las piezas.	**1. Planificación de la producción** -La planificación es deficiente, lo cual genera pérdida de tiempo de producción. **2. Métodos de producción** -No existe una secuencia lógica de los procesos. -Los lay-outs son arbitrarios e ineficientes y la infraestructura de los talleres es primitiva. -No cuentan con estaciones de trabajo adecuadas ni con un buen almacenaje de las herramientas. **3. Diseño de piezas** -Existen oportunidades en cuanto al aprovechamiento de las maderas a través del diseño de piezas. **4. Maquinaria, herramientas y mantenimiento** -Algunas de las operaciones son realizadas con maquinarias no aptas para la actividad. -Las maquinarias están en mal estado por falta de mantenimiento. -Las herramientas no son las requeridas para las operaciones, lo que causa grandes ineficiencias en los procesos productivos. **5. Ergonomía y seguridad industrial** -La falta de estaciones de trabajo adecuadas obliga a los artesanos a adoptar posiciones incorrectas. -Los artesanos no cuentan con los mínimos equipos de seguridad como máscaras y lentes de protección.	**1. Almacenes** -Las piezas terminadas no tienen un lugar apropiado para su almacenaje que las proteja del sol, de la lluvia y del polvo. **2. Transporte** -No existe un embalaje adecuado para garantizar la integridad de los productos durante el transporte. -Los clientes son los encargados de ir a Guadalupe a recoger sus pedidos y transportarlos.	**1. Posicionamiento** -No se ha definido la identidad de los productos artesanales madereros en cuanto a la percepción deseada de los consumidores hacia estos. -La falta de un estudio de la demanda lleva a los artesanos a producir los mismos productos y no da lugar a las mejoras continuas en diseños ni a la innovación, que satisfagan las necesidades de los clientes. **2. Producto** -Los productos no son elaborados de acuerdo con los requerimientos de los clientes, tanto técnicos como estéticos. -No existe un nivel de calidad determinado, por lo tanto, llegan a los clientes productos en mal estado, lo que afecta el *upgrade* de la artesanía maderera. **3. Plaza** -Debido a la falta de un centro turístico artesanal en la comunidad guadalupeña, no existe un canal estratégicamente estipulado para la venta de las artesanías. **4. Publicidad** -No existe ningún canal o medio de publicidad ni para la atracción del turismo a la zona ni para los productos artesanales. **5. Precio** -No existe política alguna para la determinación de los precios. - No tienen una estructura de costos definida para que les permita obtener un margen deseado -El precio es la herramienta de competencia entre los artesanos

Información

Hay una falta de flujo de información a lo largo de la cadena de suministro entre cada uno de los eslabones, y entre los propios artesanos, lo cual impide la toma de decisiones estratégicas que permitan la creación de ventajas competitivas

Clientes

Servicios Complementarios

1. Agua – Hace siete meses fue inaugurada una tubería de agua que sólo surte a un aproximado del 30% de familias, sin embargo, el suministro no es confiable. El resto de las familias se surte de camiones cisterna y de la recolecta de las aguas de lluvia. El almacenamiento se hace en pipotes o tanques que pueden convertirse en criaderos de mosquitos

2. Salud – No existen centros asistenciales en la zona. El ambulatorio más cercano se encuentra a 10 kilometros, en el pueblo de Quibor.

3. Financiamiento - No tienen acceso a los sistemas financieros para solicitar créditos para la compra de activos fijos o capital de trabajo.

4. Electricidad – El suministro eléctrico no es confiable. Las instalaciones eléctricas son improvisadas y la luz se va cuando llueve. Además las instalaciones son inseguras en los talleres.

5. Vías de comunicación – Guadalupe cuenta con una sólo vía de acceso pavimentada, la cual se encuentra en deplorables condiciones. El resto de las vías son carreteras de tierra.

6. Comunicación – No cuentan con instalaciones de telefonía fija. Algunas familias tienen teléfonos celulares, sin embargo, no hay una buena señal.

Sentido de la Cadena de Suministro



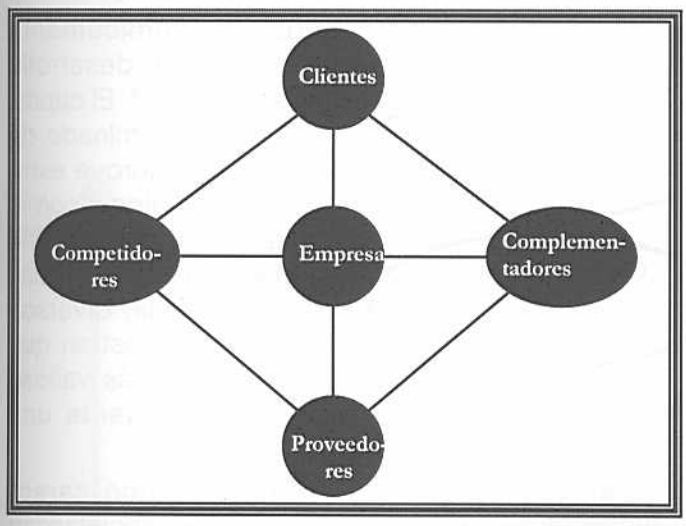


Figura 2. Esquema de la co-opetencia

2.1.2 Sinergias potenciales: las sinergias que pueden existir entre las empresas varían de *cluster* a *cluster*, sin embargo, muy frecuentemente la co-operación es posible entre empresas competidoras. En la figura 2 se nos plantea un esquema en el cual las empresas (ubicadas al centro) pueden tener competidores o complementadores naturales con respecto a los clientes o proveedores. Los competidores pueden ser tales con respecto a los clientes, sin embargo, pueden ser complementadores con respecto a los proveedores o viceversa. El asunto radica en encontrar propuestas "ganar-ganar" para los integrantes del sector.

Existen distintos elementos que pueden servir de enlaces entre las empresas de un *cluster*. A estos elementos se les puede denominar "conexiones", las cuales plantean situaciones que benefician a todos los involucrados.

Tabla 3. Conexiones potenciales representativas entre los Cluster y sus beneficios.

Conexión de Cluster	Descripción
Diseño de producto	Implica compartir ideas -esp ecialmente, know-how tecnoló gico en el desarrollo o fabricación de produc tos
Reputación	Mejora de la reputación de los participan tes de un clu ster a través de la asociación con ot ros participan tes o vía ce rtificaciones y ac reditacione s
Proc esos tecnológic os	Implica compartir ideas -esp ecialmente, know-how tecnoló gico de proces os tecnológico s
Acceso	Depende de la cooperación que r esulte en la obtención de acceso pronto seguro y /o prefe rencial, o distribución de product os y servicios
Información de M ercado	Implica compartir información sobre dat os dem ográficos de clientes, necesidades de clien tes, tende ncias del mercad o
Logística	Implica cooperación para el movimiento de bien es o inform ación entr e participantes del clus ter
Educación y adiestramiento	Implica la capacitación de los recursos human os con habilidades y conocimiento para s atisfacer las neces idades del clu ster: por ejemplo, conocimiento del mercado, conocimie ntos técnic os esp ecializados

Fuente: Fairbanks, Michael. Lindsay, Stace. Plowing the sea. 1997

Figura 3. Sinergias potenciales



Fuente: Programa sobre operaciones cooperativas entre empresas. Convenio BID-ATN

A partir de las conexiones que tenga un determinado *cluster* se pueden plantear varias modalidades para cooperar entre ellos. Dependiendo de la naturaleza de éste se pueden presentar algunas de las sinergias potenciales, que se exponen en la Figura 3.

2.1.3 Evolución de los *clusters*: los *cluster* son creados paulatinamente ya que existe una serie de variables suaves como la confianza, la cooperación y el aprendizaje que juegan un papel fundamental en el éxito de los mismos. Pueden existir *clusters* más articulados que otros que se encuentren en distintas etapas o fases de crecimiento

2.1.4 Asociatividad y capital social: La asociatividad es "un mecanismo de cooperación entre empresas pequeñas y medianas (principalmente), en donde cada empresa participante, manteniendo su independencia jurídica y autonomía gerencial, decide participar voluntariamente en un esfuerzo conjunto con los otros participantes para la búsqueda de un objetivo en común"[8]. La asociatividad no significa una integración entre empresas bajo la forma de una asociación empresarial para resolver problemas coyunturales o presionar a otras empresas o instituciones gubernamentales, la asociatividad presenta mecanismos de asambleismo para la toma de decisiones y tiene un carácter social de su razón de ser.

La asociatividad tiene una gran afinidad con el concepto de "capital social" el cual se define como "las instituciones, relaciones y normas que conforman la calidad y cantidad de las interacciones sociales de una sociedad... la cohesión social es un factor crítico para que las sociedades prosperen económicamente y para que el desarrollo sea sostenible"[9]. El capital social es denominado de esta manera porque establece una analogía con el capital económico de una entidad y, aunque es más difícil de medir, diversos estudios demuestran que es el capital más valioso con el cual cuenta una organización.

Existen cinco características requeridas para que una asociatividad funcione debidamente:

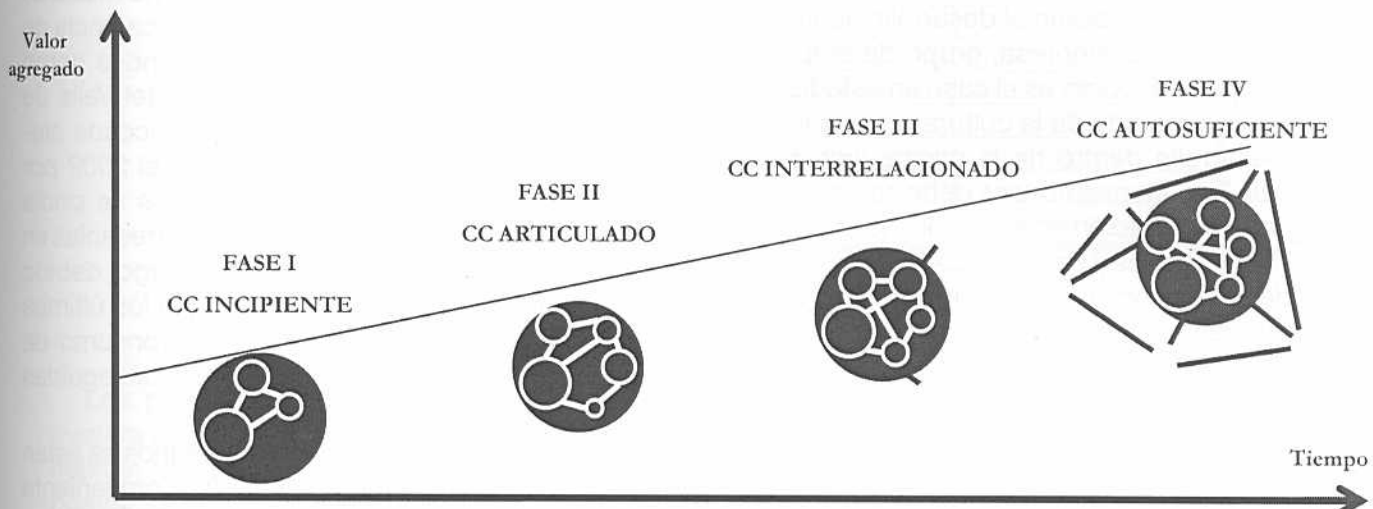
i) Que sea una estrategia colectiva.
ii) Que tenga carácter voluntario.
iii) Que no excluya a ninguna empresa por el tipo de mercado en cual opera.
iv) Que permita resolver problemas en conjunto sin perder la autonomía gerencial de las empresas.
v) Que pueda adoptar diversas modalidades jurídicas y organizacionales.

De igual modo, deben existir tres características que cumplan las estrategias empresariales:

i) Cultura de cooperación y compromiso entre las empresas a asociarse.
ii) Una actitud permanente de sana competencia en las relaciones inter-empresariales.
iii) Un entorno institucional que estimule y apoye la existencia de mecanismos de cooperación.

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Existen varias metodologías para el estudio de desarrollo de *clusters*, asociatividades y consorcios. Generalmente estas metodologías están diseñadas para el desarrollo de sectores industriales más avanzados tanto tecnológica como organizativamente que los sectores de microempresarios encontrados en Venezuela. Por esta razón, es fundamental tomar en cuenta la realidad social venezolana con sus características inherentes y particulares para desa-



i) Escasez de relaciones productivas/comerciales sólidas entre los agentes de la zona ii) Debilidad tecnológica (dependencia de tecnología foránea y forzada adecuación a ella) iii) Insuficiente demanda interna que permita un mínimo de escala de producción	i) Articulación comercial entre los agentes ii) Ausencia de mejora tecnológica, existencia solo de mejora técnica iii) Paulatina agregación de valor hasta la obtención de un producto final. La respuesta a la demanda hace que se generen estos eslabonamientos iv) Desarrollo institucional y normativo básico	i) Fuertes relaciones productivas, comerciales y sociales entre los agentes partícipes al interior del Cluster. ii) Dependencia tecnológica, mejoramiento de técnicas. iii) Demanda más sofisticada que requiere un volumen determinado de producción, por lo cual, la presencia de canales activos de confianza y asociación facilitan la interacción con la oferta iv) Desarrollo institucional y organizacional normativo y regulados básico	i) Integración entre las relaciones productivas y comerciales ii) Innovación tecnológica sobre la base de las necesidades que el Cluster debe satisfacer iii) Producción sofisticada que satisface la demanda local, regional y/o nacional, pudiendo generar demanda para más firmas en mercados externos a través de posicionamiento comercial iv) Desarrollo institucional y organizacional que fomenta y apoya las actividades asociadas al Cluster v) Coexistencia de la competencia y cooperación (lo que engloba una visión conjunta sobre los objetivos y necesidades del Cluster), como motor de la constante interrelación vi) Atracción de nuevos agentes, lo que va aumentando su autosuficiencia*



CLUSTER AUTOSUFICIENTE

Fuente: Elaboración propia
*Proexpansión

rrollar una metodología que sea capaz de considerar las variables productivas y sociales acordes con el contexto venezolano.

Como ya se ha expuesto, la creación de ventajas competitivas que propicien el desarrollo sostenible de una determinada empresa, grupo de empresas o micro-empresas, como es el caso en estudio, depende en gran medida de la cultura organizacional que se desarrolle dentro de la misma (*ver marco referencial*). La cultura entonces debe ser una variable de gran ponderación en el estudio que pretenda moldear las actitudes y paradigmas actuales de una comunidad y promover la creación de una nueva cultura empresarial diferente.

La metodología que se siguió en este estudio se detalla en la figura 7. Esta metodología viene siendo el marco de análisis que puede ser reaplicado para la búsqueda del desarrollo sostenible de otras poblaciones o grupo de microempresarios con características similares a las encontradas en Guadalupe.

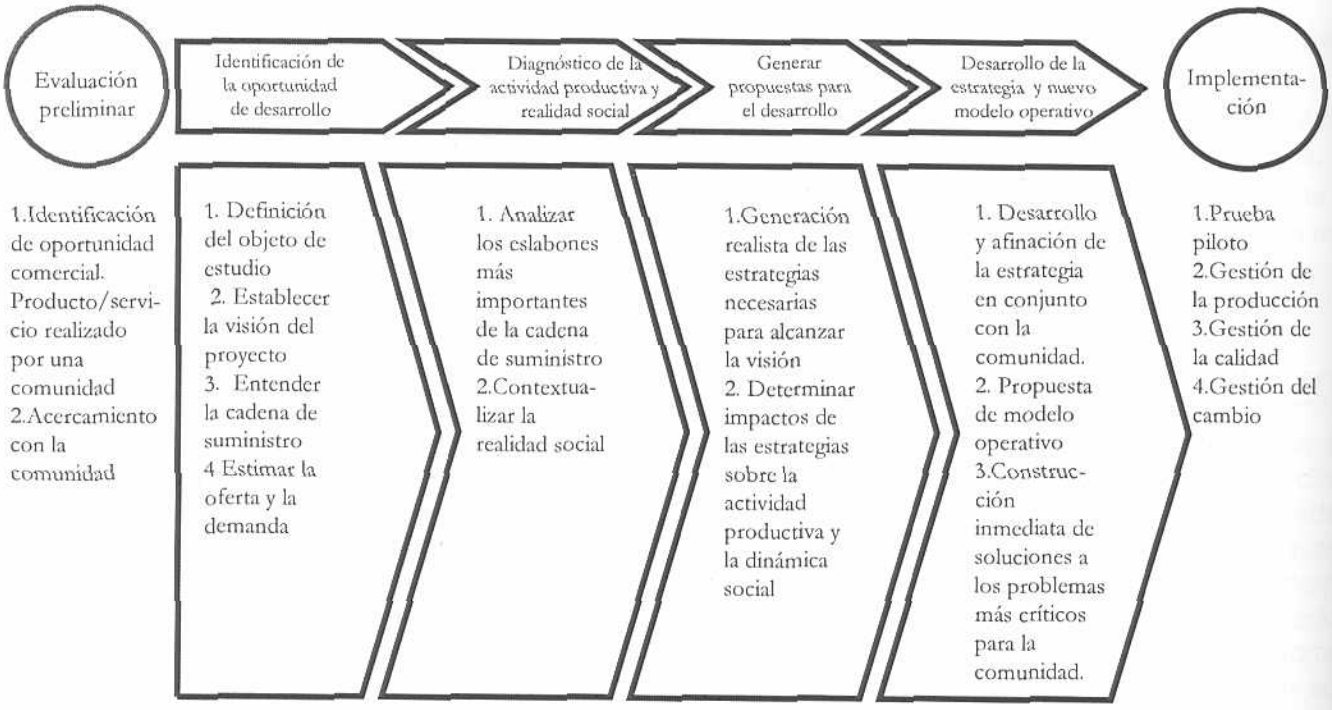
Análisis de la información

Proveedores

La problemática del abastecimiento de maderas duras para la artesanía comienza por la carencia de lotes boscosos lo suficientemente grandes como para ser explotados en las cercanías del Valle de Quíbor. Un inventario de los lotes boscosos aledaños al Valle de Quíbor realizado en el 2002 por la ULA y el MARN revela que de éstos se podía seguir suministrando madera para las artesanías en promedio sólo hasta el 2010. Sin embargo, debido al aumento de la actividad artesanal en los últimos años y el incremento, por ende, del consumo de madera, ya muchas especies antes conseguidas en la localidad han desaparecido.

En vista de esta situación, los artesanos se están quedando sin el suministro de madera proveniente de la región, dando origen a los proveedores clandestinos quienes consiguen la madera mediante la tala ilegal en esta y otras zonas del país, ocasionando graves impactos ambientales como la desertificación que sufren los estados Lara y Falcón.

Metodología del estudio



Fuente: Elaboración propia

Especie	Existencia ajustada de Volumen (m^3)	Consumo (m^3/año)	Tiempo de Abastecimiento (años)
Vera	33,48	4,1	8.2
Curarire	15,812	1,9	8.3
Roble	1,178	760	1.6
Miguelito	1,878	180	10.4
Dividive	1,973	230	8.6
Marfil	2,84	175	16.2
Palo de Arco	1,64	106	15.5
Total	58,801	7,451	7.9 (promedio)

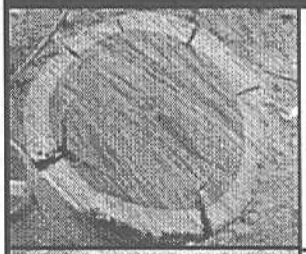
Logística de entrada

Los proveedores clandestinos transportan la madera en camionetas hasta los caseríos en donde habitan los artesanos, luego la subastan al mejor postor, lo que resulta en un encarecimiento de la materia prima que compromete la rentabilidad de la actividad artesanal. Adicionalmente, la calidad de la madera recibida por los artesanos es muy baja, ya que la informalidad en la compra no les permite recibir ninguna garantía en cuanto a la calidad de la materia prima.

Operaciones

Los procesos productivos no presentan grandes variaciones de taller en taller, ya que todos han aprendido las mismas prácticas. Para el estudio se observó la producción de 24 talleres. Sólo se han determinado dos variaciones en los procesos productivos: la cantidad de lijas que le aplican a las piezas, lo que influye en las distintas calidades de las mismas, y el curado de las piezas para cubrir las grietas de la madera con una mezcla de aserrín y pega.

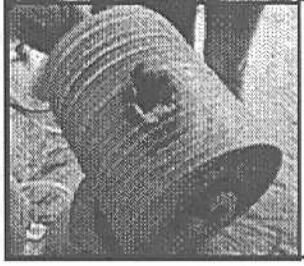
Problemas ocasionados por los defectos en la madera



Debido a las grietas que presenta esta rola, la sección aprovechable de la misma se reduce significativamente. El artesano se ve obligado a pagar el precio completo por la rola y debe asumir los costos que impliquen los defectos.



Esta rola se encontraba húmeda y se le desprendió un pedazo mientras estaba siendo trabajada en un torno. A parte de representar un costo por merma de materia prima, también puede ser causa de accidente para el artesano, ya que los pedazos puedes salir disparados a altas velocidades.



Después de haber trabajado por unas horas esta rola, se descubrió que tenía un hueco en la coraza. A parte de la rola se perdieron horas de trabajo.

	Detalles del método propuesto	Operación	Inspección	Transporte	Demora	Almacén	Distancia (m)	Tiempo (Seg)
1	Redondeo de la sección	○	□	⇨	D	▽		236
2	Picado de la sección por la mitad	○	□	⇨	D	▽		50
3	Dar forma de piña	○	□	⇨	D	▽		195
4	Rayado de la piña	○	□	⇨	D	▽		50
5	Taladro del hueco para las ramas	○	□	⇨	D	▽		1079
6	Cambio de mecha	○	□	⇨	D	▽		65
7	Taladrado de huecos de incrustaciones	○	□	⇨	D	▽		1048
8	Cambio de mecha	○	□	⇨	D	▽		59
9	Continuación del paso 24	○	□	⇨	D	▽		180
10	Picado de incrustaciones	○	□	⇨	D	▽		1610
11	Lijado de incrustaciones	○	□	⇨	D	▽		450
12	Corte de incrustaciones	○	□	⇨	D	▽		250
13	Pegado de incrustaciones	○	□	⇨	D	▽		1372
14	Lijado del cuerpo de la piña	○	□	⇨	D	▽		355
15	Calidad del lijado	○	□	⇨	D	▽		65
16	Pulido con 1er caucho	○	□	⇨	D	▽		3925
17	Calidad del Pulido	○	□	⇨	D	▽		20
18	Cambio de caucho	○	□	⇨	D	▽		35
19	Pulido con 2do caucho	○	□	⇨	D	▽		1910
20	Calidad del Pulido	○	□	⇨	D	▽		20
21	Cambio de caucho	○	□	⇨	D	▽		35
22	Pulido con 3er caucho	○	□	⇨	D	▽		772
23	Calidad del Pulido	○	□	⇨	D	▽		20
24	Cambio de caucho	○	□	⇨	D	▽		35
25	Pulido con 4to caucho	○	□	⇨	D	▽		557
26	Calidad del Pulido	○	□	⇨	D	▽		20
27	Curado del cuerpo de la piña	○	□	⇨	D	▽		560
28	Decoración del cuerpo de la piña	○	□	⇨	D	▽		1030
29	Picado de forma de las hojas	○	□	⇨	D	▽		1458
30	Movimiento de hojas	○	□	⇨	D	▽		18
31	Doblado de hojas	○	□	⇨	D	▽		1652
32	Movimiento de hojas	○	□	⇨	D	▽	12	18
33	Realizar mezcla de pega	○	□	⇨	D	▽		275
34	Pegado de hojas en cuerpo de piña	○	□	⇨	D	▽		585
35	Secado de pieza final	○	□	⇨	D	▽		3645
36	Pulido final	○	□	⇨	D	▽		240
37	Inspección Final	○	□	⇨	D	▽		65
35	Limpieza del taller	○	□	⇨	D	▽	1	1680
35	Afilado de machete	○	□	⇨	D	▽	1	300
35	Realización de cauchos de lijado	○	□	⇨	D	▽	1	900

De implementarse el modelo de producción propuesto, se puede lograr un incremento en la productividad desde el 49% (ver Mejoras). Es importante tener presente que existen muchas áreas de oportunidad para incrementar el rendimiento de los artesanos, las cuales en este momento no son cuantificables; por ejemplo el hecho de minimizar el transporte implica una menor fatiga, lo cual se puede traducir en mayor energía para realizar las actividades que agreguen valor al producto.

Resumen proceso actual

Actividad	Simbolo	Tiempo (seg)	% de Operaci'on
Actividad	Simbolo	Tiempo (seg)	% de Operaci'on
Operaciones	○	25.159	53,49%
Demora	D	16.120	34,27%
Transporte	⇨	5.222	11,10%
Inspección	□	538	1,14%
Almacenaje	▽	0	0,00%
Total	-	47.039	100%

Resumen proceso propuesto

Actividad	Simbolo	Tiempo (seg)	% de Operaci'on
Operaciones	○	20.068	83,89%
Demora	D	3.645	15,24%
Inspección	⇨	210	0,88%
Transporte	□	36	0,15%
Almacenaje	▽	0	0,00%
Total	-	23.923	100%

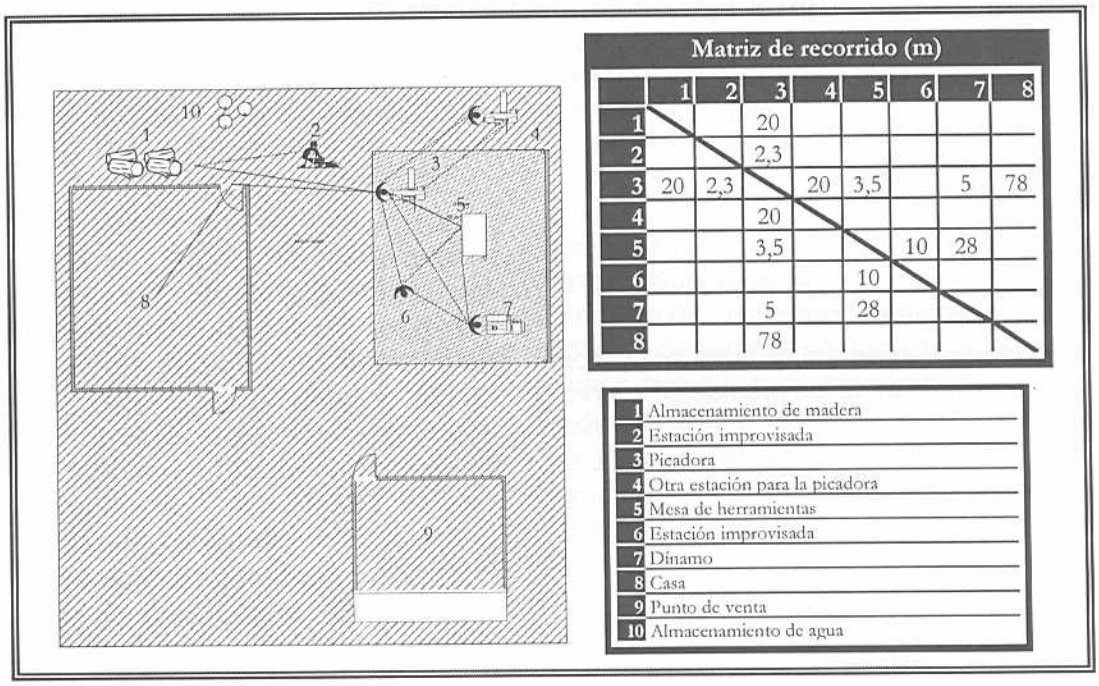
Mejoras

Proceso	Tiempo (seg)	% de Mejora
Actual	47.039	49,14%
Propuesto	23.923	

Cada pieza requiere de distintos procesos, motivo por el cual se analizaron, utilizando los diagramas de operaciones, los distintos métodos de producción de cada una de las piezas. En el análisis de estos procesos se determinó que para fabricar el total de trece productos que engloba este estudio los artesanos requieren un total de cinco procesos de manufactura para elaborarlos. Una vez analizados los procesos de producción de los distintos productos mediante diagramas de operaciones y diagramas de procesos, se propusieron nuevos procesos para optimizar la producción.

4.4.3 *Layouts*: los *layouts* de los talleres obligan a los artesanos a desplazarse frecuentemente a su alrededor. Muchos de estos desplazamientos son innecesarios y no agregan valor a la producción, como se puede ver en la figura 11. En algunos casos, los artesanos se ven obligados a mover las máquinas de puesto durante la producción para protegerse del sol o debido a que los cambios en la dirección del viento les hacen aspirar el aserrín. La infraestructura de los talleres consta en su mayoría de cuatro columnas de palo con un techo de zinc y algunas ramas utilizadas para la protección del sol; en otros casos la producción se lleva a cabo bajo la sombra de un árbol.

Figura 11. Layout del Taller Aníbal



	1	2	3	4	5	6	7	8
1			20					
2			2,3					
3	20	2,3		20	3,5		5	78
4			20					
5			3,5			10	28	
6					10			
7			5		28			
8			78					

Fuente Elaboración

La organización de las herramientas es uno de los factores que más afecta la productividad, en algunos casos las paradas de la producción causadas por la búsqueda de herramientas, representan un 11% del total del tiempo de producción. Las herramientas no están ordenadas ni tienen un lugar específico en el taller.

Seguridad industrial y ergonomía: la seguridad de los artesanos se encuentra amenazada por una serie de factores de toda naturaleza. La utilización de las máquinas y herramientas se caracteriza por ser muy riesgosa. Recurren a la picadora para hacer cortes de secciones bastante pequeñas y corren el riesgo de amputarse un dedo. Los accidentes con las máquinas le han ocurrido a un alarmante 36% de los artesanos encuestados. Todos los productores y familiares del sector Guadalupe sufren o han sufrido las consecuencias de la inhalación constante del aserrín, la gran mayoría sufre de gripes y ataques de asma que los obligan a reposar durante días con una alta frecuencia, entre una o dos semanas, incluso se han presentado algunos casos de enfermedades como neumonía, amigdalitis crónica y cáncer. Las instalaciones eléctricas representan potenciales riesgos para los artesanos, ya que éstas están hechas inadecuadamente, los cables eléctricos cuelgan de los techos o están tirados por el piso y los interruptores son sustituidos por cualquier tipo de dispositivo.

Las posiciones adoptadas por los artesanos en la elaboración de las piezas son de alto riesgo para su salud. Esto se debe a que las estaciones de trabajo no están diseñadas para la actividad. El trabajo requiere de movimientos repetitivos y de grandes esfuerzos como levantar pesos mayores a 50 Kg. Adicionalmente, en muchos casos se trabajan numerosas horas bajo el sol.

Logística de salida

Una vez terminadas las piezas, no existe un proceso definido para su embalaje y/o almacenamiento. Si el artesano se encuentra realizando un pedido, procede a colocar los productos en la primera caja de cartón corrugado que encuentra en su taller o dentro de la vivienda. Los clientes son los responsables del transporte desde el Sector Guadalupe hasta sus tiendas o almacenes.

Mercadeo y ventas

El 60% de los artesanos cuenta con puestos en la orilla de la carretera, donde son colocados los productos para su exhibición y venta. Existe un 40% que se ve obligado a comercializar exclusivamente con revendedores de la zona y de otras partes del territorio nacional. Finalmente, un 16% vende mercancía en las dos modalidades, debido a la decreciente afluencia de turistas en el sector Guadalupe, ya que las vías de comunicación se encuentran bastante deterioradas.

En la actualidad no existe un sistema o una política para la determinación de los precios de los productos. A partir de una entrevista socio-económica se encontró que el 92% fija los precios a partir de un margen, sin embargo, durante el estudio se percibió que el artesano no calcula una estructura de costos detallada, por lo tanto, el verdadero margen no es conocido por el artesano.

Las artesanías realizadas en el sector Guadalupe no han encontrado un canal específico por el cual puedan ser distribuidas. En la actualidad, las piezas se pueden encontrar en diversos sitios que van desde tiendas especializadas en prestigiosos centros comerciales del país y aeropuertos, en tiendas de artesanía venezolanas de menor categoría y hasta en los puestos de los buhoneros que rondan el centro de Caracas. Existen alrededor de cinco portales en Internet que se dedican a comercializar los productos en el ámbito nacional e internacional, sin embargo, éstos también muestran distintas maneras de presentar los productos. Unos lo hacen posicionándolos como obras de arte y les colocan precios acordes con este concepto, y otros los comercializan de la misma manera como se comercializaría un *commodity*.

Organización comunitaria

Existe poca comunicación entre los artesanos, normalmente su círculo social no va más allá de sus familiares. Esta situación trae como consecuencia que surjan pocas discusiones acerca de los problemas del sector, y por lo tanto, no se formulan proyectos comunitarios cuya aplicación pudiese llevarlos a su solución. La falta de integración de los artesanos afecta de igual manera a la producción. Existen sinergias potenciales en diversas áreas que se pudiesen aprovechar si existiese unión entre los artesanos.

Por lo general, los artesanos están conscientes de su propia problemática. Han logrado identificar entre sus problemas más graves la falta de cohesión entre ellos mismos y la gran mayoría manifiesta su disposición de trabajar para solucionar estos problemas. Sin embargo, la necesidad de dedicar todo el día al trabajo les impide consagrar tiempo para llevar a cabo sus ideas e iniciativas.

Uno de los principales problemas que ven lo artesanos con la posible unión de la comunidad es la falta de confianza que existe entre ellos mismos y el temor a que los demás artesanos copien las piezas que ellos producen. A pesar de que las piezas son, en algunos casos, exactamente iguales en todos los talleres, los artesanos consideran sus piezas únicas y temen enseñárselas a los demás artesanos para poder ser ellos los únicos que las produzcan y así tener una ventaja sobre los demás.

Otro problema que existe desde el punto de vista social es la poca autoestima del artesano, quien por lo general menosprecia su obra. Esta situación permite que su autoestima sea fácilmente manipulada, lo cual se evidencia en las negociaciones de los artesanos con los turistas que se acercan a la zona, quienes piden constantemente rebajas y descuentos que los artesanos conceden por ignorar el verdadero valor artístico que poseen sus piezas.

Mercados internacionales

La Unión Europea es el importador de artesanías más grande del mundo, seguido por los Estados Unidos. Dentro de la Unión Europea, los principales

Tabla 24. Participación de los países europeos en la importación de artesanía

Partida	Descripción	Principales Países importadores la UE	Importaciones totales hacia la UE en Millones de €
441400	Marcos de madera para cuadros, fotografías, espejos u objetos similares.	Alemania, Francia, Reino Unido, Bélgica	225
442010	Estatuillas y demás objetos de adorno, de madera	Alemania, Francia, España, Italia	216
442090	Marquetería y taracea; cofres, cajas y estuches para joya u orfebrería	Reino Unido, Alemania, Francia, Italia	207

Importación de objetos decorativos de madera

País	US$ Millones	Participación
Alemania	1342	21%
Gran Bretaña	882	13,7%
Francia	708	11%

Fuente: Trade Map 2005

importadores de este rubro son Alemania, el Reino Unido y Francia. El segmento de artesanía está integrado principalmente por artículos de joyería, cerámica, tejidos, vidrio y madera. Particularmente, en la categoría en la cual se clasifican las artesanías elaboradas en Guadalupe (estatuillas y demás objetos de adorno de madera), la Unión Europea representa un 46% del total de importaciones del mundo, seguido por Estados Unidos, con un 30%.

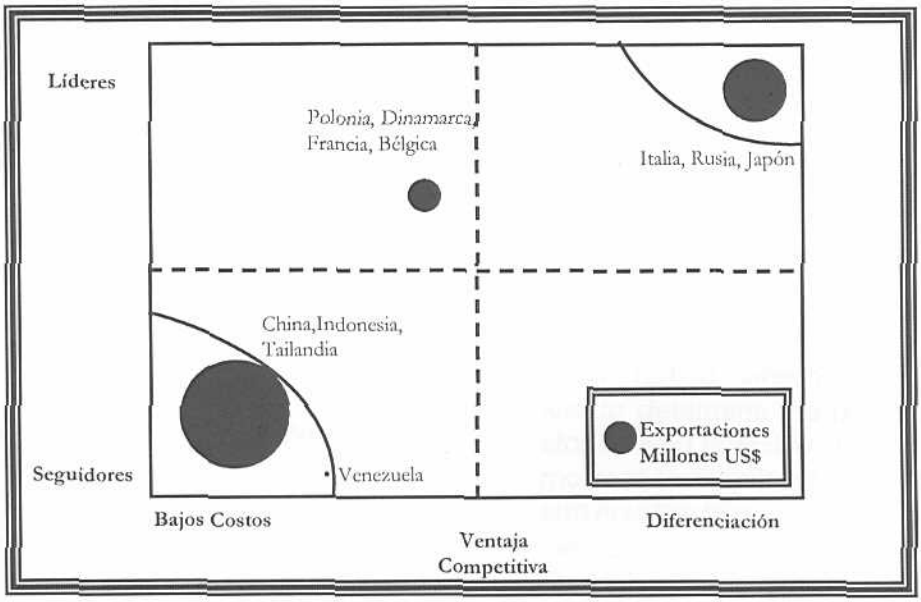
Los países latinoamericanos tienen muy poca participación en los mercados internacionales, sólo figura México con un 1% de participación mundial. Después de México siguen Brasil, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, Perú y Colombia. Venezuela tiene la posición 115 en un ranking mundial que incluye a 130 países, comercializando apenas $32.000 al año.

La posición relativa de Venezuela en el mercado de la artesanía maderera es bastante indeseable, pues compite mediante precios bajos. Sin embargo, sus precios no son competitivos si se comparan con las grandes escalas que pueden llegar a producir los países asiáticos. Los países como China, Indonesia y Tailandia compiten por medio de bajos precios, pues el bajo costo de la mano de obra característica de estos países es muy difícil de imitar en otros lugares. Los países líderes en cuanto a diseño de valor agregado de las piezas son Italia, Rusia y Japón. Estos países compiten basados en la diferenciación de productos y en la alta calidad de los mismos. Si bien la participación de mercado es más pequeña para estos países que para los países asiáticos, una tonelada de artesanía italiana o japonesa puede estar alrededor de $50.000 mientras que una tonelada de artesanía china o indonesa cuesta alrededor de los $2.000.

Estrategias de desarrollo

Las primeras decisiones se deben tomar con respecto al mercado y a la manera más apropiada para competir. Estas decisiones darán como resultado la estrategia de mercado. Esta estrategia condicionará todas las decisiones posteriores en cuanto al modelo operativo que a su vez condiciona las decisiones en cuanto a las estrategias de abastecimiento. Las tres primeras estrategias – *de mercado, operativas y de abastecimiento* – son tomadas en cuenta para la propuesta de modelo organizacional que deban adoptar los artesanos del sector Guadalupe. Dicha propuesta deberá ser presentada formalmente a la comunidad en una asamblea donde se convoque a todos sus miembros.

Para la toma de decisiones se evalúan varios factores: *la aceptación social*, la cual considera la opinión de los artesanos en cuenta a la adopción de esa medida. Dicha opinión se recogió mediante encuestas y entrevistas no estructuradas. *El impacto en la comunidad* que se refiere al efecto que tiene la adopción de una estrategia en la comunidad. Se busca lograr un impacto positivo en la comunidad en términos de bienestar para los artesanos y competitividad de la actividad artesanal. *La factibilidad de*



Fuente: Elaboración propia

la implementación que toma en cuenta las barreras que existen en cuanto a la puesta en marcha de las estrategias. Dichas barreras pueden ser limitantes geográficas, presupuestarias, disponibilidad de recursos, etc. *La relación costo-beneficio*, la cual toma en cuenta los factores financieros como el ROI y los recursos financieros necesarios. A partir de la estrategia de mercado se incluye un quinto factor, el de *congruencia estratégica*, para garantizar que las estrategias subsiguientes tomen en cuenta la precedente, ya que cada estrategia implementada trae como consecuencia ciertas implicaciones que ameritan acciones específicas.

Obtención y prueba de una metodología cuantitativa capaz de pronosticar el comportamiento de los datos experimentales de funcionamiento y limpieza de las correas de lijado de una máquina de control numérico

■ Ing. Adrián Pirraglia Tuñez
adrianpi@cantv.ne

■ Tutor Ing. Henry Gasparín
hgaspari@ucab.edu.ve

Resumen

El presente trabajo, consiste en diseñar e implementar una técnica, cuyas características permitan hallar patrones de comportamiento de una máquina, y determinar los puntos en que el lijado deja de ser efectivo, con el objetivo de conocer en que momento detenerla, de qué manera experimentar con la misma, y cómo debe variar el comportamiento de ésta al aplicársele un limpiador, por las características de los datos suministrados, se escogió el modelado de series de tiempo, mediante el proceso de modelado, caracterización y predicción del sistema. Esta metodología es mejor conocida como dinámica de sistemas complejos, o teoría del caos, en su amplia definición, la cual abarca un gran conjunto de herramientas para el análisis de datos.

Para la implementación de la técnica, se emplearon herramientas propias de la teoría del caos, tales como: teorema de inserción, espacios de fases, conteo de cajas, determinación de atractores, así como técnicas básicas de estadística, tales como ajuste de datos a polinomios y rectas, etc.

Abstract

The present work, consists of designing and implementing a technique, which characteristics allows to find patterns of behaviour of a machine, and to determine the points in which the sanding stops being effective, with the aim to know in what moment to stop it, of what way experiment with it, and how the behaviour must change when apply it a cleanser, for the characteristics of the given information, it has been chosen the shaped of time series, by means of the process of shaped, characterization

and prediction of the system. This methodology is better known as dynamics of complex systems, or chaos theory, in its wide definition, which includes a great set of tools for the analysis of information. For the implementation of the technique, there were used (proper) tools of chaos theory, such as: insertion theorem, phase spaces, box-counting, determination of atractors, as well as basic statistics techniques, such as adjustment of data to polynomials and straight lines, etc.

La dinámica de un sistema en el cual interactúan un gran número de variables, es por lo general un problema de difícil solución, debido a la complejidad que involucra observar y determinar el comportamiento de varias variables dentro de un entorno determinado. Para estudiar el comportamiento de un sistema, poco se puede lograr mediante técnicas matemáticas y estadísticas actuales, más allá de suponer comportamientos ideales, y establecer probabilidades de ocurrencia, en este punto viene en auxilio una ciencia emergente, que aporta novedosas maneras de tratar los datos obtenidos de un sistema: La teoría del Caos. Por ello que en el presente trabajo, se hizo uso de esta ciencia, para aplicar una de sus técnicas a una máquina de control numérico de lijado de madera, perteneciente al laboratorio del Wood Machining and Tooling Research Program, de la Universidad de Carolina del Norte, para conocer el comportamiento de esta máquina.

El problema al que se han enfrentado los investigadores, es que desconocen en qué punto detener la máquina, para reemplazar las lijas, o para realizar su limpieza, pues éstas se van ensuciando a medida que se utilizan, y pierden capacidad de remoción de material, en este punto, por medio de la teoría del Caos, se debe buscar un patrón de comportamiento que permita determinar en qué instante detener la máquina, reduciendo costos y tiempos de uso y experimentación.

El objetivo de este Trabajo es utilizar técnicas que aporta la Teoría del Caos, para determinar el comportamiento de una máquina de Control numérico de lijado, y de esta forma, diseñar una metodología aplicable en cualquier momento de experimentación, en especial porque los experimentos se van a continuar realizando, pues se necesita conocer formas de alargar la vida útil de las lijas, esto puede tomar años al equipo investigador, pues deben experimentar con diversos productos, por lo cual, una metodología puede ser de vital importancia para realizar sólo los experimentos necesarios.

SERIES TEMPORALES

En numerosos campos de la ciencia las observaciones son dependientes unas de otras y además se realizan a lo largo de cierto período temporal por lo que se puede hablar también de dependencia temporal. Estas colecciones de datos numéricos recogidos a lo largo del tiempo reciben el nombre de series temporales.

Dada la evolución de una variable o conjunto de ellas recogida en una serie temporal, para poder predecir valores futuros, se deben buscar leyes dinámicas que gobiernan su evolución en el tiempo. Sin embargo, el caso general en la mayoría de los sistemas, es el desconocimiento de estas leyes, de manera que, para hacer predicciones primero se tienen que encontrar las reglas (modelo) que gobiernan la evolución del estado real del sistema. Éstas dependerán de la evolución pasada de la serie. En definitiva, el análisis de series temporales trata de extraer conclusiones acerca de un sistema complejo utilizando datos de un único sensor. En la siguiente tabla se observa los datos medidos de las variables tomadas en consideración en el estudio.

			MED	
Tiempo	MRR (Lbs/min)	Cumulative	MRR (Lbs/min)	Cumulative
6	0,219	0	0,334	0,334
12	0,196	0,415	0,181	0,515
18	0,231	0,646	0,122	0,637
24	0,174	0,82	0,092	0,729
30	0,181	1,001	0,098	0,827
36	0,157	1,158	0,078	0,905
42	0,162	1,32	0,066	0,971
48	0,162	1,482	0,06	1,031
54	0,136	1,618	0,052	1,083
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Tabla 1: Estructura temporal de los datos experimentales obtenidos.

Se pueden señalar tres propósitos en el análisis de series temporales:

1. **Predicción,** de la evolución futura de la serie temporal.
2. **Modelado,** con el cual describir el comportamiento, reglas y relaciones entre variables del sistema.
3. **Caracterización**, con la cual conocer propiedades del sistema.

MODELADO

Cuando se trabaja con series temporales, se trata como un "problema inverso", dada la evolución del sistema, construir un modelo que pueda haberla originado. Si se halla la función que da origen a esta evolución, se dispondrá de un modelo predictivo.

ESPACIO DE FASES

El marco general es la llamada teoría de sistemas dinámicos, un sistema dinámico consta de dos partes, la noción de estado (información esencial sobre un sistema) y una dinámica (regla que define cómo evoluciona el estado en el tiempo). La evolución puede representarse en un espacio de fases, de manera general, el espacio de fases de un sistema es reconstruido tomando datos experimentales recopilados y realizando un desfase en el tiempo de los mismos, en donde se grafica sobre un eje la variable original, y sobre otro, la variable desfasada en el tiempo, en algunos sistemas, es necesario más de dos coordenadas para revelar la estructura geométrica de comportamiento, estos sistemas son en su mayoría sistemas de carácter caótico y estocástico.

La herramienta utilizada para determinar las coordenadas del sistema en estudio es el denominado teorema de ***"Inserción"***, el cual garantiza el número mínimo de dimensiones (coordenadas) necesarias para describir la evolución del sistema.

Hallar la dimensión donde se encuentra insertado el estado de fases representa otro problema, pues no se puede determinar de manera directa, se debe determinar la dimensión *d* del atractor, y mediante el teorema de inserción ($k \geq 2d$) establecer la dimensión de inserción, la metodología utilizada en este trabajo es el "conteo de cajas (box counting)", la cual permite conocer la dimensión del atractor (*d*). Para sistemas reales se calcula una estimación de *d,* de la siguiente manera (Ej. experimento MRR Maple):

En el programa Microsoft Excel, se construye una tabla, con dos columnas, la primera contiene los valores N(*s*), el número de "cajas" que contienen partes de la muestra, entre el número de cajas totales construidas según el valor del lado de cada caja (*s*). La segunda contiene el respectivo valor del lado *s* de las cajas construidas. En la tabla siguiente, se colocan resultados obtenidos con el experimento "MRR Maple".

N° total de cajas	N° de cajas con datos	N(s)	Lado de cajas
4	4	1	0,125
16	9	0,5625	0,0625
64	20	0,3125	0,03125
256	47	0,18359375	0,015625
1024	98	0,09570313	0,0078125

Tabla 2: Conteo de cajas para el experimento MRR Maple.

Se repite la tabla anterior, calculando el logaritmo (Log) de cada uno de estos valores (ver tabla N° 3).

	N(s)	Lado de cajas
Logs	0	-0,90308999
	-0,2498775	-1,20411998
	-0,50515	-1,50514998
	-0,7361421	-1,80617997
	-1,0190739	-2,10720997

Tabla 3: Valores logarítmicos del Conteo de cajas para el experimento MRR Maple.

Se grafican los resultados de la tabla calculada, obteniéndose una gráfica Log-Log, que se ajusta a una línea recta, y se obtiene su ecuación. (ver figura N° 1).

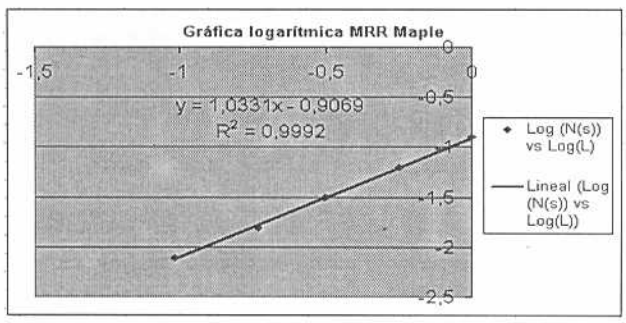


Figura 1: Recta de ajuste de los valores logarítmicos del Conteo de cajas realizado para el experimento MRR Maple

La pendiente de la recta, representa la dimensión *d* del atractor. En la siguiente tabla se observan resultados para las variables medidas.

Experimento	Dimensión *d*	$m \geq 2d$	Dimensión *m asignada*
MRR Maple	1,033	2,06	2
Acumulado Maple	1,012	2,02	2
MRR MDF	0,815	1,63	2
Acumulado MDF	1,031	2,06	2

Tabla 4: Dimensiones d de los atractores, y m de inserción, obtenidos para cada experimento.

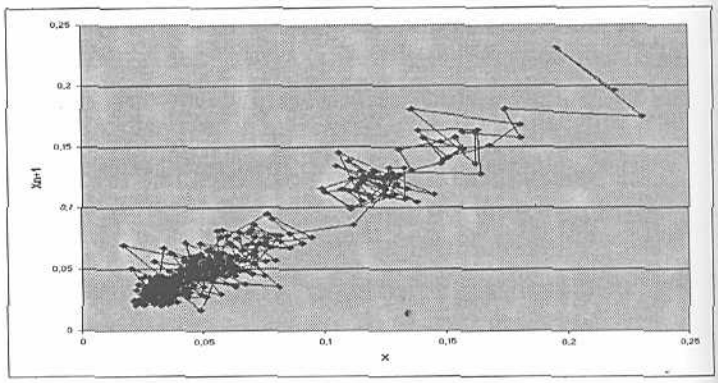


Figura 2: Diagrama de Fases, Variable; MRR Maple.

Elección del tiempo de retraso

El teorema de inserción no explica cómo elegir el tiempo de retraso para la construcción del espacio de Fases. Esto permite en principio elegir cualquier tiempo de retraso, no obstante, existen reglas que permiten tener alguna prescripción para elegir T:

- Debe ser un múltiplo del tiempo de muestreo.
- Si el tiempo de retraso es *corto, las coordenadas no serán lo* suficientemente independientes, no habrá pasado tiempo para que el sistema evolucione.

Basado en las premisas anteriores, la selección del tiempo de retraso se hizo con pruebas de ajuste, se estableció a priori un desfase en tiempo, se construyeron los espacios de fases, ajustándolo a una función, verificando que permita el mejor ajuste, y con ésta se realizó predicción de resultados, *verificando que la solución sea la mejor en cada* caso (ver tabla N° 5).

tipo de experimento	Tiempo de Desfase seleccionado (múltiplo)	Desfase entre observaciones (min)
maple (Lbs/min.)	1	6
maple (cumulative.)	1	6
MDF (Lbs/min.)	3	18
MDF (cumulative.)	1	6

Tabla 5: Tiempos de desfase seleccionados para cada variable medida.

Conocidos el tiempo de retraso y dimensión de inserción, se desfasan las observaciones, y se grafican los pares ordenados (x_t, x_{t+1}), (ver figura 2):

Atractores

El comportamiento de los sistemas dinámicos es difícil de expresar mediante soluciones explicitas, el espacio de fases proporciona, una herramienta poderosa para describir el comportamiento de éstos. La utilidad de la imagen obtenida reside en la posibilidad de representar el comportamiento de una manera geométrica, un péndulo con roce termina por detenerse, lo que significa que el sistema tiende hacia un punto del espacio de fases, que permanece fijo, y por atraer a los valores de la variable medida (posición, velocidad, etc.), recibe el nombre de atractor, éste es definido como una pauta geométrica que aparece al representar la evolución de un sistema en un espacio de fases, posee propiedades matemáticas que indican, en ciertos casos, soluciones permanentes de ecuaciones.

Al analizar las estructuras de los sistemas, se han encontrado tres tipos de sistemas, clasificados según el atractor que lo caracteriza:

1. Sistema de serie convergente: sistema que tiende hacia un valor determinado, estable y constante. Estos son caracterizados por un atractor de punto (ver figura N° 3), al cual se aproximan las trayectorias temporales.

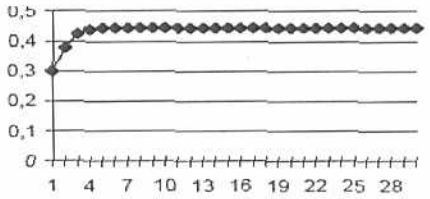


Figura 3: Ejemplo de un atractor de punto fijo.

2. **Sistema de serie de ciclo límite:** sistema en el cual existen dos o más puntos

periódicos que tiende a fluctuar entre un conjunto pequeño y determinado de valores, caracterizado por un atractor denominado "ciclo límite", que muestra una dinámica cuya gráfica se observa como oscilaciones (ver figura Nº 4), mostrando máximos y mínimos del sistema en el tiempo.

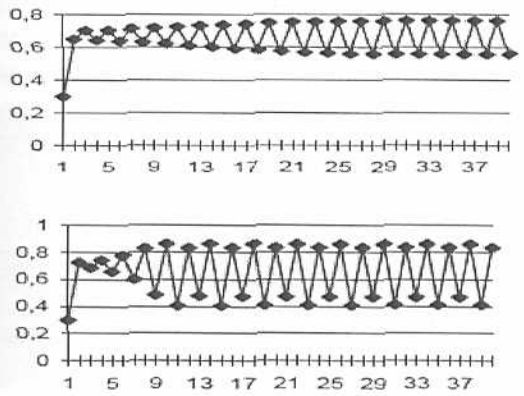


Figura 4: Ejemplo de un atractor de ciclo límite; a la izquierda, un ciclo límite que fluctúa entre dos valores, a la derecha, un ciclo límite que fluctúa entre cuatro valores.

3. **Sistema de serie inestable (caótica):** comportamiento estable en el tiempo es imposible de alcanzar (ver figura Nº 5), el sistema fluctúa constantemente entre miles de valores, altamente sensible a las condiciones iniciales, caracterizado por un atractor "extraño", éstos son una porción del espacio donde ninguno de los puntos se vuelven a presentar, por lo que su gráfica muestra formas diversas, sus propiedades son básicamente tres:

   - No pueden descomponerse en porciones menores.
   - Notable irregularidad en la estructura física o dimensión del atractor, por lo que tiene una dimensión no entera.
   - Son altamente sensibles a las condiciones iniciales del sistema

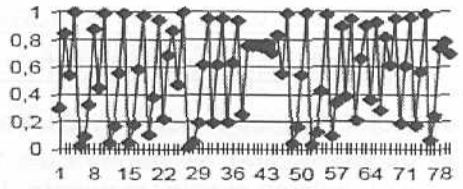


Figura 5: Ejemplo de un atractor extraño.

Ajuste numérico del espacio de fases

Con el espacio de fases definido, se procedió a ajustar el mismo a una función matemática, utilizando el método de mínimos cuadrados, con el objetivo de hallar una función que determine la característica del atractor del sistema (ver figura Nº 6).

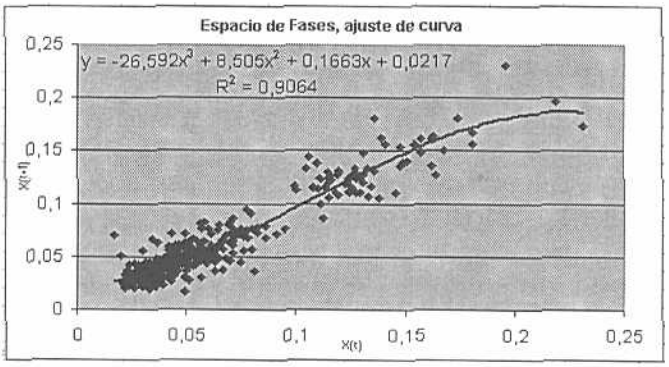


Figura 6: Diagrama de Fases con curva de ajuste. Variable; MRR Maple.

Para cada experimento se obtuvo la ecuación, y su valor de ajuste, en la siguiente tabla se coloca los valores obtenidos.

Experimento	Curva obtenida	Ajuste R^2
MRR Maple	$X_{(t+1)}$= -26,592x³+8,505x²+0,1663x+0,0217	0,9064
Acumulado Maple	$X_{(t+1)}$= 0,9939x+0,1531	1
MRR MDF	$X_{(t+1)}$= 0,1534x³-1,731x²+0,8312x+0,0019	0,9708
Acumulado MDF	$X_{(t+1)}$= -0,0228x³+0,1471x²+0,6717x+0,2628	0,9999

Tabla 6: ecuaciones de ajuste y valores R^2, obtenidos para cada experimento realizado.

Utilización de las funciones halladas como ecuaciones iterativas (en diferencias)

Las ecuaciones encontradas en los respectivos espacios de fases, son funciones que, dado un valor de X (X_t), calcula el valor siguiente de la misma variable (X_{t+1}) para tiempos discretos *t*, por ello son denominadas ecuaciones en diferencias, estas ecuaciones permiten hallar valores de atractores del sistema, en caso de que se trate de sistemas convergentes o de ciclo límite. Su importancia radica en que una vez obtenidas, basta con colocar una condición de inicio, para obtener valores subsecuentes; en las siguientes páginas se describe la metodología y utilidad para la ecuación en diferencias perteneciente al experimento "MRR Maple".

Se establece el valor inicial que toma la variable, en este caso 0,219 Lb./min, se introduce ese valor "X" en la ecuación ($X_{(t+1)}$= -26,592x^3+8,505x^2+0,1663x+0,0217), el resultado ($X_{(t+1)}$) se vuelve a introducir sucesivamente, obteniéndose iteraciones de la ecuación original.

Para este caso, en la iteración 105 el sistema converge a un único valor, que al ser introducido nuevamente, arroja el mismo número x = 0,040935205 Lbs./min, demostrando que el sistema es convergente, de punto fijo (valor único de atractor), con estabilidad a partir del valor *x*= 0,040935205 Lbs./min.

Valores numéricos de los atractores

De la misma forma que se mostró en el apartado anterior, se hallan los demás valores de atractores obtenidos para cada experimento.

Experimento	Valor del atractor	tipo de convergencia
MRR Maple	0,040935205 Lbs/min.	punto fijo
Acumulado Maple	25,098 Lbs.	punto fijo*
MRR MDF	0,0101917 Lbs/min.	punto fijo
Acumulado MDF	2,699 Lbs.	punto fijo*

Tabla 7: Valores numéricos de los atractores, obtenidos para todos los experimentos[1]*.
Fuente: Elaboración propia.

1* Los valores completamente estables aún no han sido alcanzados en estos experimentos, pero el crecimiento deja de ser significativo, y la diferencia entre cada iteración es de una unidad a partir del quinto decimal, por ello se toma como exacto el valor del atractor proporcionado en la tabla

Graficación del sistema modelado

Una vez elaboradas las tablas con valores recursivos de las ecuaciones, se grafica el comportamiento obtenido, esto se logra realizando una gráfica donde se coloca en el eje "x" el N° de iteración, y en el eje "y" el valor que toma la variable en la iteración. En la siguiente gráfica se observa el comportamiento obtenido para el experimento MRR Maple, nótese como a partir de la iteración 88, el sistema se torna estable alrededor de un punto.

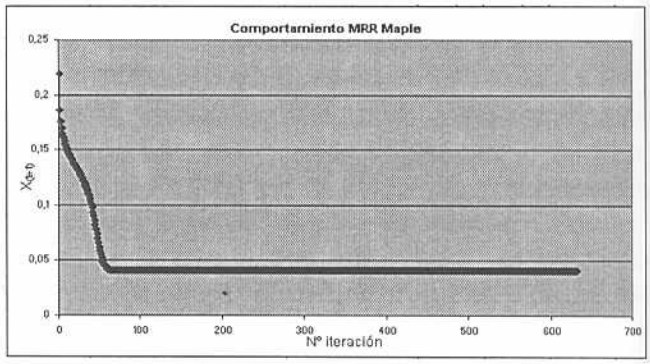


Figura 7: Comportamiento del sistema iterado. Variable; MRR Maple.

Para cada experimento realizado se obtuvo su gráfica de comportamiento, con lo cual se comprueba los supuestos del modelado, que el sistema es de tipo determinista, baja dimensión, y estabilidad de punto fijo.

Alternativas de predicción

Uno de los objetivos del presente trabajo es generar alternativas de predicción de valores de estabilidad del comportamiento de la máquina, y así obtener estimaciones con menor cantidad de datos, considerando un error tolerable. El punto de estabilidad de la ecuación de comportamiento dice en qué momento detener el lijado, pues el mismo pierde eficiencia, por ello su importancia es obtener reducciones del N° de experimentos y costos. Para obtener estos valores, se tomó todo el espectro de datos, y se realizaron las anteriores pruebas, utilizando en cada caso un 30, 40, ...80 % de la data .En función de esto, se obtuvieron valores de atractores, comparando la diferencia entre éstos y los obtenidos inicialmente con la data completa. En la siguiente tabla se colocan los resultados de punto de estabilidad obtenido para el experimento MRR Maple, con menor data.

Nº de experimentos considerados	% de data original utilizada	Valor de estabilidad obtenido
115	30%	0,07627073
153	40%	0,06544527
191	50%	0,05854125
229	60%	0,05357348
267	70%	0,0491918
305	80%	0,04581117

Tabla 8: atractores obtenidos con menor cantidad de data experimental. Variable: MRR Maple.

En la tabla anterior, se denota que al truncar la data, el método se "detiene" antes de llegar al valor obtenido con la cantidad total, por ello se debe determinar el error incurrido al utilizar menor cantidad de datos, en la siguiente tabla se coloca el error incurrido en el experimento MRR Maple.

MRR Maple menos data vs data completa			
% experimentos	Error	% error	Valor estable del sistema
30%	0,03534	46,329	0,07627073
40%	0,02451	32,136	0,06544527
50%	0,01761	23,084	0,05854126
60%	0,01264	16,570	0,05357348
70%	0,00826	10,825	0,0491918
80%	0,00488	6,393	0,04581117

Tabla 9: Error incurrido al truncar la data experimental, comparación entre el valor hallado con distintos % de data, vs. valor obtenido con la data completa. Variable: MRR Maple.

Con los resultados obtenidos, se encuentra que los menores errores incurridos al truncar la data, son del orden del 10%, en base a esto, y sometido a discusión por parte del equipo investigador, se estableció como error tolerable de experimentación, entre un 10 y un 12%, con lo cual, se establece que con el 70% de los datos experimentales actuales, es posible reconstruir espacios de fase que arrojen resultados certeros sobre el punto de estabilidad.

Costos de experimentación

Los costos asociados al proceso experimental son altos, por ello un objetivo es disminuir la cantidad de experimentos necesarios para determinar la dinámica de la máquina, pues el siguiente paso a lograr es alargar la vida útil de las lijas, esto se logra mediante la utilización de un limpiador colocado en las bandas de lijado para recuperar parte de su capacidad, por ello el equipo investigador debe volver a experimentar, y obtener el comportamiento de las bandas antes y después de utilizar el limpiador, por consiguiente, deben existir dos curvas de comportamiento, antes y después de aplicado.

En los estudios originales, los experimentos tuvieron una duración de 2286 minutos (38 horas, caso de MRR Maple) y 606 minutos (10 horas, caso MRR MDF), estos tiempos son solamente los de experimentación total, no se toma en cuenta el tiempo de puesta a punto de la máquina, ni el necesario para pesar la muestra luego de cada corrida, por ello la realización de cada experimento tomó aproximadamente 7 días para MRR Maple, y 3 días para MRR MDF, es decir, 10 jornadas de trabajo, de 8 horas cada una.

Los costos más significativos son la mano de obra (alrededor de $ 18 la hora) y costo del material, el cual está alrededor de $5.50 por pie cuadrado y se consume rápido. Por ello, el costo total de experimentación, para ambos tipos de material utilizado, fue estimado en $ 1,660 (entre mano de obra ($ 1440) y madera ($ 220))[2]*.

Considerando que los próximos objetivos del equipo de trabajo es encontrar técnicas que alarguen la vida útil de las bandas, la experimentación preliminar era importante para definir la vida útil actual, siendo evidente que los experimentos sin ningún tratamiento necesitan 7 días para terminarlo, cuando se alargue la vida de la lija, se ha estimado que la experimentación podría llevar más de un mes, por ello reducir el tiempo de experimentación es crucial para encontrar resultados dentro de un periodo definido.

En el apartado anterior se mostró que la utilización del 70% de la data es suficiente para obtener resultados satisfactorios con relación al valor de lijado en el cual detener el proceso, entonces se estima que los tiempos disminuyen aproximadamente un 30% para cada caso, en la siguiente tabla se observa la disminución de tiempos en cada proceso experimental.

Esta metodología permite dos cosas, establecer tiempo fijo de experimentación a partir del momento en que se agrega el limpiador, esto ayuda a fijar costos y días destinados a esto, y conocer el nuevo punto de estabilidad generado una vez que se agrega el limpiador, con ello se puede hallar cuánto

2 * Datos de costos suministrados por el equipo investigador de la Universidad de Carolina del Norte.

Experimento	Tiempo original de Experimento	Tiempo nuevo de experimento	% ahorro de tiempo	Costos originales	Costos nuevos	% ahorro de costos
MRR Maple Acumulado Maple	2286 min (7 días)	1602 min (5 días)	30%	1118 $ (3,130,400 Bs *)	800 $ (2,240,000 Bs *)	30%
MRR MDF Acumulado MDF	606 min. (3 días)	426 min ($1^1/_2$ días)	30%	542 $ (1,517,600 Bs *)	296 $ (828,800 Bs *)	30%
Totales	2892 min. (10 Días)	2028 min. ($6^1/_2$ días)	30%	1660 $ (4,648,000 Bs*)	1096 $ (3,068,800 Bs*)	30%

Tabla 10: Ahorro de tiempo y dinero con la aplicación de la técnica a los experimentos, resultados de todos los experimentos*.

se alarga la vida útil de la lija, y determinar si es necesario realizar varias o una sola aplicación.

Existen dos opciones al momento de determinar el tiempo de experimentación, la primera, es utilizar los tiempos originales al 70%, es decir, 1602 min. para MRR Maple y 426 min. para MRR MDF, sin embargo, esto quizá traiga como consecuencia, tiempos largos, pues a éste hay que agregarle el tiempo que se corrieron los experimentos antes de la aplicación del "cleaner" generando desperdicio de recursos. La segunda opción consiste en lo siguiente: originalmente, se generó 381 experimentos para MRR y Acum. Maple, y 101 para MRR y Acum. MDF, con esta data se reconstruyeron los espacios de fase utilizados, para mostrar que es posible obtener resultados similares con un porcentaje de la data, se generaron resultados del punto de estabilidad con varios porcentajes de ésta, para comprobar que el 70% de la misma es una buena aproximación del resultado, pues bien, al calcular el error en que se incurre al utilizar diferentes porcentajes, se encuentra que éste va disminuyendo, en el caso de MRR Maple, se sitúa alrededor de un 8% para el rango 60-70% de data.

Comp. Entre corridas teorico-experimentales MRR Maple		
rango	Diferencia rgo inf.-rgo sup.	% error
30-40%	0,01083	14,193
40-50%	0,00690	10,549
50-60%	0,00497	8,486
60-70%	0,00438	8,179
70-80%	0,00338	6,872

Tabla 11: porcentajes de error entre cada 10% de data experimental utilizada. Variable: MRR Maple.
Fuente: Elaboración propia.

Cada 10% de data representa 38 experimentos para maderas de alta densidad, y 10 experimentos para maderas de baja densidad, para determinar el número de experimentos necesarios después de la aplicación del cleaner, se generan corridas por "paquetes" de 38 y 10 experimentos (maderas de alta y baja densidad), y se calcula el punto de estabilidad con los procedimientos anteriores, así, en esta etapa el procedimiento a seguir queda de la siguiente forma (ejemplo con madera Maple):

- Después de aplicado el limpiador, generar un "paquete" experimental (38 experimentos).
- Con este "paquete" realizar el desfase de una observación (6 minutos).
- Construir el espacio de fases en dos dimensiones, de la variable MRR Maple, como de la variable Acum. Maple. Ajustarlos a una curva.
- Utilizar las ecuaciones encontradas en el ajuste a modo iterativo, colocando como valor de entrada el primer valor obtenido en el experimento.
- Hallar valores de atractores generados en ambas variables.
- Repetir pasos anteriores agregando un "paquete" experimental.
- Con los resultados, calcular el error porcentual, entre la primera y segunda observación, con uno y dos "paquetes" para ambas variables.
- Repetir los pasos anteriores, hasta que el error obtenido entre el atractor generado con n y n+1 "paquetes", sea igual o inferior al 10%, y a su vez, el error entre el atractor para Acum. generado con n y n+1 "paquetes", sea igual o inferior al 5%.

La gran ventaja de este procedimiento, es que

* Cálculo en Bs. a precio de dólar CANTV, 1 $ = 2.800 Bs.

se realizan solo los experimentos necesarios para obtener estimaciones certeras de los nuevos puntos de estabilidad, sin incurrir en desperdicios de tiempo y recursos, conociendo en qué punto detener la experimentación, contrario a lo que ocurría en un principio, cuando el equipo investigador no sabía en que momento detenerlos, esto es aplicable no sólo a la experimentación en la presente máquina, sino con cualquier máquina de control numérico para lijado de un modelo, marca, o características diferentes a la utilizada, entonces no se conoce su comportamiento, y se desee experimentar para determinar su dinámica, en ese caso, aplicando esta metodología, es posible realizar los experimentos con un mínimo de costos.

Inclusión de la técnica en el modelo de simulación

El laboratorio de la Universidad de Carolina del Norte, cuenta con un modelo de simulación de la máquina, realizado en plataforma Arena® v. 5.0, éste actualmente incluye una serie de ecuaciones y módulos que simulan parámetros de la máquina, dentro del módulo continuo, se arroja la tasa de remoción que debe tener la máquina de acuerdo a ciertos parámetros, en la siguiente gráfica se muestra el módulo continuo desarrollado en el modelo.

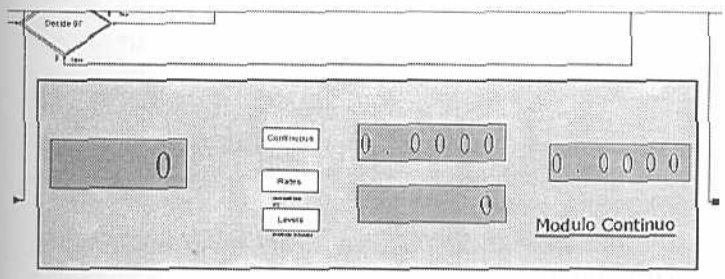


Figura 8: Módulo continuo dentro del modelo de simulación de la máquina. Fuente: Modelo de simulación máquina de lijado.

La tasa de remoción generada por el módulo continuo se calcula en base a una fórmula introducida en el modelo, en la cual, antes de correrlo, se suministran los siguientes datos:

- Velocidad de avance de la madera en la máquina.
- Velocidad de las bandas lijadoras.
- Grosor que se desea remover de la pieza de madera.

El problema que se presenta es que el módulo arroja la tasa ideal de remoción que debe tener la máquina para remover la cantidad de madera deseada, y mantiene esa tasa constante durante todo tiempo de simulación, cuando en realidad la tasa disminuye a medida que pasa la pieza de madera a través de la máquina. La solución es incluir dentro del módulo, las ecuaciones halladas para las variables mediante la técnica mostrada, pues estas ecuaciones de comportamiento determinan, la forma en que disminuye la tasa de remoción hasta estabilizarse. Esta implementación se debe hacer cuidando e incluyendo dentro del modelo de simulación ciertos aspectos:

- Incluir como dato de entrada, el tipo de madera a lijar.
- Dentro del módulo, introducir las ecuaciones de comportamiento halladas, haciendo que el modelo seleccione la ecuación adecuada.
  - Seleccionada la ecuación, el módulo calcula y evalúa la tasa de remoción de inicio, verificando que se encuentre dentro de los intervalos para los cuales trabaja la ecuación (ver tabla N° 13), introducirla en la misma, arrojando el valor siguiente (seis minutos después), y consecutivamente hasta que se alcance el valor de estabilidad, entonces, se detiene la máquina y se reemplazan las lijas, en caso de que el lijado no se haya culminado.
  - El equipo debe decidir, si las lijas se usan hasta el final de su vida útil, o si se realiza limpieza dentro de su periodo de vida; con la segunda opción, se hallan las ecuaciones de comportamiento de la segunda etapa de lijado, y dentro del modelo, una vez que la máquina se detenga, hacer que el módulo continuo reemplace la ecuación original por la ecuación de segunda etapa de lijado, y continúe evaluando valores de remoción.

Variable	(Cuenca de atracción) Intervalo
MRR Maple	[0,041; 0,344] Lbs./min.
Acumulado Maple	[0; 25,055] Lbs./min.
MRR MDF	[0,0102; 0,504] Lbs./min.
Acumulado MDF	[0; 2,699] Lbs./min.

Tabla 12: intervalos de valores iniciales dentro de los cuales son efectivas las ecuaciones a introducir en el modelo de simulación.

CONCLUSIONES

- Se construyó una técnica basada en dinámica de sistemas, capaz de determinar comportamientos de las bandas de lijado de una máquina, para reducir costos y aprovechar su potencial al máximo.
- La técnica diseñada reconoció perfectamente un patrón de comportamiento en los datos mediante ecuaciones, demostrando que la técnica es aplicable a futuros experimentos.
- El estudio estadístico previo fue importante para reconocer posibles pautas de comportamiento estable de los datos.
- Se reconstruyeron espacios de fases de cada variable medida, ajustándolos a funciones, cuyos valores de ajuste (R2) son siempre superiores a 0,90, mostrando que la técnica permite ajustes muy cercanos a los valores reales de los datos.
- Las ecuaciones empleadas de forma iterativa mostraron que las variables se estabilizan en un valor, que la característica del sistema es de estabilidad, y el valor representa el punto en el cual el proceso pierde efectividad.
- Se demostró que utilizar el 70% de la data original conduce a resultados cercanos a los obtenidos con la data completa, teniendo, errores inferiores al 11%, con lo cual se obtiene ahorros de costos y tiempos de un 30%, esto representa Bs. 1.580.000 , y 3 ½ días de trabajo menos, cada vez que se realicen experimentos, esto pone de relieve la eficacia de la técnica , que acelera la obtención de los resultados en un 30%, y su eficiencia, permitiendo ahorros de un 30%.
- El ahorro de costos obtenido debe ser más evidente una vez que se realice un análisis de costos de experimentación.
- Queda mostrado que puede hacerse uso de ésta técnica para tratar datos de cualquier máquina de control numérico, y determinar pautas de comportamiento, permitiendo ahorros significativos de costos.
- Basado en la técnica empleada, se propone una metodología para continuar con la experimentación, generando los experimentos por "paquetes", limitando de esa forma, la cantidad necesaria para identificar pautas de comportamiento, tolerando un error entre "paquetes" generados.
- Se determinaron pautas y directrices necesarias para incorporar las ecuaciones diseñadas dentro del modelo de simulación de la máquina, encontrándose que su aplicación puede ajustar mejor el modelo a la realidad.
- La utilización de métodos estadísticos es importante para direccionar correctamente el modelado a realizar, por lo cual su utilización, debe formar parte activa del empleo de la técnica, como apoyo a los resultados.
- Emplear la técnica en experimentación con máquinas proporciona una poderosa herramienta de ahorro y apoyo en el control de parámetros y variables, la determinación del comportamiento de éstas ayuda a conocer y desarrollar métodos de control que permitan utilizar al máximo los recursos.
- La implementación de un modelo de lógica difusa parece factible, su desarrollo es largo y requiere habilidad de programación, por lo que su implementación se puede verificar para futuras etapas de investigación.
- La importancia de la técnica mostrada reside en su versatilidad y beneficios, es aplicable a diversidad de máquinas, en cualquier momento de experimentación, permite ahorros en costos y tiempo, es factible de incorporar a modelos de simulación, implementar herramientas de control de variables, y obtener mejor rendimiento de máquinas, así como el diseño de metodologías basadas en ella para realizar procesos experimentales.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones a tomar en consideración para la continuación del proyecto de investigación son las siguientes:

- Continuar implementando la técnica para continuación de experimentos con máquinas, permitiendo el ahorro de costos y tiempos, y obtención de resultados basados en una metodología sólida y bien definida.
- Implementar un algoritmo sencillo encargado de realizar el método de conteo de cajas, y evitar errores manuales.
- Utilizar 70% de la data mostró ser buena para establecer puntos de estabilidad confiables, por ello, se sugiere la utilización de

esta metodología al experimentar en otros tipos de máquinas, de diferentes características, o bajo condiciones diferentes, para determinar patrones de comportamiento.

- Experimentar con otros materiales y/o condiciones puede derivar en comportamientos distintos, por lo que la utilización de esta técnica se recomienda en cada oportunidad que se modifiquen condiciones.
- La próxima etapa de investigación contempla alargar la vida útil de las lijas, se recomienda la estrategia, planteada anteriormente, para determinar tiempos de experimentación, consiste en generarlos por "paquetes", hasta encontrar diferencias en las variables MRR y Acumulado, inferiores al 10% y 5%, respectivamente entre cada "paquete" generado.
- La selección correcta del limpiador que permita obtener mejores resultados, debe ser norte a seguir en la próxima etapa de investigación,.
- La utilización de sensores dentro de la máquina que permitan controlar valores de estabilidad determinados mediante las ecuaciones halladas, permitirían detener la máquina en el momento en que se alcancen éstos, y dar una señal, para que se proceda al reemplazo de las correas, o en el caso de que se decida implementar la utilización de limpiadores, los sensores permitirían detener la máquina, rociar el limpiador, y continuar con el proceso de lijado.
- Realizar un estudio exhaustivo de costos y tiempos, con la finalidad de conocer realmente cuales son los niveles actuales de inversión en investigación.
- Comprobar la utilización de esta técnica en máquinas de control numérico de otras características y funciones, tales como tornos, fresadoras, taladros, brazos mecánicos, etc.
- Adicionalmente, al conocer mediante esta técnica las pautas de comportamiento de variables pertenecientes a máquinas de Control numérico, se pueden aplicar metodologías de control caótico de variables, mediante las cuales estabilizar parámetros tales como: niveles de vibración, precisión de la máquina, etc., por lo cual se recomienda ampliar a una segunda etapa el estudio, etapa en la cual una vez determinados los comportamientos de las variables, se procede a la implementación de parámetros caóticos de control.
- Como se expuso anteriormente (ver capítulo VII), la técnica presentada no pretende dejar de lado la utilización de test y resultados estadísticos, sino apoyarse en ellos para obtener pautas de comportamiento de máquinas, por lo cual es recomendable continuar realizando los test estadísticos de tendencia que se han realizado hasta ahora a los datos, para tener indicios sobre como deben ser los atractores del sistema reconstruido.
- Se mencionó la factibilidad de modelar el comportamiento de la máquina mediante un modelo de lógica difusa, incluso utilizando resultados y ecuaciones hallados en este trabajo; este sistema permitiría aumentar la efectividad de la metodología mostrada, para visualizar como interactúan las variables de la máquina. Por esto se recomienda, hacer uso de un modelado difuso de la máquina, que incorpore los resultados del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

[8] Berruti, A. (1995)Economía Dinámica. Modelos Caóticos. Mimeo Fac de Ciencias Económicas, UN de Cuyo.

[4] Farmer, J.D., Cruthfield, J.P., Packard, N.H., Shaw, R.S. (1998). Chaos.

[20] Gleick, J. (1988). Caos: la creación de una ciencia Editorial Seix Barral

[5] Peitgen, H., Jurgens, H., Saupe, D. (1992). Chaos and Fractals. New Frontiers of Science. New York. Springer-Verlag.

[16] R, M. May: (1976). Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, págs. 261-469.

[3] Takens, F. (1986). Detecting strange atractors in turbulence. En Lecture Notes in Mathematics, Dynamical Systems and Turbulence (Ed. D.D. Rand y L.S. Young.) New York. Springer-Verlag: 366-381.

[1] Weigend, A.S., Gershenfeld, B.A. (1992). Nonlinear Modeling and Forecasting. Addison-Wesley: 395-432.

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

[22] Paissan, G. (2005). Métodos de análisis Caóticos.Monografía,[enlínea].Disponibleen:http://focuslab.lfp.uba.ar/public/CursoTErrores2k4/Monografías2005/Gabriel_Paissan.pdf [2005, Diciembre 12].

TRABAJOS ESPECIALES DE GRADO

[14] Saloni, D. (2003). Abrasive Machining Process Characterization on Material Removal Rate, Final Surface Quality and Power Consumption when Wood is Used. Master Thesis in Integrated Manufacturing System Engineering.

PAGINAS WEB

[12]Dimensión por conteo de cajas [en línea]. Disponible en: http://coco.ccu.uniovi.es/geofractal/capitulos/02/0207.shtm#DimensionRecuentoCajas. [2006, Enero 16]

[11] Detalles cámara infrarroja [en línea]. Disponible en: www.flirthermography.com [2005, Noviembre 29]

PUBLICACIONES Y REVISTAS

[12] Casdagli, M. (1989). Nonlinear prediction of chaotic time series. Physica D 35: 35:56.

[13] Grassberger , P, Procaccia, I . (1983). Characterization of strange atractors. Physical Review newsletters 50, 5. Págs: 346-349.

[14] Grassberger , P, Procaccia, I . (1983). Estimation of the Kolmogorv entropy for a chaotic signal. Physical Review A 28, 4. Págs: 2591-2593.

[15] M.G Cosenza.(2001). "Caos y dinámica no lineal". Notas de clase. ULA. Venezuela.

[16] Sauer T. (1993). How Many Delay Coordinates Do You Need, IJBC, vol. 3, 737.

[17] Almanza Veloz V.H. (2002). Estudio mediante dinámica caótica de un contaminante primario de la ZMCM. XXVIII Congreso interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, Mexico.

[18] M, Dubois, y otros. El orden caótico. Mundo Científico, vol 68.

[19] Lo, A., y A. C. McKinlay. (1988). Stock market prices does not follow random walks: evidence from a simple specification test, Review of Financial Studies. 1, 41-66.

[20] Balacco, H. y Vera de Serio, V. Dinámica no lineal en economía, un análisis introductorio. Jornadas de AAEP, Bahia Blanca, Brasil. Noviembre 1997.

[21] Mollejas, L. y Da Costa, R. (2004). Notas metodológicas: de la econometría clásica al análisis no lineal. Revista Venezolana de análisis de Coyuntura, Vol X, N° 1 (ene-jun). Págs. 11-27.

[22] Peñaloza, Mejia O., Alvarez, Jaime.,Alvarez Joaquin. (2004). Supresión de Caos en un manipulador planar subactuado: resultados experimentales. CINVESTAP-IPN. Dpto de Ing. Eléctrica, Sección de mecatrónica. Mexico, D.F.

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS POR ZONAS GEOGRÁFICAS

Extensión del método del Manual de Concreto Estructural

Resumen

La propuesta de Norma COVENIN 1753 (R) *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural* amplía disposiciones relativas a materiales, métodos de dosificación y ejecución de mezclas de concreto; que exigen por parte del ingeniero responsable de la construcción el control de las características de los áridos utilizados, además de recordar la necesidad de realizar dosificaciones de mezclas conforme a las características locales de los agregados. En tal sentido, esta ponencia presenta parte de los avances obtenidos en un proyecto de investigación a largo plazo con alcance nacional auspiciado por el FONACIT y la Universidad Católica Andrés Bello, que se efectuó sobre una muestra conformada por 130 fuentes de suministro. El estudio tiene como finalidad determinar coeficientes locales para la dosificación de concreto con base a la caracterización de agregados por regiones geográficas. Como resultado destaca la necesidad que el profesional responsable controle periódicamente las características de las piedras y arenas utilizadas en la construcción y, establezca factores de corrección sobre los coeficientes de la Ley de Abrams y la Relación Triangular, cuando las mezclas se realicen con agregados distintos a los que abastecen a la ciudad de Caracas.

■ Guillermo Bonilla
gbproyectos@gmail.com

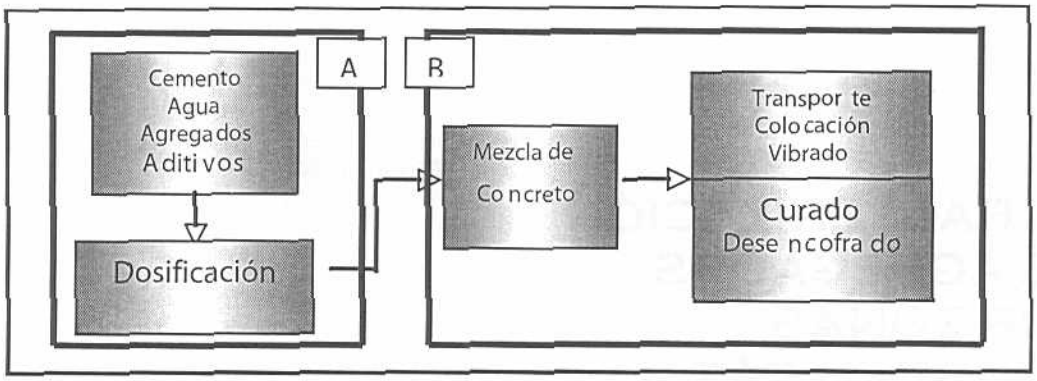


Figura N° 1.1 - Elementos involucrados en la calidad del concreto

1 Introducción

La calidad del concreto considerada desde el punto de vista de durabilidad y resistencia depende de un conjunto de variables que abarcan desde las propiedades de cada componente (cemento, agua, agregados y aditivos), hasta los efectos derivados de la ejecución de mezcla, manejo y la colocación correcta de la mezcla producida, lo que incluye el transporte, la colocación, vibrado, desencofrado y curado. Ahora bien, mientras estas actividades se relacionan con la buena producción del concreto, que deben ser coordinadas y controladas por los ingenieros responsables de la construcción, las características físicas de los agregados dependen aspectos ajenos a la ingeniería civil relativos al yacimiento, el origen geológico y la explotación del mismo.

Esto se explica mejor mediante la Figura N° 1.1 donde destacan los componentes y actividades que determinan la calidad del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido. En este sentido, el sector **A** considera los materiales requeridos para producir el concreto; donde sus propiedades se incorporan mediante los métodos de dosificación, con los que se establecen las proporciones de la mezcla. Por ora parte, en el sector **B** se encuentran incorporadas las tareas relativas al manejo adecuado del concreto en estado fresco, lo que comprende actividades relativas al procedimiento de ejecución de la mezcla, su transporte, colocación, vibrado, curado y el desencofrado.

Observe que usualmente se considera que todos los elementos incluidos dentro de la figura cuentan con el control rutinario que asegura la calidad del concreto; sin embargo, la realidad indica que el mayor control que se aplica durante la ejecución de una obra se sustenta en los ensayos de resistencia de cilindros, dado que los estudios relativos a la calidad de los agregados suelen concentrarse al inicio de las actividades constructivas y su objetivo está asociado a conocer las características principales de los materiales para determinar la dosificación de la mezcla de concreto.

A partir de ese momento, es posible que no se vuelvan a realizar ensayos que alerten acerca de variaciones en las propiedades de los áridos, lo que afectará el comportamiento esperado de la mezcla obligando, durante el proceso de mezclado, a efectuar las correcciones de última hora mediante cambios en la dosis del agua; actividad que puede convertirse en problemas a corto y largo plazo para la edificación. Bajo este contexto, los agregados están sujetos a cambios en sus propiedades debido en parte al origen geológico que afecta los yacimientos de piedras y arenas, haciendo que no cuenten con la uniformidad deseada. A ésto se agrega las deficiencias en el proceso de explotación de algunas fuentes de suministro que no están en capacidad de corregir las deficiencias de la producción.

Para dar énfasis en la importancia que el yacimiento y la explotación tienen sobre las cualidades del concreto la figura N°1.2 resume la relación entre la fuente de suministro, considerando el aspecto geológico y la calidad del concreto ejecutado; donde el proceso productivo está conformado por sucesivas etapas de trituración, cribado (tamizado) y lavado que definirán las propiedades de los agregados, las que a su vez determinan las cualidades del concreto.

			PROPIEDADES											
			Dureza	Textura	Forma Partícula	p. Específico	Absorción	Granulometría	T. Máximo	Impurezas	Mineralogía	Petrografía		
FUENTE DE SUMINISTRO	Geología		x	x	x	x	X			X	X	x		
	PROCESO	Trituración			x	x	X	x						
		Tamizado						x	x					
		Lavado								X				
CONCRETO	Diseño de Mezcla				o	o	O	o	o				CONCRETO	
	Trabajabilidad			o	o		O	o					FRESCO	
	Resistencia		o	o	o	o	O			o	O	o	ENDURECIDO	
	Durabilidad		o				O			o	O	o		

Figura N°1.2 Influencia de fuentes de suministro en la calidad del concreto

Bajo este contexto, la geología cambian con el transcurso del tiempo, por lo que la forma de extracción y los métodos de producción deben controlar la variabilidad de las propiedades indicadas en el cuadro; por lo que es necesario destacar que el estado de los equipos utilizados en el procesamiento, al igual que la experiencia del personal responsable de las distintas actividades, tienen influencia directa en las características del agregado y en especial de su estabilidad a través del tiempo.

Entonces, cada uno de los elementos que conforman las etapas de producción deberá ser controlado con la finalidad de asegurar la calidad del producto final; en tal sentido, cuando el tipo de construcción lo amerita, el ingeniero responsable deberá tener el cuidado de verificar las condiciones físicas de los equipos de trituración y cribado, sistemas de traslados del material dentro del yacimiento y sitios de almacenamiento.

En el caso del mercado nacional de agregados finos, la forma de extracción varía según el tipo de fuente de material; cuando es arena de río el procedimiento de explotación puede ejecutarse por arrastre con el apoyo de retroexcavadoras y dragas; si las arenas se encuentran en minas secas la explotación se realiza mediante empuje mecánico, pero si las minas se encuentran sumergidas bajo el nivel freático, se aplican sistemas de succión o métodos de arrastre. Generalmente la explotación del agregado fino resulta más económica que las del agregado grueso.

Para ofrecer una idea sobre la situación de las fuentes de suministro a nivel nacional, a continuación se presentan distintos aspectos relativos al proceso de producción que fueron evaluados a lo largo de la investigación; se observó en el caso de agregados gruesos que el sesenta y dos por ciento (62%) de las fuentes de suministros de agregados gruesos, corresponden a extracciones en canteras a cielo abierto de las cuales el cincuenta y cinco por ciento (55%) necesitan uso de explosivos para abastecerse de piedras y el siete por ciento restante (7%) lo hace mediante empuje mecánico. Además, el treinta y ocho por ciento (38%) restante tiene su origen en lechos de ríos.

Las fuentes de suministro de agregados gruesos que no requieren voladura se ubican en la zona oriental del País, específicamente en el Estado Sucre (Cumaná, Carúpano) ; por otra parte, las de origen fluvial se concentran hacia la zona occidental (San Felipe, Barquisimeto, Guama, Mérida, Trujillo); todas las canteras de la Zona central del País (Valencia, San Sebastián de los Reyes, Magdaleno) dependen de voladura para la extracción de su materia prima conformada por rocas calizas. El cuadro N° 1.1 muestra de forma resumida la distribución expuesta.

ORIGEN	ZONAS			TOTAL
	ORIENTE	CENTRO	OCCIDENTE	
Cantera con voladura	29%	18%	9%	55%
Cantera por arrastre	7%	0%	0%	7%
Fluvial	0%	0%	38%	38%

Cuadro N°1.1- Distribución de fuentes de agregados gruesos según tipo de extracción

Por otra parte, la distribución del origen y la forma de extracción de las arenas en las fuentes estudiadas se puede observar en el cuadro N° 1.2. El sesenta y uno por ciento (61%) de las areneras extraen el material de lechos de ríos; el treinta por ciento (30%) corresponde a una extracción efectuadas en depósitos o minas. El dos por ciento (2%) es de origen lacustre y el siete por ciento (7%) proviene de trituración.

ORIGEN	ZONAS			
	ORIENTE	CENTRO	OCCIDENTE	TOTAL
Fluvial	18%	7%	36%	61%
Depósitos	18%	11%	0%	30%
Lacustre	0%	0%	2%	2%
Trituración	0%	2%	5%	7%

Cuadro N°1.2- Distribución de fuentes de agregados gruesos según tipo de extracción

2- Control de Calidad en las fuentes de suministro

2.1- Calidad de producción

Ha sido expuesto que el control de calidad durante las etapas de explotación y producción influye en la variación de las propiedades del agregado utilizado para la construcción; mediante un adecuado control se pueden establecer correctivos sobre la unidad de producción cuando las características no deseables aparezcan. Para que se entienda lo crítico de la situación sólo 14 fuentes visitadas (14%) de un total de 130 presentaron resultados aceptables en la evaluación relacionada con la calidad de producción.

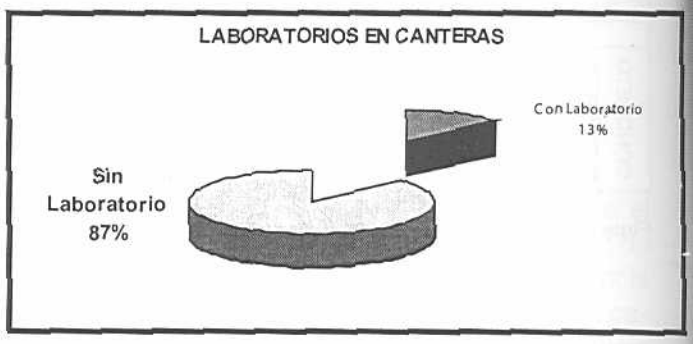
Un caso típico de deficiencias en la producción de arenas lo constituye la presencia de partículas muy finas, existencia de materiales contaminante y las granulometrías; además, en el caso de las canteras, la presencia de polvo y granulometrías fuera de las especificaciones.

2.2- laboratorios de ensayo en las fuente de suministro

El control de la calidad de producción en primer lugar debería hacerse en el sitio de explotación mediante ensayos rutinarios, además los resultados deben cotejarse periódicamente con ensayos externos; Sin embargo, la realidad mostró que pocas canteras y areneras ejecutaban ensayos para evaluar la calidad de sus agregados. En este sentido, a continuación se indican los resultados evaluados al respecto.

2.2.1- Agregados gruesos

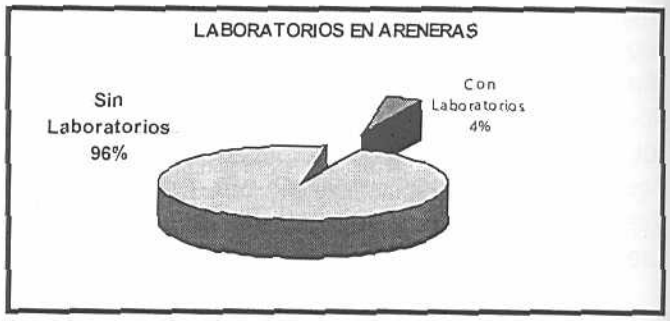
El ochenta y siete por ciento (87%) de las canteras visitadas carecen de de instalaciones de laboratorio; por otro lado el trece (13%), que corresponde a plantas asfalteras que suministran piedras para concreto cuentan con laboratorios, aunque con la finalidad de controlar la calidad del agregado desde el punto de vista de la pavimentación asfáltica. Una sola cantera, ubicada en la ciudad de Tabay, Estado Mérida, demostró contar con ensayos rutinarios para sus agregados y de diseños de mezclas. El gráfico 2.1 expresa la situación



Gráfica N°2.1- Situación relativa a presencia de laboratorios en canteras.

2.2.2. Agregados finos

Noventa y seis por ciento (96%) de las fuentes de suministros de agregados finos carecen de laboratorios de control de calidad; de éstas una sola en Barquisimeto (2%) cuenta con ensayos externos. Véase gráfica N° 2.2



Gráfica N°2.2- Situación de ensayos a nivel de productores de Arena.

2.3- Arena lavada o sin lavar

La etapa de lavado requiere de equipos necesarios para eliminar las partículas muy finas de los agregados. Sin embargo, el término arena lavada puede ser muy relativo, debido a que las arenas de

río se consideran de por sí lavadas; por otro lado, las arenas de mina las denominan así cuando se encuentran debajo del nivel freático. Aunque hay que aclarar que en Barquisimeto, Estado Lara; Vigirima, Estado Carabobo; Clarines, Estado Anzoátegui se observaron areneras con agregados de mina que utilizaban equipos para lavado; el problema está que no son la mayoría.

La gráfica siguiente N° 2.3 ofrece una idea relativa la existencia de lavado de las areneras visitadas, donde el treinta y seis (36%) por ciento que aparece como que no lavan, están referidos a fuentes de ríos; el treinta y dos por ciento (32%) que se indica por inmersión se tratan de arenas de minas y el treinta y dos por ciento (32%) restante que efectivamente lavan con equipos lo hacen en arenas de minas.



Gráfica N°2.3- Sistema de lavado en areneras visitadas

A nivel específico en la zona Oriente el seis por ciento (6%) de areneras cuenta con equipo de lavado, el noventa y cuatro por ciento (94%) no lava, el sesenta y tres por ciento (63%) del total considera que la arena sumergida ya se encuentra lavada. En la Zona Centro el 67% de las areneras cuentan con equipos para lavado. En Occidente 37% de los productores lava el agregado, 21% no lo hace debido à que la arena proviene de ríos o de minas bajo el nivel freático y el 42% restante no lavan el agregado.

3.- Caracterización por Zonas Geográficas

Se utilizaron las normas venezolanas COVENIN para caracterizar los agregados por zonas geográficas de las que presentaremos algunos resultados significantes. Al respecto, la Norma COVENIN 277 de Requisitos para los agregados incluye el ensayo "Determinación de partículas más finas que el pasante N° 200" controlando dichos valores a 3% en concretos sometidos a la abrasión y 5% para cualquier otro tipo de concreto.

El efecto directo sobre la mezcla en los casos que se presentan excesos de pasante del tamiz N° 200 se refleja en requerimientos excesivos de agua; por otra parte, en el concreto endurecido se reflejará en apariciones de grietas y bajas resistencias. La Figura N° 3.1 muestra los valores promedios de este ensayo por zonas de estudio, al igual que los valores mínimo y máximo determinados.

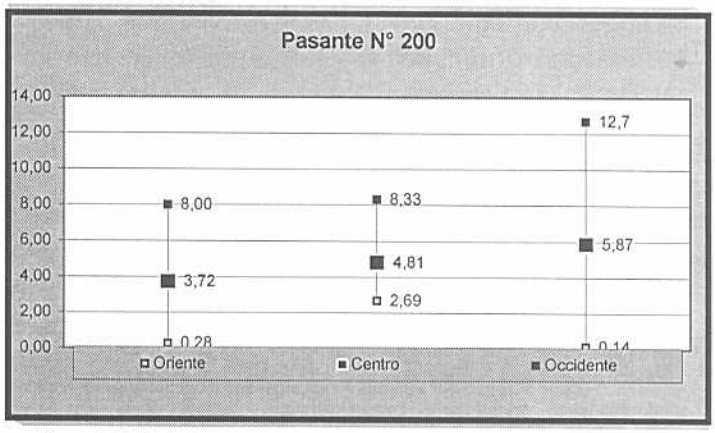


Figura N°3.1- Valores medios y extremos de pasante de tamiz N° 200

Observando la figura anterior destaca que en la Zona Oriente el valor promedio del porcentaje de pasante N° 200 corresponde a 3.7; con valores que van desde 0.28 a un máximo 8.00; para la Zona Centro el promedio es 4.81, el menor valor 2.69, y el máximo 8.33; para la Zona Occidente el promedio resultó 5.07, el menor valor es 0.14 y máximo 12.7. La zona con menor rango de valores es la Central con 3. puntos entre valores máximo y mínimo.

A nivel local la información puede ser más importante, por ejemplo la ciudad de Coro cuenta con un promedio del porcentaje de pasante N° 200 en arenas de 10.9 %, con valor mínimo de 10.2% y máximo de 12.7%, para un rango de 2.5 puntos. Estos resultados corresponden a fuentes de agregados que limpian sus agregados mediante equipos de lavado. La ciudad de Maracaibo en cambio, cuenta con un promedio de 1.8%, Barquisimeto de 5%. Las arenas que presentan menor diferencia entre

sus valores de pasante N° 200 se ubican en la zona central del País.

La misma norma COVENIN 277 incluye además límites granulométricos para arenas y piedras a ser utilizadas en concretos convencionales que según el estudio efectuado no pueden ser cumplidos.

En este sentido, la figura N°3.2 resume mediante el promedio de gradaciones para el caso de piedra picada tamaño máximo 2,54 cms cuyo origen se ubica en la zona central del País. Observe que las especificaciones normativas se muestran en trazo discontinuo; por el contrario, las líneas continuas indican las curvas medias de resultados obtenidos con base a las categorías Agregado más grueso, Agregado más finas y Medio.

Con relación a las arenas, se concluyó que tampoco cumplen con las especificaciones granulométricas normativas; en este sentido, a manera de ejemplo se incluye la figura N° 3.3 que contiene curvas promedio de lotes ,cuyo origen se ubica también en la Zona Central del País.

Destaca que aunque algunos lotes tuvieron comportamiento adecuado; otros tienden a presentar partículas más finas que las normadas.

4.- Diseños de mezclas de concreto

4.1- β óptimo. Influencia de la gradación

Los límites granulométricos para finos y gruesos contenidos en la Norma COVENIN 277 permiten elaborar mezclas con mejor trabajabilidad resultando más económicas porque tienden a tener menos vacíos, esto puede apreciarse mejor en la figura N° 4.1 donde aparecen las especificaciones normativas para finos y gruesos en trazos segmentados, la curva de la combinación óptima y dos curvas reales cercanas a los promedios normativos y la combinación real, lo que indica que la línea teórica de combinación para en β óptimo no puede ser alcanzada en su totalidad.

Cuando los agregados tienen gradaciones con diferencias muy marcadas a las limitadas por la Norma, puede ser imposible alcanzar una combinación óptima como se observa en la figura N° 4.2 donde se ha combinado piedra Tmáx. 2,54 cms. una arena fina de MF 1.6

4.2- Coeficientes Regionales para Diseño de Mezclas

El método para diseño de mezclas de concreto contenido en el **Manual de Concreto Estructural** (Porrero, Grases, Ramos, Velazco) está sustentado en dos leyes fundamentales, la Ley Triangular y la Ley de Abrams; la primera relaciona la dosis de cemento C (Kg/m3) con la relación agua/cemento (α) y el asentamiento (S) (cms) mediante la expresión $C = KxT^n / \alpha^m$, donde K, n, m son coeficientes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla.

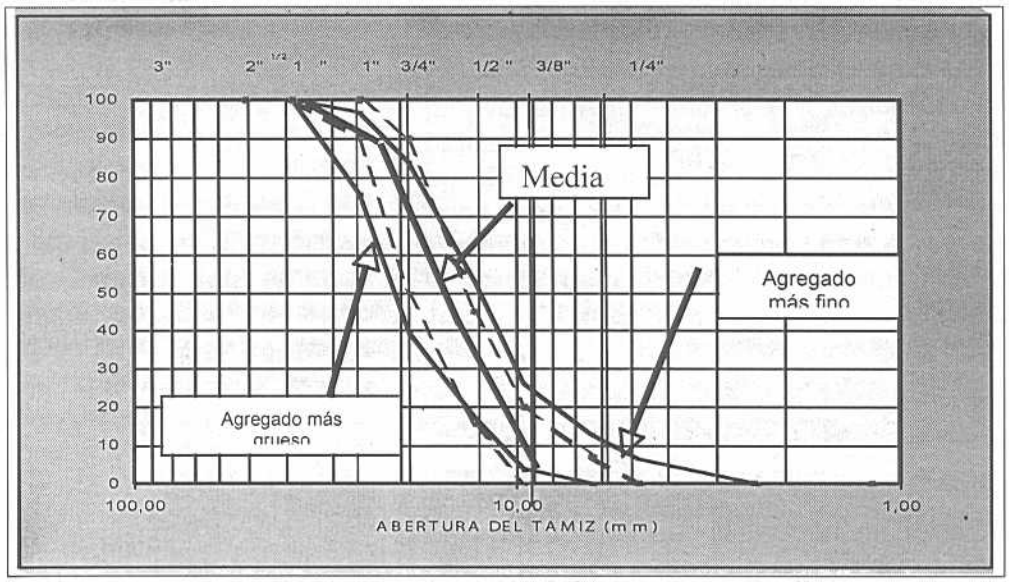
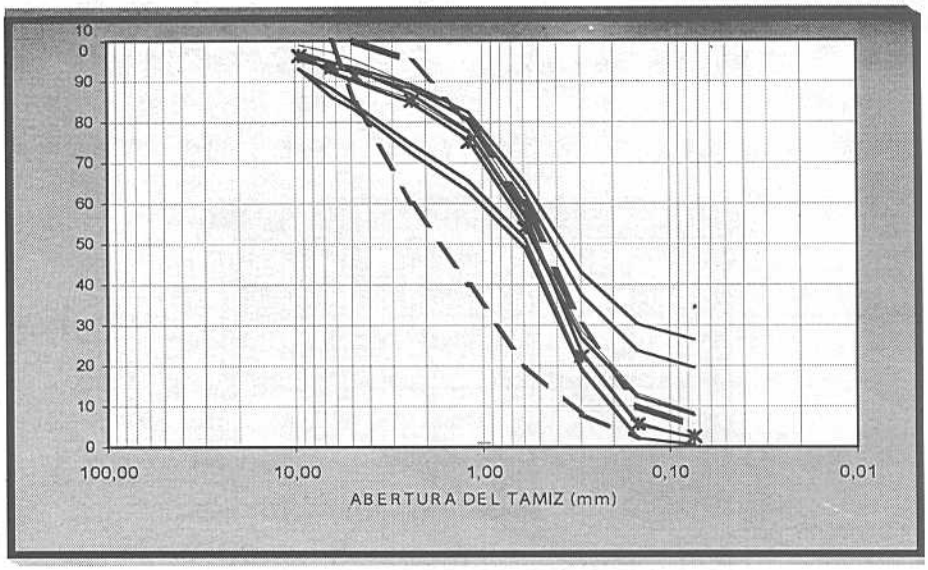
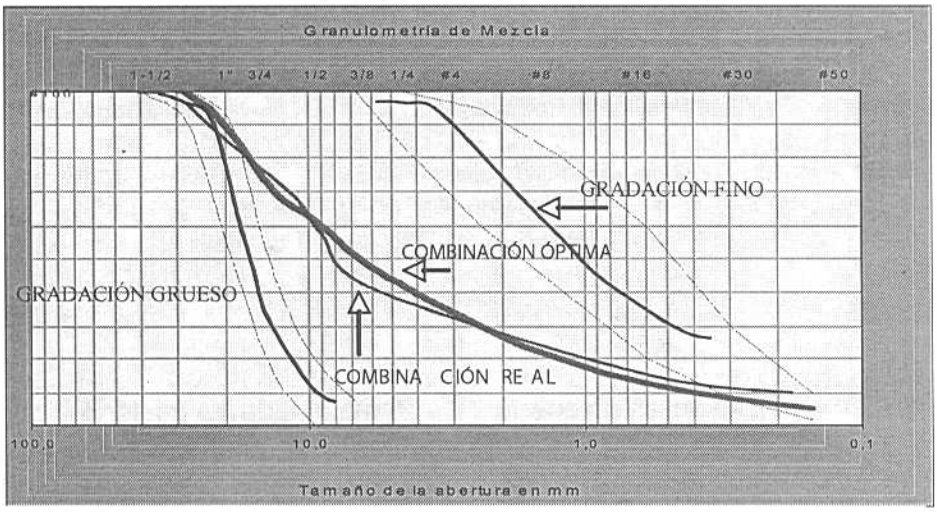


Figura N° 3.2 - Curvas granulométrias - Piedra Picada Tmáx. 2.54 cms – Zona Centro



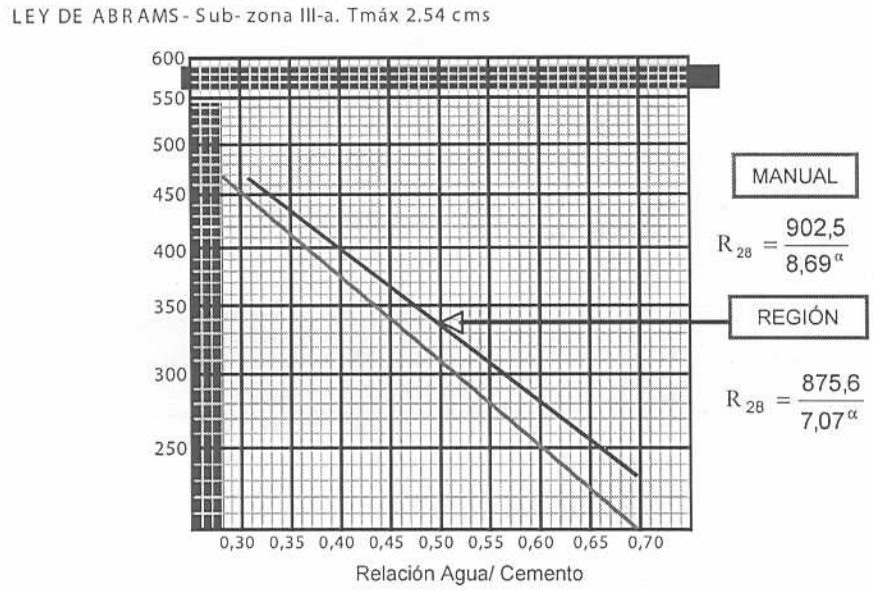
FIGUR A N° 3.3- Medias de curvas granulométricas – Lotes Arena – Zona Centro



FIGUR A 4.1- Combinación óptima de agregados. Piedra Tmáx.2,54 cms



FIGUR A N° 4.2 – Combinación de agregado grueso normal con arena fina (MF. 1.6)



FIGUR A N° 4.3 –Ley de Abrams – Zona Occidente con referencia.
Manual de Concreto Estructura
FUENTE: Bonilla, G.; Sirit, Y. (2004)

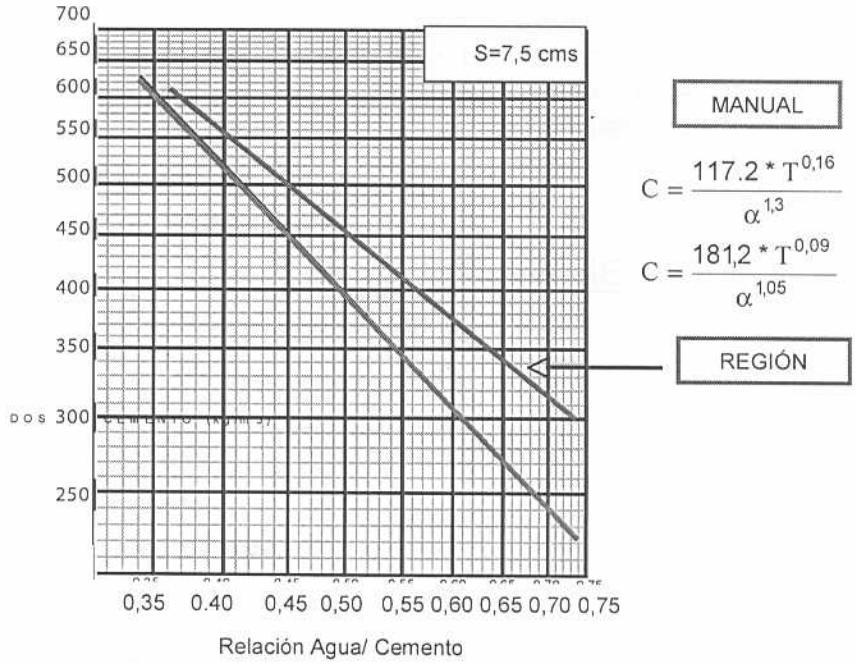
Por otro lado, la Ley de Abrams establece la relación entre la resistencia "R" (kg/cm2), para un tiempo determinado, y la relación agua/ cemento, mediante la expresión $R = M / N^{\alpha}$; siendo los coeficientes M y N función de las características de los materiales, condiciones de ejecución y la edad de los ensayos.

Bajo este contexto, la caracterización de los agregados por regiones geográficas suministró información acerca de aquellas propiedades de los agregados requeridas para la ejecución de diseños de mezclas de concreto fresco, donde se evaluaron promedios y desviaciones de pesos específicos, absorción, humedades, tamaño máximo, granulometrías; junto al comportamiento de estos agregados locales con un lote específico de cemento; de esta manera se evaluó la forma como se afectan los coeficientes de la Ley de Abram y de la relación Triangular contenidos en el Manual de Concreto Estructural, cuando los agregados tienen origen diferente a los utilizados en dicho estudio.

A manera de ilustración la figura N° 4.3 presenta como varían los coeficientes M y N de la Ley de Abrams, utilizando los como referencia los contenidos en el Manual de Concreto Estructural, cuando en lugar de utilizarse los agregados contemplados en el libro citado, se mezcla arena gruesa de río y piedra triturada de la zona occidental del País.

De esta figura se desprende que para una misma resistencia requerida de proyecto (f_{cr}) se requiere mayor relación α (agua/cemento) que la especificada en el manual; pero también se puede leer, como para una misma relación α se obtendrá un 9% de mayores resistencias.

Pareciera que con la relación contenida en la Figura N° 4.3 pudiera concluirse acerca de la calidad de los agregados de la zona en particular; sin embargo, si no se cuenta con el comportamiento determinado mediante la Relación Triangular, resultará muy pobre la información que realmente pueda considerarse útil; en este sentido la Figura N° 4.4 muestra esta relación con los mismos agregados para un asentamiento de 7,5 cms.



FIGUR A N° 4.4 – Relación Triangular – Zona Occidente con referencia. Manual de Concreto Estructura
FUENTE: Bonilla, G.; Sirit, Y. (2004)

Para una misma relación α en la figura N° 4.4, con asentamiento esperado de 7,5 cms; el material de la región requerirá mayor dosis de cemento (en orden de 14%) o, se puede entender también que para una misma dosis de cemento y asentamiento de 7,5 cms la mezcla exigirá mayor cantidad de agua al presentar mayor relación α.

Conforme a la información suministrada por ambas figuras, se puede concluir que los agregados de la región, considerados en la condición saturados con superficie seca, generan para un asentamiento de 7,5 cms. y una relación α determinada, una resistencia a los 28 días superior en 9%; sin embargo esta situación es posible debido a un aporte adicional en dosis de cemento de un 14%.

5- Conclusiones y recomendaciones

La producción agregados para usar en el concreto convencional requieren de un control de calidad rutinario que asegure la estabilidad en las características del producto ofrecido; sin embargo, de la evaluación efectuada sobre fuentes de suministros de agregados pertenecientes a las zonas en estudio se concluye que pocas fuentes de suministro mantienen el control necesario que al menos asegure un material limpio y estable en sus propiedades.

Esta situación exige de los profesionales responsables de la calidad de ejecución, mayor dedicación a la hora de seleccionar los agregados que serán utilizados en las mezclas de concreto; por lo que resulta conveniente visitar las fuentes de origen de los agregados verificando el estado de los equipos, existencia de laboratorios y observando la organización en general. De esta manera es posible obtener información adicional acerca de la calidad

del agregado de la región. En construcciones que lo ameriten es recomendable ejecutar ensayos periódicos que informen sobre las variaciones de las características de los agregados.

Por otra parte, las curvas granulométricas de los agregados evaluados en distintas regiones del País no cumplen las especificaciones recomendadas por la normativa nacional. Además, es necesario aplicar coeficientes regionales para realizar diseños de mezclas de concreto.

Bibliografía

-Bonilla,G; Sirit Y..Regionalizar Coeficientes de Diseño de Mezclas de Concreto para dsarrollar viviendas de Interés Social. Revista Tekne N°6. Facultad de Ingeniería UCAB. 2003. Caracas

-Bonilla,Guillermo. Caracterización de Agregados por Zonas Geográficas. Extensión del Método Manual de Concreto Estructural. Seminario Técnico Sidetur. Proyectos de Concreto Estructural según la Norma COVENIN 1753. Caracas. 2004

-Centeno, R. Inspecciones y Control de Obras. Ed. Vega. 1979. Caracas.

-Kuehl, Robert. Diseño de Experimentos. Ed. Thmpson Learning. 2001. Méjico

-Porrero, J; Ramos, C; Grases, J. Velazco, G. Manual de Concreto Estructural. Fondo Editorial. Sidetur 2004. Caracas.

Agradecimiento

El autor en nombre del equipo de investigación agradece al Fondo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación – FONACIT – y a la Universidad Católica Andrés Bello por el apoyo ofrecido.

Reconocimiento

A los estudiantes, hoy ingenieros, incorporados en el estudio de agregados y diseños de mezclas fueron Luis Colina, Edward Becerra. Karla Sánchez, Orlando Torres, Daniel Briceño, Laura Arocha, Adolfo Álvarez, Luis Chaparro, Carlos Padilla, Ricardo Iglesias, William Garrido, Carlos Romenstat, Luis Quintero y Julio Villegas. El Programas de computación estuvo a cargo Andrés Marcano y Caros Zambrano.

Igualmente a Yelitza Sirit (Laboratorios de Materiales - UCAB) coordinadora de los ensayos realizados de la investigación tratada en la ponencia.

La Bioética en la Cultura de los Gerentes y Líderes Avanzado

■ Ing. Alfredo Gorrochotegui
agorroch@ucab.edu.ve

RESUMEN

Asumiendo que nos ubicamos actualmente en el evento histórico denominado la Post-modernidad, nos dedicamos a indagar sobre los cambios requeridos para desarrollar nuevas formas de Liderazgo y Gerencia mas allá del momento presente.

Los procesos del mundo posmoderno, estarán impregnados de los Valores Humanos impuestos por el Hombre mismo, sin duda serán Hombres y Mujeres de Formación y Cultura Bioética.

La Tipología de Investigación aplicada es documental y referida a las temáticas de la Historia de la gerencia, su evolución y nuevas posibilidades.

La Organización y Procesamiento del material llevó a desarrollar como expresión de las indagaciones, un Artículo Conclusivo contentivo de Ideas, conceptos y propuestas.

El Alcance de nuestra Investigación es válidamente aplicable en la Educación de la Ingeniería, donde estamos requiriendo "Directivos y Líderes" con grandes conocimientos Tecnológicos y Humanísticos.

Nuestro trabajo concluye que se procesan dos Evoluciones del futuro Humano: una para lograr un mundo sostenible, apto para dar la mejor calidad de vida y la mayor felicidad posible; y una segunda destinada a preservar a la especie Humana, a través del cosmos y del tiempo, llevándonos a mundos adecuados para la colonización humana. Nuestra investigación define que esto exigirá la formación

integral y selectiva de Grupos de Directivos-Lideres de acuerdo a una Academicidad Universal con extensos conocimientos Tecnológicos y Humanistas: ello porque los Códigos de Bioética habrán abrazado a todas las transdisciplinas en su función de darles una estructura moralizadora, y protectora de la especie humana.

La Globalización, la Post-modernidad y la Conciencia Planetaria son eventos activados que exigen, para una Civilización altamente inteligente, una clase de Gerentes y Líderes de Avanzada.

Igualmente concluimos la necesidad de nuestra nación de visualizar la progresión cultural que señala este Trabajo en el Diagrama del autor: la Vía del *Mundo Sostenible* y la Vía *Hacia el Cosmos.*

Palabras Clave: Liderazgo-Gerencia, Progresión Cultural, Bioética.

INTRODUCCION

Sin duda la Gerencia en el Futuro Posmoderno significará un avance de la Civilización hacia la Perfección de la Organización Humana, y para gestionar la Preservación de la Especie.

Los Gerentes y Líderes del Mundo irán en una progresión Cultural que supere al concepto de la EXCELENCIA, por un Ideal de mayor universalidad: la Gerencia de Avanzada deberá representar un Ideal de BIOETICA.

En el presente, tanto la Gerencia Empresarial como la Gerencia Pública, actúan en un movedizo piso cuando de enfrentar "lo ético" se trata, y eso debilita la trascendencia de los Liderazgos y de las Gestiones, manifestándose una falta de Virtudes y Valores ante lo requerido por la Naturaleza Humana.

La Excelencia se debilita cuando no se funda en la Moralidad del Bien Común, cuando no se estructura con elementos éticos, y cuando la Sociedad no la recibe como AUTÉNTICA.

Las premisas para nuestra Investigación parten de las Descripciones y Predicciones actuales de la Posmodernidad, como Era Histórica ya iniciada y que enmarca nuestra progresiva transformación en los ámbitos del Conocimiento y la Cultura, destacándose entre ellos el concepto de la Bioética como Valor desarrollado a partir de la Ciencia Biomédica y la Ingeniería Genética.

Bajo estos supraconceptos deberá desarrollarse una nueva Gerencia y un nuevo Liderazgo, cuyos objetivos no serán solamente los rendimientos y productividad económicos y los avances tecnológicos, sino que dependerán de Metas transcendentes en una Cultura diferente: posmoderna y/ó cósmica.

El Tema de la Bioética como Valor envolvente de la actuación Gerencial, no ha sido explorado de acuerdo a las fuentes consultadas, pero ya se vislumbran Conferencias Generales de la ONU, Códigos de Bioética Institucionales, Acuerdos Internacionales y un creciente interés por ello a partir del reciente descifrado del Genoma Humano que ha potenciado al mundo científico global.

OBJETIVOS

El Objetivo Esencial ha sido propiciar el interés por una nueva Cultura en desarrollo, una cultura envolvente y necesaria para salvar a la Raza Humana y al Mundo que nos sostiene. Se propone evaluar el alcance que logrará la concepción Bioética en la formación de los Gerentes y Líderes avanzados del futuro.

Por ello se ha querido evidenciar la desviación que existe en nuestra Academicidad respecto a los Valores fundamentales del día a día, que parecieran estar invisibles, y se hace obligante descubrirlos desde otra perspectiva. Se propone una Visión y una Ciudadanía Planetarias para así retroalimentar la enseñanza de conocimientos dirigidos a una Cultura Bioética.

El análisis y prospectiva del momento actual, llámese Posmodernidad o de cualquier otra manera se presentan "profundamente positivas", ya que se destaca a los Eventos Históricos Activados provistos de intenciones Bioéticas al propiciar un correcto uso del Genoma Humano y una planificación para preservar la Vida Humana más allá de nuestro planeta.

Ello se resume en las Rutas del Mundo Sostenible, y de la Exploración del Cosmos, características presentes en la nueva Cultura en desarrollo.

Las Conclusiones resumen como Objetivo específico una propuesta de Perfil del nuevo Directivo – Líder de Avanzada, cuyo contenido expresa una

opinión muy personal del Autor, así como unas recomendaciones implícitas en cada párrafo conclusivo.

PARTE I: MARCO TEORICO

I.1.- La Naturaleza del Liderazgo y la Gerencia

No hay dudas de que podemos resumir nuestras acciones como resultado de decisiones propias ó inducidas por algún "liderazgo" ó por una "gerencia" intrínseca ó extrínseca, que en todo caso deberían ser, para nuestro bien, de una dimensión altamente inteligente y eficaz, y muy especialmente impregnada de los *Valores Éticos Humanos* más trascendentes. Esto nos lleva a investigar acerca de la Naturaleza propia de la Gerencia y del Liderazgo.

En un simple resumen Peter Drucker (1954 y 1993) dejó el legado de que las características resaltantes del liderazgo son: a) creer en las personas normales, de capacidad media, para ser futuros líderes de la organización; b) facilitar el desarrollo de sus capacidades para ser líderes a través del entrenamiento y la experiencia; y c) que la consecuencia inmediata de los rasgos anteriores facilite la existencia de buenos y seguros sustitutos en el liderazgo.

Uno de los mayores aportes para la comprensión del "Liderazgo de las personas normales" (lo coloco yo entre comillas) nos los da Stephen R. Covey (1990) quien ha generado en los Estados Unidos y el mundo en general, una verdadera "progresión cultural" para preparar Directivos, Gerentes y en consecuencia a los Líderes del hoy y mañana. Su obra también es conocida como "*El Liderazgo basado en principios*" y nos ha enseñado que el Éxito se basa en la "Ética del carácter".

Según Alfredo G. Martell (1995) el planteamiento más profundo de Covey es que: "para ser líder, buen y real líder, hay que ser primero líder de sí mismo: primero *la victoria privada* y luego *la victoria pública*".

En la obra mas reciente de Stephen Covey (2004), publicada como "El Octavo Habito", se expresa el pensamiento ya sedimentado a través de la experiencia del autor y de su Corporación "Franklin Covey Co." (Firma extendida en 123 naciones), como un Objetivo superior del Liderazgo: *De la Eficiencia hacia la Grandeza*, y señala el camino de como lograr la Grandeza en los individuos, en los lideres y en las organizaciones en contraposición al camino de la Mediocridad, y todo ello basado en la búsqueda interior del conocimiento y la capacidad de inspirar a los demás a hacerlo también.

Mis propias consideraciones para enmarcar este trabajo las señalo a continuación:

- El liderazgo y el management se evidencian como conceptos distintos, pero no excluyentes uno al otro, por eso daremos preferencia al término "líder" ó al de "directivo-líder".
- El liderazgo presupone el conocimiento de los colaboradores y grupos a dirigir, así como una identificación con la naturaleza de la organización objeto.
- El liderazgo es un auténtico proceso de mejora y según los distintos autores "siempre deberá guiar hacia lo que es bueno y mejor para el ser humano" y su vida en las organizaciones.

En consecuencia mi propuesta va dirigida a que el Directivo-Líder del futuro debe formarse intensamente en una "progresión cultural" acorde a nuestros tiempos "posmodernos", e identificarse con la conciencia de la "prospección de la supervivencia humana"

I.2.- La Progresión Cultural hacia la Posmodernidad

No hay dudas acerca del quiebre Cultural que ha representado para la Vida Humana la llegada de la Cibernética, así como el reto de la Exploración Espacial para dar nuevos nichos de preservación al Hombre, más allá de nuestra simple prospectiva histórica.

Estos acontecimientos se expresan en los eventos-conceptos de "Globalización" o "Mundialización", y la "Posmodernidad".

Evidentemente las Organizaciones y la Gerencia no escapan a este proceso de exigencias distintas, de retos novedosos, tal como expresa Luisa Fernanda Zambrano (2001): "*Diversos cambios se están produciendo en todos los órdenes de la vida social, cultural, ética, estética, política y económica del mundo; estas transformaciones y cambios en las lógicas organizacionales, que sirvieron de base fundamental a la modernidad, evidencian el surgimiento de una nueva era*".

Para clarificar la evolución que supondrá pasar de la Modernidad a la Posmodernidad, citamos a Carlos Llano (1994) quien describe a la Empresa moderna como: "*centrándose en el* ***homo economicus,*** *donde la actuación del aspecto humano se hace más por realismo que por reivindicar los valores interiores o espirituales del ser humano"*, y el miso autor nos señala que la Posmodernidad dirige a las Empresas : *"a la conformación de un paradigma de vida donde los contenidos economicista y racionalista pierden su preponderancia para explicarlo, buscando reivindicar los valores interiores o espirituales del ser humano en la empresa".*

Para nuestra investigación hemos asumido que "el evento histórico actual es la Posmodernidad", y nos sumergiremos en esa propuesta procurando visualizar como serán las futuras organizaciones, y como deberán ser sus Directivos-Líderes.

I.3.- La Evolución de los Derechos Humanos y la Bioética

El Hombre moderno continúa planteándose problemas relativos al funcionamiento y comportamiento de la vida humana, y entre ellos muy especialmente lo relacionado con qué actitudes asumir frente al nacimiento, la enfermedad, el sufrimiento, el envejecimiento y la muerte. Todas estas problemáticas han generado códigos deontológicos que aplican principios morales y éticos respecto a ellos, y esto se remonta a etapas históricas muy alejadas de la actual. El Código de Deontología Médica de Hipócrates es posiblemente el más antiguo y conocido, y aún hoy es base de análisis.

La gran estructura Legal que la Humanidad ha desarrollado a través de tantos eventos históricos, nos presenta muchísimas evidencias de las actitudes Morales y Éticas del Liderazgo del mundo.

En primer lugar citamos el *Código de Nuremberg*, publicado en 1947, generado ante las atrocidades cometidas por las autoridades nazis y por sus médicos investigadores. (Encarta-2004). El Tribunal constituido encontró evidencias de los crímenes de guerra y violaciones atroces contra la Humanidad.

En general, puede decirse que la función de ejemplaridad quedó cumplida como resaltó el juez norteamericano, aquél fue el primer juicio por crímenes de guerra de la Historia de la Humanidad, de esta forma se sentaron unos "principios de ética universal" que habrían de resultar de considerable trascendencia.

La moralización de la sociedad internacional en la que, al menos en teoría, coincidían los vencedores en la guerra, venía acompañada por el establecimiento de una organización internacional destinada a asegurar en el futuro la paz por medios pacíficos. En realidad, los fundamentos de la Organización de las Naciones Unidas deben encontrarse en las declaraciones de los aliados anglosajones a partir de 1941 –la Carta del Atlántico- siendo tardía la manifestación de la voluntad soviética de sumarse a esos propósitos. La fundación de la ONU tuvo lugar en junio de 1945, tras la Conferencia de San Francisco, suscribiendo su carta una cincuentena de Estados.

En segundo lugar conviene destacar la Normativa en pro del Derecho a la vida, expresión de un bio-derecho, que significó ese gigantesco paso representado en la "Declaración de los Derechos Humanos" promulgada por las Naciones Unidas el 10 de Diciembre de 1948, y que posteriormente en 1952 dio lugar a dos pactos internacionales: uno para los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, y otro para los Derechos Civiles y Políticos.

Evidentemente los Directivos-Líderes deben ser conocedores explícitos de las Cartas Magnas en sus Regiones de acción, pero sobretodo deben ser Defensores de esos Derechos Humanos entre sus dirigidos y clientes.

En tercer lugar y finalmente debo referirme a la "Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos" endosada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 09 de Diciembre de 1998. Esta Declaración fué producida por el International Bioethis Committee (IBC) que permanentemente la revisa y actualiza. (IVIC-2004).

El Objetivo General de dicha Declaración es preservar la Data Genética Humana, la información de las características hereditarias de cada individuo por vía del análisis del "dexyribonucleic acid" (DNA); además se establece una clara definición de la Identidad de la Persona, y se establece una Categoría Especial a toda la información genética humana.

Es de suma importancia citar el resumen del propósito Legal y Científico de esta Declaración: *"La información genética Humana solamente puede ser recolectada, procesada, usada y almacenada con fines de: diagnosis y cuidado médicos, investiga-*

ciones médicas y científicas, estudios epidemiológicos, medicina forense, procedimientos judiciales en casos civiles o criminalísticos, y en cualquier otro propósito que sea consistente con esta Declaración y con las Leyes Universales de los Derechos Humanos".

(Traducción por este autor).

PARTE II: MARCO METODOLOGICO

II.1.- Prospección de las nuevas Organizaciones posmodernas

¿Como concebir entonces las nuevas organizaciones y su manera de actuar ante el paso hacia la pos-modernidad?

Siguiendo la propuesta posmodernista me atrevo a señalar una prospectiva transcompleja en la Cultura Organizacional y en la Cultura Gerencial, es decir la exploración de una nueva dimensión para los valores culturales y éticos de las organizaciones, y de los directivos-líderes de avanzada. Desde este momento me referiré a la Gerencia Posmoderna como objetivo de cambio en la propuesta que desarrollamos.

Ante todo haremos una revisión del concepto de Cultura Organizacional, para ello citemos una definición al parecer muy apropiada de cultura: *".....conjunto de cogniciones funcionalmente organizadas como un sistema de conocimientos que contiene todo lo que es necesario creer y saber, a fin de comportarse de una manera aceptable para los miembros de una sociedad."* Así se expresa Abarbanell (1992) al describir los rasgos culturales de una organización tradicional, y deducimos que la conducta individual y la conducta organizacional son consecuencias de la cultura que se corresponde a programaciones mentales que pueden ser cambiadas en un clima de constante reflexión y renovación.

En sentido crítico para Hofstade (1999), quien habla de cuatro dimensiones acerca de la cultura, afirma que tan solo *la distribución del poder y el control de la incertidumbre* afectan la manera de pensar en las organizaciones y sus miembros.

La descripción anterior está en un plano actual de modernidad, sujeta al vértigo de los cambios y de la reingeniería a los que se someten las organizaciones y gerentes de hoy.

Al ubicarnos en una visión transcompleja posmoderna, nos encontramos que para el ser humano, su capacidad de conocer "realmente la realidad" es muy discutible. Este concepto se sustituye por un "conjunto de verdades o realidades" que existen fraccionadas.".

Es por esto que debemos extrapolar el concepto de cultura organizacional y gerencial actual, hacia los fenómenos que señalo al inicio de esta indagación: Globalización y Posmodernidad.

La Civilización Emergente Posmoderna deberá vencer las fallas y desviaciones de la dinámica globalizadora, las cuales se han expresado con el stablishment de la "Antiglobalización". Entre esos obstáculos a vencer tenemos la Pobreza, la exclusión de grupos sociales y étnicos, el deterioro ambiental, el lento desarrollo sostenible, el mal manejo de la Biotecnología y la Bioseguridad, el protagonismo del Grupo de los Ocho, el privilegio de las grandes potencias militares en decisiones universales, y las soluciones antidemocráticas como vía de superar el status. En este sentido la "Declaración del Milenio" de la ONU nos señala un Plan concreto a seguir, con metas específicas y de una profunda Filosofía Globalizadora (ONUorg.2001).

A este concepto, nuestra investigación añade que vamos hacia una "Civilización Planetaria", cuyo objeto central es la preservación de la Especie Humana, más allá de nuestra Bioesfera en Colonias cósmicas, en mundos "terraformados". La actual "visión" de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) nos habla claramente de las misiones espaciales humanas y robóticas (NASA-web-2004).

Las autoridades Universales debaten la imposición de nuevos Códigos y Declaraciones que superan el concepto de Derechos Humanos y nos llevan a Conductas supramorales resultado de una Cultura Posmoderna_Bioética. Basta con recrearse en la "Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights" endosada por la ONU y su Asamblea General en Noviembre de 1997.

Es por ello que resulta ineludible una "Ruta de Progresión Cultural para los Directivos-Líderes del mundo", quienes no lo serán, nunca más, de manera improvisada o emergente: tendrán que vencer una extensa e intensa formación, imbuirse en las transdisciplinas que se abren como nuevas coordenadas del Conocimiento Humano.

En consecuencia planteamos para la Gerencia Posmoderna una "Ruta de Progresión Cultural" que la vamos a diseñar en función de transdisciplinas que irán más allá de un cronología histórica, es decir no nos quedaremos en el "paso" de una modernidad a una nueva era posmoderna.

Veamos como Brunner nos diagrama el proceso presente de la "globalización cultural" partiendo de cuatro eventos activos (Ea): (nomenclatura aplicada para este trabajo)

El (Ea.B) está expresado como resultado de los fenómenos o eventos activos A, C, y D. En B hay un clima nuevo, una nueva sensibilidad: con expresión espiritual, intelectual, estética y ética en todos los ámbitos contemporáneos. La GLOBALIZACION de la CULTURA es la manifestación o consecuencia de las interrelaciones entre (Ea.A),(Ea.C), y (Ea.D) con (Ea.B).

El siguiente Diagrama presenta modificaciones de forma por parte del autor de este trabajo, solo para destacar el despegue hacia la Posmodernidad, y para indicar que son Eventos Activos actuales y no simples fenómenos históricos.

[Ver GRAFICA N° 1]

II.2.- Actualización del concepto de Bioética

¿Qué es entonces la BIOETICA?

El término BIOETICO no es ajeno a nuestra Cultura Moderna, su uso fue planteado por el Bioquímico Van Rensselaer Potter, Profesor Emérito de Oncología de la Universidad de Wisconsin (USA), quien en el año 1971 publica su libro "Bioethics: Bridge to the future", en cuyo prefacio dice textualmente:

"El objetivo de este libro es contribuir al futuro de la especie humana promoviendo la formación de una nueva disciplina, la disciplina de la Bioética. Si existen dos culturas que parecen incapaces de hablar entre sí.- Las ciencias y las humanidades- y si ésta es la parte de la razón de que el futuro se vea dudoso, entonces, tal vez podríamos construir un puente hacia el futuro, construyendo la disciplina de la Bioética como un puente entre las dos culturas".

Un ejemplo de la extensa aplicación del Concepto Bioético en Organizaciones, lo tenemos acá en Venezuela. El Organismo conocido como FONACIT nos señala la obligación de cumplir con su Código de Bioética y Bioseguridad, al formularse cualquier proyecto de Investigación. De su página Web extraemos una consideración muy valiosa para comprender el fenómeno bioético: (FONACIT-2004)

"En sentido amplio la bioética es una visión que está abarcando un campo muy vasto, por lo cual se prevé que pueda extenderse a la industria más allá del ámbito farmacéutico y de alimentos, la ingeniería, la energía y cualquiera que pueda tener impacto en la vida en general. Podemos decir que en breve tendremos para cada actividad humana una visión bioética, lo cual mejorará las relaciones del ser humano con su entorno y consigo mismo".

II.3.- La nueva Conciencia Planetaria

A partir de la Posmodernidad, e internándonos en ella haremos un ejercicio de imaginación sobre lo que podría sobrevenir.

Si por una parte la Modernidad nos presenta una "realidad interpretada" y nos da "soluciones racionales y lógicas"; por la otra la Posmodernidad nos presenta "incertidumbres" y nos obliga a visiones "transcomplejas" de diversas "neo-realidades" como lo explica Lyon (1996).

Ello nos señala dos caminos-visiones que la Humanidad ha tomado, y a partir del Punto actual que en el Diagrama de Brunner es el ea.B (Ver Grafica N°1); un primer camino es el de proseguir con el perfeccionamiento de La Democracia y del Capitalismo Posindustrial, dando uso al avance tecnológico, y preservando el concepto del Bien Común apoyado en los Derechos Humanos, y en creciente intención apoyándose en los Valores de Bioética y Bioseguridad. Esta Ruta nos llevaría al "mundo feliz" con "progreso y desarrollo sostenible" tal y como lo exigen los ambientalistas del mundo.

Simultáneamente se ha iniciado un segundo camino, el cual basándose en los mismos Valores del Bien Común, los Derechos Humanos, la Bioética y la Bioseguridad, es una Ruta no predecible hacia la preservación de la Especie Humana en mundos nuevos, es una "aventura posmoderna" que va exigiendo una gran superación científica y tecnológica.

Ambos caminos representan líneas exponenciales para que puedan ser crecientes en logros, y tendientes a un infinito alejado del punto de partida (ea.B), por ello serán dos curvas que a su vez se alejan una de la otra, lo único que será constante es

la presencia de la Cultura Humana, de sus Principios y Capacidades, todo bajo el pulso e impulso de los Directivos-Líderes de Avanzada.

A continuación presento mi propuesta en un Diagrama representativo de esta Progresión Cultural desde y hacia la Posmodernidad, de acuerdo a mi personal interpretación de los Eventos activos actuales. Esta representación tiene su vértice V en el punto B del diagrama de Brunner, con un Eje Vertical y dos ramas curvas que conforman una parábola simétrica. La Curva izquierda nos representa la "ruta de la Bioesfera Sostenible" y la Curva derecha representa la "ruta de la preservación Humana en otros mundos". Todo el espacio entre las curvas contiene a la Cultura Humana

El Eje representa la acción continua y progresiva de la Gerencia Posmoderna y Bioética, la posición del Foco F se alejará del vértice a medida que se abren y separan más las curvas, el tirante $\mathbf{VF = \alpha/2}$ mide la influencia de la Gerencia, y el latus rectum $\mathbf{LR = \alpha}$ mide el alejamiento, desde B, de ambas rutas hacia la Posmodernidad.

En un sistema cartesiano si V es el origen, esta curva se expresa como $\mathbf{Y = \alpha \, . \, X^2}$

La Cultura Humana se va perfilando hacia una Era de alto Nivel Ético Universal, así lo expresaba Karol Wojitla : Su Santidad JUAN PABLO II, al difundir ante el mundo y por primera vez el concepto de CIUDADANIA MUNDIAL (ZENIT-2004).

[Ver GRAFICA N°2]

PARTE III.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

"Los Hombres y Mujeres irán, en sus Regiones o Países, a procesos de rígida formación y las Academias, sean Universidades ó Institutos de Especializaciones, irán adoptando en sus curricula contenidos sobre la Moral, la Ética, la Bioética, la Bioseguridad y la Genética : reto inmediato para la Universidad Venezolana."

La anterior conclusión del Trabajo que se presenta, significa la Visión Bioética de la Educación Universitaria, y más especialmente en la Enseñanza de las Artes de Ingeniería.

No hay dudas de que el Ingeniero Venezolano es, quizás, el principal responsable de las modificaciones espaciales y ambientales que constituyen los sustratos para el Desarrollo Humano de nuestro país, y que podría expresarse en conceptos como la Ingeniería Social o la Ingeniería Ambiental o la Ingeniería de Planificación, y muchas otras acepciones.

Nuestras Instituciones de Educación Superior en su afán de ser "tecnicistas" han olvidado su objetivo de "servir" a las personas y a la sociedad Humana; una vía presente en nuestros Curricula de ingeniería ha sido dictar asignaturas sobre Ciencias Sociales y Humanísticas, así como propiciar el Trabajo Social, lo cual no ha sido realmente consecuente con las necesidades de nuestra gente, no han habido resultados identificables con tal tipo de enseñanzas.

PARTE IV: CONCLUSIONES

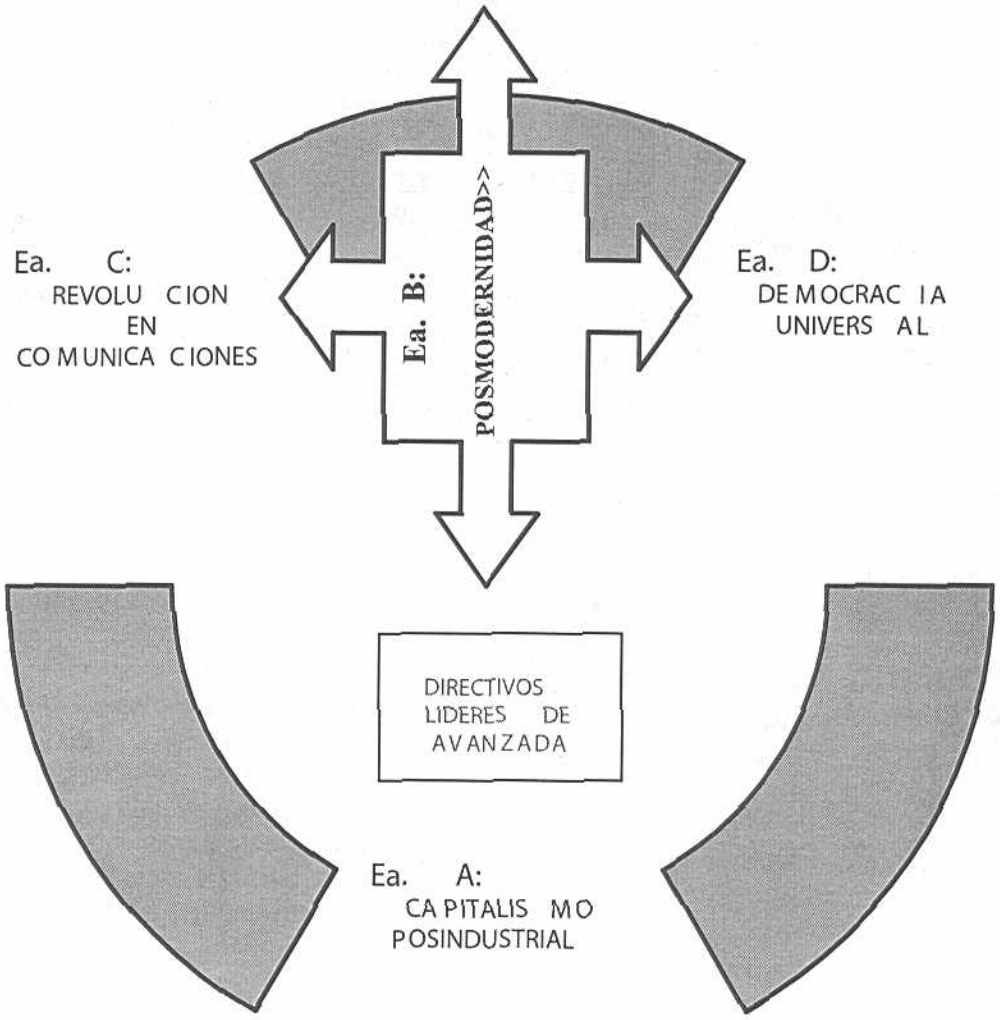
Las CONCLUSIONES del presente trabajo se centran en un Perfil definitorio del "Directivo-Líder de Avanzada", y ello se basa en un *forecast* imaginado hacia el "futuro postmoderno" tal como lo exige esta Investigación sobre la Gerencia Avanzada. En este sentido acotamos lo siguiente:

- El desarrollo de los nuevos Gerentes será muy exigente y en niveles de excelencia, tal y como lo visualizan desde ya las principales Instituciones de Formación Administrativa-Gerencial; nos dirigimos a una Academicidad Universal casi única, para formar a Hombres y Mujeres del mundo con la responsabilidad del Liderazgo para Dirigir en el mundo por venir, basta con mirar hacia DAVOS 2004.
- La formación de estos *Grupos selectos de Directivos-Líderes* será la nueva forma de defensa de las naciones, a mayor concentración de Líderes para Dirigir habrá mayor concentración de Conocimiento, y mayor será el potencial de participación en la nueva Civilización Posmoderna Altamente Inteligente.

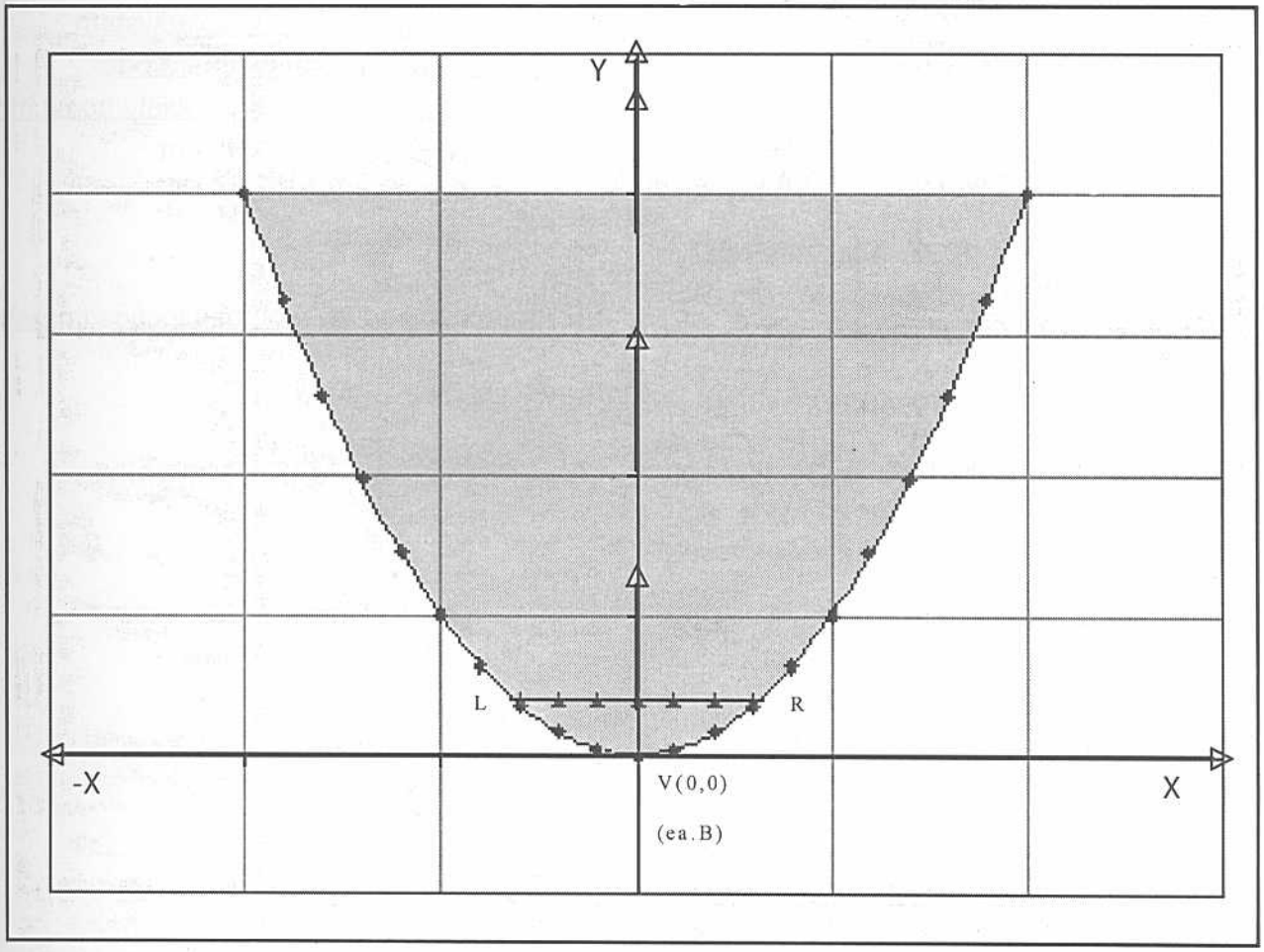
DIAGRAMA DE BRUNNER MODIFICADO

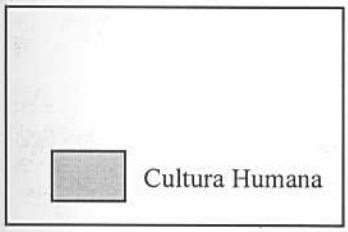
El siguiente Diagrama presenta modificaciones de forma por parte del autor de este trabajo, solo

para destacar el despegue hacia la Posmodernidad, y para indicar que son Eventos Activos actuales y no simples fenómenos históricos.



GRAFICA Nº 1.
DIAGRAMA REPRESENTATIVO DE LA PROGRESION CULTURAL, DESDE LA MODERNIDAD HACIA LA POSMODERNIDAD:
Autor: Profesor Alfredo Gorrochotegui A./ UCAB, 2004





LR = latus rectum $Y = \propto X^2$ $LR = 2\alpha$

GRAFICA Nº 2.

BIBLIOGRAFIA

UCAB (2003-2004) "Seminario Visión Transcompleja de Organizaciones", Curso Doctorado en Ingeniería.

UCAB (2004-2005) "Seminario Gerencia Avanzada", Curso Doctorado en Ingeniería.

PETER DRUCKER (1993) *"The Concept of Corporation"*- Transaction Publishers, News Brunswick.

STEPHEN R. COVEY (1992) *"Los Siete Hábitos de la gente eficaz"* – Paidos, Barcelona.

STEPHEN COVEY (2004) *"The 8th Habit"* – Free Press, New York.

ALFREDO G. MARTELL (1995) *"El Liderazgo en los Centros Educativos"* – Universidad de Navarra, Pamplona (Tesis de Doctorado).

JUAN ANTONIO PÉREZ LÓPEZ (1993) *"Fundamentos de la Dirección de Empresas"* – Rialp, Madrid.

LUISA FERNANDA ZAMBRANO (2001) Paper, Universidad Nacional Abierta, UNA.

LLANO C. (1994) *"El Postmodernismo en la Empresa"*, Mc Graw Hill, México.

RIGOBERTO LANZ (2001) *"Organizaciones transcomplejas"* – Compilación, Caracas, IMPOSMO/CONICIT.

ABARBANELL (1992) *"Cultura Organizacional"* – Legis Fondo Editorial, Madrid.

HOFSTADE G. (1999) *"Culturas Organizacionales: el software mental"* – Alianza Editorial, Madrid.

LYON D. (1996) *"Postmodernidad"* – Alianza Editorial, Madrid.

JOSÉ JOAQUIN BRUNNER (1998) *"Globalización Cultural y Posmodernidad"*, FCE (Brevarios), Cile

MARÍA ROSARIO SÁNCHEZ MORALES (2002) *"Bioética"* – Paper, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Caracas.

VAN RENSSELAER POTTER (1971) *"Bioethics: Bridge to the future"* -

ALBERTO VILADRICH (1977) *"Conferencia de ONU sobre Agua, Salud y Ecología"*, Mar del Plata, Argentina.

JUAN PABLO II: Karol Wojitla(2004) – Documento ante la XXXVIII Jornada Mundial de la Paz.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

www.un.org/spanish/millenniumgoals/index.html

www.nasa.gov/missions/solarsystem

www.ivic.ve/Bioetica/chapter3.pdf

www.un.org/spanish/civil_society/home.htm

www.bioetica.org.ve/fixed.htm

www.fonacit.gov.ve

http://encarta.msn.com/

www.zenit.org

www.ucab.edu.ve/eventos/bioetica/english