



VISIÓN  
ELECTRÓNICA

OSCAR F. OLIVERA - JAIRO A. CUERVO - FRANK NIXON GIRALDO

## SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN ANGULAR APLICADO A DISPOSITIVOS RF

### POSITION CONTROL SYSTEM APPLIED TO ANGULAR RF DEVICES

**Oscar F. Olivera<sup>1</sup>**

**Jairo A. Cuervo<sup>2</sup>**

**Frank N. Giraldo<sup>3</sup>**

Fecha de envío: Agosto de 2010

Fecha de recepción: Febrero de 2011

Fecha de aceptación: Septiembre de 2011

#### Resumen:

Este reporte de investigación describe la modelación e implementación de un controlador difuso para enlazar unidades móviles UBA (unidades básicas de atención), con centrales principales de salud. Para ello, se utiliza: un sistema de posicionamiento global (GPS); una base de datos de coordenadas de las centrales dispuestas en el área de prueba; un dispositivo (brújula electrónica) para la orientación del suscriptor (radio-Alvarion) que usa tecnología OFDM; y un rotor, cuyo propósito es lograr un posicionamiento inicial que genera el enlace con la unidad central. El producto propuesto hace que el GPS lea la ubicación; compare la posición cardinal a través de la brújula electrónica; relacione la ubicación con la base de datos de las antenas disponibles para que, finalmente, el rotor se dirija en la posición de conexión. La modelación matemática del control involucra el SNR (Relación señal a ruido) y la lógica de conjuntos difusos de las señales de entrada. A partir de allí, se implementan los sensores de posición (Encoders) y el dispositivo de lectura para SNR (Convertor Ethernet/RS232).

#### *Palabras clave:*

GPS, suscriptor, brújula electrónica, rotor, SNR, OFDM.

#### *Abstract:*

This research report describes the modeling and implementation of a fuzzy contro-

<sup>1</sup> Tecnólogo en Electrónica. Ing. en Control. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. e-mail: ofolivera@hotmail.com. Cargo: Ingeniero Especialista de Telecomunicaciones en LEGRAND Colombia S.A.

<sup>2</sup> Tecnólogo en Instrumentación y control de procesos industriales. Ing. en Control, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. E-mail: rockaver@gmail.com. Cargo: Ingeniero de Soporte en INSTRUMATIC S.A.S.

<sup>3</sup> Ingeniero en Control e Instrumentación Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. MSc.(c) Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. E-mail: fn-giraldor@udistrital.edu.co

ller to link mobile units UBA (basic care unit), with main health center. In order to do it, use: a global positioning system (GPS), a database of the central coordinates provided in the test area, a device (electronic compass) to the orientation of the subscriber (radio-Alvarion) that uses technology OFDM, and a rotor, which aims to achieve an initial position that generates the link with the central unit. The proposed product makes the GPS read location, compare cardinal position by compass, relates the location with the database of available antennas so that finally addresses the rotor position of connection. The Mathematical model involves the control of the SNR (Signal to Noise Ratio) and the logic of fuzzy sets of input signals. From there, he implemented the position sensors (encoders) and the reading device for SNR (Ethernet/RS232 converter).

### **Keywords:**

GPS, suscriber, electronic compass, rotor, SNR, OFDM

## **1. Introducción**

En la actualidad, son indispensables los sistemas eficientes de comunicación [1],[2]; por tal motivo, particularmente el sector salud, requiere ampliar su red con el fin de intercambiar información - datos básicos del paciente, historial clínico, entidad promotora de salud, entre otros -, no solo con las unidades fijas existentes, sino también con unidades remotas, sin importar el punto donde se encuentren y/o la planta física que usen; por ejemplo, las unidades básicas de atención móvil (U.B.A), [3]; y en el futuro, la implementación a unidades como ambulancias, centros de atención primarios, entre otros.

En base al requerimiento descrito, el sector salud ha implementado una red WAN soportada por equipos de alta gama que funcionan en bandas libres, cuya velocidad de transmisión y ancho de banda permiten una buena conexión de enlace para el intercambio de la información requerida por el operador de salud remoto con la unidad principal. Esta red es soportada por equipos de comunicación marca Alvarion familia BreezeACCESS VL® [4], con tecnología OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing, Multiplicación por división de frecuencias ortogonales), los cuales son dispositivos que hacen enlaces fijos punto a punto o punto multipunto, con la limitación de estar instalados sobre mástiles o torres dependiendo de las condiciones de cada enlace; sin embargo, la dificultad surge cuando se quiere implementar el sistema en unidades móviles de salud (Ej. Ambulancias), puesto que se pueden presentar condiciones limitantes tales como: ubicación geográfica, distancia, presencia de obstáculos, radio de cobertura, antena direccional, entre otros, para que se pueda establecer un enlace entre la unidad remota con la unidad principal más cercana.

En consecuencia, esta investigación condujo a estimar las condiciones limitantes y la tecnología existente, integrando un equipo complementario, en el que convergen diversas tecnologías como GPS, lectura de SNR y modelos de control, para dar un movimiento controlado al suscriptor (Equipo remoto), y de esta forma, obtener los mejores parámetros de ajuste posible para el enlace (Unidad móvil – central principal).

El artículo se estructura así: Metodología: descripción de los procesos involucrados; Experimentación: funcionamiento modular específico; Modelación: modelamiento ma-

temático de sensores y actuadores; resultados y conclusiones.

## 2. Metodología

Se asume la investigación en dos fases. El objetivo de la primera etapa es posicionar el radio suscriptor de forma frontal al principal (Acceso) con la distancia apropiada, con el fin de disminuir el tiempo que se tarda en lograr un correcto enlace y así mismo en incrementar la probabilidad de éxito del mismo. Ante la posibilidad de un enlace fallido - a pesar de que los parámetros de distancia y dirección se encuentren correctos -, por efecto de algún obstáculo que se interpone entre los dos equipos (Suscriptor y Principal (Acceso)), evitando la correcta propagación de las ondas. Si este caso ocurre el sistema debe ser capaz de dar la opción de control manual, para que el usuario con su experiencia dirija el radio y logre enlace, de lo contrario el sistema automáticamente debe saltar a un modo de control y, autónomamente analizar el espectro y posicionarse en la mejor alternativa de óptimo enlace.

En la segunda fase, el objetivo radica en determinar la caracterización del enlace óptimo, y por tanto debe leerse la información del Suscriptor. En adelante, debe caracterizarse la etapa de control: por salto desde el cálculo de distancia; por salto en falla de etapas anteriores. Finalmente estabilizando los mejores parámetros de conexión, visibilizar la información al usuario.

### 2. 1 Descripción de procesos

Los procesos generales, direccionan el modelamiento y diseño específicos. En tal sentido, se tienen los siguientes en la primera fase:

- a. Conservación de los rangos de operación y mantenimiento dentro de parámetros conocidos y controlables: el rotor se dirige a una posición de inicio cada vez que se enciende y posteriormente envía un dato de confirmación a la tarjeta Máster, para poder iniciar los procesos.
- b. Recepción de información, posicionamiento y avisos: la tarjeta Máster recibe la confirmación, el sistema se prepara para leer las coordenadas geográficas y determinar un posible enlace bajo las condiciones adecuadas de operación. Específicamente, el sistema determina su posición geográfica actual y mide la distancia respecto a su objetivo. Posteriormente genera un aviso tanto al usuario como al sistema, informando que se encuentra dentro o fuera del rango que determina el fabricante para el enlace.
- c. Validación de la distancia de operación: si ésta se encuentra fuera de rango, el sistema le permite al usuario dar continuidad al proceso y saltar directamente al modo de control automático o a modo manual. Si el rango de distancia está dentro de los niveles aceptables, el sistema se mantendrá en operación normal y continuará haciendo la validación de orientación, es decir que se pondrá en funcionamiento el módulo brújula, el cual tiene como objetivo determinar la posición direccional del radio, para que de esta forma el sistema pueda resolver su ubicación y dirigirse a la posición real que se le indique, es decir X grados al Norte, Sur, Oriente u Occidente.
- e. Envío de datos adquiridos: originados y emitidos por el GPS y la brújula electrónica, son enviados a una tarjeta integradora, la cual se encargará de traducirlos y hacer un análisis que da como resul-

tado una variable que será enviada a la tarjeta Máster, para que ésta a su vez le transmita al rotor la posición en grados de (0° - 354°) que debe adoptar para que pueda tener mayor probabilidad de éxito en la conexión.

Y en la segunda etapa:

f. Determinación de logro en enlace óptimo: al leer la información del Suscriptor, se debe tener una tarjeta que a través de un protocolo de comunicación, pueda conocer el nivel de SNR, que determina el estado de conexión con el radio principal (Acceso). Este nivel está determinado por un rango de 1 a 10, donde 1 significa enlace insuficiente y 10 simboliza un enlace excelente. A partir de esta información se puede saber en qué estado se encuentra la comunicación entre los dos edificios y si es posible la transmisión de información.

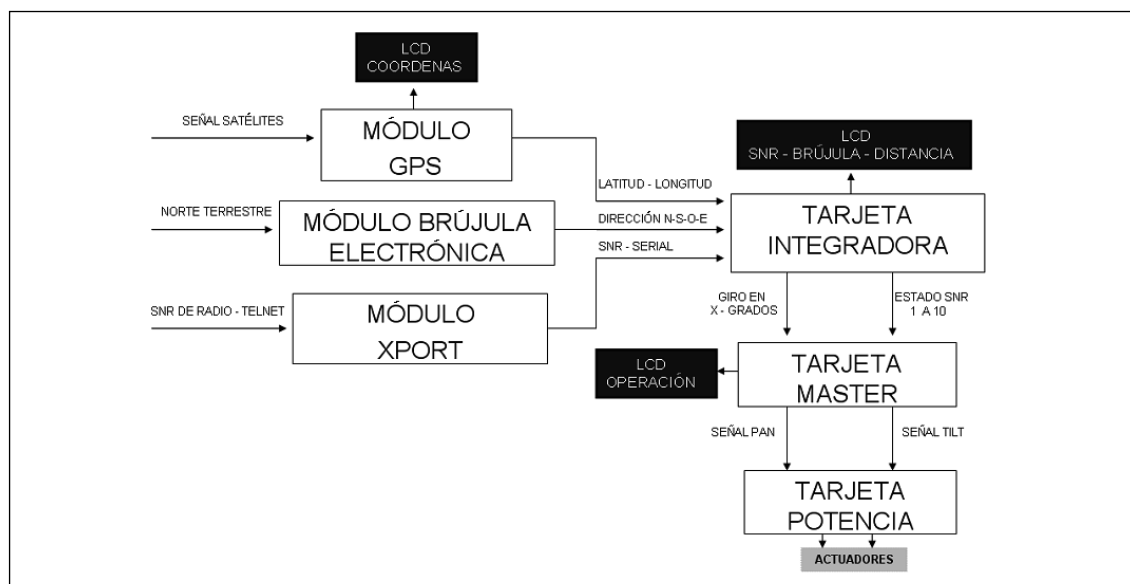
g. Control: ya sea por el salto que puede realizar desde la etapa del cálculo de distancia, salto por falla de etapas anteriores o porque después de finalizar las etapas debe mantenerse en los mejores parámetros de conexión.

h. Interface: Debe diseñarse un panel con displays, tipo LCD, que permitan conocer el estado de los parámetros o variables principales, de tal forma que el usuario pueda interactuar con el sistema o verificar la conexión.

### 3. Experimentación y funcionamiento específico

En la figura 1, se muestran los bloques que se establecieron al experimentar con diferentes módulos, definiéndose. Módulo GPS, Módulo brújula electrónica y Módulo Xport.

Figura 1. Diagrama de Bloques Funcionamiento General



**Figura 1. Diagrama de Bloques Funcionamiento General**



### 3.1 Suscriptor Alvarion®:

Para el mejor equilibrio entre alcance y enlace, la empresa donde se realizaron las pruebas de campo y validación ha suministrado un suscriptor de última tecnología de marca Alvarion®, el cual funciona bajo el principio de transmisión OFDM, (ver hojas técnicas específicas, [5]). En la figura 2 se observa el equipo radio Alvarion® con sus accesorios.

### 3.2. Global positioning system (GPS)

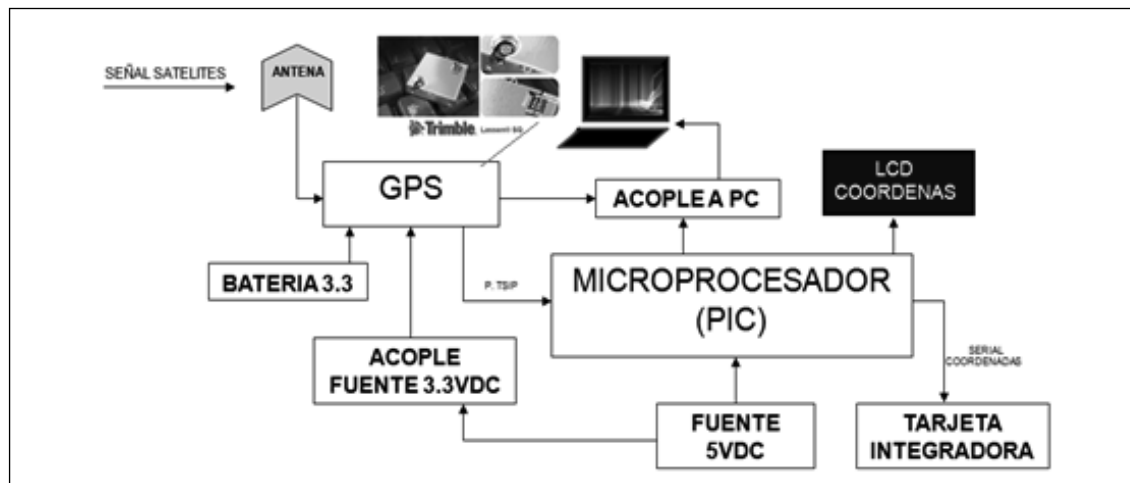
Los GPS, [6] manejan 2 tipos de protocolos: TSIP y NMEA, [7]. Estos se diferencian principalmente por el modo de presentación y encriptación. En éste caso, se eligió el protocolo TSIP por la compatibilidad con el sistema y facilidad en el algoritmo de recepción.

Para el subsistema, fue desarrollada una tarjeta que integra la conexión directa con el GPS, módulo de interacción y configuración por PC, entrada de alimentación de respaldo y un microprocesador que interpreta el protocolo [8] TSIP, visualiza las coordenadas y envía los datos al procesador integrador por comunicación serial, Ver figura 3.

#### 3.2.1. Cálculo de distancia entre dos puntos de la superficie terrestre

La distancia entre dos puntos, A y B de la superficie de la Tierra es la longitud del arco de círculo máximo comprendido entre el punto P y el punto P'. Para hacer estos cálculos se debe aproximar el elipsoide terrestre por la forma esférica, y con esto se calcula el arco de círculo máximo entre ambos puntos

Figura . 3 Diagrama de Bloques sistema GPS.



mediante la fórmula de los cósenos de la trigonometría esférica.

A partir de lo anterior, se realiza el siguiente proceso para calcular la distancia:

$$\mathbf{A} = (\text{Lat1 } \theta, \text{Lon1 } \lambda), \quad (1)$$

$$\mathbf{B} = (\text{Lat2 } \theta', \text{Lon2 } \lambda'). \quad (2)$$

Como el GPS entrega las coordenadas en formato Grados, minutos, segundos; estas deben transformarse para quedar como un solo numero que represente la coordenada exacta, teniendo en cuenta que cada 60 segundos es un minuto y que cada 60 minutos es un grado. Con lo anterior se aplica el siguiente formato:

La siguiente fórmula se aplica para las dos coordenadas, convirtiendo tanto la longitud como la Latitud:

$$\frac{\pi}{180} \left[ \frac{(M + \frac{S}{60})}{60} + G \right] \quad (3)$$

Luego de transformar La Latitud 1, Longitud 1, Latitud 2 y Longitud 2, se procede a

implementar La formula de distancia según Haversine:

$$Dist = 6378,7 \{ \cos^{-1} [ \sin(Lat1) \sin(Lat2) + (\cos(Lat1) \cos(Lat2) \cos(Lon2 - Lon1)) ] \} \quad (4)$$

### 3.2.2. Validación

Luego de realizar los procedimientos anteriores, es indispensable proceder a una comprobación de los resultados de distancia, debido a que es uno de los parámetros más importantes para obtener un buen enlace. Para ello, en Excel®, con la formula (4), se realiza una simulación ingresando las coordenadas de dos puntos conocidos, arrojándose la distancia en kilómetros entre los dos puntos. Para comprobarlo, a través de Google Earth, se ingresan las mismas coordenadas definidas por los apuntadores y, posteriormente, con la herramienta (Regla) de Google Earth, se hizo la respectiva medición.

Punto de pruebas ROTOR y hardware de control (Castilla – Bogotá) - (AU 1)

Latitud 4° 38' 23.09" N Longitud 74° 08' 25.64" O

**Figura 4. Pantalla Google Earth Coordenada 1 (AU1), Izq, Coordenada 2 (SUSCRIPTOR1), Der.**



Universidad Distrital (Sede Tecnológica) - (SUSCRIPTOR 1)

La figura 4 describe la vista satelital de los dos puntos coordenados utilizados en la demostración del cálculo de la distancia geográfica mediante la fórmula de Haversine contra los datos de Google Earth.

Distancia de Google Earth = 7,01 Km, Distancia Haversine en EXCEL®= 7,066Km

A partir de los resultados se establece el error absoluto:

$$Error = |D_{Haversine} - D_{Google E}| \quad (5)$$

Aplicando la ecuación (5) se obtiene:

$$Error = (7,066) (1000) - (7,01) (1000)$$

$$Error = 56,74 \text{ m}$$

### 3.3 Brújula electrónica

El funcionamiento de la brújula electrónica [9], implementada se basa en captar la polaridad de la influencia magnética de la tierra mediante elementos sensores de efecto hall

(Allegro A1321EUAT), los cuales apuntan en las cuatro direcciones cardinales, cada uno de ellos cubriendo un cuadrante determinado. Debido a su comportamiento lineal, y a la diferencia

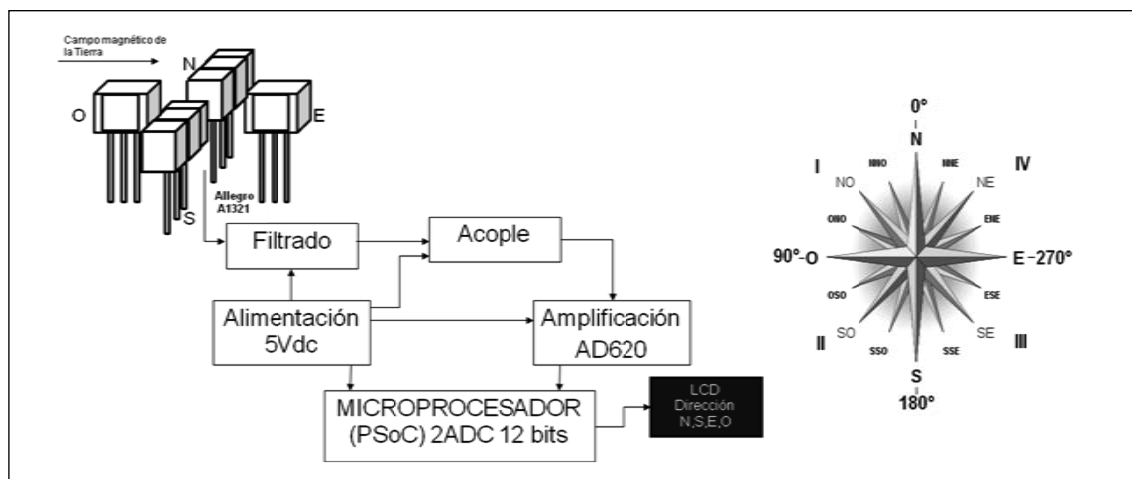
inversa presentada entre las señales de voltaje, que posteriormente se amplifican en dos dispositivos de instrumentación, son enviadas a un procesador de 12 bits (PSoC), que mediante un algoritmo de identificación determina el cuadrante y la dirección a la que apunta la brújula electrónica (Ver figura 5).

Es indispensable que como especificación de instalación del hardware, la dirección a la que apunta la brújula electrónica sea igual a la posición de inicio del rotor-suscriptor. De esta forma se garantiza que la lectura de la dirección cardinal de la brújula coincida con la del suscriptor, como referencia de máquina.

### 3.4. Lector (SNR) - XPORT

El lector de SNR (Ver figura 6) es uno de los componentes más importantes del pro-

**Figura 5. Diagrama de Bloques de la interfaz entre la brújula y dispositivos de Ajuste de señal y el procesador PSoC (Power system on Chip) (izq.), asignación cardinal (der)**



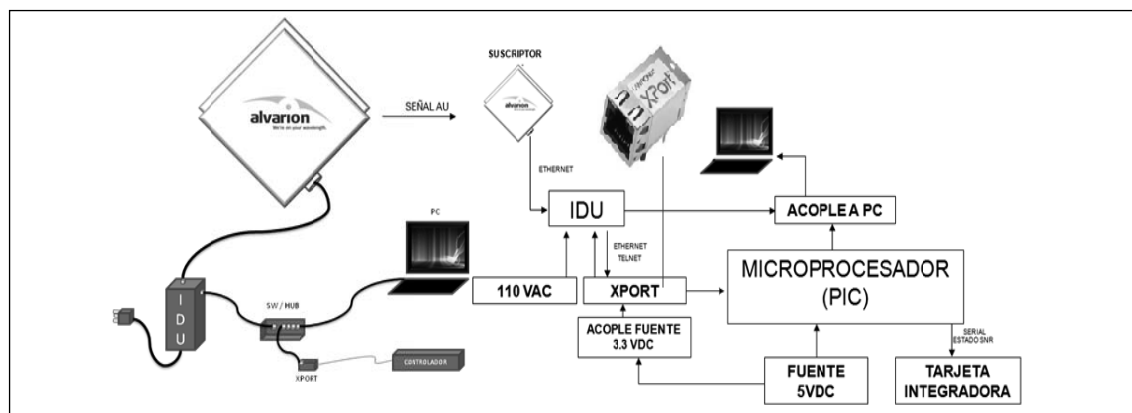
totipo, puesto que a partir de la información entregada por el radio (Suscriptor), el controlador puede tomar decisiones; es decir que cualquier modo rotacional, ya sea en PAN (Posición radial horizontal 354°) o en TILT (Posición Radial Vertical 115°) se lleva a cabo siempre y cuando la lectura de SNR. El parámetro de SNR es obtenido a partir de una sesión de TELNET entre un dispositivo y el radio Alvarion a través de una conexión ETHERNET RJ45.

### 3.5. Tarjeta de integración

La tarjeta es la encargada de coordinar los siguientes sistemas:

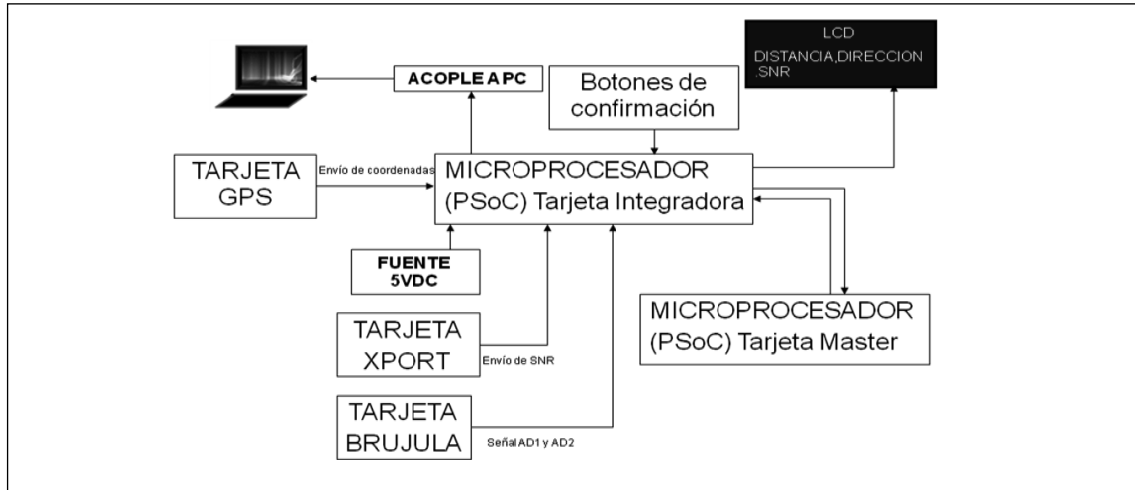
GPS, Brújula electrónica, XPORT (adquisición de SNR), Procesador principal (PSoC maestro). Esta es la etapa donde se integran el conjunto de subsistemas que generan la solución total de la aplicación, El módulo integrador es el cerebro que comanda y

**Figura 6. Diagrama de bloques Sistema XPORT (Lector SNR)**





**Figura 7. Diagrama de Bloques Sistema Integrador**



coordina las señales recibidas y genera la secuencia lógica principal de operación de todo el sistema (ver figura 7).

**4. Modelamiento y simulación actuadores.**

En el diseño e implemetación de acciones de control [10], es necesario conocer la dinámica del sistema [11], con el fin de determinar la acción de control mas apropiada, llevarla con anticipacion a un proceso de simulación, verificar los sistemas de control

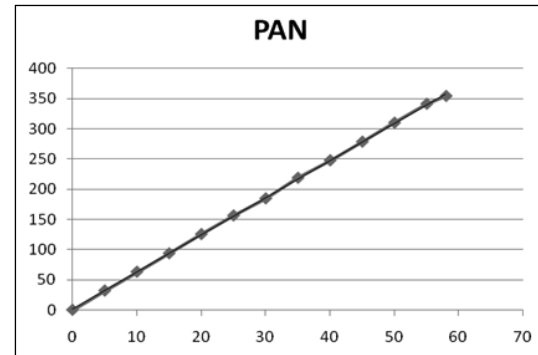
que mejor se ajusten a sus características y generen mayor estabilidad de acuerdo con los criterios de diseño propuestos.

Para determinar el comportamiento del rotor PAN y TILT (actuadores), se aplicó una señal tipo paso (PWM), de 5V DC con el máximo ciclo útil, debido a que la naturaleza del actuador es la de una carga de corriente alterna monofásica. Las tablas de datos 1 y 2, junto con las figuras 8 y 9, muestran los resultados de la prueba experimental de la variable de tiempo contra ángulo:

**Tabla 1. Datos Prácticos PANr**

t(Seg)	Ángulo (grados)
0	0
5	31,9
10	62,99
15	93,54
20	125,4
25	156,2
30	184,5

**Figura 8. Comportamiento físico PAN**



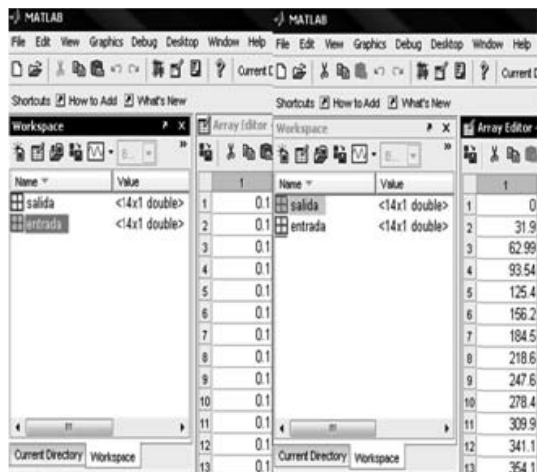
**Tabla 2. Datos prácticos TILT**

t(Seg)	Ángulo(grados)
0	0
5	19,9
10	38,93
15	57,74
20	74,58
25	94,27
30	115,71

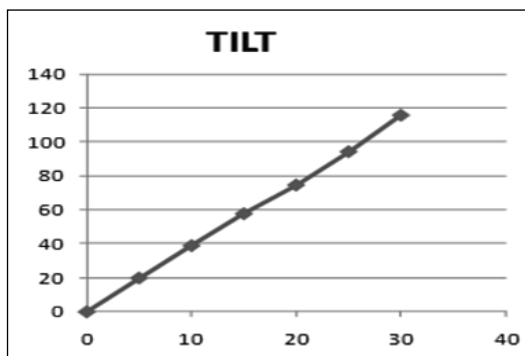
El valor de señal Step de 0.1 a la entrada representa el valor de torque constante que entrega el actuador, el cual es de 0.1 N/m. En Simulink (Toolbox MatLab®), se efectúa la conversión de un voltaje de control entre 0-5V a estos niveles de torque. Utilizando la herramienta MatLab® para el proceso de diseño del controlador difuso para cada actuador se siguieron los siguientes pasos:

- ✓ Identificación de cada sistema.

**Figura 10. Datos actuadores PAN (izq.), TILT (der) en la herramienta de identificación IDENT.**



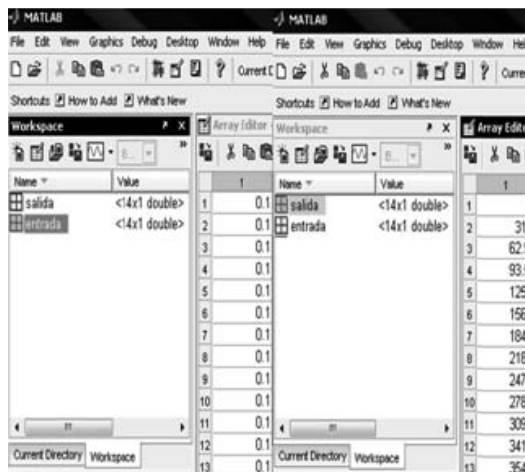
**Figura 10. Comportamiento físico PAN**



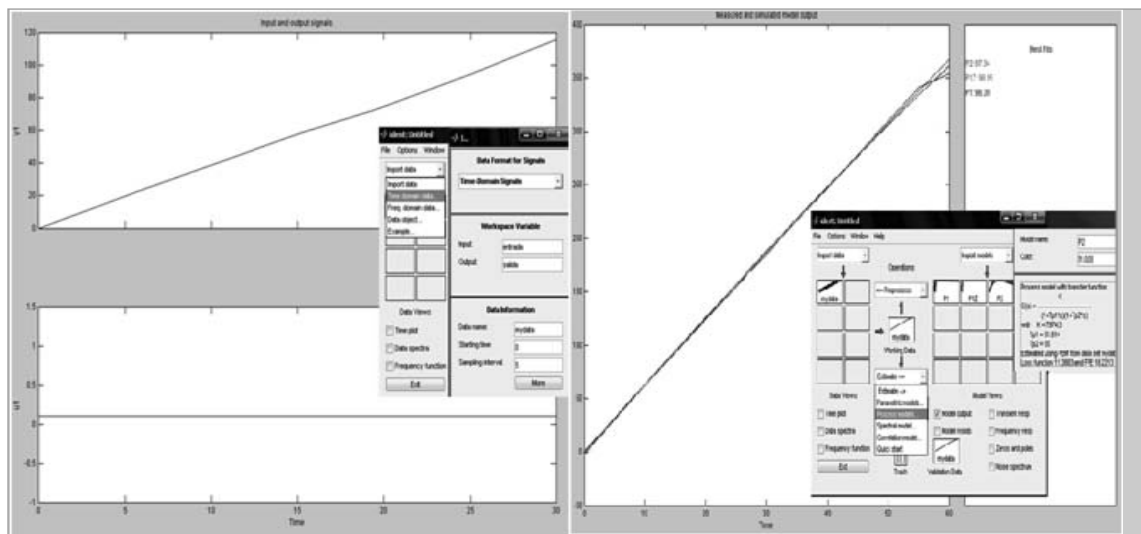
En este paso, se llevan los datos obtenidos en la prueba experimental del sistema y se ingresan al Toolbox de identificación de MatLab® (IDENT) con el fin de calcular la mejor aproximación del sistema dinámico real o planta, contenida en la función de transferencia del sistema (Ver figuras 10 y 11).

- ✓ Aproximación de cada sistema a una expresión matemática en el dominio complejo.

**Figura . 11 Estimación de Función de Transferencia actuadores PAN (izq.), TILT (der).**



**Figura 11. Estimación de Función de Transferencia actuadores PAN (izq.), TILT (der).**



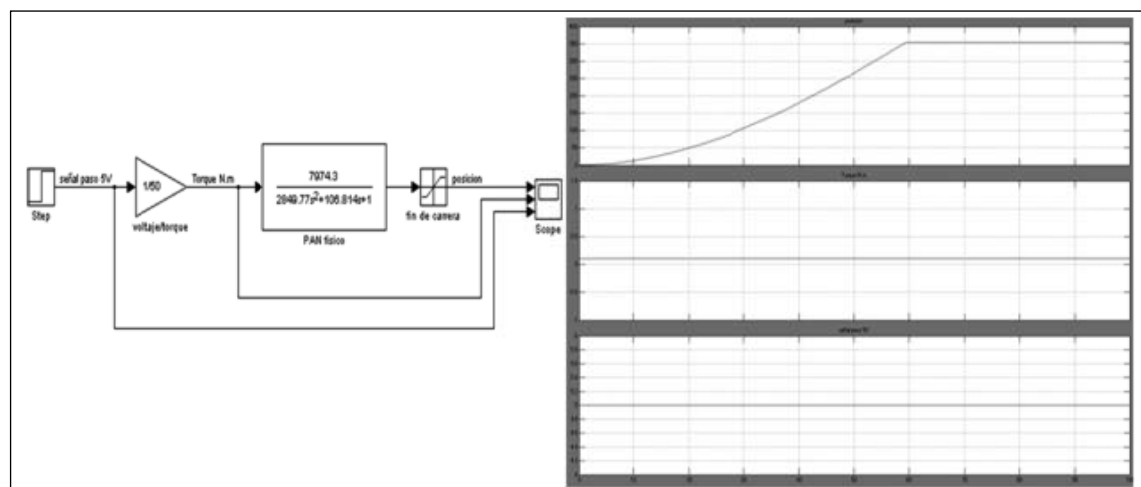
- ✓ Simular el comportamiento de cada sistema mediante bloques.

- ✓ Definición de la acción de control.

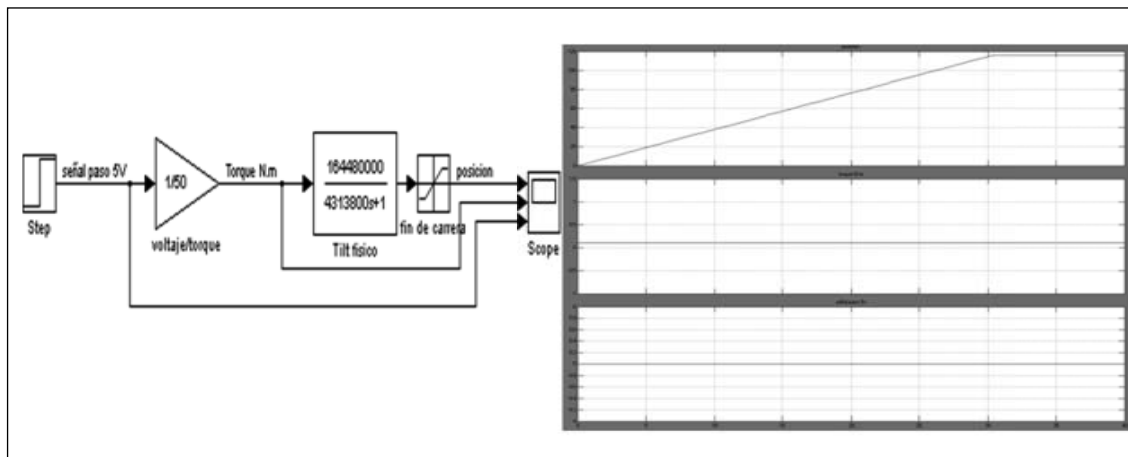
En esta etapa se valida con el simulador de MatLab (Simulink®), los datos del Toolbox de identificación (IDENT) con relación a la función de transferencia calculada para cada actuador (ver figuras 12 y 13).

Para lograr los nuevos sistemas de servicio y la optimización de los procedimientos de información, existe el conocimiento heurístico y la dificultad para describirlo de manera precisa. Por la necesidad de robustez en el funcionamiento de estos sistemas, se ha ele-

**Figura 12. Diagrama de bloques de actuador PAN (Izq.), comportamiento en el tiempo (der)**



**Grafica 13 Diagrama de bloques de actuador TILT (Izq.), comportamiento en el tiempo (der)**



gido la línea de investigación Fuzzy, [12], y Logic Control, [13] por las siguientes razones:

- Su eficiencia en aplicaciones de control de alto desempeño, pues permite manejar el conocimiento humano de manera sistemática.
- No existencia de un conocimiento exacto ni completo de la matemática del proceso, en cambio existe un conocimiento heurístico completo.
- Parte de un controlador basado en conocimiento (sistema experto en tiempo real) que implementa parte de la pericia (o experiencia) de los operadores o de los ingenieros la cual por sí misma no puede ser expresada como parámetros exactos.
- Porque el uso de controladores con lógica difusa ha demostrado que este tipo de estrategia se puede implementar en aplicaciones reales con buenos resultados, [11].
- Así mismo con la necesidad de saber la ubicación cardinal de la U.B.A y su orien-

tación, se utilizan sistemas de ubicación (GPS) y de orientación (brújula electrónica).

- ✓ Diseño de controladores difusos
- Definición de fuzzificadores

En esta etapa se definen los universos (entradas del sistema), mediante la conversión de los parámetros numéricos que brindan los sensores a la unidad de procesamiento con asignación de etiquetas lingüísticas (universo del discurso). (Ver figuras 14,15 y 16).

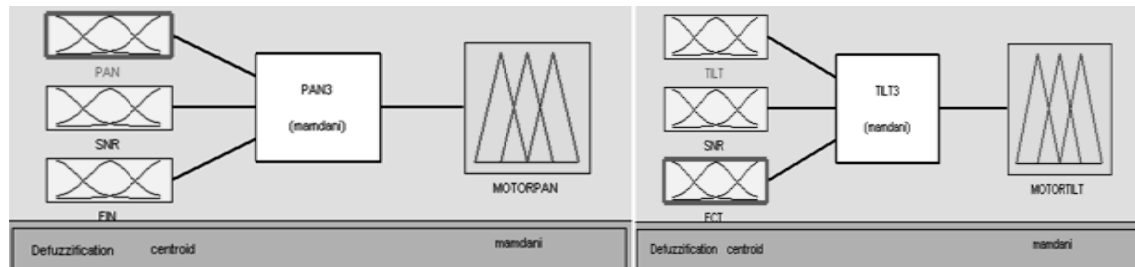
- Declaración de reglas y formas lingüísticas Universo del discurso

Asignación del conocimiento Heurístico traducido en una base de reglas de la implicación AND (Mandani) (Ver figura 17).

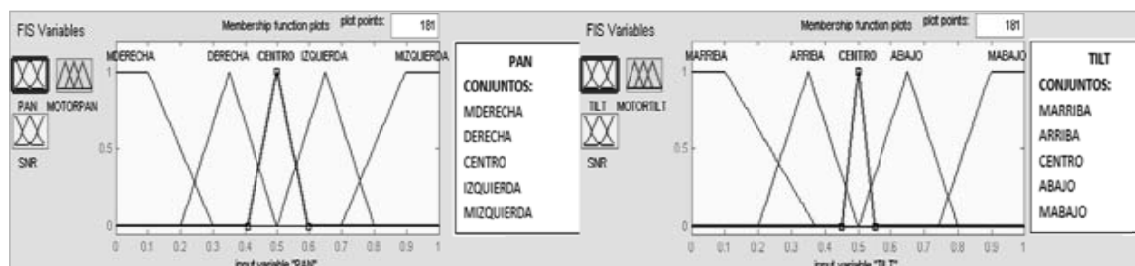
- Defuzzificación

Con base a la entrada real de SNR y posición (PAN/TILT) y a la base de reglas difusas, se llega a la conclusión del método de centro

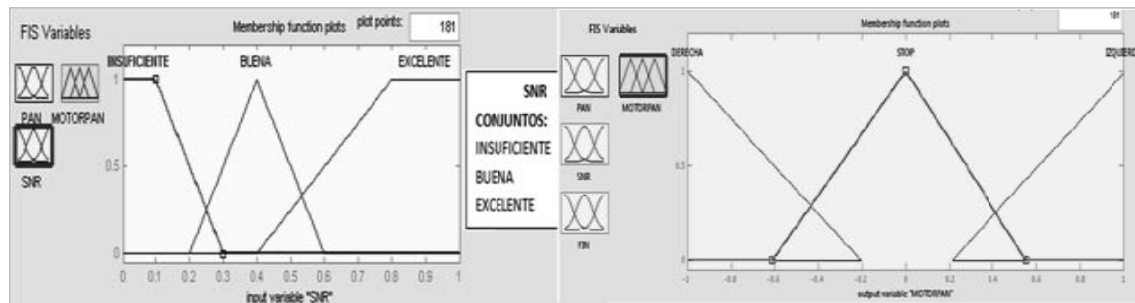
**Figura 14 fuzzificación de conjuntos actuator PAN (Izq.), TILT (der) (Universos)**



**Figura 15 Fuzzificadores actuator PAN (Izq.), TILT (der) (Universos de discurso)**



**Figura 16 Fuzzificadores SNR (Izq.), Salida de actuadores (der) (Universos de discurso)**



promedio de Mandani, el cual permite ejercer la acción propia del conocimiento heurístico sobre el sistema real (actuadores).

- Pruebas y simulaciones de comportamiento de controladores.

Se valida el sistema mediante diferentes condiciones de operación estimadas, para evaluar el comportamiento y visualizar la

funcionalidad del sistema de control implementado. (Ver figuras 19, 20, 21 y 22)

## 5. Resultados

Cuando el sistema funciona con solo el sistema de control, en el caso máximo se tendría que hacer la validación completa del espectro, [14], que conforme a los parámetros de

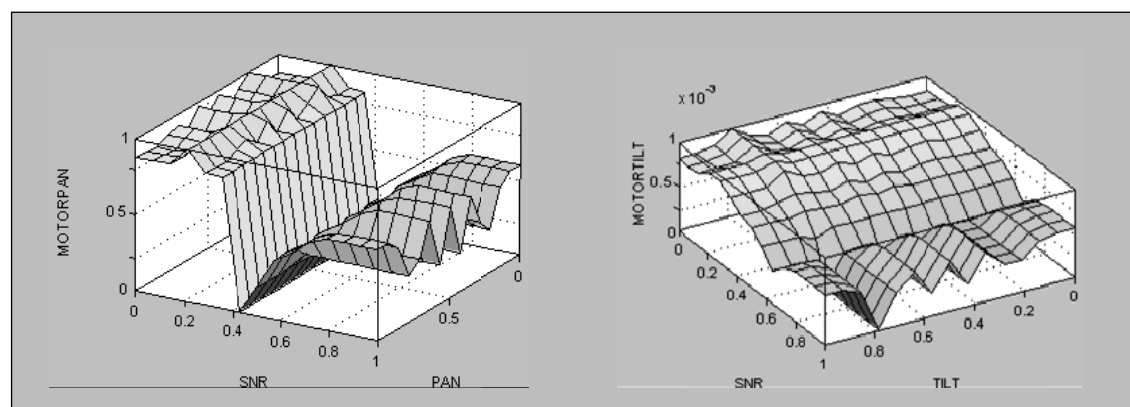
Figura 17 Definición de reglas actuador PAN (Izq.), TILT (der)

MOTOR PAN		SNR			MOTOR TILT		SNR		
Si fin de carrera fue activado a la derecha.		INSUFICIENTE	BUENA	EXCELENTE	Si fin de carrera fue activado arriba.		INSUFICIENTE	BUENA	EXCELENTE
PAN	MDERECHA	IZQUIERDA	IZQUIERDA	STOP	TILT	MARRIBA	ABAJO	ABAJO	STOP
	DERECHA	IZQUIERDA	IZQUIERDA	STOP		ARRIBA	ABAJO	ABAJO	STOP
	CENTRO	IZQUIERDA	IZQUIERDA	STOP		CENTRO	ABAJO	ABAJO	STOP
	IZQUIERDA	IZQUIERDA	IZQUIERDA	STOP		ABAJO	ABAJO	ABAJO	STOP
	MEZQUIERDA	IZQUIERDA	IZQUIERDA	STOP		MABAJO	ABAJO	ABAJO	STOP

MOTOR PAN		SNR			MOTOR TILT		SNR		
Si fin de carrera fue activado a la izquierda.		INSUFICIENTE	BUENA	EXCELENTE	Si fin de carrera fue activado abajo.		INSUFICIENTE	BUENA	EXCELENTE
PAN	MDERECHA	DERECHA	DERECHA	STOP	TILT	MARRIBA	ARRIBA	ARRIBA	STOP
	DERECHA	DERECHA	DERECHA	STOP		ARRIBA	ARRIBA	ARRIBA	STOP
	CENTRO	DERECHA	DERECHA	STOP		CENTRO	ARRIBA	ARRIBA	STOP
	IZQUIERDA	DERECHA	DERECHA	STOP		IZQUIERDA	ARRIBA	ARRIBA	STOP
	MEZQUIERDA	DERECHA	DERECHA	STOP		MEZQUIERDA	ARRIBA	ARRIBA	STOP

Figura 18 Superficie de operación de controladores difusos PAN (izq.), TILT (der).

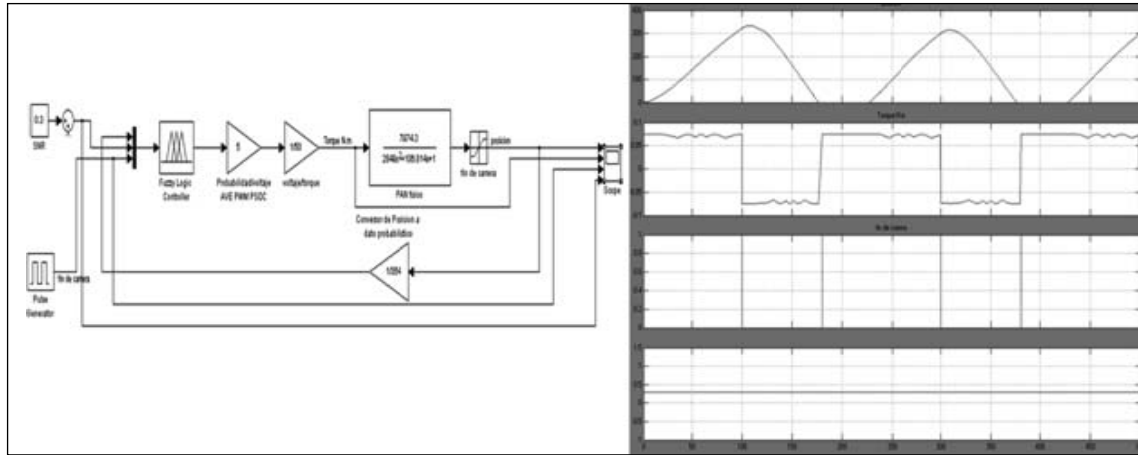


tiempo establecidos en el análisis del modelo son de 1800 seg, para poder encontrar la mejor señal (10) de SNR. Sin embargo cuando el sistema opera completo, recibe ayuda de los dispositivos de posicionamiento GPS y de la brújula electrónica para encontrar una dirección de inicio de operación más adecuada con las condiciones físicas propias de los enlaces reales y debido a esto la probabilidad de éxito de enlace se incrementa en un 91%, es decir que reduce el tiempo de enlace exitoso de 33min a 3min.

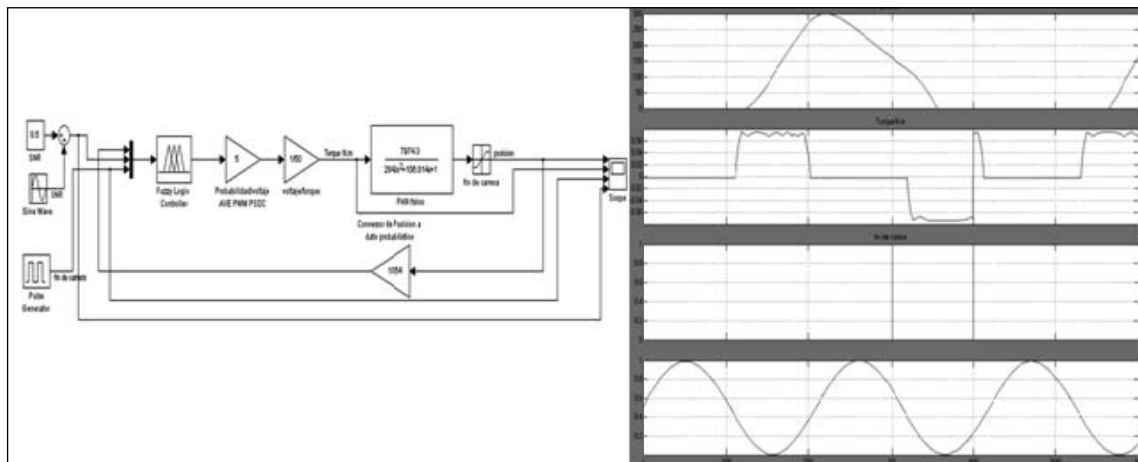
## 6. Conclusiones

- Con la implementación de un sistema automático de posicionamiento se reemplaza el soporte técnico manual de corrección de enlaces y por ende se disminuye drásticamente el tiempo de respuesta (valores del orden de 90%).
- Al evitar que los técnicos de La empresa de ingeniería tengan que desplazarse al sitio de enlace y realizar las acciones de corrección manual, es decir en contacto

**Figura 19 Comportamiento dinámico en lazo cerrado de controlador Fuzzy en actuador PAN con SNR cte.**



**Figura 20 Comportamiento dinámico en lazo cerrado de controlador Fuzzy en actuador PAN con SNR variable**



directo con el radio suscriptor, se disminuye considerablemente el riesgo de manipulación en alturas.

- Al implementar dispositivos de orientación como el GPS y la brújula electrónica, se incrementan en un 71% las posibilidades de enlace, siempre y cuando no existan obstáculos directos de gran altura entre el radio Suscriptor y el Radio de acceso principal (AU).

- Puesto que estaban a disposición los parámetros de un experto para conexión de los enlaces Alvarion y que la naturaleza del sistema era desconocida y no lineal, el sistema de control que mejor se acopla a tales condiciones es el control por lógica difusa.

**Reconocimientos:** Se reconoce la disponibilidad de las empresas de ingeniería en Con-

Figura 21 Comportamiento dinámico en lazo cerrado de controlador Fuzzy en actuador TILT con SNR cte.

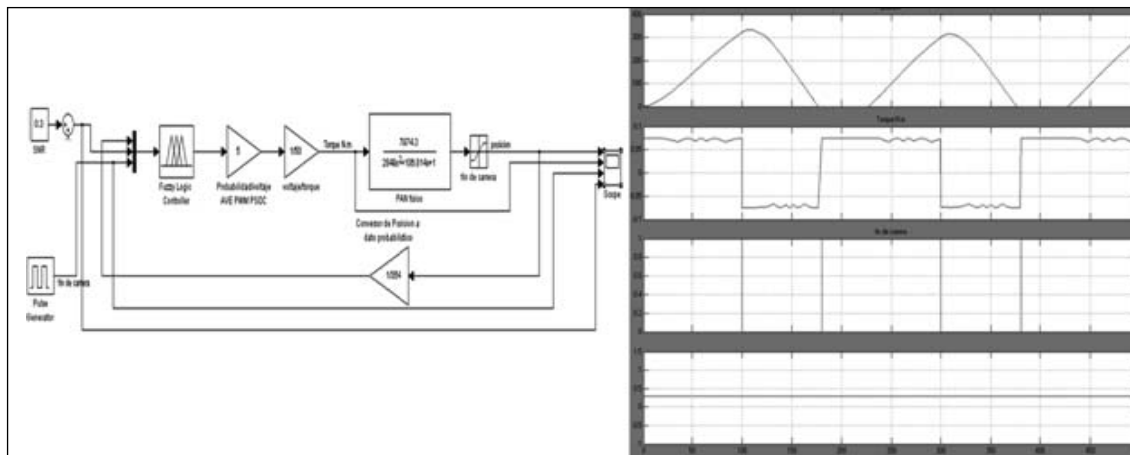
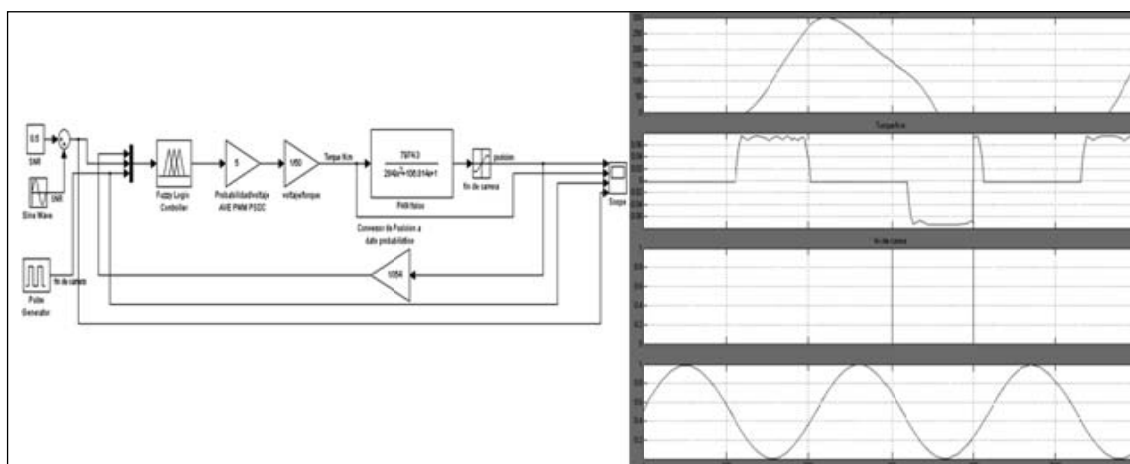


Figura 22 Comportamiento dinámico en lazo cerrado de controlador Fuzzy en actuador TILT con SNR variable.



trol de Bogotá, por confiar en la Universidad Distrital y en particular en los proyectos de investigación adelantados por DIGITI, para apoyar la implementación de desarrollos de innovación y desarrollo.

## 7. Referencias

- [1] Revista DINERO, Edición Mayo 29 de 2009, 5 Mil Empresas, Telecomunicaciones, p. 160.
- [2] “COMPUTERWORLD Colombia,” Julio 2009.
- [3] Concejo de Bogotá, 1991, Acuerdo 16, II composición estructural del sistema, artículos 3 y 4. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=514>. Consultado en Julio de 2009.
- [4] ALVARION, 2009. Breeze ACCES VL, Disponible en: <http://www.alvarion.com/>



- solutions/access/products/breezeaccessvl/. Consultado en julio de 2009.
- [5] ALVARION, Ds BreezeNETB. Disponible en. [http://www.alvarion.com/upload/contents/291/DS\\_BreezeNETB\\_Rev\\_L\\_05\\_2009\\_LR.pdf](http://www.alvarion.com/upload/contents/291/DS_BreezeNETB_Rev_L_05_2009_LR.pdf). Consultado en junio de 2009.
- [6] ASÍ FUNCIONA, Así funciona el GPS, recuperado el 20 de julio 2009, del sitio web [http://www.asifunciona.com/electronica/af\\_gps/af\\_gps\\_8.htm](http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_8.htm)
- [7] TRIMBLE, información técnica, Datasheet Receiver LassenR SQ Receiver Part Number 47838-00. p.175
- [8] TRIMBLE. Información técnica, Datasheet Receiver Lassen SQ 0706. Recuperado en mayo de 2011 del sitio web <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-22183/Lassen%20SQ%200706%20web.pdf>.
- [9] Allegro Microsystems Inc. Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs for High-Temperature Operation. Manual de referencia. Recuperado en Octubre de 2011, del sitio web <http://www.allegromicro.com>
- [10] Robert Lowen, Applications of fuzzy control, genetic algorithms and Neural networks., vol. 2, Foundations of generic optimization, 2008.
- [11] Edgar Manuel Robayo Espinel, Control difuso fundamentos y aplicaciones (Universidad del Norte, Barranquilla Colombia, 2007).
- [12] COX EARL, Fuzzy Fundamentals IEEE Spectrum, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., sección Engineering and manufacturing industries. Descripción de controles difusos, metodología de diseño, cuando emplearlos y ejemplos. ISSN: 0018-9235, Octubre 1992, p. 58 - 61.
- [13] Passino, K. M., Yurkovich, S., (1997) Fuzzy Control. Addison-Wesley Pub Co.
- [14] Edgar M. Robayo E. (2007), Control difuso fundamentos y aplicaciones, Universidad del Norte, Barranquilla Colombia pp (4-5).
- [15] WMAN WIMAX, Recuperado el 2 de Marzo de 2009, del sitio web <http://www.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation>.