



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO DEL SISTEMA DE INTERCONEXIÓN DE LA
ESTACIÓN DE RADIOASTRONOMÍA DE LA PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

*Tesis para optar por el título de Ingeniero Electrónico,
que presenta el bachiller:*

Emiliano Gabriel Lorenzo Guevara

ASESOR: Jorge Heraud Perez

Lima, Agosto del 2009

RESUMEN

En la presente tesis se diseña el sistema de la estación de radio astronomía que será construida en la PUCP. La estación consiste en una antena de 20 metros de diámetro y una estación de control.

El objetivo general de la tesis es el diseño de los subsistemas encargados de la interconexión y funcionamiento del radio observatorio que será construido en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú: interfaces de comunicación con la estación, fuentes DC, sistemas de control de motores, sistema de calibración del alimentador, lectura de posición de los 2 movimientos de la antena (azimut y elevación, con 17 bits de resolución), monitoreo de fuentes, monitoreo de temperatura y presión en el foco de la antena, control y lectura de estado de balizaje de la antena, elección de computadoras para la estación, elección de conectores y cableado coaxial para la etapa de recepción, interconexión entre circuitos y sub sistemas, cableado y distribución de circuitos. Cabe mencionar que en esta tesis no se incluye el diseño estructural de la antena ni de la estación.

Como resultado de la tesis se tiene 30 diagramas esquemáticos, 14 programas en lenguaje C y 17 diagramas de interconexión de los sistemas diseñados.

Esta tesis está vinculada con las tesis “Diseño e implementación de la etapa de alimentación de una antena parabólica para radioastronomía” (Manuel Reyes) e “Implementación de un sistema de recepción para el observatorio de radio astronomía de la PUCP” (Percy Coronado), que también tienen como tema principal la estación de radioastronomía que se construirá.

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| <u>INTRODUCCIÓN</u> | vii |
| <u>CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN DEL SISTEMA: LA ESTACIÓN DE RADIOASTRONOMÍA EN LA PUCP</u> | 1 |
| 1.1: Objetivos de la investigación _____ | 2 |
| 1.1.1: Objetivo general _____ | 2 |
| 1.1.2: Objetivos específicos _____ | 2 |
| 1.2: Características del radio observatorio _____ | 3 |
| 1.3: Definiciones operativas de la estación _____ | 6 |
| 1.4: Presentación del asunto de estudio: La radio astronomía _____ | 6 |
| 1.4.1: Conceptualizaciones generales _____ | 8 |
| <u>CAPÍTULO 2:</u> | |
| <u>DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES QUE COMPONEN LA ESTACIÓN</u> | 12 |
| 2.1: Estado del arte _____ | 13 |
| 2.1.1: Antenas _____ | 13 |
| 2.1.2: Control de posición _____ | 14 |
| 2.1.3: Alimentadores _____ | 15 |
| 2.1.4: Filtros y amplificadores _____ | 16 |
| 2.1.5: Convertidor y receptores _____ | 16 |
| 2.1.6: Procesamiento de la señal _____ | 16 |
| 2.1.7: Post procesamiento _____ | 17 |
| 2.2: Algunos radio observatorios conocidos _____ | 17 |
| 2.2.1: Radio observatorio de Arecibo, Puerto Rico _____ | 17 |
| 2.2.2: Radio observatorio VLA, Nuevo México, EE.UU. _____ | 18 |

CAPÍTULO 3:**DESCRIPCIÓN DE LOS SUB SISTEMAS QUE COMPONEN LA ESTACIÓN** 19

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1: | Diseño de la etapa de recepción | 20 |
| 3.2: | Pozos a tierra | 21 |
| 3.3: | Equipos en la estación | 22 |
| 3.3.1: | Computadora de control de movimiento de la antena | 22 |
| 3.3.2: | Computadora de recepción y procesamiento de la señal | 22 |
| 3.3.3: | Computadora de post procesamiento de datos | 22 |
| 3.3.4: | Computadora de uso general | 22 |
| 3.3.5: | Computadora de supervisión y operación | 22 |
| 3.4: | Control de posicionamiento de la antena | 23 |
| 3.5: | Lectura de posición | 23 |
| 3.6: | Calibración del alimentador | 25 |
| 3.7: | Protección del alimentador | 25 |
| 3.8: | Enfriamiento del LNA | 26 |
| 3.9: | Balizaje | 26 |
| 3.10: | Cableado y fuentes de energía | 28 |
| 3.11: | Radiómetro | 29 |
| 3.12: | Transmisión de datos | 30 |

CAPÍTULO 4: DISEÑO Y ELECCIÓN DE DISPOSITIVOS**EN CADA SUB SISTEMA DE LA ESTACIÓN** 31

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 4.1: | Ubicaciones | 32 |
| 4.1.1: | En el cuarto de equipos | 32 |
| 4.1.2: | En la estación | 34 |
| 4.1.3: | En el foco de la antena | 34 |
| 4.1.4: | En la estructura de la antena | 34 |
| 4.2: | Pozos a tierra | 35 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.3: | Equipos en la estación_____ | 38 |
| 4.3.1 | Computadoras de control de movimiento y supervisión y operación_____ | 38 |
| 4.3.2 | Computadora de recepción y procesamiento de la señal_____ | 40 |
| 4.3.3 | Computadora de post procesamiento de datos_____ | 40 |
| 4.3.4 | Computadora de uso general_____ | 42 |
| 4.4: | Control de posicionamiento_____ | 44 |
| 4.4.1 | Diagramas esquemáticos, de flujo y programación_____ | 47 |
| 4.5: | Lectura de posición_____ | 49 |
| 4.5.1 | Diagramas esquemáticos, de flujo y programación_____ | 51 |
| 4.6: | Calibración del alimentador_____ | 52 |
| 4.6.1 | Control de los motores en ejes X, Y, Z, P_____ | 52 |
| | 4.6.1.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación____ | 54 |
| 4.6.2 | Lectura de la posición del alimentador en ejes X, Y, Z, P_____ | 55 |
| | 4.6.2.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación____ | 57 |
| 4.7: | Balizaje_____ | 58 |
| 4.7.1 | Control de balizas_____ | 58 |
| | 4.7.1.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación____ | 59 |
| 4.7.2 | Monitoreo de estado de balizas_____ | 60 |
| | 4.7.2.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación____ | 61 |
| 4.8: | Protección del calibrador y enfriamiento del LNA_____ | 62 |
| 4.8.1 | Diagramas esquemáticos, de flujo y programación_____ | 63 |
| 4.9: | Habilitador general de circuitos_____ | 64 |
| 4.9.1 | Diagramas esquemáticos, de flujo y programación_____ | 65 |
| 4.10: | Fuentes de alimentación_____ | 66 |
| 4.10.1 | Diagramas esquemáticos_____ | 69 |
| 4.11: | Monitoreo de fuentes DC_____ | 69 |
| 4.11.1 | Diagramas esquemáticos, de flujo y programación_____ | 72 |

| | |
|--|----|
| 4.12: Cableado y conectores_____ | 73 |
| 4.12.1 Cableado y conectores coaxiales en la etapa de recepción__ | 77 |
| 4.13 Presupuesto_____ | 80 |
| <u>CONCLUSIONES</u> | 81 |
| <u>RECOMENDACIONES</u> | 84 |
| <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | 86 |
| ANEXOS (EN CD): | |
| <u>ANEXO 1: DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS, DIAGRAMAS DE FLUJO Y PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE C DE CIRCUITOS DISEÑADOS EN EL CAPÍTULO 4</u> | 1 |
| <u>ANEXO 2: HOJAS DE DATOS Y PLANO DE LA ESTACIÓN</u> | 96 |
| <u>ANEXO 3: DIAGRAMAS DE INTERCONEXIÓN DEL RADIOTELESCOPIO Y ELECCIÓN DE CABLEADO</u> | 99 |

INTRODUCCIÓN



La radioastronomía es el estudio de objetos celestes en el universo que emiten radiación en forma de ondas de radio. Con ayuda de esto se puede hacer el estudio de fenómenos astrofísicos en el universo que generalmente son invisibles en la banda de la luz visible.

En el mundo existe gran cantidad de radio observatorios destinados al estudio de estos fenómenos. Cada uno generalmente está configurado para un trabajo específico (una banda específica de frecuencias dentro de las ondas de radio, estudio de algún determinado fenómeno astrofísico, etc.), pero, sin embargo, su funcionamiento en la etapa encargada de recibir la señal es muy parecido entre todos.

En el Perú existe un radio observatorio muy conocido, el radio observatorio de Jicamarca, cuya función específica es la del estudio de la ionosfera y el campo magnético terrestre funcionando como un radar. El radio observatorio está compuesto por un arreglo de 18432 dipolos (antenas) y un transmisor de 2MW. El financiamiento del radio observatorio, en gran parte, es hecho por la fundación nacional de ciencias de estados unidos, a través de un acuerdo de cooperación con la universidad de Cornell. En cuando al estudio de fenómenos astrofísicos fuera de la tierra, no existen radio observatorios en el Perú hasta el día de hoy.

Debido a que en nuestro país la astronomía es poco difundida hay pocos observatorios para su estudio. Esto se debe, en parte, al poco interés del estado en promover e invertir en la ciencia, así como al sistema educativo en general, lo cual lleva a las personas a tener poca curiosidad científica. A esto se le suman los costos de la construcción y del mantenimiento del observatorio, los cuales deben ser asumidos la mayoría de veces por fondos propios. Como ejemplo, el mantenimiento del radio observatorio de Jicamarca es de 1 millón de dólares anuales.

Debido a la escasez de radio observatorios en el país, y por el interés en la radio astronomía, se construirá un radio observatorio en la universidad, el cual estará ubicado dentro del campus. El radio observatorio constará de una antena parabólica de 20 metros de diámetro y una estación de trabajo, desde la cual se controlará a la antena. El funcionamiento inicial del radio observatorio será en la frecuencia de 1.42GHz (línea de emisión del hidrógeno neutro), pero podrá en el futuro recibir señales con longitudes de onda entre 1 m y 3 cm. Cabe mencionar

que el financiamiento de la estación es hecho tanto por la universidad como por las empresas privadas Southern Perú (apoyo económico) y Aceros Arequipa (donación de acero para la construcción de la antena). El proyecto de la construcción del radio observatorio fue elaborado por el Dr. Jorge Heraud en el año 2007 y se encuentra en la bibliografía [49].

La presente tesis propone el diseño del sistema del observatorio, que está compuesto por los sistemas de control de movimiento, lectura de posición, calibración, balizaje, sistema de transmisión de datos, diseño de fuentes de alimentación, monitoreo de temperaturas y presión, enfriamiento de la etapa de recepción, diseño de la interconexión entre sub sistemas, elección de cableado y conectores, así como elección de equipos en la estación.

Con la construcción del radiotelescopio se tiene como objetivo participar en la investigación científica en el campo de la astronomía y promover el interés por la ciencia dentro de la universidad y el país. Otro de los objetivos de la construcción del radio observatorio es el de hacer reconocer a la universidad dentro y fuera del país como un centro de investigación de radio astronomía. Con ello se incentivará a otras universidades a promover la ciencia invirtiendo en otros proyectos científicos relacionados en el futuro. Asimismo se espera que otras universidades e institutos en el extranjero, que cuentan con estaciones de radio astronomía, estén interesadas en trabajar en conjunto con el radio observatorio a construir para realizar trabajos en conjunto, tales como interferometría de larga base (VLBI), definición que se explicará más adelante.

En el capítulo 1 de la tesis se hace una descripción del radio observatorio a construir, se mencionan sus características, y se presenta un diagrama de bloques general de su funcionamiento y un plano de la antena parabólica. También se definen conceptos generales en la radio astronomía.

Luego, en el capítulo 2, se describe cada una de las etapas o partes que componen a un radio observatorio, así como las tecnologías utilizadas para cada una de ellas (filtros, LNA, antenas, receptores, control de posición, procesamiento y post procesamiento de datos). También se describen dos radio observatorios conocidos en el mundo.

Más adelante, en el capítulo 3, se menciona cada uno de los sub sistemas que se diseñarán para el radio observatorio, así como sus características e interconexión entre ellos: etapa de recepción (equipos escogidos y alimentación necesaria), pozos a tierra, equipos en la estación, sistema de control de posicionamiento, lectura de posición, calibración del alimentador, protección del alimentador, enfriamiento del LNA, control y lectura de estado de balizas y el sistema de transmisión de datos entre la antena y la estación.

En el capítulo 4 se hace el diseño electrónico de cada uno de los circuitos que componen los sub sistemas a diseñar: control del movimiento de azimut con trama serial de 8 bits, control del movimiento de elevación con trama serial de 8 bits, lectura de posición en azimut con 2 tramas seriales de 16 bits (32 bits), lectura de posición en elevación con 2 tramas seriales de 16 bits (32 bits), control de calibrador del alimentador con trama serial de 8 bits, lectura de posición del alimentador con 4 tramas seriales de 8 bits, control de balizas con trama serial de 8 bits, lectura de estado de balizas con trama serial de 8 bits, lectura de presión en alimentador, de temperatura en LNA y de estado de ventilador del enfriador con trama serial de 24 bits, control de habilitador general de circuitos con trama serial de 8 bits, diseño de fuentes de alimentación, monitoreo principal de fuentes de alimentación con trama serial de 64 bits, monitoreo secundario de fuentes de alimentación con comparadores de voltaje y diseño de cableado y conectores entre circuitos. Por cada sub sistema se presentará un diagrama de bloques de funcionamiento, un diagrama esquemático, y, en caso se utilice microcontroladores, se mostrarán los diagramas de flujo y programas en lenguaje C correspondientes. Los diagramas de flujo, esquemáticos y programación en lenguaje C de los microcontroladores estarán en el anexo 1 del documento.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones finales, así como un presupuesto indicando el costo total de los componentes de todos los circuitos diseñados y equipos escogidos.

CAPÍTULO 1
PRESENTACIÓN DEL SISTEMA: LA ESTACIÓN
DE RADIOASTRONOMÍA EN LA PUCP



1.1 Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo general

El objetivo general de la tesis es el diseño de los subsistemas encargados de la interconexión y funcionamiento del radio observatorio que será construido en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

1.1.2 Objetivos específicos

Corresponden a cada sub sistema a diseñar, los cuales son:

- Diseñar las fuentes de alimentación.
- Diseñar los pozos a tierra.
- Elegir y distribuir los equipos en la estación.
- Diseñar el sistema de control de posicionamiento de la antena.
- Diseñar el sistema de control de la calibración del alimentador.
- Diseñar el control del balizaje en la antena.
- Diseñar el habilitador general de circuitos.
- Diseñar el monitoreo de fuentes de alimentación.
- Diseñar el monitoreo de presión y temperatura en el foco de la antena.
- Diseñar la interconexión y cableado entre cada sub sistema en la estación.
- Comunicación satelital (se necesitará una etapa transmisora adicional)
- Fomento del interés por la ciencia en el país, y lograr más financiamiento en otros proyectos científicos, ya sea en la PUCP o en otras universidades.

1.2 Características del radio observatorio

El radio observatorio se dividirá en tres zonas: la estación, la antena y el cuarto de equipos.

Dentro de la estación estarán los operadores del observatorio, quienes manejarán cinco computadoras: una para el control de movimiento de la antena, otra para el seguimiento y adquisición de señales, otra para post procesamiento, otra para uso general y otra para administración del observatorio y comunicaciones con otros observatorios.

En el exterior, en la estructura de la antena, se encontrarán las partes y circuitos que componen la etapa de recepción de datos, las cuales son: el alimentador, filtros, amplificador de bajo ruido (situados en el foco de la antena); las partes encargadas del control de movimiento: los motores que controlan el azimut y elevación de la antena (situados en la base de la antena), los motores encargados de la calibración del alimentador; y las partes encargadas del monitoreo de la temperatura y presión en el foco de la antena. En la parte posterior del plato de la antena habrá un pequeño cuarto de equipos, en el cual se encontrarán todos los circuitos de control de movimiento, transferencia de datos con la estación, fuentes de alimentación, etc. Toda interconexión entre la antena y la estación pasará siempre por el cuarto de equipos (a excepción de la etapa de recepción, que pasará directamente a la estación por medio de un cable coaxial). Todos los circuitos y etapas a diseñar se desarrollarán en los capítulos 3 y 4.

A continuación se presenta el diagrama de bloques de la estación con el que se iniciará el desarrollo de la tesis, así como el plano de la estructura de la antena (figuras 1 y 2 respectivamente):

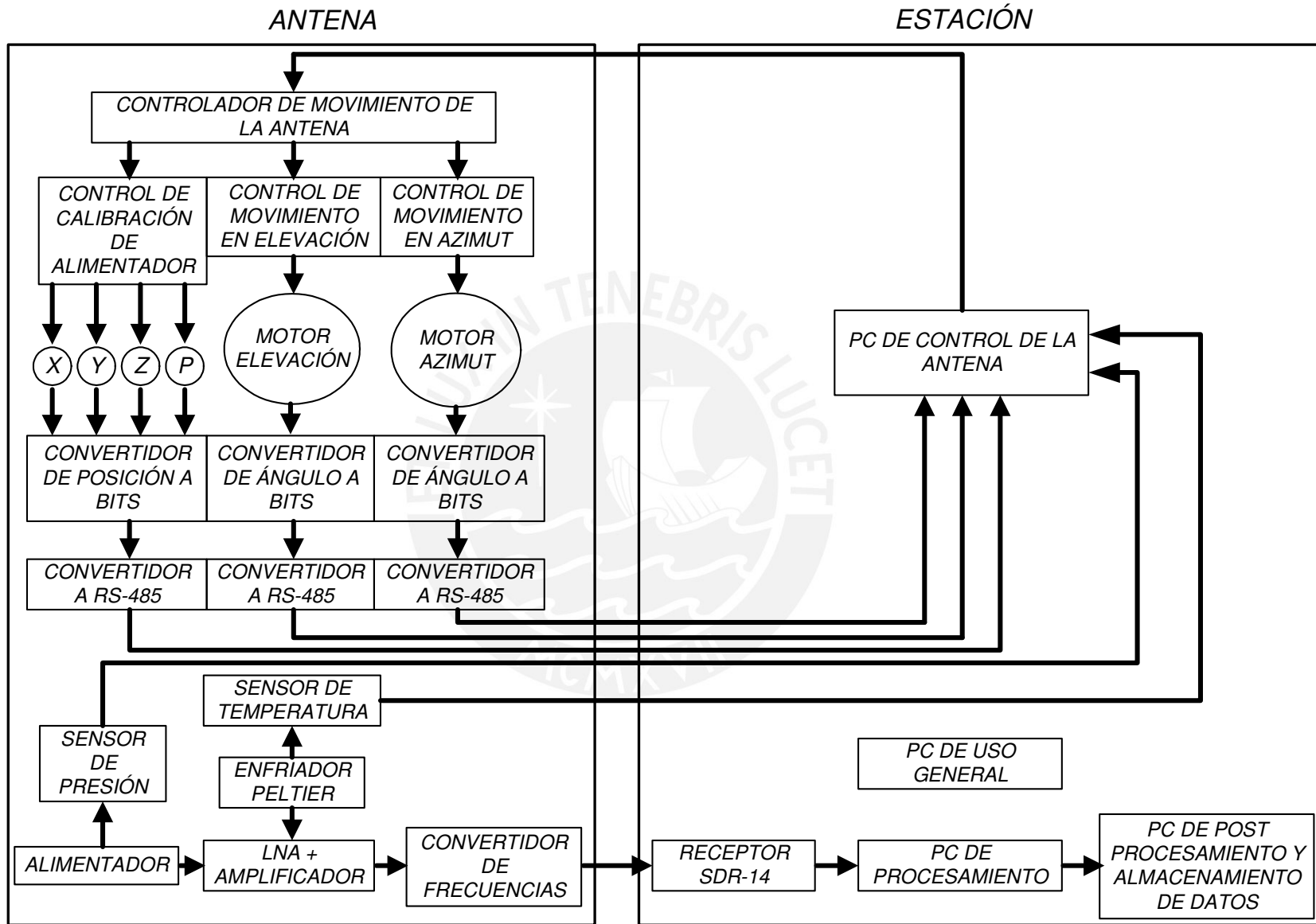


Figura Nº 1: Diagrama general de la estación. Fuente: Dr. Jorge Heraud.

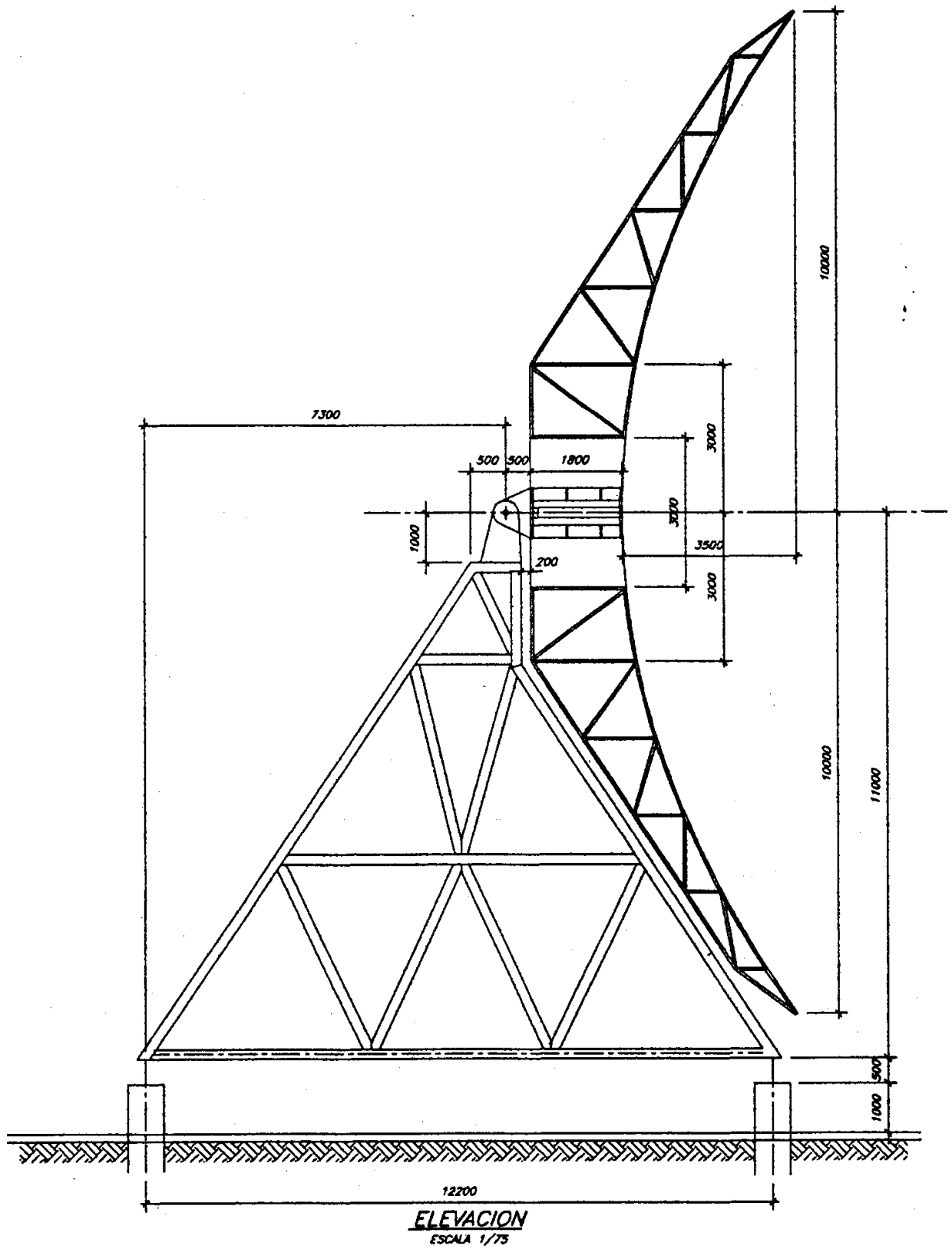


Figura Nº 2: Plano final de la estructura de la antena. Fuente: Ing. Luis Zegarra.

1.3 Definiciones operativas de la estación

- **Posición:** La posición deseada para la observación será controlada con una resolución de 32 bits en cada eje de movimiento (32 para azimut y 32 para elevación). La computadora de control de movimiento enviará una señal digital que moverá los motores y éstos indicarán continuamente su posición a la estación por medio de sensores. Con ello se sabrá con exactitud la posición en el espacio a la que se está apuntando en el momento.
- **Duración de la observación:** El lugar hacia donde se apunta con la antena cambiará dependiendo de la hora del día en el que se hace la observación debido al movimiento diurno de la tierra. Por ello se debe de tener precisión en el movimiento de la antena, para que éste sea sincronizado con el movimiento de rotación de la tierra y el seguimiento de un punto en el espacio. Esto se logrará con ayuda del sistema de control de movimiento, el cual es realimentado.
- **Frecuencia de trabajo:** Este parámetro varía dependiendo de lo que se quiere estudiar. La antena trabajará alrededor de los 1.42 GHz y por ello se utilizarán filtros pasa banda programables (en el receptor) y filtros de valor fijo (en la etapa de pre procesamiento, en el foco) de acuerdo al rango de frecuencias del que se quiere obtener datos. También se podrá modificar mecánicamente el alimentador para tener una máxima ganancia a una determinada banda de frecuencias.
- **Precisión en el foco de la antena.** El alimentador, encargado de recibir la señal, debe estar posicionado en el foco geométrico de la parábola de la antena. Para esto se contará con cuatro motores, los cuales cambiarán la posición del alimentador en pequeñas magnitudes con tal de obtener una posición exacta y así lograr un resultado óptimo en la observación. Este sistema también será realimentado como el movimiento de azimut y elevación (se leerá la posición del alimentador).

1.4 Presentación del asunto de estudio

La radio astronomía es utilizada con la finalidad de estudiar fenómenos astrofísicos en el universo que van desde galaxias y pulsares hasta agujeros negros y estrellas. Esto es posible ya que la radiación electromagnética emitida llega a la tierra y es captada por los observatorios. En el caso del radio observatorio el rango de frecuencias que se observarán se encuentra dentro de las ondas de radio.

Las etapas que componen la recepción de una señal que proviene del universo ([1], [2], [3], [5], [8], [13], [18], [21], [22], [25], [29], [30]) son las de adquisición, pre procesamiento, amplificación, conversión, recepción y procesamiento de la señal. Paralelamente se encuentran las etapas de control de movimiento de la antena y de post procesamiento de datos.

La etapa de adquisición ocurre en el momento que la onda electromagnética proveniente del espacio rebota en la superficie de la antena y llega al alimentador o *feed* situado en el foco geométrico de la misma. El alimentador sólo deja pasar señales en una determinada banda de frecuencias. Para trabajar en otras frecuencias se debe de cambiar de alimentador (ya sea modificando su geometría ó cambiándolo por otro). El alimentador fue diseñado en otra tesis con el Dr. Heraud, cuyo tema principal fue el diseño y construcción del alimentador para la antena de la estación (tesista: Manuel Reyes).

La siguiente etapa es la de Amplificación. El amplificador de bajo ruido (LNA, *Low Noise Amplifier*) se encarga de amplificar y filtrar la señal proveniente del alimentador. El filtro se encarga de eliminar el ruido y señales de otras bandas de frecuencias que ingresan al amplificador. Después de esto, la etapa de conversión se encarga de llevar la señal recibida a una banda de frecuencia menor para que pueda ser trabajado por las etapas que siguen. Esto se debe a que un dispositivo que trabaja a bajas frecuencias es menos complejo y más confiable que uno que trabaja con señales a altas frecuencias ([29]). Para esto se utilizará un convertidor de frecuencias, el cual desplazará el espectro de la señal observada a una frecuencia menor.

La etapa que sigue es la de Recepción, la cual está compuesta por un receptor, el cual es un dispositivo que se encarga de digitalizar la señal para poder ser procesada posteriormente. Este dispositivo se encuentra dentro de la estación.

Finalmente, la etapa de Procesamiento de la señal se sitúa en las computadoras encargadas de analizar y obtener datos útiles a partir de la señal recibida por la antena con ayuda de un software de procesamiento de la señal. (En este caso se utilizará principalmente el software SpectraVue (Actualmente hay una tesis cuyo tema es la etapa de recepción, principalmente el uso del receptor, así como del software. Tesista: Percy Coronado).

Tomando como fuente las diferentes estaciones de radio astronomía en el mundo se concluye que las etapas involucradas en la recepción de una señal de radio que proviene del universo con ayuda de un radio telescopio prácticamente siempre son las mismas ([1], [2], [3], [5], [8], [13], [18], [21], [22], [25], [29], [30]): pre amplificación, amplificación, conversión, digitalización y procesamiento.

Por otro lado, la antena siempre recibirá ruido de distintas fuentes, tales como antenas de celulares, hornos microondas, motores de automóviles, cables de alta tensión, aviones, aparatos electrodomésticos, radiación cósmica de fondo, entre otros. Para ello se utilizarán los filtros y amplificadores antes mencionados, eliminando este ruido.

1.4.1 Conceptualizaciones generales

| | | |
|---------------------|---------------------------------------|---|
| Radio Astronomía | Definición | Rama de la ciencia que se encarga de estudiar fenómenos en el universo por medio de sus espectros de emisión electromagnética con longitudes de onda entre los 30 milímetros y 30 metros (en frecuencia equivale al rango entre 10MHz y 10GHz) ([3], [8], [19], [20], [21]). |
| | Señal proveniente del espacio | Consiste en ondas electromagnéticas emitidas por fenómenos astronómicos. En algunos casos pueden presentar polarización, para lo cual se necesita cambiar la posición del alimentador. La señal puede provenir por radiación de cuerpo negro, emisiones térmicas de gases ionizados, radiación cósmica de fondo, radiación sincrotrón, entre otros ([2], [3], [5], [19], [20], [21]). |
| | Espectro de emisión o absorción | Cuando un gas es calentado, emite radiación electromagnética en ciertas longitudes de onda (espectro de emisión). El espectro de absorción son las longitudes de onda que absorbe el mismo gas al recibir radiación electromagnética. Con ello se cumple la ley de Kirchhoff (todo elemento absorbe radiación en las mismas longitudes de onda en las que emite) ([5], [16], [26]). |

| | | |
|---|--|---|
| Recepción de señales en un radio telescopio | Pérdida de energía propagada en el espacio | La señal recibida en la mayoría de casos viaja muchos años luz antes de llegar al radio telescopio. La energía con la es emitida la señal se atenúa proporcionalmente a $1/R^2$ (siendo R la distancia del emisor de la señal a la tierra) durante su viaje en el espacio. Es por ello que se necesita de una gran amplificación y buen filtrado en su llegada al radio observatorio. Fuentes: ([3], [19], [20], [21]). |
| | Esfera celeste | Esfera imaginaria, concéntrica en el globo terrestre, sin radio definido, dentro de la cual se encuentran los fenómenos a observar. Estos fenómenos tendrán una coordenada dentro de la esfera celeste, basándose en el ecuador celeste (el mismo que el plano ecuatorial de la tierra) y los polos norte y sur celestes (que son una extensión del eje de rotación de la tierra). |
| | Amplificador de bajo ruido | <p>Un amplificador recibe una señal eléctrica y entrega una versión más grande de la misma (mayor amplitud) pero con la misma forma. Matemáticamente la salida del amplificador es igual a $A.f(t)$, siendo $f(t)$ la señal que ingresa y A la ganancia del amplificador. En el caso del radiotelescopio la señal que ingresa es pequeña (de poca potencia) y requiere amplificarse lo suficiente para poder ser útil al receptor.</p> <p>Un filtro consiste en un circuito que recibe una señal y discrimina partes específicas de su espectro de frecuencia. Cuando a una señal se le adiciona ruido, éste se adiciona a su espectro de frecuencias. El filtro no deja pasar el espectro no deseado y solo deja pasar la señal ([18], [23], [24]).</p> |

| | | |
|---|-----------------------------------|---|
| Recepción de señales en un radio-telescopio | Relación señal a ruido | Es un parámetro que indica la relación de potencias entre la señal útil transmitida y la potencia del ruido que la acompaña. ([4], [19], [20], [21]). La medición se debe hacer en el mismo punto. Al dividir unidades de potencia, el resultado es un numero adimensional. Comúnmente se la llama SNR (<i>Signal to Noise ratio</i>). El valor de la SNR dependerá siempre de la señal. Siempre se desea que la SNR sea el mayor valor posible (alta potencia de la señal y baja potencia de ruido). La fórmula es: $SNR = \frac{P_{señal}}{P_{ruido}}$ |
| | Resolución angular | Precisión con la que la antena puede hacer observaciones. Depende de la precisión con la que se pueden mover los motores de azimut y elevación y de qué tanto se aproxima la superficie de la antena a una parábola ideal). Se mide en minutos ó en segundos de arco. 1min arc = 1°/60, 1seg arc = 1°/3600 ([1], [2], [3], [5]). |
| | Factor de ruido y Figura de ruido | El factor de ruido es el resultado de la división de la SNR en la entrada con la SNR en la salida de un dispositivo (por ejemplo, un LNA, un filtro, etc.). La fórmula es ([4], [19], [20], [21], [27]): $F_{dispositivo} = \frac{SNR_{entrada}}{SNR_{salida}}$ El factor de ruido representa la degradación de la SNR a través del dispositivo. El valor es adimensional y depende de los componentes internos del dispositivo, sin importar el tipo de señal que se le ingrese. Siempre se desea que tenga un valor bajo, y comúnmente se le llama F (<i>Noise factor</i>). La figura de ruido ó NF (<i>Noise figure</i>) es el valor del factor de ruido en decibelios, es decir: $NF_{dispositivo} (dB) = 10 \log(F)$ |

| | | |
|---|--|---|
| Recepción de señales en un radio-telescopio | Control digital de posicionamiento | Desde la estación se deberá controlar el movimiento del azimut y de elevación de la antena con ayuda de una señal digital en bits sobre los motores. De esta forma se logrará sincronizar estos movimientos y las observaciones que se hagan a las señales provenientes del espacio ([1], [2], [3]). |
| | Antena parabólica | Es una estructura metálica con forma de parábola que se encarga de reflejar todas las señales recibidas en su plato directamente a su foco geométrico, en donde está el alimentador ([1], [2], [3], [8], [18], [21], [22], [23], [25], [30]). |
| | Alimentador de la antena | Se sitúa en el foco de la parábola de la antena y se encarga de recibir la señal que llega al radio telescopio. Se geometría varía de acuerdo a la banda de frecuencias que se desea observar. Puede ser fabricado con plástico, metal u otros materiales. Convierte la señal electromagnética en una señal eléctrica ([20], [21], [22]). |
| | Procesamiento digital de la señal recibida | Consiste en la operación numérica de los datos recibidos a una alta velocidad. La señal, de naturaleza analógica, es convertida en bits para poder ser procesada en un computador. Es útil para la representación de señales en tiempo real ([1], [2], [3], [18]). |
| | Interferometría de Larga Base (VLB) | Consiste en la observación de un mismo fenómeno por varios radio observatorios situados en lugares distintos en el planeta. Debido a que la señal llega en tiempos ligeramente distintos a cada telescopio, se obtienen patrones de interferencia, con los cuales se obtienen observaciones de mayor resolución ([1], [2], [3]). |

CAPÍTULO 2
DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES
QUE COMPONEN LA ESTACIÓN



2.1 Estado del arte

A continuación se explicará las tecnologías actuales respecto a cada componente que formará la estación.

2.1.1 Antenas

En los observatorios de radio astronomía se utilizan distintos tipos de antenas de acuerdo a la aplicación y al costo. Existen dos tipos principales: las de hilo y de las de apertura. ([3], [23], [24], [25]).

Dentro de las antenas de hilo se encuentran los monopolos verticales, los dipolos, las antenas Yagui y las de tipo helicoidal. Dentro de las antenas de apertura se encuentran las antenas parabólicas, de bocina y superficies reflectoras en general. En la radio astronomía las antenas que más se utilizan son las de apertura, y entre ellas la más común es la de forma parabólica.

Las ondas de radio que llegan a la tierra tienen longitudes de onda que se encuentran aproximadamente entre 1cm y 30m. Además, la resolución angular en una observación es directamente proporcional a la longitud de onda que se quiere observar e inversamente proporcional al tamaño de la antena (ver ecuación 1, bibliografías [1], [2], [7], [11], [20], [21], [22], [23], [24], [30]):

$$resolución \propto \frac{\lambda}{d} \dots\dots\dots (1)$$

Por lo tanto, al ser la longitud de onda λ muy grande (ondas de radio) se necesita que d (diámetro del plato de la antena) sea muy grande para así tener la resolución más pequeña posible. Es por ello que las antenas son tan grandes: para tener una mejor resolución angular. Además, la antena parabólica tiene una ganancia debido a que concentra toda un área de radiación en un solo punto (foco de la parábola). La ganancia viene dada por (ver ecuación 2, bibliografías [1], [2], [7], [11], [20], [21], [22], [23], [24], [30]):

$$G (dB) = -42 . 1 + 20 \log d + 20 \log f \dots\dots\dots (2)$$

Donde: d = diámetro del plato de la antena, f= frecuencia de la señal observada.

La ecuación viene dada por la eficiencia máxima que se puede tener en una parábola ideal, sin considerar las deformaciones que pueda tener. Si D es 20m, la ganancia para el rango operativo de la antena (327MHz a 10GHz) estará entre 34.21dB y 63.92dB.

Sobre la antena se montarán los equipos encargados de la recepción de la señal. Se puede ver un ejemplo de antena parabólica en la figura 3:



Figura N° 3: Antena parabólica en el Valle Owens, USA.

Fuente: www.nrao.edu

2.1.2 Control de posición

Las antenas necesitan girar para poder apuntar a la posición que se desea observar y para poder compensar el movimiento diurno de la Tierra y continuar observando al mismo fenómeno astronómico durante el tiempo necesario para la recolección de datos ([1], [2], [3]).

Para poder girar con completa libertad las antenas cuentan con dos movimientos: Azimut y Elevación. Ambos movimientos son controlados desde la estación. Los sistemas de movimiento cuentan con lectoras de posicionamiento, las cuales retroalimentan la información para un control más preciso. Esto se hace con ayuda de discos, los cuales tienen zonas opacas y transparentes, alrededor de las cuales hay sensores ópticos (foto transistores y LEDs), los cuales, de acuerdo a la opacidad del disco, saturan o cortan al transistor. Con esto se logra convertir el ángulo real de azimut y elevación a bits (0 y 5v).

Actualmente hay una tesis cuyo tema principal es la elaboración de los discos (azimut y elevación a 17 bits) para la antena, así como el circuito de foto transistores y LEDs encargados de transformar el ángulo a bits (tesis de José Osada). A continuación un ejemplo del disco mencionado (figura 4):

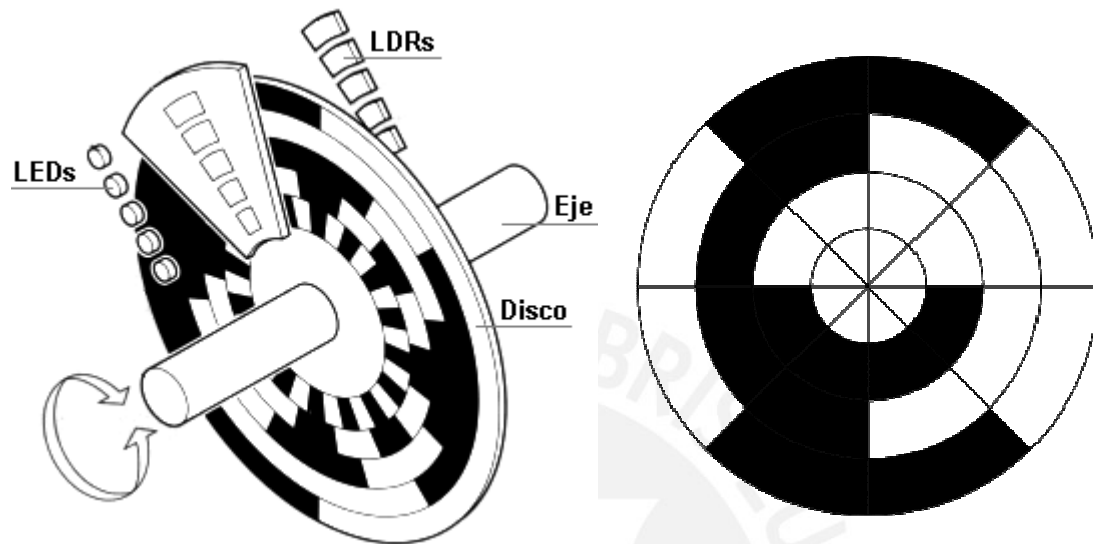


Figura N° 4: Disco lector de posición de 5 bits (izquierda) y 4 bits (derecha) en codificación Gray ([41]). Los LEDs y foto transistores se colocan hacia ambos lados del disco. En la antena, los discos serán de 17 bits cada uno. Fuente: <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/hades/webdemos/index.html>

2.1.3 Alimentadores

El alimentador es el primero en recibir la señal en toda la etapa de recepción. Tiene una geometría específica de acuerdo a la banda de frecuencias de la señal que se desea capturar.

La posición del alimentador en la antena se rige por el parámetro f/d , donde f es la longitud focal (distancia entre el foco de la parábola y el centro del plato de la antena) y d es el diámetro de la antena. Para el caso del radio telescopio, f/d será 0.363. Además, la salida del alimentador se conecta directamente al LNA (*Low Noise Amplifier*) con la mínima longitud de cable posible, para evitar que se introduzca ruido a la señal.

2.1.4 Filtros y Amplificadores

Los LNA utilizan un filtro que elimina interferencias externas y que a su vez amplifica la señal recibida, que es de muy baja potencia, para su posterior procesamiento. De acuerdo a la fórmula de Friis ([4]), la figura de ruido para una línea de recepción a la salida de un LNA es la siguiente (ecuación 3):

$$F_{total} = F_{LNA} + \frac{F_{resto} - 1}{G_{LNA}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde F_{total} es el factor de ruido total, F_{LNA} es el factor de ruido del LNA, G_{LNA} es la ganancia del LNA y F_{resto} es el factor de ruido de las etapas siguientes. Con esta ecuación se concluye que el factor de ruido total será el factor de ruido del LNA, siempre que su ganancia sea suficientemente alta (siempre lo es en los LNA). Por ello se necesita un LNA con el mínimo factor de ruido (ó figura de ruido) posible.

2.1.5 Convertidor y Receptores

La señal, luego de ser filtrada y amplificada, puede pasar al receptor, el cual incluye convertidores si es del tipo súper heterodino, basado en convertidores de frecuencia. Estos se encargan de demodular y convertir en frecuencia la señal recibida, para luego digitalizarla y enviarla a la PC de procesamiento. Otro tipo (el que se usará en la antena) es el receptor basado en software, que no incluye convertidor. Estos tienen menos hardware ya que funcionan junto con un software en una PC. En el caso del radio observatorio la señal pasará primero por un convertidor de frecuencias (es otro dispositivo aparte del receptor) y luego entrará al receptor, el cual digitaliza la señal de entrada (similar a un ADC). Se usará el receptor SDR14 de la empresa RF Space ([40]).

2.1.6 Procesamiento de la señal

Luego de digitalizar la señal por el receptor los datos son enviados a la PC de procesamiento para ser interpretados (análisis de auto correlación, transformadas de Fourier y otras herramientas matemáticas en base a la señal, su espectro de frecuencias, etc.) con ayuda de un software.

2.1.7 Post procesamiento

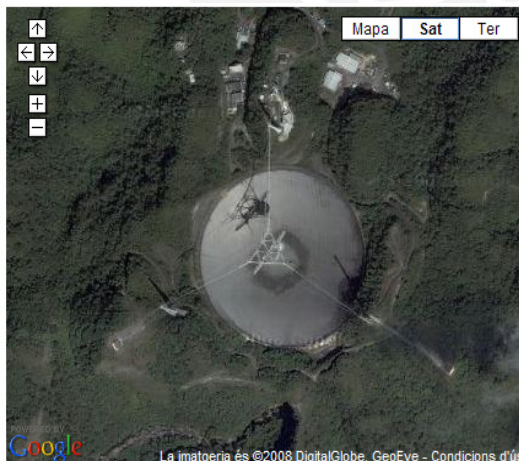
Debido a que los datos son recibidos en tiempo real, la PC de procesamiento no tiene los suficientes recursos para procesar completamente todo lo recibido. Por ello los datos procesados se almacenarán en un dispositivo de almacenamiento externo, para que luego, otra PC (PC de post procesamiento), se encargue del análisis posterior de las observaciones hechas.

2.2 Algunos radio observatorios conocidos

A continuación se describirán dos radio observatorios famosos en el mundo: el de Arecibo, en Puerto Rico, y el radio observatorio VLA en Nuevo México, EE.UU.

2.2.1 Radio Observatorio de Arecibo, Puerto Rico

Compuesto por una sola antena de superficie esférica de 305 metros de diámetro. La superficie está construida en el mismo suelo (no tiene una base metálica como la mayoría de antenas). El alimentador se sitúa a 150 metros sobre la superficie reflectora y pesa 900 toneladas junto con la plataforma que lo sostiene, la cual es controlada por 26 motores eléctricos. Su frecuencia de trabajo es de 50MHz ($\lambda = 6\text{m}$) a 10GHz ($\lambda = 3\text{cm}$). La antena tiene la capacidad de transmitir señales con un transmisor de 1MW de potencia, con lo que se puede enviar radiación a objetos en el sistema solar, recibir el rebote de dicha señal y poder analizar propiedades químicas y dinámicas de dichos objetos. A continuación imágenes del observatorio (figuras 5 y 6):



Figuras Nº 5 y Nº 6: Vista satelital y panorámica del radiotelescopio.

Fuentes: maps.google.com, www.naic.edu/public/about/photos/hires/aoviews.html

2.2.2 Radio Observatorio VLA, Nuevo México, EE.UU.

Compuesto por 27 antenas de 25m de diámetro. Están colocadas en una posición en forma de letra “Y” y trabajan como un interferómetro. Su resolución es de 0.04 segundos de arco (0.04 / 3600 grados sexagesimales) y trabaja a una frecuencia máxima de 43GHz. Ver tabla 1:

| Receivers Available at the VLA | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|----------|----------|
| | 4 Band | P Band | L Band | C Band | X Band | U Band | K Band | Q Band |
| Frequency (GHz) | 0.073-0.0745 | 0.30-0.34 | 1.34-1.73 | 4.5-5.0 | 8.0-8.8 | 14.4-15.4 | 22-24 | 40-50 |
| Wavelength (cm) | 400 | 90 | 20 | 6 | 3.6 | 2 | 1.3 | 0.7 |
| Primary beam (arcmin) | 600 | 150 | 30 | 9 | 5.4 | 3 | 2 | 1 |
| Highest resolution (arcsec) | 24.0 | 6.0 | 1.4 | 0.4 | 0.24 | 0.14 | 0.08 | 0.05 |
| System Temp | 1000-10,000.K | 150-180.K | 37-75.K | 44.K | 34.K | 110.K | 50-190.K | 90-140.K |

Tabla N° 1: Resolución angular según frecuencia de trabajo.

Fuente: www.vla.nrao.edu/genpub/overview

Velocidades de giro: azimut: 40° por minuto, elevación: 20° por minuto. Ángulo mínimo de elevación: 8° sobre el horizonte. A continuación una imagen del observatorio (figura 8):



Figura N° 8: Vista del arreglo de antenas VLA. Fuente: www.vla.nrao.edu

CAPÍTULO 3
DESCRIPCIÓN DE LOS SUB SISTEMAS
QUE COMPONEN LA ESTACIÓN



3.1 Diseño de la etapa de recepción

Tomando en cuenta el diseño y funcionamiento de las partes de un radio telescopio mencionados en los capítulos 1 y 2, se utilizará la siguiente etapa de recepción en la antena del radiotelescopio a diseñar (figura 9):

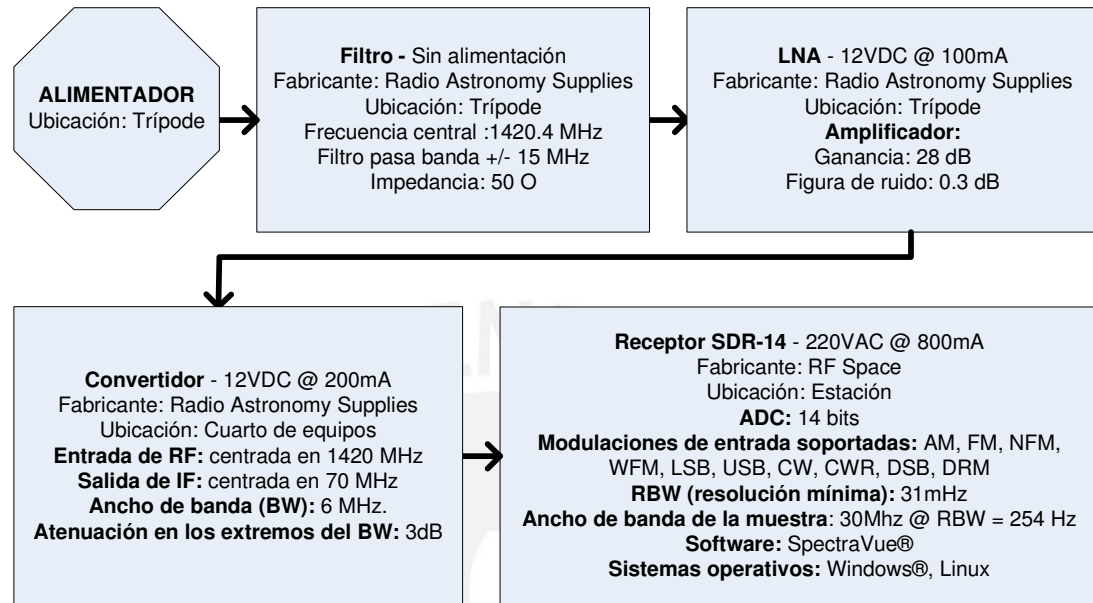


Figura N° 9: Diagrama esquemático de la etapa de recepción.

Fuente: Dr. Jorge Heraud.

Observar que el Alimentador, filtro, LNA y convertidor se encuentran en la estructura de la antena. El receptor SDR-14 se encuentra en la estación, conectado a la computadora de procesamiento de datos. Las ubicaciones (foco, cuarto de equipos y estación) se explicarán en el capítulo 4.

La etapa de recepción es el centro del radio telescopio ya que la señal proveniente del espacio entrará por el alimentador, después será filtrada y amplificada en el LNA, luego se le convertirá en frecuencia y finalmente será digitalizada por el receptor SDR-14 y procesada en la estación.

Alrededor de esta etapa habrá otros sub sistemas que ayudarán a que la antena funcione correctamente, los cuales son: pozos a tierra, control de posicionamiento y lectura de la posición de la antena (en azimut y elevación), computadoras en la estación, enfriamiento del LNA, protección y calibración del alimentador, balizaje, fuentes de alimentación, cableado y sistemas de comunicaciones entre la antena y la estación. En este capítulo se explicará cada uno de estos sub sistemas a diseñar en la estación, para luego pasar a su diseño en el último capítulo.

A continuación se desarrolla cada uno de los sub sistemas que trabajarán en torno a la etapa de recepción:

3.2 Pozos a tierra

Los pozos a tierra servirán para proteger a la antena de corrientes parásitas que intenten circular por su estructura. Al estar conectada a tierra, la antena estará libre de estas corrientes, y a su vez protegerá a la antena contra posibles impactos de rayos (poco probables en Lima, pero igualmente es necesaria la protección). El pozo a tierra que se colocará consta de un electrodo de cobre enterrado en un pozo o zanja cavada en el terreno, que finalmente es conectado con una abrazadera de bronce a la línea de tierra que será conectada a la antena o a las tomas de tierra de los equipos. El electrodo ofrecerá un camino de baja resistencia a las corrientes indeseadas que tengan contacto con la línea de tierra.

Habrá un pozo a tierra conectado directamente a la antena y habrá otro pozo más conectado a la línea de tierra de la estación de control. Este será construido junto con la estructura de la estación.

El terreno donde se ubicará el radio observatorio es una zona de terreno orgánico, donde la resistividad teórica es de 10 a $200 \Omega - m$. Los sistemas de telecomunicaciones necesitan un pozo a tierra con una resistividad máxima de 10Ω ([33]). Si el electrodo tiene una resistencia mayor, se debe colocar otro similar a una distancia mínima de 4 veces su longitud ([33]).

Los tipos de electrodo más recomendados son del tipo varilla (hasta 2m de largo y diámetro mayor a 16mm), que es el más usado, ó del tipo malla o anillo, que ofrece resistencias muy bajas (figura 10). Estos últimos son usados principalmente en las industrias petroquímicas y de gases volátiles.

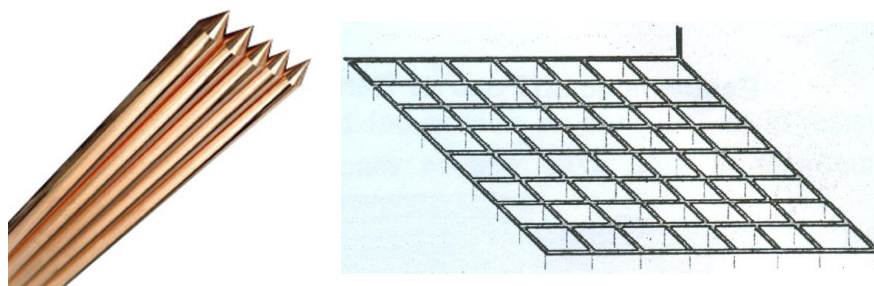


Figura Nº 10: Electrodo tipo varilla (izquierda) y malla (derecha).

Fuente: www.totalground.com/varillas.html y [33].

3.3 Equipos en la estación

La estación contará con cinco computadoras dentro de la estación: control de movimiento, recepción y procesamiento de la señal, post procesamiento de la señal, supervisión y operación y uso general:

3.3.1 Computadora de control de movimiento de la antena

Se encargará de monitorear y controlar la posición de la antena en azimut y elevación, así como el estado de la calibración del alimentador en el foco y el monitoreo de fuentes. La comunicación con estos sistemas se hará con el protocolo serial EIA485.

3.3.2 Computadora de recepción y procesamiento de la señal

Estará conectada directamente a la salida del receptor SDR14. Esta computadora se encargará de hacer las operaciones matemáticas necesarias para poder interpretar las señales observadas en tiempo real con ayuda del software de análisis espectral SpectraVue. Luego de procesar los datos, estos serán guardados en una unidad de almacenamiento en red.

3.3.3 Computadora de post procesamiento de datos

Este equipo se encargará de leer los datos almacenados en la unidad de almacenamiento en red, para luego procesarla y analizarla.

3.3.4 Computadora de supervisión y operación

Esta computadora se utilizará para el monitoreo general de toda la antena, entre los cuales está la lectura de la temperatura del LNA enfriado por el enfriador *Peltier*, el estado del ventilador del enfriador, la presión dentro del contenedor del alimentador, el monitoreo de todas las fuentes de alimentación. También se encargará de las secuencias de encendido y apagado de la antena. En la estación, junto a esta PC, habrá un panel donde se activarán LEDs y alarmas en caso de que los sensores detecten alguna anomalía en la antena.

3.3.5 Computadora de uso general

Esta computadora se utilizará para tareas generales, dentro de las cuales puede haber asuntos no relacionados directamente con las observaciones del radio telescopio, así como para futuras comunicaciones con otros observatorios, para efectuar, por ejemplo, interferometría de larga base (VLBI).

3.4 Control de posicionamiento de la antena

La antena tendrá dos movimientos: azimut y elevación, y serán controlados con motores DC. Para el movimiento de azimut se utilizará cuatro motores en la base (se moverán a la misma velocidad) y para la elevación se utilizará uno (ver figura 11). En el cuarto de equipos de la antena se encontrarán los circuitos de control de movimiento de dichos motores, y el control se hará desde la PC de control de movimiento con ayuda del protocolo serial EIA485 (8 bits seriales por cada movimiento).



Figura N° 11: Maqueta de la antena ubicada en el Instituto de Radio Astronomía de la PUCP (INRAS), indicando las posiciones de los motores de azimut y elevación.

3.5 Lectura de posición

La antena informará el lugar hacia donde esté apuntando en tiempo real a la computadora de control de movimiento con una resolución de 17 bits por eje (los circuitos tendrán capacidad de hasta 32 bits por eje). Para ello se contará con discos convertidores de ángulo a bits, los cuales, mediante codificación *Gray* y un arreglo de foto transistores, enviarán los 17 bits a la computadora de control de movimiento con el protocolo serial EIA485. A continuación se muestra una tabla que indica, en base a las frecuencias que se desea observar y los bits de resolución de cada movimiento, las resoluciones angulares necesarias, considerando que la precisión de apuntamiento será un décimo del haz de la antena. Como ejemplo: para observar señales de 24GHz se necesita de 17 bits de resolución, ya que se debe tener una resolución máxima de 15.74 segundos, y con los 17 bits se obtiene 9.88 segundos de resolución angular (tabla 2):

| PRECISIÓN DE APUNTAMIENTO PARA UNA ANTENA DE 20M DE DIÁMETRO | | | | | | | | | | | Jorge Heraud P. | | | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|--------------------|----|-------|---|-------|-------|-------|-----------------|--------------------|----------------------|-------|------|------|
| N | Resolución Numérica | Res. Angular | Resol. Angular | RESOLUCIÓN ANGULAR | | | Precisión de Apuntamiento (en seg.) para las frecuencias: ($\beta=0.1\alpha$) Haz | | | | | Frec. de Operación | Separación de líneas | | | |
| | | | | en | en | grad. | min. | seg. | 1.42 | 4.46 | 10 | | 15 | 24 | Max. | 1 |
| # | 2exp(N) | GRADOS | SEGUNDOS | | | | GHz | GHz | GHz | GHz | GHz | GHz | | mm | mm | mm |
| bits | | 360° / 2exp(N) | | | | | | | | | | | GHz | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 180 | 648000 | 180 | 0 | 0 | | | | | | | 6E-04 | 0.064 | 0.01 | 0 |
| 2 | 4 | 90 | 324000 | 90 | 0 | 0 | | | | | | | 0.001 | 0.127 | 0.01 | 0 |
| 3 | 8 | 45 | 162000 | 45 | 0 | 0 | | | | | | | 0.002 | 0.255 | 0.03 | 0 |
| 4 | 16 | 22.5 | 81000 | 22 | 30 | 0 | | | | | | | 0.005 | 0.509 | 0.05 | 0.01 |
| 5 | 32 | 11.25 | 40500 | 11 | 15 | 0 | | | | | | | 0.009 | 1.019 | 0.1 | 0.01 |
| 6 | 64 | 5.625 | 20250 | 5 | 37 | 30 | | | | | | | 0.019 | 2.037 | 0.2 | 0.02 |
| 7 | 128 | 2.8125 | 10125 | 2 | 48 | 45 | | | | | | | 0.037 | 4.074 | 0.41 | 0.04 |
| 8 | 256 | 1.40625 | 5062.5 | 1 | 24 | 22.5 | | | | | | | 0.075 | 8.149 | 0.81 | 0.08 |
| 9 | 512 | 0.703125 | 2531.25 | 0 | 42 | 11.25 | | | | | | | 0.149 | 16.3 | 1.63 | 0.16 |
| 10 | 1,024 | 0.3515625 | 1265.63 | 0 | 21 | 5.625 | | | | | | | 0.298 | 32.59 | 3.26 | 0.33 |
| 11 | 2,048 | 0.1757813 | 632.813 | 0 | 10 | 32.81 | | | | | | | 0.597 | 65.19 | 6.52 | 0.65 |
| 12 | 4,096 | 0.0878906 | 316.406 | 0 | 5 | 16.41 | | | | | | | 1.194 | 130.4 | 13 | 1.3 |
| 13 | 8,192 | 0.0439453 | 158.203 | 0 | 2 | 38.2 | 266.01 | | | | | | 2.388 | 260.8 | 26.1 | 2.61 |
| 14 | 16,384 | 0.0219727 | 79.1016 | 0 | 1 | 19.1 | | 84.68 | | | | | 4.775 | 521.5 | 52.2 | 5.22 |
| 15 | 32,768 | 0.0109863 | 39.5508 | 0 | 0 | 39.55 | | | | | | | 9.551 | 1043 | 104 | 10.4 |
| 16 | 65,536 | 0.0054932 | 19.7754 | 0 | 0 | 19.78 | | | 37.77 | 25.18 | | | 19.1 | 2086 | 209 | 20.9 |
| 17 | 131,072 | 0.0027466 | 9.8877 | 0 | 0 | 9.888 | | | | | 15.74 | | 38.2 | 4172 | 417 | 41.7 |
| 18 | 262,144 | 0.0013733 | 4.94385 | 0 | 0 | 4.944 | | | | | | | 76.41 | 8344 | 834 | 83.4 |
| 19 | 524,288 | 0.0006866 | 2.47192 | 0 | 0 | 2.472 | | | | | | | 152.8 | 16689 | 1669 | 167 |
| 20 | 1,048,576 | 0.0003433 | 1.23596 | 0 | 0 | 1.236 | | | | | | | 305.6 | 33377 | 3338 | 334 |

Tabla Nº 2: Resolución angular necesaria para las observaciones, según los bits utilizados y las frecuencias a observar.

Fuente: Dr. Jorge Heraud.

En la tabla se observa que para lograr una precisión de 17 bits será necesario un disco de 41.7cm de diámetro, con una separación entre bits en el disco de 0.01mm. El disco y la separación entre bits serán hechos por la tesis de José Osada.

3.6 Calibración del alimentador

El alimentador debe localizarse en el foco geométrico de la parábola de la antena con la finalidad de obtener la mayor eficiencia posible en la observación de señales. Debido a factores físicos en la estructura de la antena, tales como temperatura, viento y gravedad, el foco geométrico varía en pequeñas magnitudes, por lo cual muchas veces el alimentador no se sitúa en su posición óptima. Por ello se construirá un mecanismo realimentado de calibración. Este mecanismo utilizará motores DC para mover el alimentador en un rango de ± 5 centímetros en los ejes X, Y, Z y permitir el giro del alimentador de 0 hasta 90 grados (eje P). Con ello el alimentador siempre estará en el foco geométrico de la parábola de la antena. Los 5cm se deben a que inicialmente se trabajará con una longitud de onda de 21cm (1.42GHz), y en un cuarto de longitud de onda se tiene un cambio total en la fase en una señal. Por ello se toma un rango de un cuarto de 21cm, que son aproximadamente 5cm. La realimentación se dará con circuitos que lean la posición actual del alimentador en los 4 ejes (X, Y, Z, P). El control de los motores (8 bits en total) y la lectura de la posición de estos (8 bits por eje) se hará entre el calibrador y la computadora de control de movimiento, con ayuda del protocolo serial EIA485. Cabe mencionar que en esta tesis se diseñarán los circuitos de control y lectura de posición de los motores, pero no la estructura mecánica que los contiene.

3.7 Protección del alimentador

Debido a la humedad del ambiente, y a que el alimentador se encontrará a la intemperie (al igual que el mecanismo de calibración) se aislará a estos dentro de un contenedor, el cual contendrá gas presurizado (probablemente nitrógeno a un poco más de 1 atmósfera de presión). Dentro del contenedor se colocará un sensor de presión que informará a la computadora de supervisión y operación la presión interna del contenedor, en 8 bits, con ayuda del protocolo serial EIA485, para evitar posibles fugas del gas.

3.8 Enfriamiento del LNA

Los semiconductores en el LNA, al ser enfriados, tienen menor ruido térmico debido a que sus moléculas se agitan menos. Con ello la relación señal a ruido SNR es mayor, obteniendo una señal con menos ruido en la salida. Por ello es necesario un enfriador en dichos dispositivos ([8], [20], [31]).

Para esto se piensa utilizar inicialmente un enfriador de tipo Peltier (que ya fue adquirido, y su hoja de datos se encuentra en el anexo 2), el cual utiliza una diferencia de voltaje para generar un flujo de calor (y por lo tanto una diferencia de temperatura) entre dos metales ([31]). El lado metálico que se enfría será colocado del lado del amplificador y LNA, y el lado que se calienta será unido a un disipador de calor y un ventilador.

En el futuro se piensa utilizar un criostato, que enfriará los dispositivos a una menor temperatura. Se utilizará Nitrógeno líquido ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó 77K), el cual será enviado desde la base de la antena con ayuda de un compresor. Para ello se diseñará un circuito de control del compresor.

En ambos casos, la temperatura del LNA será monitoreada con un sensor de temperatura, así como el estado del ventilador. La temperatura (8 bits) y el estado del ventilador (2 bits) serán enviados a la computadora de supervisión y operación con el protocolo serial EIA485.

3.9 Balizaje

Este sub sistema se encargará de encender y apagar las 3 balizas ubicadas en el plato de la antena. Estas balizas se colocarán de acuerdo al Volumen I, Capítulo 6, Anexo 14 de la norma OACI (Organización de aviación civil internacional, agencia de la ONU, [37]). Su función es prevenir a aeronaves que vuelen cerca de la antena de posibles colisiones.

Según la norma, se deben de usar balizas de baja intensidad de tipo A ó B si la estructura es de menos de 45m de alto. La antena parabólica tendrá dos posiciones límites y con alturas máximas (ver figura 13 a continuación y el plano de la antena en el capítulo 1, figura 2). La primera posición será apuntando hacia el horizonte, donde la altura es de 22.5m. La segunda posición es con la antena apuntando hacia el cenit (exactamente 90° respecto al horizonte). Aquí la altura es de 16.8m. Según la norma, una de las balizas debe situarse en el punto más alto. Por ello se colocará una baliza en el foco, junto al alimentador (punto más alto en la posición 2), y otra en el borde del plato de la antena (en lo más alto en la posición 1). También debe colocarse por precaución una baliza en la altura media posterior del plato de la antena. Según la norma, las balizas deben ser de color rojo. A continuación el diagrama de la antena con la posición de las balizas (figura 12).

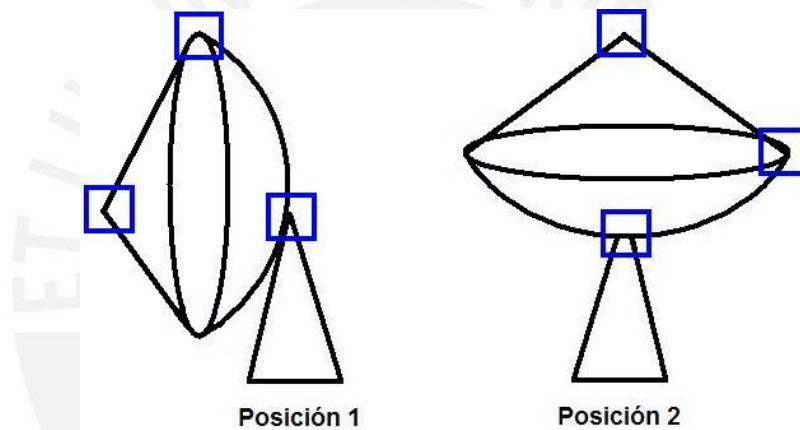


Figura Nº 12: Posiciones críticas de la antena. La antena se desplazará entre la posición 1 y 2 en elevación. Los cuadros azules indican donde irán las balizas.

En cuanto a la intensidad, para 50 a 500 cd/m², la luminancia debe de ser de 10mm (ver tablas en páginas 8, 10 y 12 de la norma OACI en bibliografía [37]). Respecto a las balizas, hay una gran variedad de tipos, desde LED hasta incandescentes. Se usará balizas con corriente AC debido a que producirá ruido de bajas frecuencias, el cual será menos perjudicial para la señal observada por la antena que el producido por los semiconductores en las balizas de tipo LED (los semiconductores producen ruido de mayor frecuencia).

La alimentación AC de las balizas saldrá de la estación. También habrá una señal indicadora del estado de la baliza que irá hacia el cuarto de equipos. Se diseñará un circuito para balizas de 220VAC y 500W como potencia máxima, y el estado de ellas será controlado por la computadora de supervisión y operación.

3.10 Cableado y fuentes de energía

El sistema de recepción de la señal en la antena está compuesto por el alimentador, junto con el mecanismo de calibración, el gas a presión, el criostato ó sistema de enfriamiento, el filtro y el amplificador de bajo ruido (LNA). Para ellos se diseñará fuentes de corriente continua en la antena. Estas fuentes tendrán corriente AC como fuente de energía. La salida de dichas fuentes se conectará con cada dispositivo por medio de cables blindados, los cuales son útiles cuando se desea aislar la señal dentro del cable para que no emita ruido electromagnético fuera del conductor.

Las señales de control (que indican temperatura y posición de azimut, elevación y posición del alimentador para calibración) también serán conectados con cables blindados.

La señal que llegue al alimentador proveniente del espacio será transportada con cable coaxial a través del filtro, el LNA, el convertidor y el receptor debido a que este tipo de cable es el que tiene mejor respuesta al ruido para señales de alta frecuencia (posee una malla de blindaje). Finalmente la señal llegará al receptor SDR-14 y a la computadora de procesamiento de datos.

Los cables se dividirán en dos grupos: por un lado estará el cable coaxial proveniente de la señal recibida junto con las señales de control y por otro lado estarán los cables de las fuentes de alimentación. Estos dos grupos de cables irán cada uno dentro de las patas del trípode que sostiene al alimentador en la antena. El trípode es la estructura que sostiene a todo el mecanismo de calibración y protección del alimentador, así como el sistema de enfriamiento en el foco de la antena.

Por otro lado, los cables de alimentación (corriente DC) irán hacia el cuarto de equipos por una franja hecha en el suelo, y el cable de la etapa de recepción irá por otra franja, junto con los cables encargados de la comunicación RS485. Las franjas serán hechas según el plano de la estación (Anexo 2: Plano de la estación), y la elección de cables se hará en el capítulo 4.

3.11 Radiómetro

Debido a que la antena se encuentra dentro de la atmósfera terrestre, algunas veces hay fluctuaciones en las emisiones de esta (principalmente debido al vapor de agua) que generan variaciones rápidas de la intensidad de la señal (aproximadamente en la banda de los 5GHz). También ocurre lo mismo con la intensidad de la señal que viaja por el medio interestelar, ya que siempre está expuesta a atenuaciones y fluctuaciones mientras viaja por el espacio. Esto ocurre incluso en frecuencias fuera de banda, es decir, frecuencias que no son la frecuencia central de observación (en nuestro caso se iniciará las observaciones a 1.42GHz). En este caso, aún no estando en la frecuencia central, estas señales ingresan al filtro y al amplificador y pueden llegar a tener fluctuaciones tan intensas que originan que se disminuya la sensibilidad de la etapa de amplificación (LNA) y la ganancia sea disminuida.

Para poder minimizar estos efectos no deseados será necesario utilizar un tipo de medición diferencial. Por ello se propone utilizar un radiómetro de Dicke ([22], [34]). Este radiómetro consiste en alternar la entrada del receptor (SDR-14 en este caso) con 2 dispositivos: el primero: la salida de la etapa de amplificación y conversión (es decir, la salida del convertidor de frecuencias, donde la señal ya fue amplificada por el LNA y filtrada con el filtro pasa banda), y el segundo: la salida de un generador de ruido. Como resultado se obtiene un receptor con mejor sensibilidad a pesar de las fluctuaciones mencionadas, y el LNA mantiene su ganancia en su valor fijo sin ser disminuida. A continuación un esquema del radiómetro de Dicke (figura 13):

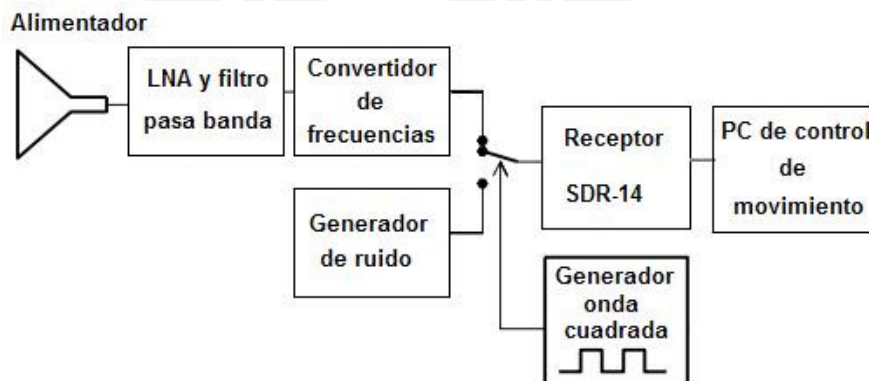
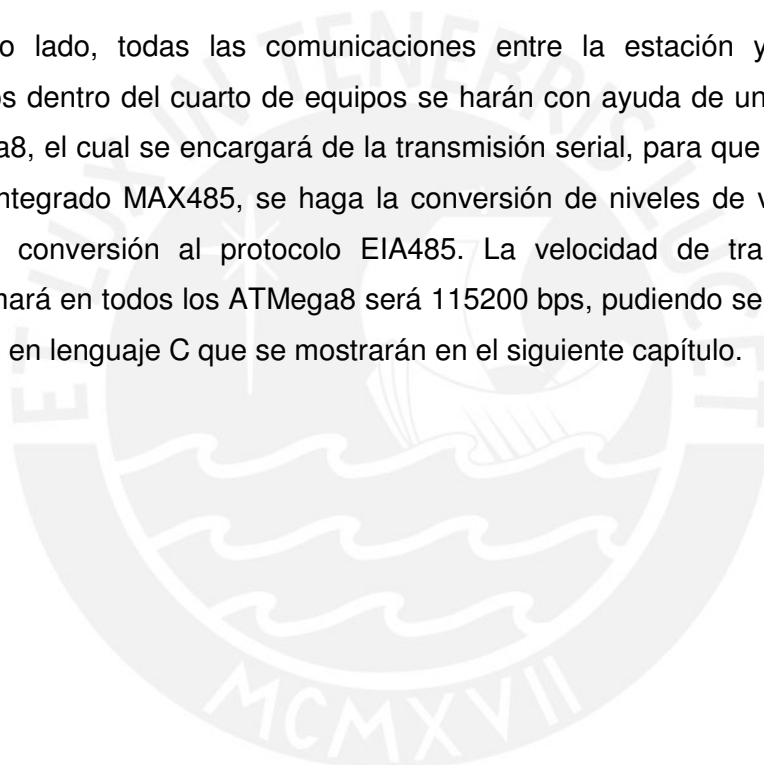


Figura N° 13: Diagrama de bloques de un radiómetro. Fuente: [22].

3.12 Transmisión de datos

Todos los sub sistemas que se comuniquen digitalmente con la estación (con la computadora de control de movimiento y la de supervisión y operación), es decir: monitoreo de presión, de temperatura, monitoreo de la posición del calibrador (motores X, Y, Z, P), monitoreo de la posición de azimut y elevación (17 bits cada uno), así como las señales de control (control de motores X, Y, Z, P en el calibrador y control de azimut y elevación, 4 bits cada uno) se comunicarán con el protocolo de transmisión serial EIA485, el cual es más rápido que el tradicional EIA232 y también soporta mayores distancias (hasta 1200m @ 200Kbps ó hasta 50m @ 10Mbps) ([39]).

Por otro lado, todas las comunicaciones entre la estación y los dispositivos ubicados dentro del cuarto de equipos se harán con ayuda de un microcontrolador ATmega8, el cual se encargará de la transmisión serial, para que luego, con ayuda de un integrado MAX485, se haga la conversión de niveles de voltaje necesarios para la conversión al protocolo EIA485. La velocidad de transmisión que se programará en todos los ATmega8 será 115200 bps, pudiendo ser cambiada en los códigos en lenguaje C que se mostrarán en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO 4
DISEÑO Y ELECCIÓN DE DISPOSITIVOS
EN CADA SUB SISTEMA DE LA ESTACIÓN



4.1 Ubicaciones

Los circuitos y dispositivos que se mencionarán en cada sub sistema tendrán las siguientes ubicaciones:

4.1.1 En el cuarto de equipos

El cuarto de equipos se ubicará en la parte posterior del plato de la antena, a la altura del eje de elevación. Se encuentra inscrito en un círculo de 3m de diámetro, y tendrá como dimensiones aproximadas 2.32m de ancho x 1.9m de alto y 1.8m de. Aquí se ubicarán las fuentes y circuitos de control de motores, así como los circuitos para transmisión y recepción de datos con la estación principal (computadora de control de movimiento y computadora de supervisión y operación). Se accederá solamente cuando se necesite algún tipo de reparación ó ajuste.

Este cuarto se moverá junto con el plato de la antena, y por ello se inclinará al momento de hacer un movimiento en elevación. Debido a esto todos los equipos estarán ajustados a repisas, y asimismo se diseñará tal que mantenga el nivel del piso horizontal. Para la elección de repisas se recomienda las repisas y soportes marca Rittal, distribuidas en Perú por la empresa Techvalue ([34]).

Otra función de este cuarto será la de albergar alimentadores del tipo Cassegrain. Un alimentador Cassegrain se coloca en el centro del plato de la antena (en donde estará el cuarto de equipos) y no en el foco de la parábola de la antena. En el foco se coloca un reflector, y la señal a observar, luego de rebotar en tal reflector, cae en el alimentador. Algunas de las ventajas de este tipo de reflectores y alimentadores son: el alimentador es más accesible (en el cuarto de equipos), se tiene menor ruido térmico (el alimentador apunta hacia el cielo en vez de apuntar hacia el suelo, por lo que se tiene menos ruido térmico, y trabaja a mayores frecuencias ([41]). Se tiene pensado colocar un tambor giratorio de alimentadores Cassegrain, para que cuando se quiera hacer distintas observaciones (y por lo tanto utilizar distintos alimentadores), solo se tenga que girar el tambor, y el alimentador seleccionado se encuentre en el centro del plato de la antena, apuntando al reflector que se colocará en el foco de la parábola (en el trípode).

A continuación se presenta un esquema del cuarto de equipos y un ejemplo del tambor giratorio de alimentadores (figuras 14 y 15).

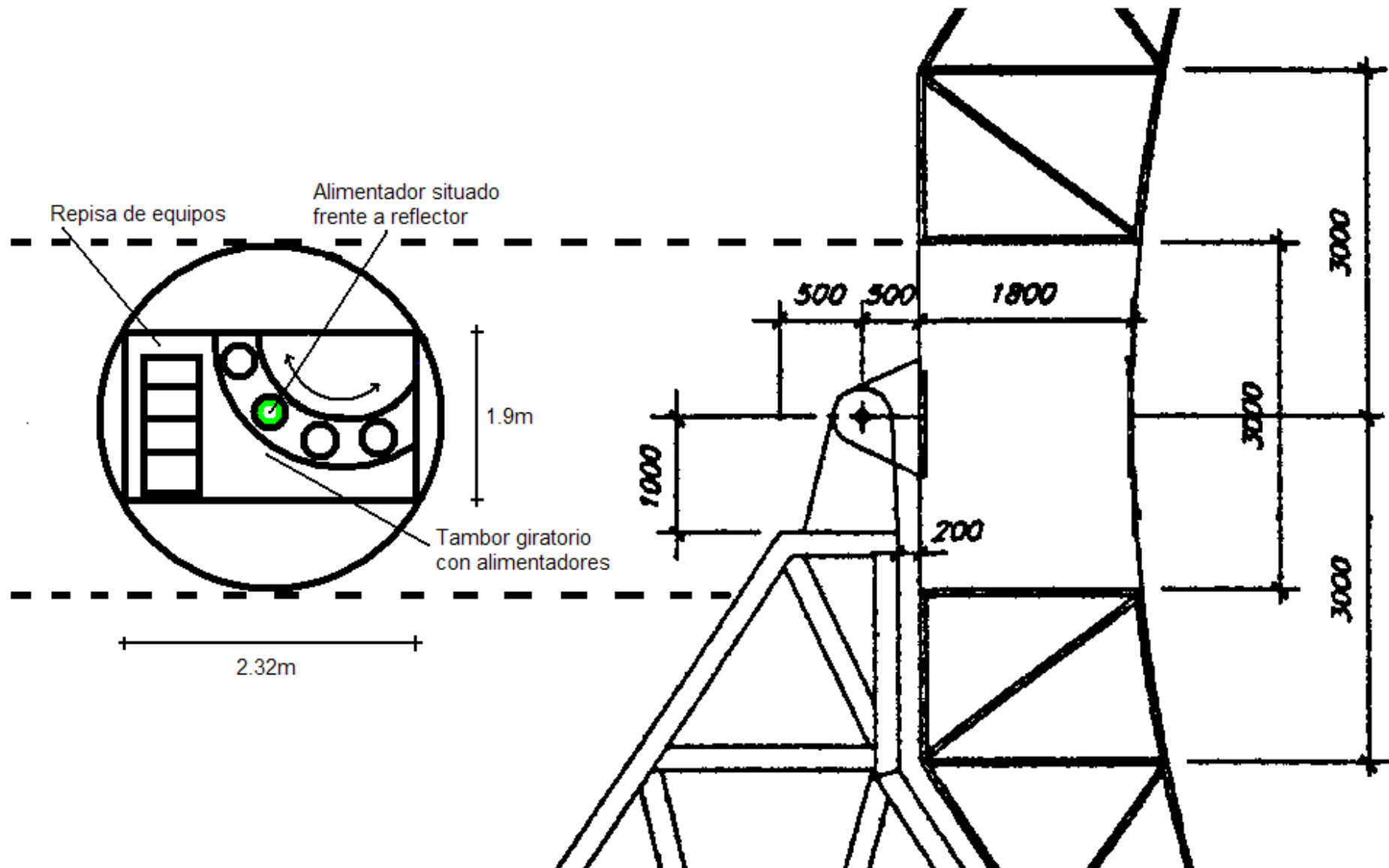


Figura N° 14: Esquema del Cuarto de equipos y del tambor giratorio detrás del plato de la antena. Diseño de la antena: Ing. Luis Zegarra.



Figura Nº 15: Tambor giratorio con 8 alimentadores (proyecto de la creación de un espectrómetro de banda amplia de frecuencias de la universidad de Maryland, aplicado en el radio telescopio de Green Bank, West Virginia, USA).

Fuente: www.astro.umd.edu/~harris/kaband

4.1.2 En la estación

La estación se ubica junto a la antena. En ella se ubican las computadoras, el receptor de la señal SDR-14 y las oficinas y talleres donde se trabajará con temas del radio observatorio. Desde aquí se controlará todo el radio telescopio.

4.1.3 En el foco de la antena

En el foco se ubicarán el alimentador, LNA, enfriador *Peltier* del LNA y ventilador, así como el calibrador del alimentador y los sensores de presión y temperatura. Todos los circuitos en el foco estarán conectados directamente al cuarto de equipos, y el cable coaxial a la salida del LNA también irá al cuarto, para poder ser convertido en frecuencias (con el convertidor) y luego ir a la estación hacia el receptor SDR-14.

4.1.4 En la estructura de la antena

En el centro posterior del plato de la antena se encuentra el motor de elevación, y en la base de la antena se encuentran los 4 motores que moverán la antena en azimut. Los circuitos de control de estos motores estarán en el cuarto de equipos. Las balizas también se encuentran en la estructura de la antena, como se explicó en el capítulo 3.

Como conclusión, todos los circuitos a diseñar se encontrarán las 4 ubicaciones mencionadas. Adicionalmente todo dato que sea transmitido hacia las PC en la estación irá primero al cuarto de equipos y viceversa, y siempre se usará el protocolo serial EIA485.

A continuación se desarrollará cada sub sistema diseñado en la tesis:

4.2 Pozos a tierra

Para el pozo a tierra se debe de utilizar un electrodo de cobre electrolítico de pureza 99.99%. El electrodo más usado es el de 2m de longitud y de 16mm de diámetro. Para colocarlo, el método más usado es el de hacer un pozo de 1m x 1m x 2.6m de profundidad. Según el código nacional de electricidad, un pozo a tierra con un solo electrodo debe de tener una resistividad máxima de 25Ω ([42], [43], [44]). Como se mencionó en el capítulo 3, es necesario, para una instalación de comunicaciones, contar con una resistividad máxima de 10Ω , por lo que es probable que se deba de hacer más de un pozo.

Antes de colocar el electrodo se debe de colocar y compactar tierra de cultivo (orgánica o de chacra) hasta llegar a los 0.3m en el fondo del pozo. Luego, se debe colocar el electrodo con un conductor desnudo (AWG#00, soporta corrientes hasta de 190A) en forma helicoidal alrededor de este con el objetivo de disminuir la resistividad. Los extremos de este cable deben ir conectados a los extremos del electrodo de cobre con ayuda de abrazaderas metálicas (las más usadas son de bronce). Posteriormente se rellena el pozo con más tierra orgánica y se compacta nuevamente a los 0.2m. Se repite este paso (compactar cada 0.2m) hasta llegar al metro de altura (en total 5 compactaciones de tierra). Luego de esto, si se desea disminuir más la resistividad, se recomienda utilizar químicos tales como *Thor-Gel*, el cual debe ser colocado en esta etapa. Luego de ser colocado y absorbido, se sigue con la aplicación de tierra orgánica y compactación cada 0.2m hasta culminar el pozo. A continuación se aplica una nueva dosis del químico *Thor-Gel* y se conecta la parte superior del electrodo con la acometida a tierra (cable conductor que irá conectado a los dispositivos que se conecten a tierra) con ayuda de una abrazadera de bronce ([42], [43], [44]). Finalmente se debe de colocar una caja de registro para que el pozo sea ubicable en la superficie (tapa de cemento).

Luego se debe de medir la resistividad del pozo con ayuda de un telurómetro. Si la resistencia no es menor a 10Ω se debe hacer otro pozo idéntico a una distancia no menor a 4 veces la longitud del primer electrodo (es decir, 8 metros). Ambos pozos deben interconectarse con el mismo tipo de conductor (AWG#00), el cual debe estar enterrado en una zanja aproximadamente 0.5m de profundidad y 0.5m de ancho, relleno también con tierra orgánica compactada ([33], [42], [43], [44]).

En el caso de que se necesite más de un pozo a tierra para obtener una baja resistividad, los arreglos de pozos más utilizados son los siguientes (figura 16):

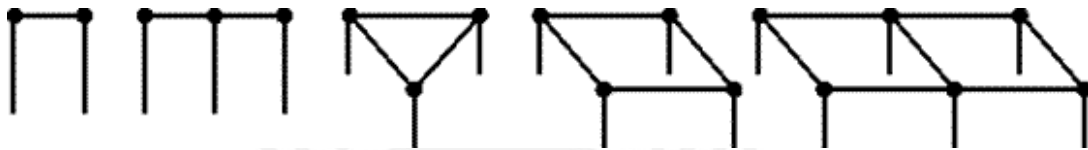


Figura N° 16: Arreglos de pozos a tierra más usados con varilla de cobre.

Fuente: www.cip.org.pe/Informacion/Documentos/pub/20070618/puesta_tierra.pdf

En la imagen, los arreglos de pozos de más hacia la derecha tienen menor resistividad (mayor cantidad de pozos). La distancia entre pozos debe ser como mínimo el doble de la longitud del electrodo (4m para electrodos de 2m).

A continuación se muestra un ejemplo de un pozo a tierra con una varilla de cobre de 2m de largo y cable conductor AWG#00 (figura 17). Cabe mencionar que el pozo a tierra diseñado es un diseño básico y es probable que sea necesario un arreglo especial de pozos a tierra al momento de la construcción de la estación y la antena:

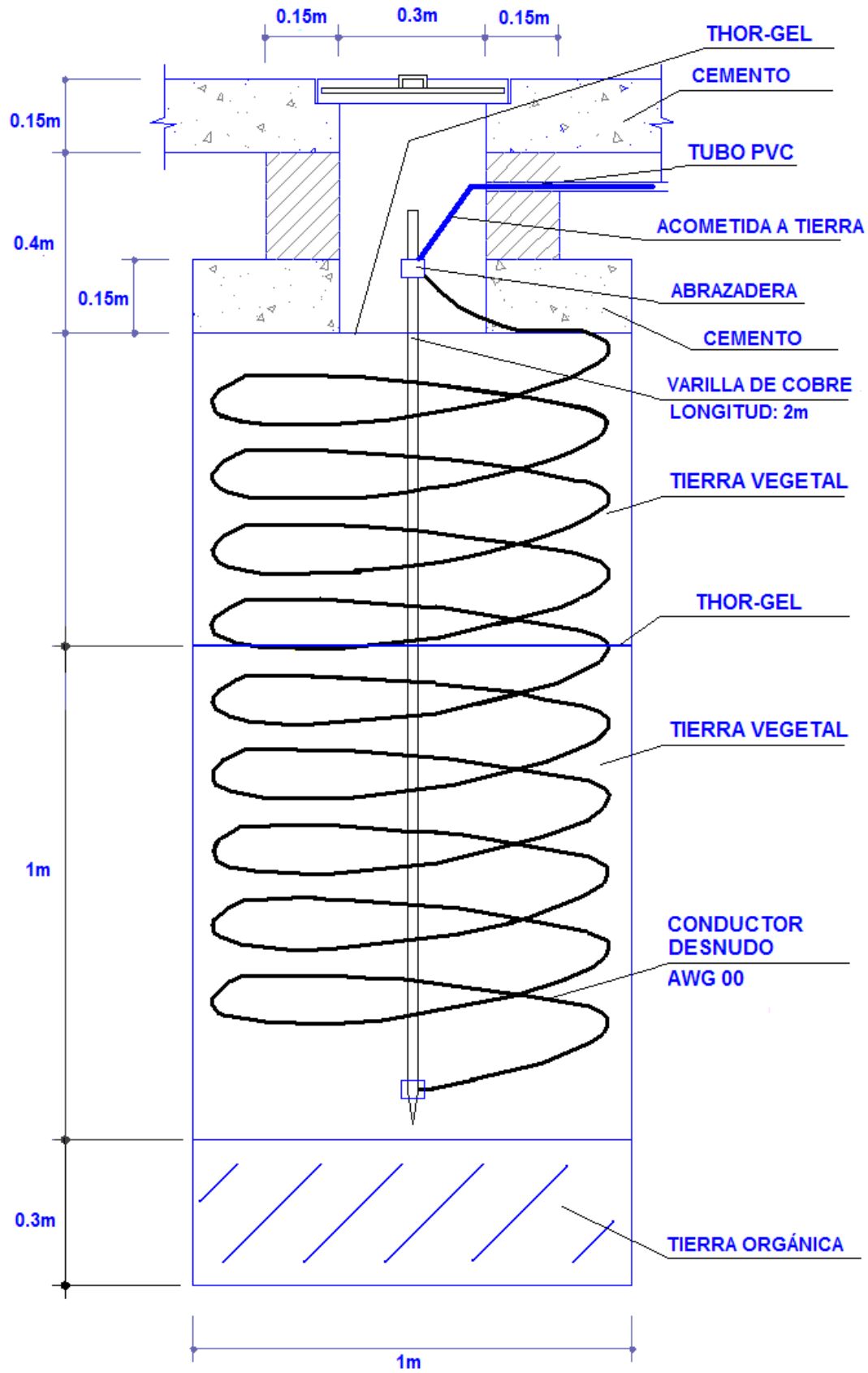


Figura N° 17: Pozo a tierra con varilla de cobre y conductor AWG#00. Fuente: www.bibliocad.com/cad/biblioteca/instalaciones/electricidad/21560-pozo-a-tierra.php

4.3 Equipos en la estación

En la estación habrá 5 computadoras: de control de movimiento de la antena, de recepción y procesamiento de la señal, de post procesamiento de datos, de uso general y de supervisión y operación. Se utilizará para las 5 computadoras el sistema operativo Windows XP Professional, el cual tiene los siguientes requerimientos mínimos ([45]):

- Procesador de 300MHz.
- Memoria RAM de 128MB.
- Disco duro con 1.5GB de espacio libre.
- Lectora de CDROM.

4.3.1 Computadoras de control de movimiento y de supervisión y operación

Estas computadoras se comunicarán con la antena por medio del cuarto de equipos. La comunicación se hará con el protocolo serial EIA485. Debido a que las computadoras no tienen controladores EIA485 (la mayoría solo cuenta con 1 puerto EIA232 y varios puertos USB) se usará un concentrador EIA485 por computadora. Se recomienda el concentrador Uport 1650-8 de la marca Moxa ([46], ver figura 18), el cual tiene 8 puertos EIA485 (usan el conector DB9 usado por el protocolo EIA232) y se conectan a la computadora por 1 puerto USB (el dispositivo se encarga de la conversión de protocolos). Por otro lado, en caso se necesite más puertos USB se puede utilizar concentradores USB, que usan 1 solo puerto USB y permiten conectar varios dispositivos. En un solo puerto USB se puede conectar hasta 127 dispositivos ([35]). Un concentrador recomendado es el DUB-H7 de la marca D-Link ([47]), el cual cuenta con 7 puertos USB y alimentación externa. Si se suma este concentrador a los puertos que vienen con la computadora se tendrán los puertos USB necesarios para todas las conexiones adicionales.



Figura Nº 18: Concentrador EIA485 a USB de 8 puertos Uport 1650-8 marca Moxa

Fuente: http://www.moxa.com/doc/specs/UPort_1600-8_Series.pdf

Adicionalmente, la computadora de control de movimiento contará con el software encargado de controlar los circuitos encargados del movimiento de los motores de azimut y elevación (ubicados en el cuarto de equipos), así como los de calibración del alimentador, y la computadora de supervisión y operación tendrá el software de monitoreo del estado de la antena. Debido a que este software no se desarrollará en esta tesis, se asumirá que sus requerimientos son de 256MB de memoria y de 2GB de disco duro (valores comunes para software).

A continuación se muestran las características finales de las computadoras de control de movimiento y de supervisión y operación:

Computadora de control de movimiento:

- Procesador: Intel o AMD, doble núcleo, 2.2GHz como mínimo.
- Memoria RAM: 4GB, tipo DDR2 ó DDR3.
- Disco Duro: 250GB mínimo.
- Multi lectora y grabadora de DVD.
- Concentrador USB Dlink modelo DUB-H7.
- Concentrador EIA485 Moxa Uport 1650-8.
- Tarjeta de video con salida para 2 monitores (VGA o DVI).
- Dos monitores LCD: el primero de tamaño estándar para un usuario (unas 17") y el segundo de gran tamaño (unas 32"), para colocarlo a la vista de toda la sala de equipos, donde se muestre gráficamente el lugar hacia el que apunta la antena .

Computadora de supervisión y operación:

- Procesador: Intel o AMD, doble núcleo, 2.2GHz como mínimo.
- Memoria RAM: 4GB, tipo DDR2 ó DDR3.
- Disco Duro: 250GB mínimo.
- Multi lectora y grabadora de DVD.
- Concentrador USB Dlink modelo DUB-H7.
- Concentrador EIA485 Moxa Uport 1650-8.
- Tarjeta de video con salida para 2 monitores (VGA o DVI).
- Dos monitores LCD: el primero de tamaño estándar para un usuario (unas 17") y el segundo de gran tamaño (unas 32"), para colocarlo a la vista de toda la sala de equipos, donde se muestre gráficamente el estado de la antena (dibujo de la antena con indicadores gráficos de la presión, temperatura, valor de fuentes de alimentación, etc.).

4.3.2 Computadora de recepción y procesamiento de la señal

La computadora de recepción y procesamiento de la señal utilizará el software *SpectraVue*, que grabará las observaciones hechas por el receptor SDR-14 (conectado por el puerto USB de la computadora) a aproximadamente 11MB por minuto. Considerando el peor caso, en una observación de 12 horas (720 minutos), se necesitaría de aproximadamente 8GB de espacio en el disco duro para poder grabar toda la observación ([36]). Los requerimientos para *SpectraVue* son ([36]):

- Procesador de 1GHz.
- Memoria RAM de 128MB.
- Windows XP ó Windows 2000.

A continuación los requerimientos para esta computadora:

Computadora de recepción y procesamiento de la señal:

- Procesador: Intel o AMD, doble núcleo, 2.2GHz como mínimo.
- Memoria RAM: 4GB, tipo DDR2 ó DDR3.
- Disco Duro: 250GB mínimo.
- Multi lectora y grabadora de DVD.
- Monitor LCD de tamaño estándar para un usuario (unas 17”).

4.3.3 Computadora de post procesamiento de datos

Los datos de la observación serán grabados en una unidad de almacenamiento masivo en red (NAS, *Network Attached Storage*), la cual podrá ser accedida desde cualquier computadora conectada a la red. Las computadoras de la estación estarán conectadas a la red Ethernet de la PUCP, y a su vez la unidad NAS estará conectada, por un cable de red, a la misma red. Con esto, se podrá acceder a los archivos (grabar, leer) desde cualquier PC dentro de la red de la universidad (la unidad NAS permite que se le asigne una dirección IP para poder acceder a ella). Entre varias marcas se ha propuesto la marca Cisco, la más reconocida del rubro, entre las cuales destaca el modelo NSS3000 ([38], figura 51), el cual cuenta con 4 bahías SATA (hasta 4 discos duros de hasta 1TB cada uno) y con la posibilidad de retirar y reemplazar cada disco duro, en el caso de que uno esté lleno. También cabe mencionar que esta computadora constantemente usará la mayoría del tiempo del procesador procesando los datos guardados en las observaciones. Debido a esto se necesitará de un procesador rápido.

A continuación se muestran los requerimientos de esta computadora:

Computadora de post procesamiento de datos:

- Procesador: Intel i7 (velocidades desde 2.6 GHz).
- Memoria RAM: 4GB, tipo DDR2 ó DDR3.
- Disco Duro: 1TB para tener como respaldo a la unidad de almacenamiento en red.
- Unidad NAS de almacenamiento en red Cisco NSS3000.
- Multi lectora y grabadora de DVD.
- Tarjeta de video con salida para 2 monitores (VGA o DVI).
- Dos monitores LCD: el primero de tamaño estándar para un usuario (unas 17") y el segundo de gran tamaño (unas 32"), para colocarlo a la vista de toda la sala de equipos, donde se muestre gráficamente el resultado de las observaciones hechas.

A continuación una imagen de la unidad de almacenamiento en red escogida (figura 19):



Figura Nº 19: Unidad de almacenamiento en red NSS3000 de CISCO.

Fuente: www.cisco.com/en/US/prod/collateral/ps4159/ps9954/ps9957/data_sheet_c78-509774.html

4.3.4 Computadora de uso general

Finalmente, la PC de uso general será utilizada para tareas no relacionadas directamente a la antena tales como la elaboración de documentos, comunicaciones (futuros proyectos de interferometría), y usos de una computadora de oficina. Se utilizará el software Microsoft Office 2007, cuyos requerimientos mínimos son ([48]):

- Procesador de 500MHz.
- Memoria RAM de 256MB.
- Disco duro con 1.5GB de espacio libre.
- Lectora de CDROM o DVD.
- Tarjeta gráfica con resolución de 1024x768 píxeles.
- Microsoft Windows XP SP2.

A continuación se muestran los requerimientos de esta computadora:

Computadora de uso general:

- Procesador: Intel o AMD, doble núcleo, 2.2GHz como mínimo.
- Memoria RAM: 4GB, tipo DDR2 ó DDR3.
- Disco Duro: 250GB mínimo.
- Multi lectora y grabadora de DVD.
- Monitor LCD de tamaño estándar para un usuario (unas 17”).

Finalmente, el arreglo de monitores secundarios debe de quedar como en la figura 20 (a continuación), donde se muestra en el primer monitor la posición actual hacia donde se está apuntando en el espacio (computadora de control de movimiento); en el segundo monitor se muestra los valores de las fuentes de voltaje y estado general de la antena (computadora de supervisión y operación); y en el tercer monitor se muestra los resultados del post procesamiento de las observaciones almacenadas (computadora de post procesamiento):

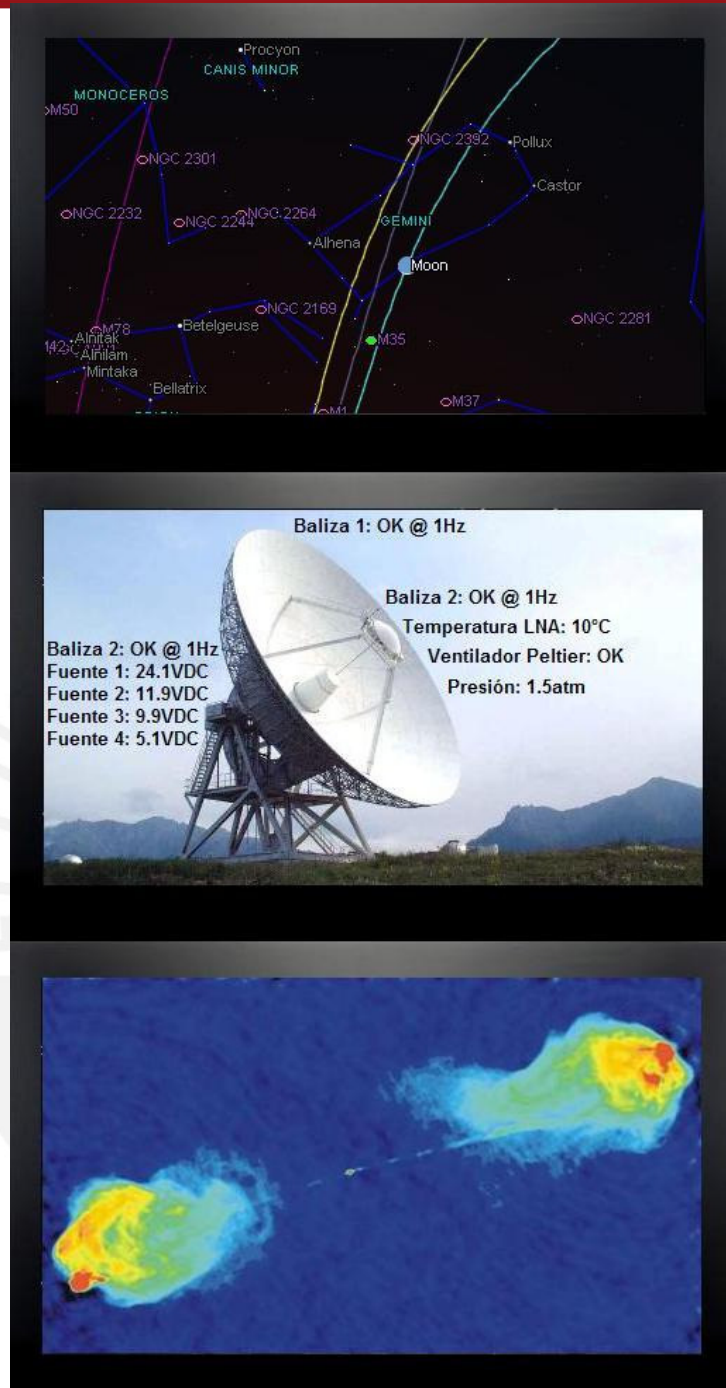


Figura N° 20: Pantallas secundarias de las computadoras de control de movimiento.

Concluyendo este sub capítulo, se asumirá que las computadoras trabajarán con una fuente de energía (dentro del CPU) convencional de 400W, y que cada monitor LCD (8 en total) consumirá en promedio 200W. El concentrador EIA485 consume, de acuerdo a su hoja de datos, 150mA, cada concentrador USB 1A, y la unidad de almacenamiento en red 150W. En total se obtiene una potencia total aproximada de 4KW. En el último sub capítulo se diseñarán las fuentes de energía para cada circuito de acuerdo a los requerimientos de energía.

4.4 Control de posicionamiento

La antena se moverá en azimut (con 1 motor) y elevación (con 4 motores). El diseño se hará para motores DC de 24VDC y 10A.

Los motores serán controlados por puentes H, que se encargarán de hacerlos girar en ambos sentidos con una señal PWM, la cual permitirá que haya distintas velocidades de giro. Cada motor tendrá 5 velocidades en base a su velocidad máxima: 20% (V1), 40% (V2), 60% (V3), 80% (V4) y 100% (V5). Cada velocidad tendrá 2 sentidos (horario, “+” y antihorario, “-“). Además, para cada movimiento habrá un estado de apagado. Con esto son 11 combinaciones diferentes para azimut, y otras 11 para elevación.

Para poder controlar estas 11 combinaciones por eje se necesita de 4 bits por cada uno (hasta 16 combinaciones, pero solo se usarán 11). Debido a que los datos seriales se transmiten en bytes, se usará 8 bits para controlar cada eje por separado (8 bits para controlar el movimiento de azimut y 8 bits para controlar el movimiento de elevación). Cada uno de estos bytes se transmitirá de forma serial desde la computadora de control de movimiento hacia el cuarto de equipos, donde estarán los circuitos de control de motores y los puentes H.

Para verificar que el byte ha llegado correctamente y sin errores, se enviará previamente otro byte con un verificador hexadecimal. Una vez que se comprueba que el verificador es el correcto, se lee el siguiente byte, que representa la velocidad y el sentido con el que se moverá el motor. Si el verificador es incorrecto, se lee el byte siguiente y se hace la misma verificación nuevamente. La computadora de control de movimiento enviará constantemente bytes por cada eje indicando a la antena la velocidad a la que debe de moverse. La secuencia de envío será: verificador, byte de movimiento, verificador, byte de movimiento y así sucesivamente. En la figura 21 se muestra un ejemplo gráfico de los 8 bits enviados por eje:

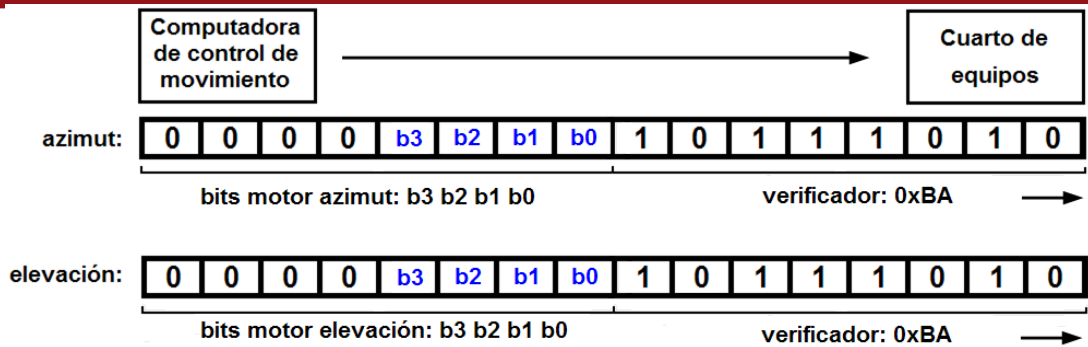


Figura Nº 21: Byte de verificación y byte de control de movimiento de cada eje.

La tabla con la interpretación de cada uno de los 4 bits que indican el movimiento de cada eje (b3, b2, b1, b0) es la siguiente (tabla 3):

| b3 | b2 | b1 | b0 | Movimiento: |
|----|----|----|----|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | V1+ (horario) |
| 0 | 0 | 0 | 1 | V1- (antihorario) |
| 0 | 0 | 1 | 0 | V2+ (horario) |
| 0 | 0 | 1 | 1 | V2- (antihorario) |
| 0 | 1 | 0 | 0 | V3+ (horario) |
| 0 | 1 | 0 | 1 | V3- (antihorario) |
| 0 | 1 | 1 | 0 | V4+ (horario) |
| 0 | 1 | 1 | 1 | V4- (antihorario) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | V5+ (horario) |
| 1 | 0 | 0 | 1 | V5- (antihorario) |
| 1 | 0 | 1 | 0 | Apagado |
| 1 | 0 | 1 | 1 | No usado |
| 1 | 1 | 0 | 0 | No usado |
| 1 | 1 | 0 | 1 | No usado |
| 1 | 1 | 1 | 0 | No usado |
| 1 | 1 | 1 | 1 | No usado |

Tabla Nº 3: Tabla con los 4 bits que indican el estado de cada

Como ejemplo, si el motor de azimut recibe los bits “0100”, significa que debe girar en sentido horario a la velocidad 3. Generalizando, los bits b3, b2, b1, b0 recibidos en serie son transformados a paralelo con ayuda del microcontrolador ATmega8.

Luego, estos 4 bits en paralelo ingresan a un decodificador de 4 a 16 bits. A la salida de este decodificador solo se utilizan las 11 primeras salidas (recordar que solo hay 11 combinaciones posibles de velocidad y sentido de giro por cada eje). Cada una de estas 11 salidas habilita 11 *buffers* tri estado, que funcionan uno a la vez (solo se activa una salida del decodificador, por lo que sólo habilitará un *buffer*). Las salidas de estos *buffers* (A y B) son las entradas del puente H que controla al movimiento de azimut (4 motores que se mueven simultáneamente) o al movimiento de elevación (1 motor). A continuación se muestra una tabla con los valores de A y B necesarios para que el eje deseado gire a una velocidad y a un sentido de giro establecidos (tabla 4):

| A | B | Movimiento: |
|-----|-----|----------------------------|
| 0 | 0 | Motor apagado |
| PWM | 1 | Sentido Antihorario |
| 1 | PWM | Sentido Horario |
| 1 | 1 | No usado |

Tabla Nº 4: Tabla con los valores de los bits A y B que controlan al puente H.

En la tabla, el valor “PWM” representa a una señal cuadrada de un ancho de pulso determinado (habrá 4 anchos de pulso distintos, para obtener 4 velocidades distintas de giro: V1: 20%, V2: 40%, V3: 60%, V4: 80%). La quinta velocidad V5 se obtendrá si el valor PWM es “1” (100%). Además, los 11 *buffers* tri estado tienen como salidas los valores fijados de A y B de acuerdo a cada combinación. Por ejemplo: El *buffer* activado por la entrada “0000” del decodificador tiene como salida “A” a “0” y como salida “B” a una señal cuadrada de ancho de pulso 20%. Cabe mencionar que las 4 señales PWM se generarán con temporizadores 555 en modo astable (en total habrá 4 temporizadores astables para las velocidades V1, V2, V3, V4). La frecuencia óptima de la señal de ancho de pulso dependerá del motor, pero por lo general, para motores de potencia, se usan frecuencias del orden de los KHz o los cientos de Hz. Debido a esto será posible regular la frecuencia en los temporizadores con potenciómetros, para que sea fijada al momento de hacer las pruebas con los motores. El diagrama de bloques del control de movimiento de cada eje será el siguiente (uno para azimut y otro para elevación) (figura 22):

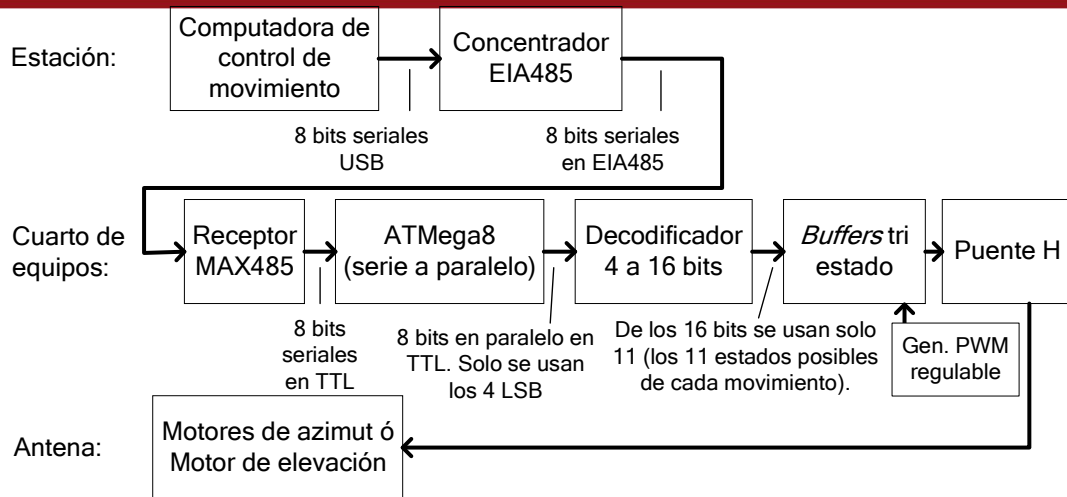


Figura N° 22: Diagrama de bloques del control de azimut y elevación (habrá uno por cada movimiento) en la estación, cuarto de equipos y antena.

4.4.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

En total habrá 5 circuitos:

Circuito 1: Azimut: Receptor EIA485 (con MAX485), conversor serie a paralelo (con ATMega8), decodificador de 4 a 16 bits (con integrado 74154), *buffers* tri estado (con integrado 74240) (Anexo 1, figura 1). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 2: Azimut: Puente H para los 4 motores de azimut (Anexo 1, figura 2). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 3: Elevación: Receptor EIA485 (con MAX485), conversor serie a paralelo (con ATMega8), decodificador de 4 a 16 bits (con integrado 74154), *buffers* tri estado (con integrado 74240) (Anexo 1, figura 3). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 4: Elevación: Puente H para los 4 motores de azimut (Anexo 1, figura 4). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 5: Azimut y Elevación: Generadores de onda PWM de 20%, 40%, 60% y 80% (Anexo 1, figura 5). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 1: De los circuitos 1 y 3 (Anexo 1, figura 6).

Programas 1 y 2: De los circuitos 1 y 3 (Anexo 1, figuras 7 y 8).

Finalmente, en el circuito 5 se debe de variar los valores de las resistencias Ra y Rb tal que los ciclos de trabajo en las salidas “PWM” sean los requeridos (20%, 40%, 60% y 80% de ciclo de trabajo). Debido a que se deberá determinar la frecuencia óptima de la señal PWM la tabla tiene diferentes valores de frecuencias (como se explicó la frecuencia tendrá su valor en KHz o en cientos de Hz), y en base a estas los valores, y considerando un condensador de 1 μ F, las resistencias Ra y Rb tendrán los siguientes valores (tabla 5):

$$C = 1\mu F$$

| DC = 20% (PWM1) | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|------|------|------|------|
| f (Hz) | 50 | 100 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Ra (Ω) | 5714 | 2857 | 1429 | 714 | 357 | 179 |
| Rb (Ω) | 22857 | 11429 | 5714 | 2857 | 1429 | 714 |
| DC = 40% (PWM2) | | | | | | |
| f (Hz) | 50 | 100 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Ra (Ω) | 11429 | 5714 | 2857 | 1429 | 714 | 357 |
| Rb (Ω) | 17143 | 8571 | 4286 | 2143 | 1071 | 536 |
| DC = 60% (PWM3) | | | | | | |
| f (Hz) | 50 | 100 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Ra (Ω) | 17143 | 8571 | 4286 | 2143 | 1071 | 536 |
| Rb (Ω) | 11429 | 5714 | 2857 | 1429 | 714 | 357 |
| DC = 80% (PWM4) | | | | | | |
| f (Hz) | 50 | 100 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| Ra (Ω) | 22857 | 11429 | 5714 | 2857 | 1429 | 714 |
| Rb (Ω) | 5714 | 2857 | 1429 | 714 | 357 | 179 |

Tabla Nº 5: Valores de Ra y Rb en ohmios para los diferentes ciclos de trabajo en el circuito 5.

Debido a que los valores varían entre 179 Ω y 22857 Ω se deberá usar potenciómetros de diferentes magnitudes. Debido a esto en, el circuito 5, la resistencia Ra y Rb de cada puente H se ha dividido en 2: “RA1”, “RA2” y “RB1”, “RB2”. Cuando se desee usar valores bajos de resistencia se deberá de utilizar el potenciómetro de valor bajo, y cuando se desee un valor alto se deberá utilizar el potenciómetro de valor alto. La selección entre los 2 potenciómetros (1 y 2) se hará con ayuda de *jumpers* (ver circuito 5 en anexo 1).

4.5 Lectura de posición

Con el fin de cerrar el lazo de control de movimiento de la antena es necesario monitorear constantemente las posiciones de azimut y elevación de la antena. Para ello se utilizarán discos que girarán simultáneamente con cada eje (azimut y elevación). Cada disco se divide en secciones transparentes y opacas, con la finalidad de hacer un mapa de código binario en el disco. Con ayuda de foto transistores y LEDs se logrará la conversión de ángulo a bits.

A continuación se diseñará el circuito que transmite los 32 bits por eje hacia la computadora de control de movimiento con el protocolo serial EIA485. Por cada eje se usarán 2 ATmega8, y cada uno estará encargado de transmitir los 16 bits más significativos y los 16 bits menos significativos de la posición en azimut y elevación. En total serán 4 tramas seriales de 16 bits a enviar, pero con ayuda de un multiplexor se hará que las 4 tramas se transmitan en una sola línea de transmisión EIA485, para evitar tener gran cantidad de líneas de transmisión EIA485. El multiplexor cambiará su salida alternando entre las 4 tramas de 16 bits, y dejará que pase cada una de las tramas por un tiempo determinado con ayuda de un contador de 2 bits (la velocidad a la que se cambiará entre tramas será regulable en el contador).

Cabe mencionar que la conversión de ángulo a bits (en niveles de voltaje) será hecha por el tesista José Osada, y este circuito tiene como entradas los 32 bits por eje ya convertidos (en niveles de voltaje, 5VDC para "1" y 0VDC para "0").

El diagrama de bloques de los circuitos encargados de la lectura de azimut y elevación, así como del transmisor EIA485, es el siguiente (figura 23):

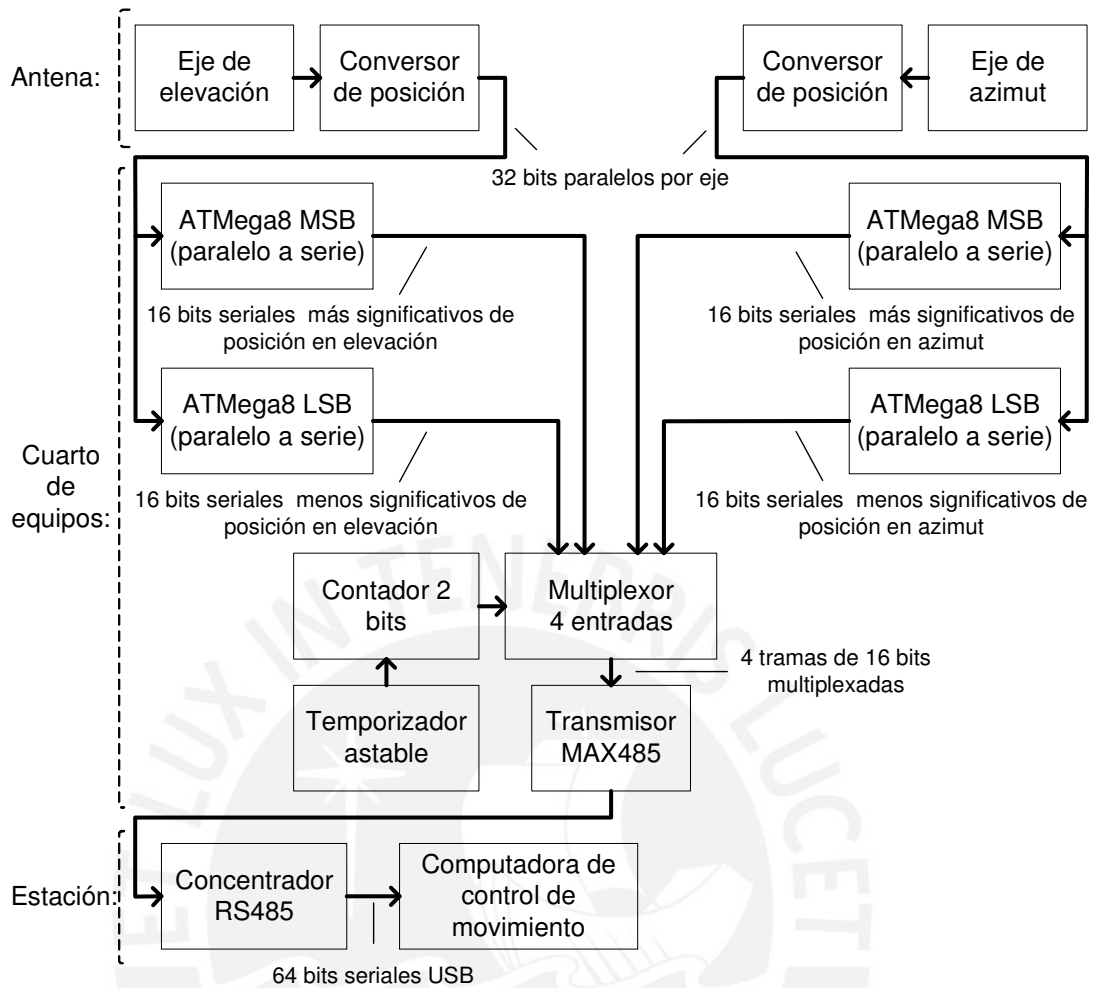


Figura N° 23: Diagrama de bloques de la lectura de los 32 bits de azimut y 32 bits de elevación en la estación, cuarto de equipos y antena.

En la figura se observa que los 32 bits por eje serán transmitidos por 2 microcontroladores ATmega8. En total serán 64 bits a transmitir: 32 bits de azimut (2 tramas de 16 bits) y 32 de elevación (2 tramas de 16 bits). Las 4 tramas de 16 bits entrarán a un multiplexor para poder ser transmitidas por una sola línea con el protocolo EIA485 hacia la PC de control de movimiento. Cada trama de 16 bits transmitida enviará siempre, antes de los 16 bits, un verificador de 8 bits para comprobar que los datos llegan correctamente.

4.5.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

En total habrá 2 circuitos:

Circuito 6: Azimut y elevación: Conversor paralelo a serie de los 32 bits de azimut y 32 bits de elevación (con 4 ATmega8), transmisor EIA485 (Anexo 1, figura 9).
Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 2: Del circuito 6 (Anexo 1, figura 10).

Programas 3 y 4: Del circuito 6 (Anexo 1, figuras 11 y 12).



4.6 Calibración del alimentador

El alimentador estará ajustado a una estructura metálica en el foco de la antena, con la cual se podrá desplazar en un rango de +/- 5cm en el eje X, eje Y, eje Z y podrá girar de 0 a 90 grados (eje P). A continuación se muestra una imagen del alimentador con el soporte que lo unirá al calibrador (figura 24):



Figura Nº 24: Alimentador que se utilizará para la antena del radiotelescopio.

El diseño considera que cada uno de los movimientos (X, Y, Z, P) será hecho por un motor DC de 12VDC y 5A y la forma más probable del funcionamiento del calibrador será con ayuda de tornillos sin fin para poder efectuar el desplazamiento en los ejes X, Y, Z y P. También se podrá leer la posición en cada uno de los 4 ejes y se transmitirán los datos a la computadora de control de movimiento para así poder efectuar la calibración desde la estación.

4.6.1 Control de los motores en ejes X, Y, Z, P

Cada motor girará a una sola velocidad en ambos sentidos. Por ello se tendrá 3 estados: giro hacia un sentido, giro hacia el otro sentido y apagado. Con ello se necesita 2 bits por motor. En total, al ser 4 motores, se necesitará transmitir 8 bits en serie desde la computadora de control de movimiento para poder controlarlos. La computadora de control de movimiento enviará continuamente un verificador de 8 bits y luego los 8 bits de control de los 4 motores X, Y, Z y P.

El diagrama de bloques del control de estos motores es el siguiente (figura 25):

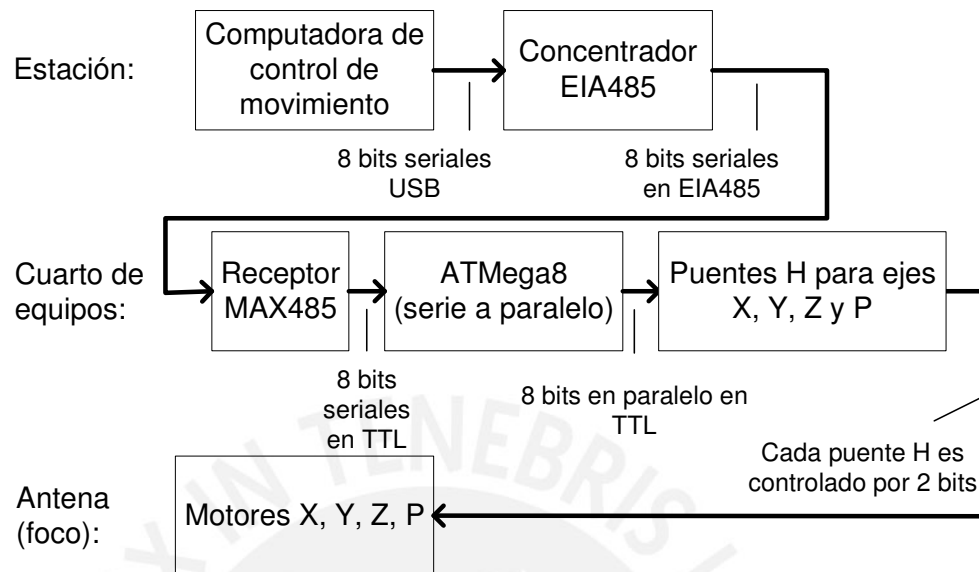


Figura Nº 25: Diagrama de bloques del control de los motores de los ejes X, Y, Z, P.

Cada puente H tiene como entradas los bits A, B y funciona según la siguiente tabla (tabla 6):

| A | B | Movimiento: |
|---|---|----------------------------|
| 0 | 0 | Motor apagado |
| 0 | 1 | Sentido Antihorario |
| 1 | 0 | Sentido Horario |
| 1 | 1 | No usado |

Tabla Nº 6: Valores de los bits A y B que controlan a los puentes H de los motores de los ejes X, Y, Z y P.

4.6.1.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

Habrán 2 circuitos en total:

Circuito 7: Receptor EIA485 (con MAX485), conversor serie a paralelo de los 8 bits (con ATmega8) (Anexo 1, figura 13). Ubicación: cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 3: Del circuito 7 (Anexo 1, figura 13).

Programa 5: Del circuito 7 (Anexo 1, figura 14)

Circuito 8: Puentes H de los motores X, Y, Z, P (Anexo 1, figura 15). Ubicación: cuarto de equipos.



4.6.2 Lectura de la posición del alimentador en X, Y, Z y P

La lectura de la posición en X, Y, Z y P se hará con una resolución de 8 bits por eje (32 bits en total) y se utilizarán resistencias variables con la luz (LDR) y LEDs para convertir la posición de cada eje en bits. El esquema será parecido a la lectura de posición en azimut y elevación, pero en ese caso se usa un disco, y en este caso la lectura será de forma lineal con ayuda de un rectángulo con zonas transparentes y opacas. Por otro lado, el diseño solo incluirá la parte electrónica. A continuación un esquema del calibrador a lo largo de un eje (figura 26):

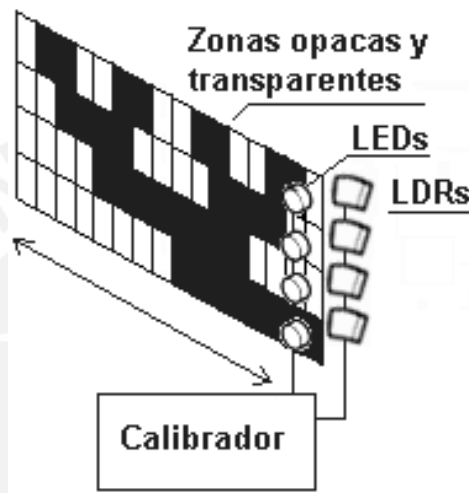


Figura Nº 26: Esquema del calibrador desplazándose a través de un eje para 4 bits.

Notar en la imagen que el alimentador se ajustará al calibrador y al desplazarse por zonas transparentes u opacas del rectángulo, los LED iluminarán los LDR, para que luego, con comparadores, se logre convertir la posición en bits. Cada eje será leído con 8 bits (32 en total).

Por otro lado, los ejes X y Z generarán una trama serial de 16 bits con ayuda de un ATmega8 y los ejes P e Y generarán otra trama serial de 16 bits con otro ATmega8, ambas indicando las posiciones del alimentador en los 4 ejes. Luego, las 2 tramas de 16 bits generadas por cada ATmega8 entrarán a un multiplexor de 2 entradas, para que en su salida haya una sola trama serial a ser enviada a la computadora de control de movimiento (con el protocolo serial EIA485). Esto se hace con tal de no utilizar demasiadas líneas de transmisión serial EIA485. El multiplexor alternará su salida entre la trama X, Z y la trama P, Y con ayuda de un temporizador astable, cuya frecuencia podrá ser regulable en el circuito a diseñar (para poder establecer el tiempo en el que pasa la trama X, Z y la trama P, Y).

El diagrama de bloques para la lectura de la posición por cada eje es el siguiente (figura 27):

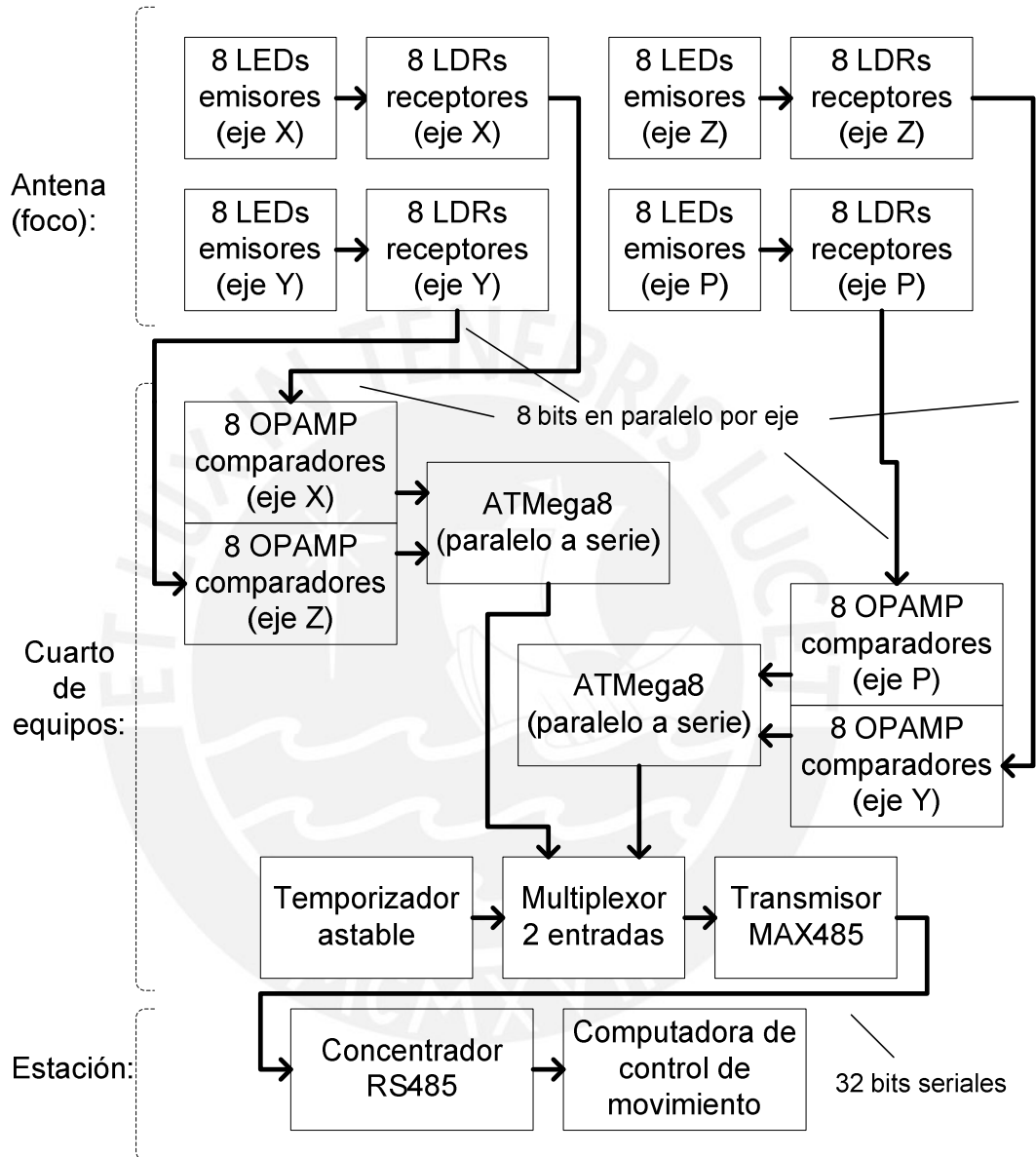


Figura N° 27: Diagrama de bloques de la lectura de los 8 bits por cada eje (X, Y, Z y P).

4.6.2.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

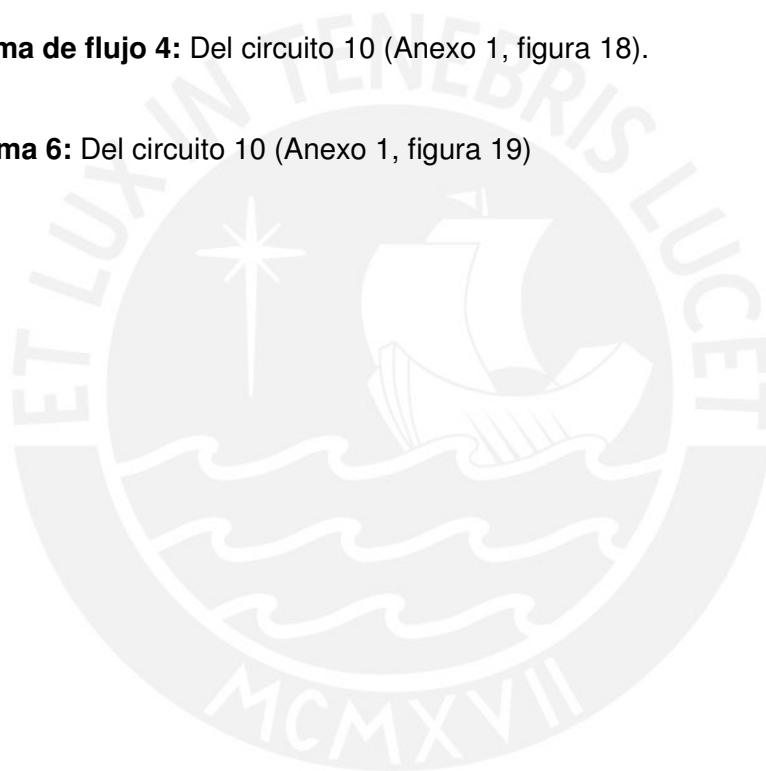
Por cada eje habrá 2 circuitos:

Circuito 9: Conversor de posición a bits (con LDRs, LEDs y comparadores OPAMP LM358) por eje (Anexo 1, figura 16). Cantidad: 4 circuitos (habrá 1 por cada eje). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 10: Conversores paralelo serie de los 32 bits (con 2 ATmega8) y transmisor EIA485 (con MAX485) por eje (Anexo 1, figura 17). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 4: Del circuito 10 (Anexo 1, figura 18).

Programa 6: Del circuito 10 (Anexo 1, figura 19)



4.7 Balizaie

Como se explicó en el capítulo 3, se controlará el funcionamiento de las 3 balizas ubicadas en la antena. Estas balizas se encenderán y apagarán a una frecuencia regulable (las frecuencias más usadas oscilan alrededor de 1Hz) con ayuda de un temporizador en modo astable que las encenderá y apagará con ayuda de TRIACs. El encendido y apagado se hará desde la computadora de supervisión y operación, y la regulación de frecuencia se podrá hacer manualmente desde el cuarto de equipos, con ayuda de un potenciómetro en el circuito de control. También se podrá verificar si las balizas están encendidas, también desde la computadora de supervisión y operación, por lo que se colocará resistencias variables con luz (LDR) junto a las balizas para verificar si están encendidas. Cabe mencionar que las balizas se alimentarán con 220VAC y el diseño se hará para una potencia de 500W como máximo (3.5A).

4.7.1 Control de balizas

El encendido y apagado de las balizas se puede hacer con solo 1 bit, pero debido a que la estación se encuentra alejada de la antena, el valor de voltaje del bit puede ser alterado mientras este viaja hacia el cuarto de equipos, ocurriendo posibles errores de control. Debido a esto se utilizará un byte para el encendido y apagado. La computadora de supervisión y operación enviará este byte con el control de las balizas. Un valor de dicho byte será interpretado como “encendido” y otro valor como “apagado”. Para esto se utilizará un ATmega8, que recibirá el byte y a su salida encenderá o apagará las balizas.

El diagrama de bloques del control de las 3 balizas es el siguiente (figura 28):

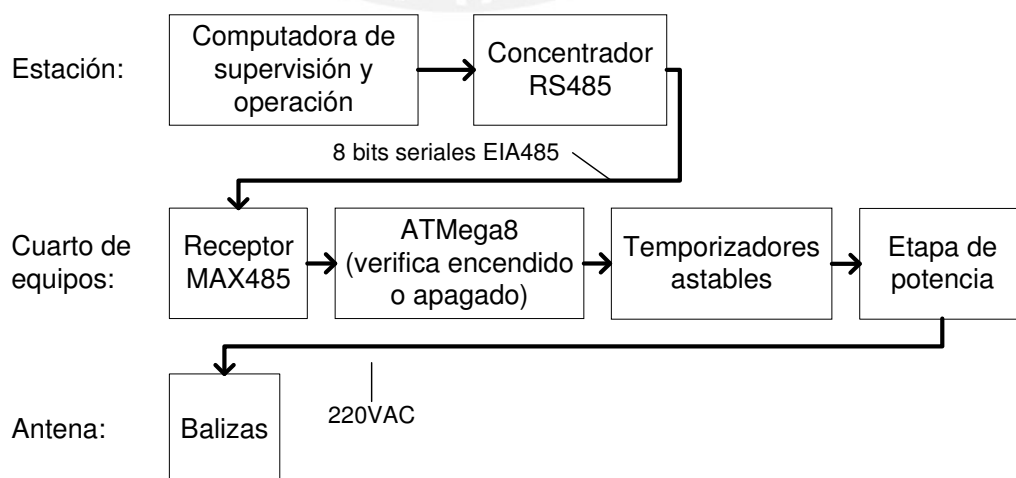


Figura N° 28: Diagrama de bloques del control de las 3 balizas en la antena.

4.7.1.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

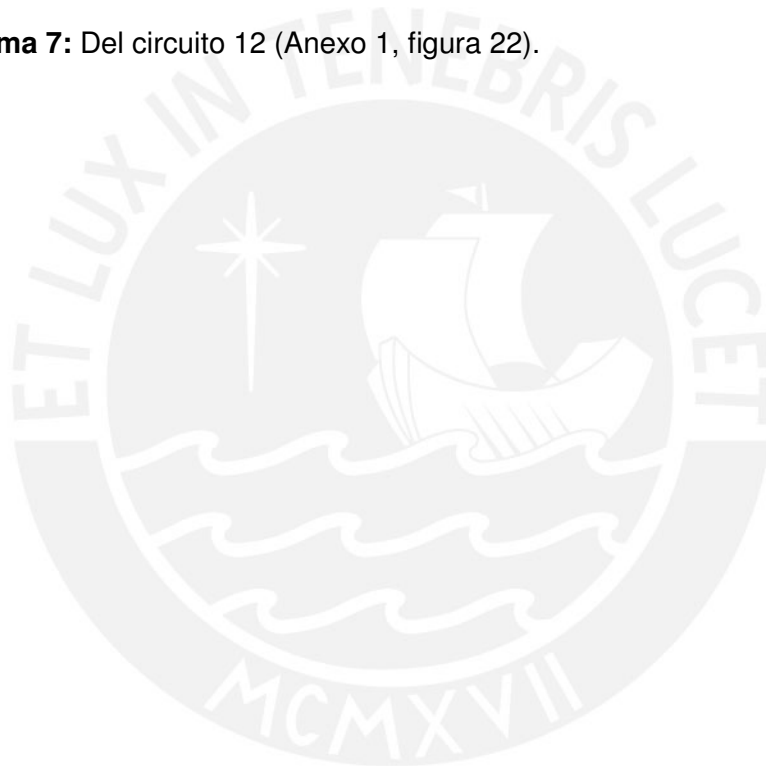
Habrán 2 circuitos para controlar las 3 balizas:

Circuito 11: Receptor EIA485 (con MAX485), controlador de estado de balizas (con ATmega8) (Anexo 1, figura 20). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 12: Temporizador en modo estable (con integrado 555) y etapa de potencia (con TRIAC BTA10) (Anexo 1, figura 21). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 5: Del circuito 12 (Anexo 1, figura 20).

Programa 7: Del circuito 12 (Anexo 1, figura 22).



4.7.2 Monitoreo de estado de balizas

Las balizas serán monitoreadas (se verificará si están encendidas o apagadas) de 2 formas: la primera será con ayuda de resistencias variables con luz (LDR). Se colocará un LDR junto a cada baliza, para que, al estar encendidas, hagan que el LDR tenga un valor de resistencia, y, al estar apagadas, hagan que el LDR tenga otro valor. El LDR será conectado a un OPAMP comparador (circuito similar al de lectura de posición de los ejes X, Y, Z, P del calibrador del alimentador) y luego a un microcontrolador ATmega8. En total habrá 3 salidas para 3 comparadores (1 comparador por baliza). La segunda forma será verificando que haya corriente alimentando a las balizas. Para esto se usarán transformadores de corriente, para que, en el momento en el que haya corriente, induzcan un voltaje, para que luego sea convertido a un bit e indique si la baliza está siendo alimentada o no. Las salidas de estos 3 comparadores (1 por baliza) también irán al mismo ATmega8. El ATmega8 enviará serialmente un byte hacia la computadora de supervisión y operación indicando el estado de las balizas medido con el método 1 (LDRs) y luego enviará otro byte indicando el estado de las balizas medido con el método 2 (transformadores de corriente). Antes de enviar cada byte el ATmega8 también enviará un byte verificador.

Cabe mencionar que se hacen 2 monitoreos para que, en caso uno falle, uno siempre esté operativo. El diagrama de bloques para el monitoreo de las 3 balizas es el siguiente (figura 29):

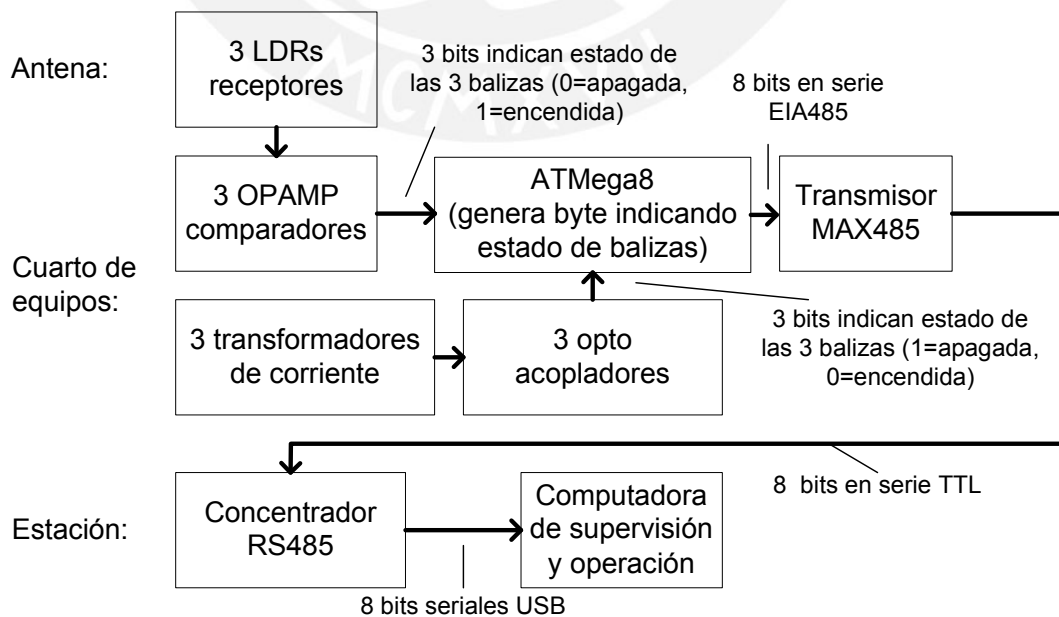


Figura N° 29: Diagrama de bloques de la lectura del estado de las balizas.

4.7.2.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

Para el monitoreo de las 3 balizas habrá 2 circuitos:

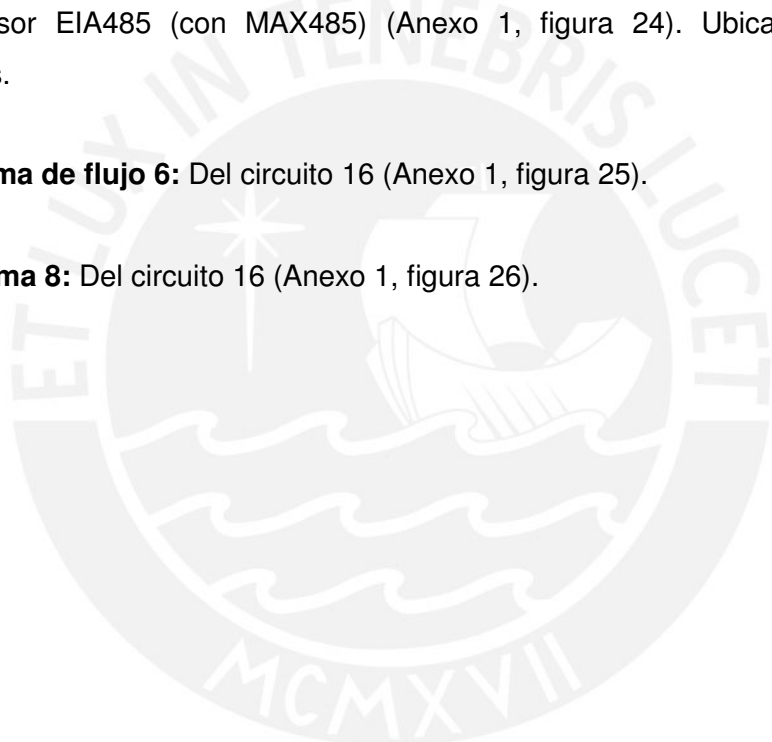
Circuito 13: Comparador de la resistencia del LDR para determinar estado de balizas (con OPAMP LM358) (Anexo 1, figura 23). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 14: Lector de estado de balizas con transformadores de corriente (con AC1005) y opto acoplador (con 4N35) (Anexo 1, figura 23). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 15: Generador de byte de estado de las balizas (con ATmega8) y transmisor EIA485 (con MAX485) (Anexo 1, figura 24). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 6: Del circuito 16 (Anexo 1, figura 25).

Programa 8: Del circuito 16 (Anexo 1, figura 26).



4.8 Protección y enfriamiento de la etapa de recepción en el foco

El calibrador y el alimentador se situarán dentro de un contenedor, dentro del cual habrá gas presurizado, para así evitar el ingreso de vapor de agua y demás gases que puedan corroer el alimentador y calibrador. Para esto se colocará dentro del contenedor un sensor de presión MPX2200, el cual tiene un rango de hasta 200Kpa (aproximadamente 2atm) para monitorear posibles fugas del gas. El valor de la presión será digitalizado en 8 bits y enviado serialmente a la computadora de supervisión y operación de la antena en la estación con ayuda de un ATmega8 y un transmisor serial EIA485. Asimismo se medirá la temperatura del enfriador *Peltier* del LNA (ver hoja de datos en anexo 2) con ayuda de un sensor de temperatura LM35, que la digitalizará en 8 bits y la enviará a la computadora de supervisión y operación con el mismo ATmega8. Adicionalmente se leerá el estado del ventilador del enfriador *Peltier* (verificar si está encendido) por 2 métodos: sensor de corriente, con ayuda de un opto acoplador; y sensor mecánico, con ayuda de un interruptor que será activado cuando el ventilador esté encendido y levante una palanca que active el interruptor. Ambos tipos de lectura serán leídos por el ATmega8, el cual enviará un byte indicando el estado del ventilador a la misma computadora. Los 3 bytes serán precedidos siempre por un byte verificador. El diagrama de bloques de los circuitos mencionados es el siguiente (figura 30):

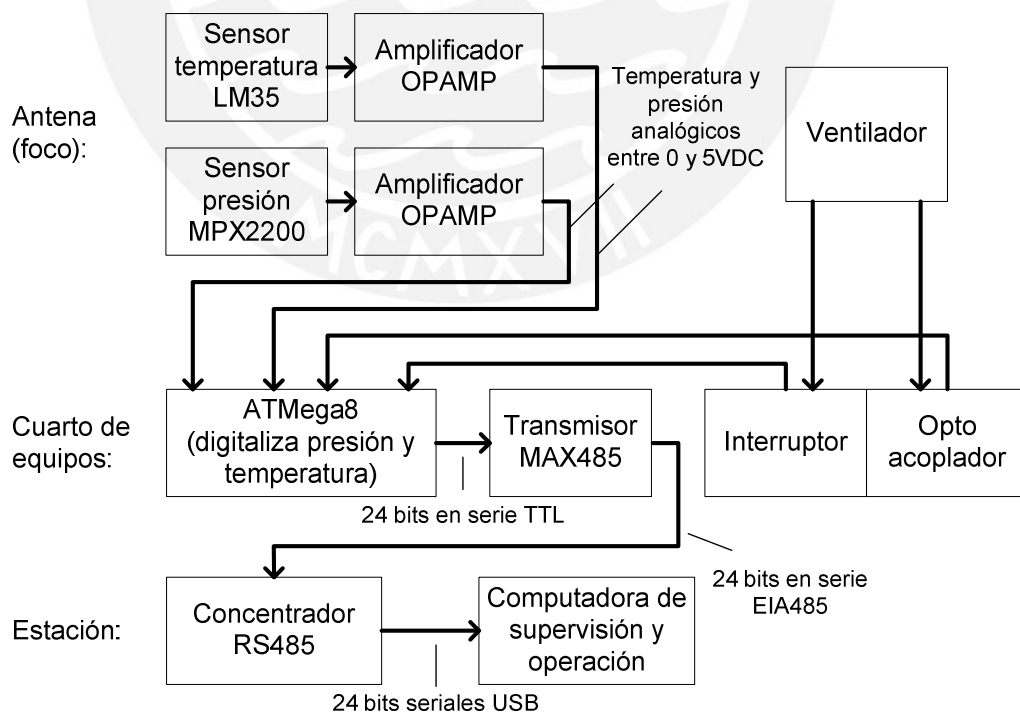


Figura Nº 30: Diagrama de bloques de la lectura de la temperatura del enfriador *Peltier*, de la presión del contenedor y del estado del ventilador.

4.8.1 Diagramas esquemáticos

Para el monitoreo de la temperatura, presión y estado del ventilador habrá 3 circuitos:

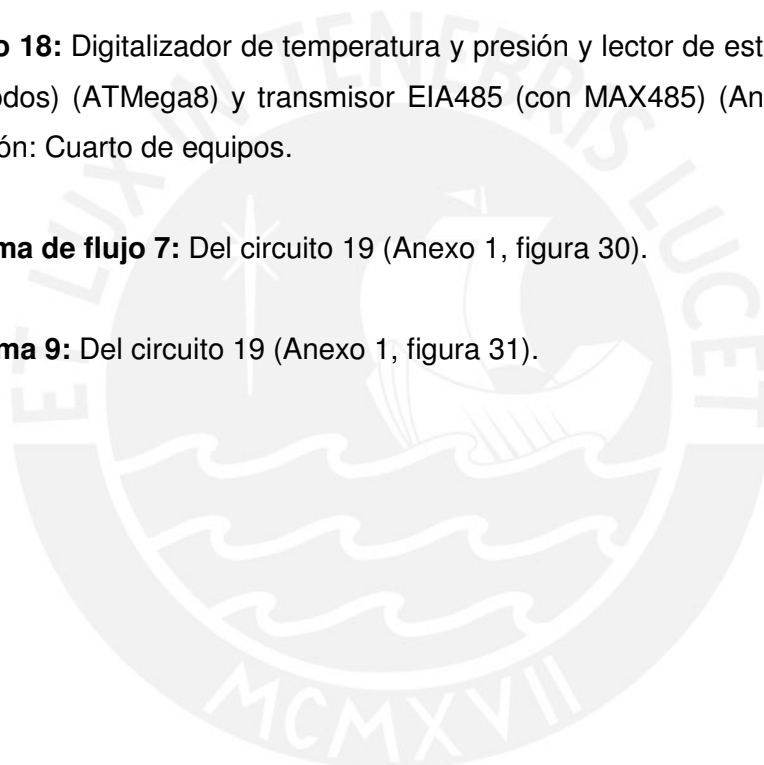
Circuito 16: Sensores de temperatura y presión (LM35, MPX2200 respectivamente), amplificadores (con OMAMP LM358) (Anexo 1, figura 27). Ubicación: Foco en la antena.

Circuito 17: Lector de estado del ventilador con interruptor y opto acoplador (con 4N35) (Anexo 1, figura 28). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 18: Digitalizador de temperatura y presión y lector de estado del ventilador (2 métodos) (ATMega8) y transmisor EIA485 (con MAX485) (Anexo 1, figura 29). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 7: Del circuito 19 (Anexo 1, figura 30).

Programa 9: Del circuito 19 (Anexo 1, figura 31).



4.9 Habilitador general de circuitos

Como se observa en todos los circuitos diseñados anteriormente, existe un habilitador lógico como entrada en los todos los microcontroladores ATmega8 llamado "HAB", el cual, si se observa los diagramas de flujo ó los códigos de los programas, permite que el ATmega8 correspondiente haga su tarea principal o esté en modo de "espera", esperando a que el habilitador se active. Cada uno de estos habilitadores es el resultado de 1 byte transmitido desde la computadora de supervisión y operación, e indica qué circuito debe funcionar o no. Esto será primordial en las secuencias de encendido y apagado del radiotelescopio, donde se necesitará encender ó apagar cada circuito ordenadamente y siguiendo determinados pasos y tiempos.

Para esto se diseñará un circuito con un ATmega8 adicional, el cual recibirá de forma serial (con el protocolo EIA485 usado en todos los circuitos) 1 byte desde la computadora de supervisión y operación que será interpretado por el microcontrolador y se tendrá como salida 11 bits en paralelo encargados de habilitar o desactivar todos los microcontroladores en el cuarto de equipos. En total hay 11 circuitos a controlar: control de azimut, control de elevación, lectura de azimut, lectura de elevación, control del calibrador, lectura de ejes X, Y, Z y P del calibrador, control de balizas, lectura de estado de balizas, lectura de presión y temperatura, monitoreo de fuentes digitales y monitoreo de fuentes de potencia (las 2 últimos pertenecen a un circuito que será explicado y diseñado en el siguiente sub capítulo). Antes de enviar el byte se recibirá un verificador de 8 bits como en todas las transmisiones seriales diseñadas anteriormente.

El diagrama de bloques del habilitador general es el siguiente (figura 31):

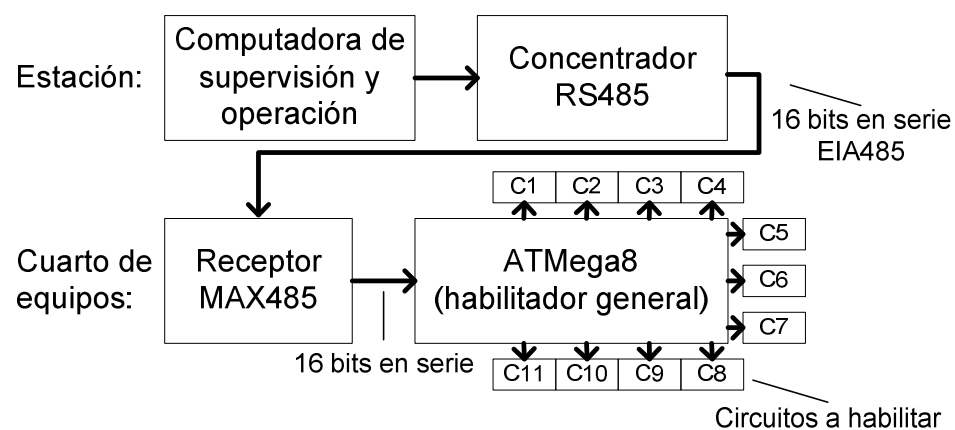


Figura N° 31: Diagrama de bloques del habilitador general de circuitos.

4.9.1 Diagramas esquemáticos

Para el habilitador general habrá 1 circuito:

Circuito 19: Receptor EIA485 (con MAX485), habilitador general de circuitos (con ATmega8) (Anexo 1, figura 32). Ubicación: Cuarto de equipos.

Diagrama de flujo 8: Del circuito 20 (Anexo 1, figura 33).

Programa 10: Del circuito 20 (Anexo 1, figura 34).



4.10 Fuentes de alimentación

Luego de diseñar los circuitos a utilizar (incluyendo los circuitos 28, 29 y 30, que se verán más adelante) se procederá al diseño de las fuentes de alimentación de acuerdo a los requerimientos de energía según las hojas de datos de todos los dispositivos usados. A continuación (tabla 7) se presenta una tabla con los requerimientos de corriente por fuente considerando todos los circuitos diseñados en este capítulo, incluyendo los de la etapa de recepción, según sus hojas de datos ubicadas en el anexo 2:

| Ubicación: | Tipo de fuente: | |
|-------------------|----------------------|------------------|
| | Digital (limpia) | Potencia (ruido) |
| Foco de la antena | 10VDC @ 16mA | - |
| | 12VDC @ 3.1A | - |
| | 5VDC @ 130mA | - |
| Cuarto de equipos | 5VDC @ 10.32A | 5VDC @ 11.4A |
| | 12VDC @ 200mA | 12VDC @ 20.31A |
| | - | 24VDC @ 50.04A |
| Estación | 220VAC @ 18A (~ 4KW) | |

Tabla N° 7: Requerimientos de energía de todos los equipos y circuitos.

En la tabla anterior las fuentes se han dividido en 2 tipos: fuentes “digitales (limpias)” y “de potencia (ruido)”. Esto es debido a que las fuentes de tipo “digital” tendrán diferente referencia (0 voltios o GND) a las de tipo “de potencia”. Las fuentes “digitales” alimentarán a los microcontroladores y a los dispositivos en la etapa de recepción (LNA, convertidor), junto con todos los circuitos que intervienen directamente con las etapas de transmisión EIA485 y la de recepción. Las fuentes “de potencia” alimentarán a los dispositivos que tiendan a generar más ruido eléctrico, tales como los motores de azimut y elevación, motores del calibrador del alimentador, enfriador *Peltier* del LNA, ventilador del enfriador, etc. Por ello es que en los circuitos diseñados anteriormente había situaciones en las que algunos circuitos de alimentaban con fuentes “digitales” y otros con fuentes “de potencia”.

Las fuentes serán del tipo regulada, usarán transformadores AC (cada transformador será independiente por cada fuente), y tendrán como alimentación el voltaje alterno 220VAC, considerando que tiene una variación de $\pm 5\%$. Se asume que la alimentación alterna (220VAC) estará suministrada con la construcción de la estructura de la antena y de la estación, y que cubrirá con los requerimientos de corriente mencionados en los dispositivos que la utilizan (computadoras, concentradores USB y EIA485, y fuentes de alimentación).

A partir de la tabla anterior se diseñarán las fuentes DC considerando una capacidad mayor de corriente (por seguridad). Por otro lado, las fuentes en el foco de la antena suman en corriente 3.25A. Debido a que el foco se encuentra alejado del cuarto de equipos no es prudente hacer la fuente en el cuarto y luego llevar cables hacia el foco debido a que habrá caída de voltaje en el camino y la fuente no llegará con su valor nominal al foco. Debido a esto se diseñará en el cuarto de equipos una fuente de 24VDC y 5A (fuente C), la cual será enviada al foco, donde se colocarán reguladores a 10, 12 y 5VDC para obtener los voltajes exactos en el foco (fuentes A1, A2, A3). Cabe mencionar que las fuentes A1 y A3 estarán diseñadas para 1A, pero consumirán 16 y 130mA respectivamente, por lo que bastarán los 5A de la fuente C. A partir de los requerimientos en la tabla anterior se diseñarán las siguientes fuentes DC (tabla 8 y diagrama de bloques en figura 32):

| | | Tipo de fuente a diseñar: | |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Ubicación: | | Digital (limpia) | Potencia (ruido) |
| Foco de la antena | 10VDC @ 1A (A1) | | - |
| | 12VDC @ 5A (A2) | | - |
| | 5VDC @ 1A (A3) | | - |
| Cuarto de equipos | 5VDC @ 15A (B) | | 5VDC @ 15A (D) |
| | 24VDC @ 5A (C) | | 12VDC @ 30A (E) |
| | 12VDC @ 1A (A4) | | 24VDC @ 65A (F) |
| | 30VDC @ 1A (G1) | | 30VDC @ 1A (G2) |

Tabla N° 8: Fuentes DC a diseñar. A cada fuente se le identificará con una letra.

Las fuentes G1 y G2 serán explicadas en la siguiente página

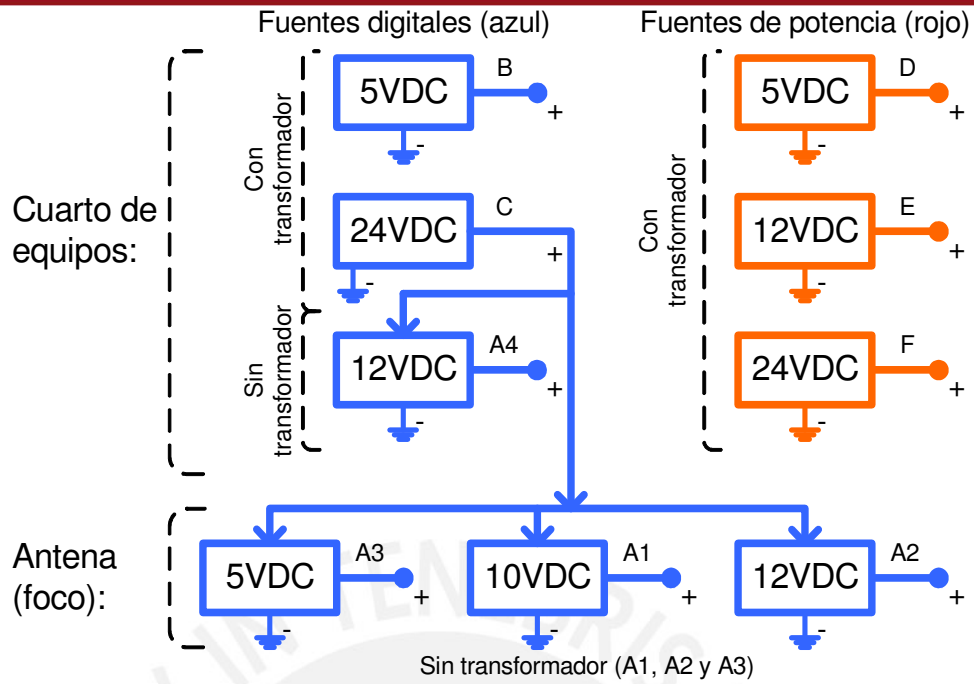


Figura Nº 32: Diagrama de bloques de las 6 fuentes DC a diseñar.

El diagrama de bloques de cada fuente regulada es el siguiente (figura 33):

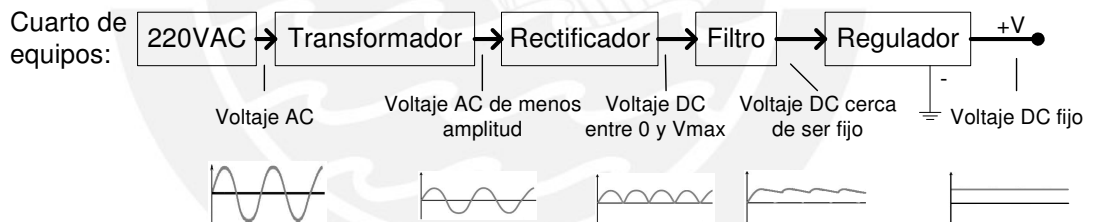


Figura Nº 33: Diagrama de bloques de las fuentes a diseñar.

Adicionalmente se diseñarán 2 fuentes independientes de 30VDC: una de referencia digital (G1) y otra de referencia de potencia (G2), las cuales consumirán un mínimo de corriente y serán utilizadas para el monitoreo paralelo de fuentes, que será visto en el siguiente sub capítulo (solo funcionarán dentro del circuito 29 que se verá a continuación).

Cabe mencionar que el LNA se alimentará con la fuente A2 (12VDC) en el foco y el convertidor de frecuencias, ubicado en el cuarto de equipos, con la fuente A4 (12VDC).

4.10.1 Diagramas esquemáticos

En total habrá 8 fuentes DC:

Circuito 20: Fuentes A1, A2 y A3 (Anexo 1, figura 35). Ubicación: Foco de la antena.

Circuito 21: Fuente B (Anexo 1, figura 36). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 22: Fuentes C y A4 (Anexo 1, figura 37). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 23: Fuente D (Anexo 1, figura 38). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 24: Fuente E (Anexo 1, figura 39). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 25: Fuente F (Anexo 1, figura 40). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 26: Fuente G1 (Anexo 1, figura 41). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 27: Fuente G2 (Anexo 1, figura 42). Ubicación: Cuarto de equipos.

4.11 Monitoreo de fuentes DC

Las 9 fuentes DC diseñadas (sin incluir las fuentes G1 y G2) serán monitoreadas por 2 ATmega8 con ayuda de sus conversores análogo digitales (ADC). Un ATmega8 digitalizará las fuentes A1, A2, A3, A4, B y C (fuentes “digitales”), mientras que el otro ATmega8 digitalizará las fuentes D, E y F (fuentes “de potencia”). Luego, el ATmega8 enviará el valor de cada voltaje en 1 byte (por fuente) a la computadora de supervisión y operación con el protocolo EIA485 como en el resto de circuitos. El primer ATmega8 enviará una trama serial con el byte del valor de A1, luego el de A2, luego el de A3, luego el de A4, luego el de B y luego el de C. El segundo ATmega8 enviará una trama serial con el byte del valor de D, luego el de E, y finalmente el de F. Con esto cada ATmega8 enviará 1 trama (una es la trama A1, A2, A3, A4, B, C y la otra es la trama D, E y F), por lo que serán 2 tramas en paralelo a transmitir. Para ahorrar la cantidad de transmisiones EIA485 en paralelo se multiplexará las 2 tramas seriales en un multiplexor de 2 entradas (1 señal de control) y 1 salida.

La señal de control, al ser de 1 bit, será controlada por un temporizador en modo astable que dejará pasar a la salida cada una de las tramas seriales de cada ATmega8 cada cierto tiempo, de acuerdo a la frecuencia del temporizador (será regulable). A la salida del multiplexor estará conectado el transmisor EIA485, encargado de transmitir por una sola línea los valores digitales de las 8 fuentes. Cabe mencionar que el diseño de las fuentes que se hizo en el sub título anterior también incluye los requerimientos de corriente de los dispositivos que se diseñarán a continuación.

El diagrama de bloques del sistema de monitoreo de fuentes DC es el siguiente (figura 34):

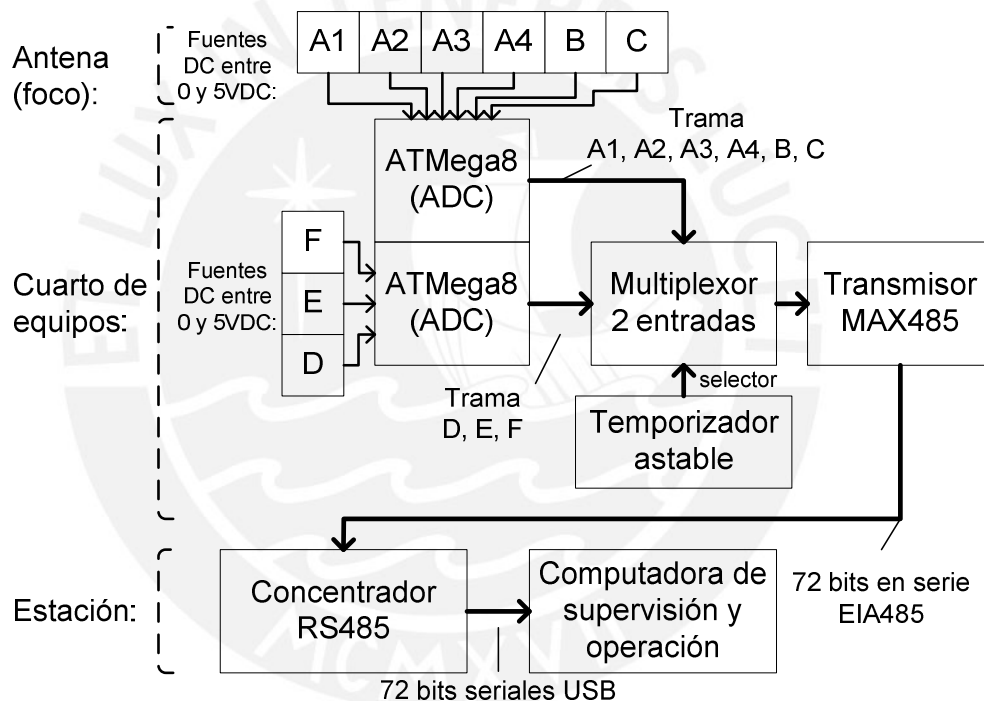


Figura N° 34: Diagrama de bloques del sistema de monitoreo de fuentes.

Adicionalmente se hará un monitoreo paralelo de las 8 fuentes (A1, A2, A3, A4, B, C, D, E, F) con ayuda de un circuito externo a la computadora de supervisión y operación, y el funcionamiento será el siguiente: dentro del cuarto de equipos las fuentes serán comparadas analógicamente con valores de voltaje predeterminados obtenidos con las 2 fuentes G1 y G2 (30VDC cada una) que establecerán un rango de voltajes máximos y mínimos sobre el cual cada fuente podrá tener un valor aceptable (en este caso se definirá una variable llamada *power good* con valor = 1). En caso la fuente salga del límite (*power good* = 0) se le indicará a un microcontrolador ATmega8 lo ocurrido.

El ATmega8 enviará en forma serial (protocolo EIA485) 2 bytes indicando el estado de cada fuente en 1 bit (son 9 fuentes ó bits a enviar). En el otro extremo de la transmisión serial, en la estación, habrá otro ATmega8 encargado de decodificar los bytes y transmitirlos paralelamente a un panel compuesto de LEDs y parlantes (llamados *buzzers*, se alimentan con un voltaje DC y emiten un pitido). En caso una fuente tenga *power good* = 1, el LED correspondiente estará encendido, y el *buzzer* de la fuente no sonará. En caso una de las fuentes tenga *power good* = 0, el LED correspondiente se encenderá y apagará (a unos 2 o 3Hz) y el *buzzer* correspondiente sonará. Por otro lado, debido a que los circuitos de la etapa receptora (panel de LEDs, buzzers, receptor EIA485 y ATmega8 receptor) se encuentran en la estación, es necesaria una fuente de alimentación de 5VDC adicional para poder energizarlos. Debido a que los requerimientos de corriente son bajos (aproximadamente 0.5A) se usará un adaptador AC a DC con salida de 5VDC (estos adaptadores tienen en su mayoría una capacidad de 1A).

A continuación el diagrama de bloques del circuito de monitoreo paralelo de fuentes (figura 35):

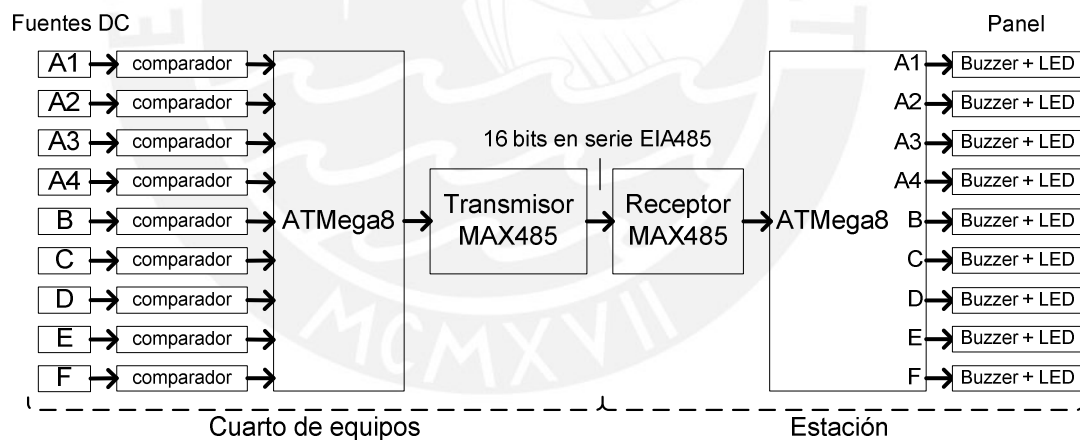


Figura Nº 35: Diagrama de bloques de monitoreo paralelo de fuentes.

Como se observa en el diagrama, no se necesita de la computadora de supervisión y operación para su funcionamiento. El monitoreo paralelo funcionará siempre que las fuentes G1 y G2 se encuentren encendidas (el resto pueden no estar funcionando).

4.11.1 Diagramas esquemáticos, de flujo y programación

En total habrá 3 circuitos (1 para el monitoreo principal y 2 para el monitoreo paralelo):

Circuito 28: Monitoreo de fuentes principal: Digitalizador de fuentes A1, A2, A3, A4, B, C, D, E, F (con 2 ATmega8), multiplexor de 2 entradas (con el integrado 74157), temporizador astable (con integrado 555) y transmisor EIA485 (con MAX485) (Anexo 1, figura 43). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 29: Monitoreo paralelo de fuentes: Comparador de fuentes A1, A2, A3, A4, B, C, D, E, F (con LM358), transmisor de estado de fuentes (con ATmega8), transmisor EIA485 (con MAX485) (Anexo 1, figura 47). Ubicación: Cuarto de equipos.

Circuito 30: Monitoreo paralelo de fuentes: Receptor EIA485 (con MAX485), receptor de estado de fuentes (con ATmega8), panel visual de estado de fuentes (con 8 LEDs y 8 *buzzers* WST-1205S) (Anexo 1, figura 48). Ubicación: Estación.

Diagramas de flujo 9, 10 y 11: De los circuitos 28, 29 y 30 (Anexo 1, figuras 44, 49 y 50).

Programas 11, 12, 13 y 14: Del circuito 28 (Anexo 1, figuras 45 y 46), del circuito 29 (Anexo 1, figura 51) y del circuito 30 (Anexo 1, figura 52).

4.12 Cableado y conectores

Para el cableado es necesario elaborar un diagrama de conexiones del radiotelescopio que contenga todos los circuitos diseñados anteriormente. Para esto se dividirá los circuitos en 3 grupos principales de acuerdo a la ubicación de estos: F (foco), C (cuarto de equipos) y E (estación). Dentro de cada grupo habrá subgrupos que contendrán a uno, dos o más de los circuitos diseñados anteriormente. El contenido de cada subgrupo es el siguiente (tabla 9):

| | | Descripción |
|------------------------------|------------|---|
| FOCO (F) | F1 | Calibrador: LEDs y LDRs para lectura de ejes X, Y, Z, P, motores X, Y, Z, P. |
| | F2 | Foco 2: circuitos 16, 20, ventilador, enfriador <i>peltier</i> , baliza 1, LDR de baliza 1, interruptor de flujo de aire. |
| | F3 | Etapa de recepción #1: alimentador, filtro y LNA. |
| CUARTO DE EQUIPOS (C) | C1 | Fuentes DC: circuitos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27. |
| | C2 | Control de movimiento: circuitos 1, 2, 3, 4, 5. |
| | C3 | Control de posición del calibrador: circuitos 7 y 8. |
| | C4 | Control de balizas: circuitos 11 y 12. |
| | C5 | Habilitador general de circuitos: circuito 19. |
| | C6 | Monitoreo de fuentes #1: circuitos 28 y 29. |
| | C7 | Lectura de posición: circuito 6. |
| | C8 | Lectura de posición del calibrador: circuitos 9 y 10. |
| | C9 | Lectura de estado de balizas: circuitos 13, 14, 15. |
| | C10 | Lectura de temperatura, presión y estado del ventilador: circuitos 17 y 18. |
| | C11 | Etapa de recepción #2: convertidor de frecuencias. |
| ESTACIÓN (E) | E1 | Monitoreo de fuentes #2: circuito 30. |
| | E2 | Equipos en la estación: Computadoras, SDR-14, unidad NAS, concentradores EIA485. |
| | E3 | Toma de 220VAC. |

Tabla N° 9: Sub grupos dentro de los 3 grupos principales: F, C, E.

Los diagramas de cableado del radiotelescopio se encuentran en el Anexo 3. En la página 56 de éste se encuentra el diagrama general del radiotelescopio. En las páginas siguientes se encuentra el cableado interno de cada uno de los grupos (F, C y E), y el cableado interno de cada uno de los subgrupos dentro de cada grupo. Cabe mencionar que 4 subgrupos no han sido detallados (C5, C7, C11, E3) debido a que solo están compuestos por 1 solo circuito.

Como se observa en el primer diagrama (el de todo el radiotelescopio en la página 56 del anexo 3) los cables que van entre F, C, E y la antena están agrupados en 7 grupos, que son los siguientes (tabla 10):

| Grupo | Descripción |
|-------|---|
| G1 | Entre F y C, por la pata 1 del trípode |
| G2 | Entre F y C, por la pata 2 del trípode |
| G3 | Entre C y E, por zanja 1 |
| G4 | Entre C y E, por zanja 2 |
| G5 | Entre C y la baliza #2 en la cima de la antena |
| G6 | Entre C y el motor de elevación junto con la baliza #3 |
| G7 | Entre C y los motores de azimut en la base de la antena |

Tabla Nº 10: Agrupaciones de cables vistas en el Anexo 3, página 56.

En la tabla anterior se asume que la ruta de cables entre C y E estará dividida en 2 zanjas construidas junto con la estación, y que la ruta entre F y C será por las 2 patas inferiores del trípode.

Como se observa en los diagramas del anexo 3, los cables están rotulados con colores diferentes. Cada color representa la función de cada cable, de acuerdo a la siguiente tabla (tabla 11):

| COLOR | TIPO |
|--------------------------|--|
| Verde claro (##) | Fuente digital |
| Negro y verde claro (##) | Referencia de fuente digital |
| Rojo (##) | Fuente de potencia |
| Negro y rojo (##) | Referencia de fuente de potencia |
| Amarillo (##) | 220VAC |
| Celeste (##) | Bornes de motores, balizas, ventilador |
| Plomo (##) | Pines de LEDs |
| Marrón (##) | Pines de LDRs |
| Naranja (##) | Voltajes analógicos |
| Azul (##) | Señales de control (bits) |
| Morado (##) | Cable coaxial |
| Verde oscuro (##) | Transmisión serial EIA485 |
| Amarillo oscuro (##) | Cable USB |
| Azul oscuro (##) | Cable de red |

Tabla N° 11: Colores de cada tipo de cable en los diagramas en el anexo 3.

Además, cada cable tiene un texto que lo identifica y muestra sus características siguiendo la siguiente sintaxis:

Si el cable va entre grupos distintos (ejemplo: entre F y C) se utiliza la siguiente sintaxis:

<#NÚMERO> <DESCRIPCIÓN> D <SUBGRUPO ORIGEN> H <SUBGRUPO DESTINO> (<GRUPO DE CABLES>) (<CANTIDAD DE CABLES>).

Como ejemplo: **#6 FUENTE C (24VDC) D C1 H F2 (G2) (1).**

Adicionalmente, si el cable va dentro de un mismo grupo (ejemplo: entre C1 y C6) se utiliza la siguiente sintaxis:

<#NÚMERO> <DESCRIPCIÓN> (<CANTIDAD DE CABLES>).

Como ejemplo: **#53 FUENTE A2 (12VDC) (1).**

Agrupando todos los diagramas del anexo 3 se obtiene la suma de 137 cables, los cuales serán detallados al final del anexo 3 en las tablas ubicadas en las páginas 72, 73, 74 y 75, donde se menciona la función de cada cable, así como la corriente teórica máxima que transportará, y el cable AWG estándar que será capaz de soportar la corriente especificada (como criterio se escogerá el cable AWG con el doble de capacidad de la corriente teórica para evitar calentamiento). También se indicará la longitud necesaria de cada cable.

Como se observa en las tablas mencionadas, la corriente teórica total consumida por el radiotelescopio será de aproximadamente 146 A, con un consumo de 32.1 KVA a un voltaje de 220VAC.

También cabe mencionar que todo el cableado posible deberá de ser blindado (con una malla de referencia) par evitar interferencias electromagnéticas, y de tipo multifilar, para mayor flexibilidad al momento de la interconexión.

Como notas adicionales es necesario precisar lo siguiente:

- Los cables 49, 50, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 y 67 (marcados con ** y con cableado discontinuo en los subgrupos E1 y E2), así como el subgrupo E3 (toma de 220VAC) corresponden al cableado que será incluido en la construcción de la estación del radiotelescopio (220VAC, cables de red de las computadoras) y a cables que son incluidos con la compra de dispositivos (cables USB para los concentradores EIA485 y receptor SDR-14, cable de alimentación del adaptador AC/DC del panel de monitoreo de fuentes en la estación).
- Los cables 13, 37, 56, 57 (marcados con “*” y con cableado morado en los subgrupos F3, C11, E2) corresponden a la etapa de recepción que se verá a continuación:
- Los colores de los cables en los diagramas de conexión no han considerado normas para el color, ya que solo existen normas para colores en cables en líneas de alta y mediana tensión (se especifican colores para la línea de neutro y las líneas vivas). Debido a que los cables transportarán en su mayoría voltajes continuos no se ha considerado las normas de colores para estos.

- En cuanto a la separación de los cables de potencia y de señal se deberá considerar la norma ANSI/TIA/EIA - 569 - A, la cual indica la separación de cables (ver anexos [51] y [52]). La separación entre dos cables dependerá del tipo (si ambos son blindados, sólo uno, o ninguno), y de la potencia en KVA. Se deberá tener en cuenta esta separación en todos los grupos de cables (desde G1 hasta G7) y también en el cableado entre circuitos dentro del cuarto de equipos.

4.12.1 Cableado y conectores coaxiales en la etapa de recepción

La etapa de recepción está compuesta por los subgrupos F3, C11 y E2 (alimentador, filtro, LNA, convertidor de frecuencias, receptor SDR-14 y computadora de recepción y procesamiento de la señal). A continuación se indicará el cableado y conectores necesarios para la interconexión de esta etapa.

En el subgrupo F3 en el foco se encuentran el alimentador, filtro y LNA. Como salida del alimentador, entrada y salida del filtro, así como entrada y salida del LNA, se tienen conectores N hembra. Debido a que la señal antes de llegar al LNA será muy débil y sin amplificación, es necesario utilizar la menor distancia posible entre el alimentador, filtro y LNA. Por esta razón no se utilizará cable coaxial entre estas etapas. Como reemplazo al cable se utilizarán los siguientes conectores:

Para interconectar el alimentador y el filtro, se usará un conector N macho a N macho, y para interconectar el filtro y el LNA también se usará un conector N macho a N macho. A continuación una imagen del filtro y LNA con los conectores N mencionados (figura 36):



Figura N° 36: Filtro pasa banda y LNA a utilizar, cada uno con conectores N hembra en las entradas y salidas.

A la salida del LNA la señal se encuentra filtrada y amplificada, por lo que es seguro transportarla por cable coaxial hacia el subgrupo C11 (convertidor de frecuencias) en el cuarto de equipos. Para ello se utilizará cable coaxial del tipo *heliac* (con malla sólida) de 50Ω de la marca Commscope ([50]) recomendado por el Dr. Heraud. A los extremos de este cable se utilizará conectores N macho.

El conversor de frecuencias tiene como entrada un conector SMA hembra, por lo que se deberá de adquirir un conversor N hembra a SMA macho para la conexión.

Luego, en la salida del conversor se tiene un conector BNC hembra, por lo que se utilizará un conversor BNC macho a N hembra. El cable de salida (desde C11 hacia el receptor SDR-14 en E2) también será del tipo *heliac* de 50Ω de malla sólida ([50]), con conectores N macho en ambos extremos.

A continuación una imagen del conversor de frecuencias de 70MHz (figura 37):



Figura N° 37: Convertidor de frecuencias de en C11. Como entrada se tiene un conector SMA hembra, y como salida un conector BNC hembra.

La siguiente etapa es la del receptor SDR-14 en E2, cuya entrada es un conector SMA hembra. Para ello se utilizará otro conversor N hembra a SMA macho para la conexión del cable coaxial.

A continuación una imagen del receptor SDR-14 (figura 38):



Figura N° 38: Receptor SDR-14. Como entrada se tiene un conector SMA hembra, y como salida un conector USB tipo B hembra.

La última etapa de cableado en la etapa de recepción corresponde a la conexión del SDR-14 con la computadora de recepción y procesamiento de la señal. Esta conexión se hará con un cable USB incluido con el receptor SDR-14 (cable USB con conectores USB tipo B macho en un extremo y USB tipo A macho en el otro). El puerto USB de la computadora es un conector USB tipo A hembra.

4.13 Presupuesto

Finalizando este capítulo es necesario mencionar los costos asociados al diseño de los circuitos mencionados anteriormente. A continuación se muestra una tabla con el costo total de los componentes, dispositivos y computadoras escogidos en el capítulo 4 (tabla 12). Cabe mencionar que no se incluye el costo de la compra del alimentador, de la construcción de la estructura de la antena, ni de la mano de obra en la construcción e interconexión de la estación:

| Dispositivo | Cantidad | Costo (soles) | Total |
|--|----------|---------------|----------------|
| Tarjetas impresas | 30 | 35 | 1050 |
| ATMega8 | 17 | 20 | 340 |
| Resistencias | 200 | 0.03 | 6 |
| Potenciómetros, resistencias de potencia | 20 | 1 | 20 |
| Condensadores | 50 | 0.2 | 10 |
| LEDs | 70 | 0.5 | 35 |
| LDRs | 40 | 0.5 | 20 |
| Borneras | 150 | 0.5 | 75 |
| Temporizadores | 10 | 0.5 | 5 |
| Multiplexores | 5 | 0.5 | 2.5 |
| MAX485 | 35 | 1 | 35 |
| Conectores DB9 | 30 | 1.5 | 45 |
| Cable coaxial (m) | 40 | 10 | 400 |
| Adaptadores coaxiales | 5 | 5 | 25 |
| Cableado eléctrico(m) | 1600 | 0.5 | 800 |
| Unidad NAS | 1 | 1500 | 1500 |
| Concentrador USB | 2 | 60 | 120 |
| Concentrador EIA485 | 2 | 1200 | 2400 |
| Computadoras (CPU) | 5 | 2500 | 12500 |
| Monitores LCD para PCs | 5 | 300 | 1500 |
| Monitores LCD para visualización en sala | 3 | 1000 | 3000 |
| SDR-14 | 1 | 3300 | 3300 |
| Filtro 1.42 GHz | 1 | 420 | 420 |
| LNA 1.42 GHz | 1 | 500 | 500 |
| TOTAL aproximado en soles | | | 28108.5 |

Tabla N° 12: Costos de los circuitos y dispositivos necesarios en cada sub sistema.

CONCLUSIONES



Conclusión 1:

Se han diseñado 30 circuitos (diagramas esquemáticos), así como 14 programas en lenguaje C para el funcionamiento de los circuitos que contienen microcontroladores ATmega8 (ver anexo 1):

- Control de posicionamiento: Circuitos 1, 2, 3, 4, 5, Diagrama de flujo 1, Programas 1 y 2.
- Lectura de posición: Circuito 6, Diagrama de flujo 2, Programas 3 y 4.
- Control de posición del alimentador: Circuitos 7 y 8, Diagrama de flujo 3, Programa 5.
- Lectura de posición del alimentador: Circuitos 9 y 10, Diagrama de flujo 4, Programa 6.
- Control y lectura de balizas: Circuitos 11, 12, 13, 14, 15, Diagramas de flujo 5 y 6, Programas 7 y 8.
- Protección y enfriamiento de etapa de recepción: Circuitos 16, 17, 18, Diagrama de flujo 7, Programa 9.
- Habilitador general de circuitos: Circuito 19, Diagrama de flujo 8, Programa 10.
- Fuentes de alimentación: Circuitos 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27.
- Monitoreo de fuentes de alimentación: Circuitos 28, 29, 30, Diagramas de flujo 9, 10, 11, Programas 11, 12, 13, 14.

Asimismo se han diseñado 17 diagramas de interconexión y cableado entre los circuitos mencionados (ubicados en el anexo 3)

Cabe mencionar que todos los programas en C fueron diseñados y simulados usando el programa VMLAB, y que el análisis de cada circuito se encuentra en el anexo 1 junto a cada diagrama esquemático.

Conclusión 2:

La tesis no incluye la programación del software encargado de interactuar con los circuitos, el cual deberá estar instalado en las computadoras de control de movimiento (se encargará del control y lectura de azimut y elevación, así como la calibración del alimentador), en la computadora de supervisión y operación (se encargará del monitoreo de fuentes de alimentación, temperatura del LNA, estado del ventilador del enfriador *Peltier*, presión en el contenedor del alimentador, secuencias de encendido y apagado de circuitos, control y lectura de estado de balizas) y en la computadora de post procesamiento de datos (se encargará del procesamiento y análisis de las señales observadas anteriormente). Esta tesis tampoco incluye el diseño ni la implementación de la estructura de la antena, ni de la estación.

Conclusión 3:

Se asume que la construcción de la estación y de la estructura de la antena incluirá líneas de voltaje alterno 220VAC (para la estación y el cuarto de equipos), y que la corriente necesaria para las fuentes que necesiten de este voltaje tanto en el cuarto de equipos como en la estación será suministrada en su totalidad por la sub estación correspondiente (desde la cual se obtendrán los 220VAC).

Conclusión 4:

En el futuro se usarán sistemas de control de temperatura más complejos para controlar el enfriamiento del LNA. Es probable que se utilice un criostato, que puede enfriar el LNA a temperaturas bajo cero. Para ello se necesitará un circuito de control de un compresor para poder suministrar el líquido refrigerante al criostato.

RECOMENDACIONES



Recomendación 1:

Se recomienda, para futuras tesis, el diseño de las interfaces de software de las computadoras de control de movimiento, supervisión y operación, y post procesamiento de datos. También se recomienda el desarrollo de aplicaciones útiles para el radiotelescopio, tales como observación de fenómenos en el universo ó transmisión de datos hacia algún satélite (para esto será necesario implementar una etapa transmisora junto a la receptora).

Recomendación 2:

En caso se utilice motores de diferentes especificaciones en el control de movimiento o en la calibración del alimentador se deberán verificar las capacidades de corriente en las fuentes y en los transistores de potencia en los puentes H encargados de encenderlos y apagarlos.

Recomendación 3:

En el diseño de circuitos sólo se ha hecho el diseño en diagramas esquemáticos. Al momento de hacer los circuitos (tarjetas impresas) se debe de considerar las corrientes que circularán por la tarjeta, y hacer las pistas con el ancho necesario, para evitar que la tarjeta se estropee y que el cobre se levante de la tarjeta.

Recomendación 4:

Al momento de diseñar el cuarto de equipos, se debe de evitar en lo posible el ingreso de humedad para evitar una corrosión temprana de las tarjetas impresas de los circuitos diseñados. Para esto se puede utilizar deshumecedores y mantenerlos encendidos dentro del cuarto.

BIBLIOGRAFÍA



- [1] Diane Fisher.
1997-1998 “Basics of Radio Astronomy”.
NASA Jet Propulsion Laboratory. California Institute of technology.
URL: <http://www2.jpl.nasa.gov/radioastronomy> - consultado el 24/07/2009.
- [2] Tom Kuiper.
2005 “Radio Astronomy FAQ”.
NASA Deep Space Network. California Institute of technology.
URL: <http://dsnra.jpl.nasa.gov/index.html> - consultado el 24/07/2009.
- [3] NRAO - National Radio Astronomy Observatory.
2004: “What is radio Astronomy?”.
National Science Foundation.
URL: <http://www.nrao.edu/whatisra> - consultado el 24/07/2009.
- [4] Microwaves 101.
Noise Factor.
URL: <http://www.microwaves101.com/encyclopedia/noisefigure.cfm>
Consultado el 24/07/2009.
- [5] University of Colorado.
Physics 2000.
URL: <http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl?Type=TOC>
Consultado el 24/07/2009.
- [6] National Astronomy and Ionosphere Center.
Radio Telescopio de Arecibo, Puerto Rico.
URL: <http://www.naic.edu/public/telespa.htm> - consultado el 24/07/2009.
- [7] European Science Foundation.
Committee on Radio Astronomy Frequencies.
URL: <http://www.craf.eu> - consultado el 24/07/2009.
- [8] Satellite Communications Resources UK.
Componentes en una comunicación satelital.
URL: <http://www.satcoms.org.uk> - consultado el 24/07/2009.

- [9] Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory.
URL: <http://www.hartrao.ac.za/#spectra> - consultado el 24/07/2009.
- [10] Jodrell Bank Observatory.
URL: <http://www.jb.man.ac.uk> - consultado el 24/07/2009.
- [11] European Science Foundation.
2003 Committee on Radio Astronomy Frequencies.
URL: <http://www.craf.eu/iaulist.htm> - consultado el 24/07/2009.
- [12] National Academy press.
2001 Astronomy and Astrophysics in the New Millennium.
Library of congress.
- [13] Laster, Clay.
2000 Beginner's Handbook of Amateur Radio.
McGraw-Hill.
- [14] Unión Internacional de Comunicaciones UIT.
1990 Reglamento de Radio Comunicaciones.
UIT.
- [15] Seybold, John S.
2005 Introduction to RF propagation.
Wiley-Interscience.
- [16] Nikolski, Viacheslav Vladimirovich.
1976 Electrodinámica y propagación de ondas de radio.
MIR.
- [17] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky.
2003 Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos.
Pearson Education.
- [18] Mark Long.
1998 Satellite Receiving Antennas, parabolic reflector.
URL: <http://www.mlesat.com/antennas.html> - consultado el 24/07/2009.

- [19] Unión Internacional de Telecomunicaciones.
1990 Servicios de investigación espacial y de radioastronomía.
UIT.
- [20] Rohlfs, Kristen.
2004 Tools of radio astronomy.
Springer.
- [21] Burke, Bernard F.
2002 An introduction to radio astronomy.
Cambridge University Press.
- [22] Kraus, John D.
1986 Radio astronomy.
Cygnus-Quasar Books.
- [23] Balanis, Constantine A.
2005 Antenna theory: analysis and design.
Wiley – Interscience.
- [24] Fusco, Vincent F.
2005 Foundations of antenna theory and techniques.
Pearson Education.
- [25] Kraus, John D.
2002 Antennas for all applications.
McGraw-Hill.
- [26] Universidad de Harvard y Smithsonian - Centro de Astrofísica.
Continuous, Emission and Absorption Spectra.
URL: http://www.cfa.harvard.edu/~jbattat/a35/cont_abs_em.html
Consultado el 24/07/2009.
- [27] The institute for telecommunications sciences.
Federal standard 1037C – Figura de ruido: Definición.
URL: http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-024/_3560.htm
Consultado el 24/07/2009.

- [28] ATIS.
ATIS telecom glossary 2000.
URL: <http://www.atis.org/glossary/definition.aspx?id=3558>
Consultado el 24/07/2009.
- [29] RadioSky.
Basics of Radio Astronomy.
URL: <http://www.radiosky.com/simple.html> - consultado el 24/07/2009.
- [30] Dick Comly.
Parabolic antennas and their feeds.
URL: http://packratvhf.com/Article_9/Dish_Not.pdf
Consultado el 24/07/2009.
- [31] The heatsink guide.
Peltier cooler information.
URL: <http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm>
Consultado el 24/07/2009.
- [32] UNMSM - Qqueshuayllo Cancha, Wilbert Rene.
Diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja resistencia.
URL: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/qqueshuayllo_cw/cap2.PDF - consultado el 24/07/2009.
- [33] PUCP - Laboratorio de Sistemas Eléctricos (IEE218).
Manual de sesión #2 de Laboratorio - Sistemas de Puesta a tierra.
2008-1.
- [34] NRAO – National Radio Astronomy Observatory.
Radiometers.
URL: <http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/Radiometers.html>
Consultado el 24/07/2009.
- [35] Página oficial del protocolo USB.
URL: <http://www.usb.org> - consultado el 24/07/2009.

- [36] Moetronix Software.
SpectraVue.
URL: <http://www.moetronix.com/files/spectravue129.pdf>
Consultado el 24/07/2009.
- [37] ICAO.
International Civil Aviation Organization.
URL: <http://www.av aids.com/icao.pdf> - consultado el 24/07/2009.
- [38] CISCO.
Unidad de almacenamiento en red NSS 3000.
URL: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/ps4159/ps9954/ps9957/data_sheet_c78-509774.html - consultado el 24/07/2009.
- [39] Interface bus.
Protocolo EIA485.
URL: http://www.interfacebus.com/Design_Connector_RS485.html
Consultado el 24/07/2009.
- [40] RFSpace.
Manual del receptor SDR-14.
URL: <http://www.rfspace.com/SDR-14.html> - consultado el 24/07/2009.
- [41] National Radio Astronomy Observatory (NRAO).
Radio telescopes.
URL: <http://www.cv.nrao.edu/course/astr534/RadioTelescopes.html>
Consultado el 24/07/2009.
- [42] Ministerio de Energía y Minas.
Código nacional de electricidad – Sección 60 – Puesta a tierra.
URL: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/legislacion/codigonacional/sustentacion/6.-%20Secciones%2060-Puesta%20a%20Tierra.pdf>
Consultado el 24/07/2009.

- [43] Colegio de Ingenieros del Perú.
Teoría y diseño de una puesta a tierra – Electrodo verticales.
URL: http://www.cip.org.pe/Informacion/Documentos/pub/20070618/puesta_tierra.pdf - consultado el 24/07/2009.
- [44] Power Stream.
AWG wire size.
URL: http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm
Consultado el 24/07/2009.
- [45] Microsoft.
Requerimientos para el sistema operativo Windows XP Professional.
URL: <http://www.microsoft.com/windowsxp/sysreqs/pro.mspx>
Consultado el 24/07/2009.
- [46] Techvalue Perú.
Concentrador EIA485 Uport 1650-8 marca Moxa.
URL: <http://www.techvalue.com.pe/moxa-diUSB-8Port.htm#>
Consultado el 24/07/2009.
- [47] Dlink.
Concentrador USB DUB-H7.
URL: <http://www.dlink.com/products/?sec=0&pid=149>
Consultado el 24/07/2009.
- [48] Microsoft.
Requerimientos para MS Office 2007.
URL: <http://office.microsoft.com/en-us/products/HA101668651033.aspx#9>
Consultado el 24/07/2009.
- [49] Dr. Jorge Heraud Pérez – Profesor principal del INRAS.
2007 Proyecto multidisciplinario de radio astronomía
PUCP – Instituto de radio astronomía (INRAS).
- [50] Andrew – Commscope.
Heliac 2.0 coaxial cable.
URL: http://www.commscope.com/andrew/eng/product/trans_line_sys/coaxial/wireless/1210060_13612.html - consultado el 24/07/2009.

- [51] Keith Lane – Lane.
Determining the appropriate separation of data and power cables.
URL: http://www.lanecoburn.com/images/BN_Sept-Oct07.pdf
Consultado el 27/08/2009.
Lane Coburn & Associates, LLC.
- [52] North Seattle Community College.
Separation of power and data cables.
URL: <http://facweb.northseattle.edu/vkeranen/NSCC%20Infrastructure/Standards/Data%20&%20Power%20Cable%20Separation%201204.pdf>
Consultado el 27/08/2009.
- [53] Universidad de la República.
Facultad de Ingeniería - Instituto de Ingeniería Eléctrica.
Disipadores.
URL: <http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/elpot1/disipadores.pdf> - Tabla 2.
Consultado el 26/10/2009.
- [54] Federico Miyara.
Disipación de potencia.
URL: <http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/elpot1/disipadores.pdf> - Página 12.
Universidad Nacional de Rosario – Escuela de Ingeniería Electrónica.
Consultado el 26/10/2009.
- [55] AVR Freaks.
Transistores en paralelo para incremento de corriente.
URL: <http://www.avrfreaks.net/index.php?name=PNphpBB2&file=viewtopic&t=61230>
Consultado el 26/10/2009.
- [56] Artic Silver.
Pasta térmica Artic Silver 5
URL: <http://www.arcticsilver.com/as5.htm>
Consultado el 26/10/2009.