



# Telemetría y posicionamiento de antena para interferometría

Autor:  
Valdez Gastón

Director:  
Elias Fliger (IAR)

Codirector:  
Guillermo Gancio (IAR)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 1 de marzo de 2022 y el 18 de junio de 2021.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
3. Propósito del proyecto . . . . .	7
4. Alcance del proyecto . . . . .	7
5. Supuestos del proyecto. . . . .	8
6. Requerimientos . . . . .	8
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	9
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	12
11. Diagrama de Gantt . . . . .	14
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	14
13. Gestión de riesgos . . . . .	15
14. Gestión de la calidad . . . . .	17
15. Procesos de cierre . . . . .	18

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	1 de marzo de 2022
1	Corrección de las secciones 1 a 6 Se completa hasta el punto 9 sin las historias de usuario	22 de marzo del 2022

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 1 de marzo de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Valdez Gastón que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Telemetría y posicionamiento de antena para interferometría”, consistirá en la implementación de un sistema de posicionamiento y telemetría de una antena de plato parabólico y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 800 hs de trabajo, con fecha de inicio 1 de marzo de 2022 y fecha de presentación pública 15 de mayo de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Responsable del área de electrónica  
Instituto Argentino de Radioastronomía

Elias Fliger  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El presente proyecto, se realiza en el Instituto Argentino de Radioastronomía. El mismo se dedica a la observación del espacio mediante ondas de radio, esta técnica de observación se denomina radioastronomía. En este trabajo se realiza un sistema de posicionamiento y telemetría para una antena parabólica de 5 m de diámetro la cual forma parte de un interferómetro. Este proyecto es un subsistema del proyecto principal, denominado Interferómetro MIA (Multipurpose Interferometric Array) y Estación Terrena, dentro de la institución. La antena perteneciente a la estación terrena es idéntica a la del interferómetro.



Figura 1. Antena en proceso de construcción para interferómetro MIA

En el caso del interferómetro, se trata de una nueva tecnología hasta ahora inexistente en el observatorio y permitiría incrementar la capacidad científica, tecnológica y observacional del Instituto; mientras que la estación terrena, permitirá establecer enlaces de comunicación con pequeños satélites como parte de las actividades del IAR en el segmento aeroespacial.

Actualmente el posicionador que se ha desarrollado se encuentra instalado pero tiene la limitación de funcionar con un solo programa (Gpredict), y no puede realizar el seguimiento de radiofuentes. A este software se deben agregar estas radiofuentes, o adicionarle la comunicación con otro software de seguimiento, para que funcione, y es de operación manual. Actualmente sigue en estado de prototipo.

Se desea realizar un nuevo posicionador sin las limitaciones que posee el prototipo mencionado en el párrafo anterior. En este posicionador se busca que los scripts desarrollados para el manejo de las antenas principales estén embebidos en el sistema y se comuniquen con los programas Gpredict y Stellarium. Se desea agregar escalabilidad al software para que si se desea adicionar otro programa (por ejemplo Orbitron), el software se pueda escalar fácilmente.

El sistema de apuntamiento, debe realizar el seguimiento automático (de posición astronómica) de los puntos del cielo, ya sean satélites o radiofuentes. En el caso de no realizar seguimientos, debe permanecer en la posición denominada cenit. En este caso, el sistema debe estar a lazo cerrado todo el tiempo, siguiendo una referencia, que viene dada por una computadora/software,

dentro de ciertos márgenes. Adicionalmente, al estar en un lugar remoto dentro del organismo, debe poseer telemetría, ya que pueden existir condiciones climáticas adversas en las cuales la antena no podría operarse (por ejemplo, viento, granizo, ya que en estos casos, la antena actúa como una vela de barco). En la Figura 3 se presenta el diagrama en bloques del sistema a realizar.

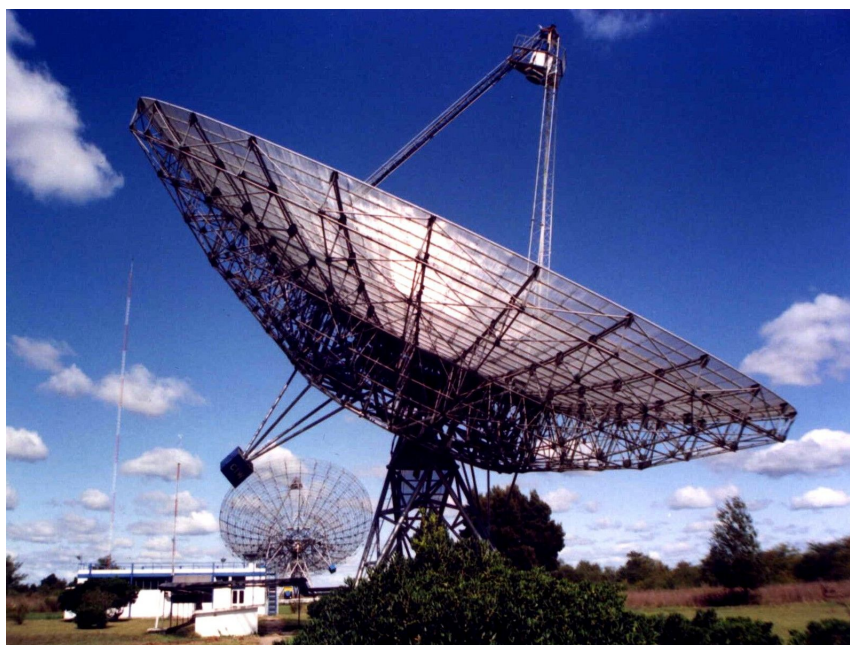


Figura 2. Antenas principales del IAR

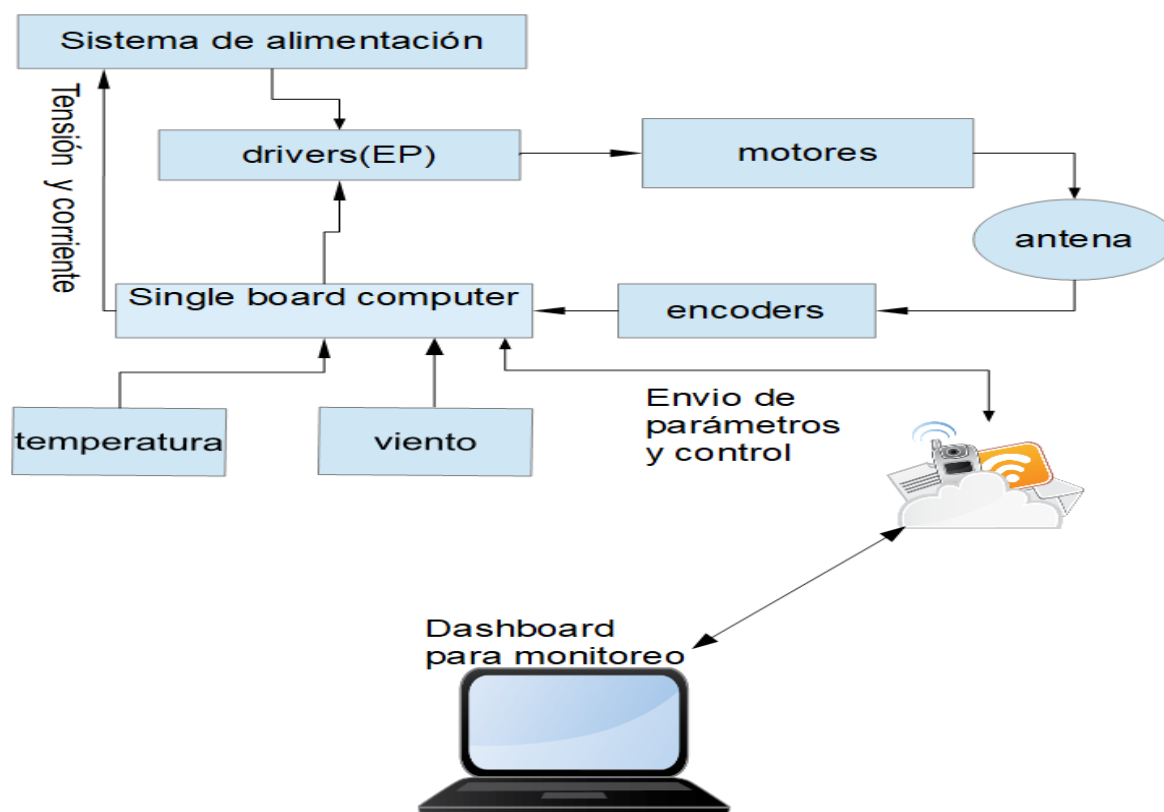


Figura 3. Diagrama en bloques del sistema

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	-	-	-
Cliente	-	-	-
Impulsor	-	-	-
Responsable	Valdez Gastón	IAR	Ing desarrollo firmware/hardware
Colaboradores	Martín Salibe Guillermo Gancio	IAR IAR	Responsable de transferencia Responsable de observatorio
Orientador	Elias Fliger	IAR	Director Trabajo final
Equipo	Eliseo Diaz Matias Contreras	IAR	Responsables de fabricación de PCB y 3D
Opositores	-	-	-
Usuario final	Facundo Aquino	IAR	Operador de antena y diseñador PCB

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es realizar un sistema de apuntamiento para una antena (ver figura 1). Esta antena, debe ponerse en el cenit en caso de no realizar ningún tipo de seguimiento, ya que este punto es el de equilibrio mecánico. Una vez finalizado este desarrollo, se lo replicará en otras tres antenas de iguales características.

## 4. Alcance del proyecto

El proyecto tendrá el siguiente alcance:

- Desarrollo de firmware/software/hardware para realizar el movimiento de los motores de posición.
- Documentación de software/firmware/hardware por separado.
- Desarrollo del protocolo de comunicación entre encoders y PC.
- Integración del producto con el sistema mecánico de movimiento.
- Planes de testing para software y hardware.

El proyecto no contempla aspectos relacionados a la seguridad de la información, y a la selección de los motores para el posicionamiento.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo se supone que se tiene acceso a los siguientes items:

- Máquina con sistema operativo linux o similar.
- Los recursos de hardware y software se proveen por la institución, así como su documentación.
- Se tiene acceso a los desarrollos previos realizados para el control de la antena.
- El sistema mecánico se debe armar antes de octubre/noviembre 2022, que esta a cargo del departamento de mecánica. En caso de no realizarse, se verá la forma de simular en algún tipo de software.
- El proyecto está inmerso dentro de un plan estratégico dentro de la institución.
- Los componentes se encuentran en el mercado local, y en el caso de importarse, se realizará con la suficiente antelación.
- La estructura mecánica de movimiento de la antena estará lista antes de la finalización del presente proyecto.
- Existe disponibilidad para la utilización del router CNC para fabricar PCBs, en caso de que fuera necesario.
- El personal abocado al diseño mecánico realizará el trabajo en tiempo y forma.
- El proyecto se seguirá enmarcando dentro de un plan estratégico para la institución.
- No va a cambiar la prioridad del proyecto del personal asignado al mismo.

## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos funcionales

- 1.1. Debe tener un sistema de control de posición en dos ejes (azimuth y altura).
- 1.2. Debe poseer un Webserver embebido para monitoreo de variables ambientales e indicar su estado de operación (tracking, untracking, zenit, y calibrate).
- 1.3. Debe implementarse lecturas de posicionamiento, lecturas de viento, temperatura y potencia consumida por el mismo.
- 1.4. Debe conectarse a red local LAN, mediante cable ethernet RJ45.
- 1.5. Debe detener su funcionamiento cuando el viento sea superior a 50 km/h durante al menos 10 minutos y volver a su posición de equilibrio mecánico (cenit)
- 1.6. Debe tener un sistema de calibración a demanda por el operario de la antena.
- 1.7. El software se debe conectar con los programas Gpredict, Stelarium y el existente en el IAR para el manejo de las antenas principales.
- 1.8. El software debe manejar los periféricos del single board computer.
- 1.9. El software debe permitir la lectura de viento (velocidad en km/h), tensión , corriente en Ampere y posición angular (en grados) de la antena en ambos ejes.



- 1.10. El software realizará un reporte diario a las 5 AM con todos los datos almacenados en formato csv.
  - 1.11. En caso de adicionar otro programa distinto (Gpredict, stellarium o ya existente en el IAR) se debe actualizar el software del sistema posicionador.
  - 1.12. Solo puede realizar una operación de seguimiento. En caso de estar realizando el seguimiento de algún satélite/radiofuente, se le debe informar de dicha operación, y el operario tendrá que esperar que se termine la operación actual.
2. Requerimientos de documentación
    - 2.1. Debe seguir la numeración y formato de los documentos establecidos por el IAR.
    - 2.2. Documentación sobre protocolos de comunicación via ethernet y de los programas involucrados y trama de mensajes.
    - 2.3. Manual de operación de la antena para operarios.
    - 2.4. Manual de operación para actualización de software.
    - 2.5. Documentación de software y hardware.
    - 2.6. Manual de procedimientos de testing de software y hardware.
    - 2.7. Reporte de test de software y hardware.
    - 2.8. Descripción del sistema a la respuesta al escalón y función de transferencia
3. Requerimientos de interfaces
    - 3.1. Los encoders estarán alineados con los dos ejes principales de movimiento de la antena.
    - 3.2. Deberá utilizarse una red eléctrica para conectar el posicionador.
4. Requerimiento de testing
    - 4.1. Medir señal de control de posición de los motores.
    - 4.2. Webserver embebido, testing de señales sobre la placa con osciloscopio.
    - 4.3. Realizar el seguimiento de una radiofuente, e intentar realizar más de una conexión simultánea.
    - 4.4. Ver la señal de control mínima a partir de la cual los motores son capaces de mover la antena.
    - 4.5. Realizar experiencia de rebote lunar con stellarium (esto ya se ha realizado con anterioridad con las antenas principales de la institución). El objetivo es corroborar la calibración del mismo y la comunicación con el software.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

El criterio que se utiliza para evaluar la complejidad de las historias de usuarios (Story point) es el que sigue:

- Muy bajo: 1 punto
- Bajo: 2 puntos
- Medio: 3 puntos

- Alto: 4 puntos
- Muy alto: 5 puntos
  
- Debería tener telemetría para visualizar el estado de los instrumentos receptores
  - Medio: 4 puntos
- Debería poder moverse en forma gráfica
  - Alto: 4 puntos
- Mientras mayor control se tenga sobre la antena, mejor.
  - Muy alto: 5 puntos

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables principales del proyecto son:

- Manual de uso.
- Diagrama de circuitos esquemáticos si los hubiera.
- Código fuente del firmware.
- Manual de actualización del firmware.
- Manual de procedimientos de testing de software y hardware.
- Manual de operación de la antena.
- Descripción del sistema a la respuesta al escalón y función de transferencia (descripción breve con resultados relevantes).
- Informe final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Investigación preliminar (59 hs):
  - 1.1. Búsqueda bibliográfica sobre sistemas de coordenadas y control digital (5 hs).
  - 1.2. Investigación de sistemas de coordenadas astronómicas y su transformación matemática (10 hs).
  - 1.3. Selección del microcontrolador/single board computer y generación tabla comparativa (10 hs).
  - 1.4. Instalación de herramientas de desarrollo y documentación (8 hs).
  - 1.5. Estudio del manejo de periféricos de la placa seleccionada (15 hs).
  - 1.6. Análisis del hardware disponible en mercado local e internacional (8 hs).
  - 1.7. Primer informe de avance (3 hs).

2. Diagramas de software (34 hs):
  - 2.1. Diagrama de software para módulos de lectura de sensores (3 hs).
  - 2.2. Diagrama de software para el control de posición (5 hs).
  - 2.3. Diagrama de software para integración de lectura de sensores y control de posición (8 hs) .
  - 2.4. Creación de interfaz de usuario para el webserver embebido (4 hs).
  - 2.5. Creación de interfaz de usuario para el posicionamiento manual (4 hs).
  - 2.6. Diagrama de integración de los módulos de software (5 hs).
  - 2.7. Generación parcial de documentación de software y hardware (5 hs)
3. Desarrollo de software para lectura de sensores (53 hs) :
  - 3.1. Modulo de lectura del anemómetro (15 hs).
  - 3.2. Modulo de lectura de la tensión y corriente (10 hs).
  - 3.3. Módulo de lectura de encoders(10 hs).
  - 3.4. Módulo de armado de archivo csv y envío cada 24 hs de la telemetría (8hs).
  - 3.5. Testing de software y generación de informe parcial (8 hs).
  - 3.6. Informe de avance(2hs).
4. Desarrollo del control de posición (105 HS) :
  - 4.1. Desarrollo de herramientas de software/hardware para generar escalones de tensión y medir posición(30 hs).
  - 4.2. Generación de informe de respuesta al escalón(25 hs).
  - 4.3. Desarrollo del software de control digital (30 hs).
  - 4.4. Testing del control mediante simulación manual del encoder o sobre la antena(dependiendo de si se ha construido o no la antena)(10hs)
  - 4.5. Reporte de resultados del testing (10 hs).
5. Desarrollo del webserver (200 hs):
  - 5.1. Instalación del servidor web(30 hs).
  - 5.2. Creación del sistema de consulta de estado(25 hs).
  - 5.3. Programación del webserver con la interfaz(25 hs).
  - 5.4. Integración de interfaz con el control de posición y lectura de sensores(35 hs).
  - 5.5. Creación de API de consulta(30 hs).
  - 5.6. Generación de informe parcial de manual de operación de antena mediante webserver(20 hs).
  - 5.7. Generación parcial de documentación de software y hardware (10 hs).
6. Desarrollo de conexión con Gpredict, stellarium y scripts del IAR (58 hs)
  - 6.1. Modulo de software para conexión con Gpredict (8 hs)
  - 6.2. Módulo de software para conexión con Stellarium (20 hs)
  - 6.3. Módulo de software desarrollado en el IAR compatible con las antenas principales (25 hs).

- 6.4. Generación de documentación sobre protocolos de comunicación via ethernet y trama de mensajes (5 hs).
7. Módulo de actualización de software(70 hs)
  - 7.1. Desarrollo de módulo de actualización de software (30 hs).
  - 7.2. Testing de actualización de software (20 hs) .
  - 7.3. Manual de actualización de software (10 hs).
  - 7.4. Generación de documento sobre el software y hardware (10 hs).
8. Integración de los sistemas y ensamblado (169 hs):
  - 8.1. Ordenamiento de sistemas de información(3 hs).
  - 8.2. Integración de los módulos de software(39 hs)
  - 8.3. Construcción de plan de pruebas(3 hs).
  - 8.4. Desarrollo del plan de pruebas (24 hs).
  - 8.5. Generación de reporte del plan de pruebas y resultados(10 hs).
  - 8.6. Desarrollo de shield o escudo para la placa seleccionada (15 hs).
  - 8.7. Testing con operadores de antena del IAR (40 hs).
  - 8.8. Reporte de resultados de operadores de antena del IAR y posibles mejoras (30 hs).
  - 8.9. Montaje final en lugar de operación (5 hs).
9. Generación de documentación (95 hs)
  - 9.1. Completar la documentación de software y hardware (30 hs).
  - 9.2. Memoria técnica y construcción de diapositivas para presentación(40 hs).
  - 9.3. Reportes de resultados de observaciones y adjuntarlas como anexo al documento final(25 hs).

Cantidad total de horas : 843 hs

## 10. Diagrama de Activity On Node

Este es un diagrama de AoN para el curso de GdP

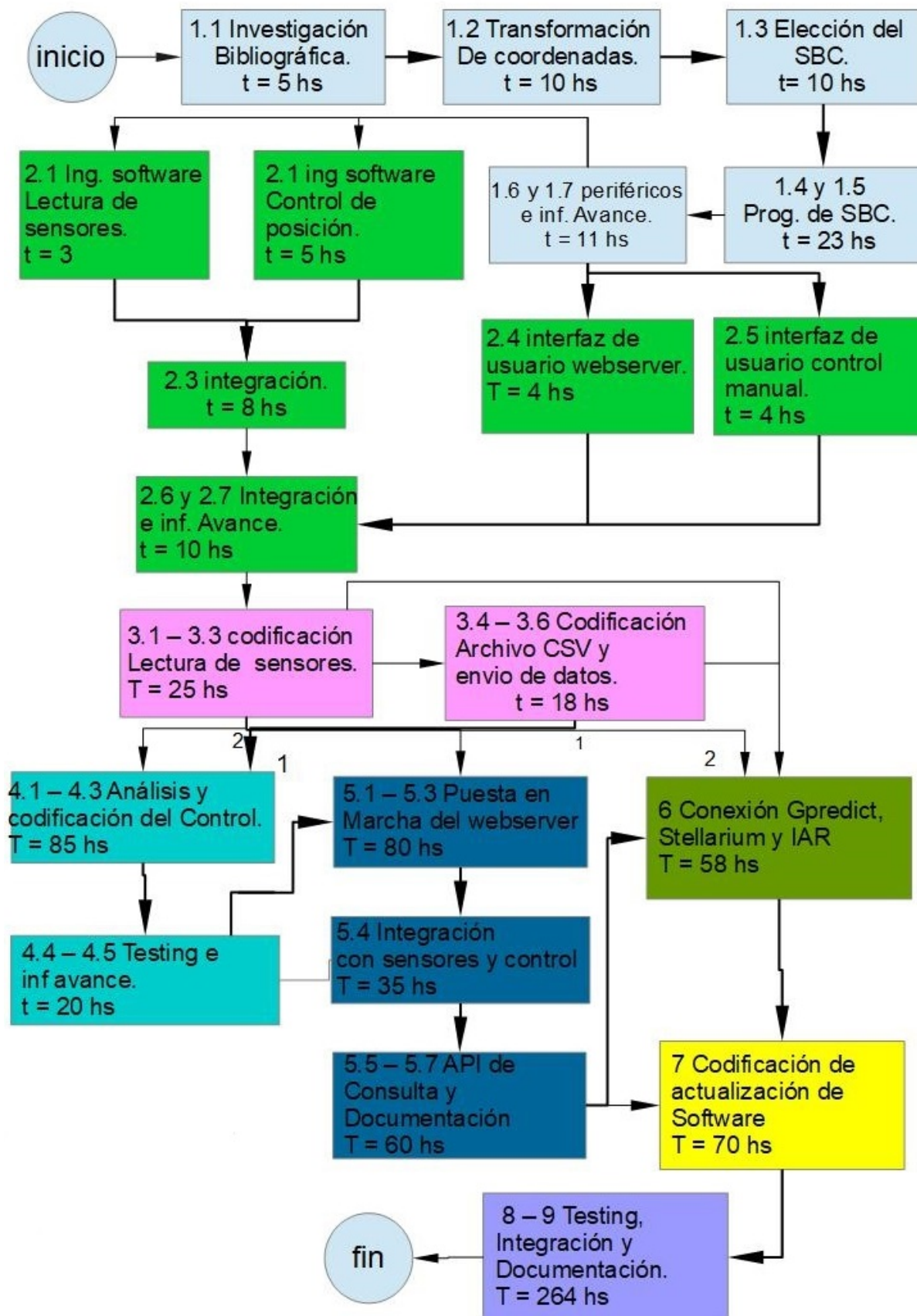
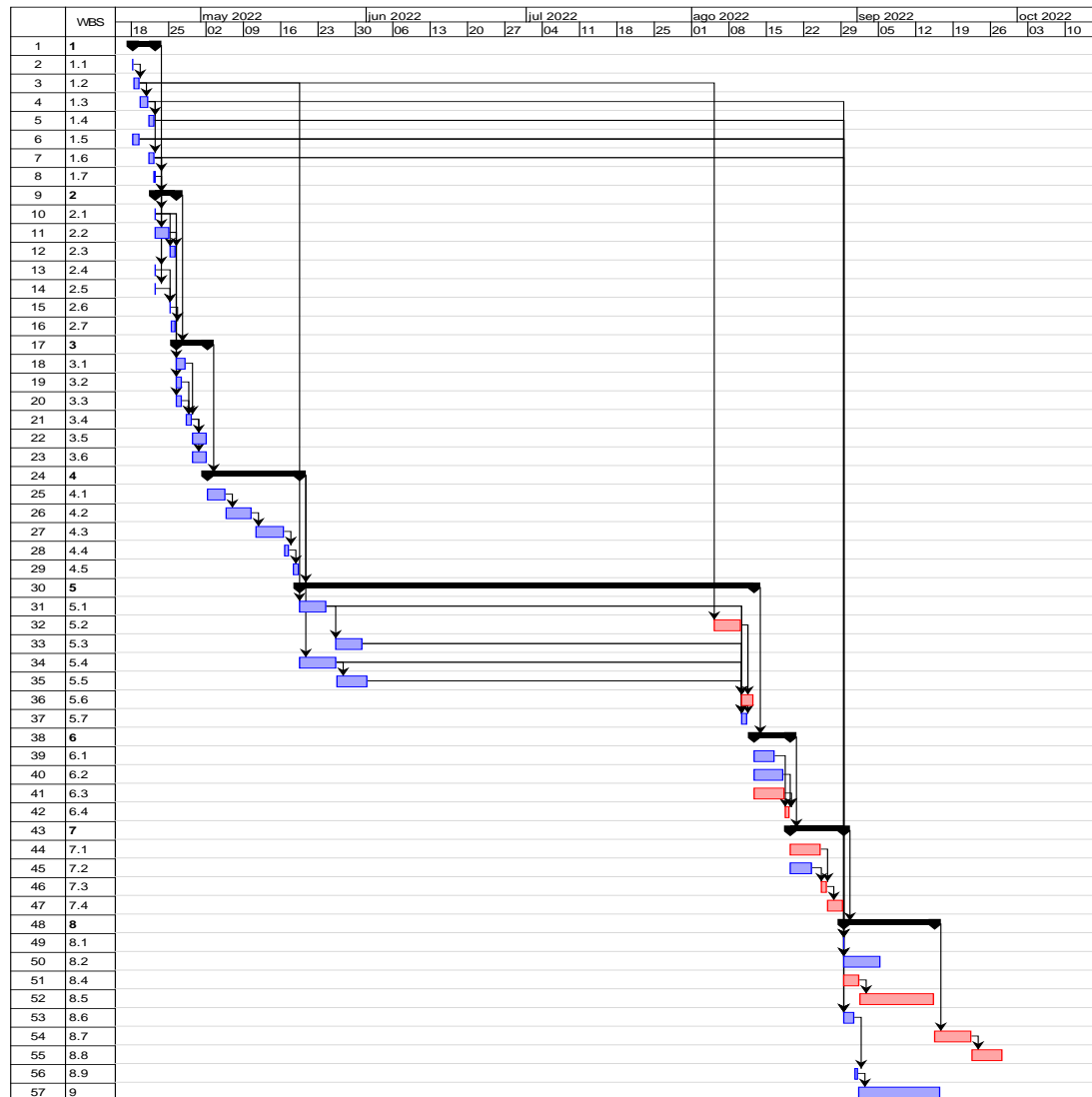


Figura 4. Diagrama de *Activity on Node*

## 11. Diagrama de Gantt

Este es el diagrama de gannt



## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

**IMPORTANTE:** No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

### 13. Gestión de riesgos

Riesgo 1: El sistema mecánico de movimiento de la antena no esté listo antes de la tarea 4.

- Severidad(S) 8  
La severidad es alta dado que el objetivo principal del trabajo es realizar el control sobre ella.
- Probabilidad de ocurrencia (O) 3  
Esta probabilidad se asigna, ya que se han comprado todos los materiales estructurales para su construcción. Cabe destacar que su construcción esta a cargo del departamento de mecánica.

Riesgo 2: El proyecto deje de estar entre los objetivos estratégicos de la institución.

- Severidad(S) 8  
La severidad es alta dado que el proyecto no se terminaría en tiempo y forma pactada. Además, se asignarían los recursos del presente proyecto a otro.
- Probabilidad de ocurrencia (O) 3  
Esta probabilidad se asigna dado que una de las funciones principales es la observación del espacio mediante ondas de radio.

Riesgo 3: Realizar mal la estimación de duración de las tareas.

- Severidad(S) 7  
Se asigna esta puntuación debido a que se demora el prototipo funcional para solicitar nuevas fuentes de financiamiento y colaboraciones de radiotelescopios internacionales.
- Probabilidad de ocurrencia (O) 7  
Alta, debido a que hay tareas a las cuales no se han en la experiencia del profesional que la realiza.

Riesgo 4: No conseguir los componentes para realizar el rebote lunar.

- Severidad(S) 4  
Si bien es deseable que se realice no afecta al funcionamiento del proyecto ni su objetivo principal.
- Probabilidad de ocurrencia (O) 4  
La probabilidad es baja, porque existen los componentes y el personal calificado para llevarlo a cabo.

Riesgo 5: Algunos de los componentes no se encuentren en el mercado local.

- Severidad(S) 4  
Si los componentes deben importarse, implica un retraso importante en el proyecto dado que se podrá trabajar con placas ya existentes en el laboratorio.
- Probabilidad de ocurrencia (O)  
Se plantea que la mayor parte de los componentes se encuentren en el mercado local. En caso contrario, se verá la forma de mitigar este efecto, dado que al ser una institución del estado nacional, las compras en el extranjero se fijan por ROECYT, y tiene una duración estimada de 6 meses aproximadamente.

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $RPN=S \times O$ )

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	8	3	24	5	2	10
2	8	3	24	2	2	4
3	7	7	49	7	7	14
4	4	4	16			
5	4	4	28			

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 22

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: En caso que la estructura mecánica de la antena, no se encuentre construida, hay dos antenas a escala para realizar el control.

1. Severidad (S) 5  
Si bien el control no es el mismo se puede obtener el conocimiento sobre la forma de caracterizar sistemas de este tipo, para luego aplicarlo sobre las antenas originales del interferómetro MIA.
2. Probabilidad de ocurrencia (2)  
Dado que los materiales para su construcción están comprados, no debería llegar a ocurrir

Riesgo 2: Se mostrarán las bondades del sistema de apuntamiento para volverlo a ubicar entre los objetivos estratégicos.

- Severidad (S) 2:  
La institución entre sus objetivos principales es realizar mejoras sobre las antenas y su electrónica en forma continua



- Probabilidad de ocurrencia (O) 2: Es difícil que ocurra porque existen proyectos de colaboración internacional.

Riesgo 3: Se adicionaran horas hombre y se pedirá colaboración a los interesados.

- Severidad (S) 7:  
Deberán sumar personal en caso de subestimación, y en caso de sobreestimación, no se corre ningún tipo de riesgo
- Probabilidad de ocurrencia (O): 7  
Debido al desconocimiento del estado del arte de algunas tareas por parte del diseñador del proyecto.

Riesgo 4: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

## 14. Gestión de la calidad

### 1. Requerimientos funcionales

- 1.1. Debe tener un sistema de control de posición en dos ejes (azimuth y altura).
  - Verificación: Se comprobará el sistema de control responda ante una referencia de posición y colocando un receptor de banda L en la antena.
  - Validación: Se entregará documentación sobre el sistema y modelado matemático del mismo.
- 1.2. Debe poseer un Webserver embebido para monitoreo de variables ambientales e indicar su estado de operación (tracking, untracking, zenit, y calibrate).
  - Verificación: Se ingresará al webserver y se realiza un cambio de estado desde otra estación de trabajo.
  - Validación: Se comprueba que el web server embebido no realice conexiones con otras estaciones. Se entrega documentación sobre la operación a bajo nivel del mismo.
- 1.5. Debe detener su funcionamiento cuando el viento sea superior a 50 km/h durante al menos 10 minutos y volver a su posición de equilibrio mecánico (cenit).
  - Verificación: Se girá el anemómetro mediante acople a un motor de corriente continua durante 10 minutos. Luego se procede a intentar movilizar la antena. Se realiza una segunda prueba, pero ubicando la antena en una posición distinta del cenit.
  - Validación: Se comprueba que la antena realice las maniobras correspondientes para regresar al cenit.
- 1.6. Debe tener un sistema de calibración a demanda por el operario de la antena.
  - Verificación: Se entrega una manual de operación de la antena para operarios.
  - Validación: Se comprueba que los operarios entiendan el manual de operación, se despejan dudas al respecto.
- 1.7. El software se debe conectar con los programas Gpredict, Stelarium y el existente en el IAR para el manejo de las antenas principales.
- 1.8. El software debe manejar los periféricos del single board computer.

- 1.9. El software debe permitir la lectura de viento (velocidad en km/h), tensión , corriente en Ampere y posición angular (en grados) de la antena en ambos ejes.
- 1.10. El software realizará un reporte diario a las 5 AM con todos los datos almacenados en formato csv.
- 1.11. En caso de adicionar otro programa distinto (Gpredict, stellarium o ya existente en el IAR) se debe actualizar el software del sistema posicionador.
- 1.12. Solo puede realizar una operación de seguimiento. En caso de estar realizando el seguimiento de algún satélite/radiofuente, se le debe informar de dicha operación, y el operario tendrá que esperar que se termine la operación actual.
  - Verificación: Se procede a realizar una operación de seguimiento desde una estación de trabajo, mientras se encuentra en estado de tracking.
  - Validación: Se comprueba el rechazo e informe al operador de la segunda PC en cuestión al intentar conectarse y mover la antena.

## 15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.