



***UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
SALTA***

Facultad de Ingeniería

Ingeniería en Telecomunicaciones

PROYECTO FINAL DE GRADO

***Control Adaptivo de Un Sistema de Comunicación
Inalámbrico***

Autor: García Elguero Hector.N.

Tutor: Narváez Pablo.

2017

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

Profesor Guía:

Ing. Narvaez Pablo

.....

Tribunal Evaluador:

.....

.....

.....

Fecha de Exposición del trabajo

/ /2017

AGRADECIMIENTOS

En estas palabras quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que formaron parte de este largo camino hacia la meta final, antes que a nadie quiero agradecer a Dios y la Virgen Maria por haberme iluminado y mostrado el camino correcto, así como también haberme dado la fortaleza necesaria para afrontar los obstáculos que se fueron presentando a lo largo,

En segundo lugar quiero agradecer a mi familia que fueron desde el comienzo el soporte principal y quienes nunca dudaron de mi y de mi capacidad, recuerdo unas palabras que mi papa me transmitió de mi abuelo, que marcaron gran parte de mi carrera " En los momentos mas difíciles agacha la cabeza y dale para adelante como un toro" , hablando de abuelo, no quiero olvidarme de mis dos angelitos Victoriano y Carlos a quienes les hubiera gustado verme llegar hasta aquí,

También es importante agradecerles a todos aquellos compañeros que fueron parte de este viaje, porque cada uno de ellos colaboro conmigo, destacando en especial a mis 3 compañeros de batalla "Chechu, Marcos, Rodolfo" con quienes llegue hasta el final de cursado, y quienes compartieron alegrías y tristezas mías, no solo en lo facultativo sino que también en lo personal

A mis amigos de toda la vida que siempre me apoyaron y estuvieron presentes, A Julieta mi compañera , mi Amiga, que fue alguien importante en este largo camino.

A todos aquellos profesores que formaron parte de esta experiencia, quienes transmitieron no tan solo sus buenos conocimientos, sino que además buenos valores los cuales tienen aun mas importancia en mi vida como profesional , A mi director de tesis el profe Pablo Narvaez que siempre estuvo dispuesto a ayudarme y atento a mis dudas y consultas,

Y a todos aquellos que de una u otra forma estuvieron en este largo camino, como ser las chicas (pato y edith) de secretaria, que me solucionaban todas las inquietudes o problemas, entre muchos otros que por mas que no los nombre los tengo bien presentes.

De nuevo Muchas gracias a todos y muchas gracias a Dios por haberme ayudado a llegar hasta aquí.

HECTOR NICOLAS GARCIA ELGUERO

INDICE GENERAL

1-Resumen	10
2-Introduccion	10
2.1-Estado del Tema	12
2.2-Definicion del Problema.....	12
2.3-Fundamentacion Teórica	13
Marco Teórico	14
3-Antenas.....	14
3.1.-Operación Básica de una Antena	14
Características Antenas.....	15
3.2-Patron de Radiación	15
3.2.1-Polarizacion de la antena.....	15
3.2.2-Directividad.....	16
3.2.3-Ganancia de Potencia	16
3.3-Azimut.....	17
3.3.1-Elevacion	17
4-Antenas Inteligentes	18
4.1-Caracteristicas Antenas inteligentes.....	18
4.2-Tipos de Antenas Inteligentes	19
4.2.1-Sistema de haz conmutado (Switched Beam)	20
4.2.2-Haz de seguimiento (Scanning):	21
4.2.3-Haz adaptativo.....	22
5-Sistema Robótico:	22
5.1- Cinemática del brazo Robot:.....	24
5.2-El Problema Cinemático directo	25
5.2.1-Coordenadas y matrices homogéneas	26

5.2.2-Aplicación de las matrices homogéneas:	27
5.2.3-Traslación	28
5.2.4-Rotación	29
5.2.5-Traslación junto con rotación	30
5.2.6 Rotación seguida de traslación	30
5.2.7 Traslación seguida de rotación	31
Elementos, articulaciones y sus parámetros	32
5.2.8 Resolución del problema cinemática directo mediante matrices de transformación homogénea.....	32
5.2.9 La representación de Denavit-Hertenberg.....	33
5.2.10-Algoritmo de Denavit – Hartenberg para la obtención del modelo Cinemático Directo	36
5.3 -El problema cinemático inverso.....	38
5.3.1 Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos	40
5.4-Planificación de Trayectorias de un manipulador	44
5.4.1-Introducción	44
5.4.2-Consideraciones generales sobre la planificación de trayectoria.....	46
5.4.3-Trayectorias de articulación interpolada	49
5.4.4-Tipos de Trayectorias	51
5.4.4.1-Trayectoria 4-3-4.....	51
5.4.4.2-Trayectoria 3-5-3.....	52
5.4.4.3-Trayectoria con 5 cúbicas.....	52
5.5.-Espacio de Trabajo	52
5.5.1 Definición e importancia	52
6- Algoritmo Taboo.....	53
6.1-Metodología	53
6.2- Características de la búsqueda tabú (Uso de la memoria).....	54

7-Wifi.	54
8-Parte Practica:.....	57
8.1-Sistema Completo	57
8.2-Sistema Robótico:	58
8.2.1-Espacio de trabajo	59
8.3-Sensores:	61
8.3.1-Sensores de Posición	61
8.3.2-Sensores de Inclinación.....	62
8.3.3-Sensores de Localización	62
8.3.4-Sensores de Intensidad de Campo Electro-Magnético	63
8.4-Adecuación de Señales.....	64
8.4.1Sensores de Posición	64
8.4.2-Sensores de Inclinación:.....	65
8.4.3 Sensores de Localización:	65
8.4.4-Sensores de Intensidad de Campo.....	66
8.5-Procesamiento de Datos	66
8.5.1- Software de Alto Nivel.....	67
8.5.1.1-Bloques Desarrollo de Software.....	68
8.5.2-Lectura de Sensores.....	69
8.5.3-Máxima intensidad de campo.....	69
8.5.4-Generación de Trayectoria:	71
8.5.4.1-Generación de Trayectoria Cartesiana	72
.....	72
8.5.4.2-Modelo Cinemático (Directo)	73
8.5.4.3-Modelo Cinemático (Inverso)	75
8.5.4.4-Generación de Trayectoria Articular.....	79

8.5.5-Comunicación	80
8.5.6-Control de motores	81
8.6-Modulo Inalámbrico	81
9-Anexo	82
9.1-Códigos de comando	83
9.2.-Características Técnicas Motores.....	83
9.3-Configuración de Pines para Circuitos Electricos.....	84
9.4-Tabla de Materiales y Presupuesto Total	88
9.5-Tabla Comparación con Productos Similares en el Mercado	89
9.6-Data Sheets.....	90
10-Conclusion.....	105
11-Bibliografía	106

TABLA ILUSTRACIONES - MARCO TEORICO

Figura 0-Sistema Completo	11
Figura 1-Patron de Radiación Antena Yaggi.....	15
Figura 2-Patron de Radiación Antena Panel Direccional.....	15
Figura 3-Azimut y Elevación	17
Figura 4-Diagrama simple de un sistema de antenas inteligentes	18
Figura 5-Sistema de Haz conmutado.....	20
Figura 6- Sistema de haz de seguimiento.	21
Figura 7. Sistema de haz adaptativo	22
Figura 8-Los problemas cinematicos directos e inversos.....	25

Figura 9--Parametros D-H para un eslabon giratorio	34
Figura10--Robot articular	40
Figura.11-Elementos 2 y 3 del Robot de la figura 10 contenidos en un plano ,a)configuración codo abajo, b)configuración codo arriba	42
Figura 12- Diagrama de bloques del planificador de trayectoria	45
Figura 13- Condiciones de posición para una trayectoria de articulación.....	49
Figura 14- Espacio de Trabajo	53
Figura 15-Pila de protocolos TCP/Ip.....	55
Figura 16-Canales Wifi	56
Figura 17-Capas donde Trabaja wifi	56
TABLA ILUSTRACIONES PARTE PRACTICA	
Figura 1-Sistema Completo.....	57
Figura 2- Brazo Robotico.....	58
Figura 3-Dimensiones.....	59
Figura 4-Espacio de Trabajo	60
Figura 5-Espacio de Trabajo 3D.....	60
Figura 6-Sensores Potencio-métricos.....	61
Figura 7-Inclinometro	62
Figura 9-Modulo Gps.....	63
Figura 12-Señal de Salida	64
Figura 13-Circuito Sensor de Posición	64
Figura 14-Circuito Sensor de Inclinación	65

Figura 15-Circuito Sensor GPS	65
Figura 16-Circuito Sensor de Intensidad de Campo	66
Figura 17-Microcontrolador	66
Figura 18-Tareas.....	67
Figura 18a-Captura pantalla programa.....	68
Figura 18b-Bloques Desarrollo de Software	68
Figura 19-Algoritmo de Deteccion de Maxima Intensidad de Campo	70
Figura 20-Generacion de Trayectoria	71
Figura 21- Generacion de Trayectoria Cartesiana	72
Figura 22-Ejes Según Denavit-Hartenberg	74
Figura 23-Eje de Base.....	76
Figura 24-Algoritmo de Calculo de θ_b	77
Figura 25-Algoritmo de Calculo de θ_h y θ_c	79
Figura 26-Generacion de Trayectoria Cartesiana	80
Figura 27-Trama de Datos.....	80
Figura 28- Modulo Inalámbrico AC4490.....	82

1-Resumen

La demanda del 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 del servicio

Una antena inteligente es un antena de cualquier categoría o tipo montada sobre un brazo Robótico con una unidad de Procesamiento Digital de Señales, la cual se basa en un sistema micro-programable como un micro controlador, FPGA, DSP, etc. Es aquella que, es capaz de cambiar su polarización hacia una señal de interés en el entorno, adaptándose a las condiciones radioeléctricas en cada momento

El presente proyecto consiste en la implementación de un sistema robótico cuyo efector final es una antena parabólica, el cual constará de un sensor de campo electro- magnético, 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 recolectara los datos.

2-Introduccion

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.

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 electro-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 coordinara y recolectara los datos de los distintos sistemas.

A los fines prácticos se va a simular en la banda wifi ya que se cuenta con la electrónica para dicha banda , pero los resultados son aplicables para cualquier servicio de comunicación solo que con algunas modificaciones de hardware.

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 0.

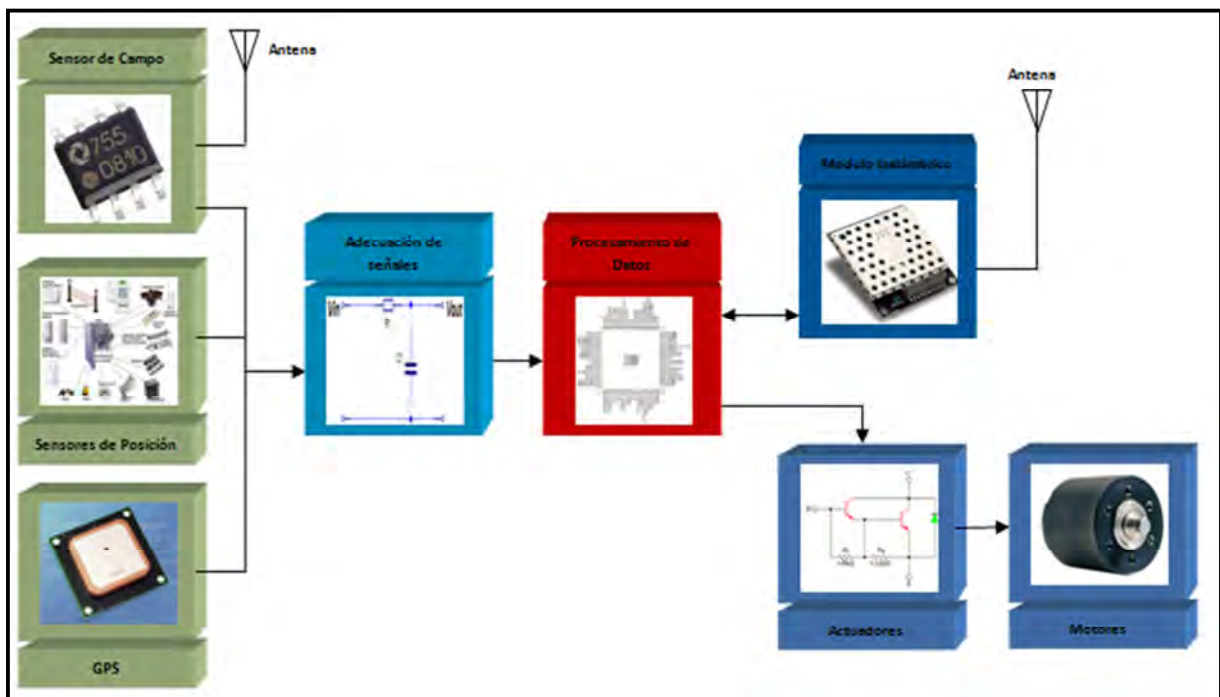


Figura 0-Sistema Completo

2.1-Estado del Tema

En lo respectivo a antenas adaptivas que permitan el aprovechamiento del espectro radioelectrico , no hay mucho desarrollo, sin embargo podemos encontrar algunos intentos por llevar las comunicaciones al uso efectivo del espectro, uno de los cuales es el estándar de la IEEE el llamado IEE 802.22

IEEE 802.22 es un estándar para la Wireless Regional Area Network (WRAN) que utiliza espacios blancos en el espectro de frecuencia de los canales de TV.

El desarrollo del estándar IEEE 802.22 WRAN está enfocado al empleo de técnicas de Radio cognitiva (CR) para permitir el uso compartido del espectro geográfico no utilizado asignado al servicio de difusión de televisión.

La idea es utilizar ese espectro de frecuencia, en base de no-interferencia, para ofrecer acceso de banda ancha a zonas en las que difícilmente se podría proporcionar este servicio como zonas de baja densidad de población, ambientes rurales, etc

Otro caso sin embargo prometedor es el del ya cercano **5G** en el cual como se menciona en el estudio de la empresa Accenture-strategy llamado -5G-Municipalities-Become-Smart-Cities

“No se trata de poner antenas gigantes, sino de volver más densa la red y de "tener aparatos, pequeños dispositivos con cierta inteligencia y procesamiento de datos internos".

Por lo pronto en Argentina nos queda esperar que lleguen algunas de estas tecnologías para poder aprovechar los grandes beneficios, de usar de manera efectiva el espectro mediante el empleo de Antenas inteligentes y/o adaptivas.

2.2-Definicion del Problema

Existe una conciencia generalizada sobre los efectos de la radiación electromagnética y paralelamente un cierto grado de deficiencias de los servicios de telefonía celular, en muchos casos se radia inútilmente a sectores, que no requieren la magnitud del servicio y al mismo tiempo se dejan sectores con baja calidad de servicio cuando no un concreto

efecto de bloqueo. Con sistemas de antenas que se adapten al tráfico se pueden lograr subsanar esta problemática.

2.3-Fundamentacion Teórica

Si bien el sistema de comunicaciones móviles no presenta cambios desde hace varias décadas en lo inherente a la distribución geográfica de las antenas: se basa aún en la cobertura del servicio en celdas y micro celdas.

Tal modelo está empezando quedar obsoleto en la actualidad por diversos motivos como la diversidad de servicios radioeléctricos, el aumento de la demanda y el escaso espectro radioeléctrico disponible, hace necesario el uso eficiente del espectro, mediante la aplicación de antenas adaptativas e inteligentes. Aumentando de esta manera la eficiencia del espectro disponible.

Por tal motivo el presente proyecto pretende implementar una solución a dicha problemática mediante la investigación y desarrollo de un prototipo en el paradigma de las antenas adaptativas.

Para ello se pretende resolver dicho paradigma con el sostén de la tecnología micro programable, robótica y Telecomunicaciones con la utilización de las antenas disponibles. Para ello es necesaria la investigación del tipo de antenas en el mercado , del sistema robótico más apropiado y de su configuración mecánica óptima.

Con el objeto de poder posicionar el lóbulo de la antena, es necesario implementar un sistema de ‘censado’ el cual aportará las coordenadas de posicionamiento óptimo tanto en Azimut como en elevación. Todo el sistema de ‘censado’ y posicionamiento se debe automatizar mediante la implementación de un sistema micro programable.

El mismo debe poder comunicarse con otros modelos de antenas adaptables a fin de poder realizar en un futuro la transferencia de información y con ello lograr la implementación de una red adaptativa.

Marco Teórico

3-Antenas:

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas, Una antena se utiliza como la interface entre un transmisor y el espacio libre o el espacio libre y el receptor, acopla energía de la salida de un transmisor a la atmósfera de la Tierra o de la atmósfera de la Tierra a un receptor. Es un dispositivo recíproco pasivo; pasivo en cuanto a que en realidad no puede amplificar una señal, por lo menos no en el sentido real de la palabra (sin embargo, una antena puede tener ganancia), y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción son idénticas, excepto donde las corrientes de alimentación al elemento de la antena se limitan a la modificación de patrón de transmisión.

3.1.-Operación Básica de una Antena:

Si una corriente circula por un conductor, creará un campo eléctrico y magnético en sus alrededores. Luego nuestra corriente creará un campo eléctrico y magnético, pero como supondremos que la distancia entre los dos conductores que forman nuestra línea es pequeña, no se creará una onda que se propaga, puesto que la contribución que presenta el conductor superior se anulará con la que presenta el conductor inferior.

Pero si separamos en un punto los dos conductores, los campos que crean las corrientes ya no se anularán entre sí, si no que se creará un campo eléctrico y magnético que formará una onda que se podrá propagar por el espacio.

Según esto, dependiendo del punto desde el que separemos el conductor, tendremos una longitud en los elementos radiantes variable. Al variar esta longitud, la distribución de corriente variará, y lógicamente la onda que se creará y se propagará.

Características Antenas

3.2-Patron de Radiación:

Es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la densidad de potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativa.

El patrón se traza sobre papel con coordenadas polares con la línea gruesa sólida representando los puntos de igual densidad de potencia (10 mW/m²).

Los gradientes circulares indican la distancia en pasos de dos kilómetros. Puede verse que la radiación máxima está en una dirección de 90° de la referencia. La densidad de potencia a diez kilómetros de la antena en una dirección de 90° es 10 mW/m². En una dirección de 45°, el punto de igual densidad de potencia es cinco kilómetros de la antena; a 180°, está solamente a cuatro kilómetros; y en una dirección de -90°, en esencia no hay radiación

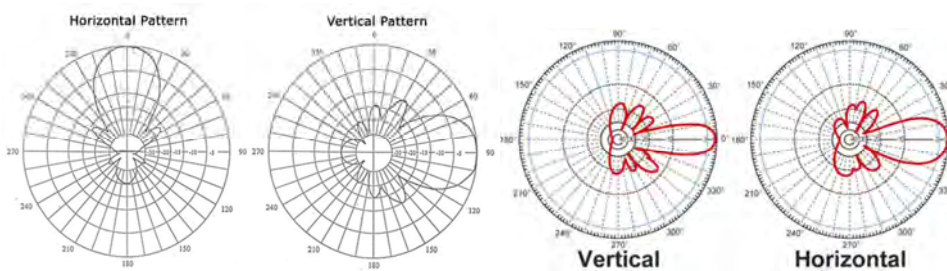


Figura 1-Patron de Radiacion Antena Yaggi

Figura 2-Patron de Radiacion Antena Panel Direccional

3.2.1-Polarizacion de la antena:

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada

horizontalmente o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular.

Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente

3.2.2-Directividad:

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia.

La gráfica de densidad de potencia de radiación para una antena en realidad es una gráfica de ganancia directiva, si se toma la referencia de densidad de potencia para una antena normal de referencia, que en general es una antena isotrópica. La ganancia directiva máxima se llama directividad

La ecuación de definición es la siguiente:

$$\mathcal{D} = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{ref}}$$

Donde: \mathcal{D} = ganancia directiva (adimensional)
 \mathcal{P} = densidad de potencia en un punto, con determinada antena (watts/m²)
 \mathcal{P}_{ref} = densidad de potencia en el mismo punto, con una antena de referencia (watts/m²)

3.2.3-Ganancia de Potencia:

La ganancia de potencia es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada, y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($\eta = 100\%$)

La ecuación de la Ganancia de Potencia es:

$$A_p = \mathcal{D}\eta$$

Si la antena es sin pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada, y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia de una antena también se expresa en decibelios en relación con una antena de referencia. En este caso, la ganancia de potencia es:

$$A_{p(dB)} = 10 \log \frac{\mathcal{P}_\eta}{\mathcal{P}_{ref}}$$

3.3-Azimut:

El ángulo de azimut y el de elevación se llaman, en conjunto, ángulos de visual de la antena. El azimut es la distancia angular horizontal a una dirección de referencia, que puede ser el punto sur o el norte del horizonte. El ángulo de azimut se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre

3.3.1-Elevacion:

El ángulo de elevación es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena de estación terrestre que apunta directamente hacia un satélite, y el plano horizontal. Mientras menor es el ángulo de elevación, la distancia que debe recorrer una onda propagada a través de la atmósfera terrestre es mayor



Figura 3-Azimut y Elevación

4-Antenas Inteligentes:

Un sistema de antenas inteligentes es una agrupación de antenas con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.



Figura 4-Diagrama simple de un sistema de antenas inteligentes

Este tipo de sistemas actúan a partir de la información que extraen del medio, y encuentran una buena solución del problema al que se enfrentan, lo que se ajusta a la definición propuesta.

4.1- Características Antenas inteligentes:

La característica de las antenas inteligentes de tener unos haces de radiación con una mayor directividad (es decir, mayor ganancia y mayor selectividad angular), hace pensar en las siguientes ventajas potenciales de estos sistemas:

Incremento de la zona de cobertura: Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectoriales para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a una mayor distancia. Este hecho podría permitir reducir el número de estaciones base necesarias para cubrir una zona.

Reducción de la potencia transmitida: Si se opta por mantener la densidad de estaciones base, el uso de sistemas inteligentes permitirá incrementar su sensibilidad, por lo que los móviles podrán transmitir con menor potencia, ahorrando consumo de la

batería. De igual modo, gracias a la ganancia de la agrupación, es posible que el usuario reciba una señal de la estación base similar a la suministrada por un sistema fijo, pese a que cada elemento de la agrupación esté radiando una potencia muy inferior. Así, se relajarían las especificaciones sobre los amplificadores de potencia utilizados, que podrían resultar más baratos

- **Reducción de la propagación multitrayecto:** Debido a la menor dispersión angular de la potencia radiada por la estación base, se reducirá el número de trayectos múltiples que alcanzarán al usuario.
- **Reducción del nivel de interferencia.** La mejor selectividad espacial de la antena permitirá a la estación base discriminar las señales de usuarios secundarios en favor de la señal del móvil deseado, así como reducir, o incluso eliminar, el nivel de potencia transmitida en direcciones de las que provengan ondas secundarias causadas por reflexión con elementos del entorno que vayan a empeorar la calidad de la señal.
- **Mejora de la seguridad.** Gracias a que la transmisión entre la estación base y el terminal móvil es direccional, no será posible que un equipo ajeno intercepte la comunicación, a menos que se sitúe en la misma dirección en la que apunta la antena.
- **Introducción de nuevos servicios.** Puesto que la red podría tener acceso a información acerca de la posición de los móviles, es posible pensar en servicios tales como radiolocalización en llamadas de emergencia, publicidad de servicios cercanos, información en lugares turísticos, etc.

4.2-Tipos de Antenas Inteligentes:

Podemos dividir los sistemas de antenas inteligentes en varios tipos dependiendo de sus características y funcionamiento

4.2.1-Sistema de haz conmutado (Switched Beam):

Es la configuración más simple de antenas inteligentes.

Básicamente consiste en lo siguiente: El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultando un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas. En cada posición discreta del haz se activa el sistema de recepción para detectar la posible existencia de señales.

En caso de recibir señal, el sistema guarda información correspondiente a la posición del haz y se establece la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo. Después de este intervalo se conmuta al siguiente haz para detectar la existencia de otros posibles usuarios hasta llegar al límite angular de la zona de cobertura. Este proceso de repite permanentemente en el tiempo.

Esta técnica no garantiza que el usuario se encuentre en la dirección de máxima radiación del haz que le da servicio, ni que las señales interferentes se vean notablemente reducidas (ya que siempre es posible que se reciba alguna por uno de los lóbulos secundarios).

De hecho, sería posible recibir una señal interferente por un punto del diagrama de radiación con mayor ganancia que la señal deseada, empeorando apreciablemente las prestaciones del sistema.

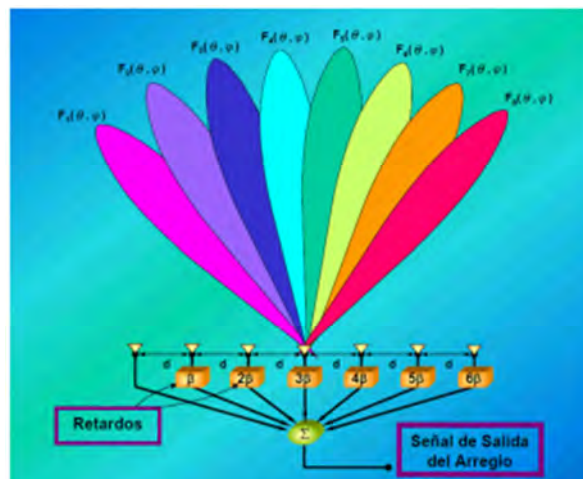


Figura 5-Sistema de Haz conmutado

4.2.2-Haz de seguimiento (Scanning):

Este sistema es un poco más complejo que el anterior.

Está conformado por una agrupación de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a los elementos de la agrupación para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer comunicación con el usuario respectivo.

A esto se le llama agrupación progresiva (phased array). A diferencia del sistema de haz conmutado, el sistema haz de seguimiento ejecuta algoritmos DoA (Direction of Arrival) para identificar la dirección de llegada de las señales de los usuarios.

Con esta técnica sí se puede garantizar que el usuario se encuentra posicionado en todo momento en la dirección del lóbulo principal y con máxima ganancia (dentro de las limitaciones de los algoritmos que se empleen). Sin embargo, tampoco puede evitarse la recepción de señales no deseadas procedentes de la dirección correspondiente a algún lóbulo secundario del diagrama de radiación. Para aprovechar las señales multitrayecto sería necesario detectar y seguir con otros haces dichas componentes.

Notar que en el sistema conmutado se realizan barridos en unos pocos ángulos prefijados, mientras que en el sistema de haz de tiene mucha mayor resolución angular.

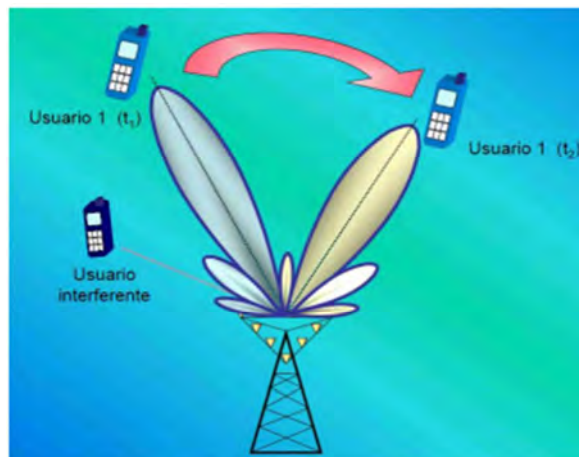


Figura 6- Sistema de haz de seguimiento.

El lóbulo principal se reorienta para dar servicio al usuario 1, en movimiento

4.2.3-Haz adaptativo:

La técnica de haz adaptativo constituye el máximo nivel de “inteligencia” que se consigue hoy en día con un sistema de antenas.

En este caso, la salida de cada elemento de la agrupación se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal (por ejemplo, la relación señal-ruido).

De este modo el diagrama presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto y mínimos (e incluso nulos) de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia. Esta técnica requiere el uso de algoritmos (DoA) para la detección de las señales de llegada e interferentes. Un algoritmo ampliamente utilizado para este propósito es el llamado MUSIC (Multiple Signal Classification)

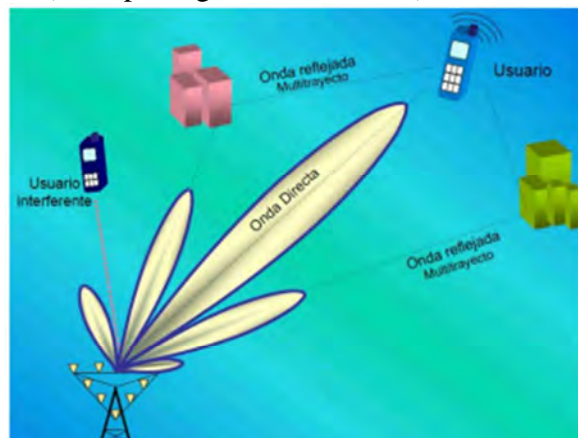


Figura 7. Sistema de haz adaptativo

5-Sistema Robótico:

La palabra *robot* proviene de la palabra checa *robot*, que significa trabajo. El diccionario Webster define un robot como «un dispositivo automático que efectúa funciones ordinariamente asignadas a los seres humanos ». Una definición utilizada por el Robot Institute of América da una descripción más precisa de los robots industriales: « un robot

es un manipulador *reprogramable multifuncional* diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados, a través de movimientos programados para la realización de una diversidad de tareas». Podemos entonces definir a un robot como un manipulador reprogramable de uso general con sensores externos que pueden efectuar diferentes tareas de montaje. Con esta definición, un robot debe poseer inteligencia que se debe normalmente a los algoritmos computacionales asociados con su sistema de control y sensorial.

Los primeros trabajos que condujeron a los robot industriales de hoy día se remontan al periodo que siguió inmediatamente a la Segunda Guerra Mundial.

Durante los años finales de la década de los cuarenta, comenzaron programas de investigación en Oak Ridge y Argonne National Laboratories para desarrollar manipuladores mecánicos controlados de forma remota para manejar materiales radiactivos. Estos sistemas eran del tipo “maestro-esclavo”, diseñados para reproducir fielmente los movimientos de mano y brazos realizados por un operario humano.

Posteriormente se añadió la realimentación de la fuerza acoplando mecánicamente el movimiento de las unidades maestro y esclavo de forma que el operador podía sentir las fuerzas que se desarrollaban entre el manipulador esclavo y su entorno. A mediados de los años cincuenta, el acoplo mecánico se sustituyó por sistemas eléctricos e hidráulicos.

El trabajo sobre manipuladores maestro-esclavo fue seguido rápidamente por sistemas más sofisticados capaces de operaciones repetitivas autónomas. A medida de los años cincuenta, George C. Devol desarrolló un dispositivo que él llamó “dispositivo de transferencia programada articulada”, un manipulador cuya tarea podía ser programada (y, por tanto, cambiada) y que podía seguir una secuencia de pasos de movimientos determinados por las instrucciones en el programa. Posteriores desarrollos de este concepto por Devol y Joseph F. Engelber condujo al primer robot industrial, introducido por Unimation Inc. en 1959. La clave de este dispositivo era el uso de una computadora en conjunción con un manipulador para producir una máquina para ser “enseñada” para realizar una variedad de tareas de forma automática. Al contrario que las máquinas de automatización de uso dedicado, estos robots se podían reprogramar y cambiar de herramienta.

Hoy día vemos la robótica como un campo de trabajo mucho más amplio que el que teníamos simplemente hace unos pocos años, tratando con investigación y desarrollo en una serie de áreas interdisciplinarias, que incluyen cinemática, dinámica, planificación de Sistemas, control, sensores, lenguajes de programación e inteligencia de máquina.

5.1- Cinemática del brazo Robot:

Un manipulador mecánico se puede modelar como una cadena articulada en lazo abierto con algunos cuerpos rígidos (elementos) conectados en series por una articulación de revolución o prismática movida por actuadores.

Un final de la cadena se une a una base o soporte mientras que el otro extremo está libre y unido con una herramienta (el efector final) para manipular objetos o realizar tareas de montaje. El movimiento relativo en las articulaciones resulta en el movimiento de los elementos que posicionan la mano en una orientación deseada. En la mayoría de las aplicaciones de robótica, se está interesado en la descripción espacial del efector final del manipulado con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fija.

La cinemática del brazo robot trata con el estudio analítico de la geometría del movimiento de un brazo robot con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fijo sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento.

Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del desplazamiento espacial del robot como una función del tiempo, en particular de las relaciones entre la posición de las variables de articulación y la posición y orientación del efector final del brazo del robot.

Hay dos problemas fundamentales en la cinemática del robot:

El primer problema se suele conocer como el problema *cinemático directo*, mientras que el segundo es el problema *cinemático inverso*. Como las variables independientes en un robot son las variables de articulación, y una tarea se suele dar en términos del sistema de coordenadas de referencia, se utiliza de manera más frecuente el problema cinemático inverso.

En la figura -8- se muestra un simple diagrama de bloques que indica las relaciones entre estos dos problemas.

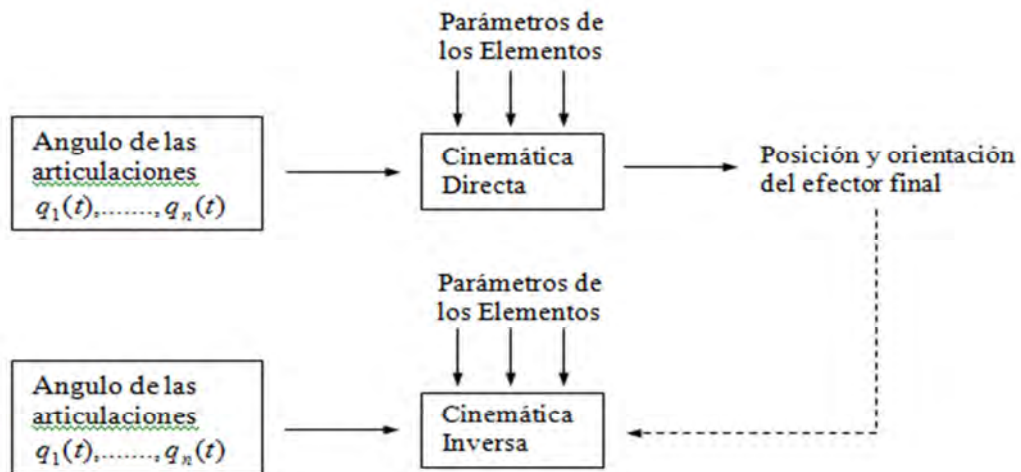


Figura 8-Los problemas cinematicos directos e inversos

Denavit y Hartenberg [1955] propusieron un método sistemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo. Este método utiliza una matriz de transformación homogénea para describir la relación espacial entre dos elementos rígidos adyacentes, reduciéndose el problema cinemática directo a encontrar una matriz de transformación homogénea 4×4 que relacione la localización espacial del extremo del robot con respecto al sistema de coordenadas de su base.

5.2-El Problema Cinemático directo

Consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, 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.

Se utiliza fundamentalmente el álgebra vectorial y matricial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo. Dado que un robot se puede considerar como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante

articulaciones, 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. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación **T** que relacione la posición y orientación del extremos del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta Matriz **T** será función de las coordenadas articulares.

5.2.1-Coordenadas y matrices homogéneas

La representación mediante coordenadas homogéneas de la localización de sólidos en un espacio n-dimensional se realiza a través de coordenadas de un espacio (n+1) dimensional. Es decir, un espacio n-dimensional se encuentra representado en coordenadas homogéneas por (n+1) dimensiones de tal forma que un vector **p**(x,y,z) vendrá representado por **p**(wx,wy,wz,w), donde w tiene un valor arbitrario y representa un factor de escala. De forma general, un vector **p** = **ai** + **bj** + **ck**, donde **i,j** y **k** son los vectores unitarios de los ejes OX, OY y OZ del sistema de referencia OXYZ, se representa en coordenadas homogéneas mediante el vector columna:

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aw \\ bw \\ cw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{bmatrix} \quad 2.1$$

A partir de la definición de las coordenadas homogéneas surge inmediatamente el concepto de matriz de transformación homogénea. Se define como matriz de transformación homogénea **T** a una matriz de dimensión de 4 x 4 que representa la transformación de un vector de coordenadas homogéneas de un sistema de coordenadas a otro.

$$T = \begin{bmatrix} R_{3x3} & p_{3x1} \\ f_{1x3} & w_{1x1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escala} \end{bmatrix} \quad 2.2$$

Se puede considerar que una matriz homogénea se haya compuesta por cuatro submatrices de distinto tamaño: una submatriz $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ que corresponde a una matriz de rotación; una submatriz $\mathbf{p}_{3 \times 1}$ que corresponde al vector de traslación; una submatriz $\mathbf{f}_{1 \times 3}$ que representa una transformación de perspectiva; y una matriz $\mathbf{w}_{1 \times 1}$ que representa un escalado global . En robótica generalmente solo interesará conocer el valor de $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ y de $\mathbf{p}_{3 \times 1}$, considerándose las componentes de $\mathbf{f}_{1 \times 3}$ nulas y las de $\mathbf{w}_{1 \times 1}$ la unidad.

5.2.2- Aplicación de las matrices homogéneas:

Si se considera entonces la transformación de perspectiva nula y el escalado global unitario, la matriz homogénea T resultará de la siguiente forma:

$$T = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{p}_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.3$$

que representa la orientación y posición de un sistema O'UVW rotado y trasladado con respecto al sistema de referencia OXYZ. Esta matriz sirve para conocer las coordenadas (r_x, r_y, r_z) del vector r en el sistema OXYZ a partir de sus coordenadas (r_u, r_v, r_w) en el sistema O'XYZ:

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad 2.4$$

También se puede utilizar para expresar la rotación y traslación de un vector respecto de un sistema de referencia fijo OXYZ, de tal manera que un vector \mathbf{r}_{xyz} rotado según $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ y trasladado según $\mathbf{p}_{3 \times 1}$ se convierte en el vector \mathbf{r}'_{xyz} dado por:

$$\begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ r'_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad 2.5$$

En resumen, una matriz de transformación homogénea se puede aplicar para:

a) Representar la posición y orientación de un sistema girado y trasladado O'UVW con respecto a un sistema fijo de referencia OXYZ, que es lo mismo que representar una rotación y traslación realizada sobre un sistema de referencia.

transformar un vector expresado en coordenadas con respecto a un sistema O'UVW, a su expresión en coordenadas del sistema de referencia OXYZ.

b) Rotar y trasladar un vector con respecto a un sistema de referencia fijo OXYZ.

5.2.3-Traslación

Supongamos que el sistema O'UVW únicamente se encuentra trasladado un vector

$\mathbf{p} = p_x \mathbf{i} + p_y \mathbf{j} + p_z \mathbf{k}$ con respecto al sistema OXYZ. La matriz T entonces corresponderá a una matriz homogénea de traslación:

$$T(\mathbf{p}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.6$$

que es la denominada la matriz básica de **traslación**.

Un vector cualquiera \mathbf{r} , representado en el sistema O'UVW por \mathbf{r}_{uvw} tendrá como componentes del vector con respecto al sistema OXYZ:

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad 2.7$$

5.2.4-Rotación

Supóngase ahora que el sistema O'UVW solo se encuentra rotado con respecto al sistema OXYZ. La submatriz de rotación $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ será la que defina la rotación.

Se pueden definir tres matrices básicas de rotación según se realice ésta según uno de los tres ejes coordenados OX, OY y OZ del sistema de referencia OXYZ:

$$T(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\text{sen} \alpha & 0 \\ 0 & \text{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.8$$

$$T(y, \phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \text{sen} \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen} \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.9$$

$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen} \theta & 0 & 0 \\ \text{sen} \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.10$$

Un vector cualquiera r , representado en el sistema girado $O'UVW$ por r_{uvw} , tendrá como componentes (r_x, r_y, r_z) en el sistema $OXYZ$ las siguientes, luego de aplicar la matriz de rotación.

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad 2.11$$

5.2.5-Traslación junto con rotación:

La principal ventaja de las matrices homogéneas reside en su capacidad de representación conjunta de posición y orientación. Esta representación se realiza utilizando al mismo tiempo la matriz de rotación $R_{3 \times 3}$ y el vector de traslación $p_{3 \times 1}$ en una matriz de transformación homogénea. Es por tanto la aplicación conjunta de lo visto anteriormente.

5.2.6 Rotación seguida de traslación

Para el caso de realizar primero una rotación sobre uno de los ejes coordenados del sistema $OXYZ$ seguida de una traslación, las matrices homogéneas serán las que a continuación se expresan:

Rotación de un ángulo α sobre el eje OX seguido de una traslación de vector p_{xyz} :

$$T((x, \alpha), p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & p_y \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.12$$

Rotación de un ángulo ϕ sobre el eje OY seguido de una traslación de vector \mathbf{p}_{xyz} :

$$T((y, \phi), \mathbf{p}) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \text{sen} \phi & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ -\text{sen} \phi & 0 & \cos \phi & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.13$$

Rotación de un ángulo θ sobre el eje OZ seguido de una traslación de vector \mathbf{p}_{xyz} :

$$T((z, \theta), \mathbf{p}) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen} \theta & 0 & p_x \\ \text{sen} \theta & \cos \theta & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.14$$

5.2.7 Traslación seguida de rotación

Para el caso de realizar primero una traslación seguida de una rotación sobre los ejes coordenados OXYZ las matrices homogéneas resultantes son las siguientes:

$$T(\mathbf{p}, (x, \alpha)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & \cos \alpha & -\text{sen} \alpha & p_y \cos \alpha - p_z \text{sen} \alpha \\ 0 & -\text{sen} \alpha & \cos \alpha & p_y \text{sen} \alpha - p_z \cos \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2.15$$

Traslación de vector \mathbf{p}_{xyz} seguida de rotación de un ángulo ϕ sobre el eje OY

$$T(p, (y, \phi)) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \text{sen} \phi & p_x \cos \phi + p_z \text{sen} \phi \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ -\text{sen} \phi & 0 & \cos \phi & p_x \text{sen} \phi - p_z \cos \phi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{2.16}$$

Traslación de vector \mathbf{p}_{xyz} seguida de rotación de un ángulo θ sobre el eje OZ

$$T(p, (z, \theta)) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen} \theta & 0 & p_x \cos \theta - p_y \text{sen} \theta \\ \text{sen} \theta & \cos \theta & 0 & p_x \text{sen} \theta - p_y \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{2.17}$$

Elementos, articulaciones y sus parámetros

5.2.8 Resolución del problema cinemática directo mediante matrices de transformación homogénea

En general, un robot de n grados de libertad está formado por n eslabones unidos por n articulaciones, de forma que cada par articulación-eslabón constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le puede asociar un sistema de referencia solidario a él y, utilizando las transformaciones homogéneas, es posible representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot. Normalmente, la matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre los sistemas asociados a dos eslabones consecutivos del robot se suele denominar matriz ${}^{i-1}A_i$. Así pues, 0A_1 describe la posición y orientación del sistema de referencia solidario al primer eslabón con respecto al sistema de referencia solidario a la base, 1A_2 describe la posición y orientación del segundo eslabón respecto del primero, etc. Del mismo modo, denominado 0A_k a las matrices resultantes del producto de las matrices ${}^{i-1}A_i$ con i desde 1 hasta k , se puede representar de forma total o parcial la cadena cinemática que forma el robot. Así, por ejemplo, la posición y orientación del sistema solidario con el

segundo eslabón del robot con respecto al sistema de coordenadas de la base se puede expresar mediante la matriz ${}^0 A_2$.

5.2.9 La representación de Denavit-Hertenberg

Para describir la relación traslacional y rotacional entre elementos adyacentes, Denavit-Hertenberg propusieron un método matricial de establecer de forma sistemática un sistema de coordenadas (sistema ligado al cuerpo) para cada elemento de una cadena cinemática articulada.

La representación de Denavit-Hertenberg (D-H) resulta en una matriz de transformación homogénea 4 x 4 que representa cada uno de los sistemas de coordenadas de los elementos en la articulación con respecto al sistema de coordenadas del elemento previo. Así, mediante transformaciones secuenciales, el efector final expresado en las “coordenadas de la mano” se puede transformar y expresar en las “coordenadas de base” que constituyen el sistema inercial de este sistema dinámico.

Se puede establecer para cada elemento en sus ejes de articulación un sistema de coordenadas cartesiano orto normal $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{z}_i)$, donde $i=1,2,\dots,n$ (n = número de grados de libertad), mas el sistema de coordenadas de la base. Como una articulación giratoria tiene solamente un grado de libertad, cada sistema de coordenadas $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{z}_i)$ del brazo de un robot corresponde a la articulación $i+1$ y está fija en el elemento i . Cuando el actuador de la articulación activa la articulación i , el elemento i se moverá con respecto al elemento $i-1$. Como el sistema de coordenadas i -ésimo está fijo en el elemento i , se mueve junto con el elemento i . Así pues, el sistema de coordenadas n -ésimo se mueve con la mano (elemento n). Las coordenadas de la base se definen como el sistema de coordenadas número 0 $(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0, \mathbf{z}_0)$, que también es el sistema de coordenadas inercial del brazo.

Cada sistema de coordenadas se determina y establece sobre la base de tres reglas:

- El eje \mathbf{z}_{i-1} yace a lo largo del eje de la articulación
- El eje \mathbf{x}_i es normal al eje \mathbf{z}_{i-1} y apunta hacia afuera de él
- El eje \mathbf{y}_i completa el sistema de coordenadas dextrógiro según se requiera.

Mediante estas reglas, uno es libre de escoger la localización del sistema de coordenadas 0 en cualquier parte de la base soporte, mientras que el eje z_0 este a lo largo del eje de movimiento de la primera articulación. El último sistema de coordenadas (el n-ésimo) se puede colocar en cualquier parte de la mano, mientras que el eje x_n sea normal al eje z_{n-1} .

La representación de **D-H** de un elemento rígido depende de cuatro parámetros geométricos asociados con cada elemento. Estos cuatro parámetros describen completamente cualquier articulación prismática o de revolución.

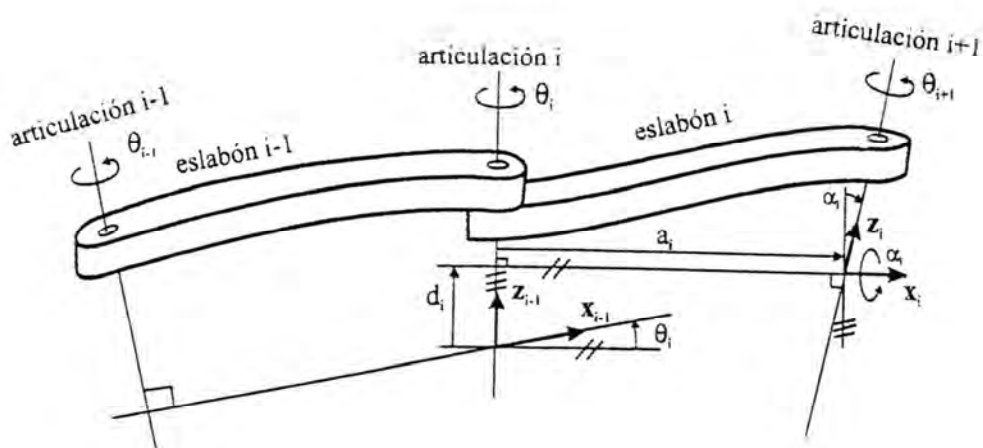


Figura 9--Parámetros D-H para un eslabon giratorio

Refiriéndonos a la figura 9 estos cuatro parámetros se definen como sigue:

θ_i : Es el ángulo de la articulación del eje x_{i-1} al eje x_i respecto del eje z_{i-1} (utilizando la regla de la mano derecha)

d_i : Es la distancia desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)-ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i a lo largo del eje z_{i-1} .

a_i : Es la distancia de separación desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i hasta el origen del sistema i-ésimo a lo largo del eje x_i (o la distancia más corta entre los ejes

z_{i-1} y z_i)

α_i : Es el ángulo de separación del eje z_{i-1} al eje z_i respecto del eje x_i (utilizando la regla de la mano derecha)

Para una articulación giratoria d_i , a_i y α_i son los parámetros de articulación y permanecen constantes para un robot, mientras que θ_i es la variable articulación que cambia cuando el elemento i se mueve (o gira) con respecto al elemento $i-1$.

Para una articulación prismática θ_i , a_i y α_i son los parámetros de la articulación y permanecen constantes para un robot, mientras que d_i es la variable de la articulación.

Con las tres reglas básicas anteriores para establecer un sistema de coordenadas orto normal en cada elemento y la interpretación geométrica de los parámetros de la articulación y del elemento, se presenta el siguiente algoritmo.

Es un procedimiento para establecer un sistema de coordenadas orto normal *consistente* para un robot.

5.2.10- Algoritmo de Denavit – Hartenberg para la obtención del modelo Cinemático Directo

D-H 1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.

D-H 2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n.

D-H 3. Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

D-H 4. Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.

D-H 5. Situar el origen del sistema de la base $\{S_o\}$ en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con z_0

D-H 6. Para i de 1 a $n-1$, situar el sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuesen paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación $i+1$.

D-H 7. Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .

D-H 8. Situar y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .

D-H 9. Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la Dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .

D-H 10. Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} y x_i queden paralelos.

D-H 11. Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de z_{i-1} , que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.

D-H 12. Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo S_{i-1} para que su origen coincidiese con S_i .

D-H 13. Obtener α_i como el ángulo que habría que girar entorno a x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}), para que el nuevo s_{i-1} coincidiese totalmente con S_i .

D-H 14. Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}A_i$ definidas en (1.7).

D-H 15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0A_1, {}^1A_2 \dots {}^{n-1}A_n$.

D-H 16. La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.

5.3 -El problema cinemático inverso

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot $q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial.

Así cómo es posible abordar el problema cinemático directo de una manera sistemática a partir de la utilización de matrices de transformación homogéneas, e independientes de la configuración del robot, no ocurre lo mismo con el problema cinemático inverso, siendo el procedimiento de obtención de las ecuaciones fuertemente dependiente de la configuración del robot.

Se han desarrollado algunos procedimientos genéricos susceptibles de ser programados, de modo que una computadora pueda, a partir del conocimiento de la cinemática del robot obtener la n-upla de valores articulares que posicionan y orientan su extremo. El inconveniente de estos procedimientos es que se trata de métodos numéricos iterativos, cuya velocidad de convergencia e incluso su convergencia en sí no está siempre garantizada.

A la hora de resolver el problema cinemático inverso es mucho más adecuado encontrar una solución cerrada. Esto es, encontrar una relación matemática explícita de la forma:

$$q_k = f_k(x, y, z, \alpha, \phi, \theta) \quad 2.18$$

$$k = 1 \dots n \quad (n = \text{grados de libertad})$$

Este tipo de solución presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

1. En muchas aplicaciones, el problema cinemático inverso ha de resolverse en tiempo real (por ejemplo, en el seguimiento de una determinada trayectoria). Una solución de tipo iterativo no garantiza tener la solución en el momento adecuado.

2. Al contrario de lo que ocurría en el problema cinemático directo, con cierta frecuencia la solución del problema cinemático inverso no es única; existiendo diferentes n-uplas $[q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ posicionan y orientan el extremo del robot del mismo modo. En estos casos una solución cerrada permite incluir determinada reglas o restricciones que se aseguren que la solución obtenida sea la más adecuada de entre las posibles (por ejemplo, límites en los recorridos articulares).

No obstante, a pesar de las dificultades comentadas, la mayor parte de los robots poseen cinemáticas relativamente simples que facilitan en cierta medida la resolución de su problema cinemático inverso.

Si se consideran sólo los tres primeros grados de libertad de muchos robots, estos tienen una estructura planar, esto es, los tres primeros elementos quedan contenidos en un plano. Esta circunstancia facilita la resolución del problema.

Asimismo, en muchos robots se da la circunstancia de que los tres grados de libertad últimos, dedicados fundamentalmente a orientar el extremo del robot, corresponden a giros sobre ejes que se cortan en un punto.

Los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar el robot.

Para ello utilizan relaciones trigonométricas y geométricas sobre los elementos del robot.

Se suele recurrir a la resolución de triángulos formados por los elementos y articulaciones del robot.

5.3.1 Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos

Este procedimiento es adecuado para robots de pocos grados de libertad o para el caso de que se consideren sólo los primeros grados de libertad, dedicados a posicionar el extremo.

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

Para mostrar el procedimiento a seguir se va a aplicar el método a la resolución del problema cinemático inverso de un robot de 3 GDL (grados de libertad) de rotación. La figura --- muestra la configuración del robot.

El dato de partida son las coordenadas (p_x , p_y , p_z) referidas a $\{S_o\}$ en las que se quiere posicionar su extremo.

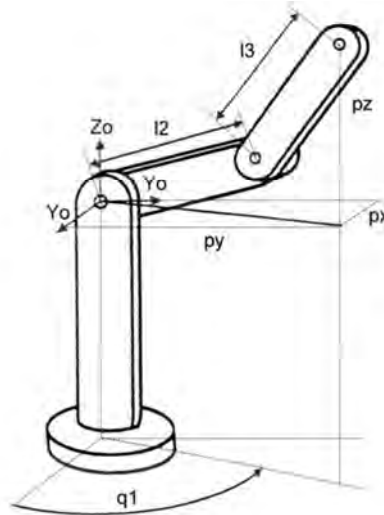


Figura10--Robot articular

Como se ve, este robot posee una estructura planar, quedando este plano definido por el ángulo de la primera variable articular q_1 .

El valor de q_1 se obtiene inmediatamente como:

$$q_1 = \arctg\left(\frac{p_y}{p_x}\right) \quad 2.19$$

Considerando ahora únicamente los elementos 2 y 3 que están situados en un plano (fig), y utilizando el teorema del coseno, se tendrá:

$$\left. \begin{aligned} r^2 &= p_x^2 + p_y^2 \\ r^2 + p_z^2 &= l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3 \cos q_3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \quad 2.20$$

Estas expresiones permiten obtener q_3 en función del vector de posición del extremo \mathbf{p} .

No obstante, y por motivos de ventajas computacionales, es más conveniente utilizar la expresión de la arco tangente en lugar del arco seno.

Puesto que:

$$\text{sen } q_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3} \quad 2.21$$

se tendría que

$$q_3 = \arctg\left(\frac{\pm\sqrt{1 - \cos^2 q_3}}{\cos q_3}\right) \quad 2.22$$

$$\text{con } \cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3}$$

Como se ve existen 2 posibles soluciones para q_3 , según se tomo el signo positivo o el signo negativo en la raíz. Estas corresponden a las configuraciones de codo arriba (figura 11.a) y codo abajo (figura 11.b) del robot.

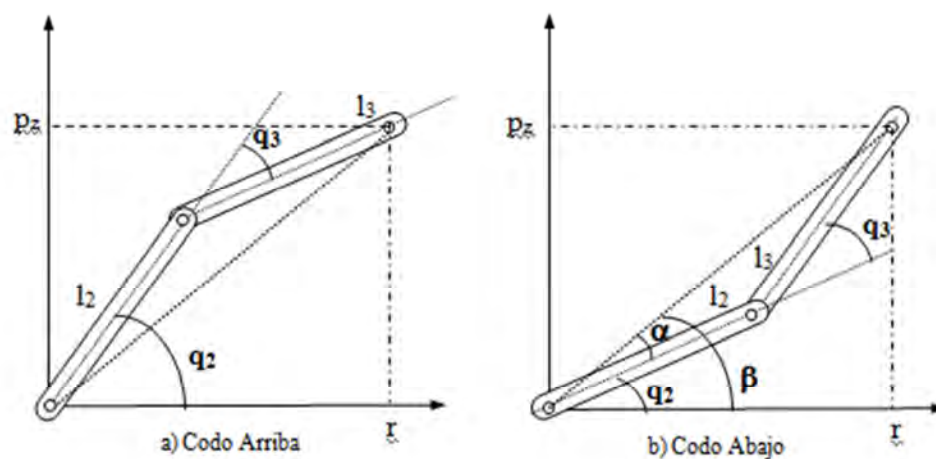


Figura.11-Elementos 2 y 3 del Robot de la figura 10 contenidos en un plano ,a)configuración codo abajo, b)configuración codo arriba

El cálculo de q_2 se hace a partir de la diferencia entre β y α :

$$q_2 = \beta - \alpha \quad 2.23$$

siendo

$$\beta = \arctg\left(\frac{p_z}{r}\right) = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm\sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right) \quad 2.24$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3}\right)$$

luego finalmente :

$$q_3 = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm\sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right) - \arctg\left(\frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3}\right) \quad 2.25$$

De nuevo los dos posibles valores según la elección del signo dan lugar a dos valores diferentes de q_2 corresponden a las configuraciones codo arriba y abajo.

Las expresiones [2.19] [2.22] y [2.25] resuelven el problema cinemático inverso para el robot de 3 grados de libertad considerado.

5.4-Planificación de Trayectorias de un manipulador

5.4.1-Introducción

Los esquemas de la planificación de trayectorias generalmente “interpolan” o “aproximan” el camino deseado mediante una clase de funciones polinomiales y genera una secuencia de “puntos de consigna para control” a lo largo del tiempo para controlar al manipulador desde su posición inicial hasta su destino.

Los puntos extremos del camino se pueden especificar o bien en coordenadas de la articulación o bien en coordenadas cartesianas. No obstante, se suelen especificar en coordenadas cartesianas, porque es más fácil visualizar las configuraciones correctas del efector final en dicha coordenadas que en coordenadas de articulación. Más aún, las coordenadas de articulación no son adecuadas como un sistema de coordenadas de trabajo porque los ejes de las articulaciones de la mayoría de los manipuladores no son ortogonales y no separan posición de orientación. Si se desean las coordenadas de articulación en estas posiciones, entonces se puede llamar a la rutina de la solución de la cinemática inversa para realizar las conversiones necesarias.

Con bastante frecuencia, existen una serie de trayectorias posibles entre los dos puntos extremos dados.

Por ejemplo, se puede necesitar mover el manipulador a lo largo de un camino en línea recta que conecta los puntos extremos (trayectoria en línea recta); o mover el manipulador a lo largo de una trayectoria polinomial uniforme que satisface las ligaduras de posición y orientación en ambos puntos extremos (trayectoria de articulación interpolada).

Un método sistemático para abordar el problema de planificación trayectoria es considerar al planificador de trayectorias como una caja negra, tal como se muestra en la figura 12

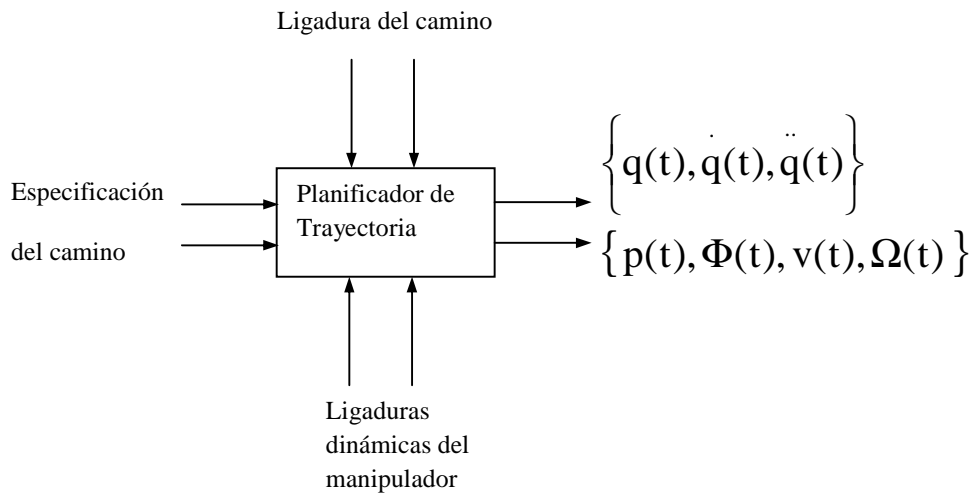


Figura 12- Diagrama de bloques del planificador de trayectoria

El planificador de trayectoria acepta variables de entrada que indican las ligaduras del camino y saca una secuencia de configuraciones intermedia a lo largo del tiempo de la mando del manipulador (posición, orientación, velocidad y aceleración), expresadas bien en coordenadas de articulación o cartesianas, desde la posición inicial hasta la final. Se suelen utilizar dos métodos para planificar las trayectorias del manipulador.

El primero requiere que el usuario especifique explícitamente un conjunto de ligaduras (es decir, continuidad y regularidad) en la posición, velocidad y aceleración de la coordenadas generalizadas del manipulador en posiciones seleccionadas (llamados puntos nudos o puntos de interpolación) a lo largo de la trayectoria. El planificador de trayectorias entonces selecciona una trayectoria parametrizada de una clase de función (normalmente la clase de funciones polinomiales de grado n o menor, para algún n , en el intervalo de tiempo $[t_0, t_f]$) que “interpola” y satisface las ligaduras en los puntos de interpolación.

En el segundo método, el usuario explícitamente especifica el camino que el manipulador debe seguir mediante una función analítica, tal como un camino en línea recta en coordenadas cartesianas, y el planificador de trayectoria determina una trayectoria deseada o bien en coordenada de articulación o en cartesianas que aproximan el camino.

En el primer método, la especificación de ligaduras y la planificación de la trayectoria del manipulador se realiza en coordenadas de la articulación. Como no se imponen ligaduras a la mando del manipulador, le es difícil al usuario seguir el camino que dicha mano recorre. Por tanto, la mano del manipulador puede chocar con obstáculos sin ningún aviso previo,

En el segundo método, las ligaduras de camino se especifican en coordenadas cartesianas, y los actuadores de las articulaciones se controlan en coordenadas de articulación. De manera que para encontrar una trayectoria que aproxime el camino deseado estrechamente, se deben convertir las ligaduras del camino cartesiano a ligaduras del camino de las articulaciones mediante algunas aproximaciones funcionales y a continuación encontrar una trayectoria parametrizada que satisfaga las ligaduras del camino de articulación.

5.4.2-Consideraciones generales sobre la planificación de trayectoria

La planificación de trayectoria se puede realizar o bien en el espacio de las variables de articulación o bien en el espacio cartesiano. Para la planificación de las variables de articulación se planifica la historia temporal de todas las variables de articulación y de sus dos primeras derivadas respecto al tiempo para escribir el movimiento deseado del manipulador.

Para la planificación en el espacio cartesiano se define la historia temporal de la posición de la mano del manipulador, su velocidad y aceleraciones de la articulación a partir de la información de la mano.

La planificación en el espacio de la variables de articulación tiene tres ventajas: 1) la trayectoria se planifica directamente en términos de las variables controladas durante el movimiento; 2) la planificación de trayectorias se puede hacer casi en tiempo real; 3) las trayectorias de la articulación son más fáciles de planificar. La desventaja asociada es la dificultad en determinar las posiciones de los diversos elementos de la mano durante el movimiento, una tarea que se suele necesitar para garantizar la evitación de obstáculos a lo largo de la trayectoria.

En general, el algoritmo básico para generar puntos de consignas de la trayectoria de la articulación es bastante simple:

$$t = t_0$$

bucle: Esperar hasta el próximo intervalo de control;

$$t = t + \Delta t;$$

$\mathbf{h}(t)$ = donde debería estar en el instante t la posición de la articulación del manipulador;

Si $t = t_f$, entonces salir;

Ir a *bucle*;

Donde Δt es el periodo de muestreo de control para el manipulador.

Del algoritmo anterior vemos que el cálculo consiste en una función de trayectoria (o planificación de trayectoria) $\mathbf{h}(t)$ que se modifica en cada intervalo de control. Se imponen cuatro ligaduras sobre la trayectoria planificada. En primer lugar, los puntos de consigna de la trayectoria se deben calcular rápidamente de forma no iterativa. En segundo lugar se deben determinar y especificar posiciones intermedias de forma determinista. En tercer lugar se debe garantizar la continuidad de la posición de la articulación y de sus dos primeras derivadas respecto del tiempo de manera que la trayectoria planificada sea suave.

Finalmente se deben minimizar movimientos extraños, tales como desplazamientos erráticos.

Las cuatro ligaduras anteriores sobre la trayectoria planificada se satisfarán si la historia temporal de las variables de articulación se pueden especificar mediante secuencias polinomiales. Si la trayectoria de la articulación para una articulación dada (por ejemplo la articulación i) utiliza p polinomios, entonces se necesitan $3(p + 1)$ coeficientes para especificar las condiciones inicial y terminal (posición, velocidad y aceleración) y garantizar la continuidad de estas variables en las fronteras del polinomio. En general se

pueden especificar dos posiciones intermedias: una cerca de la posición inicial para la salida y la otra cerca de la posición para la llegada, lo cual garantizará direcciones seguras de partida y llegada, además de un mejor movimiento controlado.

Generalmente, la planificación del camino cartesiano se puede conseguir en dos pasos coherentes:

- 1) generación o selección de un conjunto de puntos nudos o puntos de interpolación en coordenadas cartesianas de acuerdo con algunas reglas a lo largo del camino cartesiano y, a continuación,
- 2) especificación de una clase de funciones para enlazar estos puntos nudos de acuerdo con algún criterio.

Para el último paso hay dos métodos principales para conseguirlo:

- 1) El *método orientado al espacio cartesiano* en el cual la mayoría de los cálculos y optimización se efectúa en coordenadas cartesianas.
- 2) El *método orientado al espacio de la articulación* en el cual se utiliza una función polinomial de bajo orden en el espacio de las variables de la articulación para aproximar el segmento de camino acotado por dos puntos nudos adyacentes sobre el camino en línea recta y el control resultante se efectúa a nivel de la articulación.

Se utiliza ampliamente el método orientado al espacio de la articulación, que convierte los puntos nudos cartesianos en sus correspondientes coordenadas de articulación y utiliza polinomios de bajo grado de para interpolar estos puntos.

Este método tiene la ventaja de ser computacionalmente más rápido y es mucho más fácil tratar con las ligaduras dinámicas del manipulador.

5.4.3-Trayectorias de articulación interpolada

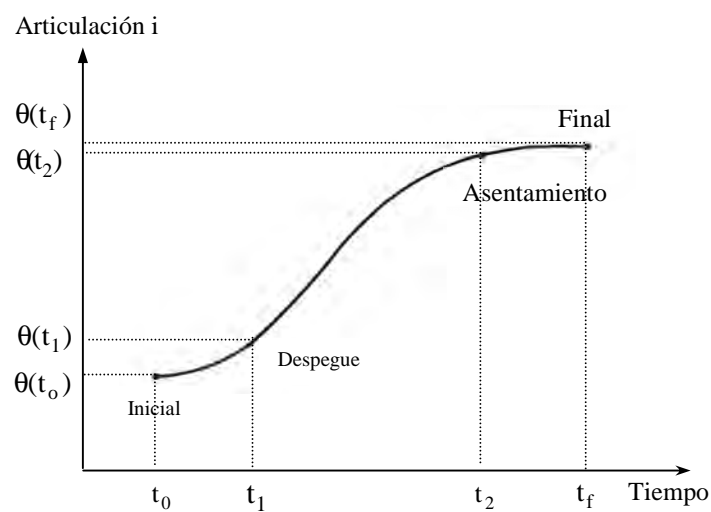


Figura 13- Condiciones de posición para una trayectoria de articulación

Para controlar un manipulador se requiere que la configuración de su brazo tanto en la posición inicial como final se especifique antes de que se planifique la trayectoria del movimiento. En la planificación de una trayectoria de articulación interpolada para un robot, Paul [1972] demostró que son de internas las siguientes consideraciones:

- 1) Cuando se toma un objeto, el movimiento de la mano debe dirigirse hacia fuera del objeto; en otro caso, la mano puede golpear la superficie soporte del objeto.
- 2) Si especificamos una posición de partida (punto de despegue) a lo largo del vector normal a la superficie desde la posición inicial y si queremos que la mano (es decir, el origen del sistema de coordenadas de la mano) pase a través de esta posición, entonces tenemos un movimiento partida admisible. Si especificamos más aún el

tiempo necesitado para alcanzar esta posición, podríamos controlar la velocidad con la cual se despega el objeto.

- 3) El mismo conjunto de requisitos de despegue para el movimiento del brazo es también válido cuando nos acercamos a la posición final de manera que se pueda obtener y controlar la dirección de aproximación correcta.
- 4) De lo anterior, tenemos cuatro posiciones para cada movimiento del brazo: inicial, despegue, asentamiento y final. (figura 13)

- a) Ligaduras de posición: Posición Inicial: serán la velocidad y aceleración (normalmente nula)
- b) Posición de despegue: movimiento continuo a puntos intermedios
- c) Posición de asentamiento: lo mismo que para la posición de despegue.
- d) Posición final: serán la velocidad y aceleración (normalmente nulas)

6) Además de estas ligaduras, los extremos de todas las trayectorias de la articulación deben estar dentro de sus límites físicos y geométricos.

7) Consideraciones temporales:

- a) Segmentos de trayectorias inicial y final: el tiempo se basa sobre la velocidad de aproximación de la mando a y desde la superficie y es un valor fijo que depende de las características de los motores de la articulación.
- b) Puntos intermedios o segmentos a mitad de trayectorias: el tiempo se basa en la velocidad y aceleración máxima de las articulaciones, y se utiliza para normalizar el máximo de estos tiempos (es decir, el tiempo máximo de la articulación más lenta).

Basándose en estas ligaduras, estamos interesados en seleccionar una clase de funciones polinomiales de grado n o menor tal que la posición, velocidad y aceleración de la articulación requerida en estos puntos nudos (inicial, despegue, asentamiento y final) se satisfacen y la posición, velocidad y aceleración de la articulación son continuas, sobre

todo el intervalo de tiempo $[t_0, t_f]$. Un método es especificar un polinomio de séptimo grado para cada articulación i ,

$$q_i(t) = a_7 t^7 + a_6 t^6 + a_5 t^5 + a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

3.1

donde los coeficientes incógnitas a_j se pueden determinar a partir de las posiciones conocidas y de las condiciones de continuidad. Sin embargo, la utilización de un polinomio de grado elevado para interpolar los puntos nudos dados puede no ser satisfactoria. Es difícil encontrar sus extremos y tienden a tener movimientos extraños. Un método alternativo es dividir la trayectoria completa de la articulación en algunos segmentos de manera que se puedan utilizar diferentes polinomios de interpolación para cada uno de ellos. Existen diferentes maneras de dividir la trayectoria de la articulación, y cada método posee propiedades diferentes.

5.4.4-Tipos de Trayectorias

5.4.4.1-Trayectoria 4-3-4

Cada articulación tiene los siguientes tres segmentos de trayectorias: el primer segmento es un polinomio de cuarto grado que especifica la trayectoria desde la posición inicial hasta la de despegue.

El segundo segmento de trayectoria (o segundo segmento medio de la trayectoria) es un polinomio de tercer grado que especifica la trayectoria desde la posición de despegue hasta la posición de asentamiento.

El último segmento de trayectoria es un polinomio de cuarto grado que especifica la trayectoria desde la posición de asentamiento hasta la posición final.

5.4.4.2-Trayectoria 3-5-3

Lo mismo que la trayectoria 4-3-4 pero utiliza polinomios de grados diferentes para cada segmento: un polinomio de tercer grado para el primer segmento, un polinomio de quinto grado para el segundo segmento, y un polinomio de tercer grado para el último segmento.

5.4.4.3-Trayectoria con 5 cúbicas

Se utilizan funciones “splines” cúbicas de polinomios de tercer grado para los cinco segmentos de trayectorias.

Cada una de estas trayectorias es válida para cada trayectoria de articulación; esto es, cada trayectoria de articulación se divide o en una trayectoria de tres segmentos o de cinco segmentos;

El número de polinomios para una trayectoria 4-3-4 de un manipulador con N articulaciones tendrá N trayectorias de articulación o $N \times 3 = 3N$ segmentos de trayectoria y $7N$ coeficientes de polinomios a evaluar mas los $3N$ segmentos de trayectorias de los extremos.

5.5.-Espacio de Trabajo

5.5.1 Definición e importancia

Es el conjunto de puntos donde puede situarse el elemento terminal del robot y corresponde al volumen encerrado por las superficies que determinan los puntos a los que accede el manipulador con su estructura totalmente extendida.

Normalmente viene representado por dos secciones perpendiculares elegidas en función del tipo de robot.

Es necesario fundamentalmente para conocer el entorno de trabajo del robot .

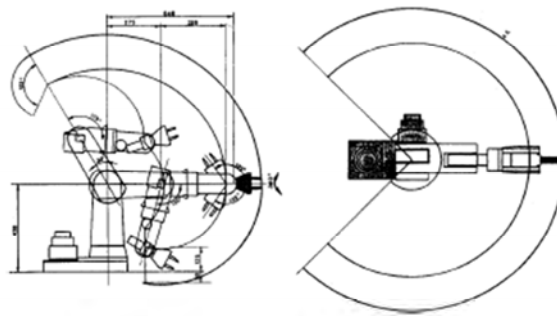


Figura 14- Espacio de Trabajo

6- Algoritmo Taboo.

La búsqueda tabú toma de la Inteligencia Artificial el concepto de memoria y lo implementa mediante estructuras simples con el objetivo de dirigir la búsqueda teniendo en cuenta la historia de ésta, es decir, el procedimiento trata de extraer información de lo sucedido y actuar en consecuencia. En este sentido puede decirse que hay un cierto aprendizaje y que la búsqueda es inteligente. La búsqueda tabú permite moverse a una solución aunque no sea tan buena como la actual, de modo que se pueda escapar de óptimos locales y continuar estratégicamente la búsqueda de soluciones aún mejores

6.1- Metodología

La búsqueda tabú procede como cualquier algoritmo de búsqueda: Dada una solución x se define un entorno o vecindario $N(x)$, se evalúa y se “mueve” a una mejor solución pero, en lugar de considerar todo el entorno o vecindario la búsqueda tabú define el entorno reducido $N^*(x)$ como aquellas soluciones disponibles (no tabú) del entorno de x .

6.2- Características de la búsqueda tabú (Uso de la memoria)

La búsqueda tabú se caracteriza porque utiliza una estrategia basada en el uso de estructuras de memoria para escapar de los óptimos locales, en los que se puede caer al “moverse” de una solución a otra por el espacio de soluciones. Las estructuras de memoria usadas son de dos tipos:

Explícita.- Cuando la solución se almacena de manera completa, se registran soluciones de elite visitadas durante la búsqueda. por ejemplo $\{x_1, x_5, x_7\}$ donde las x_i son soluciones ocurridas en iteraciones anteriores. Una extensión de esta memoria explícita registra vecindarios altamente atractivos pero inexplorados de las soluciones de elite.

De atributos.- Se guarda información acerca de ciertos atributos de las soluciones pasadas, para propósitos de orientación de la búsqueda. Este tipo de memoria registra información acerca de los atributos o características que cambian al moverse de una solución a otra.

7-Wifi.

El **wifi** es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con wifi (como una computadora personal, un televisor inteligente, una videoconsola, un teléfono inteligente o un reproductor de música) pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica.

La familia de protocolos 802.11 son la base de WiFi.

- 802.11a permite hasta 54 Mbps en las bandas no licenciada a 5 GHz.
- 802.11b permite hasta 11 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz.
- 802.11g permite hasta 54 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz
- 802.11n permite hasta 600 Mbps en las bandas no licenciadas a 2.4 GHz y 5 GHz.

Capa Mac

WiFi basado en 802.11 utiliza CSMA-Carrier Sense Multiple Access- (Acceso Múltiple por Detección de Portadora) para evitar las colisiones de transmisión. Antes de que un nodo pueda transmitir debe escuchar en el canal por las posibles transmisiones de otros radios. El nodo sólo puede transmitir cuando el canal está desocupado.

Otras tecnologías (tales como WiMAX, Nstreme, y AirMAX), usan en cambio TDMA-Time Division Multiple Access- (Acceso Múltiple por División de Tiempo) . TDMA divide el acceso a un canal dado en múltiples ranuras de tiempo, y asigna ranuras de tiempo a cada nodo de la red. Cada nodo transmite sólo en su ranura de tiempo y de esta manera se evitan las colisiones.

Capa uno

Los dispositivos WiFi deben escoger ciertos parámetros antes de poder establecer la comunicación. Estos parámetros deben configurarse adecuadamente para poder establecer conectividad “a nivel de la capa uno”.

- Canal de radio • Modo de operación del radio • Nombre de la red • Tipo de seguridad

Pila de protocolos TCP/IP	
5	Aplicación
4	Transporte
3	Internet
2	Enlace de datos
1	Física

Figura 15-Pila de protocolos TCP/Ip

Canales en 802.11

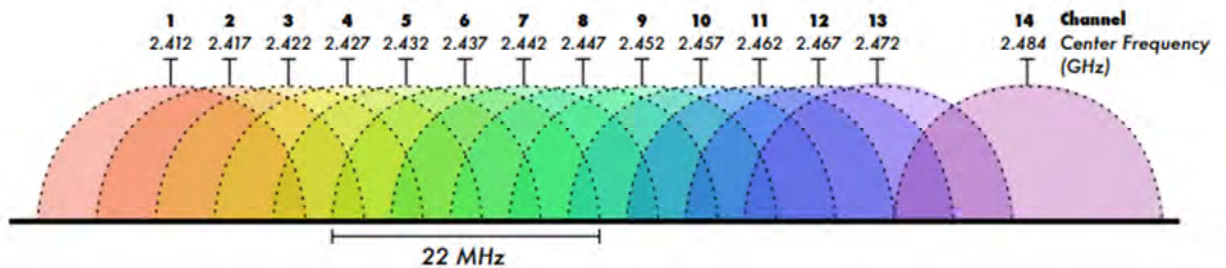


Figura 16-Canales Wifi

Los dispositivos WiFi deben usar el mismo canal para poder comunicarse. Ellos envían y reciben en el mismo canal, por lo que sólo un dispositivo puede transmitir en un instante determinado. Este modalidad de transmisión se llama halfduplex.

WiFi ofrece una conexión local. No provee la funcionalidad de enrutamiento (encaminamiento, ruteo), la cual es suministrada por los protocolos de las capas superiores.

Pila de protocolos TCP/IP	
5	Aplicación
4	Transporte
3	Internet
2	Enlace de datos
1	Física

} WiFi

Figura 17-Capas donde Trabaja wifi

8-Parte Practica:

8.1-Sistema Completo:

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 electro- 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.

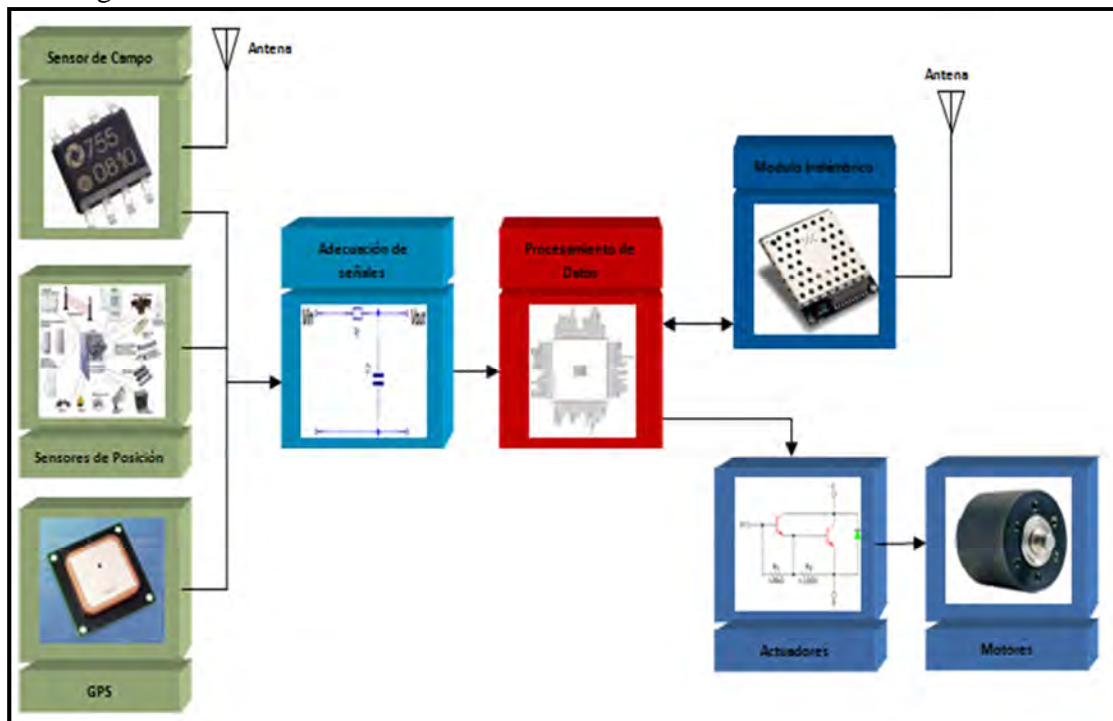


Figura 1-Sistema Completo

8.2-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.

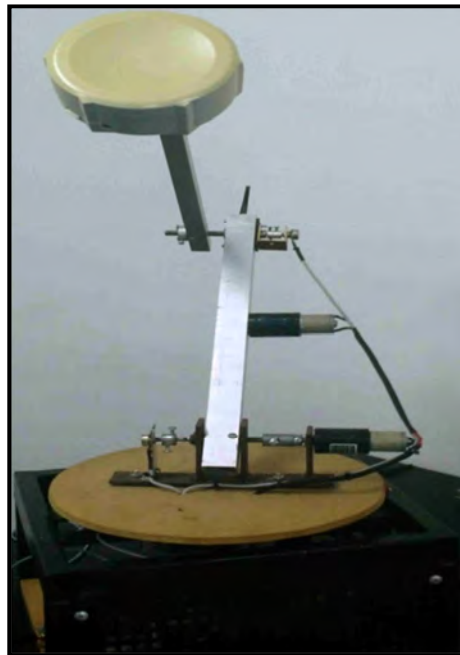


Figura 2- Brazo Robotico

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 codos que presenta un movimiento de aproximadamente 270° . En la figura 3 se puede observar las dimensiones y referencias antes mencionadas.

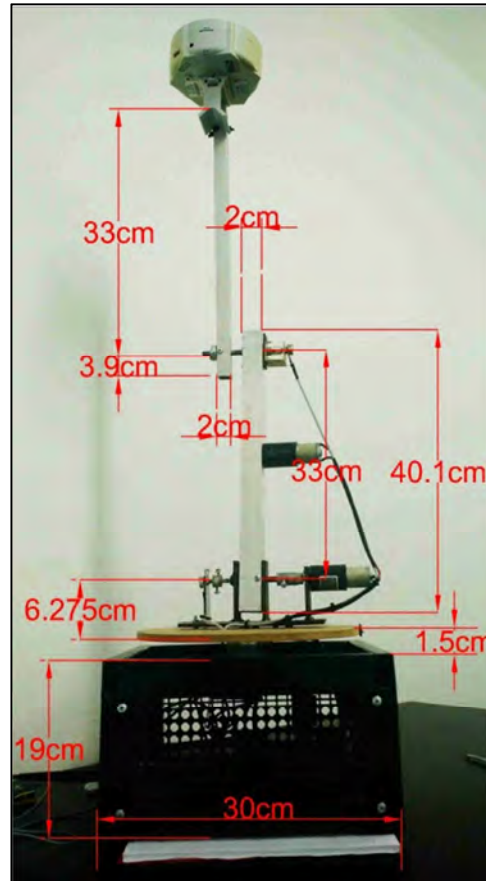


Figura 3-Dimensiones

8.2.1-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.

En la siguiente figura 4 se observa el diagrama de elementos del sistema y en la figura 5 se puede observar el espacio de trabajo en 3D.

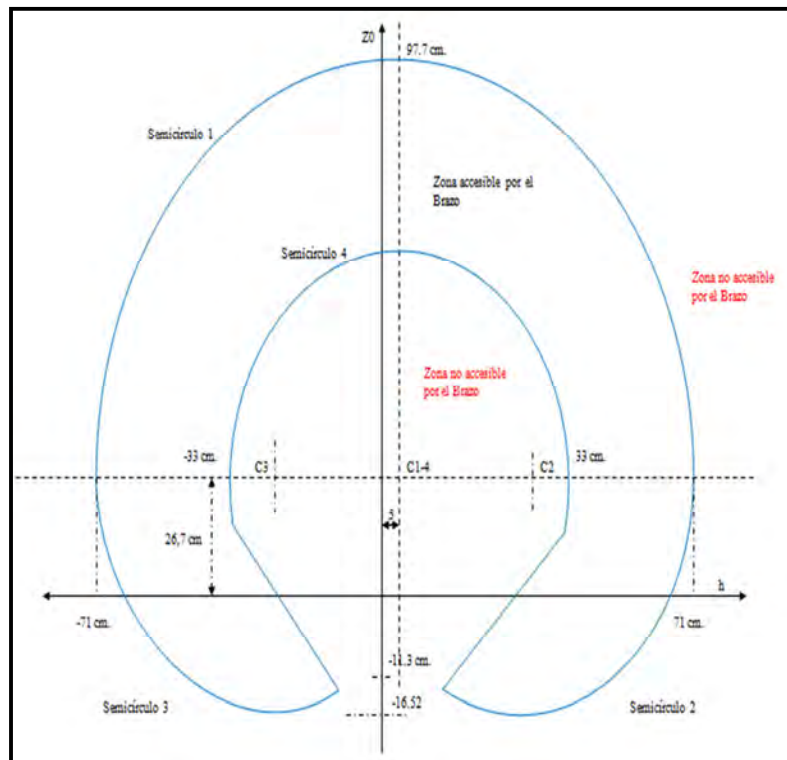


Figura 4-Espacio de Trabajo

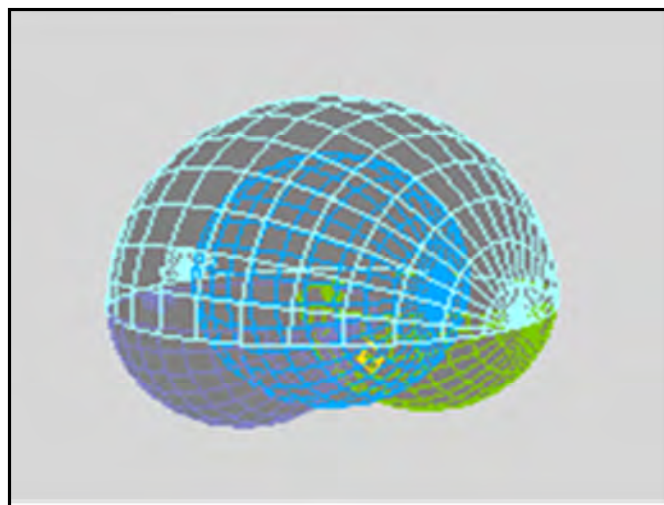


Figura 5-Espacio de Trabajo 3D

8.3-Sensores:

Los sensores empleados se pueden dividir según la siguiente categoría:

- De posición.
- De inclinación.
- De localización.
- De Intensidad de campo electro-magnético.

8.3.1-Sensores de Posición

Los sensores empleados para medir el movimiento de cada articulación es un sensor del tipo potencio-métrico, el cual varía su resistividad según el movimiento de su eje, como se puede observar en la fig. 6.



Figura 6-Sensores Potencio-métricos

8.3.2-Sensores de Inclinación

Además de los sensores de posición, se opto 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 modulo empleado es MMA7660 el cual es un acelerómetro de tres ejes, con salidas de datos mediante comunicación I²C, el cual se puede observar en la siguiente figura 7[4].

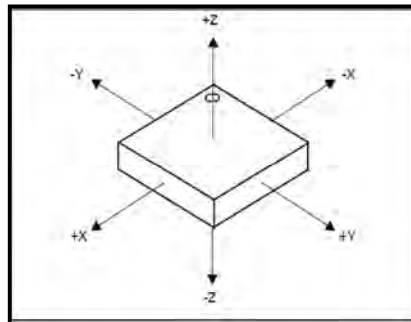


Figura 7-Inclinometro

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

8.3.3-Sensores de Localización

Para poder conocer la ubicación exacta del sistema, se emplea un modulo GPS para obtener su ubicación, así como también la hora y el día. Esto permite referenciar cada sistema a la base y con ello referenciar el ángulo de arribo al sistema o la base.

El modulo empleado es el smart GPS antenna 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 micro controlador es de 4800 baudios.

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

El mismo se puede observar en la siguiente figura 9[5].

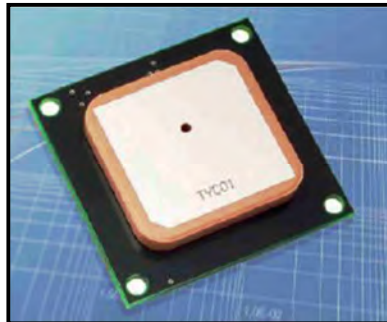


Figura 9-Modulo Gps

8.3.4-Sensores de Intensidad de Campo Electro-Magnético

Para poder medir la intensidad de campo electro- magnético se emplea el modulo 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 de las señales wifi. En la siguiente fig. 11[6] se puede observar el modulo empleado.

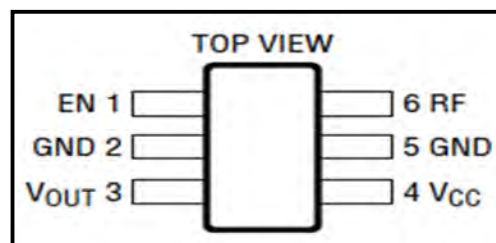


Figura 11- LT5534 Medidor de Campo

El sensor proporciona una señal de salida en voltaje proporcional a la intensidad de campo en dbm según la frecuencia como se puede observar en la figura 12[6].

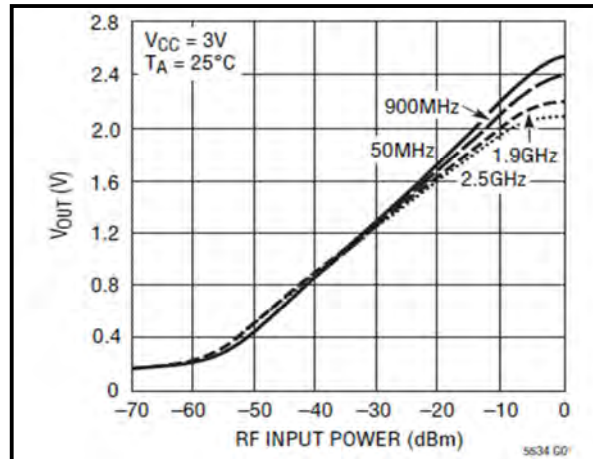


Figura 12-Señal de Salida

8.4-Adecuación de Señales

Para que el sistema de procesamiento pueda leer correctamente los datos provenientes de los distintos sensores, los mismos deben ser configurados eléctricamente para su correcto funcionamiento y realizar un filtrado de las señales para eliminar el ruido y/o disminuir el tiempo de cambio de las mismas. Como se puede observar en los siguientes ítems.

8.4.1 Sensores de Posición

Para este tipo de sensores potenciométricos se emplea el siguiente circuito que se puede observar en la siguiente figura 13.

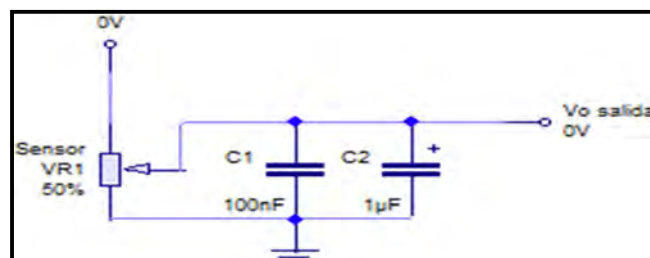


Figura 13-Circuito Sensor de Posición

8.4.2-Sensores de Inclinación:

Para este tipo de sensor se implemento el siguiente circuito de la figura 14[4].

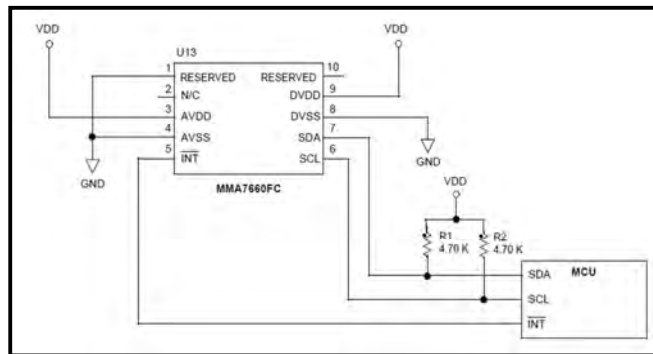


Figura 14-Circuito Sensor de Inclinación

8.4.3 Sensores de Localización:

El circuito eléctrico que se implemento para este tipo de sensor se puede observar en la figura 15[5].

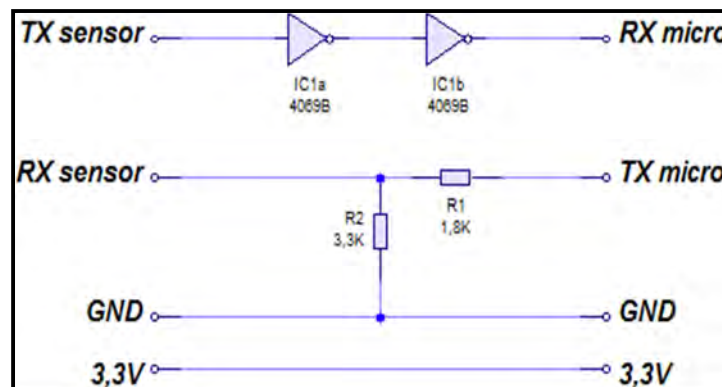


Figura 15-Circuito Sensor GPS

8.4.4-Sensores de Intensidad de Campo

Para el correcto funcionamiento del modulo sensor de intensidad de campo se debió implementar el siguiente circuito eléctrico, como puede apreciarse en la siguiente figura 16[6].

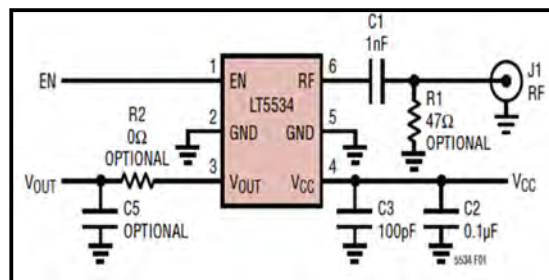


Figura 16-Circuito Sensor de Intensidad de Campo

8.5-Procesamiento de Datos

El sistema de procesamiento de datos está conformado entorno a un micro controlador de 8 bits de Microchip, de la gama media el PIC18F8722, el cual se selecciono 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 mismo se puede observar en la figura 17[7].

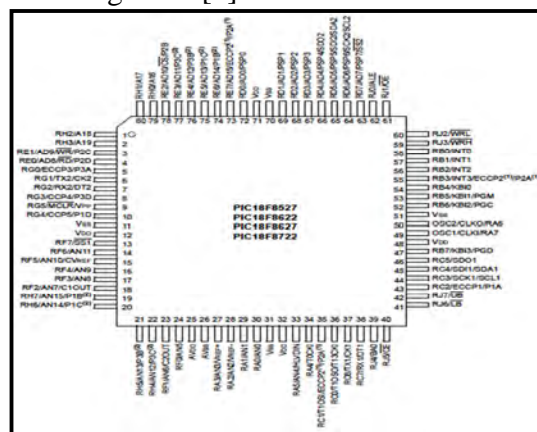


Figura 17-Microcontrolador

El sistema debe realizar múltiples tareas como se ilustran en la figura 18[1].

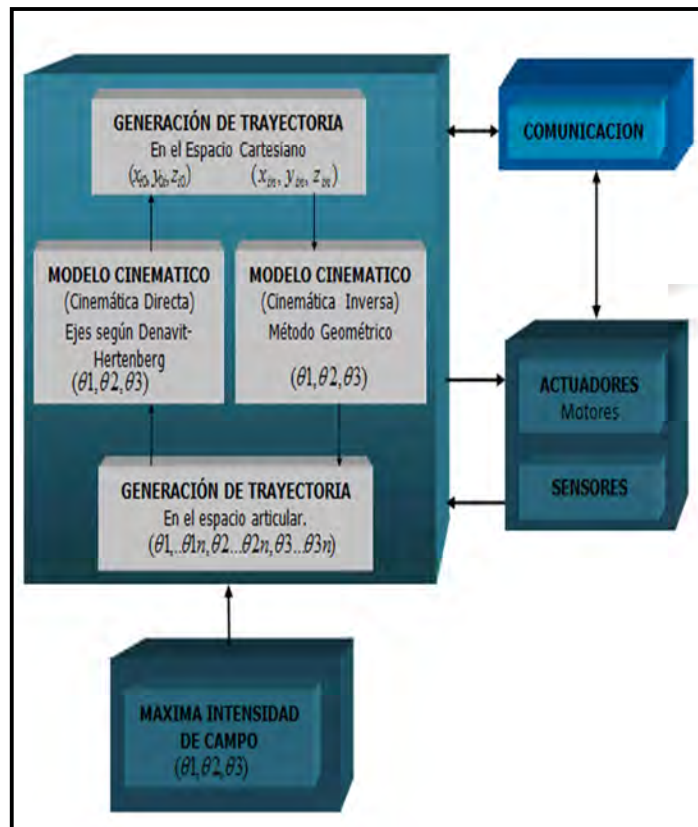
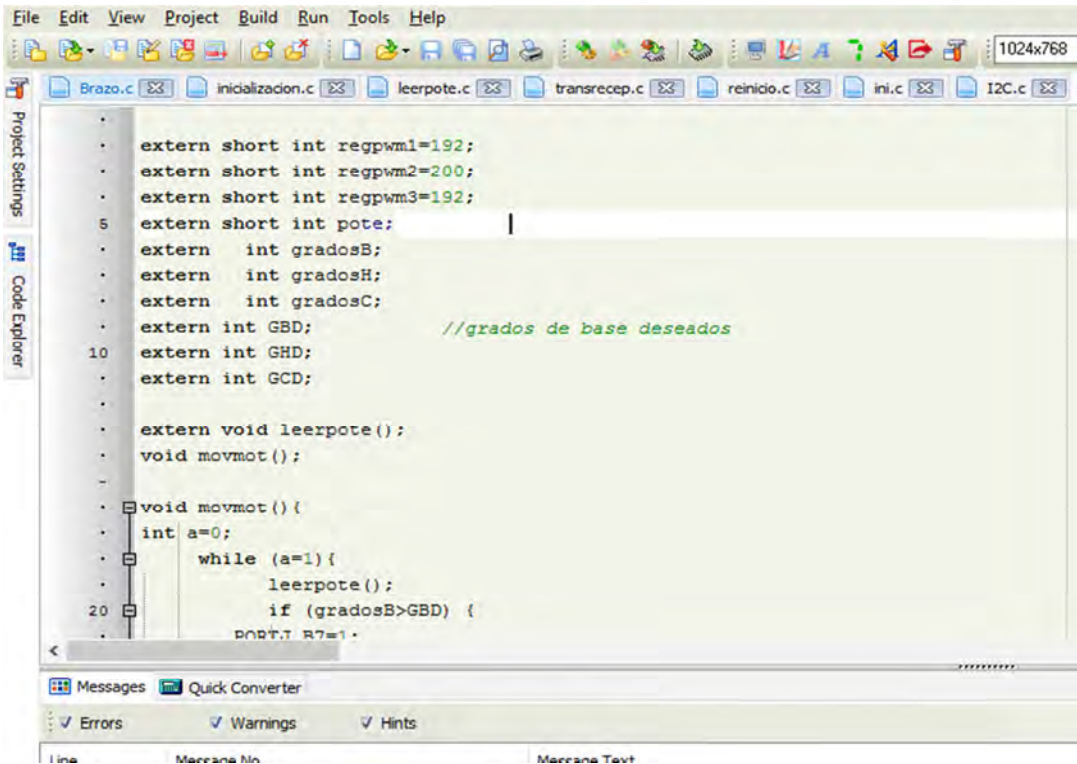


Figura 18-Tareas

8.5.1- Software de Alto Nivel

Para el desarrollo del proyecto se selecciono el lenguaje de programación C debido a su versatilidad en el manejo de bloques internos del micro-controlador , registros, pila , etc., Para ello se empleo uno de los tantos editores para el mismo como se puede observar en la siguiente figura:



```

File Edit View Project Build Run Tools Help
Brazo.c inicializacion.c leerpote.c transrecep.c reinicio.c ini.c I2C.c
extern short int regpwm1=192;
extern short int regpwm2=200;
extern short int regpwm3=192;
5 extern short int pote;
extern int gradosB;
extern int gradosH;
extern int gradosC;
extern int GBD; //grados de base deseados
10 extern int GHD;
extern int GCD;

extern void leerpote();
void movmot();

void movmot(){
int a=0;
while (a=1){
leerpote();
if (gradosB>GBD) {
20 PORTA_B7=1;
}
}
}

```

Figura 18a-Captura pantalla programa

8.5.1.1-Bloques Desarrollo de Software

Para el Desarrollo del Software se dividió el mismo en bloques como se observara en el siguiente diagrama.

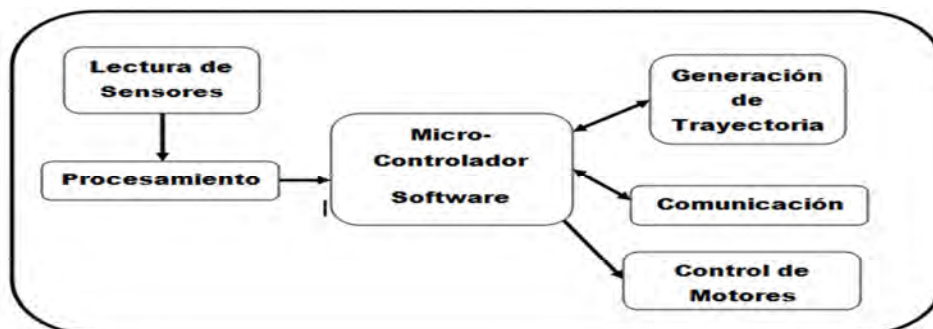


Figura 18b-Bloques Desarrollo de Software

8.5.2-Lectura de Sensores

El micro controlador realiza la lectura de las señales provenientes de los sensores de distintas formas, para los sensores de posición y de campo emplea el conversor AD interno para convertir los voltajes de entrada en señales digitales, en los sensores de inclinación el micro controlador emplea el protocolo de comunicación I²C obteniendo una trama de datos (punto 3.2) la cual debe ser decodificada por el micro controlador para obtener los datos del modulo y para el sensor GPS el micro controlador emplea el protocolo de comunicación RS232 obteniendo una trama de datos (punto 3.3) del modulo la cual debe ser decodificada para obtener los datos del mismo.

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

- Posición → Grados(θ_i)
- Campo → Intensidad(dbm)
- Inclinometro → Grados(θ_n)
- GPS → Hora, Grados

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

8.5.3-Máxima intensidad de campo

Para obtener las coordenadas de la máxima intensidad de campo magnético se implementara un método de optimización matemática 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, las cuales se comparan luego y se realiza un nuevo barrido en un cuadrante que contiene los puntos de mayor intensidad de campo, guardando los puntos de máxima intensidad, comparándolos nuevamente y repitiendo el proceso de barrido hasta alcanzar la condición de parada.

Debido a que las intensidad de la señal puede 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 19[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.

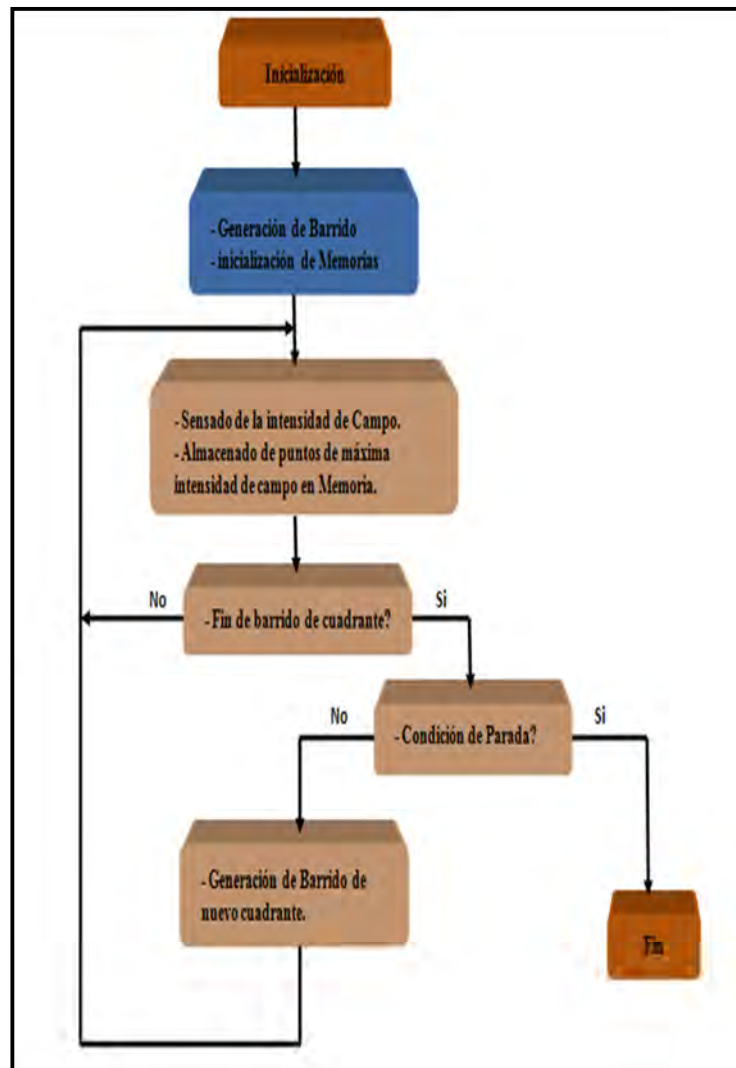


Figura 19- Algoritmo de Detección de Máxima Intensidad de Campo

8.5.4-Generación de Trayectoria:

La generación de trayectoria está compuesta por los siguientes bloques constitutivos como se pueden observar en la figura 20[1].

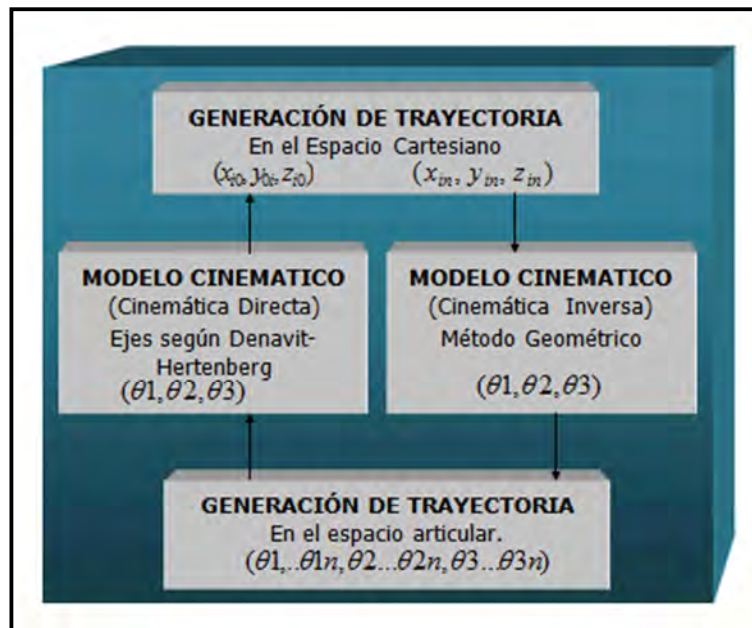


Figura 20-Generacion de Trayectoria

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 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.

8.5.4.1-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, como se observa en la figura 21[1].

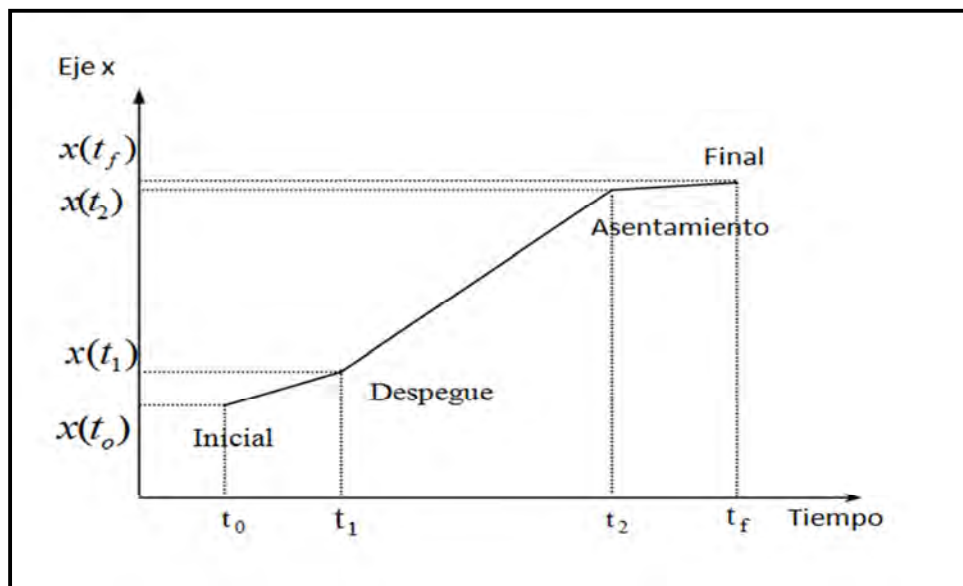


Figura 21- Generacion de Trayectoria Cartesiana

8.5.4.2-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]. El cual puede observarse en la figura 22[1].

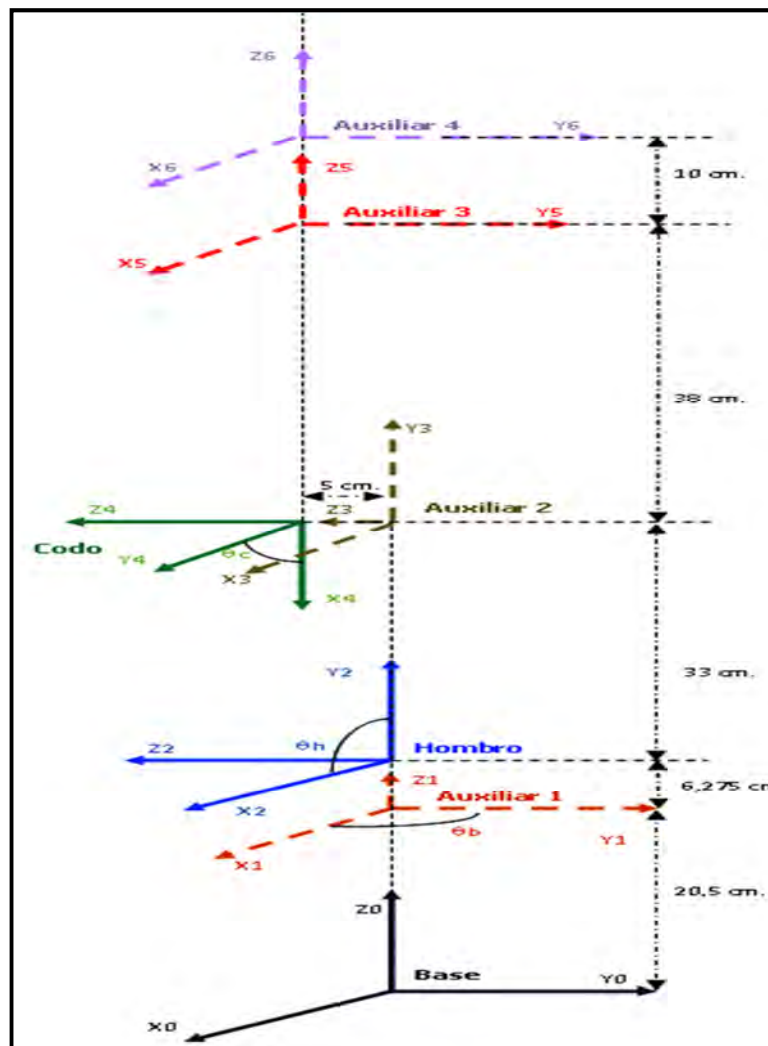


Figura 22-Ejes Según Denavit-Hartenberg

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:

$$x = \cos(\theta_b) * [\cos(\theta_h) * 33 + \cos(\theta_{cb}) * 38] \quad (1)$$

$$y = (\sin(\theta b) * [\cos(\theta b) * 33 + \cos(\theta cb) * 38]) + 5(2)$$

$$z = 26,775 + (\sin(\theta b) * 33) + (\sin(\theta cb) * 38) (3)$$

Donde:

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

8.5.4.3-Modelo Cinemático (Inverso)

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del sistema robótico (θb , θh y θc) 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 θ_b se realiza en el eje de la base, como se puede observar en la figura 23.

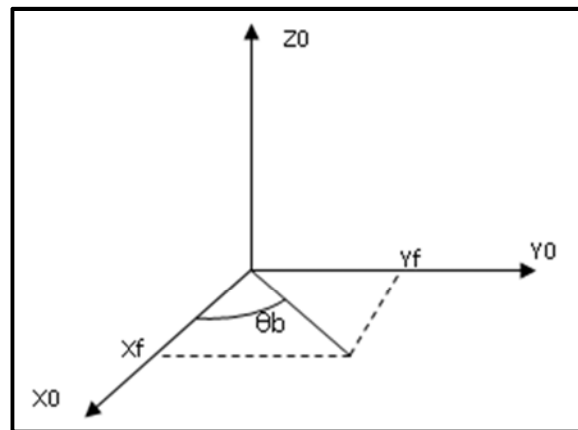


Figura 23-Eje de Base

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

$$x_f \cdot \text{sen}(\theta_b) = y_f \cdot \text{cos}(\theta_b) \quad (5)$$

Para facilitar el cálculo de la ecuación (5) se dividió en cuadrantes los posibles valores de ángulos de θ_b según el valor de x_f e y_f como se puede observar a continuación:

- Si y_f es positivo y x_f es positivo θ_b puede variar desde 0° a 90° .
- Si y_f es positivo y x_f es negativo θ_b puede variar desde 90° a 180° .
- Si y_f es negativo y x_f positivo θ_b puede variar desde 180° a 270° .
- Si y_f es negativo y x_f negativo θ_b puede variar desde 270° a 360° .

De esta manera se establece la condición de arranque del algoritmo para el cálculo de θ_b y la condición de parada es una tolerancia al error de 0,01. Como se puede observar en la siguiente figura 24.

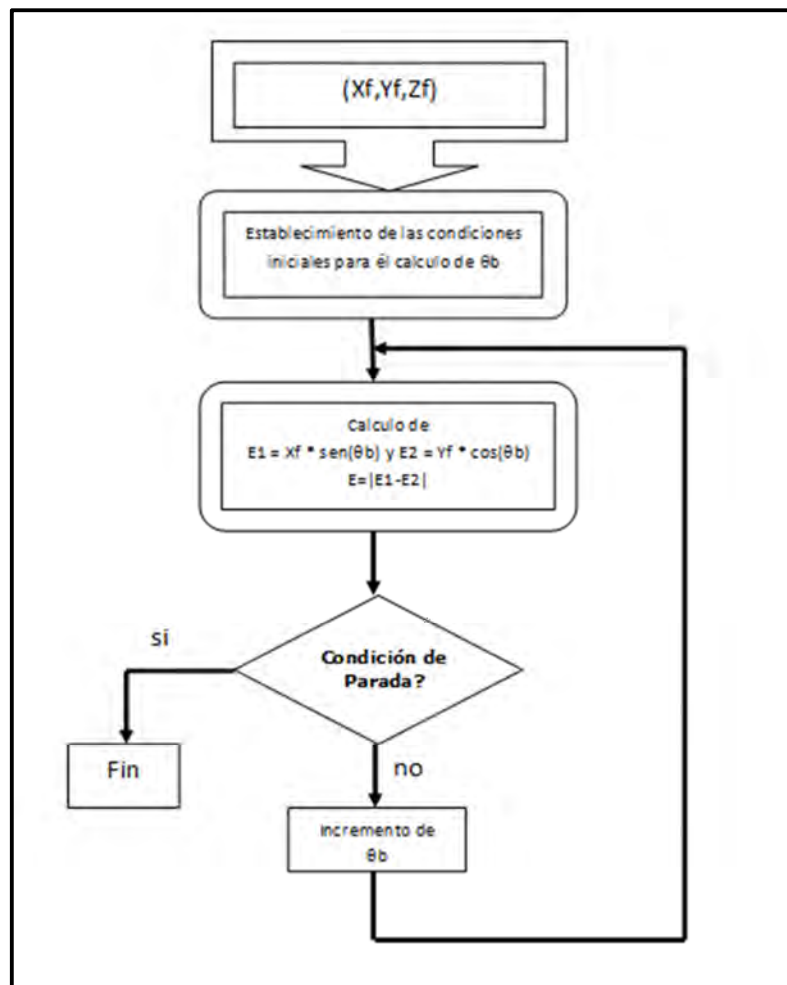


Figura 24- Algoritmo de Calculo de θ_b

Una vez determinado el ángulo de base θ_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 modulo de $|XY| < 38\text{cm}$ el rango de búsqueda es $\theta_h=90^\circ$ y θ_c puede varía desde 12° a 180° .
- Si Y es positivo y el modulo de $38\text{cm} < |XY| < 38 + 33\text{cm}$ el rango de búsqueda es $0^\circ < \theta_h < 90^\circ$ y θ_c puede varía desde 12° a 180° .
- Si Y es negativo y el modulo de $|XY| < 38\text{cm}$ el rango de búsqueda es $\theta_h=90^\circ$ y θ_c puede varía desde 180° a 270° .
- Si Y es negativo y el modulo de $38\text{cm} < |XY| < 38 + 33\text{cm}$ el rango de búsqueda es $0^\circ < \theta_h < 90^\circ$ y θ_c puede varía desde 180° a 270° .

Empleando esta condición de arranque se procedió a calcular valuar las ecuaciones (1), (2) y (3)

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 el siguiente grafico 25 del algoritmo para el cálculo de θ_h y θ_c .

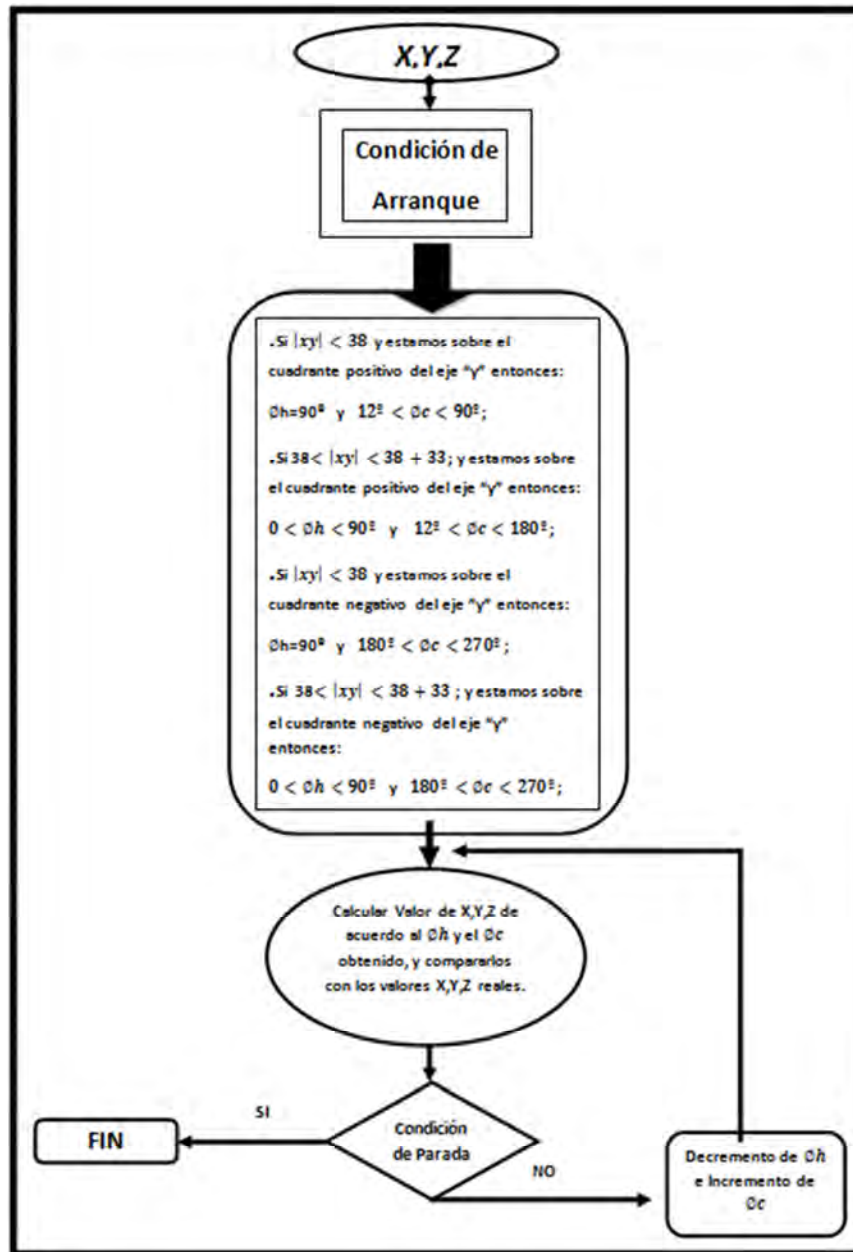


Figura 25- Algoritmo de Calculo de θ_h y θ_c .

8.5.4.4-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. En la figura 26[1] se puede observar la generación de la trayectoria por articulación.

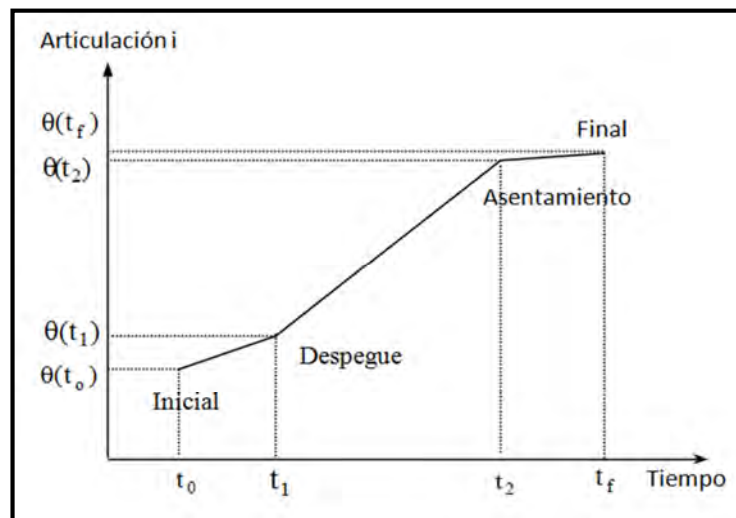


Figura 26-Generacion de Trayectoria Cartesiana

8.5.5-Comunicación

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

Para poder realizar dicha transacción de datos se emplea una trama de comunicaciones como se observa en la siguiente figura 27.



Figura 27-Trama de Datos

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

El campo de código me 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 aun.

8.5.6-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 micro controlador una vez realizada 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 lograra una que todas las articulaciones lleguen al punto final de manera simultánea y controlando el arranque y parada un movimiento suave.

8.6-Modulo Inalámbrico

El módulo seleccionado es el AC4490 de Aerocom, ya presenta las siguientes características:

- Posee modulación spread spectrum frequency hopping.
- Frecuencia de banda 902-928Mhz.
- Interface serial con baud rate de 1200 a 115200bps.
- 56 canales.
- Alcance vista libre 65km.
- Consumo de 1300mw.
- Tensión de alimentación 3,3V
- Buffer input output de 256 bytes.

- RF data rate 76,8 Kbps.
- Sensibilidad -100dbm.
- Interface conector de 20 pines

Debido a la modulación spread spectrum y la banda de frecuencia lo hace invisible a la modulación de la antenna, con lo cual se reducen las posibles interferencias.

Además dicho modulo puede funcionar en distintos modos como son:

- Punto a punto.
- Punto a multipunto.
- Cliente – Servidor.
- Peer to Peer.

El modulo presenta tres tipos de operación las cuales pueden ser:

- Transmisión.
- Recepción.
- Mediante comandos AT.

La transmisión como la recepción se la conoce generalmente como modo transparente.

La modalidad empleada en el presente trabajo es la modalidad transparente durante la transmisión de los datos.

El modo de comandos AT sirva para la configuración de parámetros y puede ser de forma inalámbrica; en caso de ser necesario. En la siguiente figura 28[8] se observa el modulo inalámbrico.

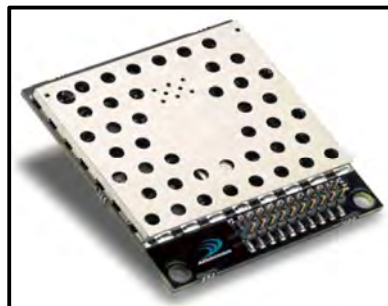


Figura 28- Modulo Inalámbrico AC4490

9.1-Códigos de comando:

- Código 1-Devuelve lectura de potenciómetro-Base en 2 bytes
- Código 2-Devuelve lectura potenciómetro-Hombro en 2 bytes
- Código 3-Devuelve lectura potenciómetro-Codo en 2 bytes
- Código 4-Devuelve lectura sensor de campo electro-Magnético en 12 bytes
- Código 5-Devuelve Grados de la Base en 2 bytes
- Código 6-Devuelve Grados del Hombro en 2 bytes
- Código 7-Devuelve Grados del Codo en 2 bytes
- Código 8-Vacante
- Código 9 –Vacante
- Código 10-Mueve la base en sentido horario
- Código 11-Mueve el hombro hacia 180°
- Código 12-Mueve el codo a 0°
- Código 13- Mueve la base en sentido anti-horario
- Código 14-Mueve el hombro en sentido contrario
- Código 15-Mueve el codo en sentido contrario
- Código 16-Vacante
- Código 17-Vacante
- Código 18-Vacante
- Código 19-Vacante
- Código 20-Reinicio del Robot
- Código 30-Acelerometro

9.2.-Características Técnicas Motores

Los motores elegidos fueron los Ignis MR08D-024022 que cuentan con las siguientes características

Juego libre(backlash): menor a 2^a

Temperatura de operación: Ta+50°C

Cupla de Arranque/Bloqueo: Cupla Nominal *4

Velocidad Vacio(aprox): velocidad nominal + 15%

Compresion-Traccion: 8kgf

Esfuerzo Axial Maximo: 2kgf

Momento flexor Maximo: 1.0kgf.m

Potencia en Hp:0.039

Tension nominal[V]: 24Vcc

Io,Io,Is[A]:0.5-1.5-6.5

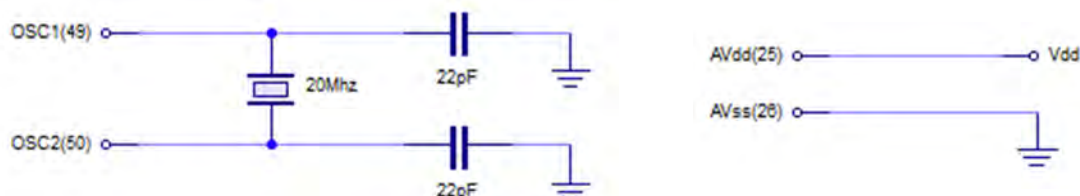
Ruido max [DB]:100

Rpm nominal:7810

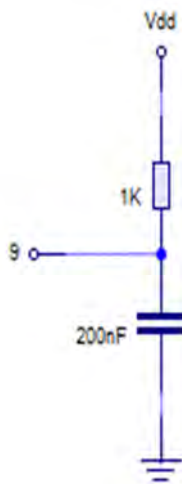
Rpm Vacio motor:9100

Peso-Adicional por etapa[kg]:0.290-0.010

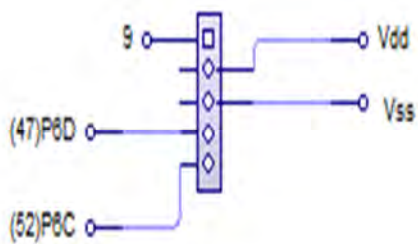
9.3-Configuracion de Pines para Circuitos Electricos



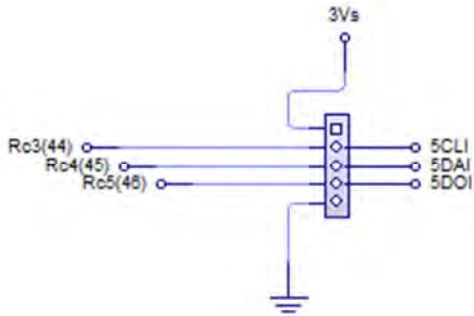
1-Master Clear



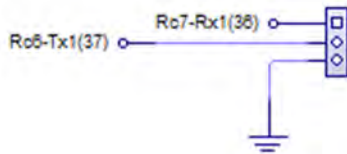
2-ICD



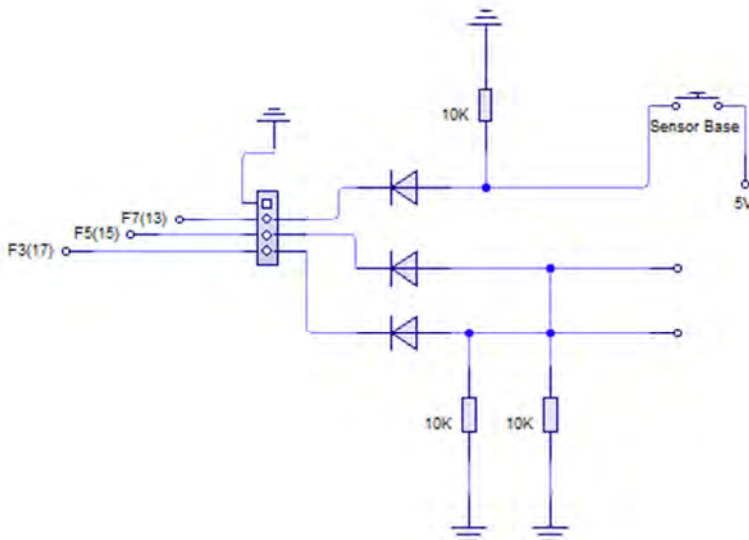
3-I²C



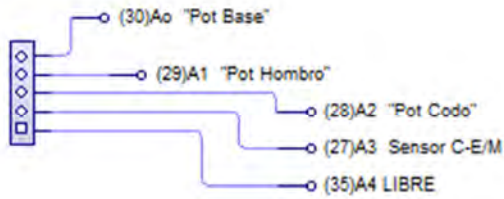
4-Comunicación



5-Sensores Base Robot



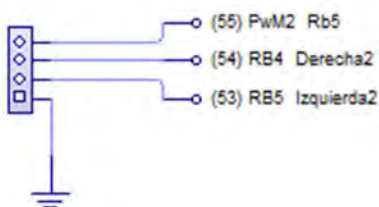
6-Convertor



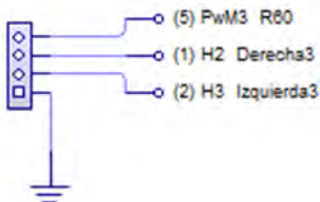
7-Motor Base



8-Motor Codo



9-Motor Hombro




9.4-Tabla de Materiales y Presupuesto Total

Material	Cantidad	Precio unit	Precio Total
<i>Madera Mdf</i>	2	100	200
<i>Aluminio Estructural</i>	2	50	100
<i>Hierro Estructural</i>	12	37	444
<i>Potenciometro multivuelta</i>	3	250	750
<i>Sensor de campo electro magnetico</i>	1	255 UsD	255 UsD
<i>Placas electricas</i>	3	30	90
<i>Transformador12+12</i>	1	120	120
<i>Moto Reductores</i>	3	715	2145
<i>Engranajes</i>	7	*	0
<i>Parabolica</i>	1	300	300
<i>Rulemanes</i>	5	*	0
<i>Herrajería</i>	*	*	300
<i>Modulo comunicación Inalambrica</i>	1	2000	2000
<i>Microcontrolador</i>	1	15usd	15usd
<i>Programador de Pic</i>	1	840	840
<i>Varios(pinturas,lijas,mechas,electrodos,baterias)</i>	*	*	2594
Costo total			\$14,743

9.5-Tabla Comparacion con Productos Similares en el Mercado

	Teuca	Cirrus Sat Lite	Trac Vision
Grados de libertad	3	2	2
Control remoto	√	√	×
Tipo de Antena	Parabola	Parabola	Parabola truncada
Diametro Antena	17.5cm	1.2 mts	60cm
Variacion LNB	×	√	×
Frecuencia de Trabajo	2.5Ghz/5Ghz	Ku	Ku
Aplicaciones	Telefonia celular/wifi/medicion de campos	Television/Internet	Television/Internet
Inclinometro	√	√	√
Gps	√	√	√
Sensor de campo electro magnetico	√	√	√
Tipo de Polaridad	lineal	co/crosspol	lineal/circular
Transmite	√	√	×
Recibe	√	√	√
Precio	\$14,743	Usd\$48.670	\$90,000.00

9.6-Data Sheets



L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

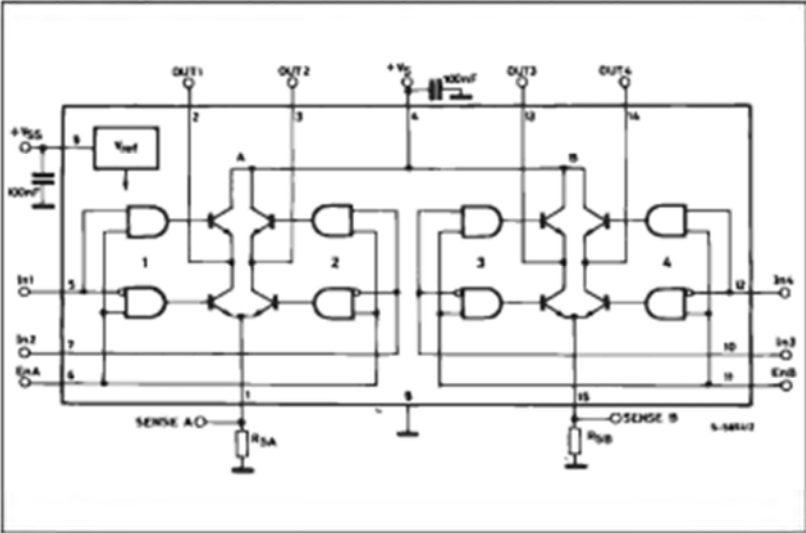
The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.



Multiwatt15 PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

BLOCK DIAGRAM



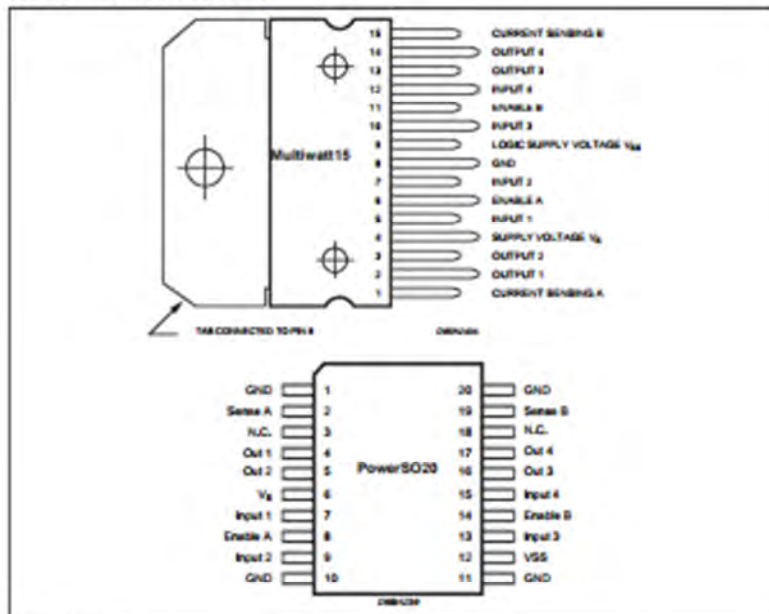
January 2000 1/13

L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{S}	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_{S}, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_{O}	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $I_{en} = 10mA$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{SEN}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^{\circ}C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^{\circ}C$
T_{eq}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^{\circ}C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{\theta j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^{\circ}C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate



PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW, 15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{in} + 2.5	46	7	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0	V _i = L V _i = H	13 50	22 70	mA mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0	V _i = L V _i = H	24 7	36 12	mA mA
V _L	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _H	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			-10	µA
I _H	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	µA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	µA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	µA
V _{CE(sat)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.25 2	1.7	V V
V _{CE(sink)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{OLmax}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{SEN}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



3-Axis Orientation/Motion Detection Sensor

The MMA7660FC is a ± 1.5 g 3-Axis Accelerometer with Digital Output (I²C). It is a very low power, low profile capacitive MEMS sensor featuring a low pass filter, compensation for 0g offset and gain errors, and conversion to 6-bit digital values at a user configurable samples per second. The device can be used for sensor data changes, product orientation, and gesture detection through an interrupt pin (INT). The device is housed in a small 3mm x 3mm x 0.9mm DFN package.

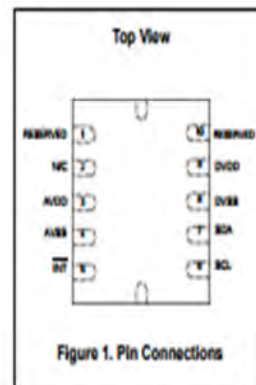
Features

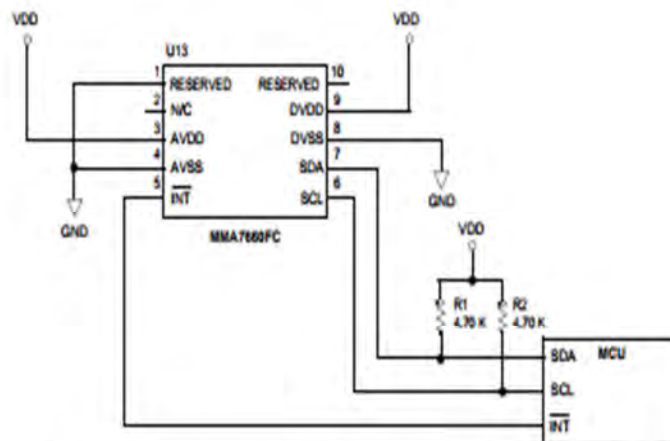
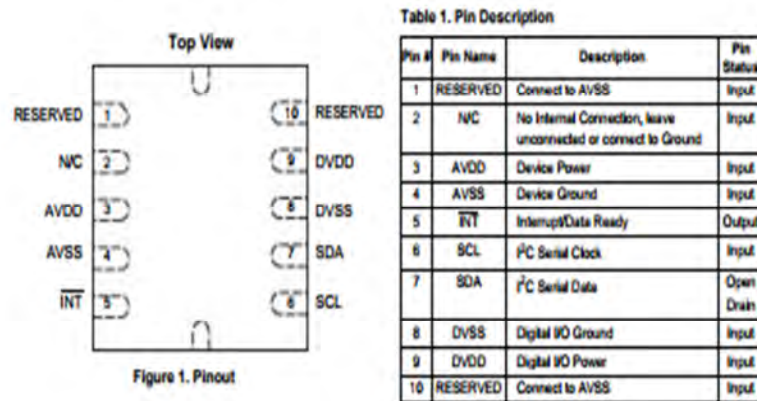
- Digital Output (I²C)
- 3mm x 3mm x 0.9mm DFN Package
- Low Power Current Consumption: Off Mode: 0.4 μ A, Standby Mode: 2 μ A, Active Mode: 47 μ A at 1 ODR
- Configurable Samples per Second from 1 to 120 samples a second.
- Low Voltage Operation:
 - Analog Voltage: 2.4 V - 3.6 V
 - Digital Voltage: 1.71 V - 3.6 V
- Auto-Wake/Sleep Feature for Low Power Consumption
- Tilt Orientation Detection for Portrait/Landscape Capability
- Gesture Detection Including Shake Detection and Tap Detection
- Robust Design, High Shocks Survivability (10,000 g)
- RoHS Compliant
- Halogen Free
- Environmentally Preferred Product
- Low Cost

Typical Applications

- Mobile Phone/ PMP/PDA: Orientation Detection (Portrait/Landscape), Image Stability, Text Scroll, Motion Dialing, Tap to Mute
- Laptop PC: Anti-Theft
- Gaming: Motion Detection, Auto-Wake/Sleep For Low Power Consumption
- Digital Still Camera: Image Stability

ORDERING INFORMATION			
Part Number	Temperature Range	Package	Shipping
MMA7660FCT	-40 to +85°C	DFN-10	Tray
MMA7660FCR1	-40 to +85°C	DFN-10	7" Tape & Reel





NOTE: A 0.1 μ F ceramic capacitor can be placed connecting pin 3 (AVDD) to pin 4 (AVSS). In addition, another 0.1 μ F ceramic capacitor can be placed connecting pin 9 (DVDD) to pin 8 (DVSS). The capacitors should be placed close to the pins of the MMA7660FC and is recommended for testing and to adequately decouple the accelerometer from noise on the power supply.

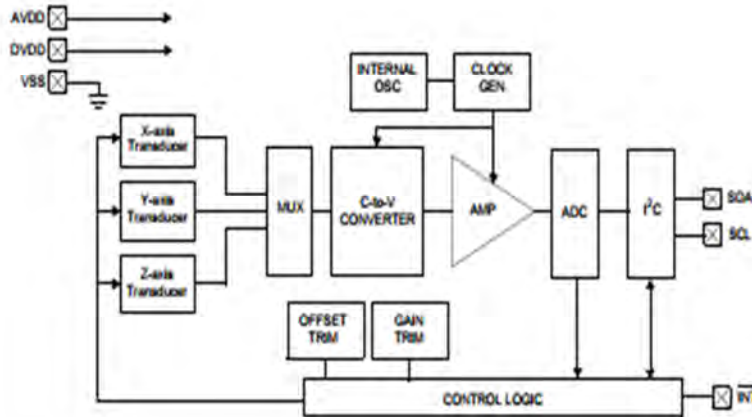


Figure 3. Simplified Accelerometer Functional Block Diagram

Table 2. Maximum Ratings

(Maximum ratings are the limits to which the device can be exposed without causing permanent damage.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Acceleration (all axes, 100 μ s)	a_{max}	10,000	g
Analog Supply Voltage	AV_{DD}	-0.3 to +3.6	V
Digital I/O pins Supply Voltage	$DV_{DD,IO}$	-0.3 to +3.6	V
Drop Test	D_{drop}	1.8	m
Storage Temperature Range	T_{eq}	-40 to +125	$^{\circ}$ C

ELECTRO STATIC DISCHARGE (ESD)

WARNING: This device is sensitive to electrostatic discharge.

Although the Freescale accelerometer contains internal 2000 V ESD protection circuitry, extra precaution must be taken by the user to protect the chip from ESD. A charge of over 2000 V can accumulate on the human body or associated test equipment. A charge of this magnitude can alter the performance or cause failure of the chip. When handling the accelerometer, proper ESD precautions should be followed to avoid exposing the device to discharges which may be detrimental to its performance.

Table 3. ESD And Latch-up Protection Characteristics

Rating	Symbol	Value	Unit
Human Body Model	HBM	\pm 2000	V
Machine Model	MM	\pm 200	V
Charge Device Model	CDM	\pm 500	V
Latch-up current at $T_A = 85^{\circ}$ C		\pm 100	mA

Table 4. Operating Characteristics

Unless otherwise noted: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$, $2.4\text{ V} \leq AV_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, $1.71\text{ V} < DV_{DD} < 3.6\text{ V}$, Acceleration = 0g
Typical values are at $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$, $DV_{DD} = 2.8\text{ V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Analog Supply Voltage					
Standby/Operation Mode	AV_{DD}	2.4	2.8	3.6	V
Enable Bus Mode/Standby Mode	AV_{DD}		0		V
Digital I/O Pin Supply Voltage					
Standby/Operation Mode	DV_{DD_IO}	1.71	2.8	AV_{DD}	V
Enable Bus Mode/Standby Mode	DV_{DD_IO}	1.71	1.8	3.6	V
Supply Current Drain					
Off Mode	I_{DD}		0.4		μA
Power Down Mode	I_{DD}		2		μA
Standby Mode ⁽¹⁾	I_{DD}	0	2	10	μA
Active Mode, ODR = 1	I_{DD}		47		μA
Active Mode, ODR = 2	I_{DD}		49		μA
Active Mode, ODR = 4	I_{DD}		54		μA
Active Mode, ODR = 8	I_{DD}		66		μA
Active Mode, ODR = 16	I_{DD}		89		μA
Active Mode, ODR = 32	I_{DD}		133		μA
Active Mode, ODR = 64	I_{DD}		221		μA
Active Mode ⁽¹⁾ , ODR = 120	I_{DD}		294		μA
Acceleration Range					
Operating Temperature Range	T_A	-40	25	85	$^{\circ}\text{C}$
0g Output Signal ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$)					
0g Offset $\pm 1.5g$ range ⁽²⁾	V_{OFF}	-3	0	3	counts
0g Offset Temperature Variation					
X			-1.3		$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
Y			+1.5		$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
Z			-1.0		$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
Sensitivity⁽³⁾ ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$)					
$\pm 1.5g$ range 8-bit			21.33		count/g
Acceleration Sensitivity at $T_{A,0}$		19.62	21.33	23.04	count/g
Acceleration Sensitivity Temperature Variation			± 0.01		$\%/^{\circ}\text{C}$
Input High Voltage					
Input High Voltage	V_{IH}	$0.7 \times DV_{DD}$			
Input Low Voltage					
Input Low Voltage	V_{IL}			$0.35 \times DV_{DD}$	
Output Low Voltage (IOL = 6 mA + SDA, INT)					
Output Low Voltage	V_{OL}			0.5	V
Input Leakage Current					
Input Leakage Current	I_{IN}		0.025		μA
Internal Clock Frequency⁽⁴⁾ ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $AV_{DD} = 2.8\text{ V}$)					
Internal Clock Frequency	f_{CLK}	135	150	165	kHz
I²C Interface Speed					
I ² C Interface Speed				400	kHz
Control Timing					
Turn on time from $AV_{DD} = 0\text{ V}$ to $AV_{DD} = 2.5\text{ V}^{(4)}$				1.3	ms
Turn off time from Active to Standby Mode				1	ms
Turn on time Standby to Active Mode				$12\text{ ms} \times 1/ODR$	ms
Timing Clock Source Accuracy ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $DV_{DD} = 1.8\text{ V}$)		-10		10	%
Timing Clock Source Temperature Variation		-15		15	%
Cross Axis Sensitivity⁽⁵⁾					
Cross Axis Sensitivity ⁽⁵⁾			± 1		%
Noise⁽⁶⁾					
Noise ⁽⁶⁾			± 1		count

Notes

- These parameters are tested in production at final test.
- Assuming VDD power on slope is $\leq 1\text{ ms}$.
- A measure of the device's ability to reject an acceleration applied 90° from the true axis of sensitivity.
- Noise is defined as quantiles given to a sample size. These are the occurrences of noise: 94% = ± 1 count, 5% = ± 2 counts, and 1% = ± 3 counts.

PIC18F8722 FAMILY

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F6527
- PIC18F6622
- PIC18F6627
- PIC18F6722
- PIC18F8527
- PIC18F8622
- PIC18F8627
- PIC18F8722
- PIC18LF6527
- PIC18LF6622
- PIC18LF6627
- PIC18LF6722
- PIC18LF8527
- PIC18LF8622
- PIC18LF8627
- PIC18LF8722

This family offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high-endurance, Enhanced Flash program memory. On top of these features, the PIC18F8722 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F8722 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be significantly reduced.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further.
- **On-the-fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Low Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer are minimized. See Section 28.0 "Electrical Characteristics" for values.

1.1.2 EXPANDED MEMORY

The PIC18F8722 family provides ample room for application code and includes members with 48, 64, 96 or 128 Kbytes of code space.

- **Data RAM and Data EEPROM:** The PIC18F8722 family also provides plenty of room for application data. The devices have 3936 bytes of data RAM, as well as 1024 bytes of data EEPROM, for long term retention of nonvolatile data.
- **Memory Endurance:** The Enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles, up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 40 years.

1.1.3 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F8722 family offer ten different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes, using crystals or ceramic resonators
- Two External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O)
- Two External RC Oscillator modes with the same pin options as the External Clock modes
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock and an INTRC source (approximately 31 kHz), as well as a range of 6 user selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees the two oscillator pins for use as additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the high-speed crystal and internal oscillator modes, which allows clock speeds of up to 40 MHz. Used with the internal oscillator, the PLL gives users a complete selection of clock speeds, from 31 kHz to 32 MHz – all without using an external crystal or clock circuit.

PIC18F8722 FAMILY

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

1.1.4 EXTERNAL MEMORY INTERFACE

In the unlikely event that 128 Kbytes of program memory is inadequate for an application, the PIC18F8527/8622/8627/8722 members of the family also implement an external memory interface. This allows the controller's internal program counter to address a memory space of up to 2 Mbytes, permitting a level of data access that few 8-bit devices can claim.

With the addition of new operating modes, the external memory interface offers many new options, including:

- Operating the microcontroller entirely from external memory
- Using combinations of on-chip and external memory, up to the 2-Mbyte limit
- Using external Flash memory for reprogrammable application code or large data tables
- Using external RAM devices for storing large amounts of variable data

1.1.5 EASY MIGRATION

Regardless of the memory size, all devices share the same rich set of peripherals, allowing for a smooth migration path as applications grow and evolve.

The consistent pinout scheme used throughout the entire family also aids in migrating to the next larger device. This is true when moving between the 64-pin members, between the 80-pin members, or even jumping from 64-pin to 80-pin devices.

1.2 Other Special Features

- **Communications:** The PIC18F8722 family incorporates a range of serial communication peripherals, including 2 independent Enhanced USARTs and 2 Master SSP modules capable of both SPI and I²C (Master and Slave) modes of operation. Also, one of the general purpose I/O ports can be reconfigured as an 8-bit Parallel Slave Port for direct processor-to-processor communications.
- **CCP Modules:** All devices in the family incorporate two Capture/Compare/PWM (CCP) modules and three Enhanced CCP (ECCP) modules to maximize flexibility in control applications. Up to four different time bases may be used to perform several different operations at once. Each of the three ECCP modules offer up to four PWM outputs, allowing for a total of 12 PWMs. The ECCPs also offer many beneficial features, including polarity selection, Programmable Dead-Time, Auto-Shutdown and Restart and Half-Bridge and Full-Bridge Output modes.
- **Self-Programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine located in the protected boot block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Extended Instruction Set:** The PIC18F8722 family introduces an optional extension to the PIC18 instruction set, which adds 8 new instructions and an Indexed Addressing mode. This extension, enabled as a device configuration option, has been specifically designed to optimize re-entrant application code originally developed in high-level languages, such as C.
- **10-bit A/D Converter:** This module incorporates programmable acquisition time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated without waiting for a sampling period and thus, reduce code overhead.
- **Extended Watchdog Timer (WDT):** This enhanced version incorporates a 16-bit prescaler, allowing an extended time-out range that is stable across operating voltage and temperature. See Section 28.0 "Electrical Characteristics" for time-out periods.

PIC18F8722 FAMILY

1.3 Details on Individual Family Members

Devices in the PIC18F8722 family are available in 64-pin and 80-pin packages. Block diagrams for the two groups are shown in Figure 1-1 and Figure 1-2.

The devices are differentiated from each other in five ways:

1. Flash program memory (48 Kbytes for PIC18F6527/8527 devices, 64 Kbytes for PIC18F6622/8622 devices, 96 Kbytes for PIC18F6627/8627 devices and 128 Kbytes for PIC18F6722/8722).
2. A/D channels (12 for 64-pin devices, 16 for 80-pin devices).
3. I/O ports (7 bidirectional ports on 64-pin devices, 9 bidirectional ports on 80-pin devices).
4. External Memory Bus, configurable for 8 and 16-bit operation, is available on PIC18F6527/8527/8622/8627/8722 devices.

All other features for devices in this family are identical. These are summarized in Table 1-2 and Table 1-3.

The pinouts for all devices are listed in Table 1-3 and Table 1-4.

Like all Microchip PIC18 devices, members of the PIC18F8722 family are available as both standard and low-voltage devices. Standard devices with Enhanced Flash memory, designated with an "F" in the part number (such as PIC18F6627), accommodate an operating V_{DD} range of 4.2V to 5.5V. Low-voltage parts, designated by "LF" (such as PIC18LF6627), function over an extended V_{DD} range of 2.0V to 5.5V.

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES (PIC18F6527/6622/6627/6722)

Features	PIC18F6527	PIC18F6622	PIC18F6627	PIC18F6722
Operating Frequency	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	48K	64K	96K	128K
Program Memory (Instructions)	24576	32768	49152	65536
Data Memory (Bytes)	3936	3936	3936	3936
Data EEPROM Memory (Bytes)	1024	1024	1024	1024
Interrupt Sources	28	28	28	28
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E, F, G	Ports A, B, C, D, E, F, G	Ports A, B, C, D, E, F, G	Ports A, B, C, D, E, F, G
Timers	5	5	5	5
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	3	3	3	3
Enhanced USART	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Parallel Communications (PSP)	Yes	Yes	Yes	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	12 Input Channels	12 Input Channels	12 Input Channels	12 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRTE, OST), SCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRTE, OST), SCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRTE, OST), SCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRTE, OST), SCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	64-pin TQFP	64-pin TQFP	64-pin TQFP	64-pin TQFP



Smart GPS Antenna A1035-D

A description of Tyco Electronics'
GPS antenna module A1035-D

User's Manual

Version 1.3
Hardware Revision 01



GPS Smart Antenna
A1035-D



1 Introduction

Tyco Electronics' smart GPS antenna A1035-D is the combination of a highly integrated GPS receiver module and a ceramic GPS patch antenna. The antenna is connected to the module via an LNA. The module is capable of receiving signals from up to 20 GPS satellites and transferring them into position and timing information that can be read over a serial port. Small size and high-end GPS functionality are combined at low power consumption:

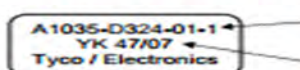
- Operable at 3.3V / 41mA (typ.) @ 1fix per second
- UART interface at CMOS level
- Small form factor of 35.6 x 35.6 mm (1.4" x 1.4")
- Standard power and I/O connector
- Mountable without solder process
- Field replaceable

The smart antenna module is available as an off-the-shelf component, 100% tested and shipped in trays.

NOTE: The module can be offered for OEM applications with adaptation in form and connection. Additionally, the antennas can be tuned to their final environment.

1.1 Label

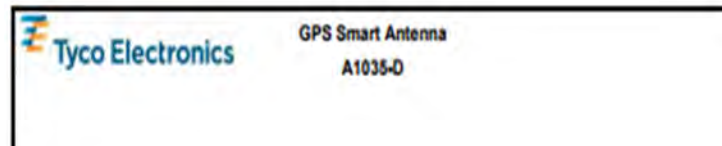
The A1035-D's labels hold the following information:



Product code (A1035-D) with software version (324) and software revision (01) and hardware revision (1)

Factory (YK: Bicske) and date code (week/year: 47/07)

Figure 1: A1035-D labels



1.2 Characteristics

The antenna modules are characterized by the following parameters.

Channels		20, parallel tracking
Correlators		200.000 plus
Frequency		L1 (= 1575 MHz)
Tracking Sensitivity		-159dBm
Position Accuracy	Stand alone	< 10m CEP (SA off)
Time To First Fix = TTFF (theoretical minimum values; values in real world may differ)	Obscuration recovery ⁽¹⁾	0.1s
	Hot start ⁽²⁾	< 1s
	Warm ⁽³⁾	< 32s
	Cold ⁽⁴⁾	< 35s

Table 1: A1035-D characteristics

- (1) The calibrated clock of the receiver has not stopped, thus it knows precise time (to the μ s level).
- (2) The receiver has estimates of time/date/position and valid almanac and ephemeris data.
- (3) The receiver has estimates of time/date/position and recent almanac.
- (4) The receiver has no estimate of time/date/position, and no recent almanac.

1.3 Mechanical Characteristics

Mechanical dimensions	Length	35.56mm, 1.4"
	Width	35.56mm, 1.4"
	Height	8.0mm, 0.315"
Weight		12g, 0.5oz (may vary)

Table 2: A1035-D dimensions and weight

1.4 Handling Precautions

The smart GPS antenna A1035-D is a module that is sensitive to electrostatic discharge (ESD). Please handle with appropriate care.

2 Ordering Information

2.1 GPS Receiver A1035-D

The order numbers are built as follows:

- V23993A1035Dxxx

"V23993" stands for Tyco Electronics' wireless and communication products, the "A1035-D" for the A1035-D module. The "xxx" stands for the according firmware version. If no firmware version is noted in an order, the latest version will be provided.

2.2 Packing

The A1035-D comes in trays, with 35 modules per tray and 5 trays per box.

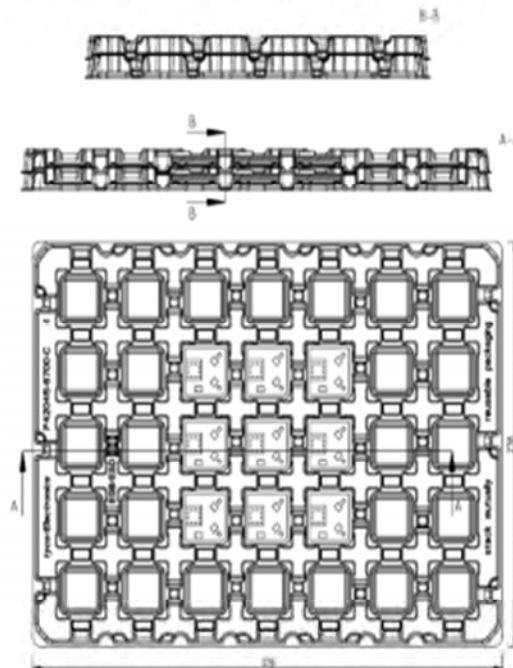


Figure 2: A1035-D tray specification (1)

AC4490 TRANSCEIVER MODULE

1

The compact AC4490 900MHz transceiver can replace miles of cable in harsh industrial environments. Using field-proven FHSS technology which needs no additional FCC licensing in the Americas, OEMs can easily make existing systems wireless with little or no RF expertise.

AC4490 FEATURES

NETWORKING AND SECURITY

- Drop-in replacement for AC4424 2.4 GHz product family
- Generic I/O digital lines and integrated DAC/ADC functions
- Retries and Acknowledgements
- API Commands to control packet routing and acknowledgement on a packet-by-packet basis
- Frequency Hopping Spread Spectrum for security and interference rejection
- Customizable RF Channel number and system ID
- Dynamic link analysis, remote radio discovery
- Low latency and high throughput
- Hardware Protocol Status monitoring

EASY TO USE

- Continuous 76.8 kbps RF data stream
- Software selectable interface baud rates from 1200 bps to 115.2 kbps
- Low cost, low power and small size ideal for high volume, portable and battery powered applications
- All modules are qualified for industrial temperatures (-40°C to 85°C)
- Advanced configuration available using AT commands

OVERVIEW

The AC4490 is a member of AeroComm's ConnexRF OEM transceiver family. The AC4490 is a cost effective, high performance, frequency hopping spread spectrum transceiver, designed for integration into OEM systems operating under FCC part 15.247 regulations for the 900 MHz ISM band.

AC4490 transceivers provide an asynchronous TTL/RS-485 level serial interface for OEM Host communications. Communications include both system and configuration data. The Host supplies system data for transmission to other Host(s). Configuration data is stored in the on-board EEPROM. All frequency hopping, synchronization, and RF system data transmission/reception is performed by the transceiver.

To boost data integrity and security, the AC4490 uses AeroComm's field-proven FHSS technology featuring optional Data-Encryption Standards (DES). Fully transparent, these transceivers operate seamlessly in serial cable replacement applications.

AC4490 transceivers can operate in a Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Client-Server, or Peer-to-Peer architecture. One transceiver is configured as a Server and there can be one or many Clients. To establish synchronization between transceivers, the Server emits a beacon. Upon detecting a beacon, the Client transceiver informs its Host and an RF link is established.

Table 1: AC4490 Specifications

General																																			
20 Pin Interface Connector	Molex 87750-0200, mates with Samtec SMM-1 10-02-0-D																																		
RF Connector	Johnson Components 126-3711-802																																		
Antenna	AC4490-1x1: Customer must provide AC4490-200: UMCX Connector or integral antenna AC4490-1000: UMCX Connector																																		
Serial Interface Data Rate	baud rates from 1200 bps to 115,200 bps																																		
Power Consumption (typical)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Duty Cycle (TX=Transmit; RX=Receive)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>10%TX</th> <th>50%TX</th> <th>100%TX</th> <th>100%RX</th> <th>Part-Cost</th> <th>Class-Silent</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1x1:</td> <td>22mA</td> <td>54mA</td> <td>80mA</td> <td>28mA</td> <td>15mA</td> <td>3mA</td> </tr> <tr> <td>200:</td> <td>38mA</td> <td>68mA</td> <td>100mA</td> <td>30mA</td> <td>13mA</td> <td>6mA</td> </tr> <tr> <td>1000:</td> <td>120mA</td> <td>150mA</td> <td>1300mA</td> <td>30mA</td> <td>13mA</td> <td>6mA</td> </tr> </tbody> </table>	Duty Cycle (TX=Transmit; RX=Receive)							10%TX	50%TX	100%TX	100%RX	Part-Cost	Class-Silent	1x1:	22mA	54mA	80mA	28mA	15mA	3mA	200:	38mA	68mA	100mA	30mA	13mA	6mA	1000:	120mA	150mA	1300mA	30mA	13mA	6mA
Duty Cycle (TX=Transmit; RX=Receive)																																			
	10%TX	50%TX	100%TX	100%RX	Part-Cost	Class-Silent																													
1x1:	22mA	54mA	80mA	28mA	15mA	3mA																													
200:	38mA	68mA	100mA	30mA	13mA	6mA																													
1000:	120mA	150mA	1300mA	30mA	13mA	6mA																													
Channels	3 Channel Sets comprising 56 total channels																																		
Security	One byte System ID, 56-bit DES encryption key.																																		
Interface Buffer Size	Input/Output 256 bytes each																																		
Transceiver																																			
Frequency Band	902 - 928 MHz																																		
RF Data Rate	76.8 kbps fixed																																		
RF Technology	Frequency Hopping Spread Spectrum																																		
Output Power	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Conducted (no antenna)</th> <th>EIRP (dBi gain antenna)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1x1:</td> <td>10mW typical</td> <td>20mW typical</td> </tr> <tr> <td>200:</td> <td>100mW typical</td> <td>200mW typical</td> </tr> <tr> <td>1000:</td> <td>740mW typical</td> <td>1480mW typical</td> </tr> </tbody> </table>		Conducted (no antenna)	EIRP (dBi gain antenna)	1x1:	10mW typical	20mW typical	200:	100mW typical	200mW typical	1000:	740mW typical	1480mW typical																						
	Conducted (no antenna)	EIRP (dBi gain antenna)																																	
1x1:	10mW typical	20mW typical																																	
200:	100mW typical	200mW typical																																	
1000:	740mW typical	1480mW typical																																	
Supply Voltage	<p>1x1: VCC: 3.3V, a 50mV ripple VPA: 3.3V, a 50mV ripple</p> <p>200: VCC: 3.3 - 5.5V, a 50mV ripple VPA: 3.3 - 5.5V, a 50mV ripple</p> <p>1000*: VCC: 3.3 - 5.5V a 50mV ripple VPA: 3.3 a 3%, a 100mV ripple</p> <p>* VCC & VPA may be tied together, provided the supply voltage never falls below 3.3 V and is capable of supplying 1.5 A of current. VCC & VPA are internally connected on the AC4490-200 only.</p>																																		
Sensitivity	<p>-100dBm typical @ 76.8kbps RF Data Rate</p> <p>-110dBm typical @ 76.8kbps RF Data Rate (AC4490LH-200/1000)</p> <p>*Receive Sensitivity listed for US and Australian Modes. Radios ordered per Brazilian Regulations have a Receive Sensitivity of -80dBm.</p>																																		
EEPROM write cycles	20000																																		

10-Conclusion

En el desarrollo del presente trabajo, la mayor complejidad 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.

La trama conformada para la comunicación funciona correcta sin detectar cortes en la comunicación ni errores de recepción, ya que el módulo inalámbrico posee una trama RF con corrección y detección de errores.

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

El sistema responde bien al sensor de campo y trabaja en conjunto con los algoritmos de generación de trayectoria.

El desarrollo de este trabajo 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, el procesamiento de datos distribuidos, y el desarrollo de un medidor de campo electromagnético robótico para lo cual se adecuó en gran parte también este sistema robótico.

11-Bibliografía

- Sistemas de comunicaciones electrónicas - Tomasi Wayne
- Lal Chand Godara. Smart Antennas. Ed. CRC Press
- https://www.unizar.es/departamentos/fisica_aplicada/tads/TAD%20MIGUEL%20GABAL%20LANAU.pdf
- Redes inalámbricas en los países en Desarrollo 3ra Edic.
- K.S. Fu, R.C. González, C.S.G. Lee. ROBOTICA: Control, Detección, visión e inteligencia. Editorial McGraw-Hill, 1990. 599 p.

- Domingo, Juan. Robótica, Apuntes para la Asignatura. Febrero, 2001. 177 p.
- Kelly, Rafael. Santibáñez, Víctor. Automática Robótica. Control del movimiento de Robots Manipuladores. Editorial Prentice may, 2003.
- Barrientos, Antonio. Peñin, Luis Felipe. Balagues, Carlos. Aracil, Rafael. Fundamentos de Robótica. Editorial McGraw-Hill, 97.
- Rapela, Diego Ricardo. Extensión implícita del espacio de trabajo de una mano diestra a través de Reagarre en Tareas de Ensamble. Tesis Doctoral 2001.
- Timothy J. Ross. Fuzzy Logic Whit Engineering Applications. Editorial McGraw-Hill, 95.
- Eugenio Martín Cuenca, José Ma. Angulo Usategui, Ignacio Angulo Martínez. Microcontroladores PIC La clave del diseño. Editorial Thomson 2003.
- Alicia Cirila Riojas Cañar -Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas- Monografía
- [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 STMicroelectronic
- [10] Hoja de datos del motor reductor MR08D de Ignis.