



Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Electrónica
Proyecto de Ingeniería

“I+D SISTEMA DE POSICIONAMIENTO / TRACKING PARA ANTENA SATELITAL”

Integrantes:

- Biagiola, Claudio S. (*B-5771/1*)
- Campero, Gustavo (*C-6428/9*)
- Castillo, Jeremías (*C-6405/1*)

Tutor de Proyecto: Gustavo Minucci



Contenido

Resumen	4
1. Marco Teórico	5
1.1. Introducción al posicionamiento	5
1.1.1. Efemérides	5
1.1.2. Coordenadas horizontales.....	5
1.2. Sensores	6
1.2.1. Encoder.....	6
1.2.2. Sensor de fin de carrera	8
2. Desarrollo	10
2.1. Diagrama general y subsistemas.....	10
2.1.1. Flujo de información	10
2.1.2. Comandos Manuales	11
2.1.3. Solicitud de posición	13
2.1.4. Posicionamiento Automático.....	13
2.1.5. Casos Particulares.....	14
2.2. PC local	15
2.2.1. Acerca de la Aplicación Desarrollada	16
2.2.2. Datos de posicionamiento: Jet Propulsion Laboratory	16
2.3. Elementos de campo	17
2.3.1. Motores utilizados	18
2.3.2. Bloques mecánicos y Propuesta de Control	19
2.3.3. Transductores utilizados	22
3. Placa de control	23
3.1. Requerimientos por parte del sistema.....	24
3.2. Desarrollo del hardware.....	25
3.2.1. Alimentación	25
3.2.2. Salidas digitales	32
3.2.3. Salida Analógica.....	35
3.2.4. Entradas Digitales.....	36
3.2.5. Entradas Analógicas	37
3.2.6. Comunicación	38
3.2.7. Módulo GPS	39



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

3.2.8.	Parada de emergencia	40
3.2.9.	Conexión HMI.....	40
3.2.10.	Tensión de referencia.....	41
3.2.11.	Salida LED	41
3.2.12.	Microcontrolador.....	41
3.2.13.	Imagenes finales del PCB.....	44
3.3.	Desarrollo del firmware.....	45
3.3.1.	Inicialización	45
3.3.2.	Tracking.....	46
3.3.3.	Comandos manuales	47
3.3.4.	Como se obtiene la posición actual del radiotelescopio	48
3.3.5.	Como se accionan los motores	48
4.	Instalación y Puesta en Marcha	50
4.1.	Instalación.....	52
5.	Etapas de funcionamiento general	54
5.1.	Inicialización	54
5.2.	Obtención de datos de seguimiento	54
5.3.	Carga de datos para tracking	55
5.4.	Tracking.....	55
5.5.	Manual para el usuario	55
6.	Ensayos.	60
7.	Mejoras.	61
7.1.	Mejora Hardware externo	61



Resumen

En el presente proyecto se propone la implementación de un nuevo sistema de control para posicionamiento y seguimiento del rotor del radiotelescopio perteneciente al Grupo de Experimentación Innovativa Instrumental (*GEII*) instalada en Centro Universitario de Rosario.

La propuesta consiste en el desarrollo hardware de un sistema **hibrido** de control, capaz de ser comandado tanto de forma manual como automática, siendo posible esta última solo si recibe la información necesaria de la posición del cuerpo, astro o satélite artificial del cual se desea realizar seguimiento. Una aplicación software servirá tanto como interfaz de interacción con la placa de control mencionada anteriormente y la persona que desea realizar la operación de la antena, como también de intermediario para realizar operaciones algorítmicas más complejas y facilitar la obtención de datos de los objetos a seguir gracias a software de terceros.

Para poder operar de forma normal el sistema de control procederá a realizar una calibración inicial del mismo para luego poder definir los puntos de referencia de donde se comenzará a tomar la posición del movimiento, de manera de limitar la posible mala práctica y generar el enrollamiento de cables sobre la antena conllevando tanto a problemas técnicos como accidentes. Una vez realizada dicha calibración, el sistema quedará a la espera de órdenes de movimiento, tanto manuales como automáticas.

Si dado el caso, se llegase a perder la alimentación de la placa de control la misma volverá a realizar el proceso de calibración nuevamente, dando aviso de esta situación al software desarrollado, dado que se ha de perder la referencia de posición y se ha generado una siendo esto una situación crítica en el sistema.



1. Marco Teórico

1.1. Introducción al posicionamiento

1.1.1. Efemérides

En el estudio de los cuerpos celestes, una efeméride es una tabla de valores que da las posiciones de los objetos astronómicos en el cielo en un momento o momentos dados. Una efeméride planetaria moderna constituye un software que genera las posiciones de los planetas y generalmente de sus satélites, o de asteroides o cometas en cualquier momento virtualmente deseado por el usuario. Habitualmente tales efemérides cubren varios siglos, del pasado y, debido a que la mecánica celeste es una teoría precisa, del futuro.

La posición astronómica calculada a partir de efemérides generalmente se da en el sistema de coordenadas esféricas de la ascensión recta y la declinación. Sin embargo, actualmente es posible obtener la posición astronómica en otro sistema de coordenadas. En el caso de este proyecto la posición calculada por las efemérides será en coordenadas horizontales.

1.1.2. Coordenadas horizontales.

Las coordenadas horizontales (o azimutales) son conjunto de un sistema de coordenadas celestes referidas al horizonte del observador y a su vertical.

Para determinar la posición de un objeto en coordenadas horizontales, el observador deberá medir su **elevación** que es la distancia angular desde el horizonte hasta la estrella. En segundo lugar, tendrá que determinar el ángulo que forma la estrella con una dirección que se toma como origen, generalmente el sur (en astronomía) o el norte (navegación) medida sobre el horizonte y en sentido horario. Dicho ángulo se llama **azimut**

Estas coordenadas dependen del observador. Es decir que, en un mismo momento, un astro se observa bajo coordenadas horizontales diferentes por observadores diferentes situados en puntos diferentes de la Tierra. Esto significa que dichas coordenadas son locales. Imaginemos a la Tierra reducida al punto C en el centro de la esfera celeste (esfera ideal, sin radio definido, concéntrica con el globo terrestre). Sea X un astro de la esfera celeste, CX su dirección, y CX' la proyección de esta en el plano del horizonte definimos:

- **Elevación de X:** es el ángulo XCX', es decir el ángulo formado por su dirección y el horizonte. Es positiva sobre el horizonte, y negativa por debajo de él, en cuyo caso se llama también depresión.

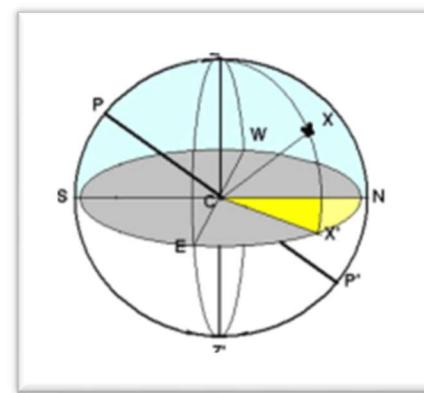


Ilustración 1. Vinculación de coordenadas

- **Azimut de X:** es el ángulo NCX', es decir el ángulo formado por CX' y la dirección Norte. Es positivo en el sentido NE SW.

1.2. Sensores

1.2.1. Encoder

Transductor rotativo capaz de traducir el movimiento de un elemento en una señal eléctrica. Son empleados para indicar la posición angular y velocidad del elemento al cual se encuentra unido a su eje mediante la conversión del ángulo de giro a pulsos eléctricos de duración y ancho determinado. Existen varios tipos de encoders según el mecanismo de detección utilizado por su fabricante, los más utilizados normalmente son **magnéticos** y **ópticos**. También pueden clasificarse en **absolutos** e **incrementales** según la construcción del disco ranurado que poseen y el tipo de mecanismo de detección.

Comentario: Dado que para el desarrollo del proyecto se han utilizado encoders ópticos incrementales, procederemos a enfocarnos sobre el funcionamiento de este tipo de sensores.



Ilustración 2. Composición física de encoder óptico

El principio de funcionamiento del encoder óptico se logra gracias a la interacción de la serie de componentes que componen al mismo, estos pueden verse en la Figura 2. En primer lugar, tenemos el **disco codificado**, este consiste de un círculo macizo con una serie de ranuras con ancho y espaciado determinado, el cual esta adosado a un eje que permite el movimiento del mismo. Segundo está la **fuente de luz**, típicamente un diodo LED. Tercero tenemos a la **oblea o asamblea fotodetectora**, este elemento se encargará de traducir los pulsos de luz

que pasan a través del disco codificado en pulsos eléctricos. Cuarto tenemos la **placa de circuito**, este elemento recibirá los pulsos eléctricos generados por la oblea fotodetectora y adecuará los mismo a niveles de tensión más acordes para la transmisión hacia el dispositivo de control y notificar el evento de movimiento. Quinto, y último, tenemos el **ensamblaje de la carcasa** sobre el cual se colocará la protección de los elementos comentados anteriormente.

Un **encoder incremental** determina el ángulo de posición por medio de realizar cuentas incrementales en función de una referencia, esto quiere decir que requiere de una posición estratégica desde donde siempre comenzará la cuenta y determinará, a partir de la misma, la posición actual comparando esta con la última posición registrada por el sensor.

La construcción interna de estos dispositivos permite obtener diferentes tipos según la cantidad de discos ranurados que estos tengan en su interior. Así se pueden tener encoders de un único canal, con un único disco ranurado, o de encoders de doble canal, con dos discos ranurados.

Un **encoder de un canal** permite determinar la posición y velocidad del movimiento, pero no determinar el sentido del mismo.

El **encoder de doble canal** proporciona dos formas de ondas cuadradas, desfasadas entre sí en 90° eléctricos, denominadas típicamente como **A** y **B**, como puede verse en la *Figura 3*. En este tipo de sensores, con la lectura de un solo canal se dispone con la información correspondiente al incremento en el ángulo de rotación, si ahora se obtiene también el segundo canal es posible determinar el sentido de rotación en base a la secuencia de datos que producen ambas señales. Así mismo, es posible determinar la velocidad sabiendo el tiempo existente entre dos pulsos consecutivos dentro de un mismo canal.

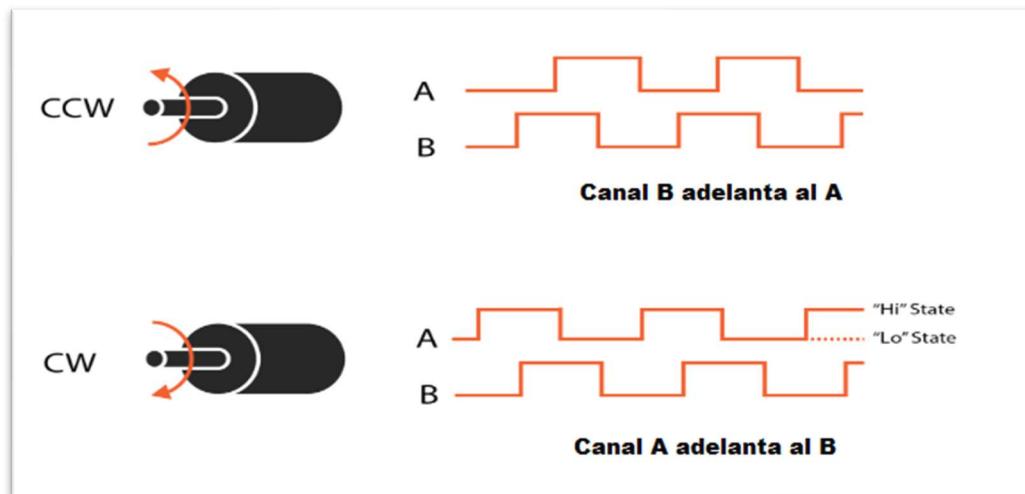


Ilustración 3. Trenes de pulsos generados por encoders

Los fabricantes suelen dejar a disposición una señal extra, **Z**, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del *encoder*, comúnmente es utilizada para registrar la cantidad de giros de 360° que el eje del sensor ha realizado. Por otro lado, estos suelen implementar diferentes tipos de circuitos de salidas con los cuales obtendremos la información, por lo cual, debe de prestarse atención a las especificaciones de los modelos de los dispositivos que se vayan a utilizar para evitar desperfectos o malos funcionamientos.

En nuestro caso, el *encoder* adoptado utiliza el esquema de salida de **colector abierto NPN**, explicaremos el funcionamiento de este tipo de salida más adelante.



1.2.2. Sensor de fin de carrera

A estos podemos definirlos como dispositivo electromecánico capaz de generar un pulso eléctrico ante el evento de proximidad entre el mismo y otros elementos que interactuarán con este. Dadas sus características, las aplicaciones de estos tipos de sensores suelen emplearse para determinar el final de movimiento de algún cuerpo móvil, como también en posición de contacto y aplicaciones similares a las comentadas. Normalmente también son denominados como **sensores de proximidad**. Los mecanismos de detección de eventos y formas de detección varían según el tipo de sensor y la aplicación donde se utilicen.

En el caso del proyecto desarrollado, se han utilizado **sensores magnéticos** para determinar las posiciones de los finales de carrera o máximos ángulos de movimiento de la antena.

El principio de funcionamiento de los sensores magnéticos está intrínsecamente relacionado con el sensor Reed que los mismos tienen en su interior. El sensor Reed, o switch magnético, consta de dos láminas de material ferromagnético las cuales en interacción con un campo magnético externo entrarán en contacto y producirán un pulso eléctrico notificando la presencia del campo externo.

Dadas las características de los sensores adoptados, cuando estos estén próximo a imanes permanentes colocados específicamente, indicarán la condición límite de movimiento en dicho ángulo produciendo así un pulso eléctrico para notificar a la placa de control.

Para la interacción con el sensor normalmente se dispone de tres cables, los cuales son:

- Alimentación V_{cc} , por donde el mismo se toma la energía para su funcionamiento.
- Tierra o retorno V_{GND} , por donde cerrará el circuito eléctrico.
- Salida del sensor V_{OUT} , por donde se obtendrá el pulso eléctrico.

Existen diferentes tipos de salidas acorde al circuito implementado por el fabricante del sensor. Debe de prestarse atención a las especificaciones de los modelos de los dispositivos a utilizar para evitar desperfectos o malos funcionamientos

En nuestro caso, el tipo de circuito de salida de los home-stop utilizado es del **tipo colector abierto NPN**, explicaremos el funcionamiento en la siguiente sección.

Este tipo de salida suelen emplearse en aplicaciones donde se requieren alimentar cargas de mayores corrientes o donde se requieran implementar mayores niveles de tensiones que la empleada a niveles TTL. El nombre de este tipo de salidas proviene de su forma de implementación, donde puede encontrarse que el circuito de mando, o control, comandará la base de un transistor y la salida final que se dispone es el colector del mismo. Una representación esquemática puede verse en la Figura 4

El estado de funcionamiento del transistor Q_1 será el de una **llave de dos estados** comandada por la señal V_{IN} , la cual genera a la salida un estado alto de tensión igual a V_{CC} y un estado bajo de, aproximadamente, 0,7 V.

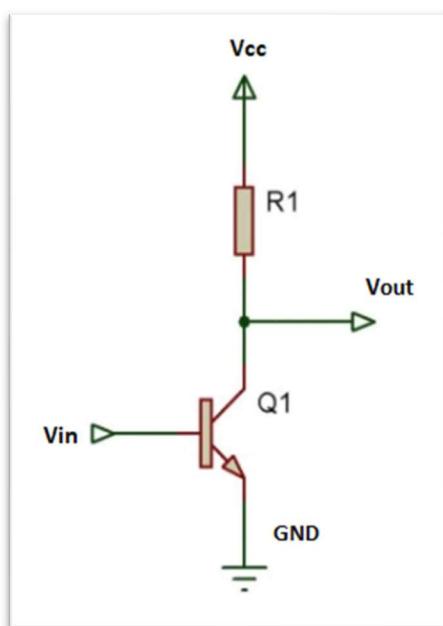


Ilustración 4.Esquemático de salida a colector NPN

El primer estado se da cuando V_{IN} no logre polarizar la base del transistor, definiendo el estado de corte del mismo, el cual impedirá el paso de corriente. El segundo estado se logra cuando V_{IN} es tal que permite la polarización del transistor, permitiendo el paso de corriente y además se dimensiona la resistencia limitante R_1 de manera de lograr la saturación del transistor, dejando una pequeña de tensión sobre este ($\approx 0,7\text{ V}$).

Debido a esto, se obtiene así que cuando el transistor está cortado se obtendremos en la salida V_{OUT} el nivel de tensión V_{CC} y que cuando el mismo está saturado se obtendrá un valor próximo aproximadamente $0,7\text{ V}$.

Comentario: En las aplicaciones reales los transistores varían según la tecnología con la cual fueron realizados y para generar que los mismos actúen de la manera deseada se deberán de cumplir los requerimientos de funcionamiento o estados de operación de los mismos. Se ha obviado esto y se ha realizado una breve explicación para simple entendimiento anteriormente.

Un circuito de implementación más real, obtenido del datasheet de los *encoders*, puede verse en la *Figura 5*. En esta podemos notar que interactuaremos con el sensor a través de solo tres señales, la alimentación V_+ , V_{out} la salida a colector del transistor y V_{GND} , la masa del circuito de alimentación. El fabricante ha anexado al sensor un diodo en paralelo con el transistor de manera de permitir un flujo de corriente en caso de que se presenten efectos de inducciones parasitas y proteger al transistor de grandes caídas de tensiones. El circuito de mando interno del sensor comandará la conducción del transistor de salida del cual tomaremos la tensión colector-emisor como señal eléctrica de medición.

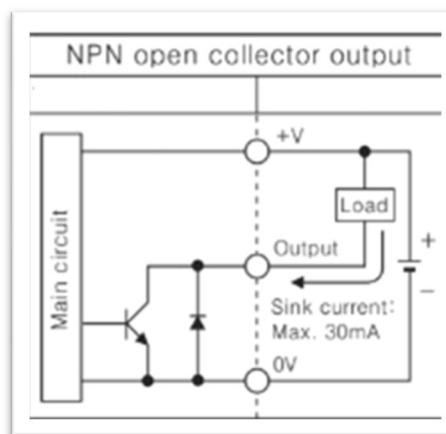


Ilustración 5.Esquemático de circuito de encoder

2. Desarrollo

2.1. Diagrama general y subsistemas

Dentro del proyecto hemos identificado subsistemas que interactúan entre sí con la finalidad del posicionamiento de la antena. Una representación general del sistema completo puede verse en la Figura 6. Dentro de esta sección realizaremos una descripción de cada uno de ellos identificando y destacando las principales tarea o características.

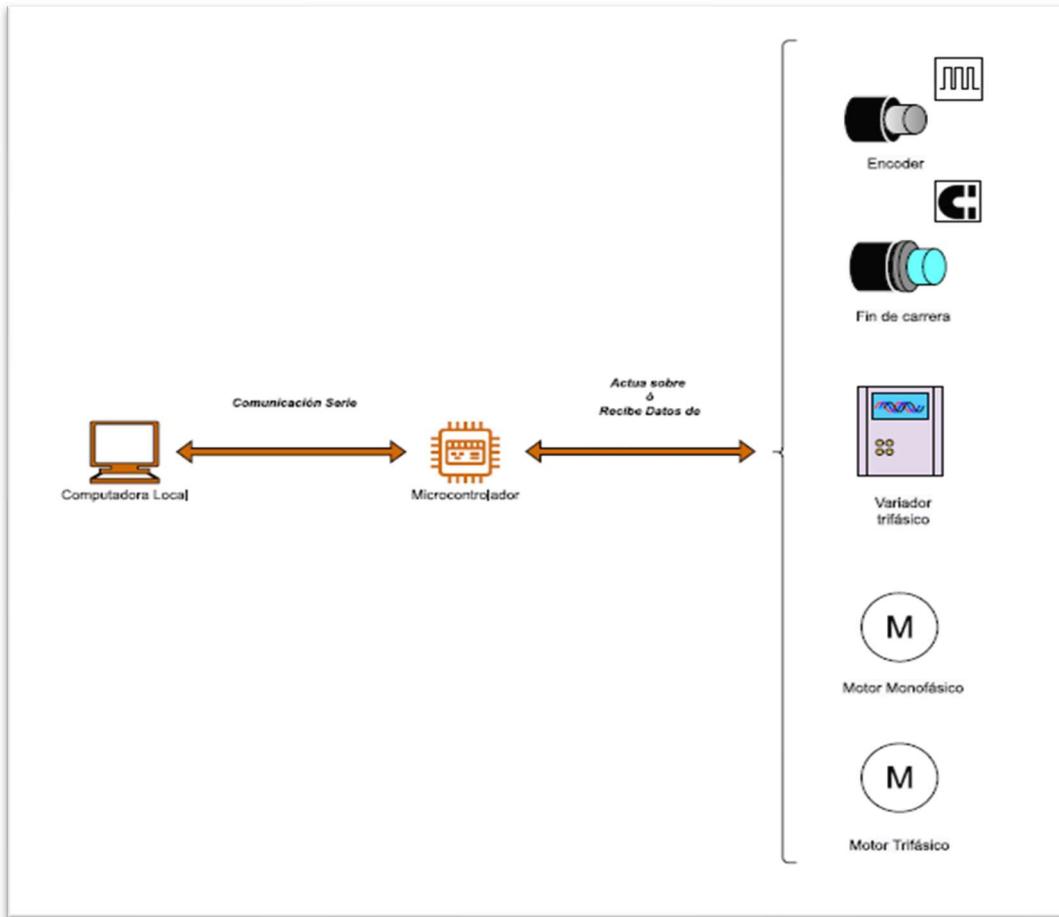


Ilustración 6. Diagrama del funcionamiento.

Comentario: Cuando hagamos mención sobre la placa de control estaremos haciendo referencias al microcontrolador de la misma, dado que es el único elemento con el cual que verdaderamente existirá un flujo de datos y este será quien efectuará acciones y poseerá información de la posición de la antena en todo momento.

2.1.1. Flujo de información

Dada la naturaleza del desarrollo realizado, deberá de existir un intercambio de información entre la computadora local y el sistema de control o microcontrolador. Ante esto surge la necesidad de definir una serie de respuestas posibles que ambas partes puedan comprender y realizar acciones ante ellas. Es por esto que surge la necesidad de



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

un desarrollo de un protocolo de comunicaciones en base a alguna implementación ya conocida en el desarrollo de sistemas de control de rotores de antenas, como puede ser, por ejemplo, el protocolo *Yaesu*.

En principio el intercambio de información será **bidireccional**. Esto quiere decir que, una vez realizado él envío de cualquier mensaje, se aguardará la confirmación de la recepción de la respuesta, de forma de obtener la interpretación, correcta o no, del mensaje enviado hacia la placa de control.

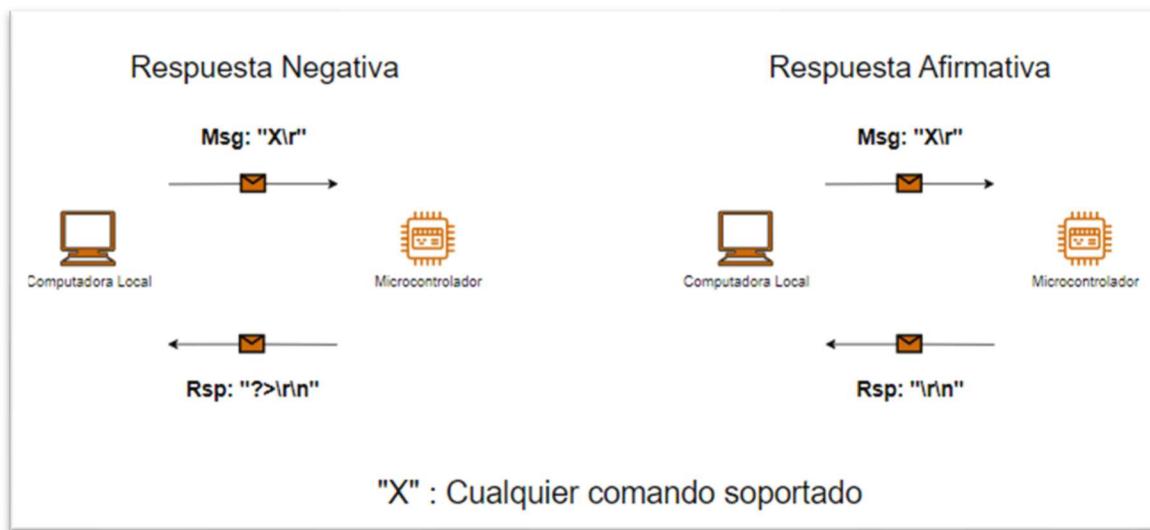


Ilustración 7. Flujo de mensajes entre subsistemas.

2.1.2. Comandos Manuales

La aplicación desarrollada permite comandar la antena en los sentidos más básicos de movimiento, los cuales son arriba o abajo e izquierda o derecha. Estos movimientos serán traducidos a su respectivo comando, los mismos se muestran en la figura, para luego realizar él envío a la placa de control para que la misma proceda a accionar el correspondiente motor y generar el movimiento.

Como se permite el accionamiento manual de la antena se ha incorporado por seguridad comandos de frenados. Entre ellos, el más importante es la interrupción del movimiento global, de forma de detener la antena ante algún desperfecto o necesidad.

Comentario: Los comandos de detención de movimiento en acimut o elevación no se muestran en la parte visual de la aplicación, pero son necesarios dado que debe de detenerse el giro de la antena en el respectivo ángulo un vez terminada la maniobra.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

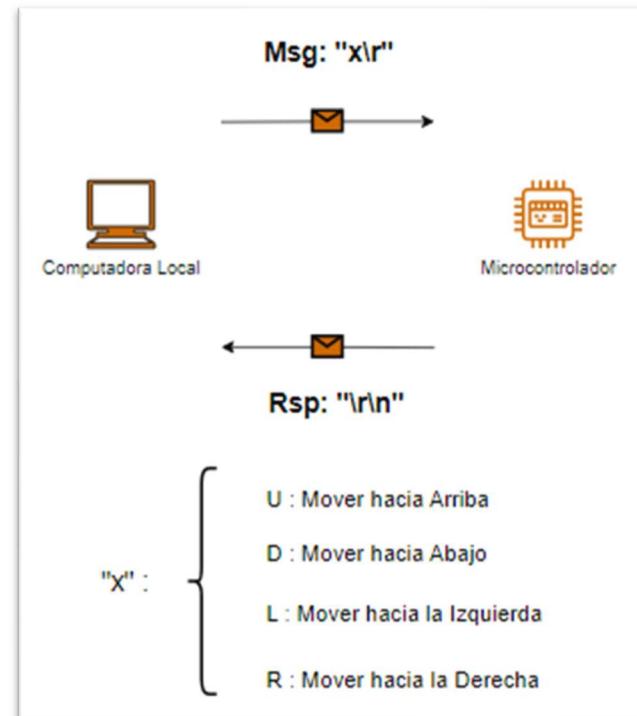


Ilustración 8. Comandos manuales

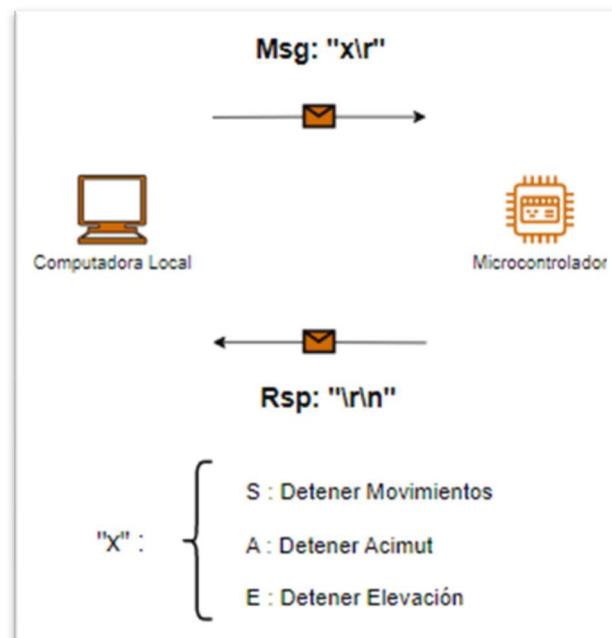


Ilustración 9. Comandos de frenado



2.1.3. Solicitud de posición

Es necesario saber la posición de la antena, de forma de determinar si la misma está efectuando los movimientos adecuados o si el accionamiento realizado es acorde. Es por lo cual se realizará de manera periódica la solicitud de posición para ambos ángulos de manera de representar la posición en la aplicación.

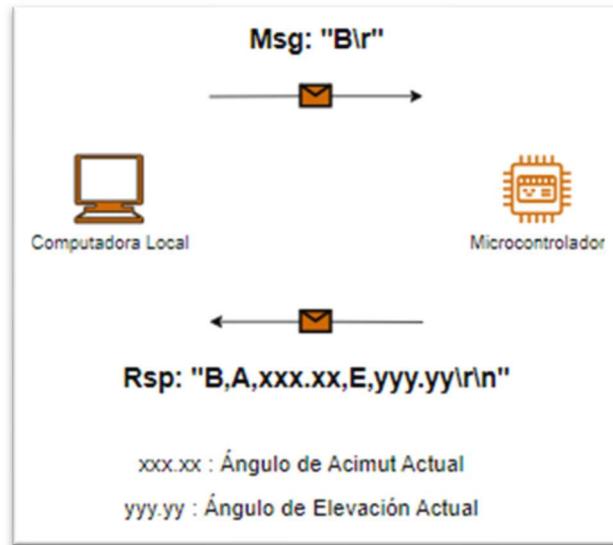


Ilustración 10. Solicitud de posición

2.1.4. Posicionamiento Automático

La finalidad con la cual fue desarrollada el sistema completo fue el control autónomo de la antena, es por esto que debemos plantear un comando para el paso de la posición de referencia de cada ángulo. El formato del mismo se muestra a continuación:



Ilustración 11. Comando de posicionamiento automático



2.1.5. Casos Particulares

Dentro del protocolo de comunicaciones desarrollado, existirán dos excepciones en las cuales la placa de control enviará **mensajes no solicitados** hacia la computadora local.

La primera será cuando se ocurra el evento de detección de los finales de carrera, donde la placa de control realizará el envío hacia la interfaz, de forma de dar aviso al operador del evento o la situación. La finalidad de esto es indicar que la antena ha alcanzado el punto máximo posible de movimiento en dichos ángulos de manera de generar un rango de operación seguro y evitar el enrollamiento de cables.

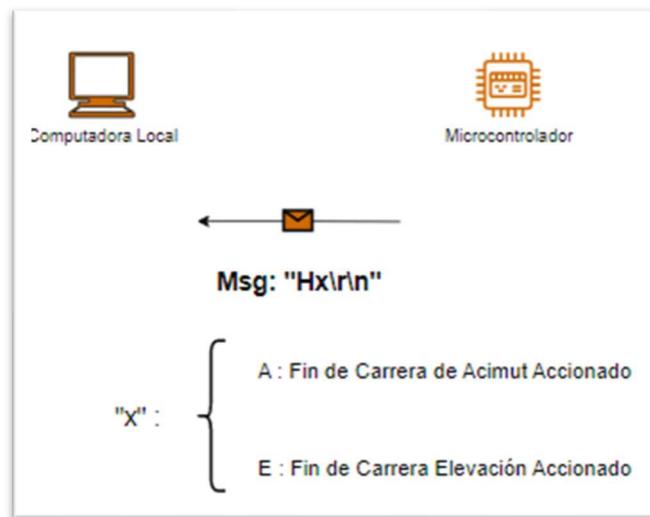


Ilustración 12. Comandos particulares: Home detectado

El segundo caso, y el más importante, será cuando la placa de control deba realizar movimientos de calibración. Esto ocurrirá cuando la misma sea energizada o se desconecte y conecte nuevamente, donde esta deba proceder a realizar maniobras de forma de llegar a la posición de referencia o **Home** que la misma toma como posición de reposo.

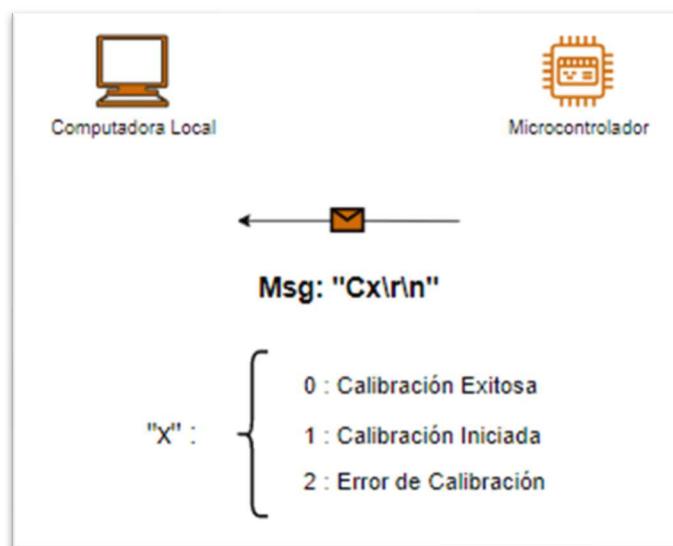


Ilustración 13. Comandos particulares: Calibración

Comentario: Esto es necesario ya que, al perder la cuenta de pulsos de los encoders producto al estado de reset del microcontrolador, debemos realizar el posicionamiento de la antena de manera de definir la referencia desde donde se comenzará a tener en cuenta el giro de la misma.

El último caso particular ocurrirá cuando el operador oprima el botón de emergencia que se dispondrá en el tablero de operación donde se ubicará la placa de control. Una vez que se oprime este se procederá a detener los movimientos en ambos ángulos.

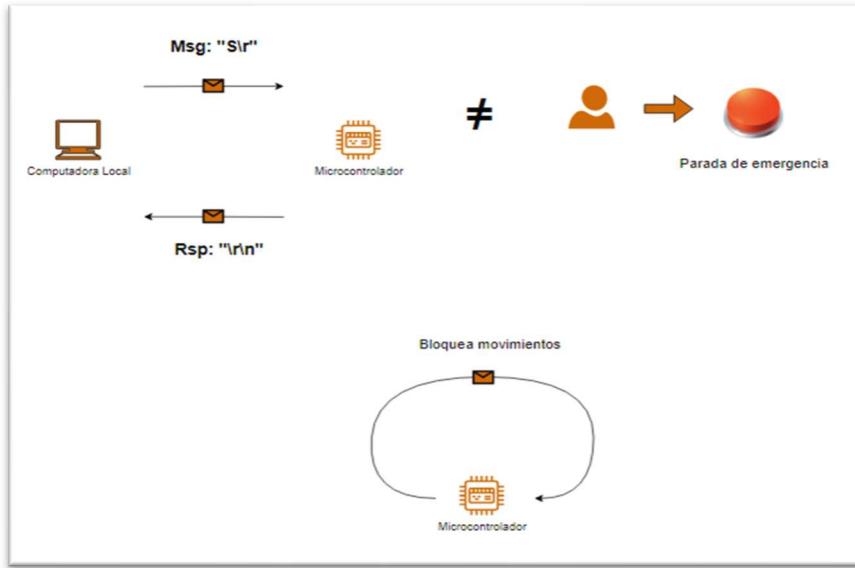


Ilustración 14

Comentario: Tener presente que la respuesta a este estado es similar a la obtenida cuando la placa de control recibe el mensaje de detener el movimiento de forma global, pero su principal diferencia es que no hay un envío hacia la aplicación del accionamiento de la parada de emergencia y que solo el microcontrolador realiza acciones sobre el mismo de manera de detener el movimiento de ambos motores.

2.2. PC local

La aplicación desarrollada deberá ser ejecutada en una PC instalada en el lugar de accionamiento del radiotelescopio. Es así que esta PC servirá como interfaz para la comunicación con la placa de control. Además, esta se utilizará para obtener los datos para el posicionamiento del radiotelescopio. Se muestran en la Figura 15 las correspondientes tareas de la PC local.

La comunicación con el sistema de control será vía comunicación serie USB, una tecnología utilizada en la gran mayoría de los sistemas de hoy en día dado por su simpleza, su bajo costo y su gran alcance o potencia. Esta será, en todo momento, **bidireccional**.

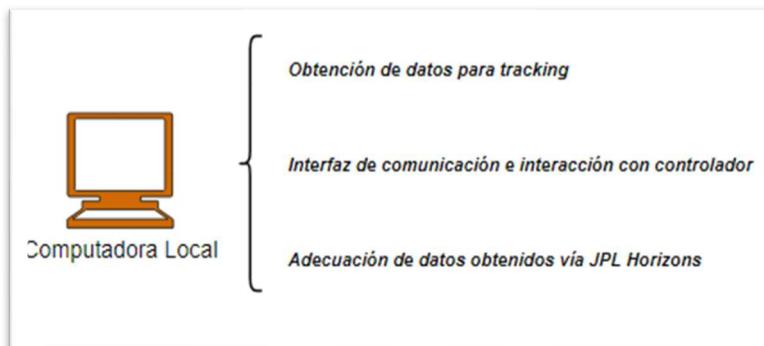


Ilustración 15. Tareas de la PC local

2.2.1. Acerca de la Aplicación Desarrollada

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el framework **Qt Quick** de *Javascript*, dentro del IDE de Qt. Este entorno de desarrollo posee numerosos puntos a favor, entre ellos: es gratuito, código abierto y multiplataforma. Además, posee una trayectoria de más de 25 años de desarrollo, como también, una gran comunidad que cumple el rol soporte a la hora de consultar problemas a terceros o soluciones implementadas por terceros. Otra característica de Qt es que cuenta con varios elementos que permiten realizar controles de manera muy sencilla, como también la capacidad de realizar los mismos desde cero y de forma totalmente innovadora.

Por último, para el desarrollo de la comunicación entre la aplicación y la placa de control, tanto para respuestas a eventos del usuario, como también notificación del sistema, hemos utilizado Python gracias a su facilidad a la hora del desarrollo por ser un lenguaje multiparadigma, su gran comunidad y disponer de módulos o librerías que permiten disminuir el tiempo de desarrollo.

2.2.2. Datos de posicionamiento: Jet Propulsion Laboratory

Para obtener información para el posicionamiento del sistema hemos utilizado la aplicación Jet Propulsion Laboratory (**JPL**), una aplicación del instituto de California, la cual es un servicio de cálculo de efemérides y datos on-line del Sistema Solar. Además, proporciona acceso a datos clave del Sistema Solar y una producción flexible de efemérides de alta precisión para objetos de dicho sistema. Esto incluye más de 856.000

asteroides, 3598 cometas, 209 satélites naturales, los 8 planetas, el Sol, 163 naves espaciales y varios puntos dinámicos como baricentros del sistema. Es proporcionado por el Grupo de Dinámica del Sistema Solar del Jet Propulsion Laboratory.



Ilustración 16

Para la obtención solo basta consultar en la aplicación WEB si el objeto o cuerpo que deseemos realizar seguimiento está disponible, y seleccionar una serie de opciones que

permiten realizar la configuración interna de la información buscada, como el tiempo de tracking o seguimiento (mínimo tiempo entre dos posiciones), dato angular quiere descargarse y demás. Se dará una explicación más en detalle en las secciones posteriores junto con el funcionamiento de la aplicación desarrollada.

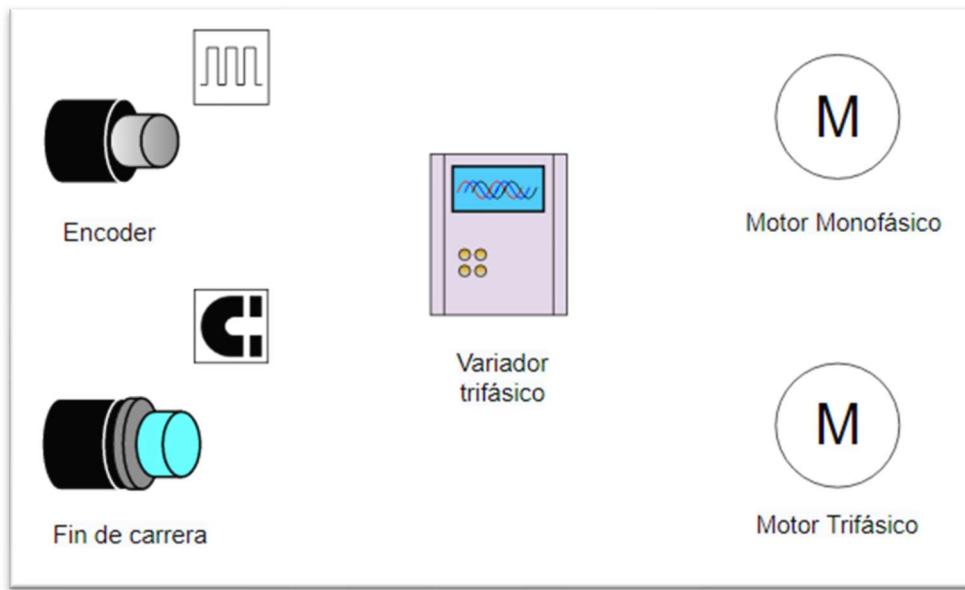
Comentario: La aplicación desarrollada en el proyecto actual solo funciona con la información obtenida a través del JPL. Si el objeto a seguir no se encontrará en este, no podríamos realizar el seguimiento del mismo dado que fue necesario limitar esta para el funcionamiento de la misma.

La aplicación puede accederse desde cualquier navegador sin restricciones algunas y, además, cuenta con la posibilidad de obtención de datos vía telnet a través de “horizons.jpl.nasa.gov”, puerto: 6775. Esto permitirá, si se lo implementará, una automatización en el proceso de generación de los datos para el posicionamiento, lo cual no fue posible desarrollar en el proyecto en cuestión.

Otra opción para obtención de los datos es descargarlos localmente desde la computadora y proceder a cargar los mismos manualmente a la aplicación. **La implementación o desarrollo realizado contempla este caso.**

2.3. Elementos de campo

Dentro de esta categoría englobamos los elementos que disponemos en sitio, y sobre los cuales estaremos recibiendo información o realizando acciones. Estos se muestran en la Figura 17.



Procederemos a realizar una breve descripción de las funcionalidades de cada uno de los elementos de campo:



- Los encoders se encargarán de realizar una transducción del ángulo de giro de la antena a pulsos eléctricos los cuales serán contabilizados por la placa de control para poder definir la posición.
- Los finales de carreras son empleados para definir el rango de operación segura de la antena, de manera de evitar el enrollamiento de cable de alimentación y censado.
- El variador trifásico será encargará de entregar energía al motor.
- Los motores serán los elementos de maniobra, con los cuales efectuaremos el movimiento de la antena.

2.3.1. Motores utilizados

Como ya se encontraban los motores instalados en sitio, dado que anterior a la implementación de la propuesta de actualización se accionaba la antena de forma manual, no fue necesario que tengamos que colocar dos nuevos motores para poder realizar el movimiento de la misma. Para esto bastó con realizar un relevamiento de los elementos, con esto nos encontramos que el sistema cuenta con dos motores, uno trifásico que realiza el movimiento en elevación y otro monofásico que realiza el movimiento en azimut. A continuación, serán descritos ambos motores en profundidad.

- Motor trifásico:** B 63 B4/MA VOGES

Motor asincrónico de inducción, tiene un rotor con jaula de ardilla y rodamientos dimensionados para 20.000 horas de uso en condiciones normales de funcionamiento. Además, cuenta con una protección mecánica IP55 que, según el datasheet, protege contra la penetración de polvo (sin depósitos nocivos) y chorros de agua a presión en todas las direcciones.

Características de performance (4 polos – 50 Hz):

Potencia			Carcasa	Velocidad	Corriente				Torque			
220 V		380 V			Cn	Cp/Cn	Cmax/Cn					
(HP)	(kW)	(IEC)			In (A)	Ia (A)	In (A)	Ia (A)	(Kgm)	(%)	(%)	
1/4	0.18	63b	1380	1.05	4.1	0.61	2.4	0.12	280	265		

Rendimiento $\eta\%$			Factor de Potencia $\cos(\varphi)$			Factor de Servicio	GD ² del Rotor	Peso
50%	75%	100%	50%	75%	100%		(Kgm2)	(Kg)
47	56	60	0.44	0.54	0.75	1.1	0.0014	4.8

Ilustración 18. Características técnicas (motor trifásico)

- **Motor monofásico:** A63 CP 4E Czerweny

Motor asíncrono con un rotor jaula de ardilla. Permite trabajar en Servicio Continuo (S1), es clase “B” y cuenta con una protección mecánica IP54.

Características de performance (4 polos – 50 Hz):

Potencia		Carcaza	Velocidad	Corriente		Torque		Factor de Potencia $\cos(\varphi)$	Peso		
(HP)	(kW)			220 V							
(IEC)	In (A)			Ia/In	Cp/Cn	Cmax/Cn					
1/4	0.18	A63	1420	1.6	3.3	0.4	1.9	0.92	4.9		

Ilustración 19. Características técnicas (motor monofásico)

2.3.2. Bloques mecánicos y Propuesta de Control

La instalación cuenta con un juego de cajas reductoras con el fin de brindar más torque al sistema durante su movimiento. Los reductores en la antena se encuentran representados en el siguiente diagrama y su valor se muestra a continuación.

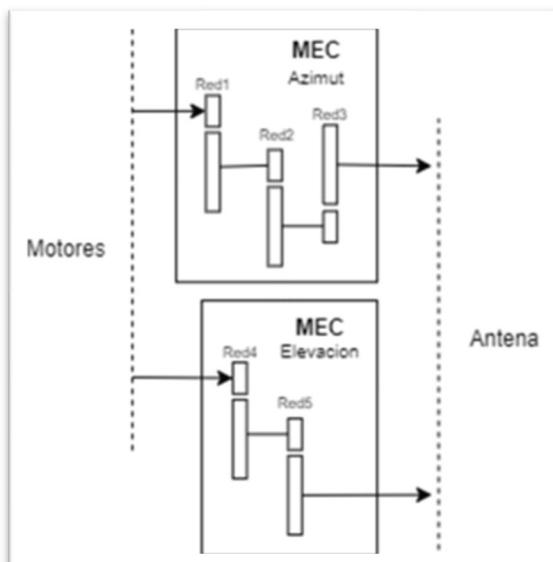


Ilustración 20. Representación de reductores

$$Red_1 = 1/25$$

$$Red_2 = 1/60$$

$$Red_3 = 7/60$$

$$Red_5 = 7/60$$

No fue posible relevar el reductor número 4 ya que la etiqueta donde debería estar su modelo es ilegible y no se ha podido contactar con su fabricante, por lo que la única forma posible de obtener su valor de reducción es realizando un ensayo sobre el sistema actual. Si se pone en funcionamiento el motor trifásico se puede tomar el tiempo en que el radiotelescopio da una determinada fracción de vuelta y obtener el valor requerido mediante cálculo.

obtener su valor de reducción es realizando un ensayo sobre el sistema actual. Si se pone en funcionamiento el motor trifásico se puede tomar el tiempo en que el radiotelescopio da una determinada fracción de vuelta y obtener el valor requerido mediante cálculo.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Accionamiento del motor de elevación:

El accionamiento del motor de elevación será realizado por el variador de velocidad **ATV28HU09M2U**, el cual tendrá como finalidad entregarle energía al motor en cuestión, como también comandar el movimiento del respectivo ángulo, este será alimentado con 220 V. Las características del mismo se muestran a continuación

Corriente de línea entrante		Potencia		Corriente de salida nominal	Corriente de salida transitoria	Potencia disipada total a la carga nominal	Corriente nominal de cortocircuito	Resistencia mínima de PA/PB
208 V	220 V	(A)	(HP)	(kW)	(A)	(W)	(kA)	(ohm)
6.9	6.4	0.5	0.37	3.3	3.6	32	1	65

Ilustración 21

El **ATV28HU09M2U**, entre los terminales de control, posee cuatro entradas lógicas programables cuya función depende de la configuración del variador. Además, cuenta con una entrada analógica de tensión (*que se utiliza como entrada de referencia de velocidad*) y una salida analógica que se puede programar para indicar corriente, frecuencia, par y potencia del motor.

Entre las configuraciones del variador, destacamos la posibilidad de commutar entre 2, 4 u 8 velocidades además de commutar el sentido de giro.

Accionamiento del motor de azimut:

El accionamiento del motor de azimut será a través de un juego de contactores, dado que dependiendo de cómo se conecte el bobinado interno del motor monofásico, se puede seleccionar el sentido de giro del mismo.

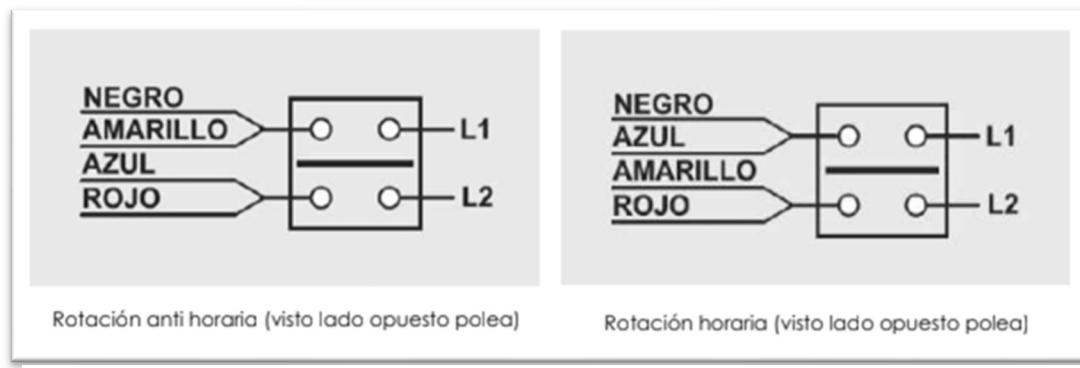


Ilustración 22



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Esto permite accionar y controlar el sentido de giro del motor utilizando solo 3 contactores trifásicos normalmente abiertos, donde el conjunto de contactores son los que constituyen el bloque de control del motor monofásico.

Debido a las limitaciones que se presentan al no utilizar motores de tipo brushless, para poder realizar el control del ángulo de giro del radiotelescopio, la placa de control deberá ser consciente de la posición a la que arriban ambos motores en cada instante de tiempo. Por lo tanto, plantearemos en cada motor, un sistema de control realimentado para el cual utilizaremos codificadores rotativos (encoders) dispuestos en el sistema como muestra el siguiente diagrama:

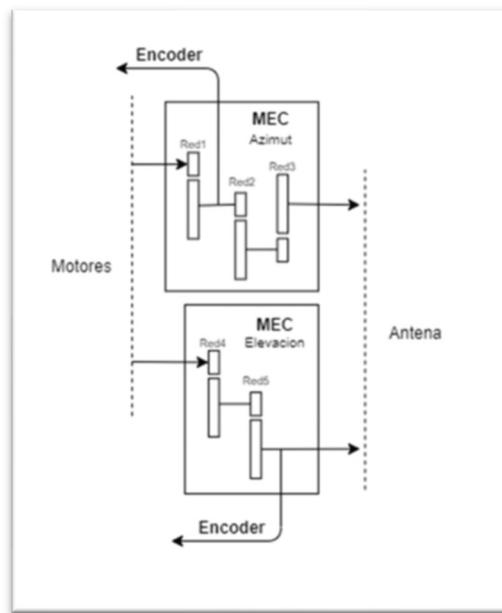


Ilustración 23. Disposición de los encoders

Dado que hemos ubicado los encoder en las posiciones mostradas, podremos determinar la resolución, o mínimo ángulo de giro, que el sistema podrá detectar la antena.

Como ya comentamos en apartados anteriores, ambos encoders son de igual características. Si ahora observamos la ubicación de los mismos podemos notar que debido a las cajas reductoras en acimut, se deberá tener un incremento de la resolución de dicho ángulo.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Cálculo de resolución de acimut

$$\begin{aligned}\{\Delta\theta_{acimut} &= 1 \text{ pulso} * \Delta\theta_{encoder_{acimut}}^* \quad \Delta\theta_{encoder_{acimut}}^* \\ &= (Res_1 * Res_2) * \Delta res_{encoder} \\ \Delta res_{encoder} &= 1 \frac{\circ}{pulso} \quad Red_2 = \frac{1}{60} \quad Red_3 = \frac{7}{60} \\ \therefore \Delta\theta_{acimut} &= 1 \text{ pulso} * 1 \frac{\text{grados}}{\text{pulso}} * \frac{7}{3600} \cong 0.002 \circ \\ \therefore \Delta\theta_{acimut} &\cong 0.002 \circ\end{aligned}$$

Cálculo de resolución de elevación

$$\begin{aligned}\{\Delta\theta_{elevación} &= 1 \text{ pulso} * \Delta\theta_{encoder_{elevación}}^* \quad \Delta\theta_{encoder_{elevación}}^* = 1 * \Delta res_{encoder} \\ \Delta res_{encoder} &= 1 \frac{\circ}{pulso} \\ \therefore \Delta\theta_{elevación} &= 1 \circ\end{aligned}$$

2.3.3. Transductores utilizados

Sensor Home-Stop	
Modelo	IME18-08BNSZW2S
Rango de detección	8 mm
Rango seguro de detección	6.48 mm
Tipo de salida	NPN (colector abierto)
Alimentación	10 - 30 V
Cableado eléctrico	3 cables
Consumo	≤ 200 mA

Encoder	
Modelo	LPD3806-360BM-G5-24C
Diámetro del transductor	38 mm
Diámetro del eje	6 mm
Pulsos por Resolución (P/R)	360
Tipo de salida	NPN (colector abierto)
Alimentación	5 - 24 V
Consumo de corriente máxima	30 mA
Respuesta en frecuencia máxima	20 KHz
Velocidad mecánica máxima	5000 rpm



3. Placa de control

Está conformada por un conjunto de circuitos, los cuales se encargarán de:

- Interactuar sobre los actuadores para efectuar acciones.
- Recibir información de sensores de campo.
- Realizar adaptaciones de diferentes niveles de tensiones.
- Conversión de protocolos de comunicación.
- Aislación eléctrica o galvánica entre elementos de diferentes circuitos o niveles de tensión.
- Control del sistema de posicionamiento.

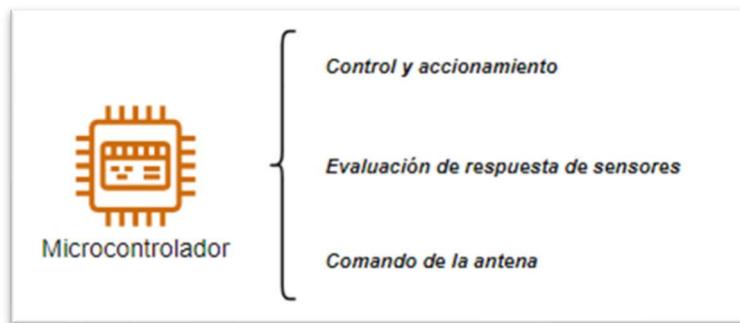


Ilustración 24. Características microcontrolador

Dentro de la placa de control, tendremos al microcontrolador, el cual se encargada de gobernar el sistema de control desarrollado y establecer la comunicación tanto con la computadora local para realizar la respuesta en función al comando entregado, como también con el GPS para poder determinar la posición geográfica de la antena.

Se decidió optar por un microcontrolador de la familia dsPIC33F, dado que estos ofrecen un buen equilibrio entre bajo costo, baja potencia y buen rendimiento teniendo además la capacidad de funcionar como DSP y permitir el procesamiento señales en futuras implementaciones de terceros. Por esto, hemos decidido incorporar en la implementación final al **dsPIC33FJ128GP804**. La totalidad del sistema de control desarrollado se muestra a continuación en la Figura 26.

Device	Pins	ProgramFlash Memory (KByte)	RAM (16bytes) ⁽¹⁾	Remappable Pins	16-bit Timer ⁽²⁾	Input Capture	Output Compare Standard PWM	Data Converter Interface	UART	SPI	ECAN ⁽⁴⁾	External Interrupts ⁽³⁾	RTCC	I ² C ⁽⁵⁾	CRC Generator	10-bit/12-bit ADC (Channels)	16-bit Audio DAC (Pins)	Analog Comparator (2 Channels/Voltage Regulator)	8-bit Parallel Master Port(Address Lines)	I/O Pins	Packages
dsPIC33FJ128GP804	44	128	16	26	5	4	4	1	2	2	1	3	1	1	1	13	6	1/1	11	35	QFN TQFP

Ilustración 25. Características del microcontrolador dsPIC33FJ128GP804

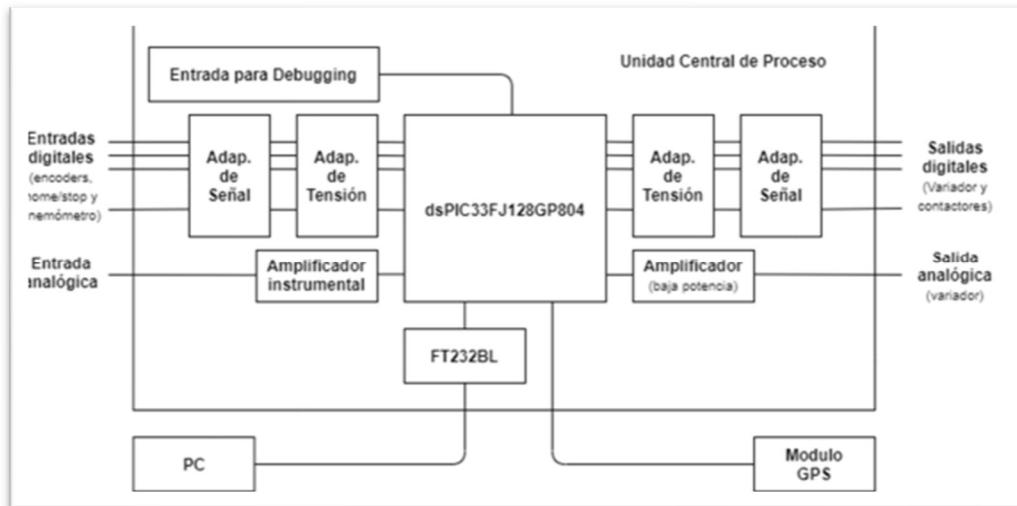


Ilustración 26. Placa de control desarrollada

3.1. Requerimientos por parte del sistema

Primero tenemos que la cantidad de pines digitales de entrada y salida necesarios para que el sistema funcione correctamente. Estos se muestran a continuación en la Tabla 1.

El hardware desarrollado contempla una entrada analógica al microcontrolador para que sea posible conectar un demodulador. Destacamos que dicha entrada no será utilizada en el actual proyecto pero se implementó con la finalidad de que otros grupos, dentro de esta área de incumbencia, realicen extensiones en su software para trabajar con las señales obtenidas con el dispositivo receptor de la antena. Por esto también fue necesario utilizar un microcontrolador que incluya un módulo ADC.

Comentario: No se ha podido implementar en la versión final del sistema el anemómetro dado que no se dispone del mismo. Se ha dejado la posibilidad de conectarlo si en un futuro se cuenta con este.

En el sistema de control se ha propuesto utilizamos un variador de velocidad que requiere, para realizar un control optimo, 4 entradas lógicas y una entrada analógica de tensión que se utiliza como referencia de velocidad. Es por esto que será necesario utilizar un microcontrolador que incluya un módulo DAC y, por lo tanto, pueda proporcionar al variador esa conexión de tipo analógica.

Comentario: La salida analógica se encuentra implementada pero no se ha utilizado, dado que para el accionamiento del motor trifásico basta con la utilización de las entradas digitales del variador asociado al mismo.



PINES DIGITALES DE ENTRADA		PINES DIGITALES DE SALIDA	
Dispositivo	Cantidad de pines	Dispositivo	Cantidad de pines
Encoder (azimut)	3	Conj. De contactores	3
Encoder (elevación)	3	Variador de velocidad	4
Home/Stop (azimut)	1		
Home/Stop (elevación)	1		
Anemómetro	1		
TOTAL	9	TOTAL	7

Tabla 1

El último requerimiento, y uno de los más importantes, fue el desarrollo de la comunicación entre la Unidad Central de Proceso y la computadora que correrá la aplicación, de manera obtener los datos de azimut y elevación del objeto a seguir. Para esto, se ha utilizado un conversor o transductor UART-USB (**FT232BL**) de manera de poder llegar hasta la computadora con un protocolo más robusto y fácil de implementar.

3.2. Desarrollo del hardware

3.2.1. Alimentación

Se detallará a continuación, los requerimientos impuestos para la etapa de alimentación del hardware desarrollado:

- I. Etapa inicial: Entrada de 220V AC.
- II. Etapas de alimentación internas de:
 - 12 V (DC)
 - 5 V (DC)
 - 3,3 V (DC)

Etapa inicial: Aislación galvánica y reductora.

El transformador es un elemento que proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario del mismo. Gracias a la inducción electromagnética los arrollamientos primario y secundario no están conectados entre sí, con lo cual se consigue una alimentación o señal “flotante” del lado del secundario.

El aislamiento galvánico es un método de protección con el fin de separar dos circuitos sin la existencia de contacto directo entre ambos, y a su vez, transferir energía de un lado a otro. Este, en principio, se utiliza para aislar secciones funcionales de los sistemas eléctricos y así, evitar el flujo de corrientes, dado que no se permite ninguna vía de conducción directa. Sin embargo, la energía entre ambas secciones, se puede intercambiar por distintos métodos mediante inducción, ondas electromagnéticas, capacitancia, entre otros.

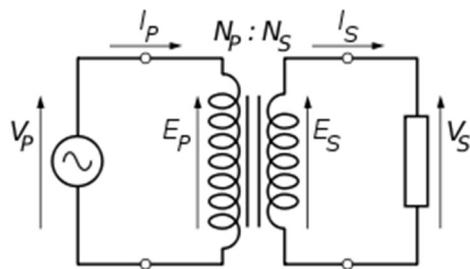


Figura 1

La relación de transformación se determina, idealmente, como:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

V_P ; V_S : Voltaje del primario y secundario, respectivamente

N_P ; N_S : Número de espiras del primario y secundario, respectivamente

I_P ; I_S : Corriente por el primario y secundario, respectivamente

El desarrollo contempla aislación galvánica en la entrada de 220 V (AC) de tensión al hardware los diferentes niveles de tensión con los cuales alimentaremos las diferentes etapas a través del secundario del transformador. Para lograr este cometido se implementó un transformador reductor cuya relación entre primario y secundario es de 11:1, pasando así de los niveles de tensión de 220 V (AC) a 20 V (AC). Esta etapa será rectificada posteriormente por un puente de diodos y filtrada por un banco de capacitores con el fin de estabilizar la tensión y eliminar los armónicos de tensión lo máximo posible.

La separación de la alimentación de la red y los elementos vinculados en el hardware, a través del transformador, permitirá evitar cualquier problema que se obtenga directamente de la red producto a variaciones de los niveles de tensión del retorno de la misma.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Como protección contra cortocircuitos, hemos agregado un fusible de 10A en la fase del bobinado primario del transformador.

Comentario: Verdaderamente se dispondrá de un nivel de tensión menor de 20 V (AC) dado que tendremos una caída de tensión en los diodos de, aproximadamente, 0,7 V cuando los mismos entran en conducción. Con lo cual, a cálculo hecho se dispondrá de una tensión aproximada a 18,5 V (AC) en la etapa final de la misma. Si además se tuvieran en cuenta las pérdidas en el transformador, se dispondrá de un nivel menor al final de la etapa de rectificación. Es por esto que se optó por dejar un margen de seguridad en la tensión del secundario de manera de permitir el funcionamiento del hardware.

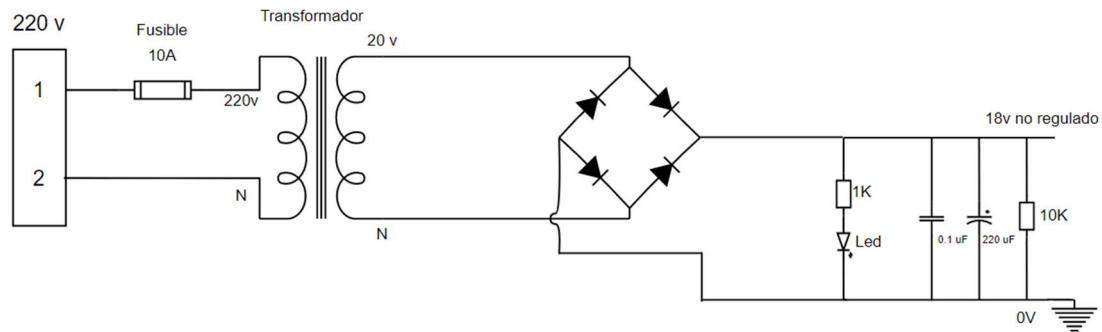


Ilustración 27. Etapa de alimentación inicial

Ante las limitaciones del software obtuvimos un transformador con una salida de 18V (AC). Debido a todos componentes antes mencionados, genera una tensión de salida no regulada de aproximadamente 14v (AC). Se adjunta la siguiente imagen donde se aprecia la salida no regulada con un alisamiento del ripple debido a los capacitores.

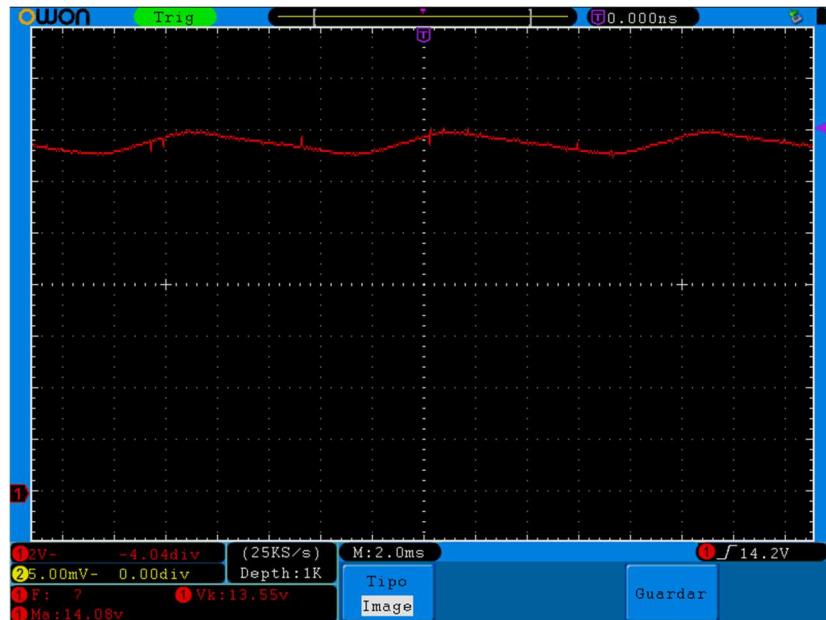


Ilustración 27. Imagen de osciloscopio. 2V/división



Etapas de alimentación internas

Se debe de disponer en el hardware desarrollado de niveles de tensión aptos para el funcionamiento de los sensores que se utilizarán para determinar la posición de la antena. Es por esta misma razón que hemos realizado una comparación entre todos los sensores a utilizarse y definido que el nivel de mayor tensión de continua que se dispondrá dentro de la placa de control será de 12 V (DC), a través de un regulador *switching* de tensión, posterior a la etapa de rectificación de los 20 V (AC) del secundario del transformador. Luego de esta etapa, se incorporarán otra reducción de tensión con un regulador *switching* de 12 V (DC) a 5 V (DC) para aquellos elementos que requieran para su funcionamiento un nivel de tensión mayor al empleado en la lógica T.T.L, como puede ser el USB o elementos integrados. Por último, se dispondrá etapa de reducción de 5 V (DC) a 3,3 V (DC), gracias a un regulador lineal de tensión, el cual brindará una tensión en su salida estable para el funcionamiento de los elementos sensibles, como el microcontrolador que se encargará del control desarrollado.

Hemos incorporado tanto en las entradas como en las salidas de cada etapa, circuitos RC con la finalidad de descargar la energía almacenada en los capacitores y evitar acumulación de carga en el hardware una vez retirada la alimentación del mismo.

Etapas de 12 voltios

Se ha definido utilizar una fuente *switching* debido a la gran demanda de corriente existente por la totalidad de los elementos que componen el hardware, como también por tener estos tipos de fuentes una mayor capacidad de disipación de potencia respecto a las fuentes lineales (L.D.O).

Los tiempos de descarga de capacitores en esta etapa son cercanos a los cinco segundos.

Debido a la complejidad en el cálculo exacto del consumo general, llegamos al requerimiento de sobredimensionar el consumo de corriente total, de manera de establecer una corriente máxima de 3 A.

Se ha seleccionado para esta etapa el regulador LM2576.

$$V_{out} = 1.23 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\downarrow R_1 = 1 \times 10^3$$

$$R_2 = 1 \times 10^3 \times \left(\frac{12}{1.23} - 1\right)$$

$$R_2 \approx 8756 \Omega \rightarrow R_2 = 8.2 \times 10^3 \Omega + 500\Omega$$

Los valores restantes:

$$L_3 = 47\mu H \rightarrow \text{Por simplicidad}$$



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

$$C_{20} = 1000\mu F \rightarrow \text{Por datasheet}$$
$$D_4 = 1N5821 \rightarrow \text{Por datasheet}$$

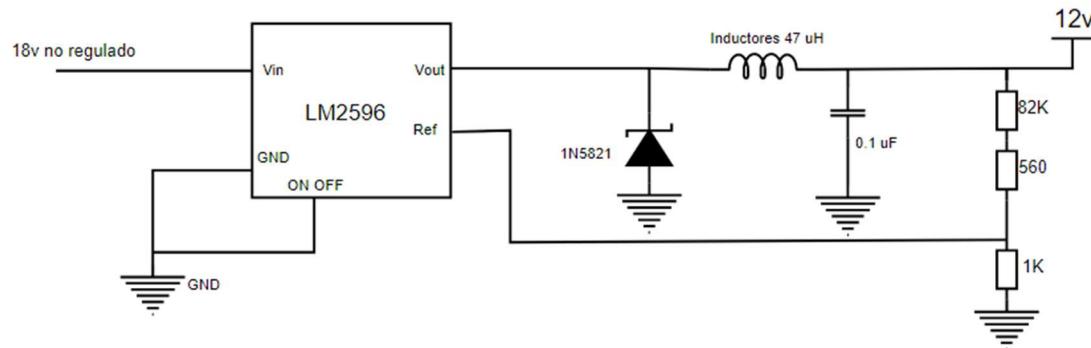


Ilustración 28. Etapa de salida 12V

Se adjunta la siguiente imagen la salida de la fuente switching de 12V (DC) con un pequeño ripple.

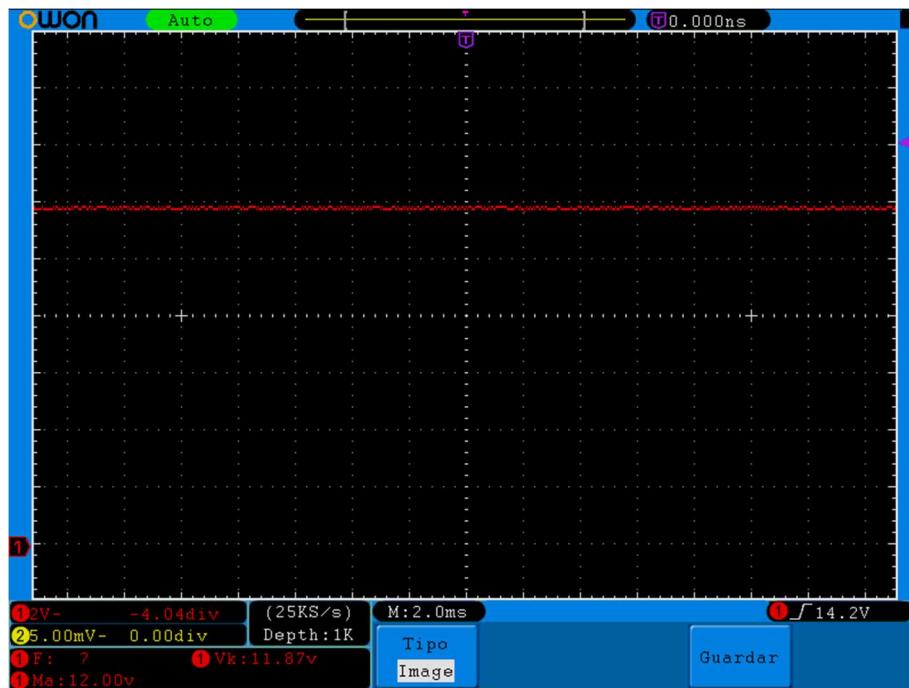


Ilustración 29. Imagen de osciloscopio. 2V/división

Etapa de 5 voltios

En esta etapa se nos hizo posible optar por una alimentación lineal o una comutada (*switching*) dado que nuestro único requerimiento era el reducir el nivel de tensión. Se definió utilizar una fuente *switching* por una cuestión de costos, la capacidad que la misma tiene para disipar mayor potencia y su facilidad de conseguirse en el mercado local. Para lograrlo, hemos utilizado el integrado LM2576, el mismo que para el caso



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

anterior, pero con una combinación distinta de resistencias para obtener una tensión de salida de 5 V (DC).

Los tiempos de descarga de capacitores en esta etapa son cercanos a los dos segundos.

$$V_{out} = 1.23 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \rightarrow V_{out} = 5 \text{ Vcc}$$

$$\rightarrow R_1 = 2.2 \times 10^3$$

$$R_2 = 2.2 \times 10^3 \times \left(\frac{5}{1.23} - 1\right)$$

$$R_2 \approx 6743 \Omega \rightarrow R_2 = 6.8 \times 10^3 \Omega$$

Los valores restantes:

$$L_3 = 47 \mu\text{H} \rightarrow \text{Por simplicidad}$$

$$C_{20} = 1000 \mu\text{F} \rightarrow \text{Por datasheet}$$

$$D_4 = 1N5821 \rightarrow \text{Por datasheet}$$

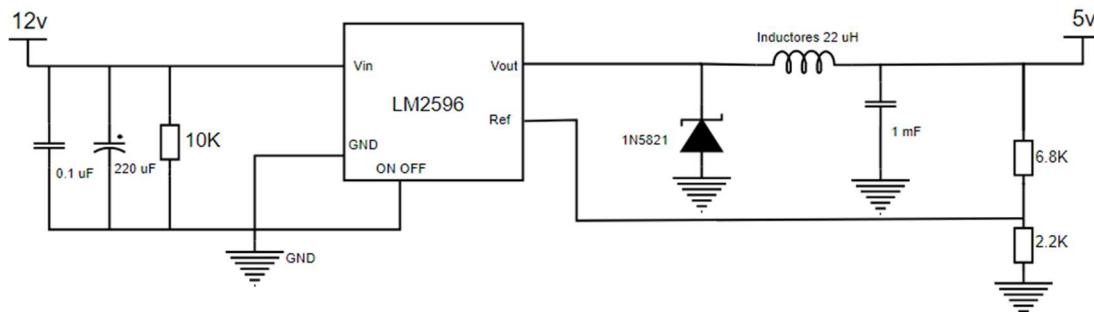


Ilustración 30. Etapa de salida 5V

Se adjunta la siguiente imagen la salida de la fuente switching de 5V (DC) con un pequeño riple.



Ilustración 31. Imagen de osciloscopio. 2V/división

Etapa de 3 voltios

En esta etapa se hemos utilizado un regulador lineal de tensión puesto que se debía de disponer de una tensión con la menor distorsión armónica, es decir, muy poca fluctuación de la misma respecto del valor de continua.

Esta etapa se encargará de filtrar los ripples de tensión que están presentes en la salida de cada fuente *switching*. Con este fin, utilizamos el regulador lineal LDP GJ 1117-3.3.

Los tiempos de descarga de capacitores en esta etapa son cercanos al segundo.

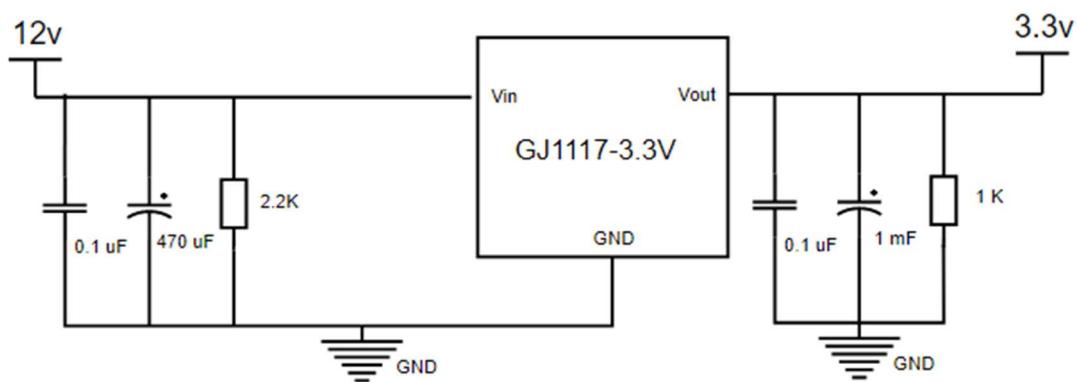


Ilustración 32. Etapa de salida 3.3V

Se adjunta la siguiente imagen la salida de la fuente switching de 3V (DC) con un pequeño riple.



Ilustración 33. Imagen de osciloscopio. 1V/división

3.2.2. Salidas digitales

Para conseguir concretar la estrategia de control sobre ambos motores, se aportaron soluciones distintas para ellos.

Motor monofásico en azimut

Antes de la actualización realizada, este eje de movimiento se comandaba a través de tres (3) contactos normalmente abiertos que, dependiendo como se conectarán, lograríamos el movimiento del motor de azimut en sentido horario o antihorario. Estos elementos utilizan como tensión de alimentación de bobina 24 V (AC) presente en un circuito externo al desarrollo realizado.

Para obtener el accionamiento, se utilizó el integrado ULN2803A, el cual es utilizado en ámbitos industriales como driver para cargas inductivas o cargas que requieran un consumo de unos cientos de mA. La construcción física del integrado esta en la *Figura 9*. Notar que entonces que a la salida obtendremos V_{CC} o V_{GND} , según la tensión de control que se aplique en V_{IN} .

Las salidas del integrado comandarán un grupo de relés (SRD-12VDC-SL-C) que interactuarán con los contactores de forma de realizar el accionamiento del correspondiente motor.

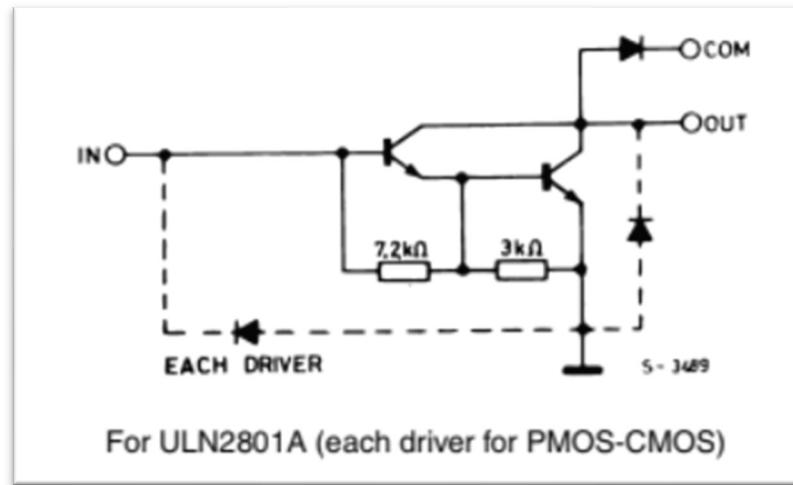


Ilustración 34. Funcionamiento interno ULN2801A

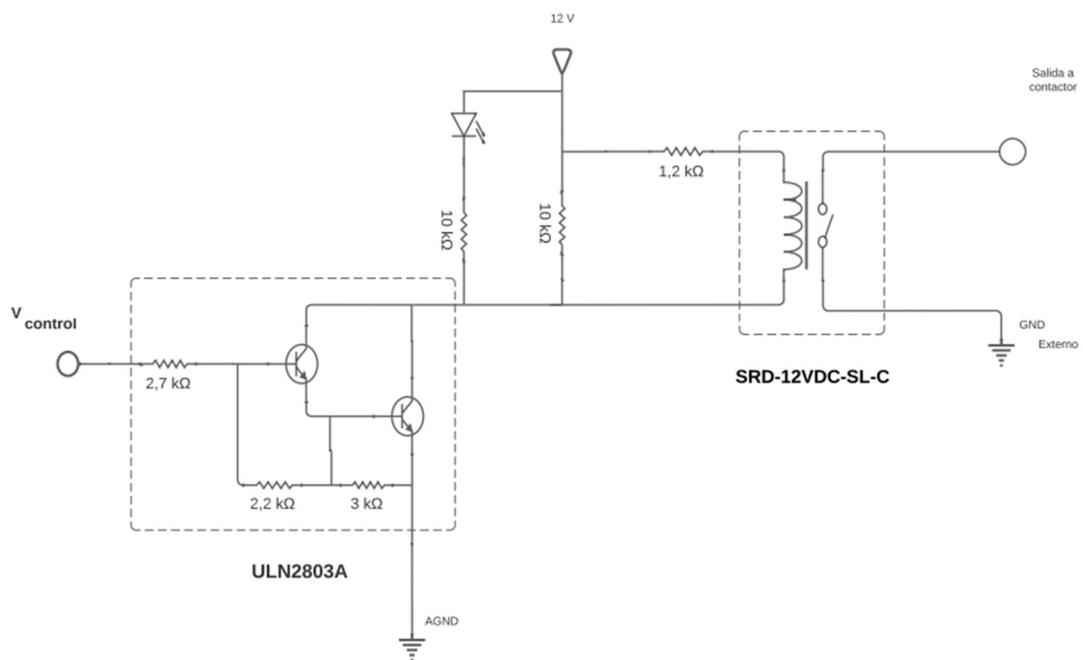


Ilustración 35. Salida a reles

Motor Trifásico en Elevación.

El accionamiento se encuentra realizado por un variador de velocidad, el cual posee diferentes funcionalidades dependiendo de su programación. En nuestro caso, solo lo utilizaremos para entregar potencia al motor de elevación a una única velocidad, tener presente que la implementación cuenta con cuatro (4) salidas digitales hacia el variador y una salida analógica. El variador cuenta con una fuente alimentación de 24 V (DC) y deja a disposición esta misma en un juego de borneras junto con el retorno. Dado que las



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

entradas analógicas para ser detectadas debían tener un nivel mayor a 12 V (DC) para generar la señal en alto en sus entradas, hemos utilizado dicha fuente para generar los niveles de tensiones adecuados para comandar el variador de velocidad.

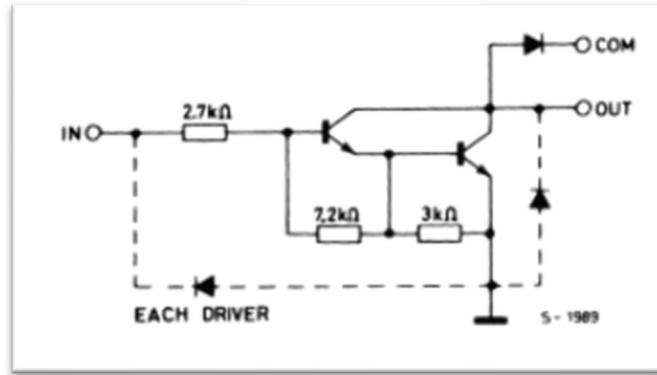


Ilustración 36. Funcionamiento interno ULN2803A

Las salidas digitales del microcontrolador interactuarán con el integrado ULN2803A, el cual es un driver que entregará una mayor corriente a los optoacopladores 4N32 de manera de aislar los circuitos del hardware con las salidas de 24 V (DC) del variador cuando se quiera accionar el mismo.

A continuación, se muestra el esquemático final de la salida

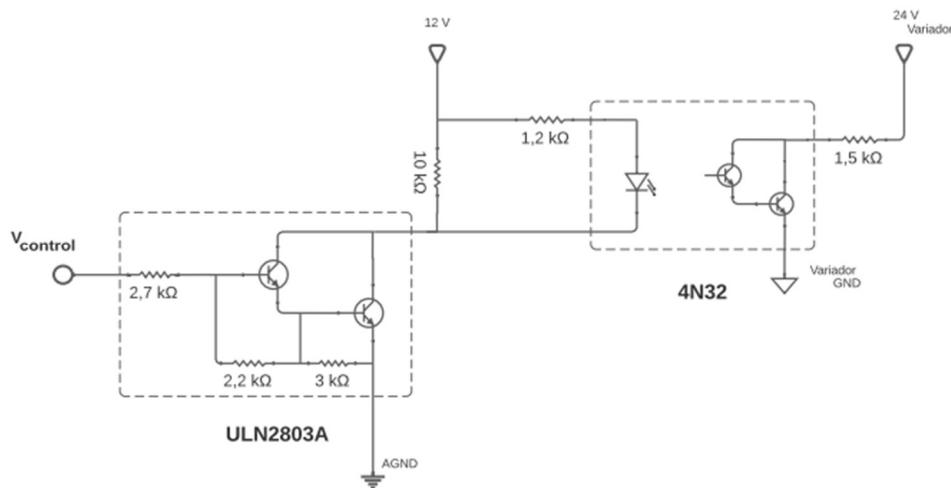


Ilustración 37. Esquemático ULN2803A

3.2.3. Salida Analógica

Durante la implementación se decidió incorporar en el desarrollo una salida analógica la cual dado que el microcontrolador posee un conversor digital-analógico. Es por esto que hemos utilizado el mismo para generar una salida analógica hacia el variador para que sea utilizada como referencia de velocidad, si se lo quisiera.

En primera instancia, el microcontrolador brindará dos dientes de sierra, donde la información podrá ser obtenida en la diferencia de ambas señales. La forma de onda se muestra la **Figura X**. Estas señales serán tratadas para generar una salida de tensión entre niveles determinados y, por último, dejar a disposición la posible transducción a niveles de corrientes 4 – 20 mA.

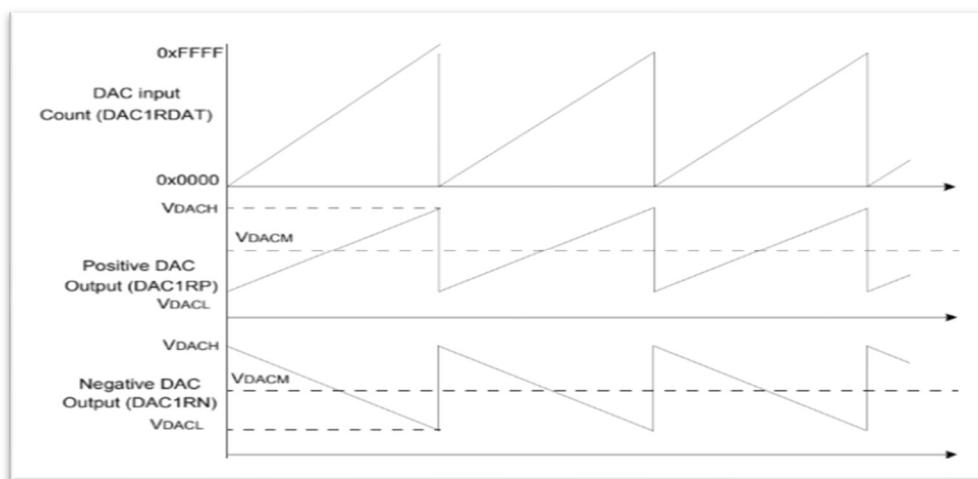


Ilustración 38 Funcionamiento interno DAC.

El tratamiento de la señal será a través del integrado LM358, el cual posee dos amplificadores operacionales. Utilizaremos el primero de ellos como un amplificador de la señal positiva del microcontrolador (DAC1RP, denominada como V_+) cuya ganancia, o amplificación, será de 3,3. La señal a la salida de esta etapa ingresa en el segundo operacional, el cual tendrá la configuración de sumador con una ganancia pequeña de manera de ajustar los niveles de tensión al final de esta etapa.

A partir de lo comentado anteriormente, tendremos que:

$$V_{out} = 1.2 (3.3 V_+ - V_-)$$

Obteniendo una salida entre:

$$V_{out} = [1,4 - 7.4] V (DC)$$

Como comentamos anteriormente, no se contempló en la implementación del hardware un elemento de transducción de esta señal a una corriente entre los rangos de 4 – 20 mA, deja esta información para que la misma sea tratada por un circuito externo.

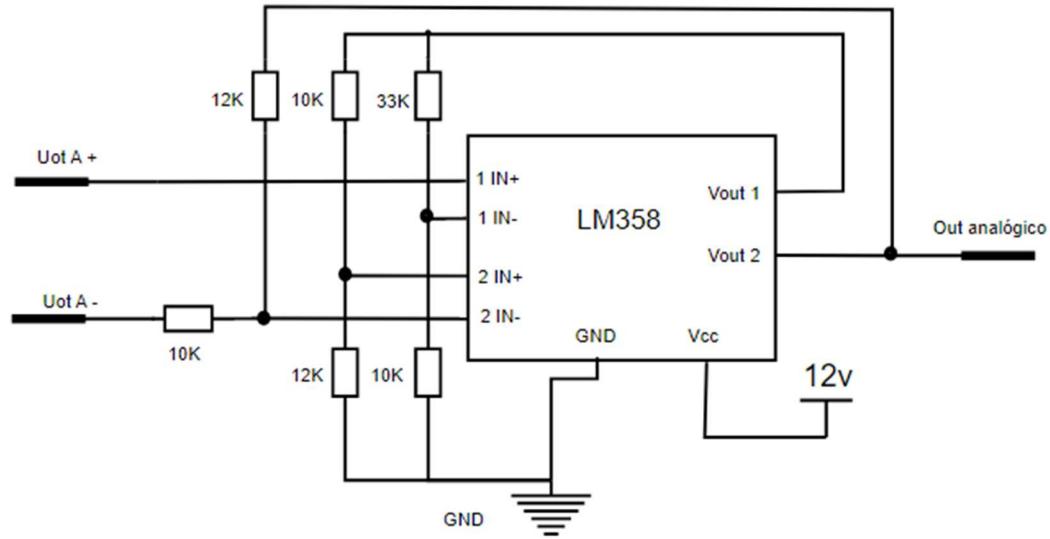


Ilustración 39. Salida analógica.

3.2.4. Entradas Digitales

Entradas para encoders, end-stop y anemómetro

Dado que las señales provenientes de los sensores son niveles de 12 V (DC) y que el microcontrolador solo trabaja con niveles de tensión TTL o 3,3 V (DC) hemos visto la necesidad de implementar un desarrollo para permitir reducir dichos niveles.

Es por esto que se a utilizado un opto acoplador de manera de aislar eléctricamente las dos secciones de los circuitos y, de manera, permitir trabajar con diferentes niveles de tensiones en ambas partes pero con interacción mutua entre ellos. Por esto que cuando la señal del sensor llegue al mismo se pueda transducir dicho evento a un nivel de tensión de menor de tensión.

Dados los tiempos de respuestas o máximas frecuencias de trabajo de los sensores, debemos tener presente que los optoacopladores deben de poseer un pequeño tiempo de respuesta de manera de no perder eventos de pulsos entrantes al sistema. Es por esto que para el desarrollo hemos utilizado los integrados 6N137, los cuales son caracterizados como optoacopladores rápidos por su pequeño tiempo de respuesta.

Comentario: En el desarrollo inicial, hemos pasado por alto una característica importante los encoders y end-stop y es que estos funcionan a colector abierto. Es por esto que para que el mismo funcione adecuadamente se debe de disponer de una resistencia o de carga, para permitir el correcto funcionamiento de los sensores. En las pruebas o ensayos del hardware hemos encontrado este problema pero lo hemos mitigado agregando resistencias de $\frac{1}{4}$ W en las entradas o pines del hardware donde se conectarán las salidas (entradas al hardware) de los sensores.

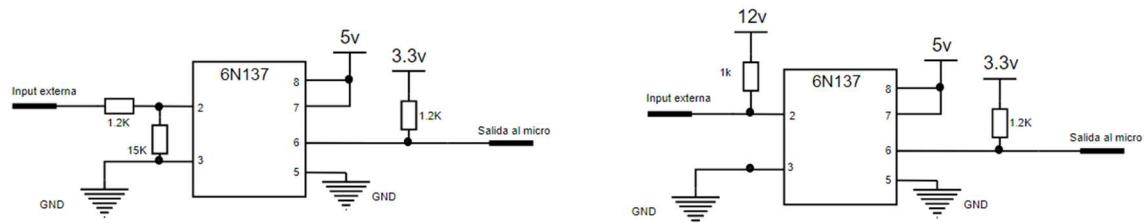


Ilustración 40.
Dcha. Conexión Correcta de Entrada Digital
Izq. Conexión Errónea Entrada Digital

3.2.5. Entradas Analógicas

Con la intención de dejar el desarrollo para el futuro, agregamos esta entrada analógica $0 - 2 V (DC)$ y $0 - 200 mV (DC)$. Dejando como selector un par de jumpers para la elección del voltaje de entrada. Con este propósito diseñamos el PCB para utilizar un amplificador instrumental INA333, el cual tiene una entrada diferencial y una salida la cual es conectada al micro a un conversor analógico digital. En Jumper selecciona entre tipos de resistencias para variar la ganancia generada por un amplificador que sigue la siguiente ecuación.

$$G = 1 + \left(\frac{100K}{RG} \right)$$

Al momento de diseñar el PCB encontramos en integrado INA333, antes de la pandemia del covid-19, al momento de comprar el mismo, no lo encontramos en el mercado nacional de componentes. Por estas razones, no lo pudimos conectar.

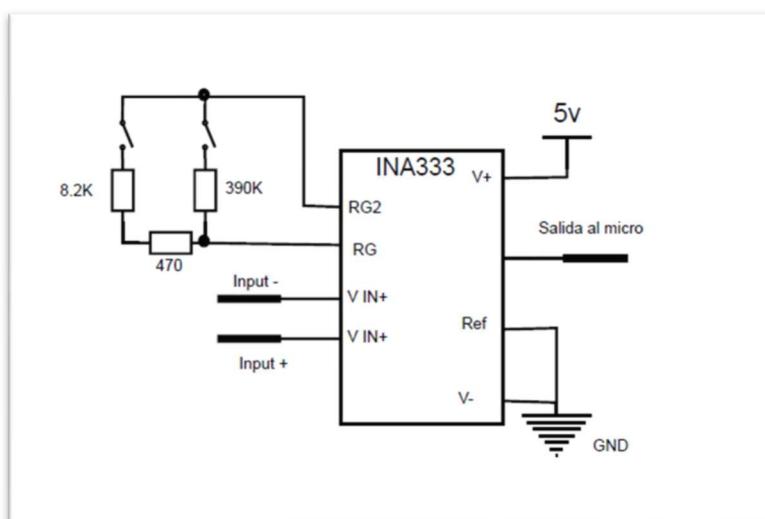


Ilustración 41. Entrada analógica

3.2.6. Comunicación

Una vez seleccionado el microcontrolador para el desarrollo correspondiente hemos notado que el mismo dispone de dos (2) módulos UART embebidos en su chipset. Inicialmente, solo utilizaríamos una de ellas para la comunicación serie USB pero nos pareció un desperdicio de potencia dejar una de ellas sin uso, con lo cual hemos optado por desarrollar a la par, en el segundo módulo, una comunicación RS232.

Comunicación RS232

El hardware cuenta con un desarrollo interno de manera de permitir comunicación serie con algún dispositivo mediante RS232. Para esto, se ha utilizado el integrado MAX232 el cual se encargará traducir del protocolo UART a RS232, empleando internamente una lógica propia y transduciendo los niveles lógicos TTL a 12 V (DC).

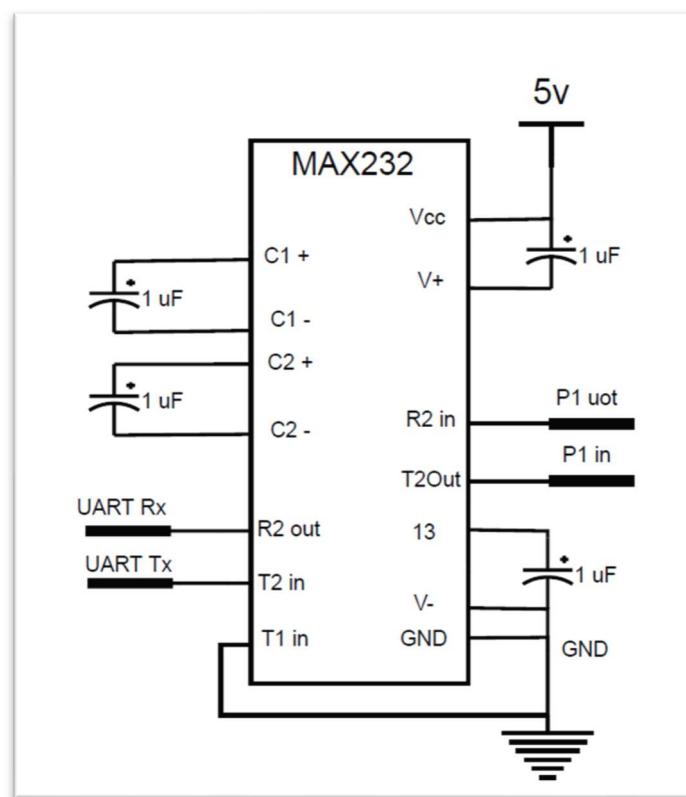


Ilustración 42. Comunicación RS232

Comunicación USB.

Esta misma se utilizará para envío de información entre el hardware desarrollado y la computadora local de forma de permitir el flujo de datos y permitir un mayor entendimiento de las dinámicas o evoluciones y eventos de los mismos. En la implementación, hemos empleado el integrado FT232BM, el cual se encargará de



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

transducir el protocolo UART a USB y conectar ambas partes. Mostramos a continuación en la **Figura X** el circuito desarrollado.

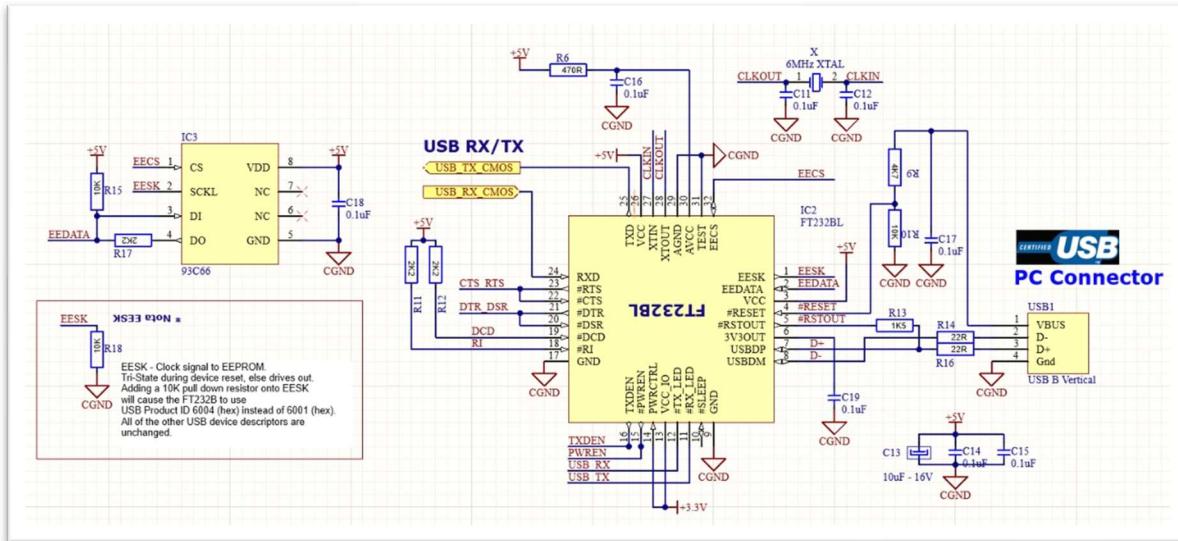


Ilustración 43. Conexión USB

3.2.7. Módulo GPS

El desarrollo contempla un módulo GPS del cual se obtendrá en el proceso de inicialización del hardware la posición de la antena y enviará esta información hacia la aplicación desarrollada para que sea utilizada. Este dispositivo utiliza lógica TTL y puede comunicarse con el microcontrolador vía comunicación serie UART.

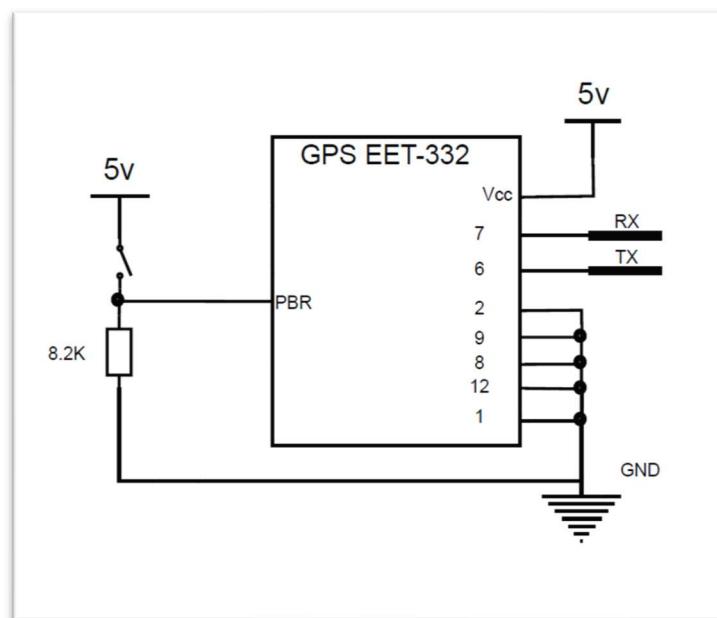


Ilustración 44. GPS



3.2.8. Parada de emergencia

Como requisito fundamental para el desarrollo del proyecto, se incluyó un parada de emergencia como medida de seguridad. La misma es una entrada digital al microcontrolador pull up.

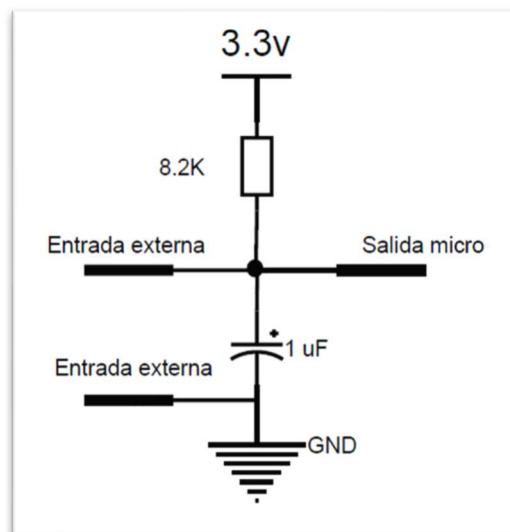


Ilustración 45. Parada de emergencia

3.2.9. Conexión HMI

La placa desarrollada cuenta en su interior con la entrada del programador de manera de facilitar el flasheo del programa dentro del microcontrolador sin necesidad de retirar el mismo desde el PCB. Mostramos a continuación la circuitería desarrollada, la cual la cual se realizó según especificaciones del fabricante.

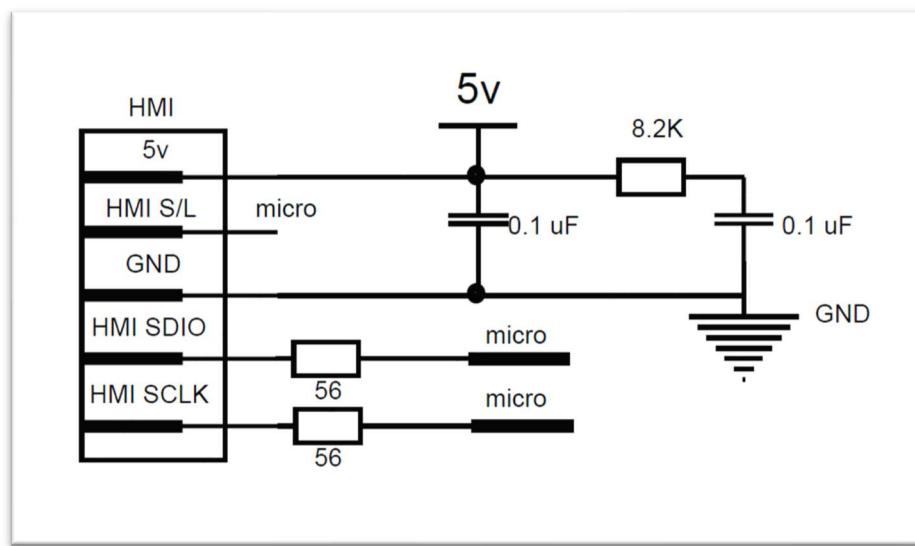


Ilustración 46. Conexión HMI



3.2.10. Tensión de referencia

El conversor analógico digital del microcontrolador necesita una referencia de tensión externa de 2,5 V (DC). Al tratarse de una referencia de tensión, la misma debe permanecer constante, sin importar las condiciones, principalmente de temperatura, en la cual se encuentre trabajando el desarrollo realizado. Para ello hemos utilizado el LM336BDG4-2-5, un integrado el cual posee una compensación intrínseca para mantener la referencia en el valor deseado según un divisor resistivo interno al mismo.

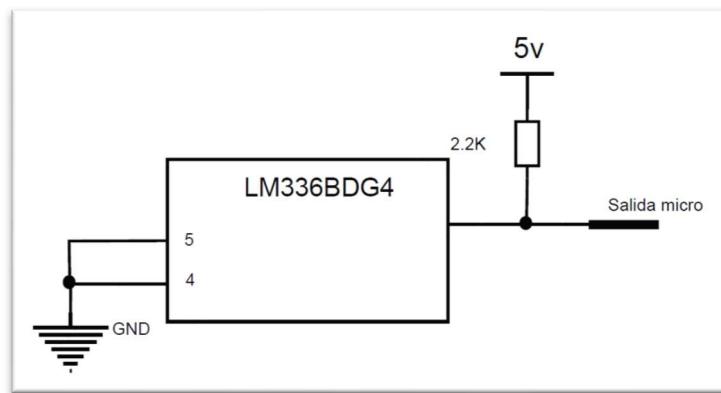


Ilustración 47. Referencia de tensión

3.2.11. Salida LED

Como buena práctica en el desarrollo de PCB prototipos, tal como es este caso, es recomendable agregar una salida a un led. Así se obtiene una salida extra.

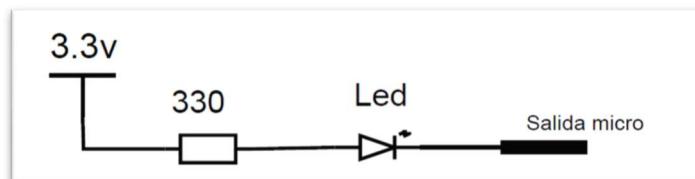


Ilustración 48. Salida led

3.2.12. Microcontrolador

El microcontrolador como antes mencionado fue el dsPIC33FJ128, en su datasheet, se da una serie de recomendaciones para su correcto funcionamiento.

- Capacitores de desacoplamiento.
 - Capacitor cerámico de $0.1\mu F$ teniendo un bajo ESR (resistencia serie equivalente) y tener una frecuencia de resonancia de 20MHz o superior.
 - Los condensadores de desacoplamiento deben colocarse lo más cerca posible a los pines del microcontrolador, se recomienda a menos de 6mm.

- Capacitor de entre $0.01\mu F$ a $0.001\mu F$, en este caso se eligió un capacitor cerámico de $0.001\mu F$, con ESR bajo, con el fin de una mayor aislación a de ruidos en alta frecuencia (superior a decenas de MHz) en paralelo.
- Capacitor de filtro lógico (VCap).
 - Capacitor de tantalio de $0.001\mu F$.
 - El condensador debe colocarse lo más cerca posible a los pines del microcontrolador, se recomienda a menos de 6mm.
 - Se incluyó un capacitor extra cerámico de $0.1\mu F$ teniendo un bajo ESR por recomendación de nuestro director de proyecto, quien cuenta con experiencia sobre el uso de este microcontrolador.
- Master Clean (MCLR). Ejemplo en el datasheet.
 - $R1 \leq 10k\Omega$
 - $R2 \leq 470\Omega$ para limitar la corriente en el MCLR
 - C si bien no se especifica en el datasheet por recomendación del director de proyecto se tomó $0.1\mu F$.
- Oscilador externo.
 - Dentro de los cristales recomendados se encuentra ECS-100-20-5G3X de 10MHz de montaje superficial.
 - Se recomienda, además, colocar 2 capacitores en los bornes del cristal contra masa de $20\text{ p}\mu F$

Circuito del oscilador

Para el desarrollo de la frecuencia patrón empleada por el microcontrolador para su funcionamiento hemos utilizado un oscilador de cristal de cuarzo dada su estabilidad y precisión a la hora de la resonancia de este elemento.

En nuestro caso, hemos analizado los posibles osciladores que recomendaba el fabricante del microcontrolador, de manera de no obtener desperfectos a la hora de interacción de ambos elementos. Es así que se decidió incorporado un oscilador de 10 MHz tipo XTAL, con dos pequeños capacitores para mejorar la estabilidad de las oscilaciones del elemento.

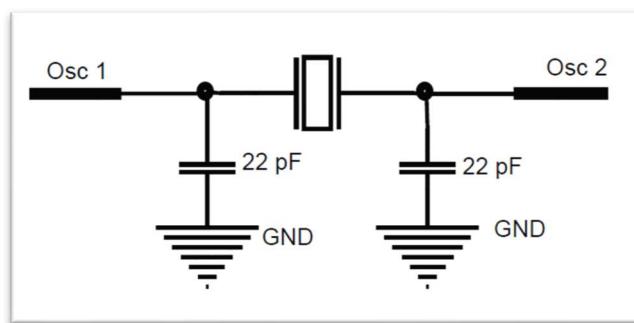


Ilustración 49. Conexión del cristal.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Conexiones del microcontrolador

En la siguiente tabla se muestra el pin-out del microcontrolador

Pin	Descripción	Función
1	RB9	Salida anemometro
2	RC6	Salida Rele4
3	RC7	Salida Rele3
4	RC8	Salida Rele2
5	RC9	Salida Rele1
6	VSS	GND
7	VCAP	
8	PGD2	HMI
9	PGC2	HMI
10	DAC1RP	Salida DAC +
11	DAC1RN	Salida DAC -
12	RA10	Salida4 Variador
13	RA7	Salida Rele3
14	RB14	Salida1 Variador
15	RB15	Salida2 Variador
16	AVSS	GND
17	AVDD	3.3v
18	MCLR	
19	Vref+	Referencia ADC
20	DGND	
21	RB0	TXA_GPS/
22	RB1	RXA_GRP
23	RP2	USB_TX
24	RP3	RXA_RS232
25	AN6	Entrada analogica
26	RP17	USB_RX
27	RC2	Parada emergencia
28	VDD	3.3v
29	VSS	GND
30	OSC1	
31	OSC2	
32	RA8	HMI_S/L
33	RP4	TX_RS232
34	RA4	Salida led
35	RA9	End/Stop 1
36	RC3	Salida fase A del encoder 2
37	RC4	Salida fase B del encoder 2
38	RC5	Salida fase Z del encoder 2
39	VSS	GND
40	VDD	3.3v
41	RB5	End/Stop 2
42	RB6	Salida fase A del encoder 1
43	RB7	Salida fase B del encoder 1
44	RB8	Salida fase Z del encoder 1

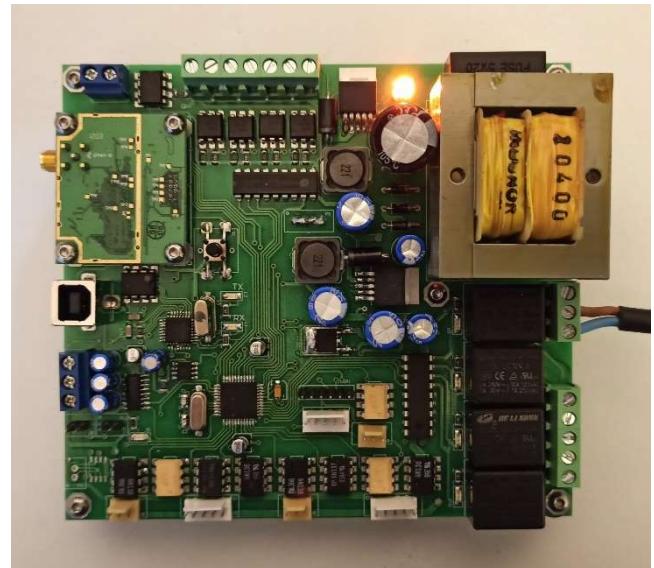
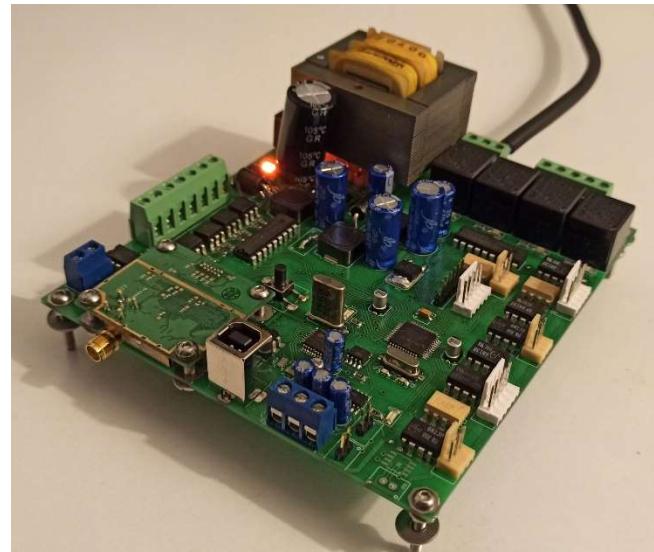
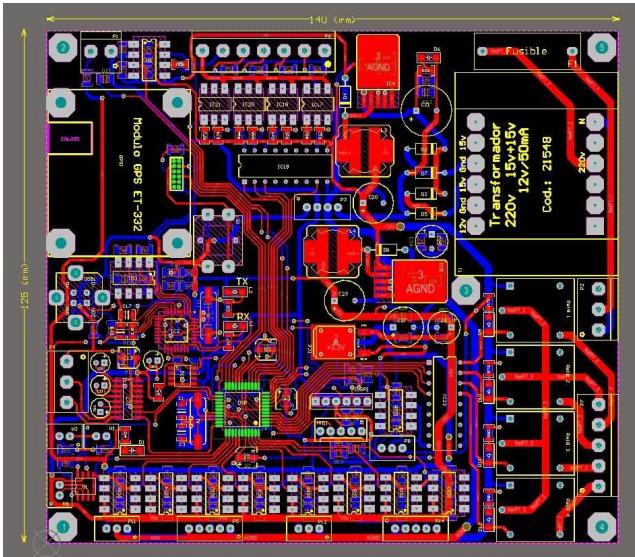


I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

3.2.13. Imágenes finales del PCB

El PCB fue fabricado por Ernesto Mayer S.A. siguiendo los siguientes requerimientos:

Tipo	Doble/PTH
Material	FR4 DF1.6mm
Tamaño	140 x 125 mm
Terminaciones	SRLC/SRLS/ICLC/ICLS/SnPb





3.3. Desarrollo del firmware

Dado que se ha utilizado en la placa de control un dsPIC33FJ64GP804, chip del fabricante Microchip Technology Inc. ®, se optó por el entorno de desarrollo *MPLAB® X Integrated Development Environment IDE*, este se trata de un entorno común para todos los microcontroladores fabricados por la empresa y permite manejar varios compiladores. En nuestro caso, se utilizó un compilador de 16 bits también proporcionado por Microchip (*MPLAB XC16 Compiler*).

Con el fin de proporcionar una explicación más rápida y sencilla del firmware del microcontrolador, utilizaremos diagramas de flujo simplificados. En caso de requerir más información, adjuntaremos en el Anexo A los diagramas de flujo más detallados correspondientes a cada etapa descrita a continuación.

3.3.1. Inicialización

Luego de que se energiza el equipo, se realiza, en primer lugar, la configuración inicial del clock del microcontrolador, los pines IO, las interrupciones y se inicializa la UART. Una vez que se configura todo, es necesario realizar una tarea más antes de comenzar con la etapa de ejecución. Debido a que, en esta implementación, estamos utilizando encoders del tipo incrementales, cuando se des energiza el controlador se pierde la posición absoluta en la que se encuentra el radiotelescopio por lo que es necesario realizar un proceso de calibración de los ángulos de cada encoder. Además, se aprovecha este proceso para colocar el radiotelescopio en una posición que denominaremos “Home” desde la cual consideramos que se hace más cómodo comenzar el proceso de ejecución.

Este proceso de calibración se lleva a cabo mediante el accionamiento de los motores hasta que se detecte, en cada caso, el sensor magnético instalado en la antena. Luego de igualar, en cada dirección, el valor del Angulo medido por el encoder con el valor del ángulo absoluto en donde sabemos que se encuentra el sensor, se procederá a efectuar un movimiento en el sentido contrario de manera de posicionar el radiotelescopio en la posición de Home (180° en azimut y 90° en elevación). Terminada la rutina de calibración, se dejará el radiotelescopio en un estado denominado *sleep* a la espera de nuevos comandos para realizar el accionamiento de los motores, pudiendo comenzar con la etapa de ejecución. Podremos categorizar dos posibles modos de funcionamiento del sistema, el modo Tracking y el modo Manual.

Comentario: Recordar que, según el protocolo de comunicación desarrollado, el microcontrolador aguardará en todo momento comandos para efectuar acciones luego de la rutina de inicialización.

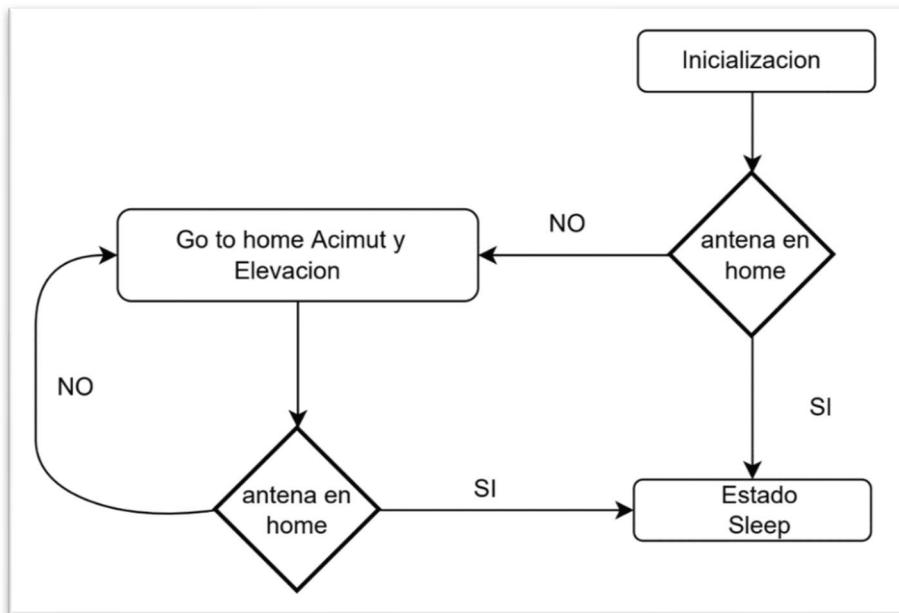


Ilustración 50. Diagrama de flujo de la inicialización del microcontrolador.

3.3.2. Tracking

Una vez que finaliza la inicialización y la posición del radiotelescopio se encuentra calibrada es posible habilitar la funcionalidad de tracking desde la aplicación. Este modo funciona debido a que el firmware posee un estado de Tracking. Cuando el microcontrolador recibe un comando de este tipo con los ángulos en azimut y elevación en el que se debe posicionar el radiotelescopio, se accionan los motores. Ya que los motores son independientes, se pueden posicionar individualmente sin problema.

Cuando el valor absoluto de la diferencia entre el ángulo medido por el encoder y el ángulo de destino es menor a la resolución establecida se detiene el movimiento en esa dirección. Cuando el radiotelescopio se encuentra en la posición requerida se pone el microcontrolador en estado Sleep a la espera de un nuevo comando de tracking.

En el caso que se reciba un nuevo comando de Tracking antes que la antena llegue a la posición de destino se actualizan los valores de los ángulos de destino y los motores continúan moviéndose. Además, se agregó un timeout que permite frenar el movimiento en el caso que se tarde demasiado tiempo en llegar a destino.

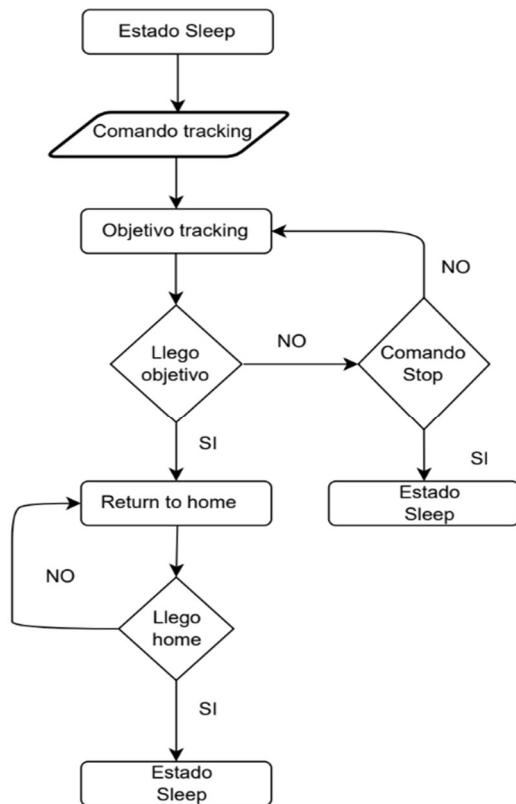


Ilustración 51. Diagrama de flujo del tracking

3.3.3. Comandos manuales

En el siguiente diagrama de flujo muestra como el sistema evolucionará ante la recepción de comandos manuales.

Considerando el funcionamiento del sistema y la naturaleza de nuestra aplicación, más específicamente su alta probabilidad de inversión de sentido de giro en un lapso pequeño de tiempo, se vuelve necesario agregar una protección para el motor. Esta situación ha sido contemplada, de manera que, al accionar la inversión de rotación, se incorporó un retraso en la ejecución del mismo de tres segundos para no producir sobrecarga al motor.

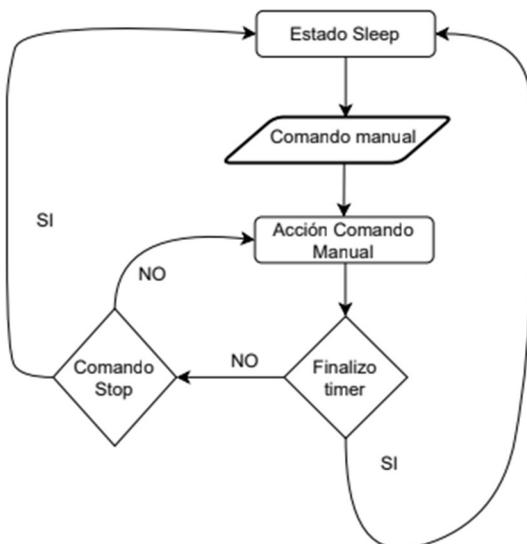
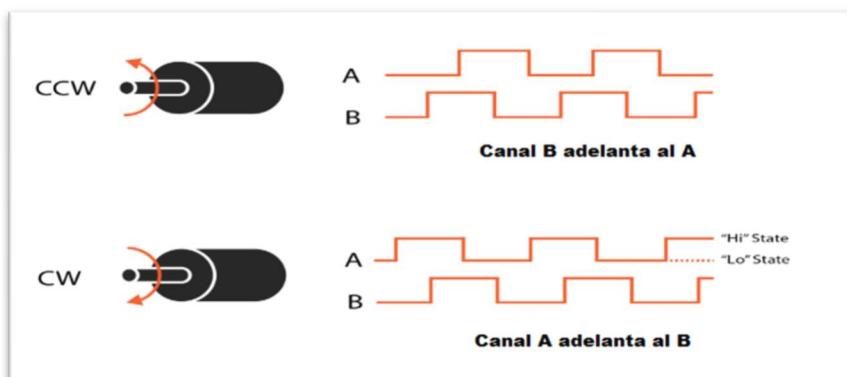


Ilustración 52..Diagrama de flujo de los comandos manuales

3.3.4. Como se obtiene la posición actual del radiotelescopio

Si recordamos cómo funcionan los encoders incrementales:



Una vez que los sensores han sido calibrados, podemos determinar constantemente la posición del radiotelescopio mediante una lectura continua de los pines del microcontrolador que están conectados a los encoders. Si se detecta un pulso en el pin correspondiente a la señal A antes que en el pin correspondiente a la señal B, se resta ese pulso al ángulo almacenado. Por otro lado, si el pulso en A ocurre después del pulso en B, se suma ese pulso al ángulo. Esta lectura continua se realiza mediante interrupciones. Cada vez que alguno de los pines cambia de valor se ejecuta una interrupción y es posible interpretar el movimiento.

De la misma manera, se ejecutará una interrupción cada vez que cambien de valor los pines del microcontrolador correspondiente a los sensores de fin de carrera y al botón de emergencia.

Teniendo en cuenta esta funcionalidad de la implementación es que nos damos cuenta la importancia de realizar una correcta calibración de la posición en el proceso de inicialización. Los encoders se calibrarán, además, cada vez que se detecte que el radiotelescopio se encuentra en los sensores de fin de carrera.

3.3.5. Como se accionan los motores

Para el posicionamiento disponemos de dos motores, los cuales serán comandados con las siguientes características:

- **Motor monofásico:** Dado que disponemos de un juego de contactores para determinar el sentido de movimiento se ha optado por desarrollar un control ON/OFF utilizando 3 salidas digitales a rele del microcontrolador. El mismo funciona de manera que si el valor de posición actual de la antena no es la posición de referencia almacenada el control accionará el motor de manera de llevar dicho ángulo a la referencia. Uno de los pines funcionara accionando un contactor común mientras que los otros dos corresponderán al movimiento en clockwise y counter-clockwise. Existe una banda muerta respecto a la posición de referencia



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

sobre la cual no efectuaremos ninguna accionar sobre el motor, esta queda definida como $Pos_{Ref} \pm 0.4^\circ$.

- Motor trifásico: El mismo se controla con el variador **ATV28HU09M2U** mediante comandos digitales utilizando dos pines de salida del microcontrolador. Se realizará un control básico ON/OFF por lo que la activación de uno de los pines corresponderá al movimiento hacia arriba mientras que el otro moverá el radiotelescopio hacia abajo. La banda muerta en este ángulo quedó definida en gran por la resolución actual en la posición del mismo, siendo esta de $Pos_{Ref} \pm 1^\circ$.

Comentario: *La implementación de un control más sofisticado pareció una pérdida de tiempo dado que tenemos presente un sistema con una dinámica muy lenta. Primero por la inercia de la antena y segundo por la poca variación entre las referencias del tracking, según lo observado en los datos obtenidos, las cuales son de decimas de grados con intervalos de tiempos de un minuto.*

4. Instalación y Puesta en Marcha

Como ya se mencionó en apartados anteriores el equipo de control desarrollado se instaló en el Grupo de Experimentación Innovativa e Instrumental (GEII) ya que es ahí donde ya se encontraba instalado el radiotelescopio.



Debido a que este se trata de un proyecto de actualización, es importante explicar, en primera instancia, como es el sistema que se encontró instalado durante el relevamiento.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

Este se trataba de un sistema de movimiento manual controlado desde una PC. La aplicación disponía de la opción de realizar un proceso de tracking utilizando reconocimiento de imagen con una cámara ubicada en el foco del radiotelescopio pero en el momento en que se realizó el relevamiento esta cámara no se encontraba instalada por lo que esta opción estaba deshabilitada.

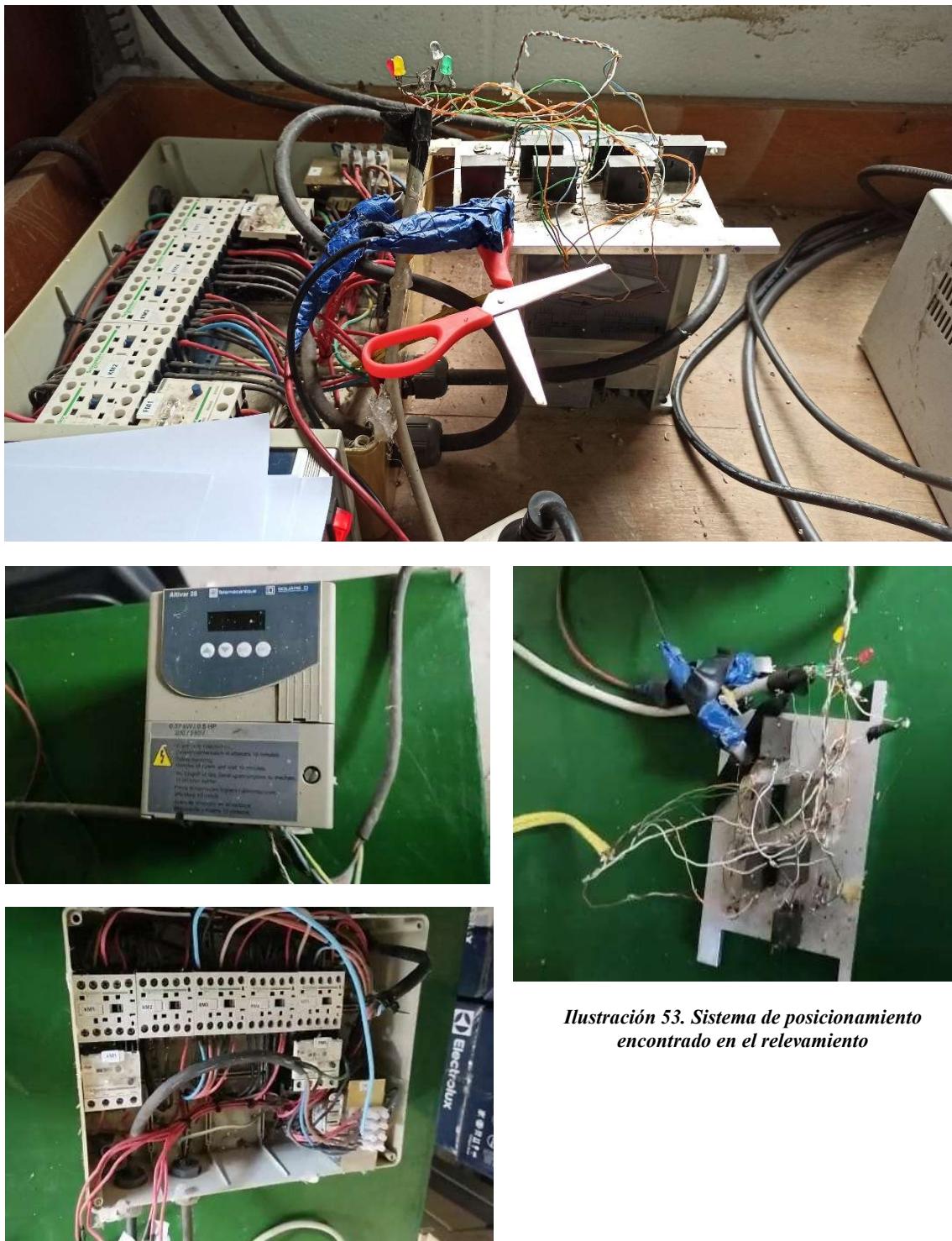
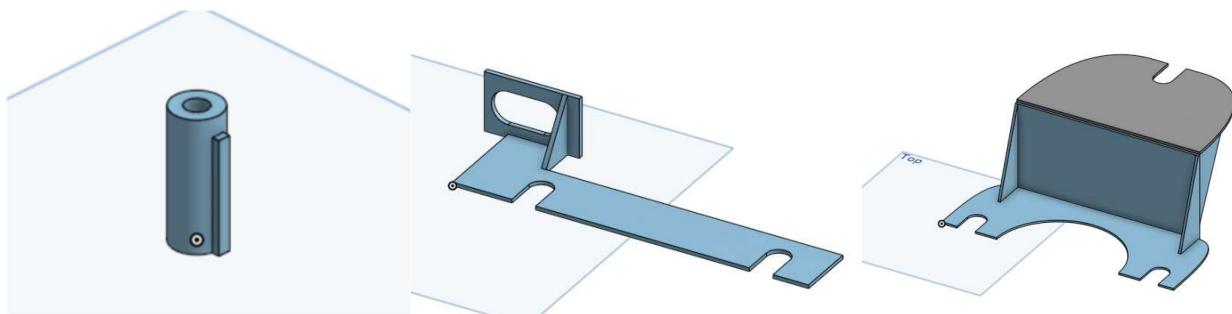


Ilustración 53. Sistema de posicionamiento encontrado en el relevamiento

Del sistema anterior reutilizamos (además de la estructura del radiotelescopio, los motores y reductores que ya se encontraban instalados) 3 de los contactores, uno de los guardamotores, el variador de velocidad y el transformador 220-24V necesario para alimentar los contactores.

4.1. Instalación

En primer lugar, y luego de relevar algunas medidas, se diseñaron e imprimieron en 3D (PLA) los soportes para los 4 sensores y se procedió a instalarlos en la estructura del radiotelescopio.



Comentario: Algunos soportes adicionales como por ejemplo el soporte para el encoder de elevación ya se encontraban fabricados por lo que no fue necesario su diseño e impresión.

Para extender los cables hasta la cabina donde se ubicará el sistema de control, se ha elegido emplear cables del tipo FTP mallados con el objetivo de minimizar al máximo el ruido eléctrico generado por los motores que coexisten en el entorno. Además, se ha optado por enrutamiento separado de los cables de potencia, asegurando que no se produzca interferencia alguna en las mediciones realizadas por los sensores.

Con respecto al sistema de control, y manteniendo el propósito de minimizar el posible ruido eléctrico que pudiera generarse en el dispositivo de control, se tomó la decisión de emplear dos cajas estancas. En una de ellas se instaló el circuito de potencia del sistema, mientras que la otra fue destinada exclusivamente para albergar la placa de control. La conexión de ambas partes y el circuito de potencia se encuentran detallados en el diagrama eléctrico presentado en el anexo C.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital
Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

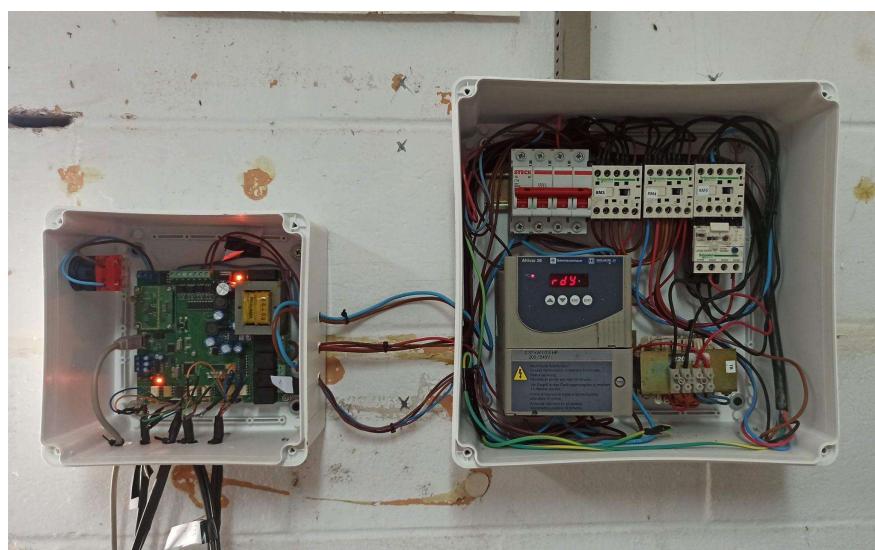
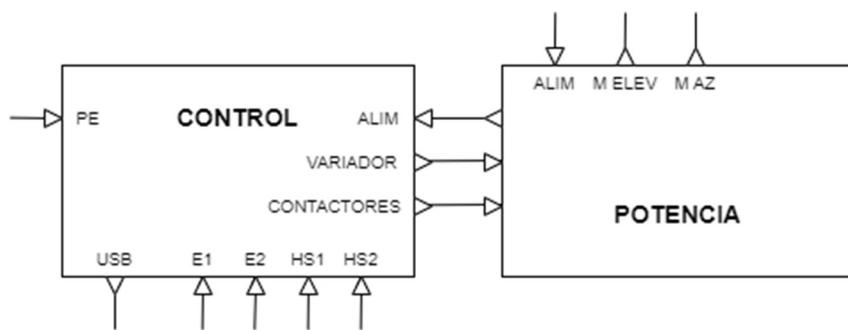


Ilustración 54. Nuevo sistema de posicionamiento y tracking instalado

Comentario: En este apartado no se habla de la instalación de la aplicación desarrollada para controlar el equipo desde la PC ya que ese tema será abordado de forma diferenciada. Tener en cuenta que esta implementación admite el uso de cualquier PC o Notebook en donde la aplicación se



5. Etapas de funcionamiento general

5.1. Inicialización

Al energizar la Unidad Central de Proceso e iniciar la aplicación de PC se establecerá automáticamente la comunicación microcontrolador – PC. En el caso que no sea posible establecer la comunicación se avisará al usuario por medio del log y la interfaz visual desarrollada. Se obtendrá la ubicación geográfica del radiotelescopio guardada en la memoria del microcontrolador y se dispondrá de la misma en la aplicación.

En este momento la aplicación solo permitirá ejecutar comandos manuales. Para desbloquear la funcionalidad de tracking es necesario comenzar el proceso de calibración por el cual el radiotelescopio se ubicará en la posición establecida como Home. Una vez en esa posición se habilitará el ingreso de datos para comenzar la medición correspondiente finalizando con la etapa de “inicialización”.

5.2. Obtención de datos de seguimiento

Para poder realizar un proceso de tracking de un objetivo en concreto es necesario cargar en la aplicación un archivo con los datos de posición que tendrá ese objetivo en un lapso de tiempo determinado. Para obtener este archivo se utiliza la aplicación web JPL Horizons.

El archivo que se obtiene siempre tendrá este estilo:

```
*****
Date_(ZONE)_HR:MN      Azi____(a-app)____Elev
*****
$SOE
2023-Feb-16 00:00      205.111826 -41.038321
2023-Feb-16 00:05      203.594098 -41.471906
2023-Feb-16 00:10      202.053876 -41.879853
2023-Feb-16 00:15      200.491990 -42.261496
2023-Feb-16 00:20      198.909399 -42.616191
2023-Feb-16 00:25      197.307189 -42.943319
2023-Feb-16 00:30      195.686575 -43.242294
2023-Feb-16 00:35      194.048896 -43.512568
2023-Feb-16 00:40      192.395614 -43.753629
2023-Feb-16 00:45      190.728300 -43.965015
2023-Feb-16 00:50      189.048636 -44.146310
2023-Feb-16 00:55      187.358398 -44.297151
2023-Feb-16 01:00      185.659445 -44.417233
2023-Feb-16 01:05      183.953707 -44.506311
2023-Feb-16 01:10      182.243172 -44.564199
2023-Feb-16 01:15      180.529865 -44.590777
2023-Feb-16 01:20      178.815837 -44.585990
```

El instructivo acerca de como obtener este archivo en JPL Horizons se encuentra desarrollado en el Anexo B.



5.3. Carga de datos para tracking

Finalizada la etapa de “inicialización” la aplicación quedará disponible al usuario para proceder a realizar las maniobras deseadas. Si se quisiera realizar seguimiento automático debe primero cargarse el archivo de posicionamiento obtenido vía JPL. En caso de que los datos ingresados sean válidos se enviarán al microcontrolador, cuando se encuentre coincidencia con los intervalos de tiempo que el mismo contiene y se dará paso a la etapa de “seguimiento” bloqueando comandos manuales en la aplicación. Se permitirá, en todo momento, interrumpir, reanudar y terminar el envío de datos a la placa de control, como también detener el movimiento de los motores con la parada global del sistema utilizando un botón disponible en la aplicación o de manera física en el tablero.

5.4. Tracking

Cuando se inicia el proceso de tracking, la aplicación para PC desarrollada estará continuamente recorriendo el archivo cargado y comparando la fecha y hora actual con la fecha y hora correspondiente a cada dato en el archivo. Cuando se genera una coincidencia entre las dos, se envía un comando de tracking al microcontrolador que contenga los ángulos de acimut y elevación del dato correspondiente. Como ya se explicó en puntos anteriores, el microcontrolador recibirá ese dato y accionará los motores hasta que el radiotelescopio se encuentre en la posición objetivo. Es así que la antena podrá posicionarse en el lugar correspondiente en cada instante de tiempo establecido para realizar un correcto seguimiento del objetivo seleccionado.

Si no se recibieran datos desde la computadora por un intervalo de tiempo determinado se enviará a la antena a la posición de reposo y se dejará al sistema a la espera de nuevos datos o maniobras.

5.5. Manual para el usuario

En la pantalla principal de la aplicación se muestra una descripción del proyecto realizado, una imagen de la antena a controlar y otra de los integrantes proyectos



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)



Ilustración 53. Vista de la aplicación de PC

La aplicación cuenta con una barra de navegación en la parte lateral izquierda, la cual permite alternar entre las diferentes vistas de la aplicación. Para generar una ampliación y obtener más detalle del tipo de vista, basta con clickear el elemento \equiv del mismo.

La vista por defecto será la de **Home**, siendo ésta una vista con un fin informativo, en la cual se comenta muy brevemente en que consiste el sistema desarrollado.

Por otro lado, si se seleccionase la vista de **Antena**, se procederá a visualizar la parte de comando y posicionamiento del sistema. En esta podremos cargar la información de los ángulos de referencia, realizar maniobras sobre la antena, obtener información del posicionamiento efectuado y obtener una visualización del estado de comunicación y operación del sistema. Ver la Figura 53.

Esta vista resume en forma de indicadores visuales el estado de operación, la conectividad entre la aplicación y la placa de control, el estado de las comunicaciones. Los posibles estados son:

- Gris: Estado no operativo o sin actividad.
- Verde: Estado operativo o funcionamiento correcto
- Naranja: Advertencia relacionada indicador o Interrupción del estado de operación
- Rojo: Problema relacionado con la finalidad del indicador

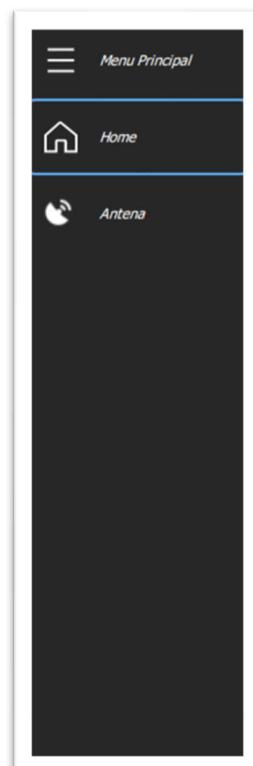


Ilustración 54. Vista del Menú



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)



Ilustración 56

Además de los indicadores visuales se escribirá en la ventana de log el error asociado a dicho cambio en el indicador, de forma de dar una mayor información al respecto.

Control y Operativa de la Antena

Previo a realizar la operación de la antena es necesario realizar una calibración de la antena para poder tomar una posición de referencia y establecer en base a la misma una posición estratégica de donde comenzarán los movimientos, como también delimitar los ángulos de movimientos seguros del sistema. Esto se obtiene mediante un envío de calibración con el botón “Calibrar” que puede verse en la *Figura 56*.

Para realizar la operación de la antena de forma automática, basta con cargar el archivo obtenido a través de JPL Horizons en la aplicación clickeando el botón de inicio de tracking mostrado en la Figura 54. Una vez realizado esto, se abrirá la ventana interactiva de Windows, la cual solicitará el ingreso del archivo de extensión “.txt” con los datos angulares.



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)



Ilustración 57.

Si el ingreso de datos fue exitoso, se logeará en la sección de log de la ventana un mensaje de la aplicación y se animará el indicador de “Tracking” en color verde para indicar el modo de operación actual, como se muestra en la *Figura 58*

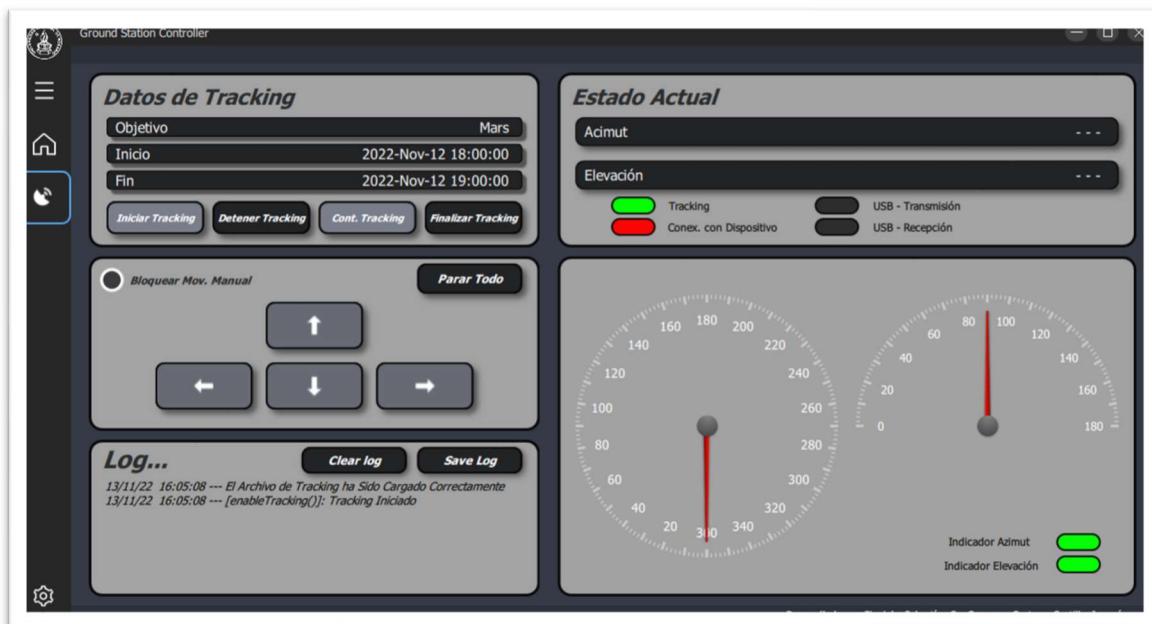


Ilustración 58

Una vez que se entre en el estado de tracking, se bloquearán los comandos manuales de la antena, de forma de no provocar desperfecto y alterar el posicionamiento automático de la misma. Si fuera necesario realizar alguna maniobra de emergencia se permite detener el envío de datos con el botón “*Detener Tracking*” y se habilitarán los movimientos manuales luego de esto. Por otro lado, si se quisiese realizar un frenado global de movimientos por alguna emergencia, esto puede realizarse con el botón “*Parar todo*”. La acción de dicho evento es detener el envío de comandos hacia el sistema de



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)

control, como realizar un envío de frenado de ambos motores. Dicho estado de operación se muestra aquí debajo en la Figura 59



Ilustración 60

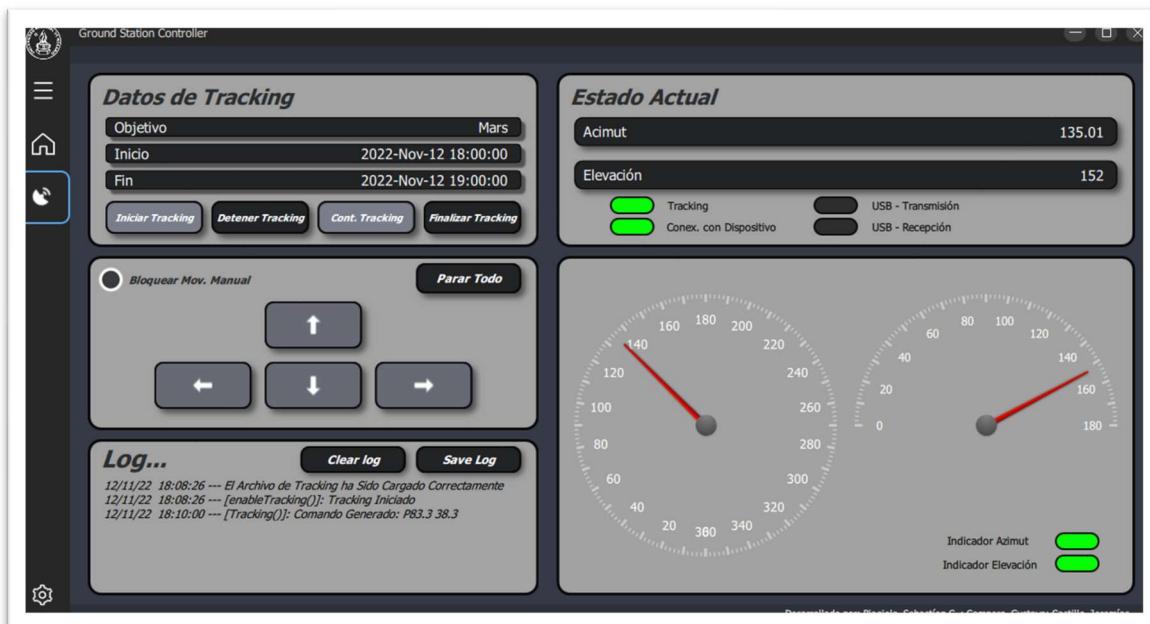
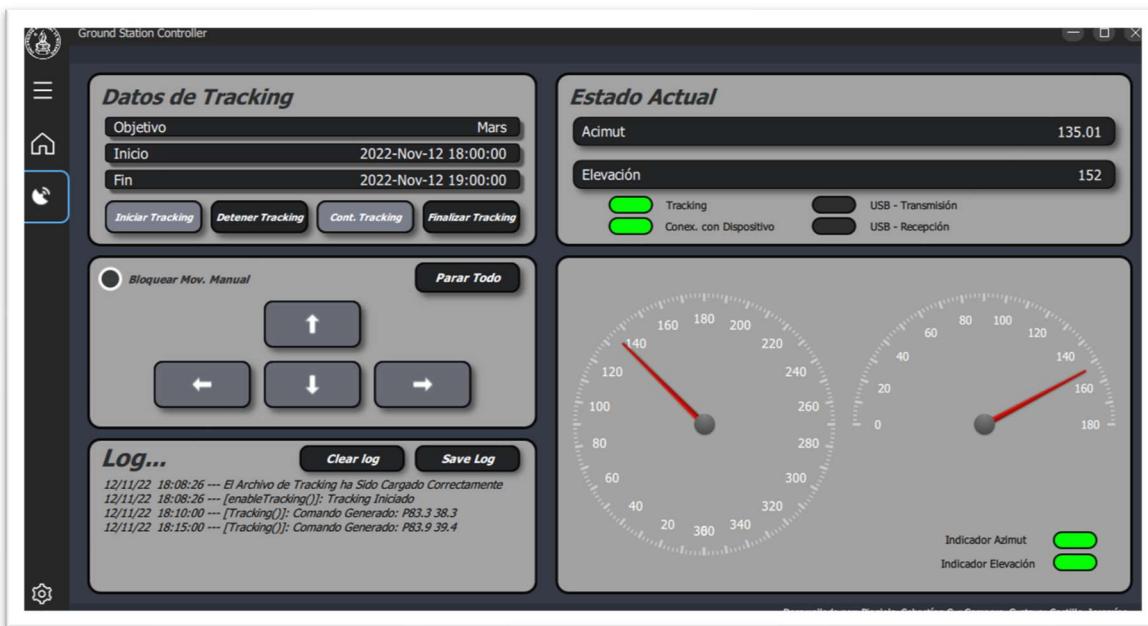


Ilustración 59

En estado de operación normal, una vez que se encuentre una coincidencia entre la estampa de tiempo de la referencia en el archivo de texto cargado y la hora de la máquina host se procederá a realizar el envío de dicha consigna. Este estado puede visualizarse en la Figura 60 y Figura 61



I+D Sistema de Posicionamiento / Tracking para Antena Satelital Facultad de Ciencias Exactas, Agrimensura e Ingeniería (F.C.E.I.A)



6. Ensayos.

A lo largo del proyecto hemos realizado los siguientes ensayos para poder ir concretando y cerrando las diferentes etapas de este.

- Circuitos independientes sin conexión.
 - Etapas de alimentaciones
 - Salidas optoacopladas hacia contactores.
 - Salida optoacopladas hacia variador de velocidad.
 - Entradas de sensores optoacopladas.
 - Entrada de Parada de emergencia.
 - Testeo de comunicación serie USB
- Testeo de contactores sin carga
- Testeo de contactores con carga
- Testeo de variador de velocidad con carga
- Testeo de lectura de sensores

Ilustración 61

- Testeo de aplicación
- Testeo de movimientos manuales
- Calibración
- Tracking con ruta predefinida
- Tracking con datos reales obtenidos de JPL Horizons



7. Mejoras.

En el marco de establecer el marco para futuras mejoras a este proyecto, sugeriremos alguna de ellas.

7.1. Mejora Hardware externo

Para el desarrollo del proyecto contamos para el control con:

- Un motor monofásico el cual no se puede modificar su velocidad, solo su sentido de rotación, lo cual disminuye la posibilidad del control.
- Un motor trifásico. Si bien tiene un variador para controlar su posición, el cual funciona muy bien, carece de una pequeña reducción la cual portaría una mayor precisión de su movimiento.

Para nuestra implementación, por el lento movimiento de los cuerpos celestes, no es necesaria aplicar ninguna de estas mejoras. Pero al cambiar el objeto a seguir, como puede ser el control de un láser con coordenadas horizontales, se necesita un mejor motor.