



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO EXPERIMENTAL
PARA COMUNICACIONES SATELITALES

Autor

Gustavo Eduardo Jácome Vicuña

Año
2019



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO EXPERIMENTAL PARA
COMUNICACIONES SATELITALES

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de ingeniero en redes y telecomunicaciones

PROFESOR GUÍA

Edwin Guillermo Quel Hermosa

AUTOR

Gustavo Eduardo Jácome Vicuña

AÑO

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de un laboratorio experimental para comunicaciones satelitales, a través de reuniones periódicas con el estudiante Gustavo Eduardo Jácome Vicuña, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Edwin Guillermo Quel Hermosa

Magister en gerencia de redes y telecomunicaciones

C.I 1718726894

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de un laboratorio experimental para comunicaciones satelitales, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Iván Ricardo Sánchez Salazar

Magister en calidad seguridad y ambiente

C.I 1803456142

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Gustavo Eduardo Jácome Vicuña

C.I 1715759534

AGRADECIMIENTOS:

A mi mama, hermana y Víctor que con tanto esfuerzo dedicaron su tiempo y apoyo para brindarme la educación, sabiduría ante cualquier circunstancia, fueron y serán pilares importantes y fundamentales en mi crecimiento, quienes con sus palabras, consejos y acciones me impulsaron a continuar en el proceso, me brindaron una iniciativa emprendedora de ambiciones y éxitos profesionales y personales.

Gustavo Jácome V.

DEDICATORIA:

Esto se lo dedico a mi Madre y
Hermana quienes con paciencia y
amor me han ayudado a salir a
delante, gracias a ustedes hoy
puedo ser un profesional

RESUMEN

El laboratorio experimental es un proyecto orientado a fines educativos para brindar una educación complementaria para el desarrollo pre profesional del estudiante, el cual cursa asignaturas relacionadas con el presente tema, facilitando así las practicas que posean una relación en la recepción de señales satelitales, tanto a ellos como a los docentes.

El presente laboratorio utiliza un sistema que puede ser manipulado desde una aplicación móvil, una estación terrena y frecuencias recibidas desde el satélite por medio de equipos de laboratorio. Este laboratorio consiste de una parte hardware y otra de software. La parte de hardware consiste en elementos que pertenecen a la estación terrena y una interfaz que controla el serbo motor de la antena parabólica. El software consiste en una arquitectura cliente servidor.

ABSTRACT

The experimental laboratory is a project oriented to educational purposes to provide a complementary education for the pre-professional development of the student, which studies subjects related to the present subject, facilitating the practices that have a relationship in the reception of satellite signals, both to them and to the teachers.

The present laboratory uses a system that can be manipulated from a mobile application, an earth station and frequencies received from the satellite by means of laboratory equipment. This laboratory consists of a hardware part and a software part. The hardware part consists of elements belonging to the earth station and an interface that controls the servo motor of the satellite dish. The software consists of a client server architecture.

INDICE

Introducción	1
1 Estado del arte de la teoría de comunicaciones satelital.....	3
1.1 Especificaciones estado del arte.....	3
1.1.1 Historia de los satélites.....	3
1.1.2 Tipos de órbitas	4
1.1.2.1 Órbita Baja (LEO).....	4
1.1.2.2 Órbita media (MEO)	5
1.1.2.3 Órbita geoestacionaria (GEO).....	5
1.1.2.4 Órbita elíptica (HEO).....	5
1.1.3 Satélites geoestacionarios.....	6
1.1.4 Estructura de un satélite	7
1.1.5 Carga útil	8
1.1.6 Plataforma	8
1.1.7 Estructura de un sistema de comunicación por satélite.....	9
1.1.8 Segmento espacial	10
1.1.9 Segmento terreno	10
1.1.10 Bandas de frecuencia	11
1.1.11 Ángulos de orientación	12
1.1.12 Antenas parabólicas	14
1.1.13 Antena offset.....	15
1.1.14 Bloque de bajo ruido (Inb-low noise block)	16
1.1.15 Patrón de irradiación de la antena	17
2 Levantamiento de línea base.....	18

2.1	Especificaciones del levantamiento de línea base	18
2.1.1	Inverto, selected quad 40mm lnb with built-in multiswitch.	18
2.1.2	Titanium satellite, c2w-pll wideband 2 output	20
2.1.3	Satlink ws-6979 dvb-s2.....	22
3	Diseño de antena satelital e infraestructura del laboratorio experimental de acuerdo con el levantamiento de línea base.....	24
3.1	Especificaciones del diseño de antena satelital e infraestructura del laboratorio experimental de acuerdo con el levantamiento de línea base.....	24
3.1.1	Diseño de antena satelital	24
3.1.2	Antenna magus.....	24
3.1.3	Diseño de la antena parabólica en atenna magus.....	25
3.1.4	Diseño de la infraestructura de la antena	36
4	Análisis del software de simulación para antenas y el proceso para la simulación basada en el diseño.....	38
4.1	Especificaciones para análisis de software de simulación para antenas y el proceso para la simulación basada en el diseño.....	38
4.1.1	Análisis de los softwares de simulación para antenas.....	38
4.1.2	Simulación de la antena basada en el diseño.	39
5	Fabricación de la antena e implementación del laboratorio experimental.....	41
5.1	Especificaciones para la fabricación de la antena e implementación del laboratorio experimental.....	41

5.1.1	Fabricación de la antena satelital	41
5.2	Implementación del laboratorio experimental	48
5.2.1	Dispositivos electrónicos para la implementación.....	48
5.2.2	Motor paso a paso nema 34, 12nm 1714 oz.	49
5.2.3	Motor paso a paso nema 23, 1.3 nm motor 57bygh24	49
5.2.4	Electric putter actuador lineal 2"-20" 50mm nkla22-s.....	50
5.2.5	HSS86 2-Phase hybrid stepper servo driver.....	51
5.2.6	TB6600 Eje único 4a controlador motor a pasos 9 - 40 v	55
5.2.7	Power supply 350-24	57
5.2.8	Power supply 360-60	58
5.2.9	Adjustable step up and down power supply module boost buck converter lcd display voltage regulator model zk-sjva-4x.....	59
5.2.10	Bi directionale level logic converter.....	59
5.2.11	Modulo bluetooth & wifi esp-32 devkit c.....	60
5.3	Diseño electrónico de la implementación	61
5.4	Plataforma de desarrollo electrónico platformio	64
5.4.1	Instalación software platformio en visual studio code	65
5.4.2	Inicio a la configuración del esp-32.....	66
5.4.2.1	Configuración controlador eje azimuth	68
5.4.2.2	Configuración controlador eje elevación.....	72
5.5	Aplicación movil para controlar el movimiento de la antena de posicion angular "blynk"	76
5.6	Implementación final del laboratorio experimental.	83
6	Pruebas técnicas del laboratorio experimental.....	85

6.1	Especificación de pruebas técnicas del laboratorio experimental.....	85
6.1.1	Pruebas de conectividad inalámbrica.....	85
6.1.2	Pruebas de recepción de señal.....	86
7	Guías de laboratorio.....	89
7.1	Especificación para guías de laboratorio.....	89
7.1.1	Primera guía de laboratorio.....	89
7.1.1.1	Tema.....	89
7.1.1.2	Objetivo.....	89
7.1.1.3	Resultados del aprendizaje.....	89
7.1.1.4	Materiales.....	89
7.1.1.5	Conocimientos previos.....	89
7.1.1.6	Presentación de resultados.....	89
7.1.1.7	Conclusiones y recomendaciones.....	90
7.1.2	Segunda guía de laboratorio.....	90
7.1.2.1	Tema.....	90
7.1.2.2	Objetivo.....	90
7.1.2.3	Resultado del aprendizaje.....	90
7.1.2.4	Materiales.....	90
7.1.2.5	Conocimientos previos.....	90
7.1.2.6	Presentación de resultados.....	90
7.1.2.7	Conclusiones y recomendaciones.....	91
7.1.3	Tercera guía de laboratorio.....	91
7.1.3.1	Tema.....	91
7.1.3.2	Objetivo.....	91
7.1.3.3	Resultado del aprendizaje.....	91

7.1.3.4	Materiales.....	91
7.1.3.5	Conocimientos previos.....	92
7.1.3.6	Representación de resultados.....	92
7.1.3.7	Conclusiones y recomendaciones.....	92
7.1.4	Cuarta guía de laboratorio.....	92
7.1.4.1	Tema.....	92
7.1.4.2	Objetivo.....	92
7.1.4.3	Resultados del aprendizaje.....	93
7.1.4.4	Materiales.....	93
7.1.4.5	Conocimientos previos.....	93
7.1.4.6	Representación de resultados.....	93
7.1.4.7	Conclusiones y recomendaciones.....	93
7.1.5	Quinta guía de laboratorio.....	93
7.1.5.1	Tema.....	93
7.1.5.2	Objetivo.....	94
7.1.5.3	Resultados de aprendizaje.....	94
7.1.5.4	Materiales.....	94
7.1.5.5	Conocimientos previos.....	94
7.1.5.6	Representación de resultados.....	94
7.1.5.7	Conclusiones y recomendaciones.....	94
7.1.6	Sexta guía de laboratorio.....	95
7.1.6.1	Tema.....	95
7.1.6.2	Objetivo.....	95
7.1.6.3	Resultados del aprendizaje.....	95
7.1.6.4	Materiales.....	95
7.1.6.5	Conocimientos previos.....	95

7.1.6.6 Representación de resultados.....	95
7.1.6.7 Conclusiones y recomendaciones.....	95
8 Conclusiones y recomendaciones	96
8.1 Conclusiones.....	96
8.2 Recomendaciones.....	98
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS	102

Introducción

Gracias a la necesidad de las comunicaciones, los seres humanos han podido crear satélites artificiales que rodean la superficie de la Tierra, los cuales son capaces de radiar a espacios muy extensos para transmitir información a distintos lugares remotos e inaccesibles para así poder establecer comunicación entre los continentes del planeta. Cabe recalcar que hoy en día el acceso a la información es de vital importancia para la sociedad a nivel mundial, vivimos en un mundo cada vez más globalizado donde la aplicación de las telecomunicaciones se ha extendido a todas las áreas de la investigación científica, procesos industriales, medicina, entretenimiento.

Las antenas de un satélite o de la estación terrena se encargan de recibir la señal, procesarla y amplifican la señal para retransmitir, ya sea nuevamente al satélite o a la estación terrena.

Por este motivo se renovará metodologías y objetivos para realizar un proyecto de acorde a la época maximizando los trabajos y conocimientos sobre los diversos estudios de implementación referentes a laboratorios experimentales.

La implementación del laboratorio experimental ha servido para la formación práctica de alumnos que cursan asignaturas relacionadas, pues, su objetivo se basa en que los alumnos logren “conocer las diferentes tecnologías satelitales, facilitando las prácticas, tanto a ellos como a los propios maestros que las imparten”.

Es por esto, que para este estudio se ha notado un crecimiento exponencial en el área de tecnología y comunicación satelital donde abarca la obtención de nuevos métodos de estudio, por ende, se necesitan mayores requerimientos ya no solo en la parte teórica, si no enfocarse en un área práctica más avanzada donde el estudiante pueda emplear sus conocimientos obtenidos durante su formación académica.

Los proyectos o implementaciones para la parte satelital son proyectos de grandes magnitudes, en la mayoría de los casos se encuentran implicados varias entidades colaboradoras. El proyecto que se implementará tiene que ver en pequeña escala, mediante la implementación de un laboratorio experimental para comunicaciones satelitales. Sin embargo, se trata de un proyecto ambicioso que persigue distintos fines.

1 Estado del arte de la teoría de comunicaciones satelitales.

1.1 Especificaciones estado del arte.

1.1.1 Historia de los satélites.

Uno de los resultados más fascinantes en la evolución de la humanidad son los programas espaciales los cuales innovan constantemente la tecnología de los satélites artificiales. Tiempo atrás el ser humano vio la necesidad de traspasar los niveles de comunicación, creando satélites artificiales y colocándolos en la superficie de la Tierra, los cuales serían capaces de realizar una comunicación mucho más extensa llegando a lugares remotos e inaccesibles, para así transmitir y recibir información entre países y continentes.

Una de las primeras personas en proponer una idea para un satélite geoestacionario fue un ex oficial de Inglaterra en la segunda guerra mundial, su nombre era Arthur C. Clarke, en el año de 1945 el oficial publicó un artículo llamado "Extra-Terrestrial Relays" en este artículo se describe un sistema de comunicación conformado por tres satélites los cuales estarían en órbita para lograr una cobertura mundial. (Vela, 2003).

En 1957 se realiza el primer lanzamiento por la unión soviética del satélite llamada "Sputnik" este satélite poseía una masa de 83,6 kg y viaja a 29000 km. (Waikato, 2018).

En 1960 se lanzó el primer satélite meteorológico lanzado por la NASA llamado "Tiros-1" transmitía infrarrojos y era capaz de registrar huracanes, por su éxito del programa tiros se realiza continuar con el programa al cual llamaron "Nimbus". (Waikato, 2018).

En 1962 Se lanza el primer satélite de comunicaciones televisivos trasatlántica llamado Telstar-1, el cual se posicionaba en órbita baja. Al ver el éxito se funda un consorcio internacional llamado INTELSAT, que en la actualidad opera varios satélites de comunicación para proporcionar servicios de difusión. (Waikato, 2018).

En 1972 se lanza la primera estación espacial llamada “Salyut 1”, esta fue construida y enviada en una sola pieza, siendo así que cuando sus suministros se agotaron, la estación fue abandonada, lo que sucedió en el año 1986. (Waikato, 2018).

En 1972 se da inicio al programa Landsat y se lanza un satélite con tecnología para recursos de tierra, este emitía imágenes de la tierra de más larga duración que son utilizadas para evaluar cambios naturales y humanos, años después lo llaman “landsat”. (Waikato, 2018).

En 1979 se lanza un satélite por la agencia espacial europea llamada “Ariane 1”, este satélite fue diseñado para colocar en órbita dos satélites de telecomunicación, dicho programa ESA se encuentra presente en la actualidad. (Waikato, 2018).

EN 1981 se realiza el lanzamiento del primer transbordador espacial tripulado por los astronautas W.Young y Robert L.Crippen. Aquí da inicio al programa American Space Shuttle. (Waikato, 2018)

En el 2004 se lanza un satélite con la única función de perseguir el cometa G7P, este satélite fue llamado “Rosetta”. (Waikato, 2018).

En el 2012 alrededor de 1000 satélites se encontraban en órbita. Los cuales cumplen diversas funciones. (Waikato, 2018)

En el 2017 se crea el primer sitio de lanzamiento orbital privado en Nueva Zelanda, esto fue creado para abrir más oportunidades a más organizaciones. (Waikato, 2018)

1.1.2 Tipos de órbitas

El planeta tierra cuenta con diferentes orbitas para poder clasificar los sistemas satelitales.

1.1.2.1 Órbita Baja (LEO)

Esta órbita se encuentra ubicada a una altura entre los 500 y 2000 km como se puede observar en la figura 1, es la más cercana al planeta. Los satélites ubicados en esta órbita viajan a grandes velocidades, para dar una vuelta a la

tierra toma un tiempo de 2 horas. Particularmente estos satélites son visibles por pequeños tiempos. (Vela, 2003).

Tomando en cuenta por la velocidad de estos satélites y su posicionamiento, es difícil realizar pruebas en la fase de implementación.

1.1.2.2 Órbita media (MEO)

Esta órbita se encuentra ubicada a una altura entre los 8000 y 20000 km, como se ve en la figura 1 esta órbita tiene una forma elíptica, tomando así un tiempo de 6 horas para dar una vuelta al planeta, puntualmente utilizando 4 satélites se puede cubrir toda la tierra. (Vela, 2003)

1.1.2.3 Órbita geoestacionaria (GEO)

Como se puede apreciar en la figura 1, esta órbita se encuentra a una distancia de 36000 km aproximadamente, su tiempo de rotación al planeta es de 24 horas.

Los satélites geoestacionarios deberían desplazarse en el mismo sentido de la tierra; además, para no perder altura poco a poco y que complete una vuelta cada 24 horas en dicha órbita, para lograrlo el satélite debe tener una velocidad de 3,705 m/s. (Vela, 2003).

Tomando en cuenta que la mayor parte de satélites para las comunicaciones a nivel mundial se encuentran en esta órbita, la cual es ideal para realizar pruebas en el proceso de la implementación.

Clarke indico que con solo tres de los satélites geoestacionarios se puede intercomunicar por radio a casi toda la totalidad del mundo habitado, desde luego con limitaciones en la cantidad y calidad de tráfico. (Vela, 2003).

1.1.2.4 Órbita elíptica (HEO)

Como se puede apreciar en la figura 1, esta órbita es peculiarmente inclinada, obteniendo un periodo que varía entre las 8 y 24 horas, posee un perigeo aproximado a los 500 km y apogeo a 50000 km. (Vela, 2003)

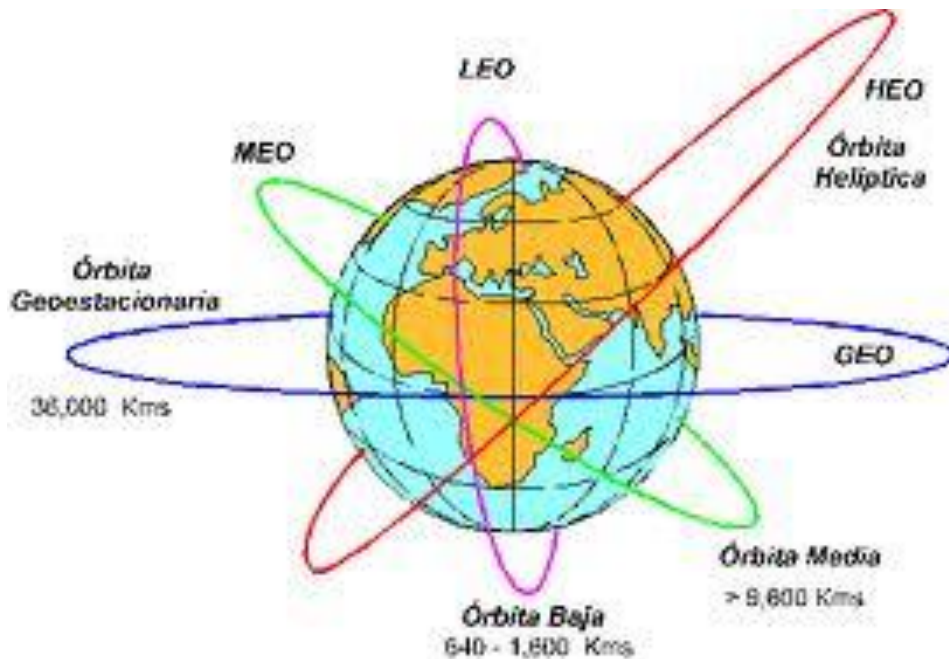


Figura 1. Tipo de Órbitas

1.1.3 Satélites geoestacionarios

Una parte importante que predomina en los satélites geoestacionarios es que su sistema de propulsión es desechable, los cuales son usados por varias etapas hasta colocar el satélite en la posición requerida dentro de la órbita.

La órbita geoestacionaria también se conoce que esta sobre el plano del Ecuador, en la que presenta igual período y sentido de rotación que la tierra. Esto significa que el satélite estará siempre en el mismo punto con respecto a la tierra. (Martín, 2006).

Aunque son muchos estos satélites, sólo unos cuantos se podrán utilizar de manera satisfactoria, pues su franja de irradiación no se dirige a nuestro país, o es muy débil su señal. En principio se realizará una concentración en el Amazonas 2 o Amazonas 3, Intelsat y algunos otros satélites de Hispasat, los cuales sean de señal no codificada y posean línea de vista. (Martín, 2006)

Existen varias normas que deben cumplir los satélites geoestacionarios para así satisfacer la misión:

- Excelente precisión de las antenas
- Vida útil de 10 a 15 años en órbita.

- Suministros fiables de energía.
- Control térmico de los componentes.
- Funcionamiento en la sombra del planeta.
- Un transportador que ubique el satélite en la órbita.

El tipo de órbita depende del uso que se les dé a los satélites, estos pueden ser:

- Satélites Militares: tienen mayor precisión y seguridad, se usan para guía de misiles, localización y seguimiento, control de naves o vehículos.
- Satélites Meteorológicos: son utilizados para tomar fotos en la superficie de la tierra, para así proporcionar datos meteorológicos.
- Satélites de Navegación: permiten determinar posiciones y trazar corrientes.
- Satélites de radioaficionados: Son usados para experimentar, investigar o estudiar con equipos de radio comunicación, un ejemplo podría ser la ayuda comunitaria.
- Satélite de Comunicaciones: Se encargan de transmitir señales de televisión, de radio, de telefonía y datos al planeta.
- Satélites de observación: Se utilizan para establecer coordenadas en determinados puntos de la tierra.

1.1.4 Estructura de un satélite

Un satélite de comunicaciones está dividido en dos partes esenciales y fundamentales para lograr una correcta operación:

1. El conjunto de antenas y equipos que realizan un proceso en las diversas señales de comunicación hacia el usuario, llamado generalmente como carga útil o Payload.
2. Todo lo que conforma la estructura de soporte vital para el correcto funcionamiento del satélite llamado generalmente como plataforma.

En la Figura 2 se puede observar una pequeña división de los elementos principales que forman un satélite. (Sanchez, 2000)

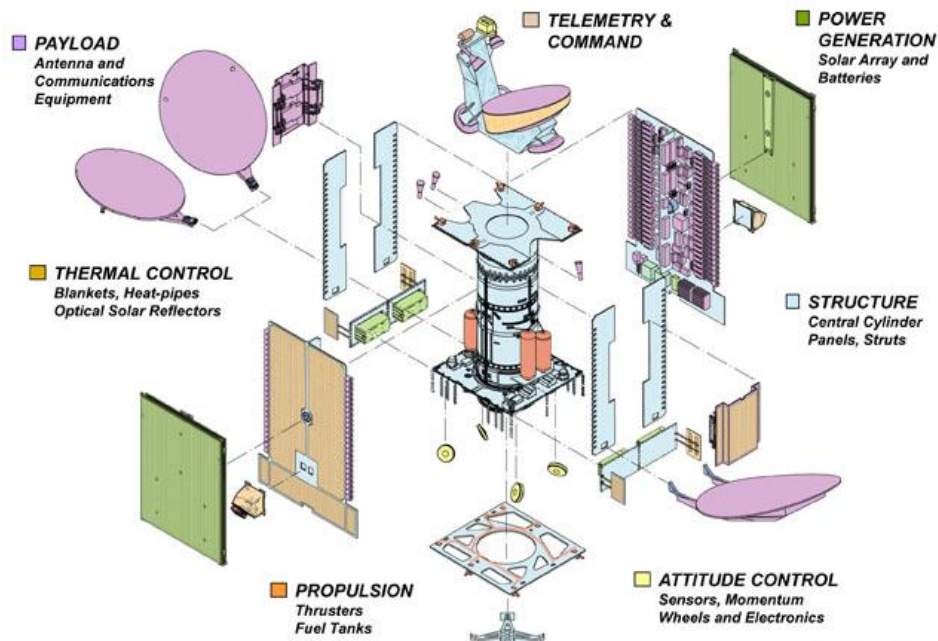


Figura 2. Subsistema de un satélite de comunicación.

1.1.5 Carga útil

Es llamado generalmente carga útil ya que comprende con los transpondedores y antenas, así como con todos los sistemas que intervienen para poder realizar el proceso de diversas señales radioeléctricas para transmitir y recibir de la estación terrena. (Sanchez, 2000).

1.1.6 Plataforma

Es una composición de varios subsistemas vitales que ayudan a mantener operativo el satélite en el espacio.

Los diversos subsistemas de la plataforma cumplen específicamente con una función:

- **Estructura de la plataforma:** Sirve de soporte para todos los elementos y carga útil. Debe ser resistente a vibraciones de lanzamiento, a la fuerza que emerge en el cuerpo al momento de salir de la atmosfera.

- **Sistemas de propulsión:** Utiliza un motor de apogeo el cual ayuda al satélite ubicarse en su posición una vez que el transportador lo deja en órbita. También ayuda para realizar correcciones de posición por algún acontecimiento natural o técnico.
- **Sistemas de orientación:** Constituye por partes que permiten conservar la precisión de las antenas para obtener la emisión y transmisión correcta.
- **Sistema de energía:** Utiliza paneles solares que alimentan a los demás circuitos del satélite.
- **Sistema de Telemetría:** Este sistema es el más importante de todos ya que este conoce el estado de todos los demás subsistemas utilizando varios sensores los cuales son monitoreados desde el centro espacial.
- **Sistema de telemando:** Este sistema es importante ya que el centro de control puede operar al satélite remotamente y poder controlar su funcionamiento como el subsistema de telemetría.
- **Sistema térmico:** Ayuda a mantener una temperatura estable de los circuitos que componen el satélite a pesar de las variaciones de temperatura en el espacio, tomando en cuenta también que, si se produce temperaturas que no puedan ser toleradas, entra en funcionamiento sistemas con radiadores para disipar el calor y calefactores para el frío.

1.1.7 Estructura de un sistema de comunicación por satélite

En la Figura 3 podemos ver como se compone un sistema de comunicación por satélite:

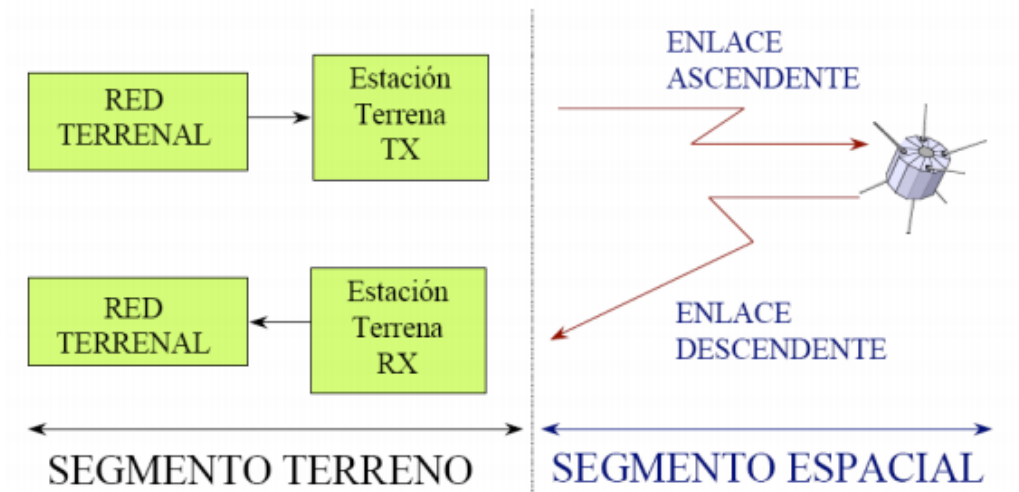


Figura 3. Estructura de un sistema de comunicación por satélite

El sistema de comunicación por satélite está dividido por dos elementos:

- Segmento terreno.
- Segmento espacial.

1.1.8 Segmento espacial

- **Satélite:** Su principal función es establecer comunicación en zonas extensas o remotas del planeta.
- **Enlaces ascendentes y descendentes:** La propagación en espacios libres y atenuaciones existentes.

El segmento espacial es la parte más costosa de la comunicación.

1.1.9 Segmento terreno

- **Estación terrena transmisora:** Su característica esencial es recibirla señal en banda base a transmitir para luego ser modulada en una portadora de frecuencia intermedia F.I, luego se traslada a una frecuencia de portadora de radio frecuencia R.F, que, con la amplificación necesaria se transmite al satélite. (Sanchez, 2000).
- **Estación terrena receptora:** Se debe ubicar una antena muy directiva y un sistema receptor cuyo factor de ruido sea muy bajo, esto comprende los siguientes elementos:

- Amplificación de la señal
- Conversor a FI
- Demodular la señal

La estación terrena debe poseer características específicas al tipo de enlace y posición geográfica. Para estos tipos de enlaces satelitales, los cálculos deben ser exactos para tener una transmisión y recepción óptima.

1.1.10 Bandas de frecuencia

Las comunicaciones satelitales son un medio de comunicación inalámbrica, por lo tanto, existen varias señales existentes en el espectro radioeléctrico. Por lo cual existen varias bandas de frecuencias, así como los usos de cada uno de ello, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Bandas de Frecuencia.

FRECUENCIA	BANDAS	CAPACIDAD	ATENUACIÓN	COBERTURA	COSTO EQUIPOS
BAJA	VLf, LF (3-300) KHz	BAJA	BAJA	AMPLIA	BAJO
MEDIA / ALTA	MF, HF (300KHz- 300Mhz)	MEDIA	MEDIANA	MEDIANA	BAJO
MUY ALTA	VHF, UHF (300Mhz- 1Ghz)	MEDIA-ALTA	ALTA	MEDIANA	MEDIO
MICROONDAS	1Ghz- 30Ghz	ALTA	ALTA	REDUCIDA	ALTO
MILIMÉTRICAS	30 Ghz- 300Ghz	MUY ALTA	MUY ALTA	MUY REDUCIDA	MUY ALTO

El espectro ideal para las comunicaciones satelitales se encuentra en el rango de 1GHz y 30 GHz, lo cual se detalla en la tabla 2.

Tabla 2

Comunicaciones por satélite en la banda de 1GHz y 30 GHz.

TIPO DE BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS
L	1.30-2700 Ghz
S	2.700-3.500 Ghz
C	Downlink: 3.700-4.200 Ghz

	Uplink: 5.925-6.425 Ghz
X	Downlink: 7.250-7.745 Ghz Uplink: 7.900-8.395 Ghz
Ku	Downlink: FSS: 11.700-12.200 Ghz Uplink: 14.000-14.500 Ghz
Ka	Entre 18y 31 Ghz

El tipo de bandas se las describe con una letra, siendo así una forma más simple para referenciarlas.

Es importante conocer que mientras más baja sea la frecuencia, mejor es su propagación en esa banda. Al contrario, mientras más alta sea la frecuencia más alto será el ancho de banda asignado.

1.1.11 Ángulos de orientación

Las antenas son las encargadas de recibir o transmitir las comunicaciones que se establecen entre la estación terrena y el satélite. Para poder obtener una orientación ideal de la antena al satélite es necesario conocer los ángulos.

Estos ángulos son:

- Azimut.
- Elevación.

Estos ángulos los cuales son llamados ángulos de vista. Se miden de acuerdo con la posición de la antena, siempre y cuando esta tenga la mayor ganancia en el enlace.

- **Angulo de Elevación:** Se trata de un ángulo formado entre la señal recibida desde el satélite y la horizontal, el cual se puede observar en la figura 4. (De León, 2004).

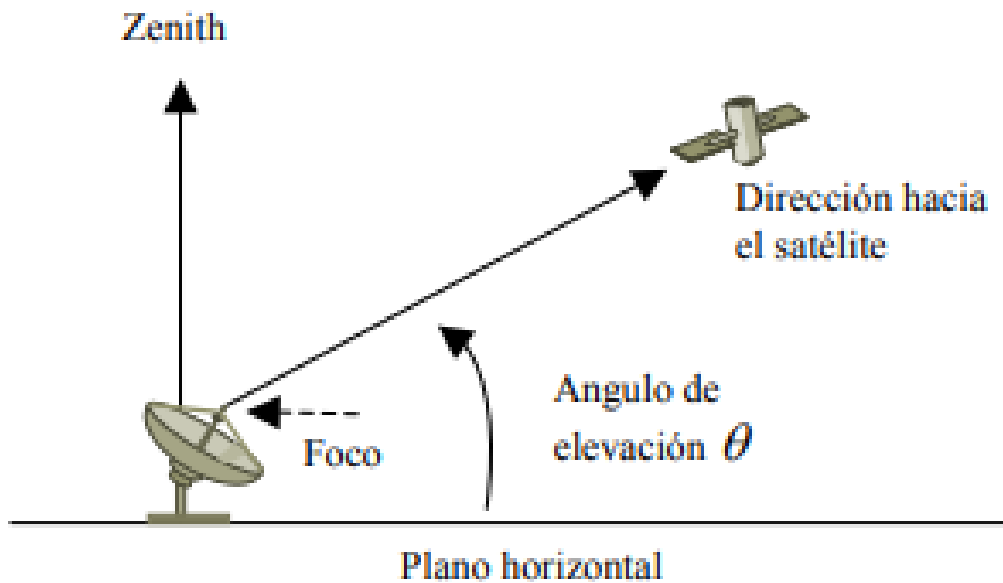


Figura 4. Ángulo de elevación.

- Ángulo Azimut: Es el ángulo horizontal de la antena y este se mide en sentido de las manecillas del reloj. Este ángulo se encuentra entre los 0 grados y los 360 grados, dependiendo de la ubicación de la estación terrena con respecto al satélite. (De León, 2004, pág. 25).
En la Figura 5 se puede observar lo antes descrito. (Vela, 2003).
- Hemisferio Norte:
 - Estación terrena ubicada al oeste del satélite $\phi = 180^\circ - \phi$
 - Estación terrena ubicada al este del satélite $\phi = 180^\circ - \phi$
- Hemisferio Sur:
 - Estación terrena ubicada al oeste del satélite $\phi = \phi$
 - Estación terrena ubicada al este del satélite $\phi = 360^\circ - \phi$

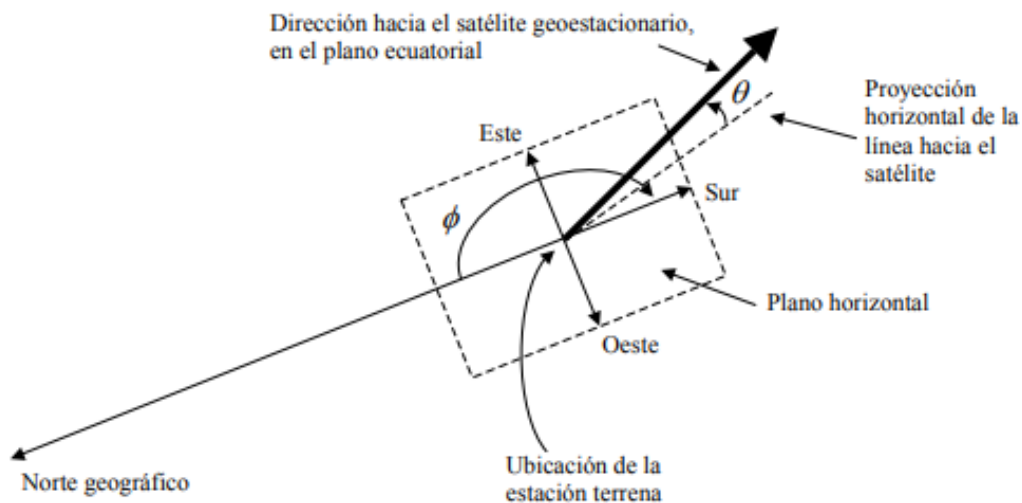


Figura 5. Ángulo Azimut

1.1.12 Antenas parabólicas

Las antenas parabólicas reflejan las señales que llegan a su plato y las concentran en el foco, el cual se encarga de concentrar dicha señal. Su máxima radiación es el eje del lóbulo principal de la radiación, esto depende de la superficie de la antena, su concavidad, de la orientación, tipo de alimentador y el patrón de radiación.

Existen diversos tipos de antenas parabólicas.

- **Offset:** Este tipo de antena tiene el foco ubicado en la parte inferior de la antena, quedando así fuera de la superficie, tiene un rendimiento del 70%, cuando la señal llega a la antena se reflejan dirigiéndose al foco y otras se pierden. Debido a que es la antena por utilizar se describe más adelante sobre sus características. (Jeirí, 2013).
- **Prime Focus o foco primario:** Es una antena que su foco está situado en el centro de la antena como se indica en la figura 8, siendo así que las señales llegan de forma paralela al eje principal, se reflejan y se dirigen al Foco. Un problema en este tipo de antena es que en el reflector se crea una sombra debido a

la ubicación del foco. Esta antena tiene un 60% de rendimiento. (Jeirí, 2013)

- **Cassegrain:** Es una antena que posee dos reflectores de varios tamaños; el reflector más grande apunta hacia la recepción para así ser reflejadas al más pequeño. Son antenas de grandes dimensiones utilizadas más para la transmisión de señal.

También, se debe tomar en cuenta que existe otro modelo o tipo de antena que es utilizada para comunicaciones satelitales en base terrena o también por el usuario final, esto se debe a su costo económico y a su tamaño, la antena plana no es una antena que requiere ser orientada al satélite sin necesidad que este sea preciso. (De León, 2004).

1.1.13 Antena offset

Como se indicó anteriormente, la antena utilizada en el presente trabajo es la antena de tipo offset, con una dimensión de 1.20 mts y 15 kilos aproximadamente.

Una característica principal de las antenas offset es que está formada de un reflector paraboloide, toda la superficie de la antena es simétrica, a diferencia de las otras antenas esta se caracteriza por tener un plato de forma oval, ya no redonda.

El punto focal está ubicado en la parte inferior de la antena, de este modo el foco queda en la parte externa de la superficie de la antena parabólica, por ende, tiene un mayor rendimiento. (Huidobro, 2013)

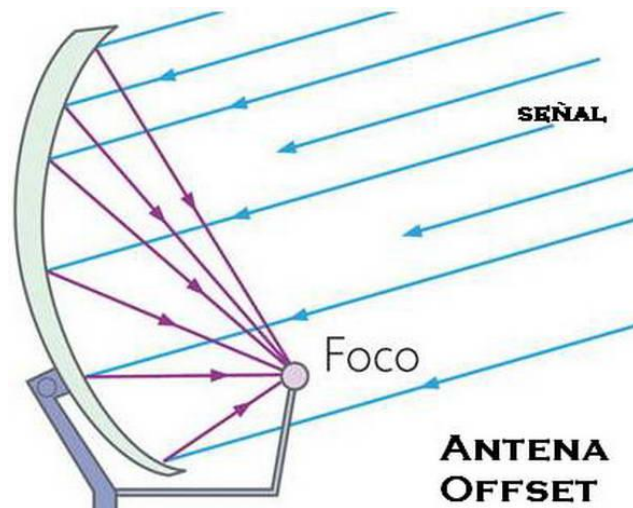


Figura 6. Reflexión de ondas antena offset

1.1.14 Bloque de bajo ruido (Lnb-low noise block)

El bloque de bajo ruido es el encargado de convertir la señal de radio frecuencia a frecuencia intermedia, se podría decir que el LNB recepta una frecuencia alta y lo que hace es convertirla a una frecuencia más baja para transmitirla por el cable y así poder llegar hasta el receptor.



Figura 7. LNB (Low Noise Block).

Tomado de (trade, Amazon, 2019)

1.1.15 Patrón de irradiación de la antena

Un parámetro muy importante de toda antena es el patrón de radiación, el cual indica las variaciones de la ganancia con respecto a la dirección en la que se está radiando, por lo que se suele representar gráficamente tanto en coordenadas polares (grados) como en coordenadas cartesianas. (De León, 2004)

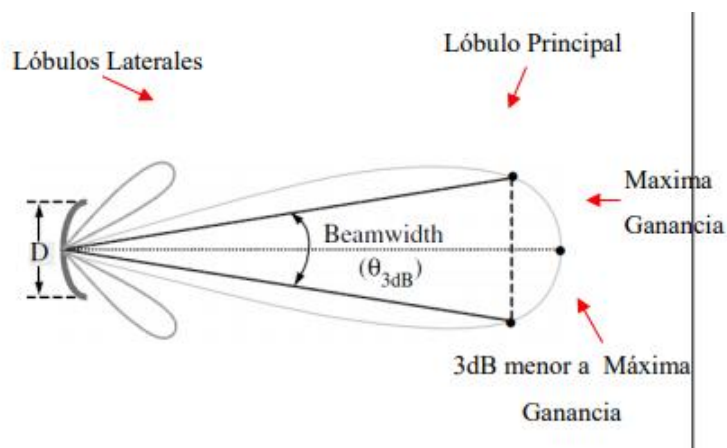


Figura 8. Patrón de radiación de la antena

Al hablar de la irradiación de la antena se puede decir que existen diversos tipos de polarización, las cuales son:

- Lineal: campo eléctrico horizontal.
- Circular:
- Elíptica

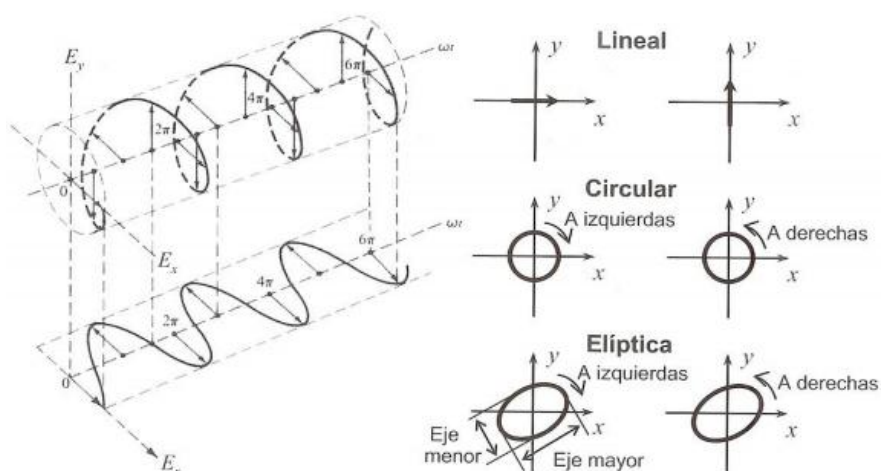


Figura 9. Tipos de polarización

Una nota importante la cual se debe de tomar en cuenta para utilizar cualquier polarización en un enlace, la antena transmisora y la antena receptora deben utilizar la misma polarización. (Marquéz, 2011)

2 Levantamiento de línea base.

2.1 Especificaciones del levantamiento de línea base

Este capítulo está dedicado al estudio e investigación de todos los equipos existentes en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad de las Américas ubicado en la sede Queri, bloque 4, aula 464.

Se realizó la investigación y los equipos disponibles en el laboratorio los cuales describiremos su uso y características en los siguientes puntos.

2.1.1 Inverto, selected quad 40mm lnb with built-in multiswitch.

Es un LNB de gama alta, fabricado para cumplir los estándares de calidad más altos y establecer una excelente confiabilidad, este LNB permite la recepción de señales satelitales y distribuyéndolas por un máximo de hasta 4 salidas. (Technologies, 2017)

Es un LNB listo para transmisiones de alta definición y proporciona una excelente figura de ruido. Totalmente diseñado para cumplir con estrictas especificaciones. (Technologies, 2017)

Definimos sus principales características:

- LNB de alto rendimiento
- Calidad controlada
- Diseño especial para una recepción optima
- LNB creado para clientes exigentes.

En la Figura 10 se puede observar las dimensiones correspondientes que posee el LNB.

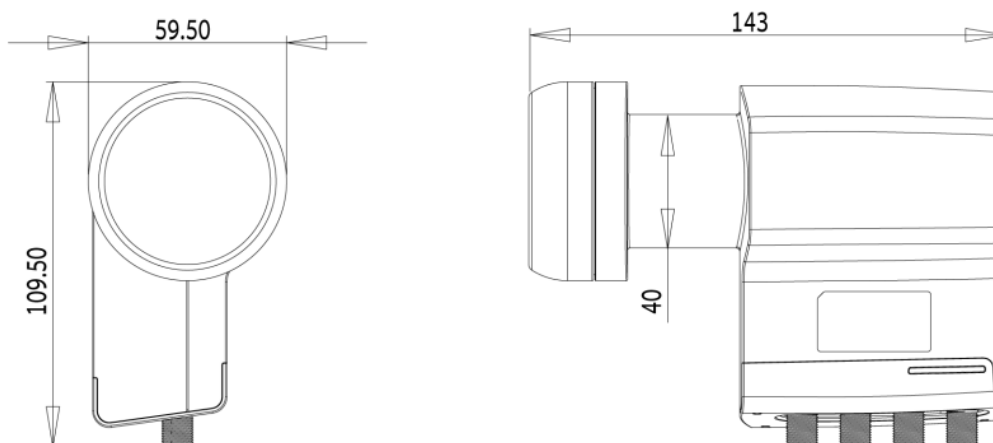


Figura 10. Dimensiones del LNB INVERTO.

Tomado de (Technologies, 2017)

En la Tabla 3 se detallará las especificaciones técnicas del LNB en banda Ku.

Tabla 3.

Especificaciones LNB.

Rango de frecuencia de entrada de banda baja	10.7 GHz ~ 11.7 GHz
Rango de frecuencia de salida de banda baja	950 MHz ~ 1950 MHz
Baja frecuencia de banda baja	9.75 GHz
Rango de frecuencia de entrada de banda alta	11.7 GHz ~ 12.75 GHz
Rango de frecuencia de salida de banda alta	1100 ~ 2150 MHz
Frecuencia de banda alta LO	10.6 GHz
Figura de ruido	0.2 dB típ. (0.7 dB Max.)
Desviación de temperatura LO	± 3.0 MHz max.
Precisión inicial de LO a 25 ° C	± 1.0 MHz max.
Ruido de fase LO a 10 kHz	-85 dBc / Hz
Ganancia de conversión	55 dB min.
Ganancia de rizado (más de 26 MHz de ancho de banda)	± 0.75 dB
Variación de ganancia (sobre banda completa)	± 4 dB max.
Rechazo de la imagen	40 dB min.

Punto de compresión de 1 dB (@ salida)	0.0 dBm min.
Charla cruzada	22 dB min.
Señal de control Ca (V)	11.0 V ~ 14.0 V
Señal de control Cb (H)	16.0 V ~ 20.0 V
Señal de control Cc (cambio de banda)	22 kHz \pm 4 kHz
Salida VSWR	2.5: 1
En el nivel de banda espuria.	-60 dBm max.
Consumo actual	200 mA máx. (11 VDC ~ 20 VDC)
Temperatura de funcionamiento	-30 ° C ~ +60 ° C
Impedancia de salida	75 Ω (tipo F)
Tipo de conector de salida	Tipo F (hembra)
Peso	243 g

Este LNB será utilizado principalmente para el proyecto ya que es de banda Ku y bajo estos parámetros se realizará el diseño y simulación del proyecto.

2.1.2 Titanium satellite, c2w-pll wideband 2 output

Es un LNB de modelo innovador posee dos salidas, dicho dispositivo se desarrolló basándose en los últimos conjuntos de chip PLL obteniendo un balance de ganancia, aislamiento, estabilidad y amplificación para ser un LNBF de banda C exclusivamente con una fase de bucle que supera a otros LNBF de banda C. El diseño y los componentes de fabricación de este producto son de calidad por ejemplo posee conexiones coaxiales impermeables, de inserciones azules como se puede observar en la Figura 11. (Satellite, 2018)



Figura 11. LNB Tatinium Satellite

Tomado de (Satellite, 2018)

El presente LNB, cumple con todas las especificaciones y el rendimiento como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4.

Especificaciones LNB Titanium Satellite.

Salidas IF	2
Rango de frecuencia de entrada	3.40 ~ 4.20GHz
Rango de frecuencia de salida	950 ~ 1750MHz
LO frecuencia	5150MHz
Temperatura de ruido	15K típicos
Estabilidad de LO (sobre temp. Compensada)	± 100Khz impreso (<50Khz típico)
LO Phase Noise @ 1Khz	-72dBc
LO Phase Noise @ 10Khz	-81dBc
LO Phase Noise @ 100Khz	-90dBc
Ganancia de conversión	65dB típico
Ganar planitud	± 4dB
Variación de ganancia	± 1dB / 27 MHz
Rechazo de imagen	-45dB
Aislamiento de diafonía	20dB típico
Señales de control Ca [V / CR]	11.5 ~ 14.0V
Señales de control Cb [H / CL]	16.0 ~ 20.0V
Voltaje DC	11 ~ 20 Vcc
Corriente	145mA [max]
Salida VSWR	2.0: 1
Rango de temperatura	-22 ~ + 140 ° F / -40 ~ + 60 ° C
Humedad relativa	0 ~ 100% de condensación
Tipo de polarización (fundido ± escala de 45 °)	Lineal (w / dieléctrico para circular)
Impedancia de salida	75Ω
Conexión	Tipo F / 3GHz / Hembra
Peso	10.1 oz / 286g
Construcción	Aluminio fundido de precisión
Hardware	Cabeza Allen de acero inoxidable (con herramienta)

Acabado de la vivienda / escalar	Polvo de poliuretano (resistente a las astillas)
Color	Aleta de enfriamiento blanco nieve / natural
Cubierta de Feedhorn	RF Baja pérdida (color azul)
Dimensiones (sin escalar)	7 ⁵ / ₈ (l) x 4 ³ / ₈ (h) x 2 ³ / ₄ (w) en 185 (l) x 87 (h) x 68 (w) mm
Tipo escalar *	Plano - Prime Focus, 3 Ring
F / D con escalar plano incluido	0.32 ~ .44+ (escala de lanzamiento)
Tipo de montaje con escalar plano	Unipolar, trípode o patas cuádruples.
* Kit escalar cónico opcional - SC1	Tipo de plato compensado con F / D .5 ~ .8

Este LNB será utilizado de forma alternativa para futuras pruebas y comparativas dentro del proyecto para realizar pruebas de conexión entre diversos satélites.

Entre los más relevantes utilizaremos los transpondedores de banda C.

2.1.3 Satlink ws-6979 dvb-s2

Es un analizador de espectro, medidor de satélite MPG4y soporta DVB-S2 y DVB-T2. Adicional a esto es un analizador de constelaciones, ya viene con la última solución de firmware que se actualiza para realizar apoyo rangos de frecuencia de la antena local. Podremos apreciar más este producto en la figura 12 y las especificaciones que se detallan en la Tabla 5. Se toma en cuenta ciertas características del presente LNB para realizar el diseño de la antena, ya que en el software como un dato para llegar a un diseño óptimo, es necesario incluirlo. (Sat-Link, 2016)



Figura 12. Analizador de espectro Sat-Link ws-6979

Tomado de (Sat-Link, 2016)

Datos técnicos del LNB, se detallarán en la tabla 5.

Tabla 5.

Especificaciones Sat-Link ws-6979.

TRANSMISSION STANDARDS	
DVB-S2/S, DVB-T/T2	
SATELLITE INPUT/DEMODULATION	
Connector Type	F Type
Input Frequency	950 to 2150 MHz
Signal Input Level	- 65 to -25 dBm
Band Switch Control	22KHz
LNB Supply	13V/18V, IMax 400mA
Demodulation Type	QPSK,8PSK,16APSK
Symbol Rate	2<Rs<45Mband(SCPC/MCPC)
DVB-T/T2 INPUT/DEMODULATION	
Connector Type	FEMALE Type
Input Frequency	48 to 862 MHz
Signal Input Level	-79.5dBm (MAX)
ANT Supply	5V, 12V/17V Imax 100mA
Demodulation Type	QPSK,16QAM,64QAM,256QAM
LCD FEATURES	
LCD Type	TFT TRANSMISSIVE
Number of Dots	480(RGB) x272
Active area (WxH)	95.04x53.86 mm ²
AV output interface	
Connector Type	3.5 mm jack
Video Output	CVBS,
Audio output	Stereo Audio L/R output
HDMI output connector	
Format	HDMI 1.3a
AV input interface	
Connector Type	3.5 mm jack
Video input	CVBS,
Audio input	Stereo Audio L/R input

Tomado de (Sat-Link, 2016)

3 Diseño de antena satelital e infraestructura del laboratorio experimental de acuerdo con el levantamiento de línea base.

3.1 Especificaciones del diseño de antena satelital e infraestructura del laboratorio experimental de acuerdo con el levantamiento de línea base.

3.1.1 Diseño de antena satelital

Para poder realizar el diseño de la antena satelital implementada en el presente proyecto, se realizó una investigación sobre distintos softwares que realicen el modelado de antenas basándose en el ingreso de datos sobre sus elementos y componentes, tomando en cuenta la característica técnica de cada uno de ellos, para lograr el diseño de una antena eficaz.

Para este proceso, se analizó distintos softwares, llegando a la conclusión que Antenna Magus es un software que cubre todos los requerimientos propuestos.

A continuación, se describe más a detalle el entorno de Antenna Magus y las razones por las que se optó a la elección de este software para el diseño.

3.1.2 Antenna magus

Es un software que ha sido diseñado para visualizar información de una manera más fácil, que permita considerar varias opciones en el diseño a través de una enorme base de datos de más de 200 tipos de antenas para así cumplir con un diseño óptimo, que cumpla con las finalidades requeridas. Se puede decir que más que una base de datos es un conjunto de herramientas, la cual está llena de utilidades y funciones para simplificar dichas tareas de diseño. (Systemes, 2018).



Figura 13. Software de Diseño para antenas.

Tomado de (Systemes, 2018)

Tomando en cuenta todas las características del software, se decidió usar este producto ya que por la base de datos que posee, la antena a utilizar de tipo Offset se encuentra dentro de la lista, dentro del cual ayuda a simplificar el diseño ya que solo se ingresan parámetros y valores necesarios para lograr el diseño propuesto, el presente software tiene todo ya configurado para realizar los cálculos respectivos al solo ingresar un valor dentro del grupo de parámetros solicitado.

Una característica importante de este producto es que está asociado a CST STUDIO una plataforma que asocia varios softwares, entre uno de ellos podemos encontrar a CST MICROWAVE, el cual permite realizar una exportación del proyecto de diseño para poder realizar simulaciones en diferentes planos.

3.1.3 Diseño de la antena parabólica en atenna magus

El primer paso para diseñar la antena parabólica es conocer más a profundidad el software, por ello Antenna Magus brinda un numero de procesos básicos de búsqueda, diseño, investigación y resultados para obtener un diseño de la antena requerida. Posee opciones y herramientas adicionales para ayudar en el proceso de una manera eficaz.

A continuación, se especificará paso a paso el diseño de la antena y el uso de la plataforma utilizada.

Al iniciar la aplicación, Se observa la página de inicio rápido, el siguiente paso es definir una nueva especificación, lo recomendable es empezar con una especificación vacía, generalmente el software lo llama "Specification 1", para un mejor entendimiento se demuestra en la figura 14 y 15.

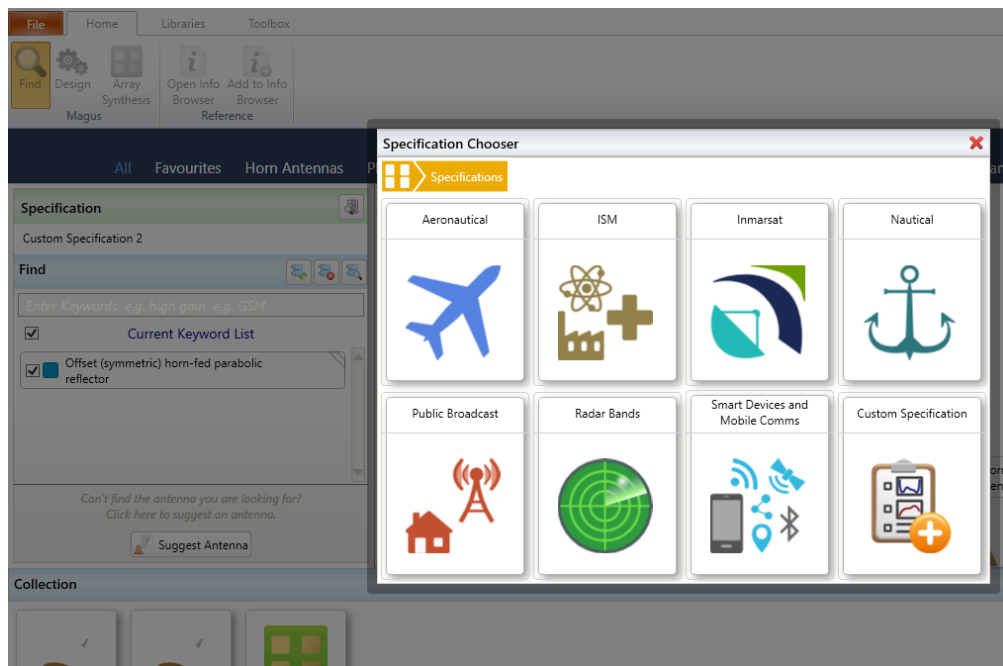


Figura 14. Selección de nueva especificación

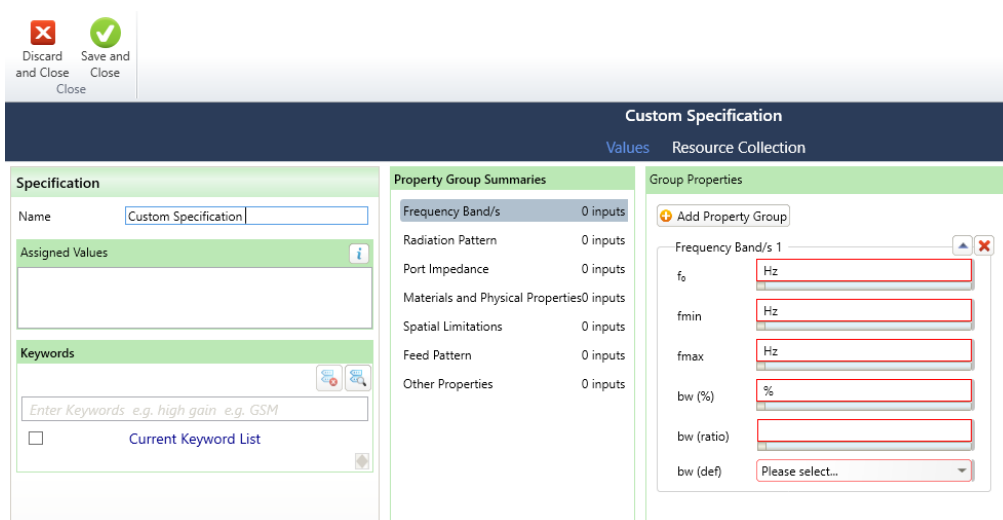


Figura 15. Modificación del nombre de Especificación

Al momento de ingresar la especificación, esta se traducirá a un conjunto de palabras claves las cuales nos ayudaran de una forma exacta para poder buscar la antena, como se indica en la figura 16.

Como se usará una antena Offset, buscaremos como palabra clave “Offset”, así se desplegará la opción (Offset (Symmetric) horn-feed parabolic reflector) el cual esta antena se asemeja al modelo requerido para implementar.

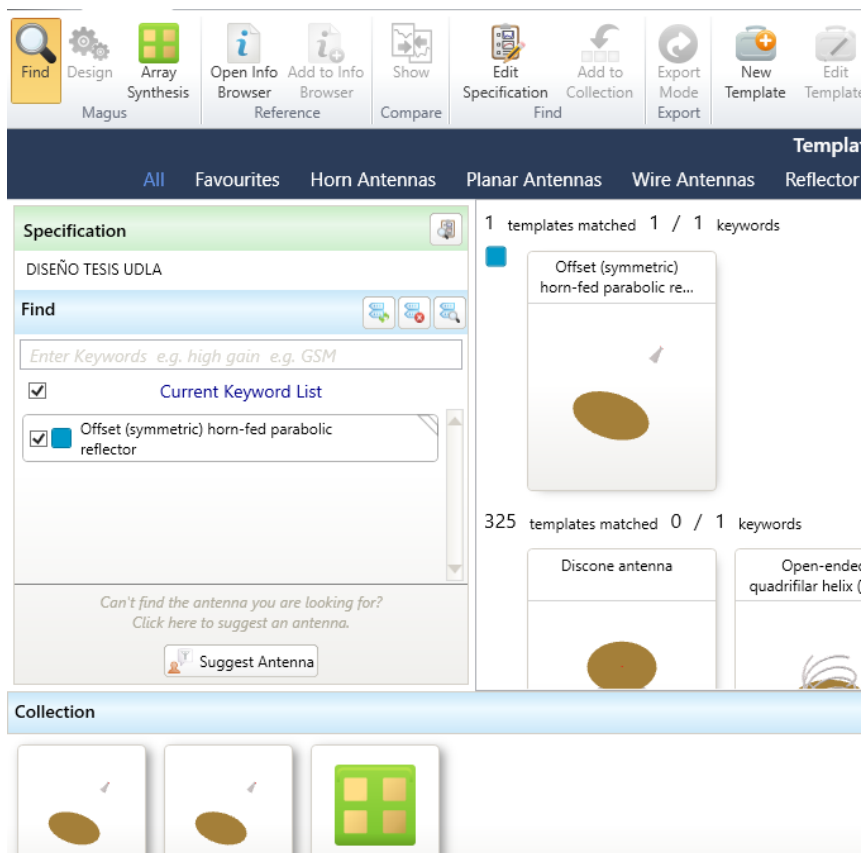


Figura 16. Selección de antena según especificación

Al desplazarse sobre cualquier antena que aparezca, la aplicación indica tres botones de una forma circular las cuales se observan en la figura 17, “información”, “Diseño” y “Agregar”.

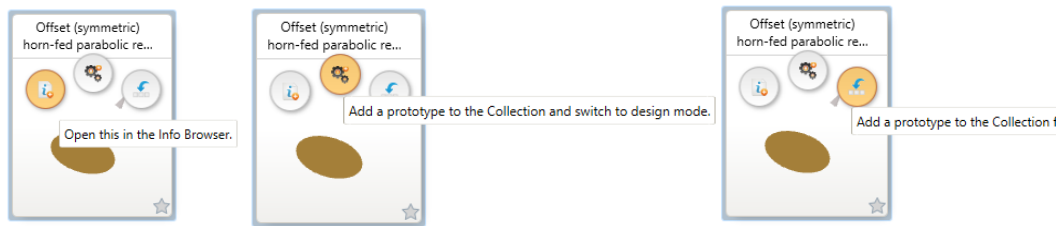


Figura 17. Opciones en antena para diseño, información y agregar a proyecto

En la opción de información se puede encontrar características técnicas de la antena seleccionada que se diseñara, como se puede visualizar en la imagen 18, muestra datos específicos con los cuales se trabajara inicialmente, estos datos se modificaran en el avance del diseño.

Quantity	Typical	Minimum	Maximum
Polarisation	Linear	-	-
Radiation pattern	Pencil beam	-	-
Gain	30 - 40 dBi	25 dBi	50 dBi
Performance bandwidth	5 %	-	-
Complexity	Medium	-	-
Balun	None required	-	-
Beamwidth	2 °	1 °	6 °
SLL (Side-lobe level)	-22 dB	-	-

Figura 18. Características técnicas de la antena Offset

En la opción de diseño se puede encontrar varias ventanas y opciones sobre la parte del diseño de la antena, la misma que se observa en la figura 19, en el proceso de diseño se explicara cada parte y funcionalidad de este.

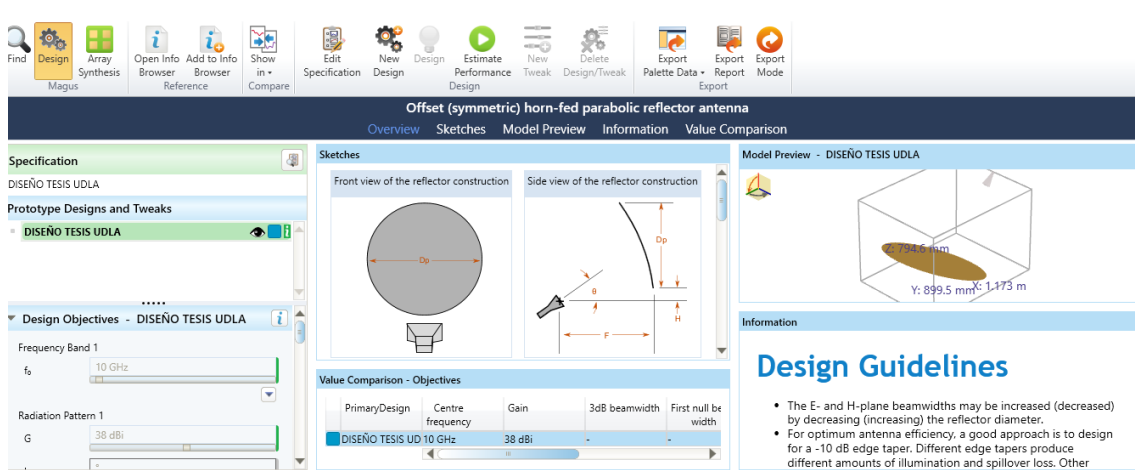


Figura 19. Ventana de Diseño Antena Magus

En la pestaña “Edit Specification” como se indica en la figura 20 se podrá ingresar todos los parámetros de la antena para así llegar al diseño propuesto.

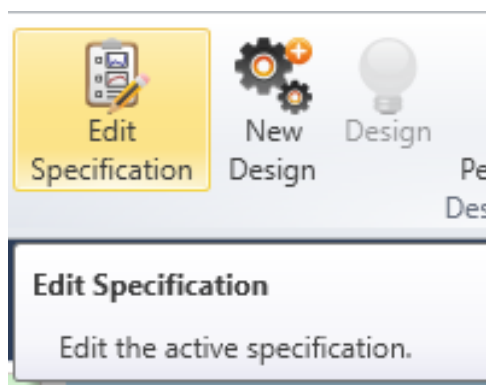


Figura 20. Opción de diseño

Como se observa en la figura 21, aquí se puede añadir todos los datos que requiere el software, como lo mencionamos en la introducción, no es necesario llenar todos los valores ya que al ingresar cualquier dato en la parte de “Group properties” el software los calcula automáticamente e ingresa los datos de forma automática.

The screenshot shows the 'DISEÑO TESIS UDLA' software interface. At the top, there are buttons for 'Discard and Close' (with a red X icon) and 'Save and Close' (with a green checkmark icon). Below this is a dark blue header with the text 'DISEÑO TESIS UDLA' and 'Values Resource Collection'. The main interface is divided into three panels:

- Specification:** Contains a 'Name' field with the value 'DISEÑO TESIS UDLA', an 'Assigned Values' section, and a 'Keywords' section with a text input field and a 'Current Keyword List' checkbox.
- Property Group Summaries:** A list of property groups with their respective input counts:

Frequency Band/s	0 inputs
Radiation Pattern	0 inputs
Port Impedance	0 inputs
Materials and Physical Properties	0 inputs
Spatial Limitations	0 inputs
Feed Pattern	0 inputs
Other Properties	0 inputs
- Group Properties:** A detailed view of the 'Frequency Band/s 1' group, showing input fields for:
 - f_0 : Hz
 - f_{min} : Hz
 - f_{max} : Hz
 - bw (%): %
 - bw (ratio):
 - bw (def): Please select...

Figura 21. Ingreso de Especificaciones

En la sección “Frequency Properties” se debe ingresar el rango de los datos de la frecuencia que se utilizan, los datos restantes son auto calculables como ya lo mencionamos.

Se Observa en la figura 22, en el lado izquierdo es donde se ingresarón los valores, existen líneas de colores el cual especificaremos a continuación:

- Azul: Indica que estos parámetros han sido ingresados por el usuario.
- Naranja: son valores estimados que calcula el software según los datos ingresados.

This screenshot shows the same software interface as Figure 21, but with numerical values entered into the 'Group Properties' section. The 'Property Group Summaries' section now shows the following input counts:

FrequencyProperties	6 inputs
RadiationProperties	11 inputs
ImpedanceProperties	10 inputs
PhysicalProperties	7 inputs
SpatialProperties	3 inputs
ExcitationProperties	0 inputs
OtherProperties	0 inputs

The 'Group Properties' section for 'Frequency Band/s 1' now shows the following values:

- f_0 : 10.68 GHz
- f_{min} : 9.75 GHz
- f_{max} : 11.7 GHz
- bw (%): 18.26 %
- bw (ratio): 1.2
- bw (def): Geometric

Figura 22. Ingreso de Parámetros de Frecuencia.

En la sección “Radiation Properties” ingresamos el parámetro de Ganancia que utilizaremos, dicho dato lo encontramos en el data sheet del el LNB el cual tenemos en la tabla 3, los datos restantes son auto calculables como ya lo mencionamos.

Podemos Observar en la figura 23, como se ingresó el dato de Ganancia por el color azul y el resto lo auto calcula el software.

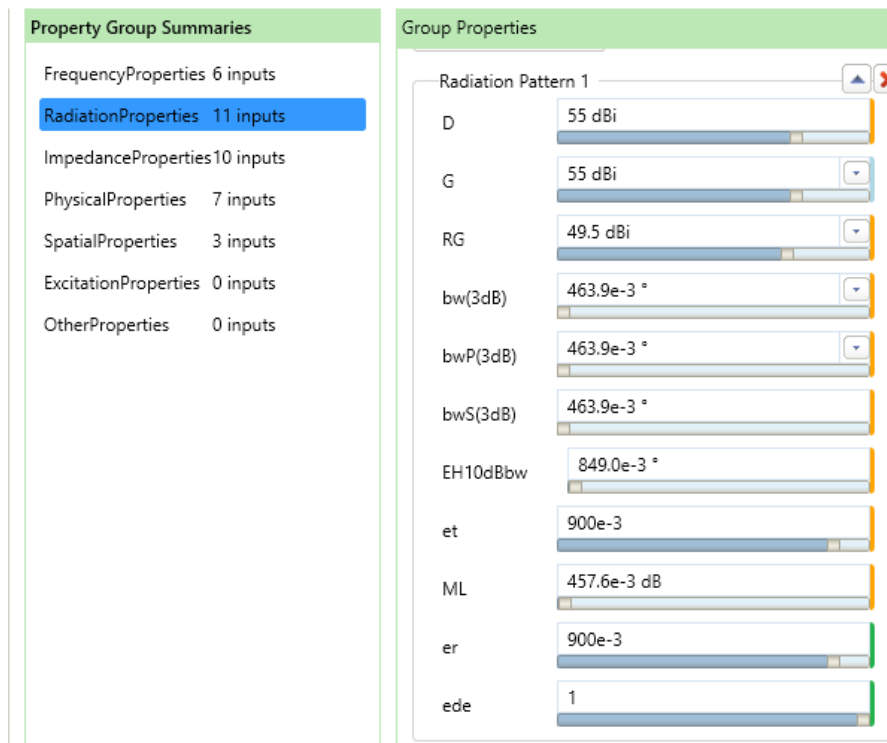


Figura 23. Ingreso de Parámetros de Radiación.

En la sección “Impedance Properties” se ingresan los parámetros de Impedancia que se utilizarán, dicho dato se lo puede encontrar en el data sheet del el LNB el cual se puede visualizar en la tabla 3, los datos restantes son auto calculables como ya se lo mencionó.

Se observa en la figura 24, como se ingresó el dato de Impedancia por el color azul y el resto lo auto calcula el software.

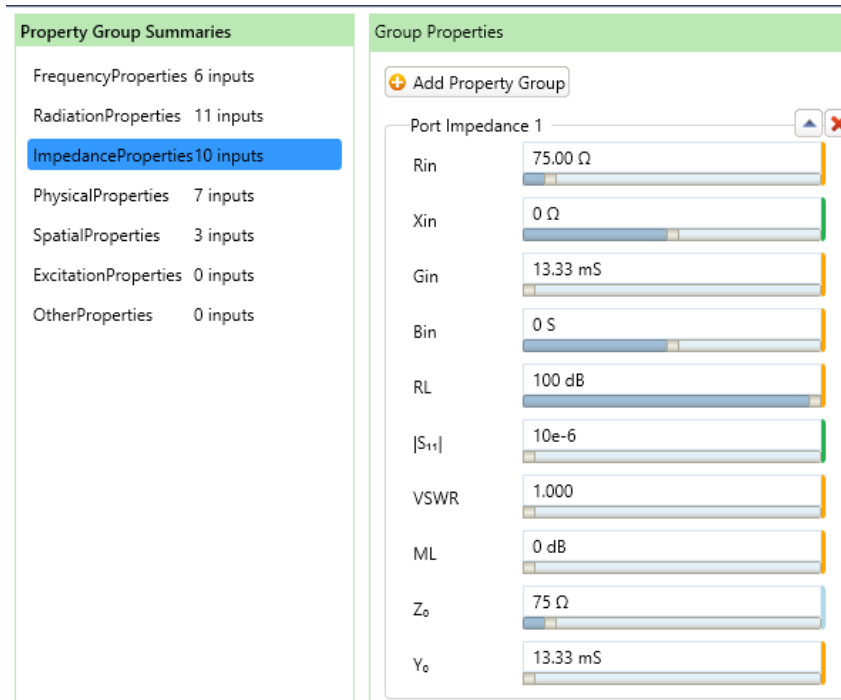


Figura 24. Ingreso de Parámetros de Impedancia

En la sección “Physical Properties” se ingresa el parámetro de permitividad relativa que se utilizará, ya que el valor físico es de 1 en permitividad por él aire, los datos restantes son auto calculables.

Se puede apreciar en la figura 25, como se ingresó el dato de permitividad relativa por el color azul.

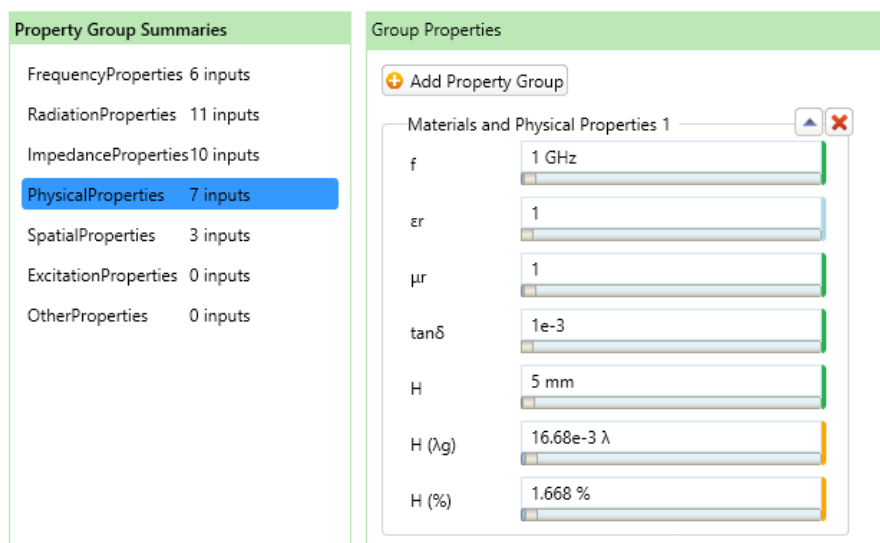


Figura 25. Ingreso de Parámetros Físicos.

En la sección “Spatial Properties” se ingresa el parámetro de espacio, el cual fue utilizado, ya que el valor máximo de la antena es 1.20 m, por este motivo como una dimensión máxima para el software que se utilizó es de 1.50 m, tanto en el eje x, y, z.

Se puede Observar en la figura 26, como se ingresó los datos de los ejes, tomando en cuenta que dichos parámetros solo nos dan el espacio físico de trabajo.

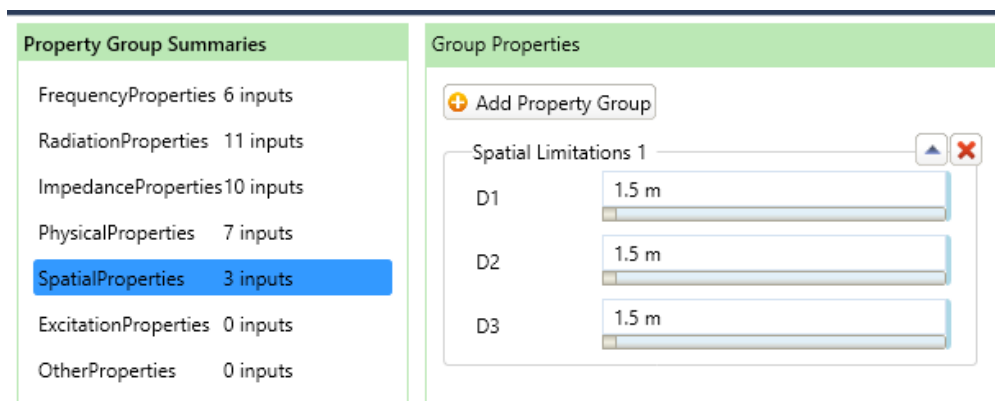


Figura 26. Ingreso de Parámetros Espaciales de Antenna Magus.

En esta opción del diseño se podrá encontrar la pestaña “Sketches” donde se ingresa los parámetros tomados físicamente de la antena. Se puede observar en la figura 27, los datos estimados, que se detallará a continuación:

- F: Distancia horizontal del foco hacía la parte baja de la antena, **valor de 65cm**
- H: Distancia vertical del foco hacía la parte baja de la antena, **valor de 16.8cm**
- θ : Angulo de elevación del foco hacía el centro de la antena, **valor de 36°**
- D: Diámetro horizontal total de la antena, **valor de 9.59cm**

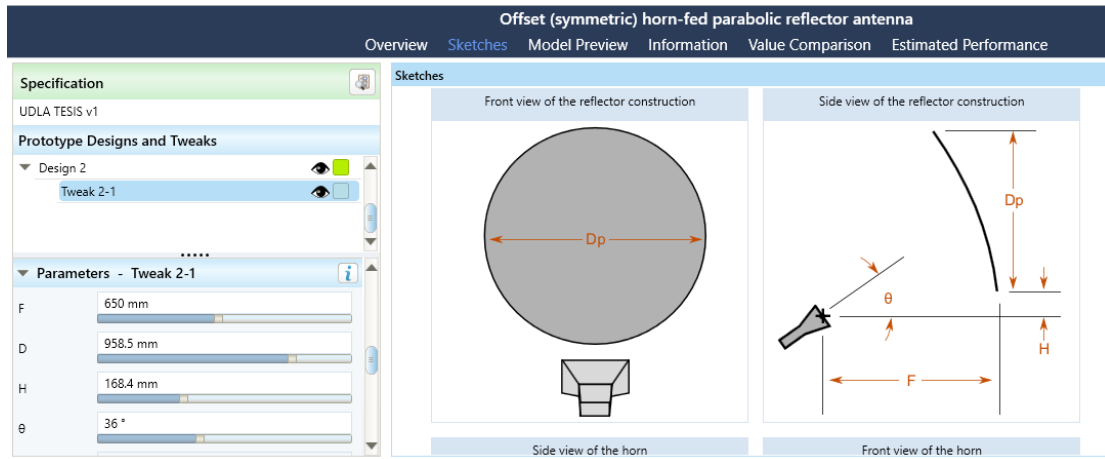


Figura 27. Edición de parámetros para el boceto.

Adicionalmente, se puede observar en la imagen 28 las dimensiones de la bocina “horn”, estos parámetros, como se puede observar en el lado derecho no son editables, ya que los calcula el software en base a los anteriores datos ya ingresados.

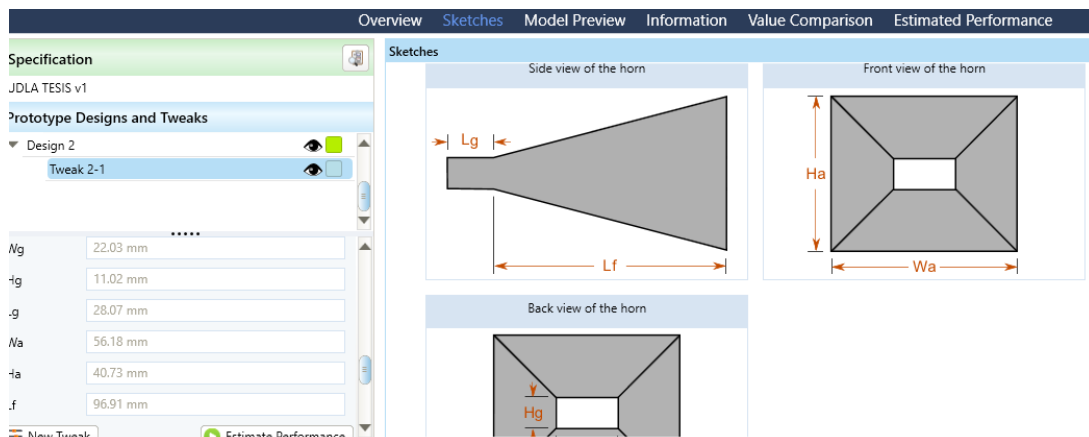


Figura 28. Parámetros para la bocina.

En esta opción del diseño se encontrará la pestaña “Model Preview” donde se puede observar en la figura 29 los datos generados en la dimensión de la antena a través de todo el proceso de diseño anteriormente realizado. Se puede visualizar en la imagen 29.

Adicionalmente, se puede observar los datos ingresados de las propiedades espaciales. A continuación, se especificará los valores adquiridos para el diseño:

- Eje X: 1.2 m
- Eje Y: 0.95 m
- Eje Z: 0.74 m

Estos valores cumplen con las dimensiones reales de la antena.

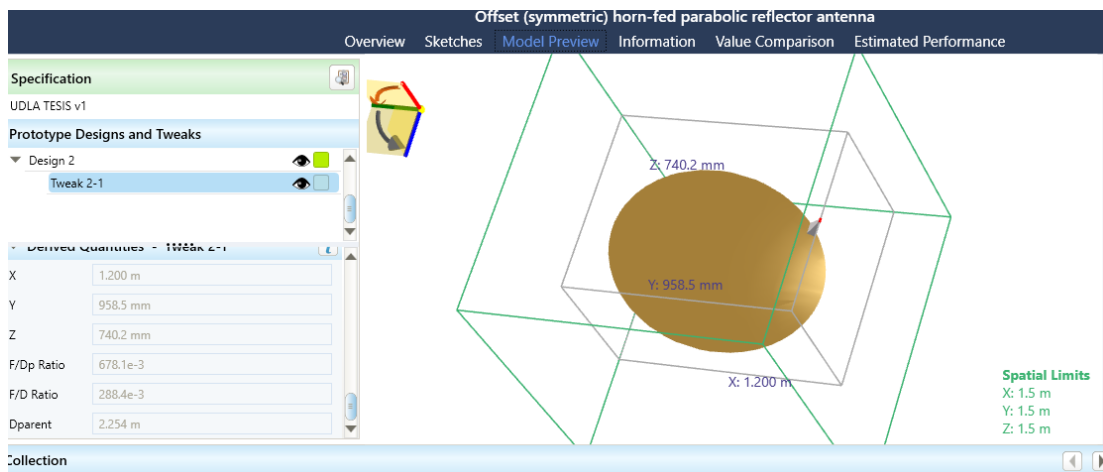


Figura 29. Vista previa del diseño de la antena.

Una vez ya finalizado el proceso del diseño, se procede a realizar la exportación de Antena Magus al software CST STUDIO (Microwave), como se lo puede observar en la figura 30, luego ir a la pestaña de “Export Model”.

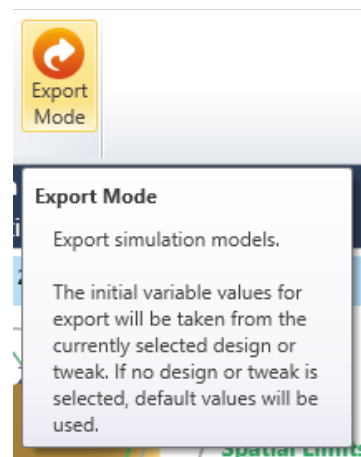


Figura 30. Pestaña para exportar el proyecto de diseño a CST STUDIO.

Como se observa en la figura 31, Se selecciona la pestaña de “CST MICROWAVE STUDIO” y luego se elegirá la opción de “export model”, el cual

nos pedirá guardar el archivo, en nuestro caso lo guardaremos “como diseño final UDLA”.

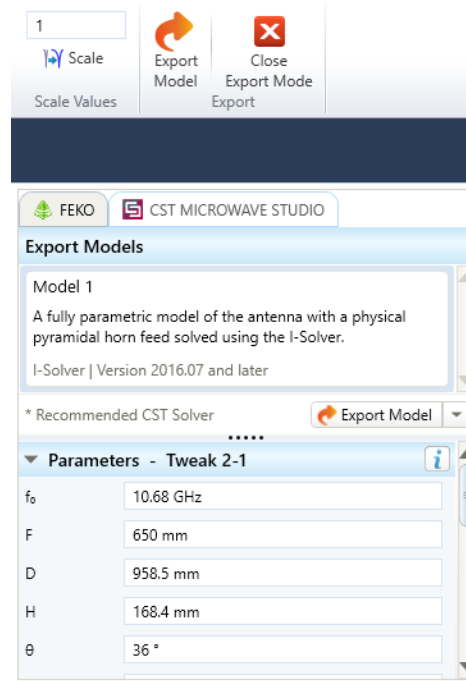


Figura 31. Exportación del diseño a CST STUDIO.

3.1.4 Diseño de la infraestructura de la antena

Para poder realizar el diseño de la infraestructura de la antena satelital implementada en el presente proyecto, se realizó una investigación sobre el diseño de soporte de esta, la cual se estudió mediante maquetas un diseño que posea un peso estable para evitar desniveles al momento de colocar la antena y también al realizar los giros y levantamientos para el de elevación. Se puede observar en la figura 32, se encuentra el diseño de la maqueta usada para basarse en la estructura.



Figura 32. Diseño en maqueta de la estructura de la antena.

Una vez conseguido el diseño de la estructura, teniendo en cuenta que se consiguió el centro de gravedad, se procedió a realizar el diseño en AutoCAD sobre la estructura a escala x100. Terminando el diseño como se puede observar en la figura 33 y 34.

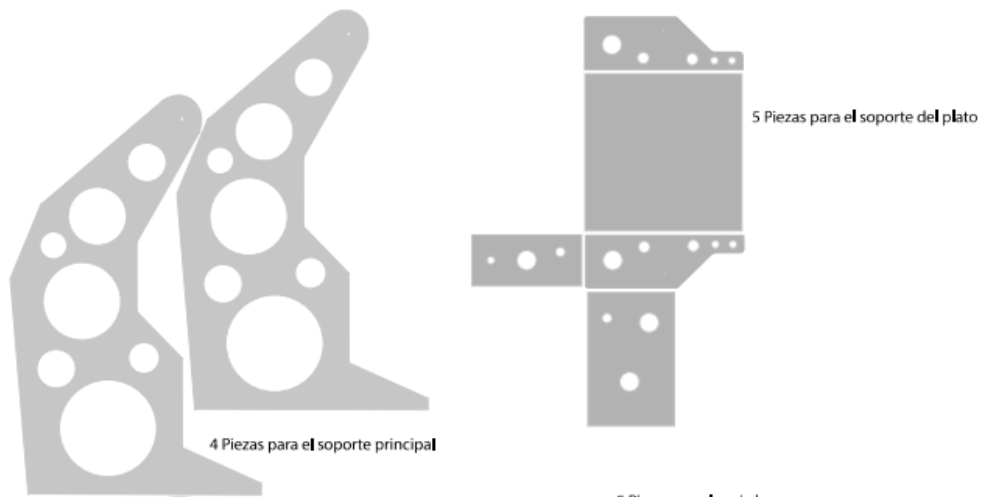


Figura 33. Diseño de la estructura superior de la antena.

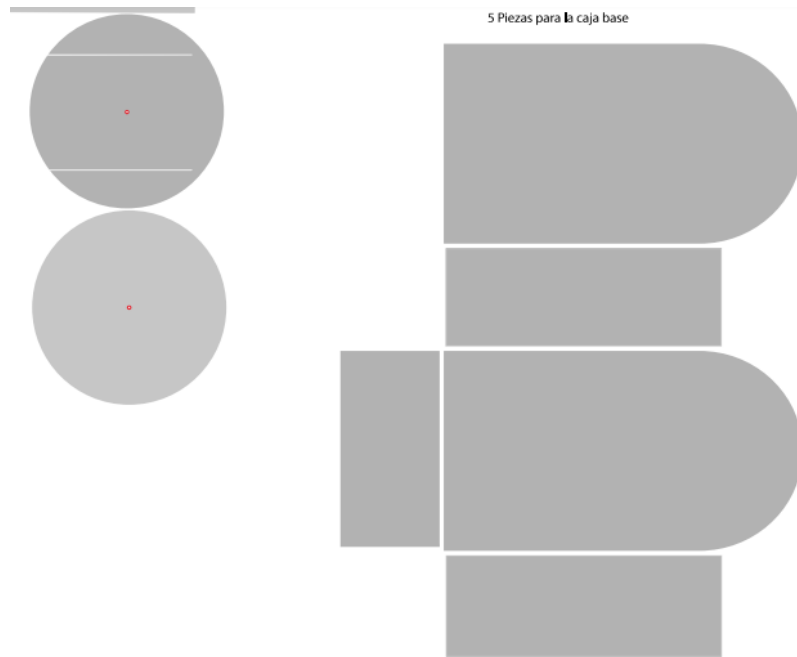


Figura 34. Diseño de la estructura inferior de la antena.

4 Análisis del software de simulación para antenas y el proceso para la simulación basada en el diseño.

4.1 Especificaciones para el análisis del software de simulación para antenas y el proceso para la simulación basada en el diseño.

4.1.1 Análisis de los softwares de simulación para antenas.

Basados en el software en el cual se desarrolló el diseño de la antena, se pudo observar en la misma, que posee un modo de exportación ante dos softwares de simulación como lo es “FEKO” y “CST MICROWAVE STUDIO”.

Una vez visto este método, se realizó el estudio y pruebas en cada software por ende se realizó una comparativa entre ellas:

- CST es más amigable con el usuario.
- CST posee una interfaz más completa ante FEKO.
- CST realiza los cálculos de los datos de diseño de una forma automática, en FEKO debemos editar parámetros.

- CST posee una gran cantidad de opciones de simulación ante FEKO.
- CST es un producto mucho más completo ante cualquier software de simulación.
- CST no solo es una herramienta de simulación, también se puede diseñar en la misma.

Por este motivo se decidió usar la herramienta CST, en el cual se procederá a explicar los pasos para realizar la simulación de la antena Offset ya diseñada. Se debe tomar en cuenta que los parámetros dentro de la simulación pueden variar al realizar comparativas en la realidad.

4.1.2 Simulación de la antena basada en el diseño.

La simulación de la antena es muy sencilla para el usuario, ya que es una serie de pasos a seguir, este software calcula automáticamente todo el diseño y sus parámetros sin la necesidad de ingresar datos.

Como se puede observar en la figura 35, el software tiene una interfaz amigable, en donde al realizar la exportación de Antenna Magus, los datos no han variado, el diseño lo se puede observar en 3D, el cual es más factible apreciar el diseño.

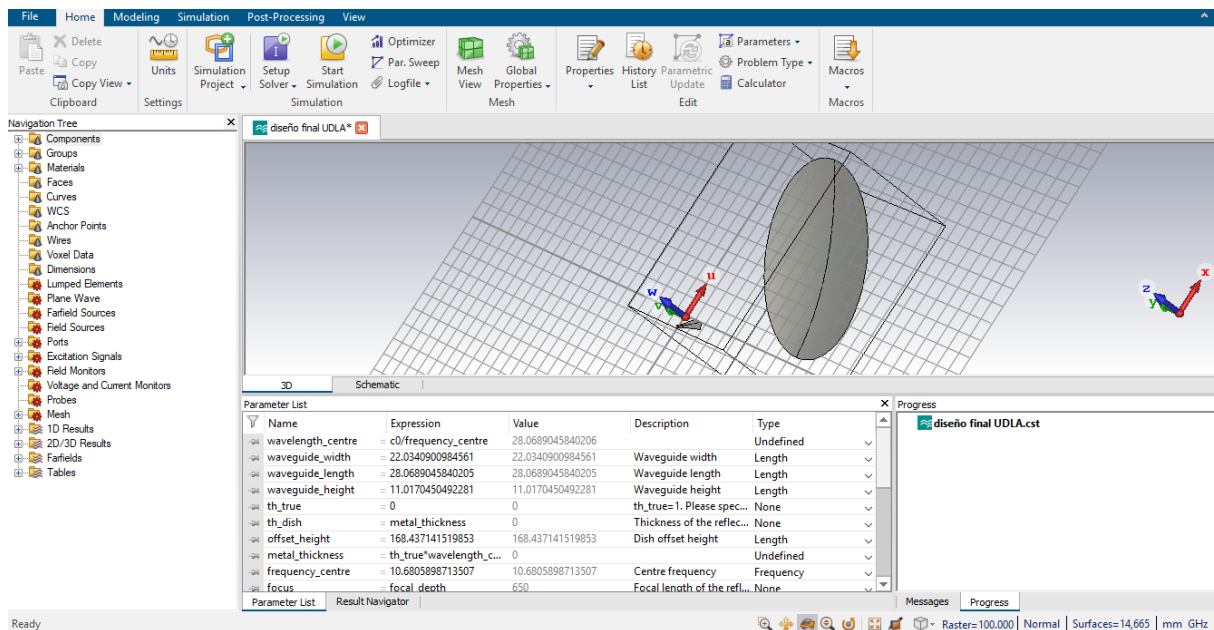


Figura 35. Interfaz principal de simulación CST MICROWAVE.

A continuación, se procede a realizar la simulación del diseño, como se puede observar en la imagen 36, en la pestaña “HOME” se encuentra la opción de “Start Simulation”, damos clic en esta opción para que el software empiece a realizar la simulación.

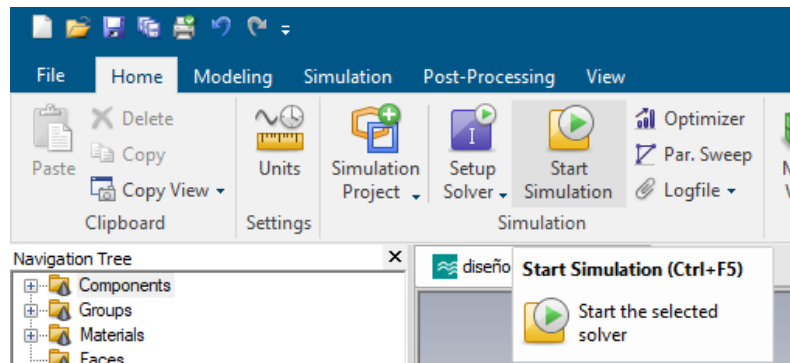


Figura 36. Opción de inicio de simulación CST.

Una vez que se inicia la simulación, se debe esperar entre 2 a 4 minutos, para poder apreciar los resultados, ya que el software realiza cálculos complejos sobre toda la información recibida. Se puede visualizar principalmente la simulación en 3D, en la figura 37 se aprecia el resultado.

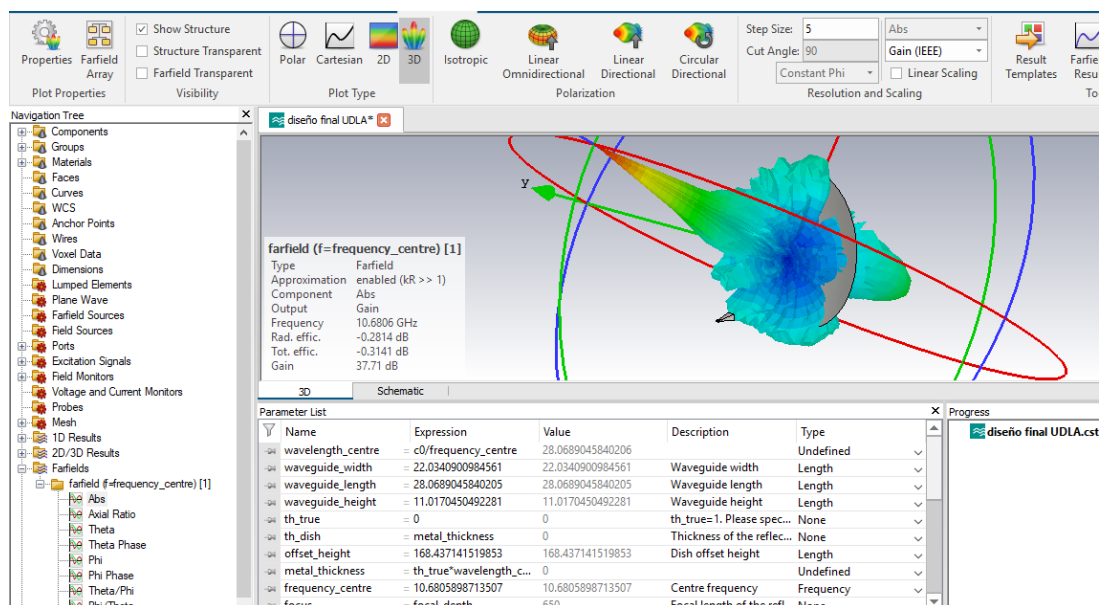


Figura 37. Simulación de la antena en CST.

Este software permite ver la simulación en diferentes aspectos no solo en forma 3D, también posee en 2D, Cartesiano y polar.

Al igual que el tipo de simulación que se puede observar que también se podrá elegir varias formas de polarización. Se observa en la figura 38.

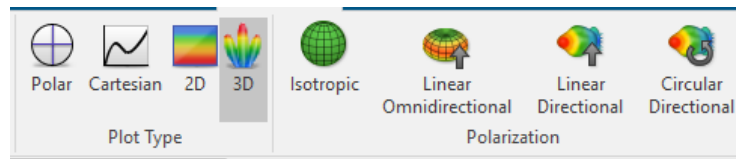


Figura 38. Tipos de simulación y polarización.

5 Fabricación de la antena e implementación del laboratorio experimental.

5.1 Especificaciones para la fabricación de la antena e implementación del laboratorio experimental.

5.1.1 Fabricación de la antena satelital

Por el peso de la antena al ser de 25 kg aproximadamente se realizó una investigación sobre el tipo de material a utilizar en la estructura, llegando a la conclusión de que el acero es mucho más rígido y más estable que otro material, por eso se tomó en cuenta los tipos de motores que tengan un torque elevado para poder mover la estructura sujeta a la antena.

Como se puede observar en la figura 39, se realizó el corte de las láminas de acero de 3 milímetros para la estructura superior ya que tampoco podemos exceder el peso por la parte intermedia, la cual puede causar problemas y tener una mayor fricción no estimada en los cálculos.



Figura 39. Brazo superior de la antena.

Para poder colocar los brazos superiores se debe tener una base rígida en donde deberá acoplarse a un mecanismo de rulimanes que nos permita realizar un giro suave y no exista una fricción mayor. Como se observa en la figura 40, se usó una plancha de 12 milímetros rígida



Figura 40. Base superior de la antena.

Para la estructura intermedia colocaremos una plancha de 4 milímetros, como se puede observar en la figura 41, esta será la base principal de la estructura superior, ya que aquí reside el mecanismo de rodamiento central para el movimiento del azimut.



Figura 41. Base central de la antena.

Una vez implementado la base central, procedemos a realizar la unión por suelda y pernos las bases, adicionalmente se debe dejar un espacio central para colocar el eje de rotación y adicional por ahí pasaran cables a la zona superior.

Es relevante indicar que en la base inferior se realizó un canal de 4 milímetros, así poder colocar un total de 200 rulimanes, que son parte del mecanismo de rotación, se lo puede observar en la figura 42. Adicionalmente se observa que las bases están unidas por suelda y pernos de cabeza avellanada.



Figura 42. Canal para el mecanismo de rotación.

Se debe tomar en cuenta que otra base la cual será de la estructura superior, en donde también se realiza el canal de 2 milímetros para realizar un encaje exitoso y sin juego de movilidad.

En la figura 43 se demuestra cómo queda la unión entre bases, adicional se incluyó una tapa en la parte superior de las bases, por estética.



Figura 43. Unión de Bases.

Luego se procede a soldar dos barras de metal en forma de “L” a los extremos de la base superior para poder colocar los soportes de la antena. Así como se lo aprecia en la figura 44.



Figura 44. Unión de Bases.

Una vez concluido con la unión de bases intermedias, se procede a ensamblar la estructura de la base inferior, la cual se puede visualizar en la figura 45, en donde se han colocado barras de acero como soportes entre las planchas de acero, para evitar que se pandeen las planchas, se ubicó en puntos estratégicos estas barras de acero.



Figura 45. Unión de Estructura inferior.

Una vez concluido la unión de las estructuras tanto inferior como intermedia, se procedió a ensamblar la estructura superior a las barras de acero de la figura 44, mediante pernos de cabeza avellanada, siendo así que toda la estructura es desmontable, una vez que se procede a ensamblar la estructura, se realiza la suelda de Barillas para poder obtener una estructura más rígida, como se observa en la figura 46.



Figura 46. Unión de estructura superior.

Una vez ya implementado toda la estructura, se procede a colocar nuestra antena como se lo puede observar en la figura 47, esta estructura es capaz de soportar antenas de hasta 2.40 metros, con 30 kilos.



Figura 47. Implementación de antena

Se realizó toda la implementación de la estructura para la corrección de errores en las bases, adicionalmente, para poder ubicar los motores, engranaje y actuadores, así se puede obtener una posición eficaz y se obtiene un funcionamiento correcto.

Una vez concluido las correcciones, se procede a la implementación de engranajes en la parte inferior, este juego de engranes nos brindara un mayor torque para el motor de la base inferior, el cual brindara el posicionamiento del azimut. Se puede observar en la figura 48 el ensamblaje de los engranajes.

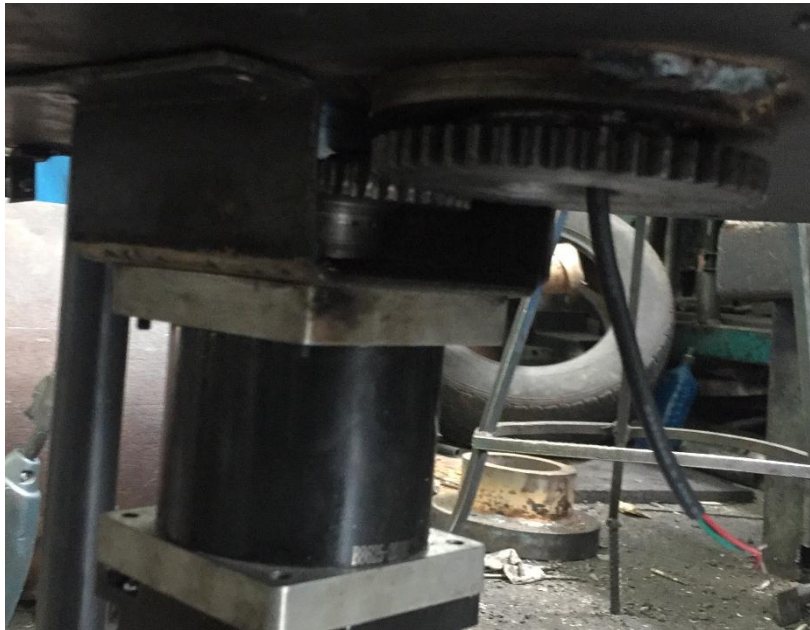


Figura 48. Implementación de engranaje base inferior.

Ahora, se procede a realizar la implementación de las bases para el actuador y el motor de la parte superior, el cual brindara el posicionamiento del ángulo de elevación.

En la figura 49, se puede observar que se realizó una base movable para el motor, el cual a medida de su crecimiento o decrecimiento del actuador este se moverá según lo requiera.



Figura 49. Implementación de base para el motor de elevación.

En la figura 50, se puede observar la base para la unión entre el actuador del motor y la base de soporte para la antena, se implementó un ángulo de acorde al movimiento que poseerá la antena al moverse. Siendo así que se completó la fase de implementación sobre las estructuras.



Figura 50. Base entre el actuador y la base de la antena.

5.2 Implementación del laboratorio experimental

5.2.1 Dispositivos electrónicos para la implementación.

Para poder realizar una implementación exitosa con los resultados esperados, se utiliza los siguientes dispositivos electrónicos:

5.2.2 Motor paso a paso nema 34, 12nm 1714 oz.

Se seleccionó este motor ya que su fuerza de torque, este sobrepasa al peso de la estructura superior y la antena, por este motivo se puede ocupar antenas más grandes. En la figura 51, se puede observar sus características técnicas y en la figura 52 se puede apreciar al motor. (Global trade, 2019)

Detalles rápidos

Lugar del origen:	China (Mainland)	Marca:	Dewo motor
Número de Modelo:	86HSE12N-BC38	Ángulo de Paso (...)	1.8 grados
Celebración de Par:	12N. M	Fase:	2
Tipo:	Híbrido	Actual / Fase:	6.0A
Certificación:	CCC, CE, ISO, Rohs	Nombre del produ...	Alta calidad NEMA 34 lazo cerrado 12Nm servo motor
Resistencia:	0.45 Ω \pm 10%	Inductancia:	5.2mH \pm 20%
Longitud del motor:	156mm	Resolución del co...	1000PPR
Peso:	5.65 kg	Color:	Negro

Figura 51. Características técnicas motor NEMA 34 12Nm

Tomado de (Global trade, 2019)



Figura 52. Motor NEMA 34 12Nm

Tomado de (Global trade, 2019)

5.2.3 Motor paso a paso nema 23, 1.3 nm motor 57bygh24

Este motor realiza una fuerza de 1.3 Nm, por medio de su torque es factible utilizar un actuador pequeño ya que no poseemos mucho peso por parte de la antena y su fricción en el movimiento es mínima. En la tabla 6 se puede

observar sus características técnicas y en la figura 53, se aprecia al motor. (AliExpress, 2019).

Tabla 6.

Características técnicas motor NEMA 23 1.3Nm.

Modelo:	57BYGH56/57BYGH76
Actual:	3A
Ángulo de paso:	1,8
Par de salida:	1,2 nm
Motor Longitud:	56/76mm(Medición Manual, posible error)
Longitud del eje de salida:	22/23mm
Diámetro del eje de salida:	8mm
Modo del eje de salida:	Eje de salida único

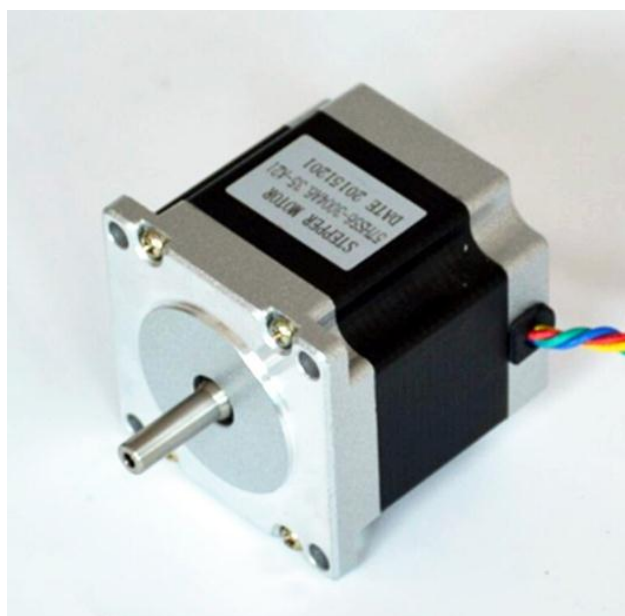


Figura 53. Motor NEMA 23 1.3Nm

Tomada de (AliExpress, 2019)

5.2.4 Electric putter actuador lineal 2"-20" 50mm nkla22-s.

De acuerdo con el motor seleccionado, se analizó y seleccionó este actuador ya que puede levantar hasta un peso de 35 kg, como antes mencionamos, nuestra antena tiene un peso de 25 Kg (incluido el brazo y el LNB), por la fricción de la estructura, nos da un total de 26 Kg, lo cual por las características del motor se acopla a lo requerido. En la Tabla 7 se puede observar las características técnicas y en la figura 55, se aprecia el motor.

Tabla 7.***Características técnicas actuador NKLA22-S.***

Stroke	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
Max length	210mm	305mm	410mm	515mm	620mm	725mm
Min length	160mm	205mm	260mm	315mm	370mm	425mm
Size(cm)	16*7.5	20.5*7.5	26*7.5	31.5*7.5	37*7.5	42.5*7.5
Voltage(V)	12	12	12	12	12	12
Speed(mm/s)	10	10	10	10	10	10
Thrust(N)	1000	1000	1000	1000	1000	800

**Figura 55. Actuador NKLA22-S.**

Tomado de (trade, 2019).

5.2.5 HSS86 2-Phase hybrid stepper servo driver

El presente controlador es un híbrido de dos fases para motores paso a paso, el mismo que brinda una mayor velocidad y torque del motor, siendo así que ayuda a un funcionamiento seguro y garantizado, en la Tabla 8 se podrá observar las características eléctricas y mecánicas del controlador. Por la su capacidad usaremos este controlador para el motor Nema 34, el cual soporta un mayor peso para el eje del Azimut.

tomar en cuenta que los cables del controlador cuando están desconectados pueden causar daños al conductor o al codificador.

Tabla 9.

Puertos de entrada de fuente de alimentación y del motor.

Port NO.		
1	A+	A phase winding +
2	A-	A pase winding -
3	B+	B pase winding +
4	B-	B pase winding -
5	AC1	Input voltage
6	AC2	Input voltage

Tomado de (CNCDriver, 2016).

Tabla 10.

Puertos de entrada del codificador.

Port NO.			Encoder Wire color
1	EB+	Encoder B phase input+	yellow
2	EB-	Encoder B phase input-	green
3	EA+	Encoder A phase input+	black
4	EA-	Encoder A phase input-	blue
5	VCC	Encoder voltage (+5V)	red
6	EGND	Encoder Grand (0V)	white

Tomado de (CNCDriver, 2016).

En la tabla 11 se detallan los puertos para el control de la señal que se deben utilizar para en la fase de implementación, conectar de una forma precisa y no causar daños por errores de conexión.

Tabla 11.

Puertos de control de señal.

Port NO.		
1	PUL+	Pulse input +
2	PUL-	Pulse input -
3	DIR+	Direction input +
4	DIR-	Direction input -
5	ENA+	Enable input +
6	ENA-	Enable input -
7	Pend+	Position signal output+
8	Pend-	Position signal output-
9	ALM+	Alarm signal output+
10	ALM-	Alarm signal output+

tomado de (CNCDriver, 2016).

Estas tablas se utilizaron como guía, ya que servirá para poder entender el diagrama de este y en el momento de la conexión de los dispositivos.

En la figura 57 se observa el diagrama de conexión, tomando en cuenta que será de cátodo común.

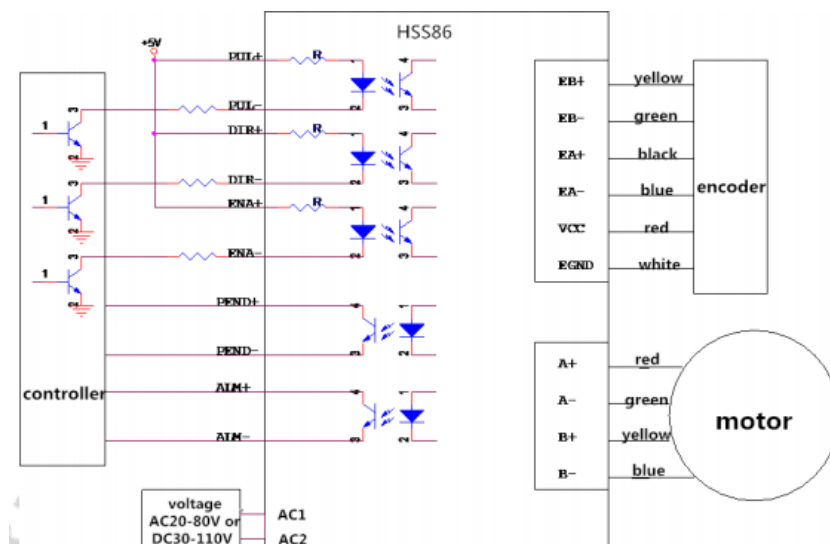


Figura 57. Diagrama de conexión ánodo común HSS86 con motor.

Tomado de (CNCDriver, 2016).

5.2.6 TB6600 Eje único 4a controlador motor a pasos 9 - 40 v

El presente controlador es profesional de dos fases para motores paso a paso, el mismo que controla una mayor velocidad y dirección del motor, siendo así que ayuda a un funcionamiento seguro y garantizado, en la Tabla 12 se podrá observar las características técnicas del motor. Por la su capacidad se usará este controlador para el motor Nema 23, el cual soporta el peso ideal para el eje de elevación.

Tabla 12.

Características técnicas servo controlador TB6600,

Input Current	0~5.0A
Output Current	0.5-4.0A
Power (MAX)	160W
Micro Step	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperature	-10~45°C
Humidity	No Condensation
Weight	0.2 kg
Dimension	96*56*33 mm

Tomado de (Forum, 2019)

En la figura 58 se puede observar el controlador físico adquirido para desarrollar el proyecto de una forma eficaz.

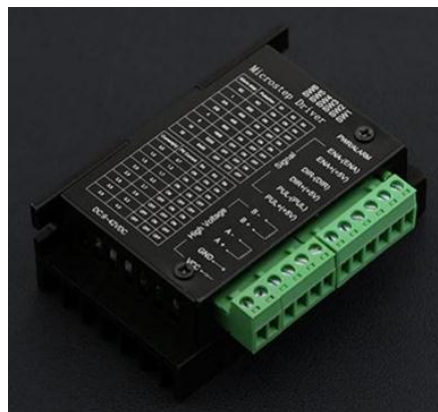


Figura 58. Servo Controlador TB6600.

Tomado de (Forum, 2019)

En la figura 59 se puede observar todos los puertos de entrada y salida del controlador, esta guía servirá para poder entender el diagrama de este y en el momento de la conexión de los dispositivos.

- **Signal Input:**
 - PUL+ Pulse +
 - PUL- Pulse -
 - DIR+ Direction +
 - DIR- Direction -
 - EN+ Off-line Control Enable +
 - EN- Off-line Control Enable -

- **Motor Machine Winding:**
 - A+ Stepper motor A+
 - A- Stepper motor A-
 - B+ Stepper motor B+
 - B- Stepper motor B-

- **Power Supply:**
 - VCC VCC (DC9-42V)
 - GND GND

Figura 59. Entradas y Salidas Servo Controlador TB6600.

Tomado de (Forum, 2019).

En la figura 60 se observa el diagrama de conexión, tomando en cuenta que será de ánodo común.

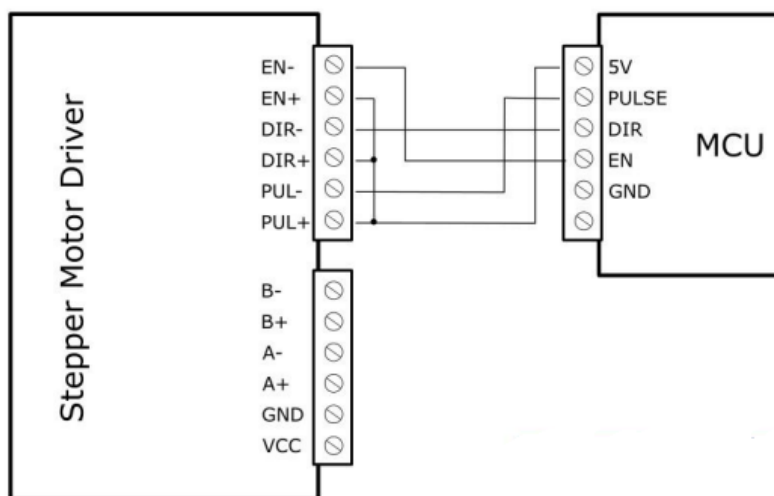


Figura 60. Diagrama de conexión ánodo común TB6600.

Tomado de (Forum, 2019)

En la figura 61, se podrá ver un ejemplo de conexión de ánodo común, tomando en cuenta que “EN (ENABLE)” no se encuentra conectado.

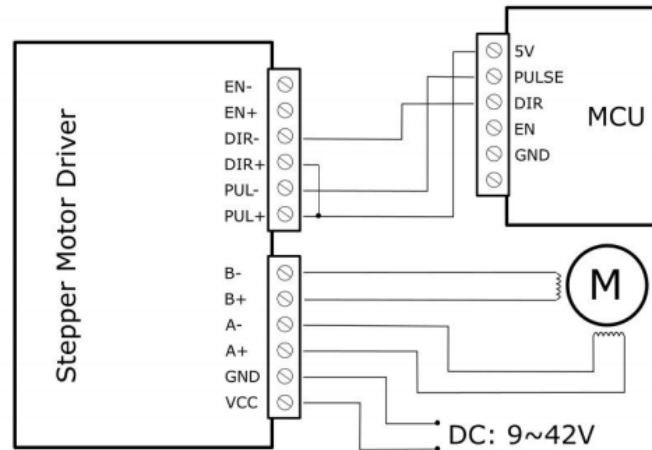


Figura 61. Diagrama de conexión ánodo común TB6600 con motor.

Tomado de (Forum, 2019).

5.2.7 Power supply 350-24

Para poder obtener los objetivos deseados, se selecciona una fuente de poder de 24 voltios ya que el controlador TB6600 necesita de ese voltaje para la alimentación y poseer un óptimo funcionamiento con el motor que controlara la elevación. En la Imagen 62, se puede observar la fuente física que se colocó en el proyecto. Las características técnicas de la fuente se encuentran adjuntas en el Anexo.



Figura 62. POWER SUPPLY 350-24.

Tomado de (Electronics, 2019).

5.2.8 Power supply 360-60

Para poder obtenerlos los objetivos deseados, seleccionamos una fuente de poder de 60 voltios ya que el controlador HSS-86 necesita de ese voltaje para la alimentación y poseer un óptimo funcionamiento con el motor que controlara él azimut. En la Imagen 63, se puede observar la fuente física que se colocó en el proyecto. Las características técnicas de la fuente se encuentran adjuntas en el Anexo



Figura 63. POWER SUPPLY 360-60.

Tomado de (Electronics, 2019).

5.2.9 Adjustable step up and down power supply module boost buck converter lcd display voltage regulator model zk-sjva-4x.

Es un módulo genérico que sirve como una fuente de alimentación tanto de subida como de bajada de corriente y voltaje constante, las mismas que pueden ser ajustables, se puede apreciar de forma física en la figura 64, Este dispositivo se lo utilizará para realizar la conversión de voltaje a 3,3 V el cual requieren nuestros dispositivos ESP 32, tomando en cuenta que el voltaje entregado a este módulo es de 5 V. (ICStation, 2019)

- Voltaje de trabajo: DC 5.5 V – 30 V
- Voltaje de salida: DC 0.5 V – 30 V

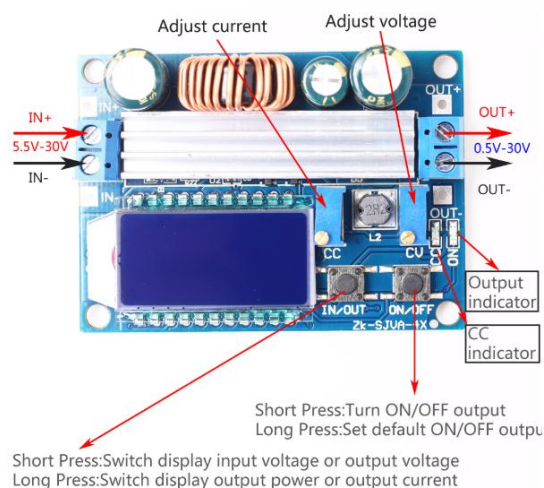


Figura 64. Módulo de fuente de alimentación ZK-SJVA-4X.

Tomado de (ICStation, 2019).

5.2.10 Bi directionale level logic converter.

Un gran aporte del convertidor de niveles lógicos bidireccionales para nuestro proyecto es que permitirá utilizar un dispositivo en este caso el ESP-32 de 3.3V a un sistema de 5 V, su función básicamente es reducir el voltaje para nuestro dispositivo ESP-32, a sí mismo puede contener otra función como aumentar el voltaje entre ellos y por el mismo canal, por ende, el nombre de bidireccional.

Como se muestra en la figura 65 se puede convertir 4 pines de un voltaje alto a 4 pines de voltaje bajo, con dos entradas y dos salidas, tanto de poder como de tierra.

Es muy sencillo el uso de este conversor ya que la placa debe estar correctamente alimentada por dos fuentes de alimentación. El voltaje alto a HV, el voltaje bajo a LV y el sistema de tierra a los pines GND.



Figura 65. Bi Directional Logic Level Converter.

5.2.11 Modulo bluetooth & wifi esp-32 devkit c.

Es un módulo que proporciona una comunicación inalámbrica por su chip de WIFI, el cual se utilizan de una forma amplia en dispositivos móviles y en aplicaciones IOT (Internet de las cosas), basándose a esta última utilidad de IOT, este dispositivo entablara la comunicación con la aplicación móvil por medio de la red y a su vez también todos los dispositivos electrónicos del presente proyecto.

Como se puede ver en la figura 66, el dispositivo cuenta con diversos pines, siendo así que mencionará cuales se utilizaron y su funcionalidad:

- Pin 27 utilizado para los Pulsos, cable color verde.
- Pin 14 utilizado para la Dirección de motores, cable color amarillo.
- Pin 12 utilizado para Enable, cable de color Marrón
- Pin GND Utilizado para Tierra, cable de color Naranja.
- Pin 3.3V Utilizado para el ingreso de voltaje 3.3, cable color rojo.
- Pin 4. Utilizado para el sensor de proximidad, cable azul.

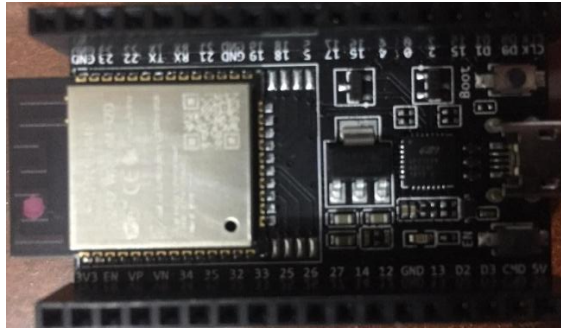


Figura 66. Modulo Bluetooth & Wifi ESP-32 DEVKIT C

5.3 Diseño electrónico de la implementación

En la figura 67, se puede observar el diagrama electrónico completo de todo el proyecto implementado.

En el cual se observará que inicialmente poseemos un ingreso de 110 voltios a nuestras fuentes de 60 V y 24 V.

De la fuente de 24 voltios sale una alimentación hacia dos dispositivos, el driver TB6600 que controlará el motor Nema 23 y otra dirección hacia el regulador de voltaje ZK-SJVA-4X, el cual, al ingresar con 24 V, este permitirá regular a una salida de 5 V.

Como una de las direcciones de salida del Driver TB6600, se puede encontrar un dispositivo BDLLC el cual permitirá realizar una conversión analógica de 5 V a 3.3V, del presente controlador se puede observar que salen los cables correspondientes a la dirección, Pulsos, Enable, GND y Voltaje. Se debe tomar en cuenta que el voltaje de salida del regulador ZK-SJVA-4X hacia el dispositivo BDLLC es de 5V.

Del controlador también se observa que salen 2 pares hacia el motor, se debe tomar como medida, la comprobación de que estos sean pares, para que las bobinas del motor funcionen y no tengan errores al momento de realizar pruebas.

Una vez conectado correctamente las conexiones respectivas en el BDLLC, en el otro extremo del dispositivo de bajo voltaje, se conectará los cables

adecuadamente a los puertos del ESP-32, como se mencionó antes en los pines.

De la fuente de 60 voltios se tendrá las mismas conexiones, la única variación que posea es el voltaje de salida de la fuente hacia el driver HSS86 que controlará el motor Nema 34 y otra dirección hacia el regulador de voltaje ZK-SJVA-4X, el cual, al ingresar con 60 V, este permitirá regular a una salida de 5 V.

Como una de las direcciones de salida del Driver HSS86, se debe encontrar otro dispositivo BDLLC el cual permitirá realizar una conversión analógica de 5 V a 3.3V, del presente controlador se puede observar que salen los cables correspondientes a la dirección, Pulsos, Enable, GND y Voltaje. Se debe tomar en cuenta que el voltaje de salida del regulador ZK-SJVA-4X hacia el dispositivo BDLLC es de 5V.

Por lo que queda del circuito, corresponden las mismas conexiones anteriores.

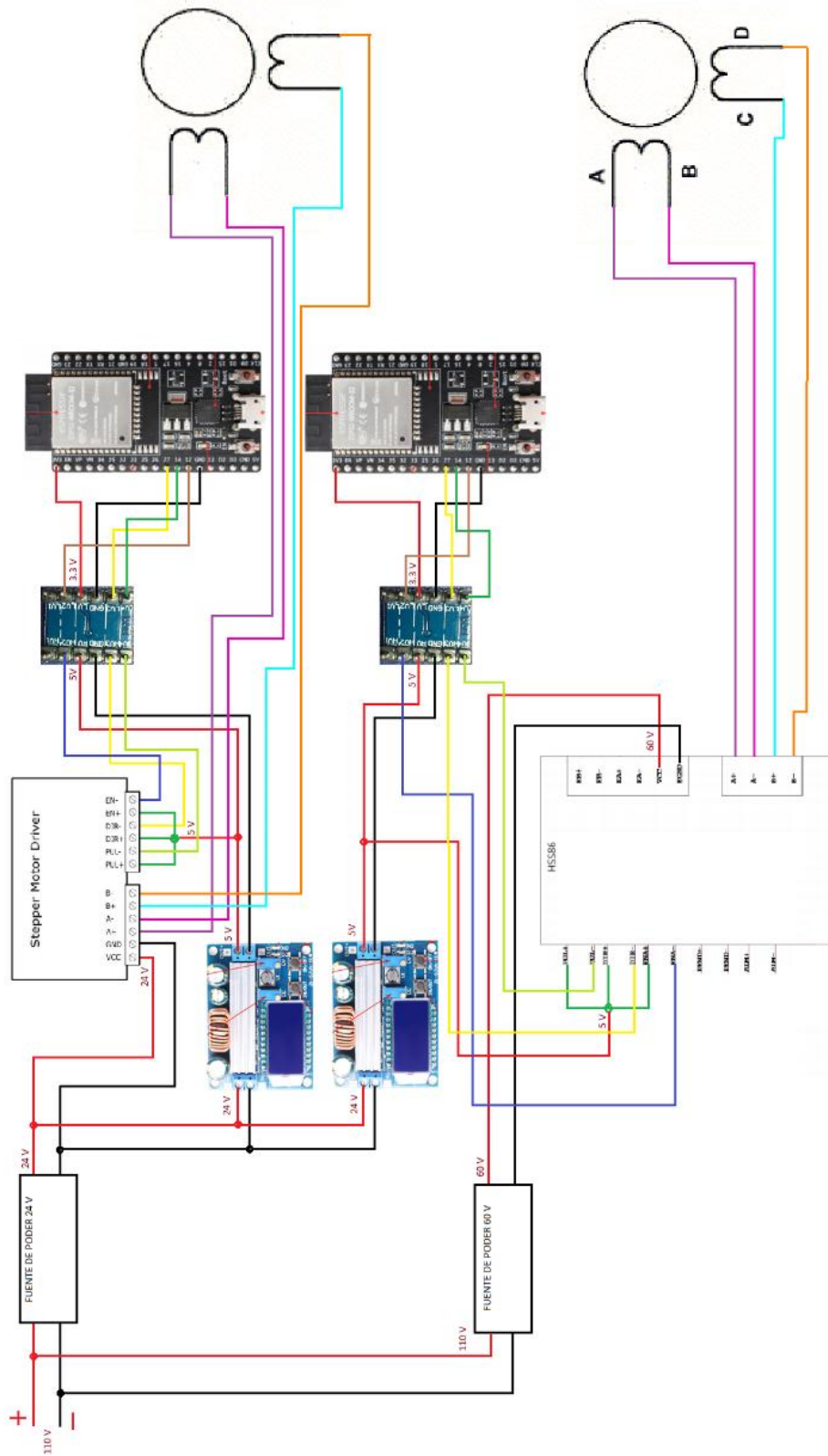


Figura 67. Diseño Electrónico De La Implementación.

5.4 Plataforma de desarrollo electrónico platformio

Para poder lograr que los dispositivos electrónicos cumplan con los objetivos propuestos, realizamos la configuración en el IDE PlatformIO, muy similar a la de ARDUINO IDE, dicha aplicación se encuentra instalada sobre el software de Visual Studio CODE el cual podemos visualizar en la figura 68.

Esta herramienta se encuentra ligada a otras plataformas como aplicaciones móviles, la cual utilizaremos se llama “Blynk”, una aplicación que se la puede encontrar de forma gratuita, más adelante se hablará detalladamente sobre la aplicación móvil.

Este software es ideal para establecer la comunicación entre la aplicación móvil, la red privada y la parte electrónica de nuestro proyecto, ya que se puede estructurar de acorde a los requerimientos planteados, por este motivo fue elegida entre un estudio de diversas herramientas.

Sin más, el IDE PlatformIO es una herramienta que no requiere licencia, se la puede localizar en la web (www.platformio.org), desde su página original.

PlatformIO IDE

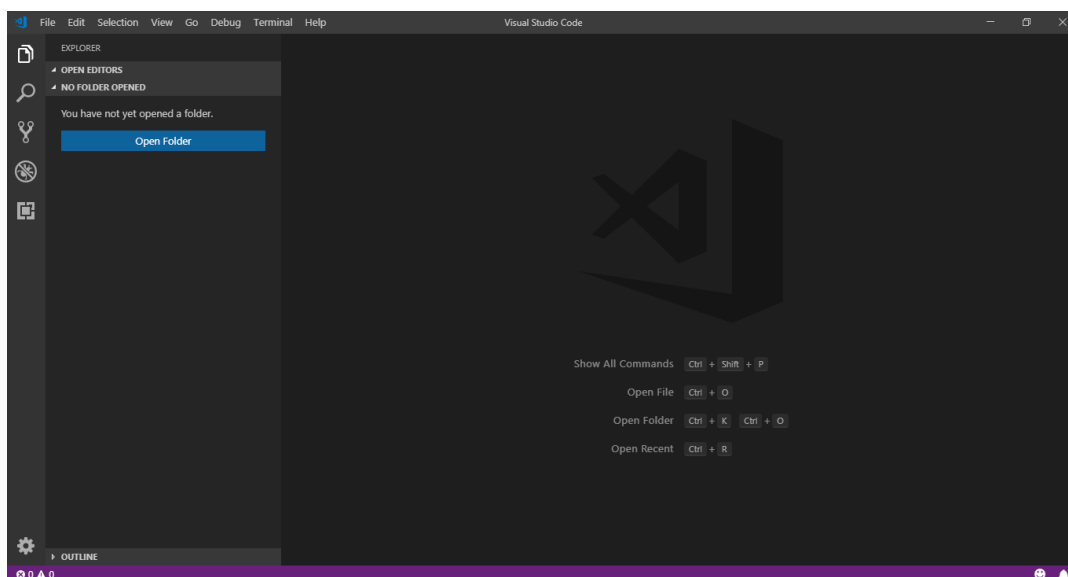


Figura 68. Plataforma inicial Visual Studio Code.

5.4.1 Instalación software platformio en visual studio code

Como principal paso se ingresa a la página oficial antes mencionada de la herramienta para instalar la aplicación VS CODE como se lo puede apreciar en la figura 69.

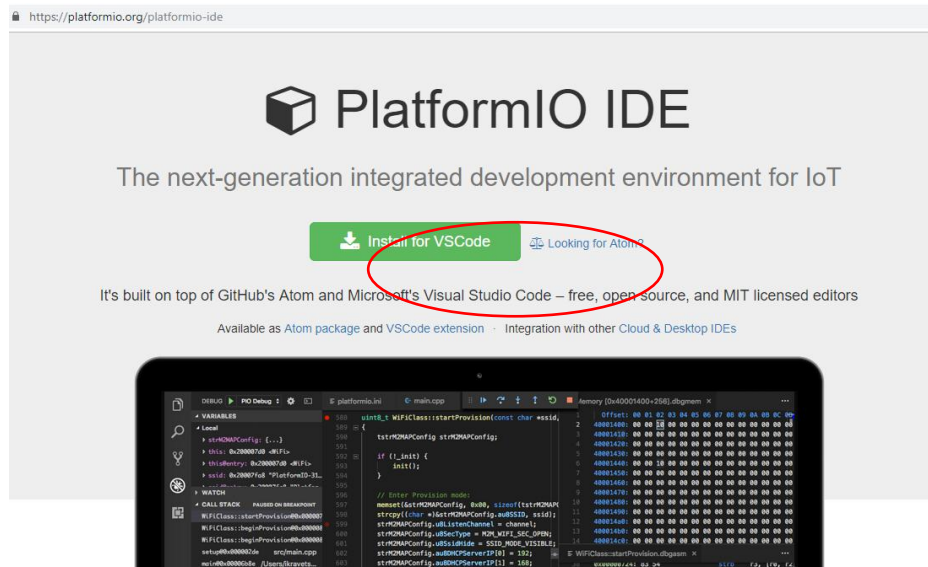


Figura 69. Página Inicial de descarga VSCODE.

Una vez que se dé clic en “Install for VSCode” se desplegará una página como se lo puede en la figura 70. Primero, descargar VSCode dando clic en “Download”, luego de la descarga se procede a abrir la aplicación y seguir los pasos.

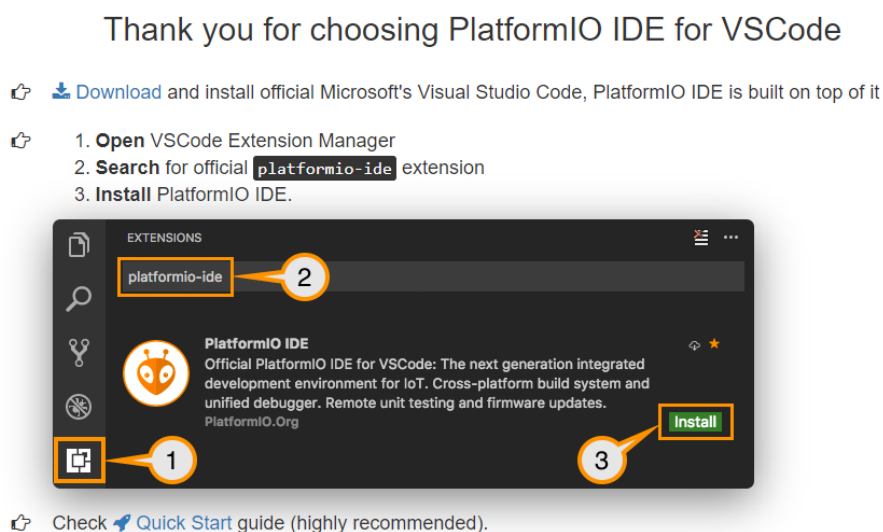


Figura 70. Página de descarga y pasos para la instalación PlatformIO.

Una vez inicializado VSCode, se procede a dirigirnos a “Extension Manager”, como se muestra en la figura 71, proceder a buscar la herramienta PlatformIO IDE, una vez encontrada, se continúa con la instalación.

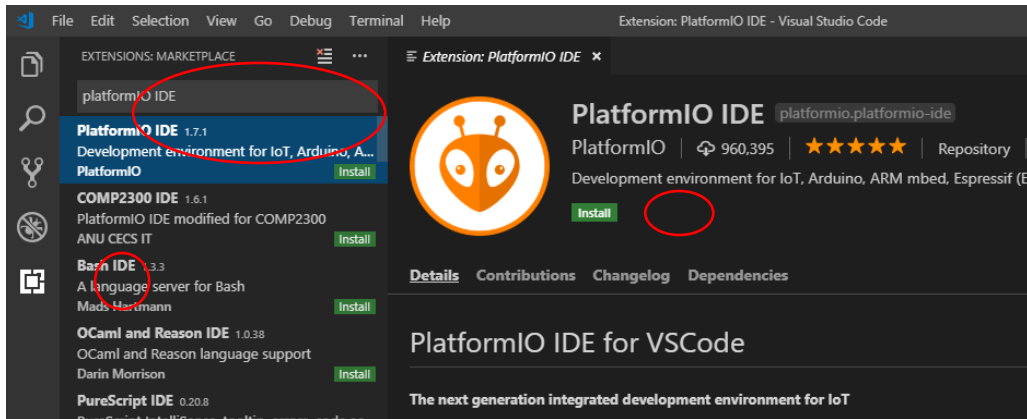


Figura 71. Extension Manager y Búsqueda de PlatformIO IDE.

Al terminar el proceso de instalación se desplegará la pantalla principal de VSCode. En la figura 72, se puede observar la opción que nos llevara al centro principal de PlatformIO, en donde se procedió a iniciar con el proyecto.

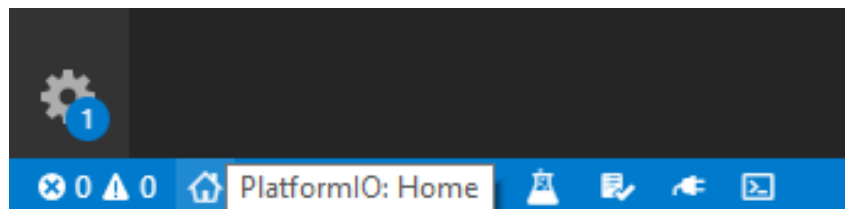


Figura 72. Ingreso Página principal PlatformIO.

5.4.2 Inicio a la configuración del esp-32

Como primer paso se indicará la página principal para crear un nuevo proyecto, así como se lo puede observar la figura 73, seleccionar la opción “New Project” para continuar.

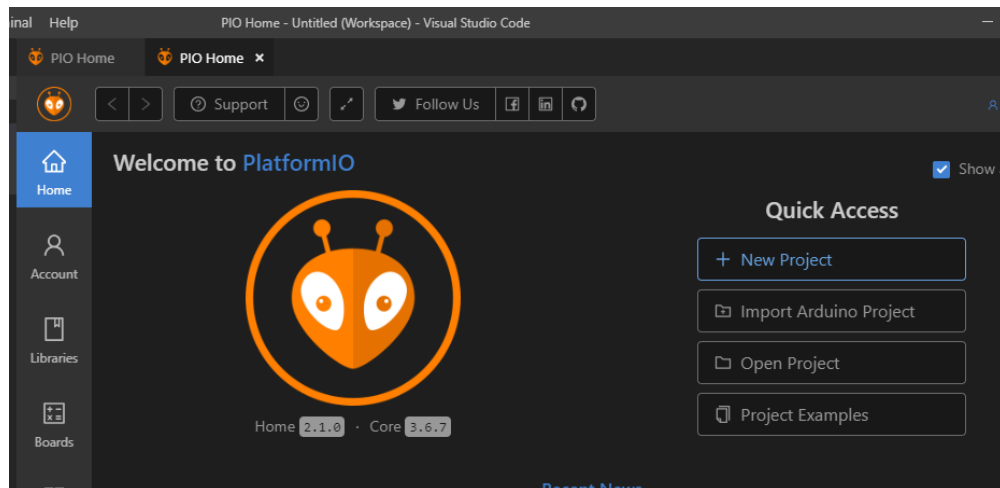


Figura 73. Inicio de Proyecto PlatformIO.

Una vez que damos clic en el enlace de nuevo proyecto, se desplegará una ventana, en donde se seleccionará la tarjeta a utilizar y definiremos el framework de nuestro proyecto y el nombre de este, se lo puede observar en la figura 74.

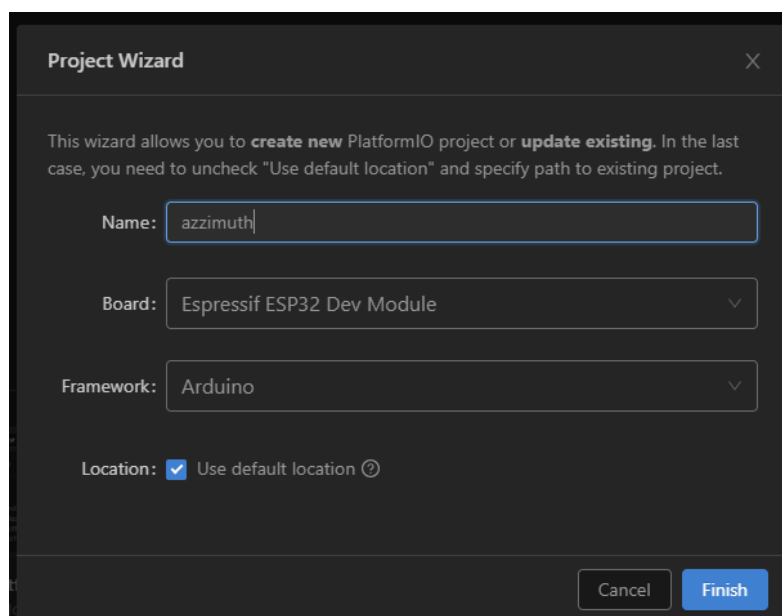


Figura 74. Ingreso parámetros de plataforma a desarrollar.

5.4.2.1 Configuración controlador eje azimuth

En primera instancia, para iniciar nuestra configuración del controlador Azimuth, se debe definir las librerías con las cuales se trabajará en nuestro proyecto, como se puede observar en la figura 75.

- La librería Arduino nos dará la conexión con su propio IDE y conexión con el ESP-32.
- La librería Wifi permitirá la conexión con la red inalámbrica privada.
- La librería WifiClient permitirá la conexión como cliente a la aplicación.
- La librería BlynkSimpleEsp32 permitirá autenticar la aplicación “Blynk” con el dispositivo ESP-32.

Una vez ingresado esta librería procedemos a ingresar el token como una variable, al igual que la red a la que se conectará y la contraseña.

```
Azzimuth.cpp *
1  /*
2
3  Azimuth controller designed by Gustavo Jácome UDLA/Quito Ecuador
4
5
6  */
7
8  #include <Arduino.h>
9  #define BLYNK_PRINT Serial
10
11
12 #include <SPI.h>
13
14 #include <Wifi.h>
15 #include <WifiClient.h>
16 #include <BlynkSimpleEsp32.h> // You should get Auth Token
17
18 char auth[] = "14e42b50ea064f83adb3b7a5aedd1c55";
19
20 char ssid[] = "ISSAKA";
21 char pass[] = "2072806954vB";
22
```

Figura 75. Declaración de librerías.

Luego de declarar las librerías como se puede ver en la imagen 76, se procederá a declarar las variables que se usará en el desarrollo.

Adicional a esto se determinará los terminales que se usará en relación a la aplicación Blynk, ya que desde los mismos se ingresará los ángulos de movimiento.

```

22
23 int acceleration = 0; // Low is faster, 0 is no acceleration
24 double stepsPERrevolution = 40000.0; // 1/16 microsteps
25 double currentAngle = 0.0;
26 double AngleDifference = 0.0;
27 double StepsToTake = 0.0;
28 int maxSpeed = 42;
29 int initialSpeed = 200;
30 int x = 0;
31
32 WidgetTerminal terminal(V1); // Acceleration Terminal
33 WidgetTerminal terminal3(V3); // Angular Position
34 WidgetTerminal terminal4(V4); // Serial Terminal
35

```

Figura 76. Declaración de variables.

En la Figura 77, se puede observar el desarrollo de la impresión del movimiento en pasos cuando se ingresa los ángulos requeridos mediante el terminal de la aplicación Blynk, a esto se llamará como aceleración del motor, mediante esta forma se logró afinar los ángulos y el total de números de pasos que recorre el motor.

```

39
40 BLYNK_WRITE(V1) // Acceleration Terminal
41 {
42
43   if (String(".") == param.asStr()) {
44     terminal.println("The acceleration is set to:");
45     terminal.println(acceleration);
46   }
47   else {
48     terminal.print("Setting Acceleration to ");
49     terminal.write(param.getBuffer(), param.getLength());
50     terminal.println();
51
52     String stringTerminal = param.asStr(); // Get data entered
53     int TerminalAcceleration = stringTerminal.toInt();
54
55     if (0 < TerminalAcceleration < 51) {
56       acceleration = TerminalAcceleration;
57       Blynk.virtualWrite(V2, acceleration);
58     }
59
60   } // Ensure data is written
61   terminal.flush(); // Ensure data is flushed

```

Figura 77. Desarrollo De Impresión De Aceleración Del Motor.

En la figura 78 como se puede observar en el desarrollo de las instrucciones que se declaró como V3 al puerto así configurado en la aplicación Blynk, luego damos una serie de pasos, el cual ayudará a visualizar una notificación de que los ángulos ingresados están listos.

Una vez concluido con estos pasos, se puede observar que encontrará una formula la cual ayudará a establecer los pasos recorridos al ingresar un ángulo de Azimuth.

Pasos que sigue= Diferencia del ángulo * (Pasos por revolución/360)

Finalmente se realiza la instrucción para imprimir el ángulo ingresado y cuantos pasos avanzó.

```

167
168 BLYNK_WRITE(V3)
169 {
170     int TerminalAngle = param.asInt();
171
172     x = 0;
173     if (TerminalAngle == currentAngle) {
174
175         terminal3.print("Angle already set to ");
176         terminal3.println(TerminalAngle);
177         terminal3.println();
178         terminal3.flush();
179     }
180
181     else if (TerminalAngle > currentAngle) {
182
183         AngleDifference = TerminalAngle - currentAngle;
184         StepsToTake = AngleDifference * 40000.0/360.0;
185
186
187         // Angle difference * Steps per revolution/360.0
188         currentAngle = TerminalAngle;
189
190         Blynk.virtualWrite(V0, currentAngle);
191
192         terminal3.print("Azzimuth angle to ");
193         terminal3.println(TerminalAngle);
194         terminal3.println();
195         terminal3.print("Advance these steps: ");
196         terminal3.println(StepsToTake);
197         terminal3.flush();
198

```

Figura 78. Desarrollo de instrucciones para el puerto V3.

En la Figura 79 se puede observar las instrucciones sobre los puertos de dirección (Puerto 14) el valor de High hace que el motor gire en sentido horario, el valor de Low hace que gire en sentido antihorario. Esto tomando en cuenta un estudio posterior de engranajes que se implementó en el proyecto.

```

198
199     digitalWrite(14, HIGH);
200     for (int i = 0; i < StepsToTake; i++) {
201         if (acceleration == 0) {
202             digitalWrite(27, HIGH);
203             delayMicroseconds(45);
204             digitalWrite(27, LOW);
205             delayMicroseconds(45);
206         }
207
208         else if (i % acceleration == 0 && x < (initialSpeed - maxSpeed)) {
209             digitalWrite(27, HIGH);
210             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
211             digitalWrite(27, LOW);
212             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
213             x = x + 1;
214         }
215         else if (x < (initialSpeed - maxSpeed)) {
216             digitalWrite(27, HIGH);
217             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
218             digitalWrite(27, LOW);
219             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
220         }
221         else {
222             digitalWrite(27, HIGH);
223             delayMicroseconds(maxSpeed);
224             digitalWrite(27, LOW);
225             delayMicroseconds(maxSpeed);
226         }
227     }
228 }
229 }
230 }

```

Figura 79. Configuración en Puerto de Dirección.

Luego se declara los puertos, ya que, a diferencia de Arduino IDE, se puede declarar sea al final como al inicio los puertos a utilizar, así como se lo puede observar en la Figura 80.

```

void setup(){
    Serial.begin(115200);

    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    pinMode(12, OUTPUT);
    pinMode(14, OUTPUT);
    pinMode(27, OUTPUT);
    digitalWrite(12, HIGH);
    digitalWrite(14, LOW);
    digitalWrite(27, LOW);
    Blynk.virtualWrite(V2, acceleration);
    Blynk.virtualWrite(V0, currentAngle);

    for (int i = 0; i <= 10; i++) {
        terminal.println("");
    }
    terminal.flush();

    for (int i = 0; i <= 10; i++) {
        terminal3.println("");
    }
    terminal3.flush();

    terminal3.print("Azzimuth angle to ");
    terminal3.println(currentAngle);
    terminal3.flush();

    terminal.print("Setting Acceleration to ");
    terminal.println(acceleration);
    terminal.flush();
}

```

Figura 80. Declaración de Puertos.

5.4.2.2 Configuración controlador eje elevación

Para iniciar la configuración del controlador Elevación, debemos definir las librerías con las cuales trabajaremos en nuestro proyecto, como podemos observar en la figura 81.

- La librería Arduino permitirá la conexión con su propio IDE y conexión con el ESP-32.
- La librería Wifi permitirá la conexión con la red inalámbrica privada.
- La librería WifiClient permitirá la conexión como cliente a la aplicación.
- La librería BlynkSimpleEsp32 permitirá autenticar la aplicación “Blynk” con el dispositivo ESP-32.

Una vez ingresado esta librería se procede a ingresar el token como una variable, al igual que la red a la que se conectará y la contraseña.

```
8  #include <Arduino.h>
9  #define BLYNK_PRINT Serial
10
11
12  #include <SPI.h>
13
14  #include <WiFi.h>
15  #include <WiFiClient.h>
16  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
17
18  char auth[] = "86c2dce87b02460c9633c37f1a11da48";
19
20  char ssid[] = "ISSAKA";
21  char pass[] = "2072806954vB";
```

Figura 81. Declaración de librerías.

Luego de declarar las librerías como se puede ver en la imagen 82, se procede a declarar las variables que se utilizará en el desarrollo.

Adicional a esto se determinará los terminales que uso en relación a la aplicación Blynk, ya que desde los mismos se ingresarán los ángulos de movimiento.

```

23 int acceleration = 0;
24 double stepsPERrevolution = 3000000.0;
25 double currentAngle = 90.0;
26 double AngleDifference = 0.0;
27 double StepsToTake = 0.0;
28 int maxSpeed = 100;
29 int initialSpeed = 200;
30 int x = 0;
31
32 WidgetTerminal terminal(V1);
33 WidgetTerminal terminal3(V3);
34 WidgetTerminal terminal4(V4);

```

Figura 82. Declaración de variables.

En la Figura 83, se puede observar el desarrollo de la impresión del movimiento en pasos cuanto se ingresan los ángulos requeridos mediante el terminal de la aplicación Blynk, a esto se le llama como aceleración del motor, mediante esta forma se logró afinar los ángulos y el total de números de pasos que recorre el motor.

```

39
40 BLYNK_WRITE(V1) // Aceleración
41 {
42
43   if (String(".") == param.asStr()) {
44     terminal.println("The acceleration is set to:");
45     terminal.println(acceleration);
46   }
47   else {
48     terminal.print("Setting Acceleration to ");
49     terminal.write(param.getBuffer(), param.getLength());
50     terminal.println();
51
52     String stringTerminal = param.asStr(); // Get data entered
53     int TerminalAcceleration = stringTerminal.toInt();
54
55     if (0 < TerminalAcceleration < 51) {
56       acceleration = TerminalAcceleration;
57       Blynk.virtualWrite(V2, acceleration);
58     }
59
60   } // Ensure e
61   terminal.flush(); // Ensure e

```

Figura 83. Desarrollo De Impresión De Aceleración Del Motor.

En la figura 84 como se observa en el desarrollo de las instrucciones que declara como V3 al puerto así configurado en la aplicación Blynk, luego se realiza una serie de pasos, el cual ayudará a visualizar una notificación de que los ángulos ingresados están listos.

Una vez concluido con estos pasos, se puede observar una formula la cual nos ayudara a establecer los pasos recorridos al ingresar un ángulo de Elevación.

Pasos que sigue= Diferencia del ángulo * (Pasos por revolución/90)

La única diferencia con la fórmula del Azimut, es que la relación es para 360 ya que en el eje azimut, podrá recorrer todos esos grados.

En el eje de elevación no podrá recorrer más que 90 grados y en relación con eso es sacar la formula por la posición de la antena físicamente.

Finalmente se realiza la instrucción para imprimir el ángulo ingresado y cuantos pasos avanzó.

```

168 BLYNK_WRITE(V3)
169 {
170     int TerminalAngle = param.asInt();
171
172     x = 0;
173     if (TerminalAngle == currentAngle) {
174
175         terminal3.print("Angle already set to ");
176         terminal3.println(TerminalAngle);
177         terminal3.println();
178         terminal3.flush();
179     }
180
181     else if (TerminalAngle > currentAngle) {
182
183         AngleDifference = TerminalAngle - currentAngle;
184         StepsToTake = AngleDifference * 300000.0/90.0;
185
186
187         // Angle difference * Steps per revolution/90.0
188         currentAngle = TerminalAngle;
189
190         Blynk.virtualWrite(V0, currentAngle);
191
192         terminal3.print("Elevation angle to ");
193         terminal3.println(TerminalAngle);
194         terminal3.println();
195         terminal3.print("Advance these steps: ");
196         terminal3.println(StepsToTake);
197         terminal3.flush();
198

```

Figura 84. Desarrollo de instrucciones para el puerto V3.

En la Figura 85 se puede observar las instrucciones sobre los puertos de dirección (Puerto 14) el valor de High hace que el motor gire en sentido horario, el valor de Low hace que gire en sentido antihorario. Esto tomando en cuenta un estudio posterior de engranajes que se implementó en el proyecto.

```

198
199     digitalWrite(14, HIGH);
200     for (int i = 0; i < StepsToTake; i++) {
201         if (acceleration == 0) {
202             digitalWrite(27, HIGH);
203             delayMicroseconds(45);
204             digitalWrite(27, LOW);
205             delayMicroseconds(45);
206         }
207
208         else if (i % acceleration == 0 && x < (initialSpeed - maxSpeed)) {
209             digitalWrite(27, HIGH);
210             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
211             digitalWrite(27, LOW);
212             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
213             x = x + 1;
214         }
215         else if (x < (initialSpeed - maxSpeed)) {
216             digitalWrite(27, HIGH);
217             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
218             digitalWrite(27, LOW);
219             delayMicroseconds(initialSpeed - x);
220         }
221         else {
222             digitalWrite(27, HIGH);
223             delayMicroseconds(maxSpeed);
224             digitalWrite(27, LOW);
225             delayMicroseconds(maxSpeed);
226         }
227     }
228 }
229
230 }

```

Figura 85. Configuración en Puerto de Dirección.

Luego declarar los puertos, ya que, a diferencia de Arduino IDE, se podrá declarar sea al final como al inicio los puertos a utilizar, se puede observar en la Figura 86.

```

void setup(){
    Serial.begin(115200);

    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    pinMode(12, OUTPUT);
    pinMode(14, OUTPUT);
    pinMode(27, OUTPUT);
    digitalWrite(12, HIGH);
    digitalWrite(14, LOW);
    digitalWrite(27, LOW);
    Blynk.virtualWrite(V2, acceleration);
    Blynk.virtualWrite(V0, currentAngle);

    for (int i = 0; i <= 10; i++) {
        terminal.println("");
    }
    terminal.flush();

    for (int i = 0; i <= 10; i++) {
        terminal3.println("");
    }
    terminal3.flush();

    terminal3.print("Azzimuth angle to ");
    terminal3.println(currentAngle);
    terminal3.flush();

    terminal.print("Setting Acceleration to ");
    terminal.println(acceleration);
    terminal.flush();
}

```

Figura 86. Declaración de Puertos.

5.5 Aplicación móvil para controlar el movimiento de la antena de posición angular “blynk”.

Blynk es una plataforma diseñada para el internet de las cosas (IoT) utilizando hardware independiente, para realizar aplicaciones móviles que sean personalizables, nubes privadas y administración de dispositivos las cuales cumplen con los requerimientos para el presente proyecto realizado. (Esspresif, 2014)

Para usar la aplicación Blynk se necesita de tres cosas:

1. Smartphone: Debe poseer un sistema operativo Android mayor a 4.2 y para iOS debe ser mayor a la versión 9. (Esspresif, 2014)
2. Hardware IoT: Blynk puede ser ejecutado en más de 400 módulos, entre los más populares tenemos el ESP8266, ESP32, Arduino, Raspberry Pi, etc. (Esspresif, 2014)
3. Conexión a Internet: El hardware deberá conectarse a internet para elegir el respectivo módulo a utilizar. (Esspresif, 2014)

El primer paso que se debe seguir para comenzar a utilizar Blynk es descargar la plataforma desde la tienda de nuestro dispositivo Android o iOS, cabe recalcar que es una aplicación gratis para descargarla.

Como segundo paso después de instalar la aplicación, será registrar o crear una cuenta la cual se la puede hacer usando cualquier correo electrónico sea personal o de empresa.

Una vez concluido el registro de cuenta se empezará a crear un nuevo proyecto como lo podemos ver en la figura 87.

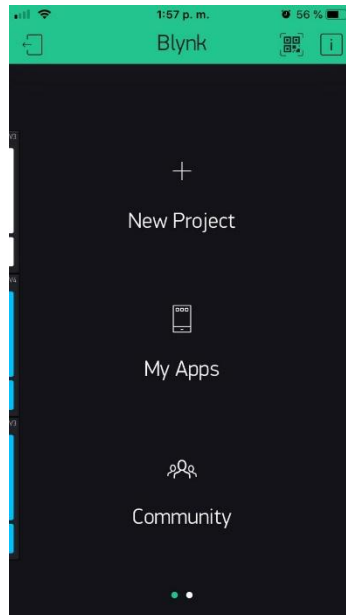


Figura 87. Inicio de Proyecto Blynk.

Luego, se crea el nombre del presente proyecto, el cual se ha definido como “Tesis Gustavo Antenna”, una vez establecido el nombre se selecciona el módulo que se utilizará para el enlace, el cual será “ESP32 Dev Board” este módulo es el adecuado para usar el ESP32 Dev C, adicional como será una conexión a través de una red inalámbrica seleccionará la opción Wifi, se puede observar en la figura 88 la configuración.

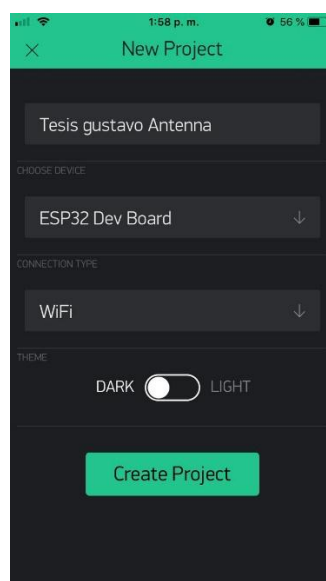


Figura 88. Configuración parámetros proyecto.

Una vez creado el proyecto, se empezará a añadir los dispositivos, se debe tomar en cuenta que cuando se crea el proyecto automáticamente añade ya un dispositivo con el mismo nombre de la tesis, se puede cambiar el nombre del dispositivo, en este caso se lo llamará Azimut, se observa en la figura 89 el cambio de nombre de dispositivo.

Se tomará en cuenta que por cada dispositivo se genera un “TOKEN” el cual es un código de identidad para cada dispositivo, este token será en este caso el código con cual será modificado en el código fuente de la programación.

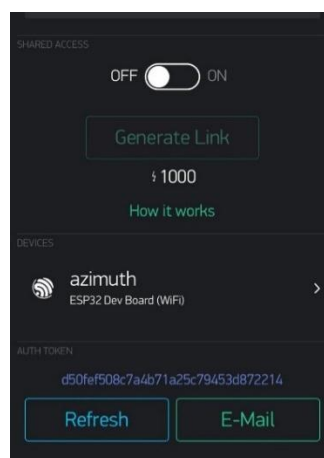


Figura 89. Cambio de nombre dispositivo Azimut.

El siguiente paso es añadir otro dispositivo para elevación en “Mis dispositivos”, en la Figura 90 se puede observar cómo crear otro dispositivo.

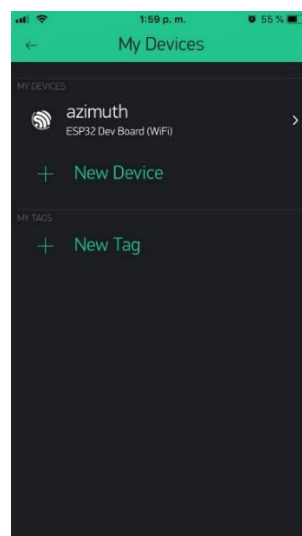


Figura 90. Añadir otro dispositivo

En la Figura 91 se podrá observar todos los parámetros para crear un dispositivo nuevo, se colocará como nombre de “elevación”, luego se selecciona el dispositivo ESP32 Dev Board el cual es compatible con el módulo a utilizar, por medio de conexión wifi. Automáticamente se generará el token.

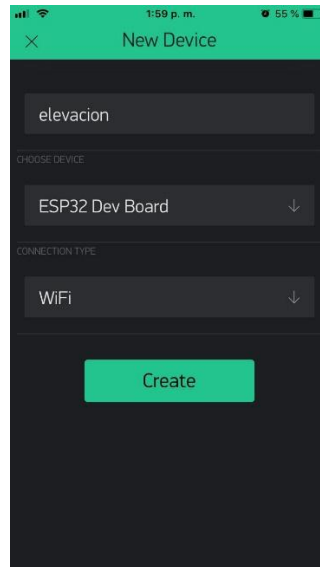


Figura 91. Parámetros dispositivo elevación.

Una vez creado los dispositivos deben registrarse como se lo observa en la figura 92.

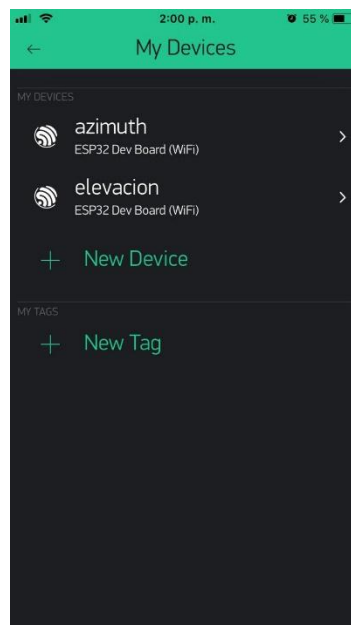


Figura 92. Dispositivos Creados.

Una vez creado los dispositivos se empezó armando nuestra interfaz por medio de terminales, se debe recordar que la aplicación gratuitamente deja seleccionar hasta un valor de 1000, cada terminal tiene un valor de 200. Una vez explicado este punto se empezará seleccionando el terminal como se lo observa en la figura 93.

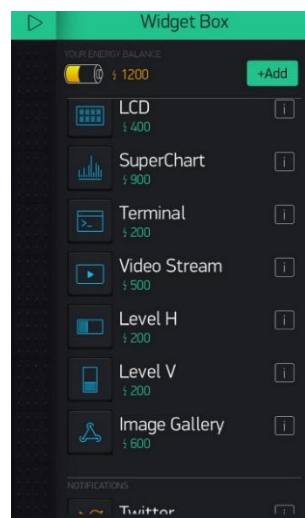


Figura 93. Selección de Widgets para la aplicación.

Agregando a lo anterior, se empezará la configuración de los parámetros del terminal. En la figura94, se puede observar que se puede seleccionar para que dispositivo funcionara el terminal, pues en este terminal se seleccionará azimuth, tomando en cuenta el código fuente para el ingreso de datos correspondiente a los ángulos, se seleccionó el "V4".

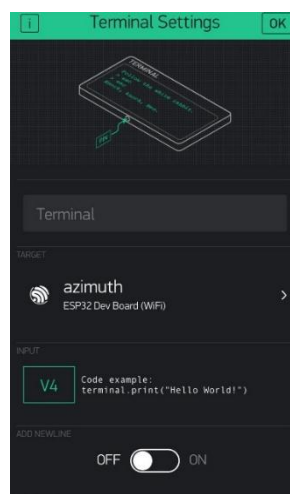


Figura 94. Selección de Parámetros Terminal Ingreso Datos Azimut.

Igualmente, se añadió otro terminal para la lectura de los datos cuando los dispositivos estén estado “online”, se puede ver la figura 95, la cual se puede observar la inclusión del nuevo terminal y en la figura 96 se observa la configuración de los parámetros del terminal de lectura de estado azimuth. Como antes se mencionó, seleccionar el módulo en el que se trabajó, y como código del terminal se seleccionó el “V3” de lectura de estado de azimuth, ya que así se lo generó en el código fuente.

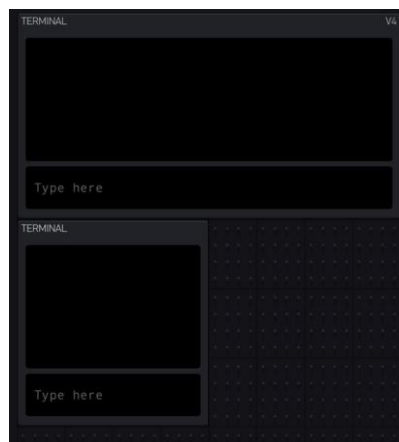


Figura 95. Inclusión terminal lectura azimuth.

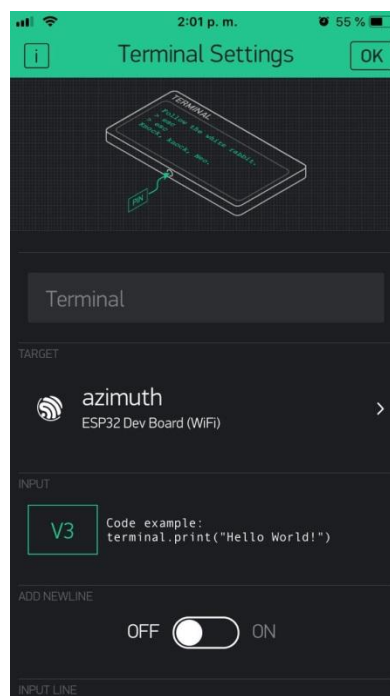


Figura 96. Configuración Parámetros lectura datos estado azimuth.

Además, se añadirá otro terminal para la lectura de los datos cuando los dispositivos estén estado “online” para el Angulo de elevación, se puede ver la figura 97, la cual se puede observar la inclusión del nuevo terminal y en la figura 98 observó la configuración de los parámetros del terminal de lectura de estado elevación. Como antes mencionamos, se seleccionó el módulo en el que se trabajó, y como código del terminal se seleccionó el “V3” de lectura de estado de elevación, ya que así se lo generó en el código fuente.

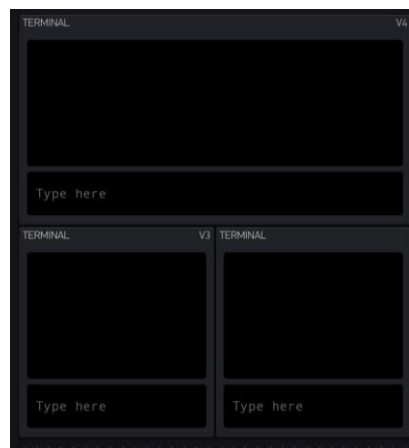


Figura 97. Inclusión terminal lectura elevación.

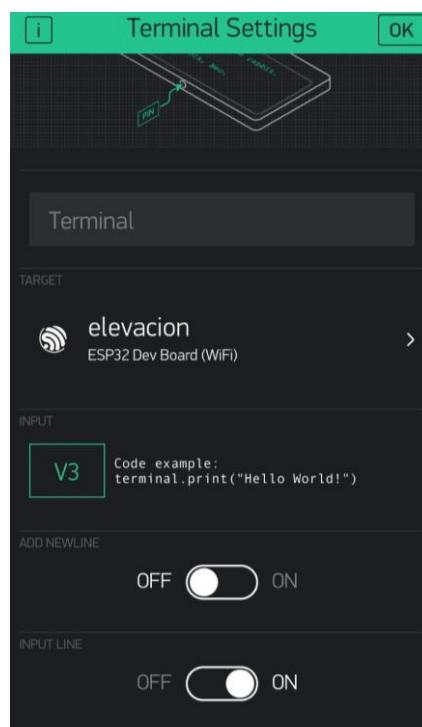


Figura 98. Configuración Parámetros lectura datos estado elevación.

Luego se crea otro terminal para el ingreso de datos para elevación, el cual se puede observar en la figura 99, toda la configuración a así poder culminar con toda la creación de la aplicación móvil basado en IoT. A demás de la selección del dispositivo, se añadirá el código “V4” como se lo mencionó anteriormente, ya que con este código se dio la instrucción en el código fuente para el ingreso de datos.



Figura 99. Selección de Parámetros Terminal Ingreso Datos Elevación.

5.6 Implementación final del laboratorio experimental.

Como fase final de la implementación del presente laboratorio experimental se procede a indicar el proceso final de ensamblaje de la estructura y base de la antena como se lo aprecia en la Figura 100, se puede observar la unión de las tres distintas bases, la superior que sujeta la antena, la rotatoria y la base fija en donde se colocará los dispositivos electrónicos.



Figura 100. Ensamblaje final de la estructura y bases de la antena.

En la Figura 101, se puede observar toda fase final electrónica implementada en una caja la cual será móvil, ya que por motivos de enseñanza para que el estudiante aprenda de una forma práctica las conexiones internas y la forma adecuada de conexión hacia los motores de la antena.

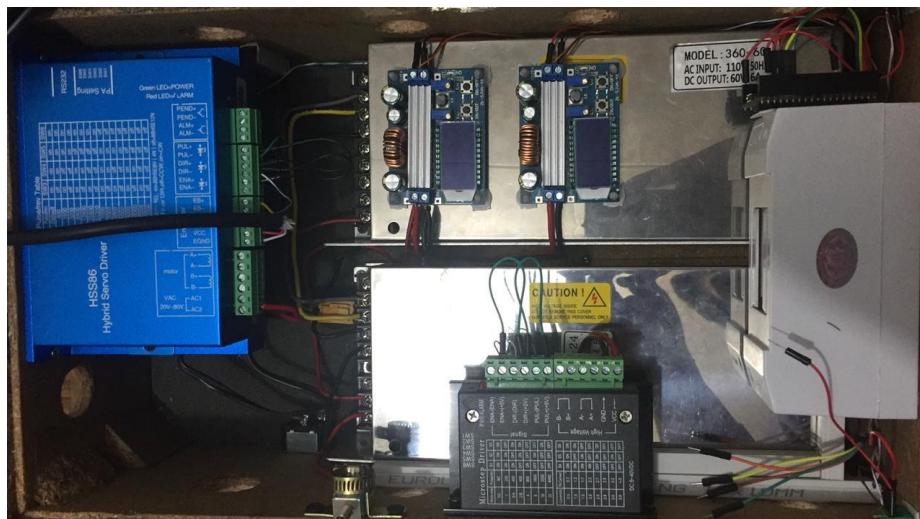


Figura 101. Conexiones finales de electrónica.

6 Pruebas técnicas del laboratorio experimental.

6.1 Especificación de pruebas técnicas del laboratorio experimental.

6.1.1 Pruebas de conectividad inalámbrica.

Como primera fase de pruebas se tomó en consideración las pruebas de conectividad entre la red, la aplicación móvil y los dispositivos ESP32, ya que se puede tomar como la primera y principal fase para realizar las pruebas que se describirán más adelante en el presente texto.

Para esto, se creó una red privada usando una laptop como repetidor de la red principal de la universidad en donde se podrá apreciar en la figura 102 la conectividad de los tres dispositivos en la red.

El dispositivo Huawei pertenece a nuestro móvil que posee la aplicación, los otros dos dispositivos son las conexiones de los módulos ESP32 (Desconocido, Espressif). Se puede concluir que los dispositivos tienen una conexión a la red.

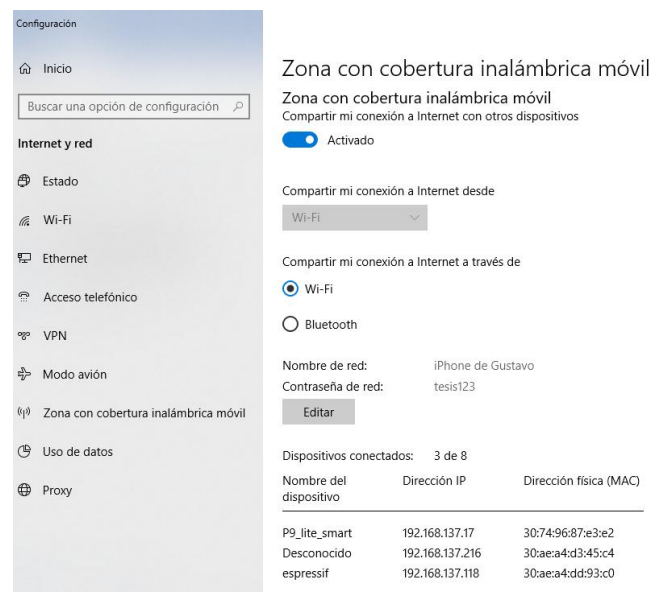


Figura 102. Prueba de Conexión de dispositivos a la red.

Para poder comprobar ahora el enlace entre aplicación y dispositivos se realizará la prueba desde la aplicación.

En la figura 103 se puede observar la lectura de los estados “Online” de los dispositivos de azimut y elevación. Adicional se observa el ingreso de parámetros, en este caso son los ángulos, se puede observar el número de pasos que recorre a través de cada valor ingresado.

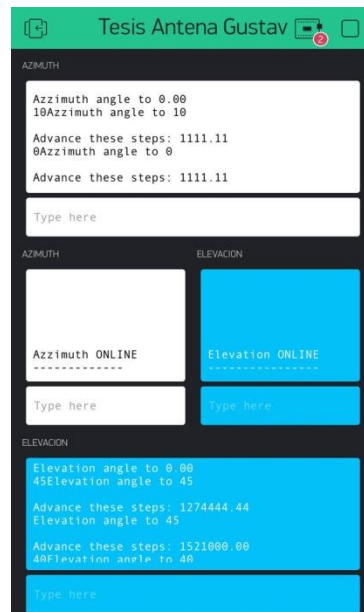


Figura 103. Ingreso y lectura de parámetros.

6.1.2 Pruebas de recepción de señal

Como segunda fase de pruebas se tomó en consideración las pruebas de recepción satelital, utilizando un LNB de banda Ku y el SatLink WS-6979, en el cual se procedió a ubicar geográficamente el satélite y posicionar la antena.

Luego de establecer las coordenadas, se configura los parámetros respectivos a la información brindada a través de la web www.canalesparabolica.com, siendo así que se realizó la prueba con el satélite Intelsat 907, como podemos observar en la figura 104, nos brinda toda la información requerida sobre los datos que debemos modificar en el satlink para establecer la conexión.

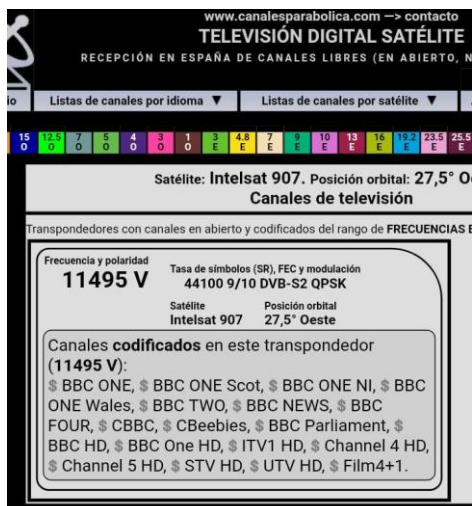


Figura 104. Coordenadas del satélite Intelsat 907 y parámetros.

Una vez obtenido estos datos se procedió a ingresarlos en el equipo:

- Polarización: Vertical.
- Frecuencia local: 11300
- Transpondedor: 11495/44100

Luego de ingresar los parámetros requeridos del satélite, se procedió a verificar la conectividad en el Satlink, como se puede apreciar en la figura 105.



Figura 105. Prueba de conectividad satélite Intelsat 907.

Se resume las pruebas de conectividad, obteniendo buenos resultados con un 66 por ciento de enlace y un poder de -32dBm.

Siendo esta la última fase de pruebas técnicas. En las figuras 106 y 107 se evidenciará las pruebas realizadas. Obteniendo buenos resultados para los futuros laboratorios a implementar.



Figura 106. Evidencia pruebas técnicas de conectividad.



Figura 107. Instalación de LNB banda Ku.

7 Guías de laboratorio.

7.1 Especificación para guías de laboratorio.

7.1.1 Primera guía de laboratorio.

7.1.1.1 Tema

Desarrollo del diseño de una antena por medio del software antenna magus

7.1.1.2 Objetivo

Aprender a utilizar las herramientas necesarias en el software Antenna Magus, para el diseño de una antena.

7.1.1.3 Resultados del aprendizaje

Manejar de forma correcta todas las herramientas que serán necesarias para poder diseñar una antena.

7.1.1.4 Materiales

- Software Antenna Magus licenciado.
- Computadora.
- Datasheet antena a utilizar.

7.1.1.5 Conocimientos previos

- Tipo de antena a diseñar.
- Dimensiones exactas del plato.
- Dimensiones exactas del LNB y sus componentes.
- Conocimientos Básicos sobre ganancias, pérdidas y radiación

7.1.1.6 Presentación de resultados.

El estudiante deberá detallar los resultados esperados del diseño, así como los datos utilizados, dimensiones y parámetros que se requieren al diseñar la antena.

Los registros de los datos utilizados deberán estar en tablas, adicional deben poseer captura de pantallas de los resultados.

7.1.1.7 Conclusiones y recomendaciones

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre el software, el diseño de la antena y sobre sus resultados obtenidos en la práctica.

7.1.2 Segunda guía de laboratorio

7.1.2.1 Tema

Simulación del diseño de una antena por medio del software CST MICROWAVE.

7.1.2.2 Objetivo

Aprender el método de exportación que posee el software Antenna Magus, para así poder generar un archivo en CST MICROWAVE, el cual permitirá realizar diversos tipos de simulación, utilizando las herramientas necesarias para lograr el objetivo.

7.1.2.3 Resultado del aprendizaje

Manejar de forma correcta las herramientas para los distintos tipos de simulaciones que posee el software.

Conocer a profundidad sobre los datos generados en el software para así realizar comparativas con el proceso teórico impartido en clases.

7.1.2.4 Materiales

- Software CST MICROWAVE
- Computadora

7.1.2.5 Conocimientos previos

Conocimientos sobre frecuencia, propiedades del medio ambiente, ganancias y pérdidas de radiación.

7.1.2.6 Presentación de resultados

El estudiante deberá detallar los resultados esperados de la simulación y realizar comparativas con lo explicado teóricamente en clases, así como los

datos utilizados. Los registros de los datos y la simulación deberán estar representado a través de imágenes y en tablas.

7.1.2.7 Conclusiones y recomendaciones

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre el estudio del software, un registro sobre los diversos tipos de simulación de la antena y sobre sus resultados obtenidos en la práctica.

7.1.3 Tercera guía de laboratorio

7.1.3.1 Tema

Conexión del sistema eléctrico y de la interfaz del software

7.1.3.2 Objetivo

Aprender a profundidad sobre las conexiones realizadas en el sistema eléctrico de la antena automatizada, así como una correcta conexión del sistema electrónico a los motores.

Conocer el código fuente de la interfaz que operara el posicionamiento de la antena.

7.1.3.3 Resultado del aprendizaje

Utilizar de una forma correcta el sistema electrónico de la antena, realizando la medición del voltaje que pasa por cada tramo del circuito.

Aprender sobre la conexión correcta de los motores hacia la parte electrónica.

Conocer más a profundo el código fuente para futuros cambios en el sistema.

7.1.3.4 Materiales

- Multímetro.
- Computadora
- Software Visual Studio CODE
- Software PlatformIO

7.1.3.5 Conocimientos previos

- Electrónica básica.
- Uso del multímetro.
- Conocimientos en programación
- Conocimiento en Arduino.

7.1.3.6 Representación de resultados

El estudiante deberá detallar los resultados esperados de las pruebas realizadas en la medición de voltajes en el sistema electrónico, los puertos que se usan en los dispositivos ESP32, BDLLC y conectividad de los motores, estos deben ser registrado por imágenes.

Deberá registrar las modificaciones realizadas en el código, según sea solicitado por el docente.

7.1.3.7 Conclusiones y recomendaciones.

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre el sistema y dispositivos electrónicos utilizados en la práctica.

Adicional, deberá añadir recomendaciones sobre el código fuente. Tomando en cuenta la pregunta ¿Qué podemos añadir? ¿Qué podemos omitir?

7.1.4 Cuarta guía de laboratorio

7.1.4.1 Tema

Conectividad del sistema de posicionamiento automático por medio de una red inalámbrica.

7.1.4.2 Objetivo

Aprender a modificar los parámetros del código fuente en base a la red inalámbrica, para así por descargar dicho archivo al dispositivo ESP32.

Enlazar todos los dispositivos a la misma red, para el uso del posicionamiento a través de la aplicación móvil.

Conocer el código fuente de la interfaz que operara el posicionamiento de la antena.

7.1.4.3 Resultados del aprendizaje

Utilizar de una forma correcta el código fuente para la configuración de la red. Así mismo del correcto montaje del sistema electrónico.

Utilizar los puertos correctos en la aplicación móvil para el enlace de los dispositivos ESP32.

7.1.4.4 Materiales

- Aplicación móvil Blynk
- Computadora
- Software Visual Studio CODE
- PlatformIO

7.1.4.5 Conocimientos previos

Conocimientos en programación.

7.1.4.6 Representación de resultados

El estudiante deberá evidenciar los resultados de la modificación y conectividad a la red inalámbrica tanto los dispositivos ESP32, como en la aplicación móvil Blynk. Tomar en cuenta que no hay conectividad si los dispositivos no están en línea en los terminales de información dentro de la aplicación.

Evidenciar los resultados obtenidos al momento de ingresar ángulos de posicionamiento.

7.1.4.7 Conclusiones y recomendaciones

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre el enlace del sistema y dispositivos electrónicos utilizados en la práctica.

Adicional, deberá añadir recomendaciones sobre la aplicación móvil. Tomando en cuenta la pregunta ¿Qué podemos añadir? ¿Qué podemos omitir?

7.1.5 Quinta guía de laboratorio

7.1.5.1 Tema.

Posicionamiento Manual y automático de la antena.

7.1.5.2 Objetivo.

Aprender a referenciar los ángulos de elevación y azimut.

Posicionamiento manual y automático de la antena para el posicionamiento en cada ángulo según el satélite, para ello se utilizará una herramienta online de posición satelital.

<http://efemeridesastronomicas.dyndns.org/satelites.htm>

7.1.5.3 Resultados de aprendizaje.

Aprender a ubicar de forma manual y automática el posicionamiento de una antena con respecto a un satélite.

7.1.5.4 Materiales.

- Llave N°10, 12, 14
- Juego de llaves hexagonales.
- Medidor de Grados o ángulos.
- Brújula.

7.1.5.5 Conocimientos previos.

Definición sobre los ángulos de elevación y azimut

Referencia de ángulos según el posicionamiento.

7.1.5.6 Representación de resultados.

El estudiante deberá evidenciar los resultados de la ubicación tanto manual como automática de la antena, referenciando con la aplicación e imágenes utilizando el material de medición angular.

Evidenciar los resultados obtenidos al momento de ingresar ángulos de posicionamiento.

7.1.5.7 Conclusiones y recomendaciones.

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre la ubicación de la antena dirigida a distintos satélites.

7.1.6 Sexta guía de laboratorio

7.1.6.1 Tema

Prueba de enlace de conectividad con el satélite

7.1.6.2 Objetivo

Realizar pruebas de conectividad usando el analizador de espectro y buscador de satélites Sat-Link ws-6979.

7.1.6.3 Resultados del aprendizaje

Poner en práctica todos los conocimientos obtenidos en el laboratorio para realizar pruebas de conectividad con el satélite.

7.1.6.4 Materiales

Sat-Link ws-6979.

7.1.6.5 Conocimientos previos

Prácticas anteriores.

7.1.6.6 Representación de resultados.

El estudiante deberá evidenciar los resultados mediante imágenes de las pruebas de conectividad con el satélite, adicional deberá realizar una tabla con todos los datos registrados en la conexión.

Deberá registrar y realizar comparativas de las distintas conexiones realizadas.

7.1.6.7 Conclusiones y recomendaciones.

El estudiante Deberá colocar sus conclusiones y recomendaciones sobre las distintas pruebas de conectividad con el satélite.

8 Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

Después de finalizar el presente proyecto se concluyó que el estado del arte es de suma importancia para el estudiante, ya que así se podrá entender y comprender el estudio de las comunicaciones satelitales de una mejor manera, para poder poner en práctica los laboratorios establecidos.

En el presente trabajo, gracias al estudio del arte se determinó el proceso de cálculo para el posicionamiento y orientación de una antena satelital, tanto del eje en elevación y azimut de esta, acorde a los cálculos establecidos para poder desarrollar el software.

A demás, se concluye que el uso del dispositivo Sat-link es importante ya que con este elemento se realizó un análisis del espectro de frecuencias, en la banda 11500-2800 Ghz, donde se encontraban los transpondedores de los satélites analizados.

El software Antenna Magus permite diseñar los parámetros físicos de una antena satelital, que fueron utilizados en la fabricación de la misma, por lo que se puede mencionar que dicho software presenta características robustas en cuanto al diseño de una antena.

El software Antenna Magus considera dentro del proceso del diseño la frecuencia nominal del LNB que fue utilizado en la implementación de la antena.

En el software de simulación CST MICROWAVE se observó que la característica de la antena fabricada posee mayor ganancia para transmisión, por su patrón de radiación se puede concluir que también es eficaz para recepción.

El software de simulación CST MICROWAVE es ideal para la enseñanza del estudiante ya que permite ver diversas simulaciones que se ajustan a los cálculos teóricos impartidos en clases, siendo una herramienta 100% didáctica para la formación de los futuros estudiantes de la Universidad de las Américas.

Considerando el diseño de la estructura de soporte, se llegó a la conclusión de que el material a utilizar en la antena debe ser rígido de acero, mínimo 5mm de espesor, ya que este al estar al aire libre, puede llegar a pandearse y causar variaciones en la estructura.

En el proceso de implementación del laboratorio se llegó a la conclusión de que los motores propuestos tienen el torque 1,2 Newton * metro, suficiente para mover la estructura de soporte, pero para evitar un trabajo al límite en los motores, se decidió implementar un juego de engranaje el cual ayuda a que los motores posean un torque mayor y reduzca la velocidad.

Para poder evitar una fuerza de fricción al momento de girar la antena, se concluyó que la manera más efectiva de reducir la fricción es implementar un sistema de rulimanes entre los soportes de rotación.

La estructura que se diseñó para el proyecto cumple con un peso neutro el cual no permitirá que este pierda el equilibrio en alguna práctica, además por el grosor del metal, cumple con un nivel de rigidez alto, sin embargo, al momento de ensamblar, se vio la necesidad de cortar figuras de círculo que ayudaría a disminuir el peso de la base superior en la base intermedia.

El actuador de la antena debe poseer un motor de mayor torque, ya que la antena al estar en el punto cero aumenta su peso y el actuador trabaja a su límite. Siendo así que puede llegar a romperse el engranaje interno del mismo.

Al finalizar las pruebas de conectividad se llegó a la conclusión que la antena implementada trabaja de forma eficaz, siendo así que en el uso del analizador de espectros logró captar todos los transpondedores de las satélites amazonas 3 y 5.

El uso de sensores permitió sincronizar el hardware y software del sistema permitiendo fijar una posición inicial al utilizar el sistema, esto permite tener una conexión eficaz al hacer uso de este.

Las guías de laboratorio fueron creadas a base de este proyecto para que el estudiante pueda conocer a profundidad el funcionamiento específico de cada

componente del laboratorio. Por lo cual ayudará a comprender de una mejor manera lo impartido en clases.

8.2 Recomendaciones

Todo proyecto automatizado debe poseer como alternativa una parte manual que permita realizar el trabajo en caso de que los sistemas llegaran a fallar, por este motivo se recomienda para futuros proyectos realizar un mecanismo manual para evitar futuros inconvenientes y así realizar los movimientos de posición angular.

Además, Tomar en cuenta que el sistema electrónico maneja dos motores por lo cual se dividió en distintas fuentes de alimentación, como recomendación principal, no unir las fuentes o usar una para el uso de los dos motores, ya que su voltaje es distinto.

Se recomienda que, con el fin de tener una mayor seguridad de los motores, realizar un diseño para protegerlos del ambiente y de malas manipulaciones, ya que la antena estará posicionada en un área externa.

Para posibles futuros trabajos, se recomienda que, si al implementar antenas de mayor diámetro, se deberá implementar un actuador y motor distinto en la elevación ya que los implementados, están basados para la fuerza que ejerce la antena propuesta.

Se recomienda verificar los dispositivos electrónicos que funcionen adecuadamente antes de cada practica para así evitar posibles fallas de comunicación y funcionamiento.

REFERENCIAS

- AliExpress. (2019). *Steppers*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de https://es.aliexpress.com/store/product/Nema-23-Stepper-Motor-1-2Nm-1-5NM-3A-57-56-76mm-4-wires-for-wood/935434_33038530047.html?spm=a219c.search0306.3.54.29e377a403Tg3Q&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0_10084_10083_10887_10307_321_453_322_454_106
- CNCDriver. (2016). *step motor*. Recuperado el 5 de mayo de 2019 de <http://cncdrive.com/datasheets/2HSS86H.pdf>
- Controls. (2019). *Ocean machines*. Recuperado el 16 de enero del 2019 de https://oceancontrols.com.au/files/datasheet/lea/MOT135_86CM120.pdf
- De León, I. (2004). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE RECEPCIÓN SATELITAL CONTROLADO A TRAVÉS DE UNA PÁGINA WEB*. Recuperado el 20 de enero del 2019 de https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1835.htm
- Electronics, M. (2019). *Electronics circuits*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de <https://www.mouser.mx/ProductDetail/MEAN-WELL/LRS-350-24?qs=ah3jBNVE1PT%252BkwLcackrGA==>
- Esspresif. (2014). *Blynk*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de <https://blynk.io/en/getting-started>
- Forum, A. (2019). *Datasheet tb6600*. Recuperado el 19 de marzo del 2019 de <https://forum.arduino.cc/index.php?action=dlattach;topic=558523.0;attach=266385>.
- Global trade. (2019). *Alibaba*. Recuperado el 16 de enero del 2019 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-nema-34-close-loop-12nm-servo-motor-set-60692043828.html?spm=a2700.8699010.normalList.40.6e561a0fVu0rYW>

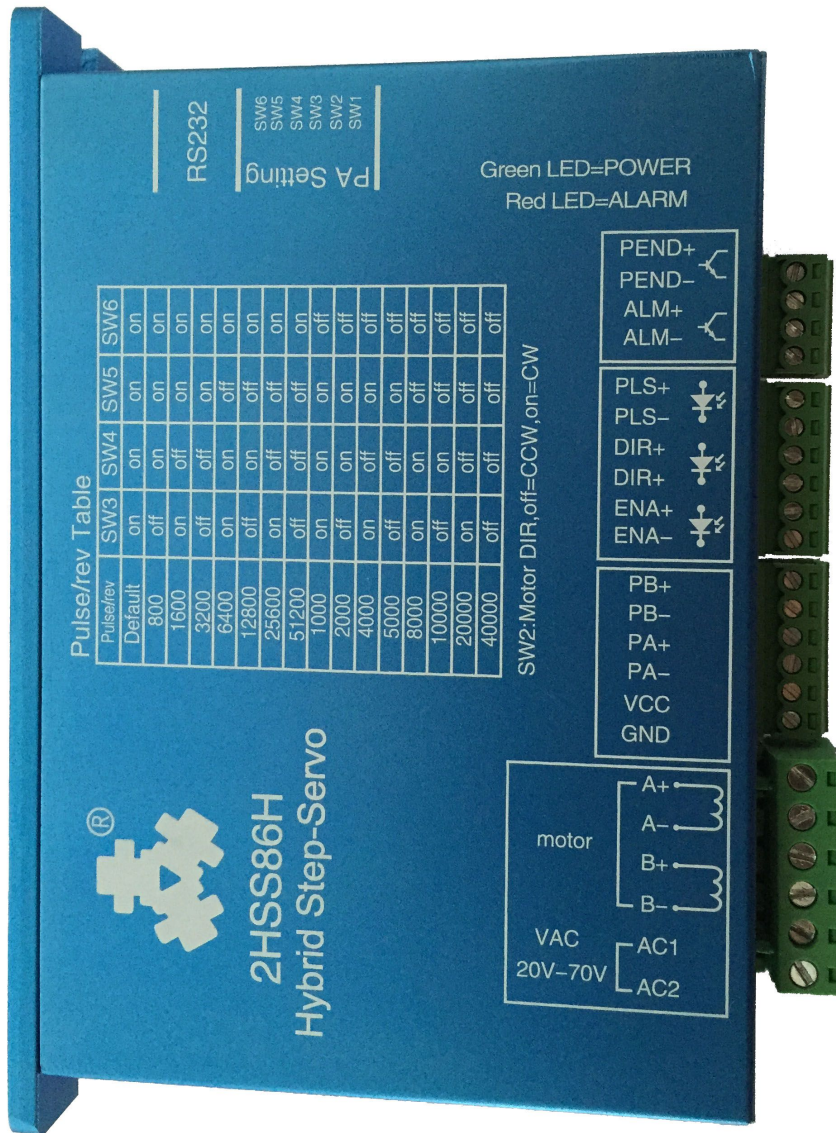
- Hernán Moreno, M. V. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO MEDIANTE LABVIEW PARA UNA PLATAFORMA GIRATORIA APLICADA A LOS ENLACES TERRESTRES VÍA MICROONDAS Y A UNA ANTENA DE RECEPCIÓN SATELITAL*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10384/1/UPS-GT001414.pdf>
- Huidobro, J. M. (2013). *Revista digital de ACTA*. Recuperado el 15 de noviembre del 2018 de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- ICStation. (2019). *ICS & Robot Gadgets*. Recuperado el 28 de octubre del 2018 de <http://www.icstation.com/adjustable-step-step-down-power-supply-module-boost-buck-converter-display-voltage-regulator-p-13409.html>
- Jeirí, D. H. (2013). *OPERACIÓN DE PLATAFORMA DE TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL REGIONAL*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/440/huayhualla_d.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Marquéz, P. (2011). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE REDES DE COMUNICACIONES Y TELEMÁTICA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA*. Recuperado el 19 de marzo del 2019 de saber.ucv.ve/bitstream/123456789/14109/1/TEG%20Completo.pdf
- Martín, L. M. (2006). *Antenas Parabólicas*. Recuperado el 5 de mayo del 2019 de <http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/parabolicas/paraboli.htm>
- Sanchez, J. H. (2000). *SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR SATELITE: UTILIZACIÓN EN LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN AEREONÁUTICOS*. Recuperado el 20 de febrero del 2019 de http://oa.upm.es/40769/1/PFC_JAVIER_HERNANDEZ_SANCHEZ.pdf
- Satellite, T. (2018). *Titanium Satellite*. Recuperado el 5 e noviembre del 2018 de <http://www.titaniumsatellite.com/c2wpII#>

- Sat-Link. (2016). *Sat Link.com.au Satellite finder meter and more*. Recuperado el 18 de junio del 2019 de <http://www.sat-link.com.au/satlink/ws-6969.htm>
- Systemes, D. (2018). *Antenna Magus*. Recuperado el 16 de junio del 2019 de <http://www.antennamagus.com/overview.php>
- Technologies, F. C. (2017). *INVERTO*. Recuperado el 28 de abril del 2019 de <http://www.inverto.tv/lnb/259/selected-quad-40mm-lnb>
- technologies, T. (2018). *Professional Producer of Digital TV Tuner for PC*. Recuperado el 17 de junio del 2019 de <https://www.tbsdtv.com/products/tbs6902-dvb-s2-dual-tuner-pcie-card.html>
- trade, G. (2019). *Amazon*. Recuperado el 8 de mayo del 2019 de https://www.amazon.es/Octagon-Satellite-Disponible-Individual-cu%C3%A1druple/dp/B07PMKWG8Q?ref_=Oct_MGiftedC_934089031_1&pf_rd_r=4T1NBQKYQGJKF44SQT09&pf_rd_p=22234293-6777-5491-9e7c-2dc956cfdb6&pf_rd_s=merchandised-search-6&pf_rd_t=101&pf_rd_i=934089031&
- trade, G. (2019). *Ebay*. Recuperado el 8 de mayo del 2019 de <https://www.ebay.com/itm/2-20-Heavy-Duty-12V-DC-Stroke-Electric-Linear-Actuator-Putter-Motor-10mm-s/113574790934?hash=item1a7195c716:m:mVYPxeFtkysNKpZ1cH5R6SQ&var=413728478787>
- Vela, R. N. (2003). *Comunicaciones por satélite*. Mexico: Thomson.
- Waikato, U. d. (2018). *Science Learning Hub Pokapu Akoranga Putaiao*. Recuperado el 25 de noviembre del 2018 de <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1905-history-of-satellites-timeline>

ANEXOS

HSS86

2-Phase Hybrid Stepper Servo Driver



1. Instruction

1.1 Overview

HSS86 is 2 phase nema 34 series hybrid stepper servo driver. It adopts new generation 32 bit DSP and vector control technology, which can avoid the stepper motor losing steps and ensure the accuracy of the motor. The torque reducing is much lower than open loop stepper motor when it is at higher speed. The high speed performance and torque are enhanced in a great extent. Meanwhile the current control is based on the load, that can reduce the motor temperature rising effectively, then can extend the using life of the motor. The build-in place in position and alarm output signal can help the upper monitor to monitor and control. The function of position ultra difference alarm can ensure the machine work safely. The closed loop system is an ideal improvement and a good replacement of open loop system, Besides that, it also have some function of AC servo motors, but price is just half of AC servo.

1.2 Features

- 1.2.1 Stepper motor closed loop system, never lose step.
- 1.2.2 Improve motor output torque and working speed.
- 1.2.3 Automatic current adjustment based on load, lower temperature rising.
- 1.2.4 Suitable for all mechanical load conditions (include low rigidity belt pulley and wheel), no need to adjust gain parameter.
- 1.2.5 Motor work smoothly and low vibration, high dynamic performance at acceleration and deceleration.
- 1.2.6 No vibration from high speed to zero speed
- 1.2.7 Drive nema 34 series closed loop stepper motor.
- 1.2.8 Pulses response frequency can reach 200KHZ
- 1.2.9 16 kinds microsteps choice, highest 51200microsteps/rev.
- 1.2.10 Voltage range: AC24~70V or DC30V~100V
- 1.2.11 Over-current, over-voltage and position ultra difference protection function.

1.3 Applications

Closed loop stepper system can be applied to all kinds small automatic equipment and instrument. Such as engraving machine, special industrial sewing machine, stripping machine, marking machine, cutting machine, laser phototypesetting, graph plotter, cnc machine, automatic assembly equipment and so on.

2. Electrical, mechanical, environment Parameter

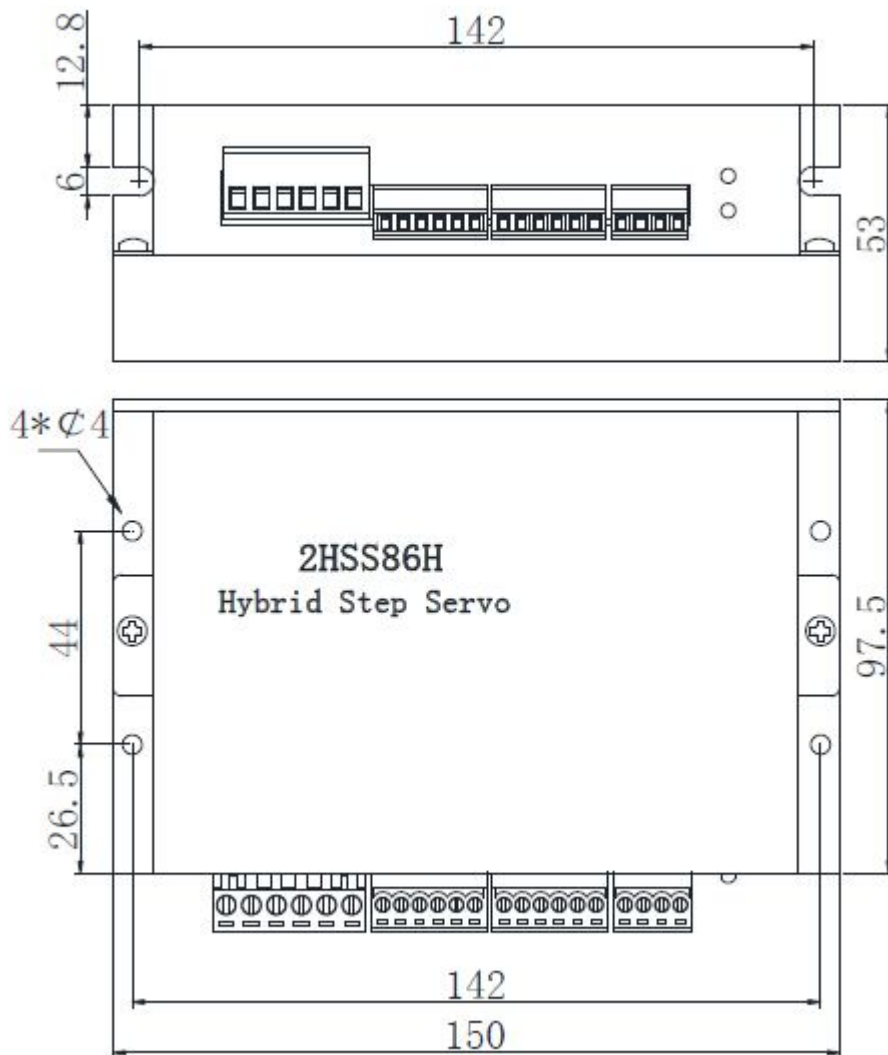
2.1 Electrical Parameter

Voltage range	AC24~70V or DC30~100V
Peak current	Peak 8.0A (current change according to load)
Logic input current	7~20mA
frequency	0~200KHz
Suitable motor	86HSE156, 86HSE118, 86HSE82
Encoder lines	1000
Insulation resistance	$\geq 500M\ \Omega$

2.2 Environment Parameter

Cooling method	Natural or radiator	
Operating environment	Operating Occasions	try to avoid dust, oil, corrosion gas
	Operating temprature	0~50°C
	Operating humidit	40~90%RH
	virbration	5.9m/s ² Max
Storage temperature	0~50°C	
Weight	560g	

2.3 Installation Dimension



3. Driver connector, indicator and wiring diagram

3.1 motor and power supply input port

Port NO.			Motor Wire color
1	A+	A phase winding +	red
2	A-	A phase winding -	green
3	B+	B phase winding +	yellow
4	B-	A phase winding -	blue
5	AC1	Input voltage	AC24~70V or DC30~100V
6	AC2		

3.2. Encoder input port

Port NO.			Encoder Wire color
1	EB+	Encoder B phase input+	yellow
2	EB-	Encoder B phase input-	green
3	EA+	Encoder A phase input+	black
4	EA-	Encoder A phase input-	blue
5	VCC	Encoder voltage (+5V)	red
6	EGND	Encoder Grand (0V)	white

(The encoder wires disconnected will lead to the damage of driver or encoder.)

3.3. Signal controller port

Port NO.			
1	PUL+	Pulse input +	If the signal control voltage is +5V, then the signal control input port do not need to connect an extra resistance. If the signal control voltage is +12V, then the signal control input port need to connect to a 1K resistance. If the signal control voltage is +12V, then the signal control input port need to connect to a 2K resistance. OC output, closed indicate finish the position, open circuit indicate position is not finished. OC output, there is alarm signal when closed, no alarm signal when open circuit.
2	PUL-	Pulse input -	
3	DIR+	Direction input +	
4	DIR-	Direction input -	
5	ENA+	Enable input +	
6	ENA-	Enable input -	
7	Pend+	Position signal output+	
8	Pend-	Position signal output-	
9	ALM+	Alarm signal output+	
10	ALM-	Alarm signal output+	

3.4. Switch setting

SW1: The choice of the motor. OFF--86HSE156, ON—86HSE82, 86HSE118.

SW2: Rotate direction setting. ON--CW, OFF—CCW.

SW3、SW4、SW5、SW6: Microstep setting

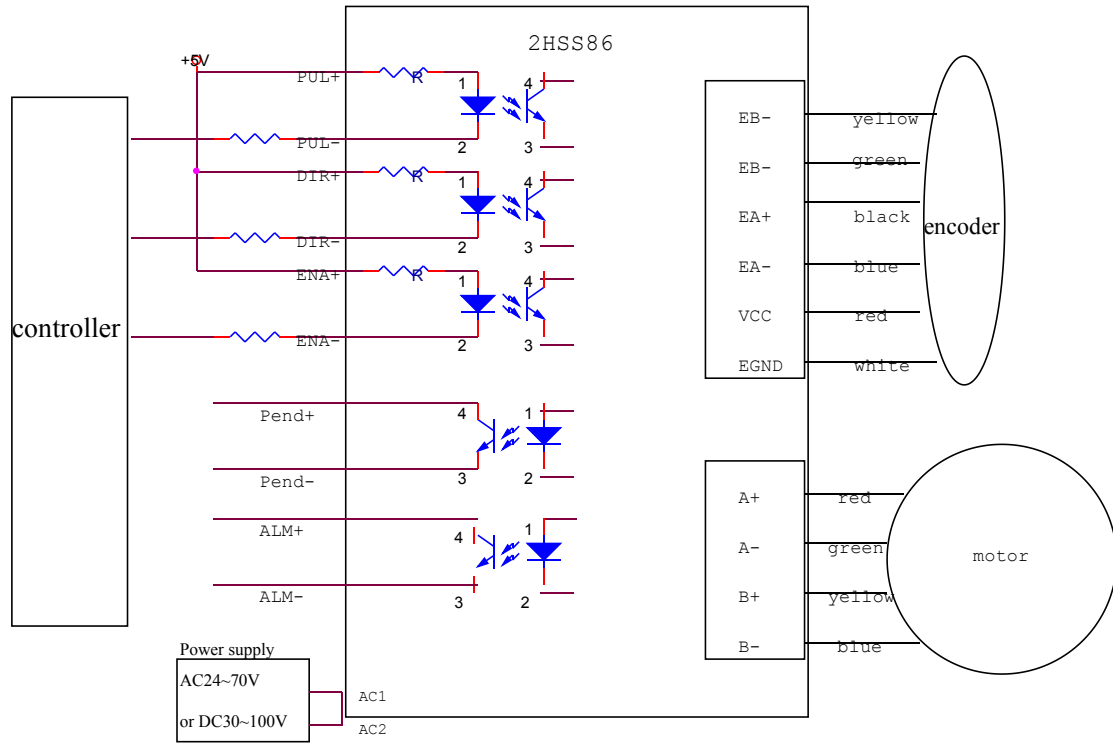
Micorstep/rev	SW3	SW4	SW5	SW6
Default (400)	ON	ON	ON	ON
800	OFF	ON	ON	ON
1600	ON	OFF	ON	ON
3200	OFF	OFF	ON	ON
6400	ON	ON	OFF	ON
12800	OFF	ON	OFF	ON
25600	ON	OFF	OFF	ON
51200	OFF	OFF	OFF	ON
1000	ON	ON	ON	OFF
2000	OFF	ON	ON	OFF
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	OFF	OFF	ON	OFF
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	OFF	ON	OFF	OFF
20000	ON	OFF	OFF	OFF
40000	OFF	OFF	OFF	OFF

3.5. Status indication

PWR: power indicator light : When power is on, the green light is on.

ALM: Alarm indicator light: If the red light is flicker one time within 3 seconds, that means over current or interphase short circuit; If the red light is flicker twice within 3 seconds, that means over voltage; if the red light is flicker three times within 3 seconds, that means position ultra difference .

3.6. Wire diagram



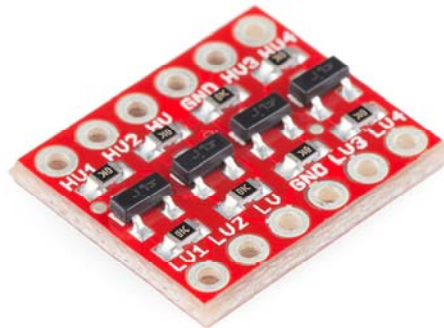


Bi-Directional Logic Level Converter Hookup Guide

Introduction

Do you have a 3.3V I²C or SPI sensor that might go up in smoke if connected to a 5V Arduino? Or a 5V device that needs a workaround to be compatible with your 3.3V Raspberry Pi, Arduino Due or pcDuino?

To get over this obstacle you need a device that can shift 3.3V up to 5V or 5V down to 3.3V. This is called logic level shifting. Level shifting is a dilemma so common we designed a simple PCB assembly to make interfacing devices a little easier: the Bi-Directional Logic Level Converter.



Though they're share the same shape and size, this bi-directional logic level converter shouldn't be confused with the more "uni-directional" version. This converter can pass data from high to low *and/or* low to high on **all channels**. It's perfect for level-shifting between devices that are sharing a data wire, like I²C or a one-wire interface.

Covered In This Tutorial

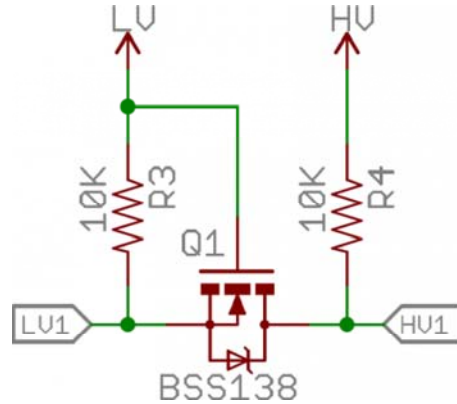
In this tutorial we'll take an in-depth look at the Bi-Directional Logic Level Converter. We'll examine the schematic and board layout – explaining what each pin on the board does. At the end we'll go over some hookup examples to show how you might hook the board up for various interfaces.

Suggested Reading

- Logic Levels
- How to Use a Breadboard
- What is an Arduino?
- How to Solder
- Working with Wire

Board Overview

If you take a peak at the board's schematic, you'd find that the bi-directional logic level converter (let's shorten that to BD-LLC) is actually a very simple device. There is basically one level-shifting circuit on the board, which is repeated four times to create four level-shifting channels. The circuit uses a single N-channel MOSFET and a couple pull-up resistors to realize bi-directional level shifting.

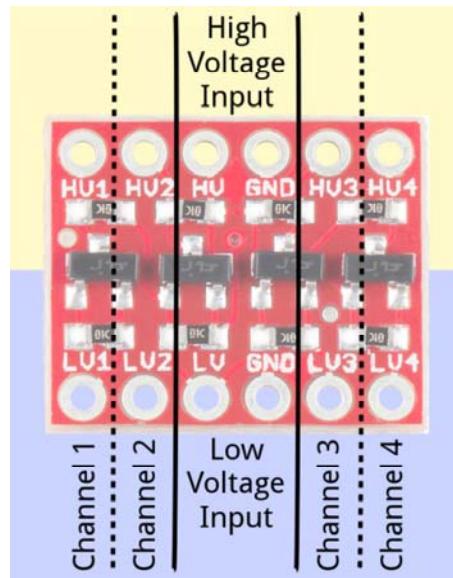


The bi-directional level-shifting circuit used on all four channels of the BD-LLC.

Through some semiconductor magic, this circuit can shift a low voltage signal to high *and/or* shift a high-voltage signal to a low voltage. A 0V signal on one end remains a 0V signal on the other. For a complete analysis of this circuit, check out this excellent Philips Application Note AN97055.

The Pinout

There are 12 total pins on the BD-LLC – two parallel rows of six headers. One row contains all of the high voltage (e.g. 5V) inputs and outputs, the other row has all things low voltage (e.g. 3.3V).



The pins are labeled on both the bottom and top sides of the board, and organized into groups. Let's look closer at some of the pin groups:

Voltage Inputs

The pins labeled **HV**, **LV**, and two **GND**'s provide high and low **voltage references** to the board. Supplying a steady, regulated voltage to both of these inputs is **required**.

The voltage supplied to the **HV** and **GND** inputs should be higher than that supplied to the **LV** side. For example, if you're interfacing from 5V to 3.3V, the voltage on the **HV** pin should be 5V, and the voltage on **LV** could be 3.3V.

Data Channels

There are four separate data channels on the BD-LLC, each capable of shifting data to and from high and low voltages. These pins are labeled **HV1**, **LV1**, **HV2**, **LV2**, **HV3**, **LV3**, **HV4**, and **LV4**. The number at the end of each label designates the channel of the pin, and the **HV** or **LV** prefix determines whether it's on the high or low side of the channel.

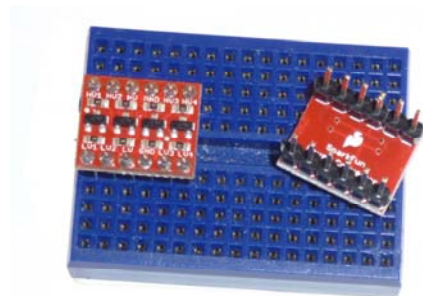
A low-voltage signal sent in to **LV1**, for example, will be shifted up to the higher voltage and sent out **HV1**. Something sent in **HV3** will be shifted down and sent out of **LV3**. Use as many of these channels as your project requires. You don't have to use every single one.

Keep in mind that these level shifters are **purely digital**. They can't map an analog voltage from one max voltage to another.

Hookup Examples

Assembly

Before you can plug the converter into your system, you'll need to solder something into it. There are a lot of options here. You could solder straight male headers in, and plug it right into a breadboard. Or perhaps you want to solder wires directly into it. Pick an assembly method that melds with how you intend to use the board.

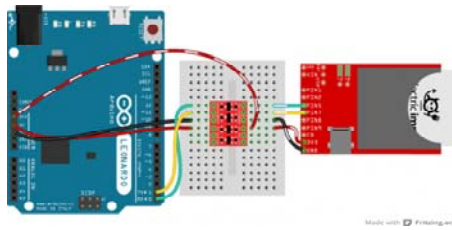


Once your BD-LLC is soldered up, it's time to hook it up. Your hookup will probably vary depending on which communication interface you're using. Below we'll show how to hook the level converter for three of the most common communication protocols.

Using the BD-LLC for Serial

Although you won't be taking advantage of the BD-LCC's bi-directional abilities, it's perfectly fine to use the board to shift serial communication. Serial usually requires two signal wires – **RX** (receive) and **TX** (transmit) – which both have a defined direction. These signals can be passed through any of the four channels on the BD-LLC.

Let's say, for example, you want to hookup an Electric Imp Breakout Board (which has a 3.6V maximum input voltage) to an Arduino Uno via their UARTs. Here's one possible hook up:

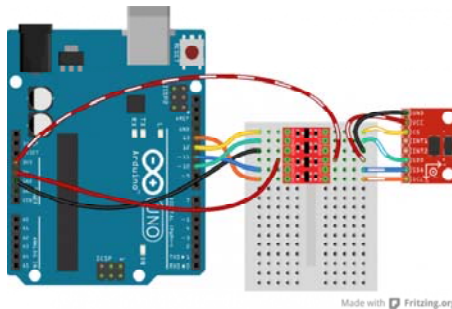


Make sure *LV* is powered at 3.3V, and *HV* is at 5V. Double-check that the channels match up, and a-shifting you will go! You've even got two extra channels to shift as you please.

Using the BD-LLC for SPI

The BD-LLC's four channels are a perfect match for most SPI communications. SPI usually requires four wires: MOSI (master out, slave in), MISO (master in, slave out), SCLK (serial clock), and CS (chip select). These four wires can each be routed through a channel on the BD-LLC.

For example, if you wanted to connect an Arduino to an ADXL345 Breakout Board, which has an operating range of 2.0-3.6V, here's how the BD-LLC could be spliced in:

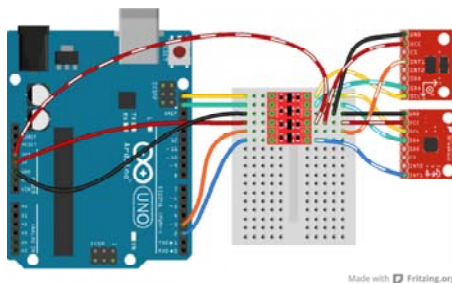


Since each of the channels on the BD-LLC are bi-directional any of the four SPI lines can go through any of the BD-LLC's four channels.

Using the BD-LLC for I²C

I²C is the communication standard where the BD-LLC really shines, because it requires that both data and clock signals – SDA and SCL – be bi-directional. Each of those lines can be passed through any of the BD-LLC's level-shifting channels.

For this example, let's keep using the ADXL345 breakout but instead swap over to the I²C interface. We can even add another I²C device...how about the L3G4200D Gyroscope Breakout. Since I²C is only a two-wire interface, we have room on the BD-LLC to fit in a couple of extra signals, like the interrupt outputs from each board



The two 3.3V I²C devices can both share the same level shifted SDA and SCL lines. Even more I²C device can be added, as long as they have unique addresses.

Resources & Going Further

Here are some resources related to the LLC and level-shifting in general:

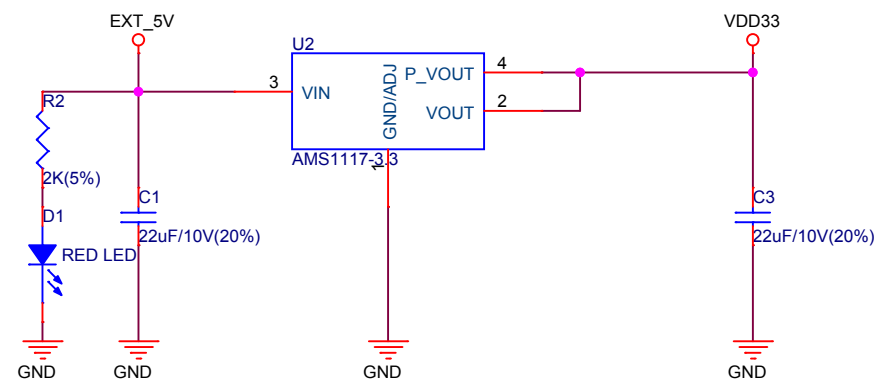
- [Bi-Directional Logic Level Converter Schematic](#)
- [Bi-Directional Logic Level Converter Eagle Files](#)
- [Bi-Directional Logic Level Converter GitHub Repo](#)
- [Philips AN97055](#) – An awesome application note covering bi-directional level shifting circuits.

Going Further

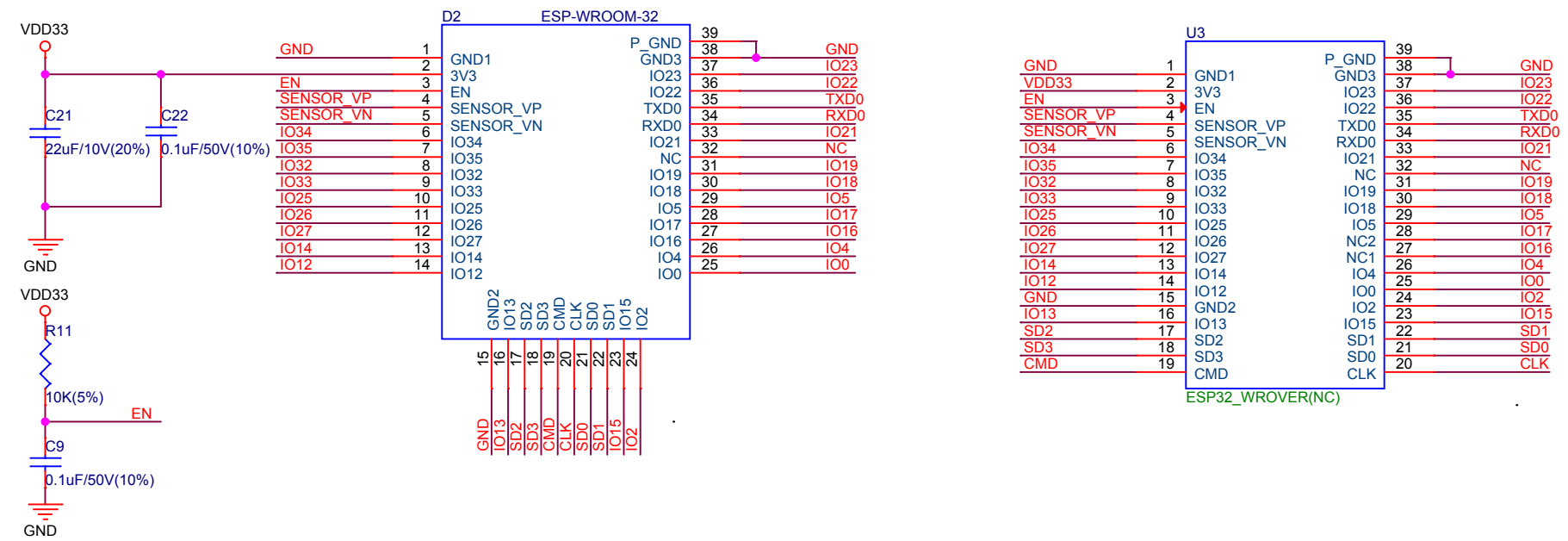
If you're looking for a place to use the LLC, these tutorials might spark some ideas:

- [Electric Imp Breakout Hookup Guide](#) – The Electric Imp works at 3.3V max, so if you interface it with any 5V systems you may need an LLC.
- [Getting Started with pcDuino](#) – The pcDuino is another 3.3V-based system. This is a powerhouse compared to the Electric Imp, though. It can run Linux or Android, and has all sorts of awesome functionality.
- [Using the Arduino Pro Mini 3.3V](#) – If you want to stick with Arduino, and want to use 3.3V sensors, consider using an Arduino that runs at 3.3V. That way you won't even need to bother with an LLC!

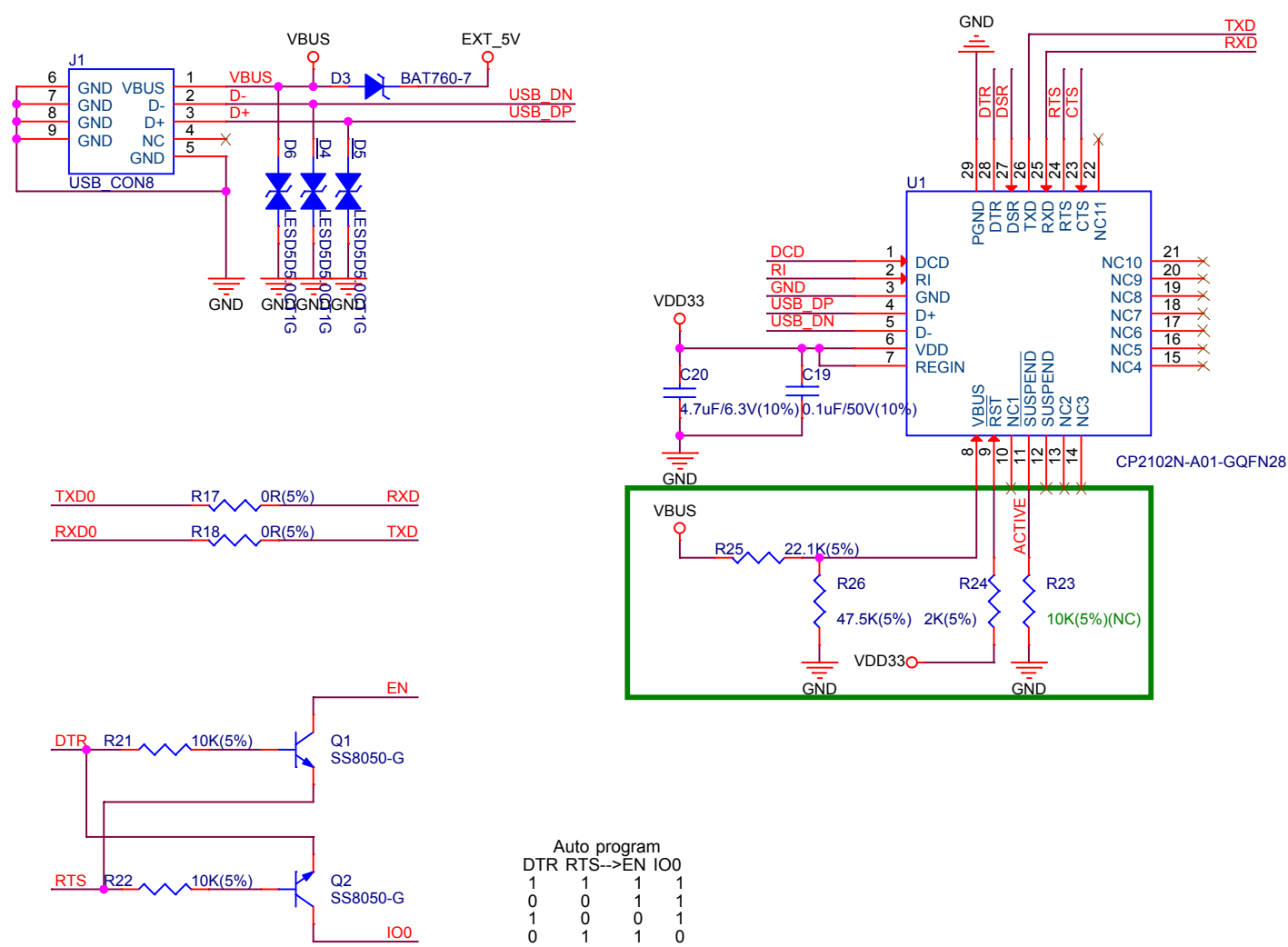
Power Supply



ESP32 Module



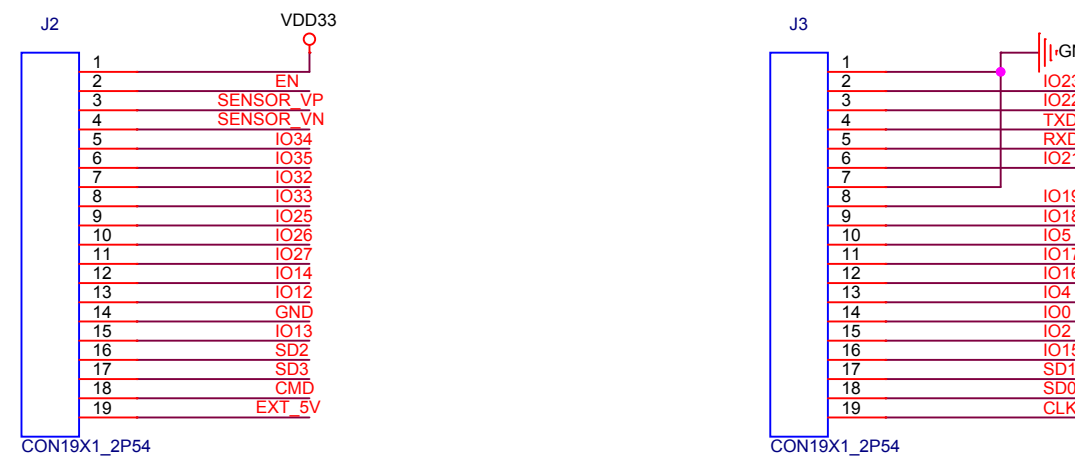
Micro USB 5V&USB-UART



SWITCH BUTTON

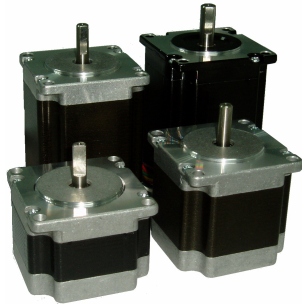


Connector





57HS Series Hybrid Stepping Motors



General Specifications

Step Angle Degree	1.8°
Step Angle Accuracy	±5%(full step, no load)
Temperature Rise	80°CMax
Ambient Temperature	-10°C — +50°C
Insulation Resistance	100MΩmin.500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.06 Max.(450g-load)
Shaft Axial Play	0.08 max.(450g-load)

Electrical Specifications

Model Number	Connection	Motor Length L inch (mm)	Holding Torque Oz-in (Nm)	Number of Leads	Phase Current (Amps)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Rotor Inertia Oz-in-sec ² (g.cm ²)	Detent Torque Oz-in (g.cm)	Weight lbs(kg)
57HS09	(Bipolar) Parallel	2.13 54)	184.08 1.3)	8	4.0	0.4 10%	1.2±20%	0.003692 (260)	5.664 (408)	1.32 (0.6)
	(Bipolar) Series		184.08 1.3)		2.0	1.6 10%	4.8±20%			
	Unipolar		127.44 0.9)		2.8	0.8 10%	1.2±20%			
57HS13	(Bipolar) Parallel	2.99 76)	254.88 1.8)	8	4.0	0.5 10%	2.1 ±20%	0.006532 (460)	9.912 (714)	2.20 (1.0)
	(Bipolar) Series		254.88 1.8)		2.0	2.0 10%	8.4 ±20%			
	Unipolar		184.08 1.3)		2.8	1.0 10%	2.1 ±20%			
57HS22	(Bipolar) Parallel	3.19 81)	311.52 2.2)	8	5.7	0.4 10%	1.8 ±20%	0.006816 (480)	-	3.30 (1.5)
	(Bipolar) Series		311.52 2.2)		2.8	1.6 10%	7.2 ±20%			
	Unipolar		212.4 1.5)		4.0	0.8 10%	1.8 ±20%			

* Above motors are our typical models, and if you need a customization motor, please contact us.

Mechanical Specifications (Unit=mm, 1 inch=25.4mm)

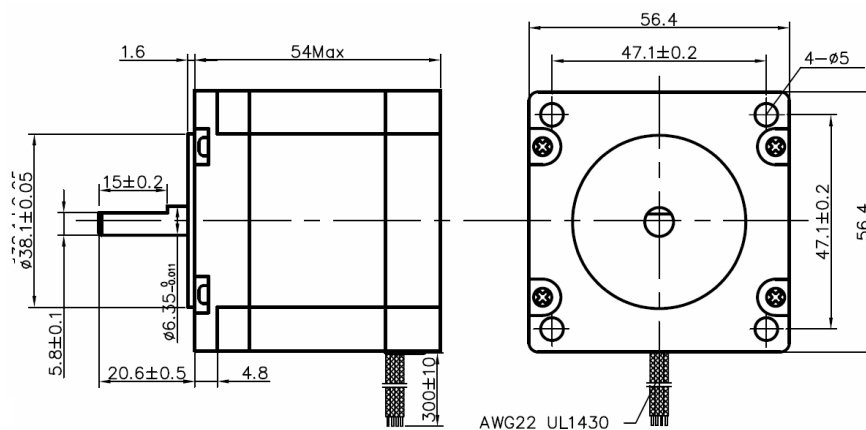


Figure 1: Mechanical specification of 57HS09

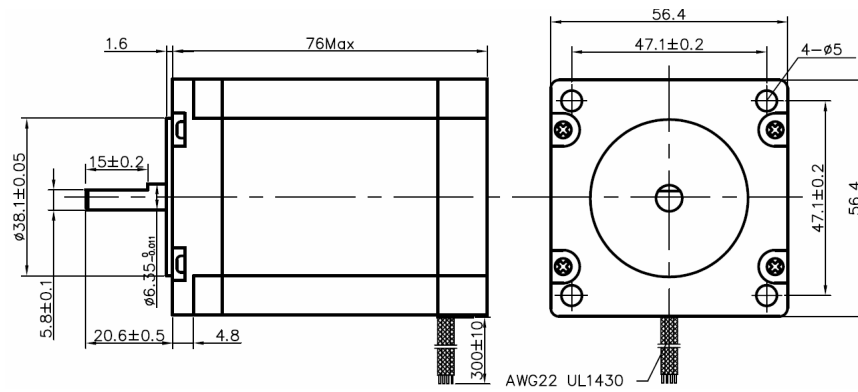


Figure 2: Mechanical specification of 57HS013

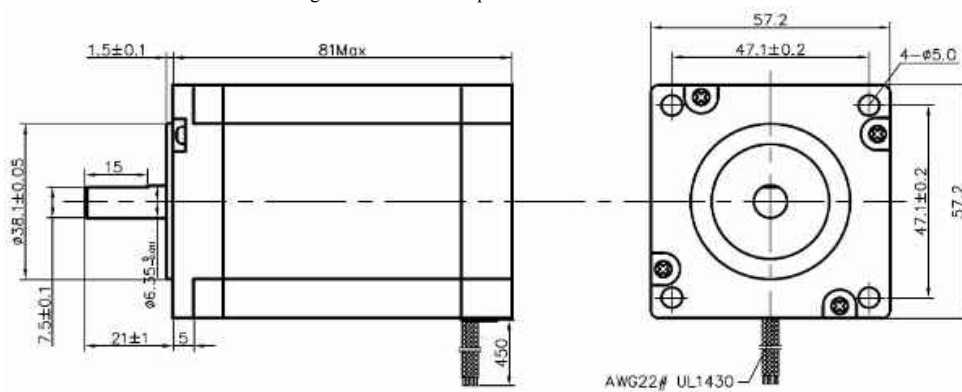


Figure 3: Mechanical specification of 57HS22-07

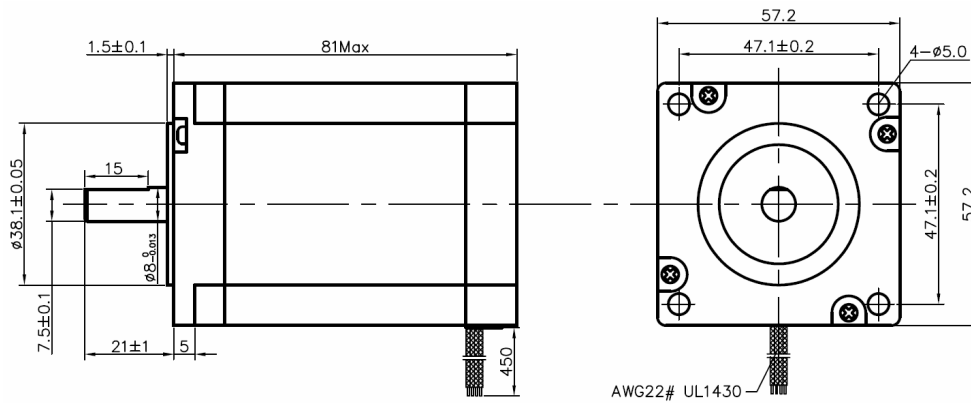
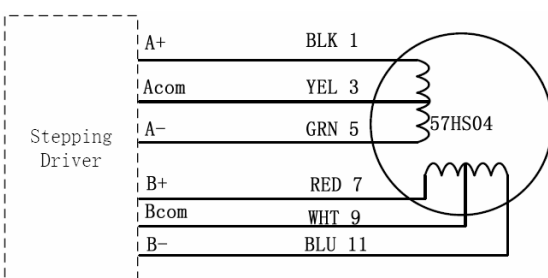
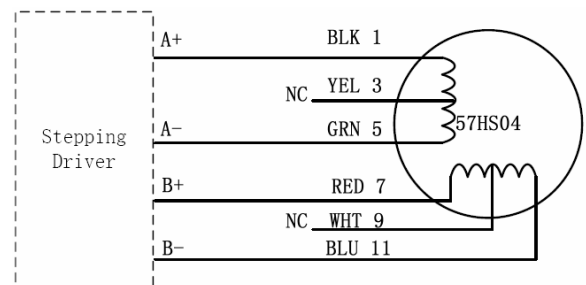


Figure 4: Mechanical specification of 57HS22-A

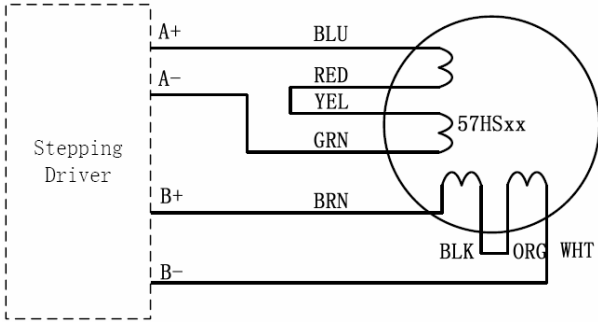
Wiring Diagrams



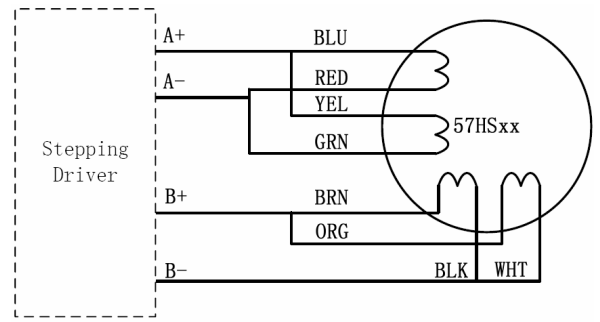
(a) 57HS04 unipolar connection



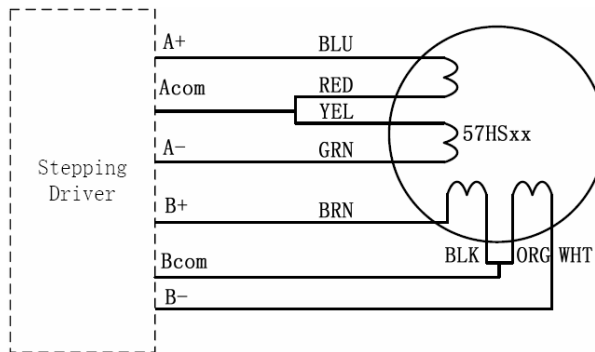
(b) 57HS04 bipolar (series) connection



(c) 57HSxx series connection (8 leads)



(d) 57HSxx parallel connection (8 leads)



(e) 57HSxx unipolar connection (8 leads)

Figure 5: Wiring diagrams

Speed-Torque Characteristics

Unipolar and bipolar half coil, because we're using less turns, doesn't give us great low speed torque, but because of the low inductance, holds the torque out to high speeds. Bipolar series uses the full coil so it gives very good low speed torque. But because of the high inductance, the torque drops off rapidly. Bipolar parallel also uses the full coil so it gives good low speed performance. And its low inductance allows the torque to be held out to high speeds. But remember, we must increase current by 40% to get those advantages. Speed-torque curves show the maximum torques that can be output at a given speed. When selecting a motor, make sure the required torque falls within the particular curve.

• 57HS04

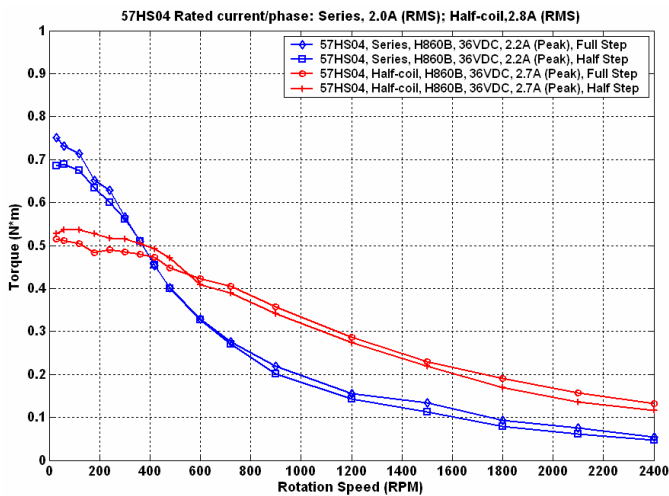


Figure 6: Speed-torque curves of the 57HS04

• 57HS09

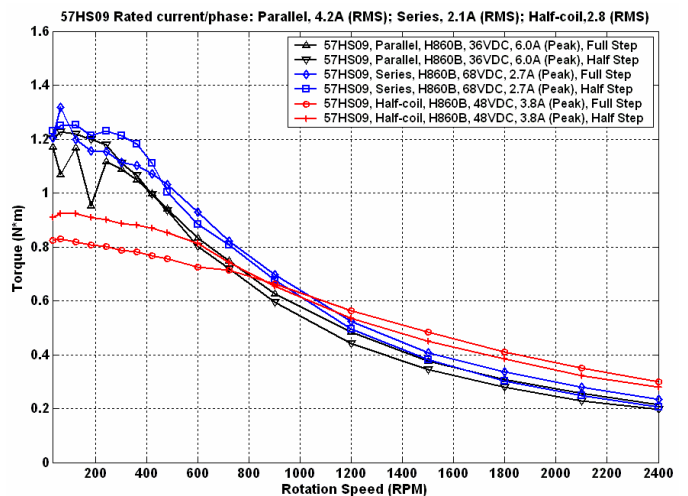


Figure 7: Speed-torque curves of the 57HS09



• 57HS13

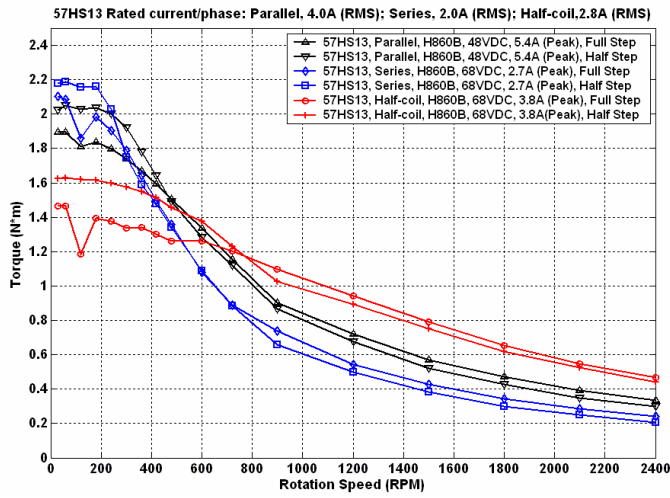


Figure 8: Speed-torque curves of the 57HS13

• 57HS22

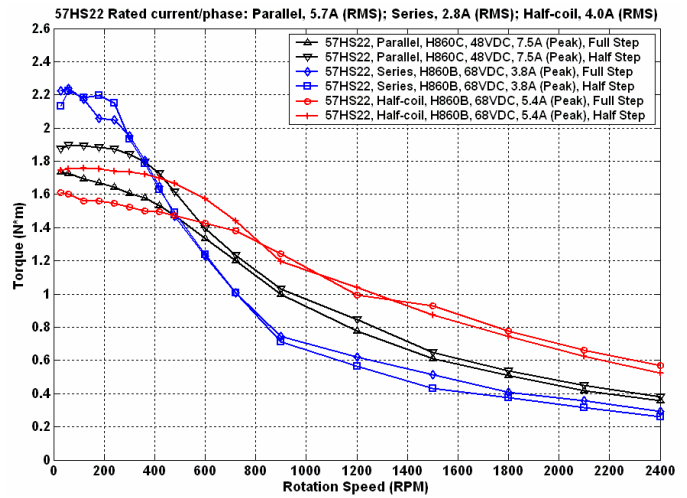


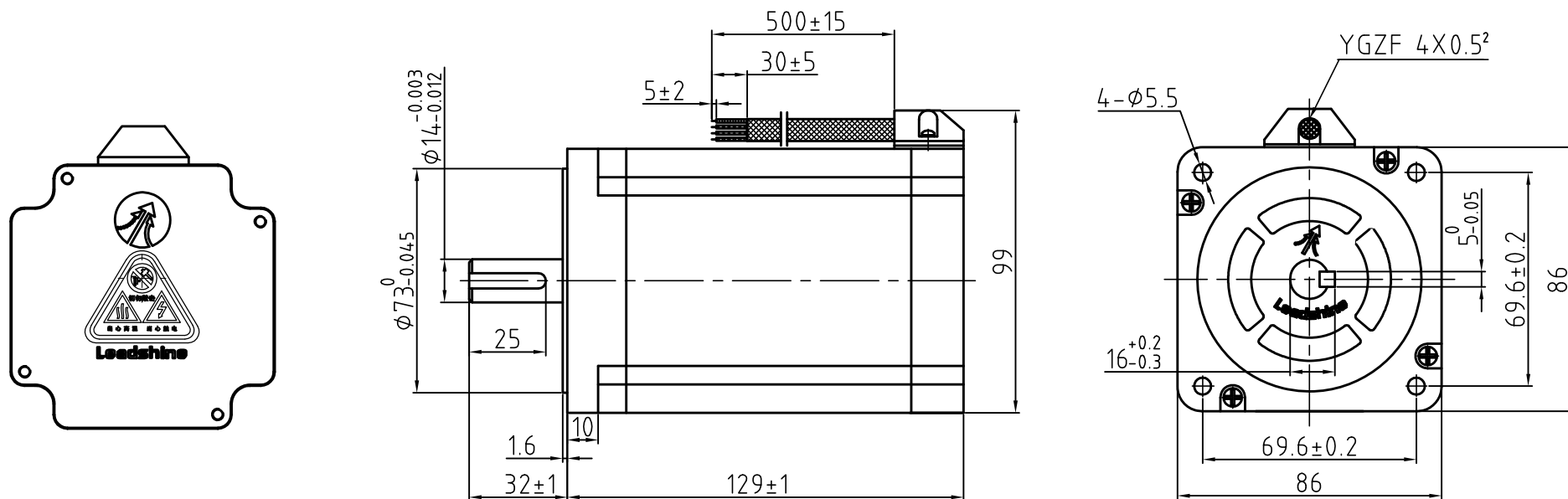
Figure 9: Speed-torque curves of the 57HS22

Remarks:

1. Title "57HS09 Rated current/phase: Parallel, 4.2A (RMS); Series, 2.1A (RMS); Half-coil, 2.8A (RMS)" means "When the 57HS09 used in parallel mode, its current/phase is 4.2A (RMS); When the 57HS09 used in series mode, its current/phase is 2.1A (RMS); When the 57HS09 used in half-coil or unipolar mode, its current/phase is 2.8A (RMS)".
2. Legend "57HS09, Parallel, H860B, 36VDC, 6.0A (Peak), Half Step" means "This speed-torque curve of the 57HS09 (connected in parallel mode) was done with the H860B driver. The settings of the H860B are 6.0A (Peak), Half Step and use 36VDC power supply".
3. The actual characteristics will vary depending on the driver used. Please use these curves only for reference purposes when selecting a motor. You must also conduct a thorough evaluation with the actual driver to be used. Please consult "Leadshine Motor and Driver Packages" for more information about this issue.

Dimension: (Unit: mm)

版本 Rev.	日期 Date	变更文件号 ECN NO.	变更内容 Revisions	设计 By
V1.0	17.8.1		带LOGO	王洪松



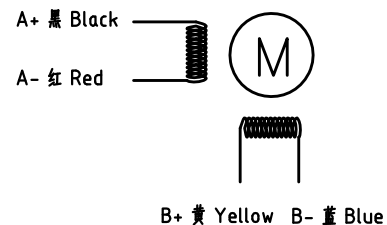
Common Rating

Step angle	1.8°
Position accuracy	1.8±0.09°
Dielectric strength	1000VAC 1min
Insulation resistance	100MOhm(500VDC)
Insulation class	B
Temp rise(Max)	80K
Radial play	Max.0.02mm(Load 450g)
Axial play	Max.0.08mm(Load 900g)

Specification

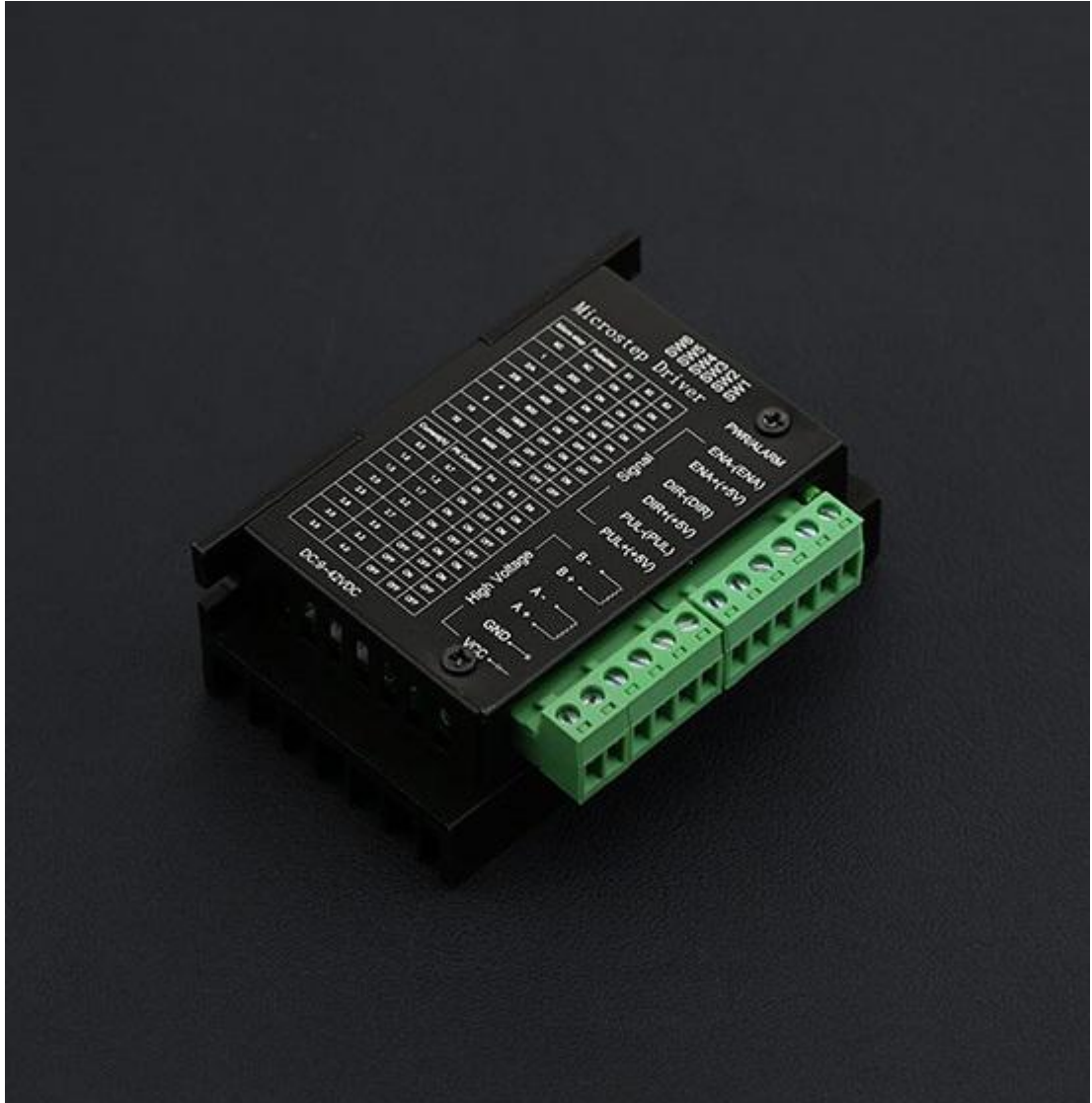
Current/phase	6.0 A
Voltage	4.5 V
DC Resistance/phase ±10%	0.75 Ω
Inductance/phase ±20%	5.3 mH
Holding torque	12 N·M
Inertia	2.94 kg·cm ²
Weight	4.5 kg

Motor Connctions



设计 Designed	王洪松	日期 Date	17.8.1	材料 Material	深圳市雷赛智能控制股份有限公司 SHENZHEN LEADSHINE TECHNOLOGY CO., LTD.
审核 Checked	刘佩峰	17.8.1		第一角画法 First Angle projection	名称 Title
批准 Approved	田天胜	17.8.1		重量 Weight 比例 Scale 阶段标记 Stage Mark	混合式步进马达
料号 Part No.					86CM120
				共 1 张 第 1 张 Sheet 1 of 1	图号 DWG. NO.

TB6600 Stepper Motor Driver User Guide



Version: V1.2

Contents

1. Introduction.....	1
Features:.....	1
Electric Specification:.....	1
INPUT & OUTPUT:.....	2
2. Stepper Motor Wiring:.....	4
3. Microcontroller Connection Diagram:.....	5
4. DIP Switch.....	6
Micro Step Setting.....	6
Current Control Setting.....	6
5. Off-line Function (EN Terminal):.....	7
6. FAQ.....	7
7. Dimension (96*56*33).....	8

Safety Precautions:

- Before using this product, please read this instruction manual carefully
- Keep this manual in a safe place for future reference
- The appearance of the picture is just for reference, please prevail in kind
- ❖ This device is driven by DC power supply, make sure the power positive and negative before you power it.
- ❖ Please do not electrified plug
- ❖ Please do not mix conductive foreign matter such as screws or metal
- ❖ Please keep it dry, and pay attention to moisture-proof
- ❖ The equipment should be clean and well ventilated.

1. Introduction

This is a professional two-phase stepper motor driver. It supports speed and direction control. You can set its micro step and output current with 6 DIP switch. There are 7 kinds of micro steps (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) and 8 kinds of current control (0.5A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5A, 2.8A, 3.0A, 3.5A) in all. And all signal terminals adopt high-speed optocoupler isolation, enhancing its anti-high-frequency interference ability.

Features:

- ※ Support 8 kinds of current control
- ※ Support 7 kinds of micro steps adjustable
- ※ The interfaces adopt high-speed optocoupler isolation
- ※ Automatic semi-flow to reduce heat
- ※ Large area heat sink
- ※ Anti-high-frequency interference ability
- ※ Input anti-reverse protection
- ※ Overheat, over current and short circuit protection

Electrical Specification:

Input Current	0~5.0A
Output Current	0.5-4.0A
Power (MAX)	160W
Micro Step	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperature	-10 ~ 45°C
Humidity	No Condensation
Weight	0.2 kg
Dimension	96*56*33 mm

INPUT & OUTPUT:

- **Signal Input:**

PUL+	Pulse +
PUL-	Pulse -
DIR+	Direction +
DIR-	Direction -
EN+	Off-line Control Enable +
EN-	Off-line Control Enable -

- **Motor Machine Winding:**

A+	Stepper motor A+
A-	Stepper motor A-
B+	Stepper motor B+
B-	Stepper motor B-

- **Power Supply:**

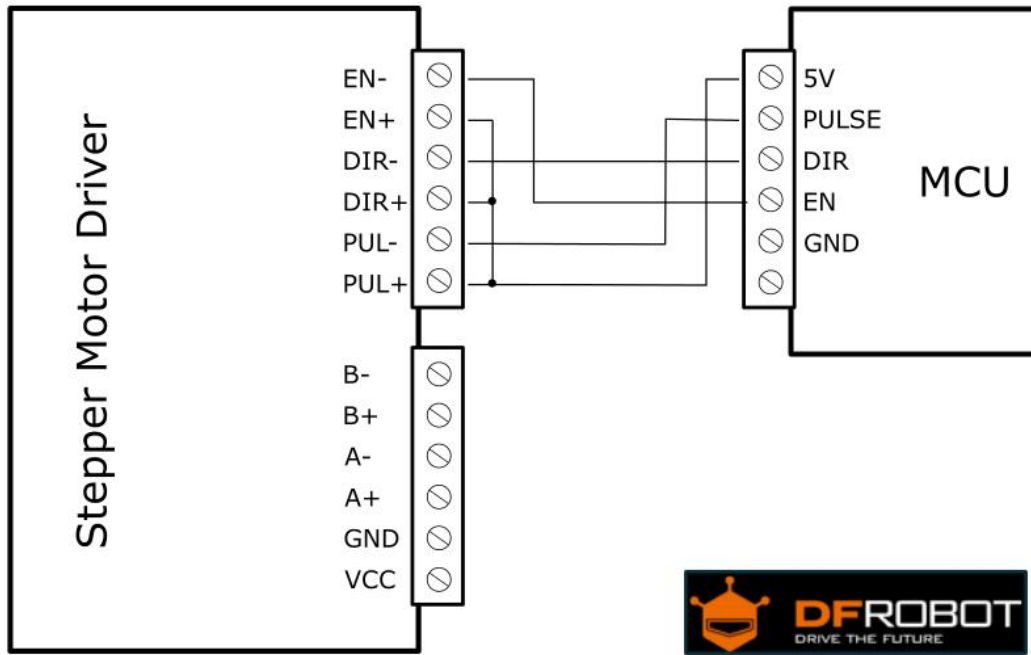
VCC	VCC (DC9-42V)
GND	GND

- **Wiring instructions**

There are three input signals in all: ① Step pulse signal PUL +, PUL-; ② Direction signal DIR +, DIR-; ③ off-line signal EN +, EN-. The driver supports common-cathode and common-anode circuit, you can select one according to your demand.

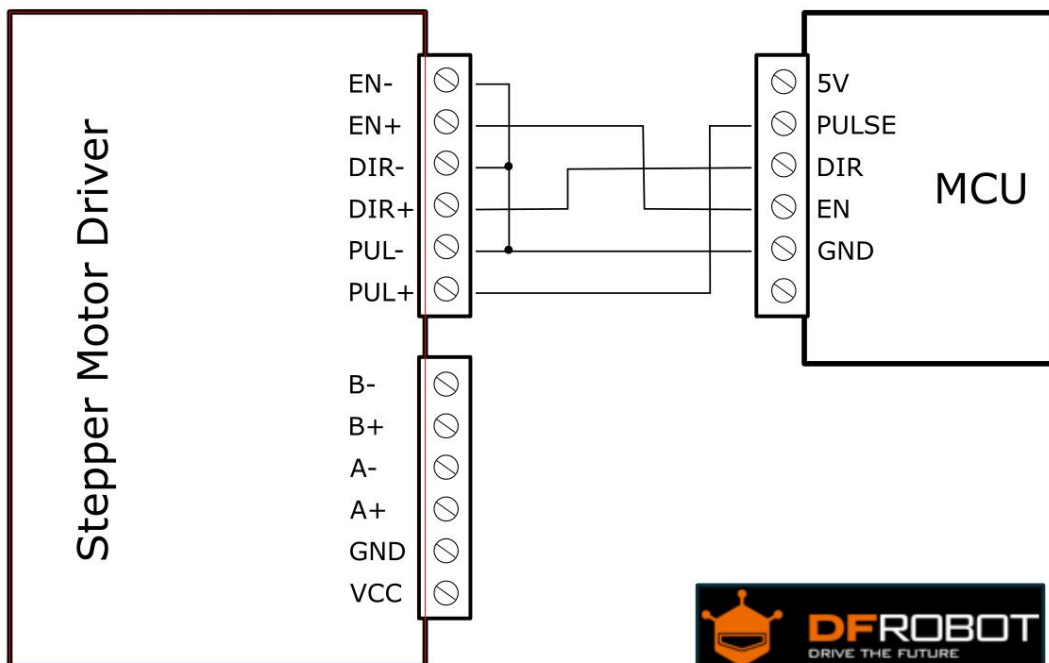
Common-Anode Connection:

Connect PUL +, DIR + and EN + to the power supply of the control system. If the power supply is + 5V, it can be directly connected. If the power supply is more than + 5V, the current limiting resistor R must be added externally. To ensure that the controller pin can output 8 ~ 15mA current to drive the internal optocoupler chip. Pulse signal connects to PUL-; direction signal connects to Dir- ; Enable signal connects to EN-. As shown below:



Common-Cathode Connection:

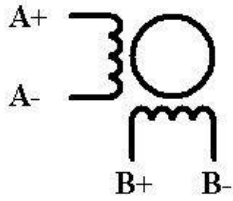
Connect PUL -, DIR - and EN - to the ground terminal of the control system. Pulse signal connects to PUL-; direction signal connects to Dir- ; Enable signal connects to EN-. As shown below:



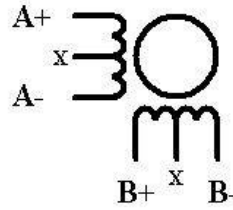
Note: When "EN" is in the valid state, the motor is in a free states (Off-line mode). In this mode, you can adjust the motor shaft position manually. When "EN" is in the invalid state, the motor will be in an automatic control mode.

2. Stepper Motor Wiring:

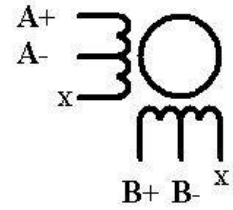
Two-phase 4-wire, 6-wire, 8-wire motor wiring, as shown below:



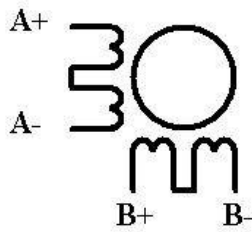
四线电机接线方法



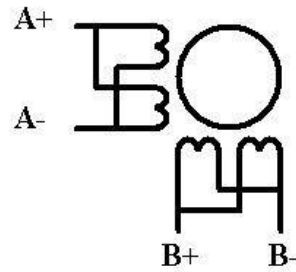
六线电机接线方法
高力矩输出



六线电机接线方法
高速度输出



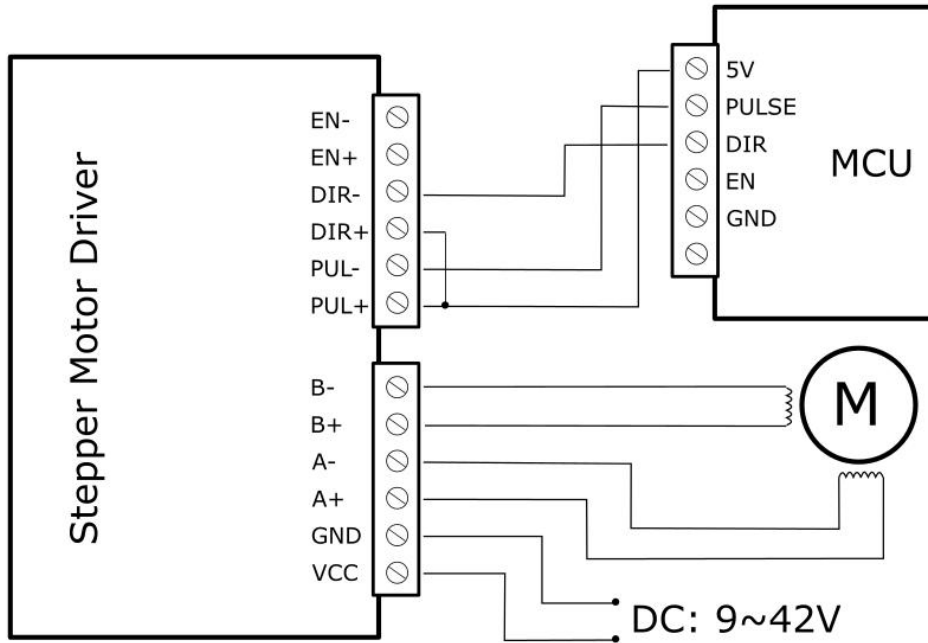
八线电机接线方法
高力矩输出



八线电机接线方法
高速度输出

3. Microcontroller Connection Diagram:

This is an example for the common-anode connection. ("EN" not connected)



Note: Please cut off the power when you connect the system, and ensure the power polar is correct. Or it will damage the controller.

4. DIP Switch

Micro Step Setting

The follow tablet shows the driver Micro step. You can set the motor micro step via the first three DIP switch.

Step Angle = Motor Step Angle / Micro Step

E.g. An stepper motor with 1.8° step angle , the finial step angle under "Micro step 4" will be $1.8^\circ/4=0.45^\circ$

Micro Step	Pulse/Rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Current Control Setting

Current (A)	S4	S5	S6
0.5	ON	ON	ON
1.0	ON	OFF	ON
1.5	ON	ON	OFF
2.0	ON	OFF	OFF
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	ON
3.0	OFF	ON	OFF
3.5	OFF	OFF	OFF

5. Off-line Function (EN Terminal):

If you turn on the Off-line function, the motor will enter a free state. You can adjust the motor shaft freely, and the pulse signal will be no response. If you turn it off, it will be back into automatic control mode

Note: Generally, EN terminal is not connected.

6. FAQ

1. Q: If the control signal is higher than 5V, how do I connect?

A: You need add a resistor in series

2. Q: After connected the power, why the motor doesn't work? The PWR Led has been ON.

A: Please check the power supply, it must higher than 9V. And make sure the I/O limited current is higher than 5mA

3. Q: How do we know the right order of the stepper motor?

A: Please check the motor specification, it show you the right order. Or you can measure it with a multimeter.

7. Dimension (96*56*33)

