

## **CONTROL ADAPTIVO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO**

**Nombre completo Autor 1**, Institución, correo electrónico

**Nombre completo Autor 2**, Institución, correo electrónico

**Nombre completo Autor 3**, Institución, correo electrónico

**Resumen** - La demanda en el incremento de la capacidad de las redes inalámbricas ha motivado la reciente búsqueda hacia el desarrollo de sistemas que utilicen/reutilicen el espacio radioeléctrico de manera selectiva. Los sistemas de antenas inteligentes proporcionan oportunidades para incrementar la capacidad del mismo, tendientes a la obtención de calidad de servicio.

El presente proyecto consiste en la implementación de un sistema robótico cuyo efector final es una antena, el cual constará de un sensor de campo electromagnético, que indicará la intensidad de señal con el objetivo de que el brazo establezca la posición final de la antena según la mayor intensidad de señal del emisor y establecer el ángulo de arribo de la señal del emisor. El sistema podrá ser controlado de forma inalámbrica por una estación base, la cual recolectará los datos.

**Palabras clave:** *Antena, Robótica, Intensidad de Campo electromagnético*

### **1. Introducción**

En la redacción del presente paper se tuvieron en cuenta como primera medida lo referente al sistema robótico, sus partes y sensores para su correcto funcionamiento, luego se procede a explicar el algoritmo implementado para la obtención de la máxima intensidad de la señal, siguiendo con la explicación de la generación de trayectoria del sistema robótico y por último la comunicación implementada.

Una antena inteligente es la combinación de un arreglo de antenas (Arrays) con una unidad de Procesamiento Digital de Señales que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno. Es aquella que es capaz de generar haces directivos enfocados hacia una señal deseada, adaptándose a las condiciones radioeléctricas en cada momento.

Si bien en el mercado se encuentra con una gran variedad de antenas robóticas, sobre todo del tipo satelital, las mismas son costosas y con un software enlatado, no permitiendo modificar el mismo.

El propósito del proyecto consiste en la implementación del control de un brazo robótico de tres grados de libertad cuyo efector final es una antena parabólica. La misma constará de un sensor de campo magnético, el cual indicará la mayor intensidad de señal con el objetivo de que el brazo establezca la posición final de la antena según la mayor intensidad de señal del emisor. El sistema podrá funcionar de manera autónoma o manual a través de una estación base,

la cual coordinará y recolectará los datos de los distintos sistemas. El proyecto pretende establecer la vinculación entre la robótica y las telecomunicaciones con el objeto de dar el puntapié para el desarrollo de antenas inteligentes.

El sistema consta de los siguientes bloques constitutivos, como se puede observar en la Figura 1.

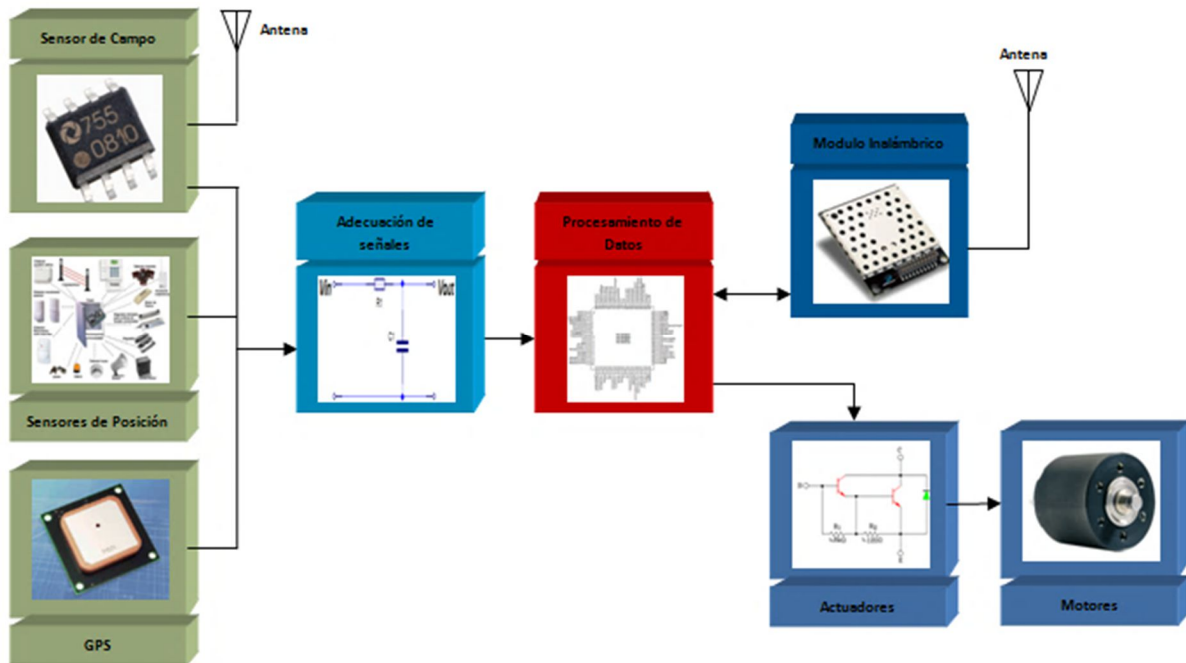


Figura 1. Sistema Completo

## 2. Sistema robótico

La configuración Robótica seleccionada es del tipo brazo robótico de tres grados de libertad, ya que esta configuración permite mover la normal de la antena parabólica en todas direcciones. En la Figura 2 se observa una foto del prototipo de brazo robótico.



Figura 2. Brazo Robótico

El cual consta de una base (Cintura) la cual tiene una rotación de 360° grados, la articulación del hombro que se desplaza en un ángulo de 180° grados y la articulación del codo que presenta un movimiento de aproximadamente 270°. En la Figura 3 se puede observar las dimensiones y referencias antes mencionadas.

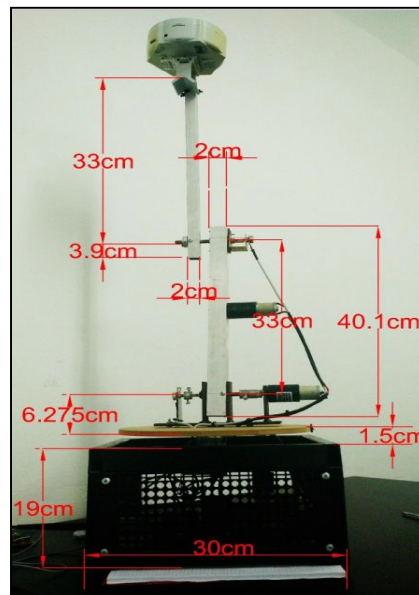


Figura 3. Dimensiones

### 2.1 Espacio de trabajo

Para determinar el conjunto de puntos donde puede situarse el elemento terminal del robot se determinaron las ecuaciones del mismo en el plano y luego aplicando revolución se obtuvo el volumen de trabajo. A continuación, se puede observar el espacio de trabajo Figura 4.

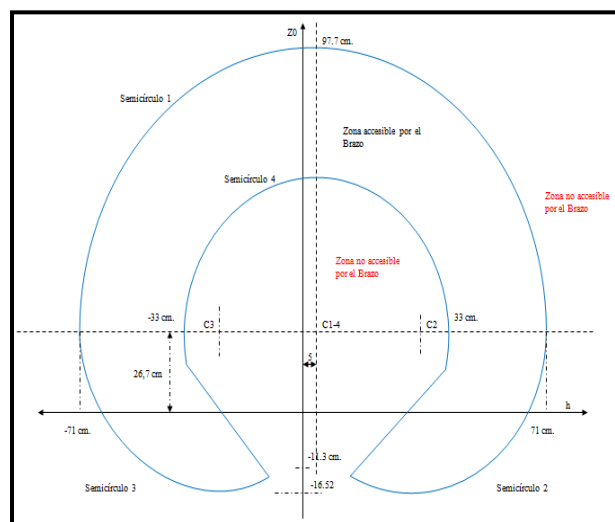


Figura 4. Espacio de trabajo

### 3. Sensores

Los sensores empleados se pueden dividir según la siguiente categoría:

- De posición.
- De inclinación.
- De localización.

- De Intensidad de campo electromagnético.

### 3.1. Sensores de posición

Los sensores empleados para medir el movimiento de cada articulación es un sensor del tipo potenciómetro multivuelta, el cual varía su resistividad según el movimiento de su eje, como se puede observar en la Figura 5.

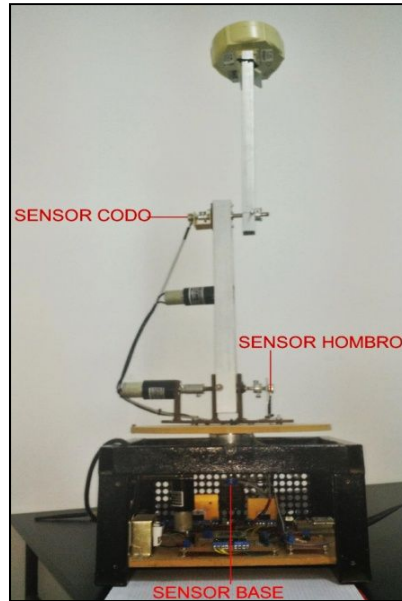


Figura 5. Sensores Potenciométricos

### 3.2. Sensores de inclinación

Además de los sensores de posición, se optó por agregar un sensor de inclinación el cual permite medir en los tres ejes (x, y, z) los grados de inclinación en base a la normal del chip. El mismo se agregó como un método más de control de la posición para asegurar la posición final de la antena. El módulo empleado es MMA7660 el cual es un acelerómetro de tres ejes, con salidas de datos mediante comunicación I2C.

Los datos de inclinación por eje se pueden acceder para su lectura cada un determinado periodo de tiempo que se puede configurar en el módulo inclinómetro, los mismos se acceden a través de registros internos del módulo.

### 3.3. Sensores de localización

Para poder conocer la ubicación exacta del sistema, se emplea un módulo GPS para obtener su ubicación, así como también la hora y el día. Este mismo proporcionará el cálculo del ángulo de arribo de la señal RF en referencia a la ubicación de la antena como así también de la estación central. Esto permite referenciar cada sistema a la base y con ello referenciar el ángulo de arribo al sistema o la base. El módulo empleado es el Smart GPS antena A1035-d el cual posee comunicación serie y el formato de sus datos es según el estándar NMEA. La velocidad de transmisión empleada para la conexión del módulo con el microcontrolador es de 4800 baudios.

Los datos enviados al microcontrolador son la hora UTM, la latitud, la longitud, la fecha, la altitud, cantidad de satélites y el fix. Para lo cual se conforma una trama de 28 bytes de longitud.

### 3.4. Sensores de energía RF

Para poder medir la intensidad de campo electromagnético se emplea el módulo LT5534 el cual es un detector de potencia de señales RF en el rango de 50mhz a 3ghz. El mismo con una antena dipolo en la frecuencia de 2.5ghz (wifi) nos permite medir la intensidad de campo electromagnético de las señales wifi.

El sensor proporciona una señal de salida en voltaje proporcional a la intensidad de campo electromagnético en dBm según la frecuencia como se puede observar en la Figura 6.

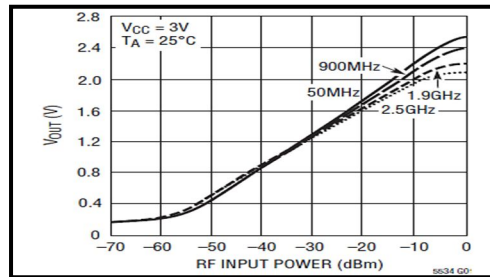


Figura 6. Señal de salida

## 4. Procesamiento de Datos

El sistema de procesamiento de datos está conformado entorno a un microcontrolador de 8 bits de Microchip, de la gama media el PIC18F8722, el cual se seleccionó ya que cumplía con los requerimientos del sistema y con la cantidad necesaria de módulos internos para el manejo de los distintos sensores y módulos que debe controlar.

El sistema debe realizar múltiples tareas como se ilustran en la Figura 7.

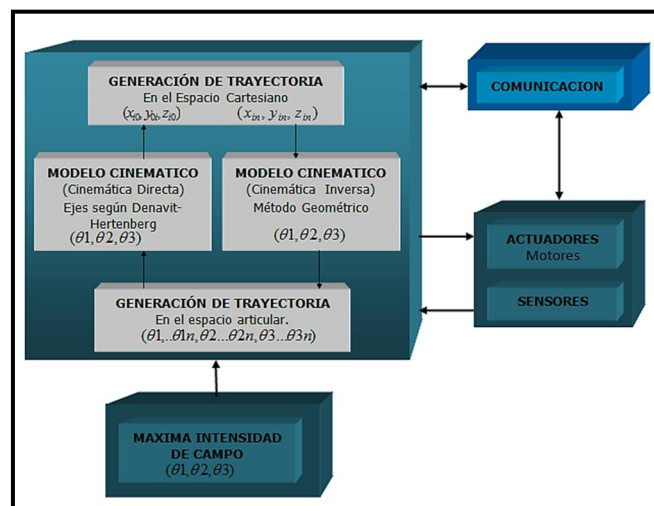


Figura 7. Tareas

## 5. Lectura de sensores

El microcontrolador realiza la lectura de las señales provenientes de los sensores de distintas formas, para los sensores de posición y de campo emplea el convertor AD interno para convertir los voltajes de entrada en señales digitales, en los sensores de inclinación el microcontrolador emplea el protocolo de comunicación I2C obteniendo una trama de datos (punto 3.2) la cual debe ser decodificada por el microcontrolador para obtener los datos del módulo y para el sensor

GPS el microcontrolador emplea el protocolo de comunicación RS232 obteniendo una trama de datos (punto 3.3) del módulo la cual debe ser decodificada para obtener los datos del mismo.

Una vez obtenidos los datos digitales de cada sensor, el microcontrolador debe convertir dichos datos en las siguientes unidades estándares:

- Posición  $\rightarrow$  Grados( $\theta_i$ )
- Campo  $\rightarrow$  Intensidad(dBm)
- Inclinómetro  $\rightarrow$  Grados( $\theta_n$ )
- GPS  $\rightarrow$  Hora, Grados

Las señales digitales adecuadas a las unidades estándares son empleadas en los siguientes bloques para realizar las tareas.

## 6. Máxima intensidad de campo electromagnético

Para obtener las coordenadas de la máxima intensidad de campo electromagnético se implementará un método de optimización matemático perteneciente a las técnicas de búsqueda local, el algoritmo de búsqueda Tabú [2][3] adaptado a la capacidad de computo del sistema. El cual consiste en realizar un barrido de la superficie mediante cuadrantes, el cual comienza la búsqueda guardando en la memoria las posiciones de máxima intensidad de campo electromagnético, las cuales se comparan luego y se realiza un nuevo barrido en un cuadrante que contiene los puntos de mayor intensidad de campo electromagnético, guardando los puntos de máxima intensidad, comparándolos nuevamente y repitiendo el proceso de barrido hasta alcanzar la condición de parada.

Debido a que las intensidades de la señal pueden variar por las condiciones del entorno o simplemente por el tráfico de datos, el algoritmo Tabú [2][3] se debió modificar censando la posición máxima alcanzada y realizando una nueva búsqueda en un entorno reducido sin pérdida de intensidad mínima del campo. Como se observa en la Figura 8[2][3], los datos así obtenidos (grados) luego son empleados en la generación de trayectoria directa para calcular las coordenadas en el espacio cartesiano y con ellas obtener el ángulo de arribo de la señal de máxima intensidad de campo electromagnético.

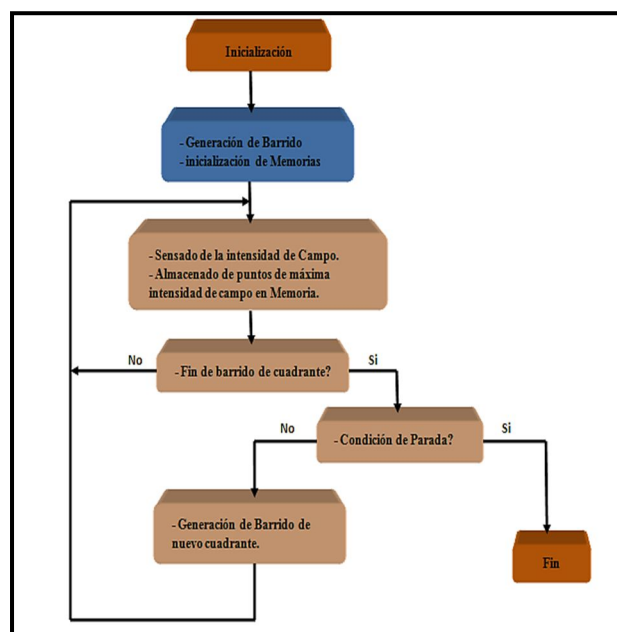


Figura 8. Algoritmo de detección de máxima intensidad de campo Electromagnético

Teniendo en cuenta el patrón de radiación de una antena dipolo que se encuentra dentro de un blindaje en forma de “v” [11], como se muestra en la Figura 9.

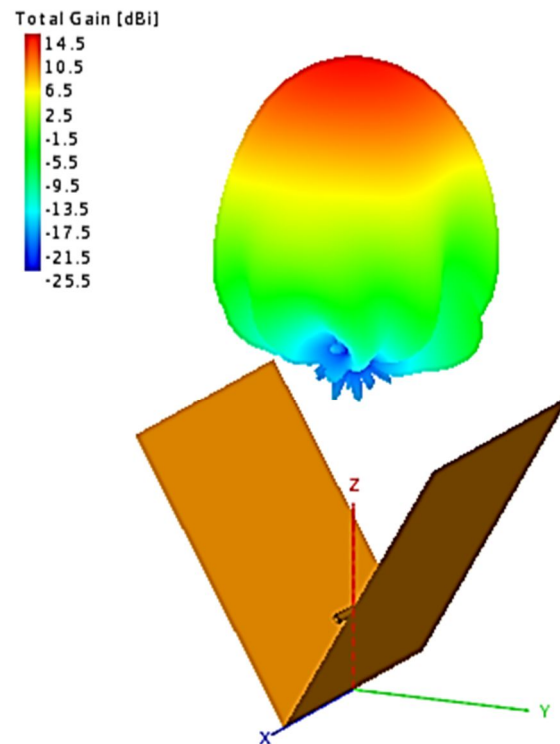


Figura 9. Patrón de Radiación

Se procedió a calcular el barrido para encontrar la máxima señal en el menor tiempo posible, teniendo en cuenta que el patrón de radiación de la antena encerrada se puede considerar un área plana dispuesta de forma vertical. Con estos datos el movimiento de búsqueda realizado por la antena en una etapa inicial, es un barrido horizontal sobre su eje, de esta manera se recorre un área de  $270^\circ$  a la redonda, guardando la posición de la máxima intensidad de campo electromagnético. Una vez finalizado el primer barrido el brazo se desplaza hacia el área de máxima intensidad electromagnética detectada y se procede un barrido fino, que describe un área cuadrada con una apertura de  $10^\circ$  respecto del origen en todos los sentidos. Este barrido fino se realiza de manera cuadrada y no plana debido a que el lóbulo de radiación de la antena finaliza de forma elíptica, con lo que la máxima intensidad de campo electromagnético de la misma está ubicada en el eje del centro del lóbulo.

## 7. Generación de trayectoria

La generación de trayectoria está compuesta por los siguientes bloques constitutivos como se pueden observar en la Figura 10.

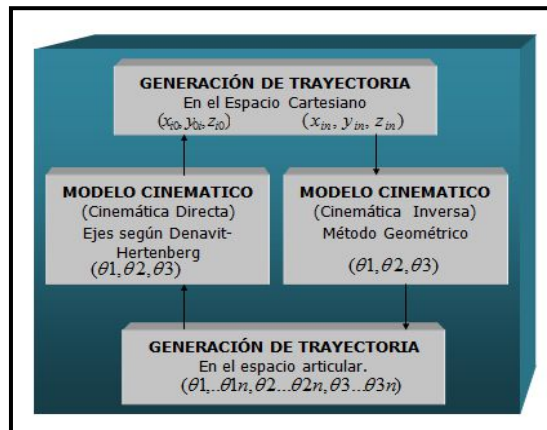


Figura 10. Generación de Trayectoria

En la misma se muestran los dos caminos distintos que pueden seguir los datos.

En un caso los datos provenientes del sensor de intensidad de campo electromagnético, se ingresan al bloque de generación de trayectoria articular, continúan por el modelo cinemático directo y finalmente ingresan al bloque de generación de trayectoria cartesiana.

En el otro sentido los datos provienen del bloque de comunicación e ingresan al bloque de generación de trayectoria cartesiana, continúan por el modelo cinemático inverso y finalmente ingresan al bloque de generación de trayectoria articular.

A continuación, se describe la función de cada bloque.

## 7.1. Generación de trayectoria cartesiana

La Generación de Trayectoria es el proceso mediante el cual se aproxima el camino deseado. A tal fin se utiliza una serie de puntos entre las coordenadas del punto inicial y final, que pueden ser calculados a partir de funciones polinomiales, lineales, etc.

Este bloque es el encargado de realizar una generación de trayectoria en el espacio cartesiano, el cual consiste en asignarle una función matemática a dos puntos del espacio cartesiano, el inicial y el final. Para aproximar la trayectoria. Además, se generan una cantidad de puntos intermedios entre el punto inicial y el final con la función matemática seleccionada.

La función matemática seleccionada para este proyecto consistió en la función lineal y con una generación de puntos intermedios en función del tiempo variable según un espaciado mínimo entre puntos.

## 7.2. Modelo cinemático (Directo)

La cinemática directa consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del sistema robótico, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.

En general, un sistema robótico está formado por eslabones unidos por articulaciones, de forma que cada par articulación-eslabón constituye un grado de libertad.

Debido a esto se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia.



El proceso consiste en fijar un sistema de coordenadas a cada eslabón, que se moverá con él de acuerdo a un conjunto de normas fijas.

Este bloque es el encargado de realizar dicha tarea empleando el algoritmo de Denavit-Hartenberg [1].

A partir de la disposición de ejes por articulación y empleando relaciones trigonométricas por eje y referenciando a la base se obtuvieron las siguientes ecuaciones espaciales:

$$x = \cos(\theta b) * [\cos(\theta h) * 33 + \cos(\theta cb) * 38] \quad (1)$$

$$y = \{\text{sen}(\theta b) * [\cos(\theta b) * 33 + \cos(\theta cb) * 38]\} + 5 \quad (2)$$

$$z = 26,775 + [\text{sen}(\theta b) * 33] + [\text{sen}(\theta cb) * 38] \quad (3)$$

Donde

$$\theta cb = \theta c - \theta h \quad (4)$$

### 7.3. Modelo cinemático (Inverso)

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del sistema robótico ( $\theta b$ ,  $\theta h$  y  $\theta c$ ) para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

En el problema cinemático inverso el procedimiento de obtención de las ecuaciones es fuertemente dependiente de la configuración del sistema robótico. Si se consideran sólo los tres primeros grados de libertad, estos tienen una estructura planar, esto es, los tres primeros elementos quedan contenidos en un plano. Esta circunstancia facilita la resolución del problema.

Los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar el sistema robótico. Para ello utilizan relaciones trigonométricas y geométricas sobre los elementos del sistema, recibiendo el nombre de método geométrico.

El cual en sí se basa en encontrar un suficiente número de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del sistema robótico, sus coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos.

Para el cálculo de las distintas coordenadas articulares y debido a las infinitas posibilidades de configuraciones del sistema robótico que pueden alcanzar el punto espacial se emplearon algoritmos recursivos con una condición inicial de arranque, basada en el espacio de trabajo y una final de parada correspondiente a una tolerancia de los datos.

Con motivo de que el eje auxiliar 1 presenta la misma orientación que el de la base con la única diferencia que se encuentra desplazado una cierta longitud, se puede considerar que el desplazamiento del ángulo  $\theta b$  se realiza en el eje de la base.

Debido a esto y como las coordenadas espaciales están referenciadas al eje de la base los valores de  $Xf$  e  $Yf$  permiten calcular dicho ángulo empleando la siguiente ecuación (5):

$$Xf * \text{sen}(\theta b) = Yf * \cos(\theta b) \quad (5)$$

Para facilitar el cálculo de la ecuación (5) se dividió en cuadrantes los posibles valores de ángulos de  $\theta b$  según el valor de  $Xf$  e  $Yf$  como se puede observar a continuación:

- Si  $Y_f$  es positivo y  $X_f$  es positivo  $\theta_b$  puede variar desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .
- Si  $Y_f$  es positivo y  $X_f$  es negativo  $\theta_b$  puede variar desde  $90^\circ$  a  $180^\circ$ .
- Si  $Y_f$  es negativo y  $X_f$  positivo  $\theta_b$  puede variar desde  $180^\circ$  a  $270^\circ$ .
- Si  $Y_f$  es negativo y  $X_f$  negativo  $\theta_b$  puede variar desde  $270^\circ$  a  $360^\circ$ .

De esta manera se establece la condición de arranque del algoritmo para el cálculo de  $\theta_b$  y la condición de parada es una tolerancia al error de 0,01. Como se puede observar en la siguiente Figura 11.

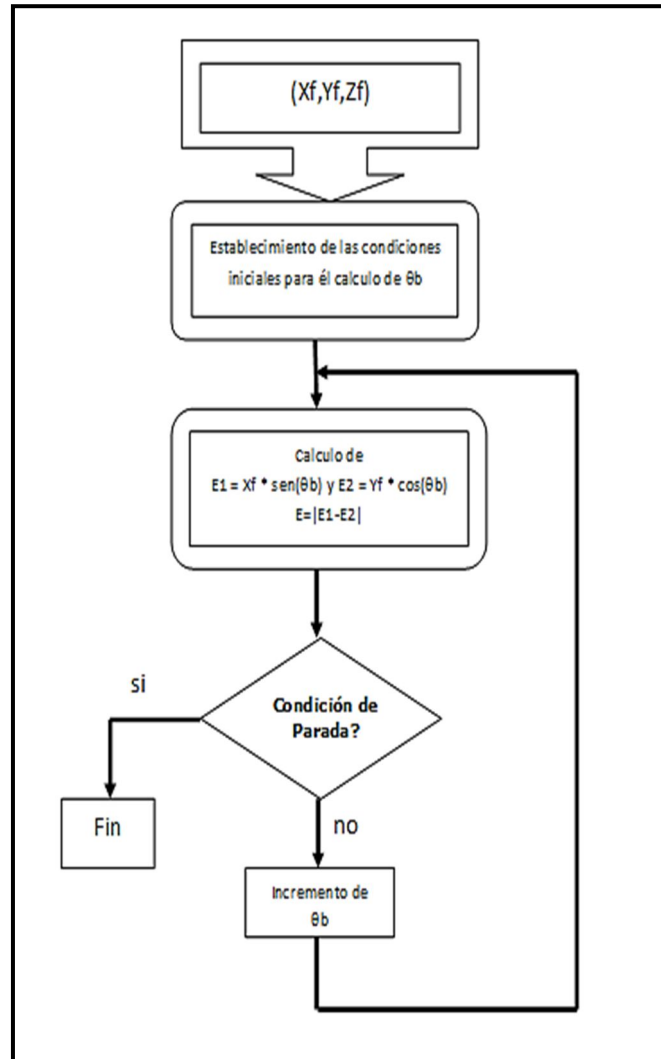


Figura 11. Algoritmo de cálculo de  $\theta_b$

Una vez determinado el ángulo de base  $\theta_b$  se procede a calcular los ángulos de hombro y codo para ello se emplean las ecuaciones (1), (2) y (3).

Como existen infinitos valores de ángulos que satisfacen dichas ecuaciones se estableció una condición de arranque según cuadrantes limitando el rango de búsqueda de los ángulos mediante los valores de  $X_f$  e  $Y_f$  como sigue:

- Si  $Y$  es positivo y el módulo de  $|XY| < 38\text{cm}$  el rango de búsqueda es  $\theta_h = 90^\circ$  y  $\theta_c$  puede variar desde  $12^\circ$  a  $180^\circ$ .
- Si  $Y$  es positivo y el módulo de  $38\text{cm} < |XY| < 38 + 33\text{cm}$  el rango de búsqueda es  $0^\circ < \theta_h < 90^\circ$  y  $\theta_c$  puede variar desde  $12^\circ$  a  $180^\circ$ .

- Si Y es negativo y el módulo de  $|XY| < 38\text{cm}$  el rango de búsqueda es  $\theta_h = 90^\circ$  y  $\theta_c$  puede variar desde  $180^\circ$  a  $270^\circ$ .
- Si Y es negativo y el módulo de  $38\text{cm} < |XY| < 38 + 33\text{cm}$  el rango de búsqueda es  $0^\circ < \theta_h < 90^\circ$  y  $\theta_c$  puede variar desde  $180^\circ$  a  $270^\circ$ .

Empleando esta condición de arranque se procedió a calcular valuar las ecuaciones (1), (2) y (3) y calculando el error con los valores finales de X, Y y Z, si dicho valor es inferior al 0,01% se toma como validos dichos valores de los ángulos de hombro y el codo. Como se puede observar en la siguiente Figura 12 del algoritmo para el cálculo de  $\theta_h$  y  $\theta_c$ .

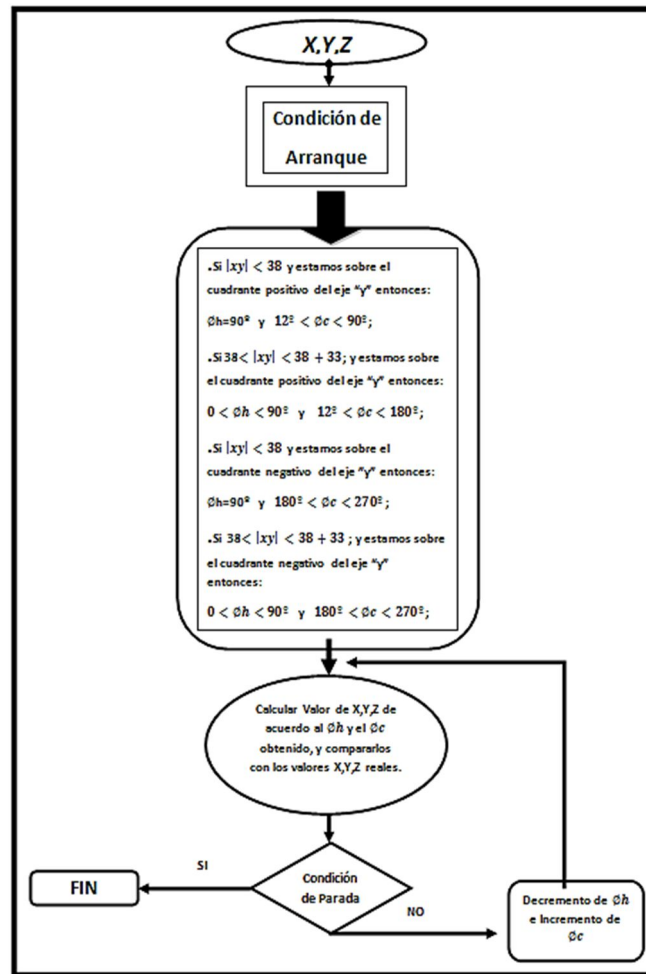


Figura 12. Algoritmo de cálculo de  $\theta_h$  y  $\theta_c$ .

## 7.4. Generación de trayectoria articular

Al igual que con la generación de trayectoria cartesiana este bloque es el encargado de realizar una generación, pero en el espacio de cada articulación, empleando una función lineal para aproximar los puntos generados, a la su vez son generados en función del tiempo.

## 8. Comunicación

Este bloque es el encargado de realizar la comunicación de los datos de forma inalámbrica con la estación base o con otros sistemas para la transferencia de información como así también de datos de control.

Para poder realizar dicha transacción de datos se empleó una trama de comunicaciones como se observa en la siguiente Figura 13.

Destino	Origen	Código	Datos	Datos	FCR	Fin
---------	--------	--------	-------	-------	-----	-----

Figura 13. Trama de datos.

La trama está compuesta por una cabecera destino y otro origen, las cuales permiten direccionar los datos y que sean leídos solamente por el sistema direccionado.

El campo de código permite controlar y/o solicitar información al sistema.

El campo de datos es variable según el requerimiento de la base.

El campo FCR es un campo para el control de errores no implementado aún.

## 9. Control de motores

Dicho bloque es el encargado de realizar el control de los motores los cuales son controlados con la tecnología de modulación PWM.

El microcontrolador una vez realizado la generación de trayectoria obtiene los ángulos de movimiento de cada motor y a partir de la posición inicial del brazo y la final establece una proporción del ancho del pulso por cada articulación según el camino a recorrer por articulación. De esta manera se logrará que todas las articulaciones lleguen al punto final de manera simultánea y controlando el arranque y parada un movimiento suave.

## 10. Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo, la mayor complejidad hasta el momento se presentó en el diseño y construcción del sistema robótico. En cuanto a la electrónica de soporte se construyó de forma modular a fin de poder actualizar la electrónica en caso de ser necesario.

El control y movimiento de los motores reductores es suave y no presenta saltos o brinco durante el movimiento del sistema robótico, cuando es controlado o cuando realiza rutinas de reinicio, arranque suave y parada.

Durante las pruebas de detección de máxima intensidad de campo electromagnético no se presentaron inconvenientes en el cambio de posición de la intensidad de campo y la adecuación del sistema robótico a dichos cambios. El proyecto se encuentra en etapa de implementación de los algoritmos de generación de trayectoria. Si bien en las pruebas el brazo detecta la mayor intensidad de campo cuando se realiza el barrido mediante el algoritmo tabú, se encuentra en proceso de mejora del mismo en relación al lóbulo de radiación de la antena receptora para realizar el algoritmo de barrido a fin de optimizar el mismo y encontrar la manera más eficiente de detección.

El presente proyecto está pensado para la medición de compatibilidad electromagnética (EMS) sobre dispositivos electrónicos de forma automática, a futuro, ya que el sistema permite cambiar el tipo de antena y colocar una sonda.

La finalización del mismo permitirá continuar con otras líneas de investigación como la de transmisores inteligentes, el estudio de algoritmos para el control adaptativo del sistema robótico, el estudio de redes inalámbricas de antenas inteligentes y el procesamiento de datos distribuidos.

## 11. Referencias

- [1] K.S. Fu, R.C. González, C.S.G. Lee. ROBOTICA: Control, Detección, visión e inteligencia. Editorial McGraw-Hill, 1990. 599 p.
- [2] Glover, F. and M. Laguna. (1997). *Tabú Search*. Kluwer, Norwell, MA.
- [3] Glover, F. "Tabú Search — Part I", *ORSA Journal on Computing* **1989** 1: 3, 190-206.
- [4] Hoja de datos del sensor de Inclinación MMA7060FC.
- [5] Hoja de datos del módulo Smart GPS antenna A1035-D.
- [6] Hoja de datos del sensor de campo LT5534 de Linear Technology.
- [7] Hoja de datos del microcontrolador pic18f8722 de microchip.
- [8] Hoja de datos modulo inalámbrico AC4490 de Aerocom.
- [9] Hoja de datos del puente H L298N de STMicronic.
- [10] Hoja de datos del motor reductor MR08D de Ignis.
- [11] José Alberto Bava. Antenas reflectoras en microondas. 1a ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2013.