

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN PARA
EL ENCENDIDO DEL TRANSMISOR DEL RADAR SOUSY EN EL RADIO
OBSERVATORIO DE JICAMARCA**

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

Jorge André Florentino Collado

ASESORES:

Dr. Danny Eddy Scipión Castillo

Dr. Marco Antonio Milla Bravo

Lima, julio de 2015

Resumen

El presente documento de tesis describe el proceso seguido para el diseño del sistema de automatización y supervisión para el encendido del transmisor del radar SOUSY (ubicado en el Radio Observatorio de Jicamarca) usando tecnologías de control estándares actuales.

Para llevar a cabo el diseño, primero se estudió el procedimiento de encendido original. El análisis de los circuitos que controlan el encendido del transmisor permitió identificar cuáles y cuántas eran las señales de control existentes, y además conocer su interrelación para realizar el control. Posteriormente, se pasó a seleccionar un dispositivo de control adecuado a las necesidades propias del sistema y teniendo en cuenta que era necesario un medio de visualización que permitiría, además, la rápida identificación de errores en el proceso de encendido del transmisor.

Luego de escoger el dispositivo de control y el medio de supervisión, se procedió al diseño del sistema de encendido en base a la secuencia original, la cual era controlada por dispositivos electromecánicos y temporizadores. Así mismo, la visualización fue elaborada con la colaboración de los usuarios finales, de tal manera que esté de acuerdo a sus requerimientos y necesidades de uso.

Finalmente, las simulaciones del encendido y visualización fueron realizadas en el entorno llamado CoDeSys, el cual fue usado para la implementación del sistema. El sistema fue evaluado simulando ciertas situaciones de funcionamiento (sugeridas por el personal de operación del radar) con el fin de probar su confiabilidad. Con esto se determinó que, tanto el sistema de encendido, así como el de visualización respondían adecuadamente ante las situaciones críticas, y que el sistema se encuentra apto para ser probado en el transmisor, siempre y cuando se haya establecido un protocolo de seguridad para las pruebas.

A Dios, a mis padres, a mi hermana y a todos mis seres queridos, por su apoyo incondicional y aliento permanente. Un especial agradecimiento al personal del Radio Observatorio de Jicamarca, quienes me dieron esta oportunidad para dar este importante paso en mi vida.

Índice general

Resumen	I
Introducción	IX
1. El radar SOUSY en el Radio Observatorio de Jicamarca	1
1.1. Radares para estudios atmosféricos	1
1.2. Componentes de un sistema de radar	2
1.2.1. Transmisor de radar	4
1.2.2. Receptor de radar	6
1.3. El radar SOUSY	7
1.3.1. Descripción del sistema	7
1.3.2. Sistema de control de encendido del transmisor	9
1.4. Declaración de la problemática	10
2. Sistemas de automatización y supervisión en la actualidad	12
2.1. Estado del arte	12
2.1.1. Sistemas de control	12
2.1.2. Sistemas de supervisión	13
2.2. Dispositivos de control y medios de supervisión actuales	15
2.2.1. Sistemas de adquisición de datos (DAQ)	15
2.2.2. Controlador lógico programable (PLC)	15
2.2.3. Sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)	16
2.3. Objetivos	17
2.3.1. Objetivo general	17
2.3.2. Objetivos específicos	17
3. Diseño del sistema de control y supervisión	18
3.1. Requerimientos	18
3.2. Diseño propuesto	18
3.2.1. Diagrama de bloques	19
3.2.2. Hardware	20
3.3. Implementación del control y la supervisión	22

3.3.1. El entorno CoDeSys	24
3.3.2. Programa de control	27
3.3.3. Programa de alarmas	28
3.3.4. Visualización del sistema	29
4. Resultados	35
4.1. Casos de estudio	36
4.1.1. Caso 1	37
4.1.2. Caso 2	38
4.1.3. Caso 3	42
4.2. Comentarios sobre los casos de estudio	44
4.3. Presupuesto	45
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Bibliografía	50
Lista de abreviaturas	51
Anexos	52

Índice de figuras

1.1. La señal es emitida por la antena de transmisión, se propaga hacia la atmósfera hasta encontrar el objetivo, es reflejada y es captada por la antena de recepción (modificado de [1]).	2
1.2. Diagrama de bloques típico de un radar pulsado con un receptor superheterodino (modificado de [1]).	3
1.3. Proceso de amplificación de potencia de una señal. La amplitud de la misma se va incrementando conforme pasa por las etapas de amplificador de potencia (PA) hasta el amplificador de alta potencia (tomado de [2]).	5
1.4. Las regiones en las cuales la tecnología de tubos de vacío o de estado sólido dominan depende de la frecuencia de operación y de la potencia requerida (cortesía de [2]). .	6
1.5. Diagrama simplificado de los bloques del radar SOUSY, la parte modificada fue la de recepción para adaptarla a los sistemas usados localmente (modificado de [2]) .	8
1.6. En a), la nueva distribución cuadrangular de la antena. Los cuadrados representan divisores por 4 de potencia. En b), un elemento Yagi con las dos alternativas de montaje mecánico para las direcciones de apunte principales (cortesía de [3]). . . .	8
1.7. Las cuatro etapas de amplificación de potencia de la señal configuradas en cascada.	10
2.1. Los sensores, los dispositivos DAQ y una computadora forman un sistema que permite aplicaciones que van desde la medición hasta el control en lazos de procesos industriales (tomado de [4])	15
2.2. Los sistemas con PLC y SCADA integran otros dispositivos, como sensores o controladores de motores. (tomado de [5])	16
3.1. Diagrama de bloques del nuevo sistema de control. Los sensores y actuadores están dentro de los circuitos del transmisor y forman parte de pequeñas secuencias de control local en cada módulo.	19
3.2. (1) CPU de PLC modelo PM554 T - ETH. (2) Módulo de expansión de la familia AC500-eCo. (3) Fuente conmutada de 24 V.	22
3.3. Representación de la secuencia de encendido original del transmisor, manejada por 6 temporizadores que ejecutan el proceso en paralelo para las tres etapas del mismo.	23

3.4. El entorno de programación CoDeSys con la solución dividida en una carpeta para manejar errores (1), una para controlar el funcionamiento de los timers (2) y la otra para manejar la visualización del sistema (3).	25
3.5. Programa “Timer1” con las secciones de variables locales (1) y de desarrollo del programa propiamente dicho (2).	25
3.6. El entorno de programación CoDeSys con la solución dividida en una carpeta para manejar errores (A) y la otra para controlar el funcionamiento de los timers (B). .	26
3.7. Configuración para la ejecución de tareas del programa. Las tareas son definidas y dentro de ellas se listan los programas que serán ejecutados (1) y la configuración permite definir parámetros como el tipo, nombre, entre otros (2).	28
3.9. Diagrama de flujo del programa de alarmas.	29
3.10. En líneas punteadas se encuentra encerrada la estructura que agrupa las pantallas de visualización del funcionamiento del sistema.	30
3.11. Las etapas del transmisor tienen un indicador que cambiará a color rojo si la etapa es seleccionada. Al elegir las etapas Driver o PA, necesariamente las etapas previas también se activarán.	31
3.12. En la pantalla principal de la visualización están representadas las tres etapas del transmisor y es posible acceder al estado de cada una de ellas haciendo click al botón correspondiente.	32
3.13. La lista de circuitos depende es muy similar para todas las etapas del transmisor, con excepción del PA, el cual tiene circuitos de enfriamiento por aire y por agua. .	33
3.14. El detalle de los errores mostrará un mensaje en el que se incluirá el módulo y el circuito al que pertenece, así como la fecha y hora del incidente.	33
3.8. Diagrama de flujo del programa de control.	34
4.1. El sistema de automatización instalado: (1) Vista de la instalación en el primer rack del transmisor, (2) Vista frontal del sistema instalado y (3) Vista trasera de las señales conectadas al sistema.	35
4.2. La pantalla de bienvenida que permite seleccionar qué etapas del transmisor se van a usar, en el caso de la simulación, solo la etapa Pre-Driver es seleccionada y el indicador cambia a color rojo.	36
4.3. Las etapas del transmisor son representadas en color azul si estas fueron seleccionadas y en color plomo en caso contrario. Inicialmente todos los indicadores visuales se encuentran apagados.	37
4.4. Si el transmisor enciende correctamente, los indicadores visuales correspondientes a los 6 temporizadores y a las etapas seleccionadas cambiarán a color verde.	38
4.5. El error de una variable de la entrada “DM5_I7” se puede simular con solo hacer doble click sobre la misma para desactivarla.	39
4.6. El error de la entrada “DM5_I7” ocasiona que las entradas “DM5_I1” y “DM1_I1” también se desactiven.	40

4.7. Una vez que el error ocurre, el sistema responde desactivando las salidas del sistema y notificando a través de la visualización al usuario.	41
4.8. El estado de los circuitos de la etapa Pre Driver. En este caso, las entradas que fueron forzadas se interpretan como una falla en los circuitos de filamento y de grilla.	41
4.9. Para el circuito de filamento se registr el detalle de los errores correspondientes, así como la fecha y hora del incidente.	42
4.10. El error ocurre en el circuito de enfriamiento por aire acarrea el error en el circuito de filamento. Los circuitos en color verde tienen las entradas en estado correcto, mientras que para el circuito de placa aún no se tiene información, pues la secuencia de encendido aún no ha llegado al mismo.	43
4.11. De manera similar al caso anterior, el detalle del error muestra a qué módulo corresponde, qué número de conector y número de señal del mismo.	43

Índice de cuadros

3.1. Análisis económico de las alternativas de PLC	20
4.1. Análisis económico del desarrollo	45

Introducción

El Radio Observatorio de Jicamarca es una institución de investigación científica con más de 50 años de trayectoria, muchas publicaciones científicas y diversos reconocimientos a lo largo de su historia. Su principal objeto de estudio es la atmósfera (específicamente ionósfera) la cual se realiza haciendo uso de radares e instrumentos ópticos.

El radar SOUSY fue donado hace un poco más de una década al observatorio, con la intención de complementar los estudios científicos que se realizan con el radar principal. Este no había sido modificado desde su construcción (aproximadamente cuatro décadas atrás), por lo que se realizarán algunas mejoras para adaptarlo a las condiciones de trabajo local. Estas modificaciones incluyen los sistemas de adquisición. Sin embargo, no se realizó ninguna mejora en el sistema de transmisión (control o etapas de potencia).

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de control moderno para el encendido y supervisión de funcionamiento del transmisor, mediante una interfaz amigable. Para realizar estas tareas, fue necesario estudiar el sistema de encendido original del transmisor del radar SOUSY, el cual está basado en dispositivos de control electromecánicos.

El capítulo 1 comprende una breve introducción a los sistemas de radar. Los aspectos desarrollados incluyen: su principio de funcionamiento, principales componentes, clasificación, entre otros. Luego se hace una descripción del radar SOUSY y se presenta la problemática de la tesis.

El capítulo 2 contiene información sobre los sistemas de control y supervisión en la actualidad, así como los dispositivos usados para distintas aplicaciones. También se presentan los objetivos para el sistema de automatización que se busca diseñar.

El capítulo 3 comprende detalles del desarrollo del sistema de automatización. Se presenta un diagrama de bloques general que sirve para introducir los componentes usados en el sistema, así como el software usado para desarrollar el programa de control y supervisión.

El capítulo 4 incluye simulaciones realizadas bajo distintas condiciones y un análisis económico para el diseño del mismo.

Capítulo 1

El radar SOUSY en el Radio Observatorio de Jicamarca

El radar SOUSY, ubicado en el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), complementa las tareas de investigación científica realizadas con el radar principal. Su mayor ventaja: poder obtener datos con mayor resolución espacial (aproximadamente 37.5 m) [6]. Entre sus principales usos, se encuentran: estudios de irregularidades en la ionósfera ecuatorial (como el Electro Chorro Ecuatorial o F dispersa) y meteoros [3], así como la medición de ecos troposféricos, ecos mesosféricos, velocidad de deriva, entre otros [7]. En este capítulo se presentarán una introducción a los sistemas de radar y una descripción del radar SOUSY.

1.1. Radares para estudios atmosféricos

El radar, término derivado del acrónimo en inglés **RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging, es un sistema usado para detectar y ubicar objetos reflectivos como naves, embarcaciones, personas, el medio ambiente, entre otros. El principio básico de funcionamiento de un radar (ver Figura 1.1) consiste en la emisión de una señal electromagnética generada por un transmisor y radiada a través de una antena hacia el espacio, para luego ser interceptada por el objetivo y reflejada en varias direcciones. La fracción de la señal captada por la antena viaja al receptor y luego es procesada para obtener la información deseada. Usualmente una sola antena es usada para la transmisión y recepción de señales (radar monostático), pero también se puede dar el caso de tener dos antenas para dichas tareas (radar biestático). Estos sistemas tienen la ventaja de poder trabajar con la misma precisión bajo distintas condiciones climáticas como lluvia, neblina u otras, en las cuales sensores ópticos o infrarrojos no funcionarían [1].

El origen de los radares se remonta al siglo XIX con los primeros estudios relacionados con la teoría de ondas electromagnéticas, desarrollados por el físico alemán Heinrich Hertz. Luego, a inicios del siglo XX los estudios de otro científico alemán, Christian Hulsmeyer, ayudaron a la detección de embarcaciones y evitar colisiones entre ellos. Otros intentos para desarrollar esta

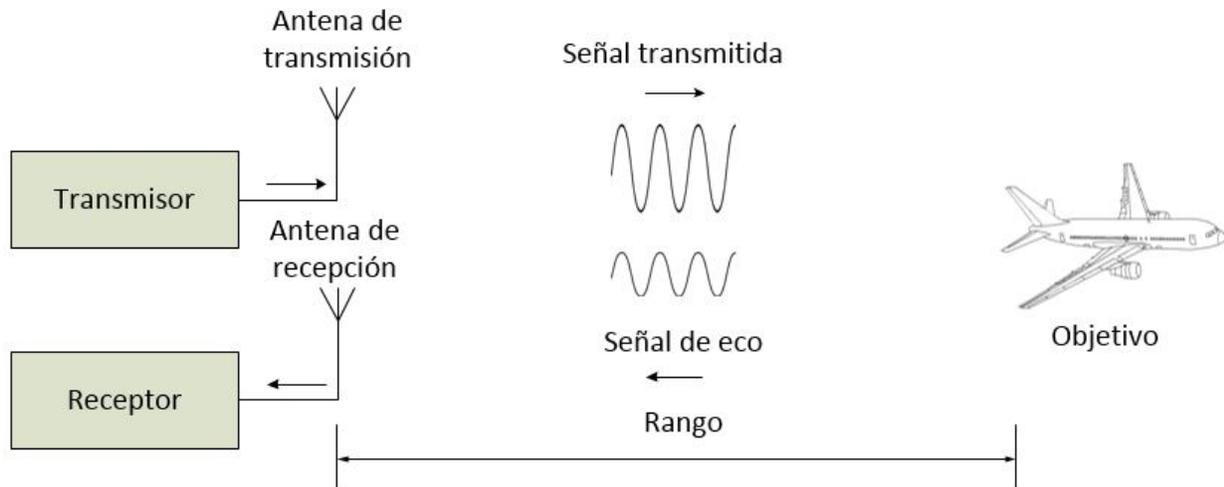


Figura 1.1: La señal es emitida por la antena de transmisión, se propaga hacia la atmósfera hasta encontrar el objetivo, es reflejada y es captada por la antena de recepción (modificado de [1]).

tecnología fueron desarrollados por Marconi en la década de 1920, así como la técnica de radar pulsados desarrollada en 1925 por Breit y Tuve para medir la altura de la ionósfera. Fue durante la I Guerra Mundial y posteriormente a la II Guerra Mundial cuando la tecnología de radares alcanzó un crecimiento rápido para su aplicaciones militares como en sistemas de defensa aerea. Actualmente, sus usos son diversos en campos como el civil (control de velocidad de autos), para navegación (control de tráfico aéreo), y además del uso científico en campos como meteorología o aeronomía [1].

Los radares para estudios atmosféricos se encuentran subdivididos en meteorológicos y de aire claro. Los primeros son usados para la detección de hidrometeoros (lluvia, nieve, granizo u otros), mientras que los de aire claro son usados para la detección de variaciones en el índice de refracción de la atmósfera, un parámetro relacionado a variaciones de temperatura, humedad y densidad de electrones [8]. Dentro de los radares de aire claro está la categoría MST (acrónimo en inglés de Mesósfera, Estratósfera y Tropósfera) los cuales operan en el rango de frecuencias VHF (30 a 300 MHz) y son usados estudiar capas atmosféricas hasta los 80 km de altura. Dicha clase de radares fue usada por primera vez en el ROJ a inicios de la década de 1970, y posteriormente usada en otros lugares como la estación antártica Machu Picchu o el radar CUPRI de la Universidad de Cornell [9].

1.2. Componentes de un sistema de radar

Los radares pulsados son aquellos en los que se usa una forma de onda que no es transmitida continuamente (a diferencia de los radares de onda continua), sino por períodos determinados de tiempo. La operación típica de estos radares será explicada a partir del diagrama de bloques simplificado mostrado en la Figura 1.2.

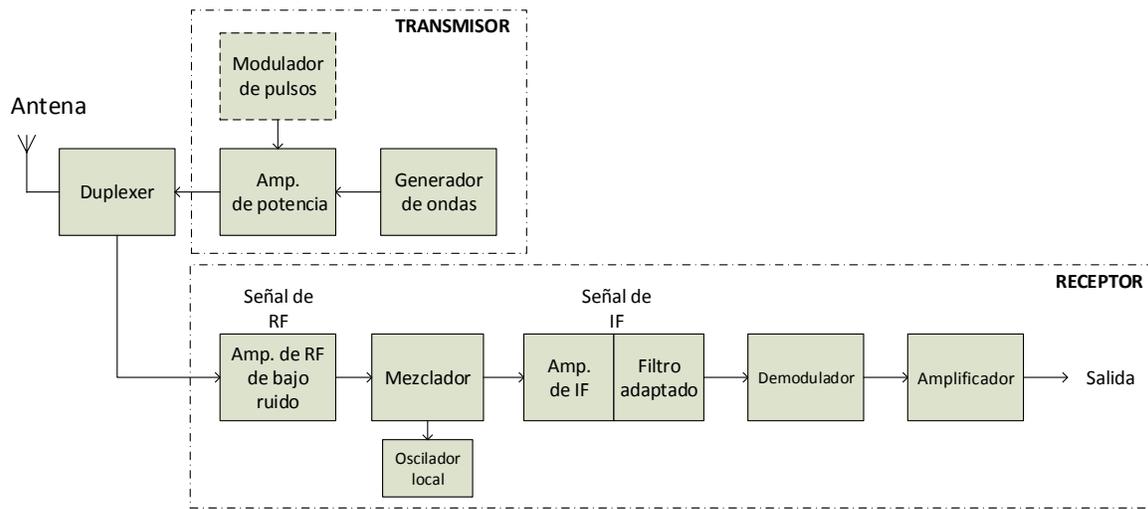


Figura 1.2: Diagrama de bloques típico de un radar pulsado con un receptor superheterodino (modificado de [1]).

■ TRANSMISOR

- **Generador de ondas:** Produce la señal de RF de baja potencia, que luego entra al bloque de amplificador de potencia. Para fuentes de potencia (excepto las de estado sólido), un modulador enciende y apaga al transmisor en sincronía con los pulsos de entrada. En caso se use un oscilador de potencia, un **modulador de pulsos** es usado para generar la forma pulsada.
- **Amplificador de potencia:** Es la parte activa del transmisor, permite alcanzar la potencia requerida en la transmisión. Puede ser una fuente de potencia como un klystron, un tubo de onda viajera o un amplificador transistorizado, o puede ser un oscilador de potencia como un magnetrón. Mayores detalles acerca de transmisores serán explicados más adelante.

- **Duplexer:** Dispositivo que permite usar una sola antena para la transmisión y la recepción de señales. Por lo general, es un dispositivo con un gas que produce un corto circuito (descarga de arco) a la entrada del receptor cuando el transmisor está operando para que la alta potencia fluya hacia la antena y no hacia el receptor. Del mismo modo, para la recepción, el duplexer dirige la señal de eco hacia el receptor y no hacia el transmisor. Como dispositivos de protección en este bloque, se podrían encontrar elementos como circuladores de ferrita o diodos de estado sólido, entre otros.
- **Antena:** Se conecta a la salida del duplexer a través de una guía de onda o de línea de transmisión, sirve para radiar la señal amplificada al espacio o recibir la señal reflejada por un objetivo. La dirección de apunte de una antena puede ser cambiada a través de elementos mecánicos o electrónicamente. Las antenas pueden ser de distintas formas como un único elemento, un arreglo de ellos, un reflector parabólico u otros.

- **RECEPTOR**

Usualmente son superheterodinos, un tipo de receptor conformado por los siguientes bloques: **Amplificador de RF (radio frecuencia) de bajo ruido, Mixer y Oscilador local.** El amplificador de RF eleva la potencia de la señal recibida para que esta pueda ser convertida a una señal de IF (frecuencia intermedia) por el mixer y oscilador local, y posteriormente procesada en los bloques mencionados a continuación.

- **Filtro adaptado:** Maximiza la detectabilidad de la señal débil de eco y atenúa las señales no deseadas. El ancho de banda del receptor es determinado por este bloque y el amplificador de IF.
- **Demodulador:** Sirve para la extracción de la señal modulada en la portadora. En radares que detectan el cambio Doppler (variación en frecuencia de la señal), otro bloque denominado **detector de fase** reemplaza al demodulador.
- **Amplificador final:** Eleva la potencia de la señal de IF para que tenga una magnitud lo suficientemente alta que pueda detectarse por un sistema de adquisición.

1.2.1. Transmisor de radar

Esta parte del radar debería tener las siguientes características: suministrar energía suficiente para detectar un objetivo, que pueda ser modulado fácilmente para producir con precisión las formas de ondas deseadas, que produzcan una señal estable y de bajo ruido que facilite el análisis de la señal recibida, ancho de banda sintonizable, que sea eficiente y confiable, fácil de mantener, de vida prolongada, que pueda operarse con poco personal, que sea del tamaño adecuado para la aplicación y que tenga un precio razonable. Dificilmente, todas esas condiciones pueden lograrse para un solo transmisor [1].

El transmisor debe tener un amplificador para la potencia requerida, así como otros amplificadores intermedios de menos potencia configurados en cascada (uno a continuación del otro) que amplifiquen la señal progresivamente. Esto último es necesario porque cada etapa requiere cierto nivel de potencia a su entrada para funcionar adecuadamente (ver Figura 1.3). Otros elementos que también forman parte del transmisor son: fuentes DC (corriente continua) de voltaje y/o corriente; medios para disipar el calor, como intercambiadores de calor (enfriamiento con líquidos) o ventiladores; elementos de protección contra altos voltajes o corrientes; circuitos de eclavamiento para otorgar seguridad al equipo; elementos para supervisión y otros. Si bien no todos son necesarios para que un transmisor funcione, estos ayudan a tener una operación más segura, a extender su vida útil y a reducir las fallas de funcionamiento. Precisamente, el desempeño de un transmisor se ve afectado principalmente por fallas en los elementos de enfriamiento o la falta de mantenimiento de las demás partes [1].

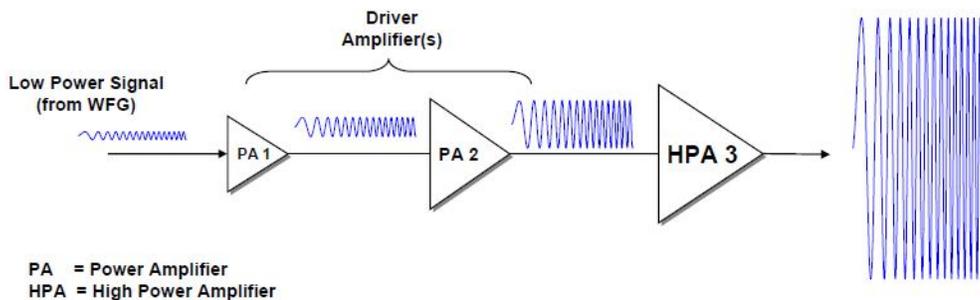


Figura 1.3: Proceso de amplificación de potencia de una señal. La amplitud de la misma se va incrementando conforme pasa por las etapas de amplificador de potencia (PA) hasta el amplificador de alta potencia (tomado de [2]).

Las fuentes de potencia de RF pueden agruparse en 4 categorías: tubos de haz lineal, estado sólido, tubos de campo cruzado y otras fuentes de potencia de RF, entre las que se encuentra los tubos de vacío con grillas de control. Dicho tipo de tubos de vacío tiene tres partes principales: cátodo, ánodo y dos o más grillas de control situadas entre ellos. Funcionan controlando la cantidad de electrones que fluyen entre cátodo y ánodo, regulando el voltaje aplicado a las grillas de control. Dicho control de la corriente de electrones es denominado modulación por densidad. Las ventajas de este tipo de tubos de vacío son: eficiencia de funcionamiento en potencia, buen ancho de banda y vida útil prolongada. Su mayor desventaja es que funcionan en rangos de frecuencia no muy altos, como en las bandas UHF (0.3 a 3 GHz) y VHF, por lo que también han sido preferidos en aplicaciones como la televisión. En la actualidad, más allá de las ventajas mencionadas de los tubos de vacío, los amplificadores de estado sólido son una buena alternativa que si bien es más costosa, permite un mejor control del dispositivo y el trabajo con bloques de menos potencia, que sumados alcanzan la potencia deseada [1]. En la Figura 1.4 se observa una comparación entre ambas tecnologías. Para bajas frecuencias y potencias no muy elevadas dominan los amplificadores de estado sólido, para altas frecuencias y potencias los tubos de vacío predominan y ambas compiten en la región media de frecuencia y potencia.

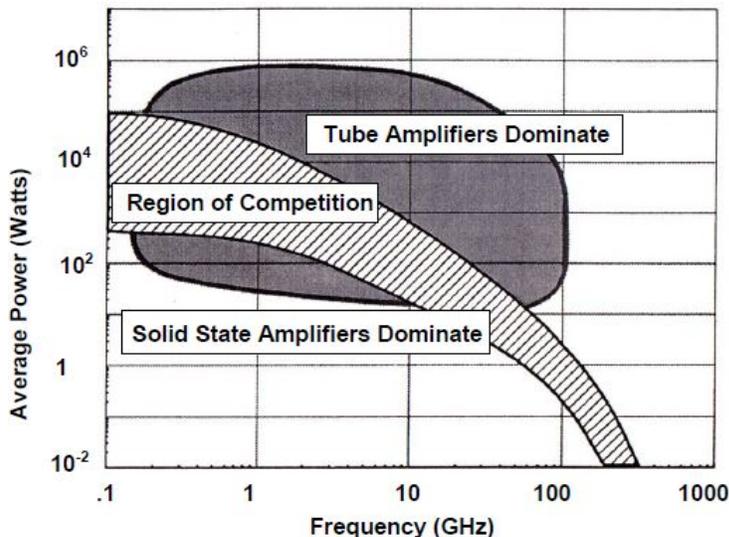


Figura 1.4: Las regiones en las cuales la tecnología de tubos de vacío o de estado sólido dominan depende de la frecuencia de operación y de la potencia requerida (cortesía de [2]).

1.2.2. Receptor de radar

Tiene como función extraer la señal de los ecos recibidos por las antenas, la que luego será amplificada y procesada para obtener la información requerida del objetivo. Los receptores actuales tienen la ventaja de permitir el uso de técnicas de procesamiento digital de señales para extraer información de los ecos recibidos automáticamente y que esta pueda ser visualizada en tiempo real, en vez de que el análisis e interpretación de datos sea realizada manualmente por un operario. El tipo de receptor más común es el superheterodino, el cual convierte la señal de alta frecuencia a una intermedia (ajustable con el oscilador local), la cual luego es filtrada, lo que permite ajustar características como: forma, ancho de banda, ganancia y estabilidad, necesarias para el procesamiento digital.

Entre los dispositivos modernos usados como receptores digitales se encuentran las tarjetas de recepción digital y los USRP (abreviatura en inglés de Universal Software Radio Peripheral). Por ejemplo, las tarjetas de recepción digital de la familia Echotek del fabricante Mercucy Systems, permiten realizar la conversión de señales analógicas a digitales, subir o bajar la frecuencia a una señal, obtener transformadas de Fourier o filtrar las señales directamente en la tarjeta aprovechando el poder de procesamiento de dispositivos como FPGA (acrónimo en inglés de Field Programmable Gate Array) [10]. Por otro lado, los USRP del fabricante National Instruments son dispositivos transceptores de radio que permiten realizar el procesamiento de las señales en una computadora, haciendo uso del programa LabView del mismo fabricante [11] o con software libre basado en el lenguaje Python (GNU radio).

En el ROJ también se han implementado receptores digitales para los radares principal y SOUSY. Uno de los primeros receptores digitales desarrollados se denomina REX, cuyo propósito fue implementar un sistema de dos canales usando circuitos integrados DSP (acrónimo en inglés de Digital Signal Processing) los cuales permiten operaciones como demodulación, filtrado, decimado, entre otras. El control de dicho sistema se implementó en FPGA, usados para sincronizar los datos con el controlador del radar y enviar los datos a una computadora. Tras los buenos resultados obtenidos con el sistema REX, un nuevo sistema denominado JARS (de las siglas en inglés Jicamarca Acquisition Radar System) fue implementado con mejoras como más canales de adquisición, mejor desempeño y mayor flexibilidad.

1.3. El radar SOUSY

El radar SOUSY fue construido en Harz, Alemania por el “Max Planck Institute für Aeronomie”, en donde estuvo funcionando desde 1977 para el estudio de baja y media atmósfera. Fue donado al Perú el año 2004 e instalado en el ROJ, donde el sistema fue modificado en dos aspectos principalmente: en el arreglo de antenas y en el sistema de control y adquisición de datos. Este sistema pertenece a la categoría MST y es usado para complementar los estudios realizados con el radar principal. Las dos principales características en las que se diferencia de este último son: un ancho de banda de 4 MHz (contra 700 KHz del radar principal) y el rango de direccionamiento de su antena ($\pm 15^\circ$) [3]. A continuación se describirá el sistema actual del radar.

1.3.1. Descripción del sistema

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama simplificado con las principales partes del radar SOUSY. En cuanto al al diseño de la antena, se usaron los mismos elementos Yagi del arreglo original, pero distribuidos de manera cuadrangular en lugar de circular. La nueva distribución está compuesta por 64 módulos (8 x 8), y cada uno de ellos consta de 4 elementos Yagi (2 x 2) con fases fijadas. El arreglo cuadrangular requirió que se construyeran 60 elementos adicionales, los cuales fueron manufacturados localmente usando el mismo diseño. Otra modificación menor, es el doblés que se hizo a los parantes que sostienen a los elementos, lo que permite que tengan dos direcciones principales de apunte: zenith y a 15° S del zenith [3]. Esta última modificación, así como la nueva distribución se pueden observar en la Figura 1.6.

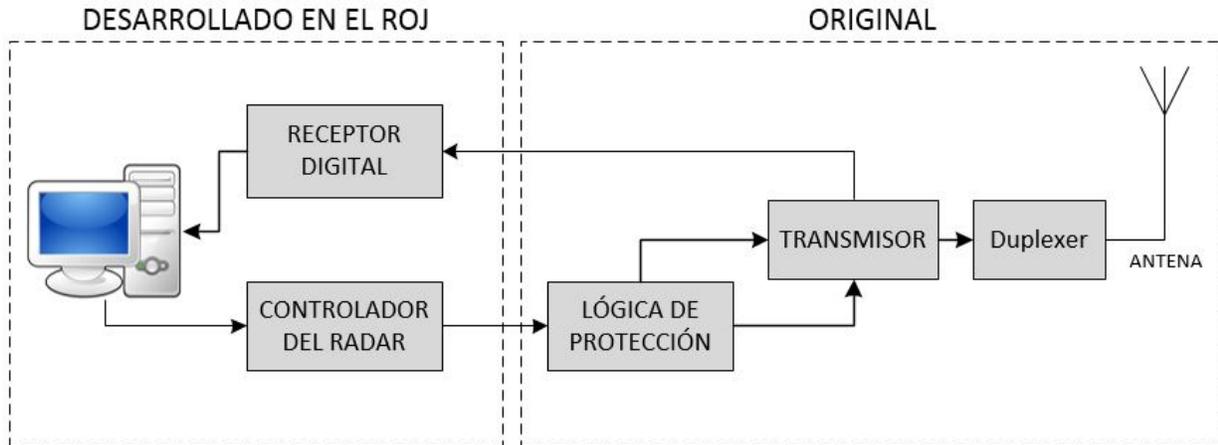


Figura 1.5: Diagrama simplificado de los bloques del radar SOUSY, la parte modificada fue la de recepción para adaptarla a los sistemas usados localmente (modificado de [2])

Para el muestreo las señales recibida y el control de la transmisión de señales se usa un controlador de radar con el mismo diseño usado en el radar principal, basado en un PLD (abreviatura en inglés de Programmable Logic Device) con la ventaja de tener el controlador en un solo chip, que además puede modificarse y actualizarse vía software. El sistema de adquisición original era analógico, y fue cambiado primero por uno basado en un chip del fabricante Analog Devices (AD6620), usado en la industria celular. Actualmente, el receptor está siendo reemplazado por uno basado en un USRP. Por otro lado, el transmisor del radar se conserva sin modificación alguna. Este será descrito en la siguiente sección. [3].

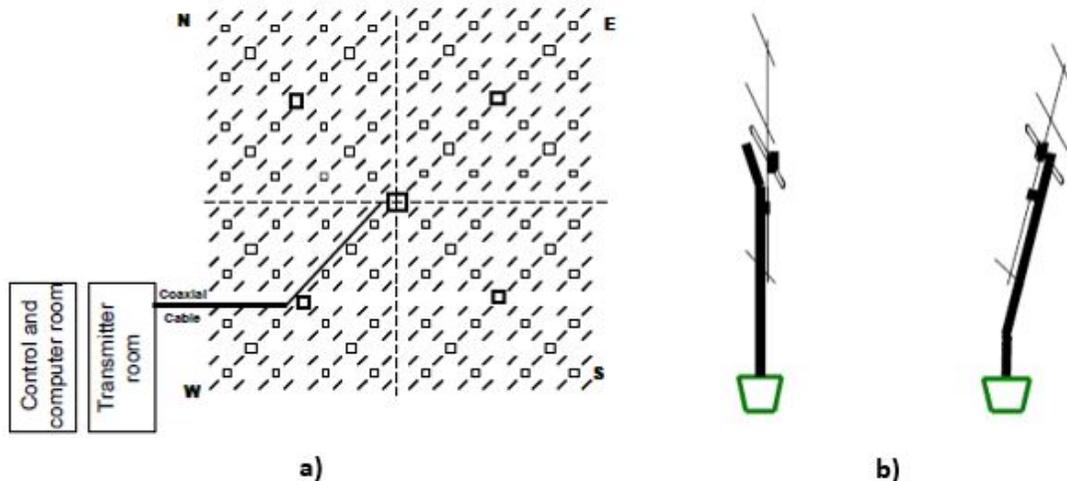


Figura 1.6: En a), la nueva distribución cuadrangular de la antena. Los cuadrados representan divisores por 4 de potencia. En b), un elemento Yagi con las dos alternativas de montaje mecánico para las direcciones de apunte principales (cortesía de [3]).

1.3.2. Sistema de control de encendido del transmisor

El transmisor del radar SOUSY (véase la Figura 1.7) consta de un amplificador de 4 etapas de tubos de vacío para elevar la potencia de la señal. La primera etapa es un Pre Amplificador de 150 W, las otras tres también son tubos de vacío con cuatro grillas de control (tetrodo) y se denominan: Pre Driver (PD), Driver (D) y Power Amplifier (PA) con 1.5 kW, 20 kW y 600 kW de potencia respectivamente. El PD y D son del fabricante Valvo, modelos YL 1440 Y YL 1520 respectivamente, mientras el PA es del fabricante Siemens, modelo RS 1084 CJ. Las dos grillas de control que tienen para la modulación por densidad de electrones son denominadas de control y de pantalla.

Actualmente, el sistema de encendido del transmisor del radar SOUSY es controlado por una secuencia basada en lógica cableada. Cada etapa del transmisor tiene un control local que se conecta a dicha secuencia. El encendido del transmisor es progresivo, según requieren los tubos de vacío y las condiciones de los sensores de cada control local están siendo constantemente monitoreadas por el control central, para evitar el riesgo de daño a los equipos. La energización de los módulos de las fuentes, así como de los circuitos de ventilación o de enfriamiento por agua se hace manualmente como paso previo al encendido. La lógica está gobernada por 6 temporizadores, cuyas funciones se describen a continuación:

- **Temporizador 1:** Controla el encendido del filamento, el cual calienta el cátodo para que este libere electrones.
- **Temporizador 2:** Controla el encendido de la fuente que alimenta al circuito de grilla de control.
- **Temporizador 3:** Controla la primera etapa del encendido (de forma amortiguada) de la fuente que alimenta al circuito de placa (elemento que recolecta los electrones).
- **Temporizador 4:** Controla la primera etapa del encendido (sin amortiguamiento) de la fuente que alimenta al circuito de placa.
- **Temporizador 5:** Controla el encendido de la fuente que alimenta al circuito grilla de pantalla.
- **Temporizador 6:** Controla el permiso que indica que el transmisor está listo para amplificar la señal de radiofrecuencia.

Los temporizadores se interrelacionan a través de condiciones que se activan una vez que cada etapa de control finalizó. Es así que, una vez que el primero ha culminado la tarea que le corresponde, el segundo ejecuta su parte de la secuencia y así sucesivamente. Luego de que los 6 temporizadores hayan completado la secuencia, el transmisor se encuentra listo para amplificar la potencia de la señal RF y el paso siguiente es otorgar dicho permiso para que dicha señal se transmita.

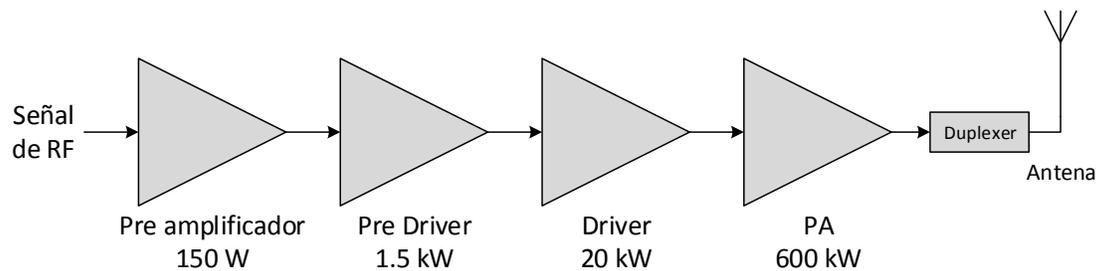


Figura 1.7: Las cuatro etapas de amplificación de potencia de la señal configuradas en cascada.

1.4. Declaración de la problemática

La evolución de dispositivos electrónicos es constante (ley de Moore). En el caso del radar SOUSY, el control de las señales en la transmisión y así como la recepción de las señales ha variado a lo largo de los años, pasando de ser naturaleza analógica a digital, lo que permite el empleo de computadoras para configuración de experimentos o visualización de resultados. Con respecto a los transmisores (amplificadores de potencia), las tecnologías de potencia no han variado de manera tan significativa. Los dispositivos de estado sólido, pueden competir bajo ciertas condiciones con los que usan tubos de vacío, pero no para potencias ni frecuencias muy elevadas (Figura 1.4). Por otro lado, los sistemas de supervisión y de control han evolucionado de manera más significativa. Por ejemplo, es el caso del radar principal del ROJ el cual tenía un sistema de control para el encendido del transmisor que debía manejarse a través de una consola con botones y en donde la supervisión debía hacerse a través de indicadores luminosos, por lo que se requería cierto nivel de experiencia para manejarlo.

Actualmente, el sistema de control de encendido del transmisor del radar SOUSY tiene entre 30 y 40 años de antigüedad y está basado en lógica cableada. La aparición de nuevas tecnologías ha causado que los dispositivos usados en el control se hayan ido dejando de lado con el transcurrir de los años, por lo cual mantener un sistema de esa naturaleza ha devenido en desventajas como: repuestos difíciles de encontrar y/o costosos, poca flexibilidad del sistema por si se requiere modificarlo y una difícil tarea de acoplamiento a otros sistemas de supervisión más amigables. Es así que, si se quisiera cambiar alguna etapa o parte del transmisor actual por una similar de estado sólido u otra tecnología actual, la poca flexibilidad que se mencionó del sistema de control no permitiría que se adapte a dichos nuevos elementos. Otra desventaja de este sistema es la dificultad para identificar fallas en el transmisor, tarea que actualmente se realiza de manera manual, lo cual puede tomar periodos prolongados (horas o días) y afecta la ejecución de experimentos programados.

Por los motivos expuestos, reemplazar el sistema de control actual por otro más moderno permitirá compensar las desventajas que presenta. El dispositivo de control moderno elegido realizará el control de la secuencia de encendido. En cuanto a la supervisión, deberá permitir la visualización a

través de un medio amigable como un monitor, que facilite la identificación de errores y fallas en el transmisor. Como paso previo a la implementación del control en un dispositivo moderno, se estudiará el sistema actual para entender las funciones de cada bloque e identificar las señales que tiene.

En este capítulo se describieron detalles generales sobre los sistemas de radar, tales como su principio de funcionamiento, principales componentes, dando un poco más de énfasis a la parte referida a los transmisores. Luego se describió el sistema de radar SOUSY y su estado actual, para finalmente definir la problemática.

Capítulo 2

Sistemas de automatización y supervisión en la actualidad

2.1. Estado del arte

En la modernización de radares se reemplazan partes como: amplificadores (etapas de potencia), sistemas de control de encendido y supervisión, controladores y/o generadores de señales, dispositivos de recepción y/o procesamiento de datos, entre otros. La actualización en los sistemas de control de encendido y supervisión son aspectos que serán analizados en el siguiente estado del arte, mostrando los tipos de tecnología usados para el control y la supervisión, así como los modos de interacción con el usuario.

2.1.1. Sistemas de control

En la actualidad, se prefiere usar transmisores de radar que emplean tecnología de estado sólido ya que operan de forma más segura y continua que sus pares de tubos de vacío. Esos motivos llevan a que los dispositivos amplificadores, junto a los sistemas de control y supervisión que los gobiernan sean también modernos. Se puede mencionar que, otorgan tres niveles de seguridad a los amplificadores, que son: elementos de protección rápidos que puedan sensarse para conocer su estado, dispositivos de control y supervisión y una computadora como interfaz, que también sirva para registrar datos de desempeño del sistema [12]. Los dos últimos niveles cumplen la tarea de automatización propiamente dicha, en la que se debe tomar en cuenta aspectos como: vigilar los parámetros de arranque del sistema (que se encuentren dentro del rango adecuado), ejecutar del algoritmo de control secuencial, notificar a los usuarios frente a un mal funcionamiento, entre otros [13]. Ejemplos de sistemas que presentan los tres niveles de seguridad son:

- El radar de banda X (8 a 12 GHz) Cobra Judy [12], en el que el amplificador y su sistema de control y supervisión fueron reemplazados. El modo de operación, en la supervisión varió de forma significativa. Originalmente se requería de un intercomunicador o teléfono para comunicarse entre estaciones del radar, y el sistema actual permite una operación remota del transmisor. Un caso similar a este, es el radar HUSIR (abreviatura en inglés de **H**aystack **U**ltra-**W**ideband **S**atellite **I**maging **R**adar) [13], construido en base al primero.
- El sistema de automatización y supervisión de un transmisor de estado sólido, que reemplazó al Klystron (tubo de vacío) [14] con el que funcionaba originalmente. El sistema de control tiene un apagado automático para proteger a los equipos por si se presentan fallas graves, mientras el de supervisión tiene una interfaz que permite que el usuario interactúe con el sistema, bajo ciertas normas de seguridad. Las normas de seguridad del sistema de supervisión establecen rangos con los usuarios, lo que quiere decir que las facultades que tienen los usuarios para usar o modificar al sistema varía en forma directamente proporcional al rango que tengan (operario, técnico, ingeniero, entre otros).

Otro caso de interés es el radar principal del ROJ [15], el cual cuenta con 4 transmisores de 1.5 MW cada uno. Para dichos transmisores (etapas Driver y Power Amplifier), se implementó un sistema de control y supervisión que permite la operación centralizada del encendido a través de señales de actuadores que controlan la energización del sistema, los sistemas de enfriamiento y ventilación o el permiso para amplificar la señal RF. El sistema permite el monitoreo remoto del valor eficaz de la corriente de operación de los transmisores. El sistema está implementado en un controlador lógico programable (PLC) para el control y un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).

2.1.2. Sistemas de supervisión

En estos sistemas se busca como característica general que la supervisión permita operación y ejecución de los sistemas de control de manera remota aprovechando herramientas de transporte de datos como el internet. Los sectores en los que se han implementado soluciones con estas características son variados, cada uno con particularidades y necesidades que cubrir, las cuales serán explicadas en los siguientes dos casos presentados.

- El sistema WRMDSS (de las siglas en inglés **W**eb-based **R**emote **M**onitoring and **D**istributed **D**iagnosis **S**ystem) fue implementado para mejorar el mantenimiento de una imprenta, a través de monitoreo remoto y alerta de fallas a través de internet. El sistema tiene tres características para cumplir con las tareas requeridas: buses de comunicación, un servidor basado en web y un sistema de diagnóstico de fallas. El sistema está estructurado en una sección para el manejo de información y otra para los dispositivos de control (PLC). En el nivel de la información, el monitoreo se ejecuta a través de un sistema denominado Force Control, que permite administrar bases de datos y la recopilación de información de las fallas

detectadas por los PLC para su posterior publicación web. Los recursos son administrados asignando permisos a los usuarios de acuerdo a su rol dentro de la empresa. Esto es llevado a cabo a través de un servidor en el que los usuarios se autentifican y se permite que puedan observar los datos, los cuales son almacenados en las bases de datos del sistema en tiempo real. En caso se detecte un error, el sistema alerta al usuario sobre dicho error, incluyendo detalles como su origen y ubicación dentro de la planta, además de recomendaciones para su reparación.

- Como último caso de estudio, el radar AMISR [7] es modular y cuenta con un sistema de control local para cada uno de los módulos, que son supervisados descentralizadamente. Está configurado en el sistema denominado Data Transport Network para operar de forma autónoma la mayor parte del tiempo. Dicho sistema realiza las tareas de supervisión, almacenamiento en bases de datos u otras. El acceso debe realizarse a través de servidores web del tipo firewall, que regulan el acceso con un sistema de usuario y contraseña, que permite el monitoreo constante del sistema, así como la visualización de fallas en tiempo real.

2.2. Dispositivos de control y medios de supervisión actuales

2.2.1. Sistemas de adquisición de datos (DAQ)

Se definen como el proceso de medir magnitudes eléctricas o físicas como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido usando una computadora. Consiste de sensores, dispositivos de medición DAQ (interfaz para digitalizar las señales analógicas) y una computadora para procesamiento (ver Figura 2.1). A diferencia de los sistemas tradicionales, estos explotan el poder de procesamiento, visualización y conectividad que ofrecen las computadoras de la actualidad. Entre sus aplicaciones, está la implementación de sistemas para monitoreo y control usados en las industrias de control, energía, transportes u otros, lo que permite desarrollar sistemas de automatización y control basados en computadoras [4].

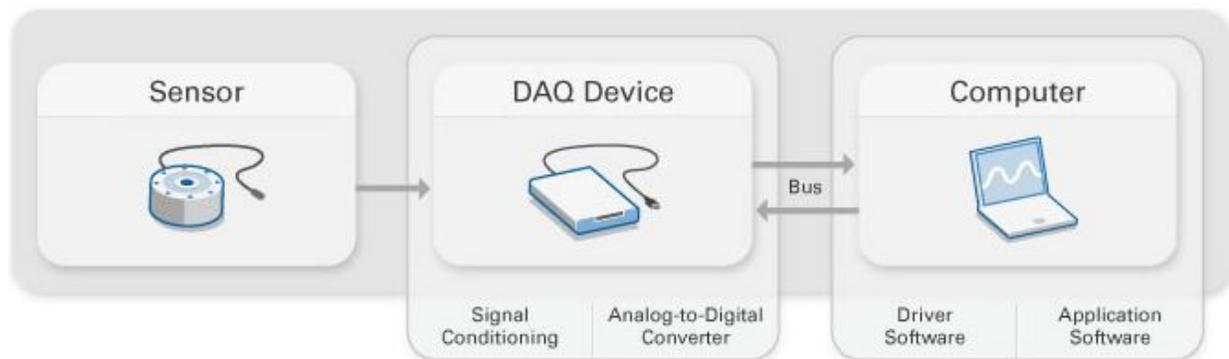


Figura 2.1: Los sensores, los dispositivos DAQ y una computadora forman un sistema que permite aplicaciones que van desde la medición hasta el control en lazos de procesos industriales (tomado de [4])

2.2.2. Controlador lógico programable (PLC)

Es un microprocesador especializado para la ejecución de instrucciones en tiempo real, muy usado en el control secuencial y que cuenta con características como: monitoreo de entradas y salidas del sistema, ejecución de lógica secuencial temporizada, capacidad de comunicación con dispositivos como otros PLC o computadoras, módulos de expansión listos para ser añadidos al sistema y ser programados, entre otros dispositivos [16]. La implementación de los algoritmos de control en estos dispositivos se realiza en algún lenguaje del estándar IEC 61131-3, el cual incluye: Ladder Diagram (LD), Structured Text (ST), Instruction Line (IL), entre otros.

2.2.3. Sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)

Sistema de control industrial que permite monitorear y agrupar los datos de un proceso, así como enviar comandos a los puntos supervisados. Muchos de ellos usan HMI (abreviatura en inglés de Interfaces Humano Máquina), programas que permiten a los usuarios interactuar y controlar los dispositivos conectados al sistema. Dichos sistemas reciben la información desde uno o más PLC y la procesan para que esta pueda ser mostrada y/o analizada. Los sistemas SCADA modernos permiten visualizar la información recolectada en tiempo real de manera remota. Otros recursos usados junto a los sistemas SCADA son: bases de datos, servidores, entre otros [17]. La representación de un sistema que integra ambos sistemas (PLC y SCADA) puede verse en la Figura 2.2.

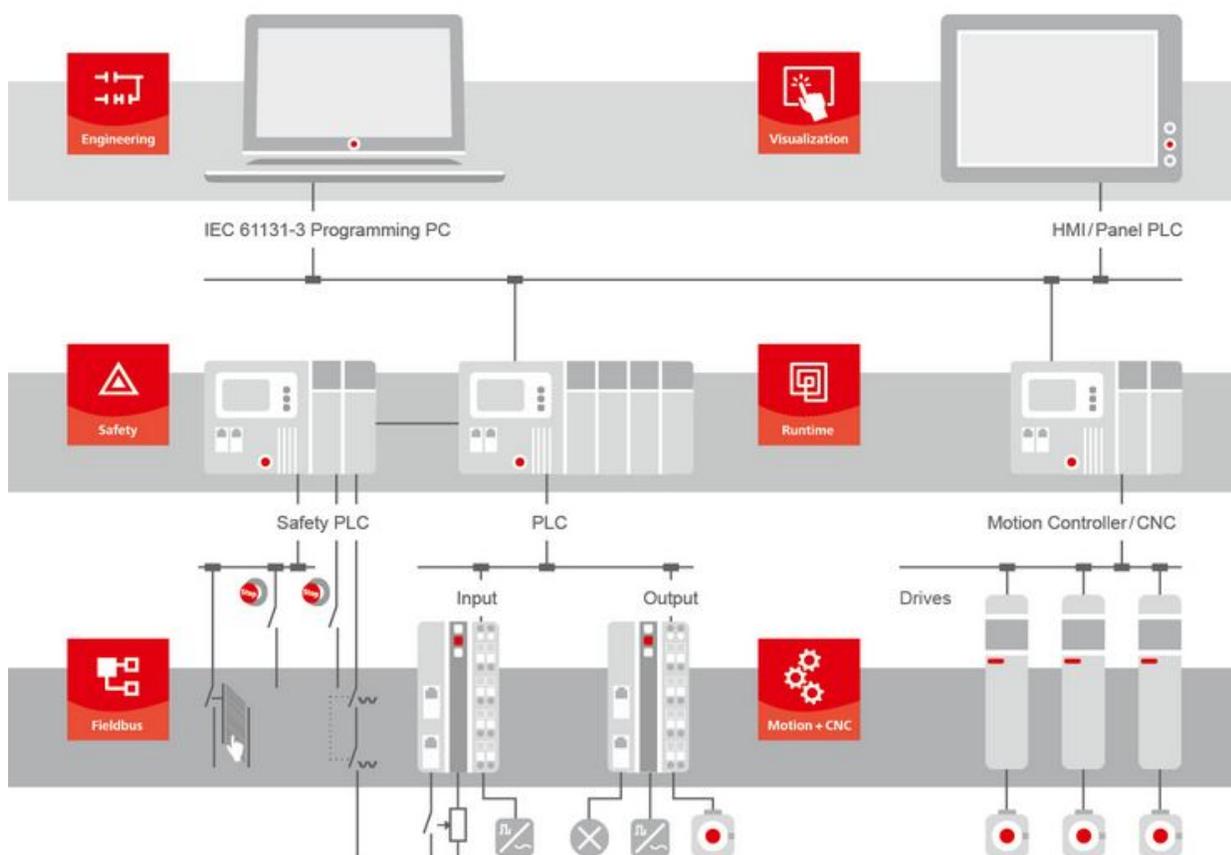


Figura 2.2: Los sistemas con PLC y SCADA integran otros dispositivos, como sensores o controladores de motores. (tomado de [5])

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Diseño de un sistema de control y supervisión para el encendido automático del transmisor del radar SOUSY y que permita visualizar el estado del sistema.

2.3.2. Objetivos específicos

- Desarrollar una interfaz amigable para que el usuario pueda controlar y supervisar el estado del transmisor y los parámetros eléctricos adquiridos.
- Lograr el encendido modular del transmisor, con todas o algunas de las etapas de amplificadores.
- Facilitar la detección de fallas en el transmisor a través de alarmas que notifiquen a los usuarios el origen físico de las mismas, así como contar con un registro para archivar dichas fallas.
- Evaluar junto con el usuario el desempeño del sistema implementado y depurarlo en caso fuese necesario.

En este capítulo se presentó un breve estudio acerca de los sistemas de automatización y supervisión orientados a la modernización de transmisores de radar. Así también, se describieron algunas de las tecnologías actuales usadas para dichos propósitos y también se definieron los objetivos del proyecto.

Capítulo 3

Diseño del sistema de control y supervisión

En este capítulo se presentarán los requerimientos del sistema, a partir de los cuales se escogerá la solución más adecuada. Se describirán detalles sobre los siguientes aspectos: los equipos y el entorno de desarrollo seleccionados (criterios de diseño), así como la implementación de la lógica de control, la configuración de las alarmas y el medio de visualización para el usuario (funciones y modos de uso).

3.1. Requerimientos

Los requerimientos del sistema son los siguientes:

- Leer el estado de los sensores (los que tienen dos posibles estados, por lo que se les denomina binarios) que gobiernan el funcionamiento del transmisor.
- Permitir el encendido modular del sistema. Es decir, contar con una opción que permita elegir entre las distintas etapas del transmisor a utilizar.
- Identificar errores durante el encendido o funcionamiento del transmisor, generando alarmas que notifiquen a los usuarios detalles de los mismos.
- Elaborar una interfaz gráfica que permita a los usuarios administrar el funcionamiento del sistema (iniciar, detener, ver el estado de los sensores, entre otros) de control del transmisor.

3.2. Diseño propuesto

El proceso de encendido del transmisor es secuencial, por lo que requiere un control de lazo abierto (sin retroalimentación de señales). Sin embargo, el sistema cuenta con gran cantidad de señales de confirmación (algunas configuradas en redundancia), lo que le otorga mayor seguridad de funcionamiento. Por lo tanto, el principal requerimiento del nuevo sistema de control, fue elegir

un dispositivo con el que se pudiera implementar un control secuencial, con capacidad suficiente de entradas y salidas para administrar todas las señales y que sea compatible (en términos de voltajes y corrientes) con los sensores y actuadores del transmisor. En las siguientes subsecciones se describirá con mayor detalle el diseño propuesto.

3.2.1. Diagrama de bloques

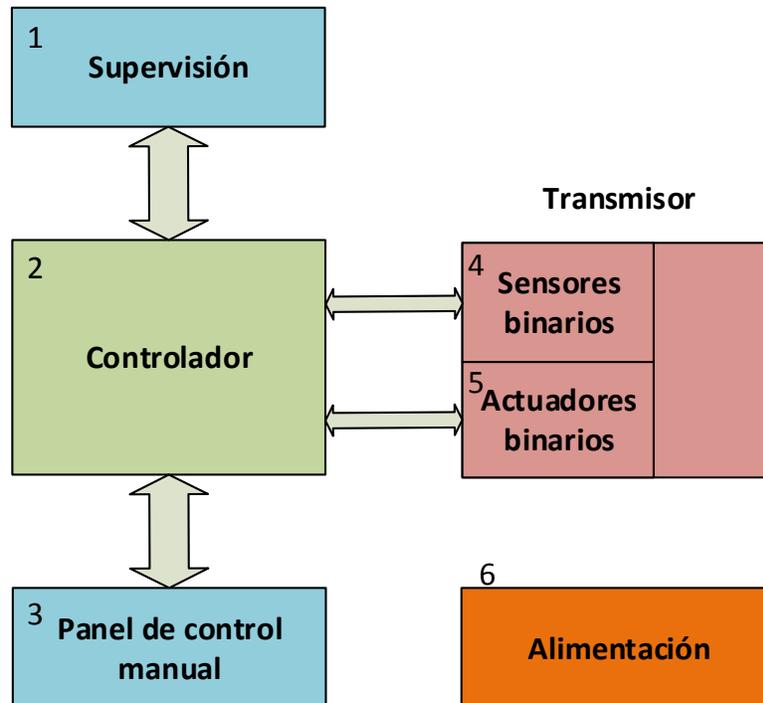


Figura 3.1: Diagrama de bloques del nuevo sistema de control. Los sensores y actuadores están dentro de los circuitos del transmisor y forman parte de pequeñas secuencias de control local en cada módulo.

En el diagrama de bloques (ver Figura 3.1) se representa la conexión entre transmisor y el dispositivo controlador y los diversos dispositivos usados. A continuación se describirá la función de ambos, y de los otros bloques que también forman parte del sistema:

- El bloque de supervisión (1) es un medio gráfico e interactivo que permite al usuario controlar el funcionamiento del sistema. Este bloque se comunica con el controlador (2) enviando y recibiendo instrucciones o datos del programa para supervisar la secuencia.
- El bloque controlador (2) se encarga de ejecutar el algoritmo de control a partir de la lectura (4) y escritura (5) de señales en el transmisor. Adicionalmente, le comunica al bloque de supervisión el estado de funcionamiento del transmisor.

- Del bloque de sensores (4), estos son leídos directamente de los dispositivos electromecánicos del transmisor, los cuales indican su estado en dos posibles valores (denominados por eso sensores binarios u ON/OFF). El mismo principio aplica para los actuadores binarios (5).
- El bloque de alimentación (6) provee energía al bloque de control y los demás dispositivos usados para el control del transmisor.

3.2.2. Hardware

Entre los posibles dispositivos que pueden emplearse para el control secuencial (por ejemplo una tarjeta DAQ [4]) se optó por un PLC [16], por los siguientes motivos: es muy empleado para tareas de este tipo y además, son preferidos en la actualización de transmisores de radar, como el caso del radar principal del ROJ (ver Capítulo 2, Sección 2.1.1).

Los componentes de PLC necesarios son: la unidad central de procesamiento (CPU) y los módulos de expansión para lectura/escritura de las señales de control. Los sensores y actuadores siguen siendo los del sistema original y trabajan a 24 V / 90 mA. Teniendo en cuenta este requerimiento eléctrico, se evaluaron varias alternativas con características similares, siendo la principal diferencia el factor económico. Las opciones evaluadas son mostradas en el Cuadro 3.1

Cuadro 3.1: Análisis económico de las alternativas de PLC

Marca	Artículos	Precio (US\$)
Nexto	CPU NX3010, fuente de 24 V, rack de 12 slots, módulos de expansión y cubierta para rack	2933.00
Direct logic	CPU D3-350, rack de 10 slots, módulos de expansión y SCA-DA (1000 tags)	3136.00
ABB	CPU PM554-T-ETH, software de programación y visualización, módulos de expansión	2159.00

La alternativa del fabricante ABB fue elegida por ser la más económica y a su vez porque incluía el software de programación y visualización con el costo del equipo. Además, ambas tareas se realizan dentro del mismo entorno de desarrollo, permitiendo que la implementación sea más sencilla. La descripción de las características de la familia de dicho PLC y de los módulos o componentes adicionales es presentada a continuación:

- El PLC (CPU y módulos de expansión) pertenece a la familia AC500-eCo, la cual tiene las siguientes características: es compatible con otros dispositivos de la gama AC500 (escalable), cuenta con puerto ethernet integrado, la programación y el desarrollo de la visualización son realizados dentro de una misma plataforma (CoDeSys), los módulos de expansión son fáciles de instalar (solo requieren se requiere un riel DIN para conectarlos a la CPU) y facilitan el

cableado de señales e instalación. Los dispositivos de esta familia que fueron utilizados son los siguientes:

- Una CPU modelo PM554T-ETH (ver 1 en Figura 3.2, para mayores detalles revisar el Anexo 3) con memoria para programa de 128 kB, tiempo de procesamiento de 0.08 s/instrucción (instrucciones binarias), voltaje de alimentación de 24 V, 8 entradas y 6 salidas digitales incluidas y capacidad de expansión para conectarse hasta con 10 módulos de entrada/salida digitales o analógicos.
- La mayor cantidad de señales que maneja el sistema son entradas, cuyo número bordea las 40 (ver Anexo 1). Por dicho motivo, adicionalmente a las entradas incluidas en la CPU del PLC, se necesitaron cinco módulos de expansión digital modelo DX561 (ver 2 en Figura 3.2, para mayores detalles revisar el Anexo 4) de 8 entradas y 8 salidas tipo transistor de 24 V y corriente máxima de 0.5 A. Dichas entradas pueden ser configuradas independientemente como tipo source o sink.
- La supervisión se realiza a través de una computadora con sistema operativo Windows (requerido por el entorno de desarrollo). El PLC se puede conectar directamente a la computadora por el puerto serial o ethernet, o a través de una red local.
- Como se mencionó, los sensores y actuadores binarios son tomados de los dispositivos electromecánicos de los circuitos del transmisor.
- Para alimentar el sistema, era necesaria una fuente de 24 V con capacidad de corriente suficiente para alimentar 48 salidas de los módulos digitales (ver Anexo 1) de 90 mA cada una, más los 0.2 A que consume la CPU del PLC da un total cercano a 5 A. De acuerdo a esto, se escogió una fuente conmutada de 24 V y 10 A de la marca Lambda (ver 3 en Figura 3.2), que funciona con voltajes de línea de 115 - 230 VAC a frecuencia de 47 - 63 Hz.

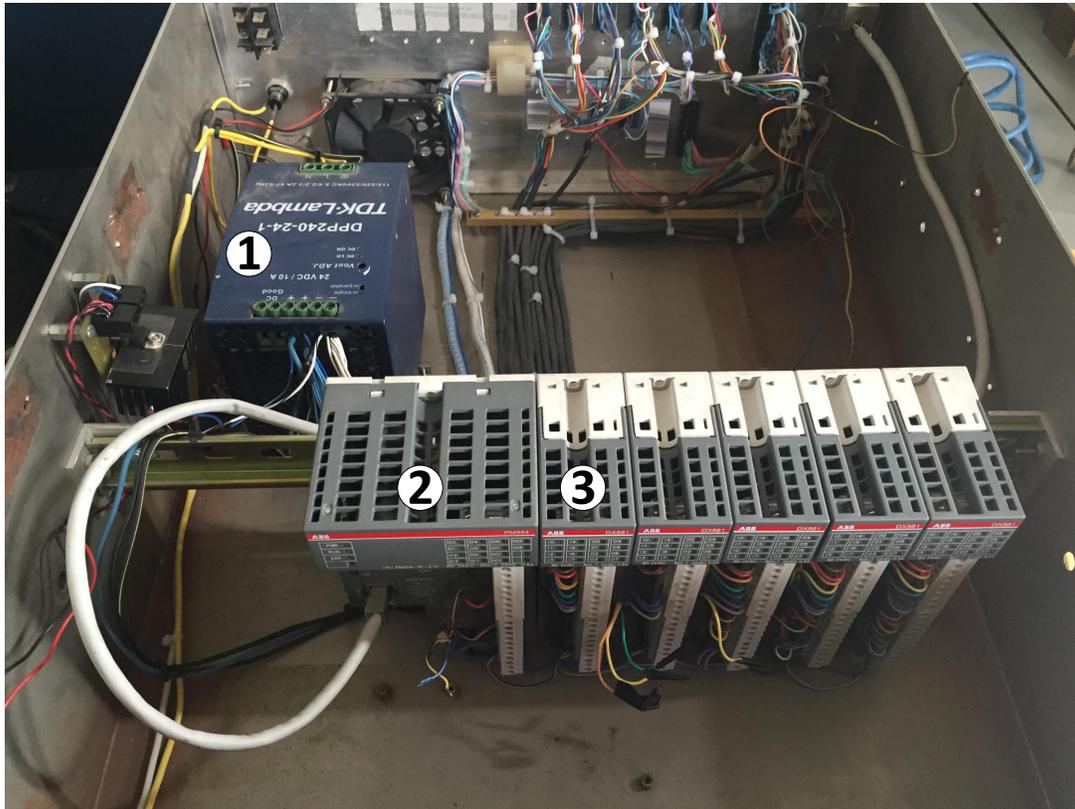


Figura 3.2: (1) CPU de PLC modelo PM554 T - ETH. (2) Módulo de expansión de la familia AC500-eCo. (3) Fuente conmutada de 24 V.

3.3. Implementación del control y la supervisión

Actualmente, el transmisor sigue una secuencia de encendido controlada por dispositivos electromecánicos (relés, contactores, temporizadores, entre otros), que a pesar de las limitaciones de interacción con el usuario o de rastreo de errores, ha permitido que este funcione correctamente desde que fue construido. La secuencia (descrita en el Capítulo 1, sección 1.3.2) es resumida en la Figura 3.3, señalando la finalidad de los seis temporizadores: energizar los circuitos de los tetrodos para las etapas Pre-Driver, Driver y Amplificador de potencia (originalmente encendidos en paralelo). La duración de dichos temporizadores no se modificará, ya que van de acuerdo a los sensores y actuadores del transmisor, los que forman parte del equipamiento original del sistema.

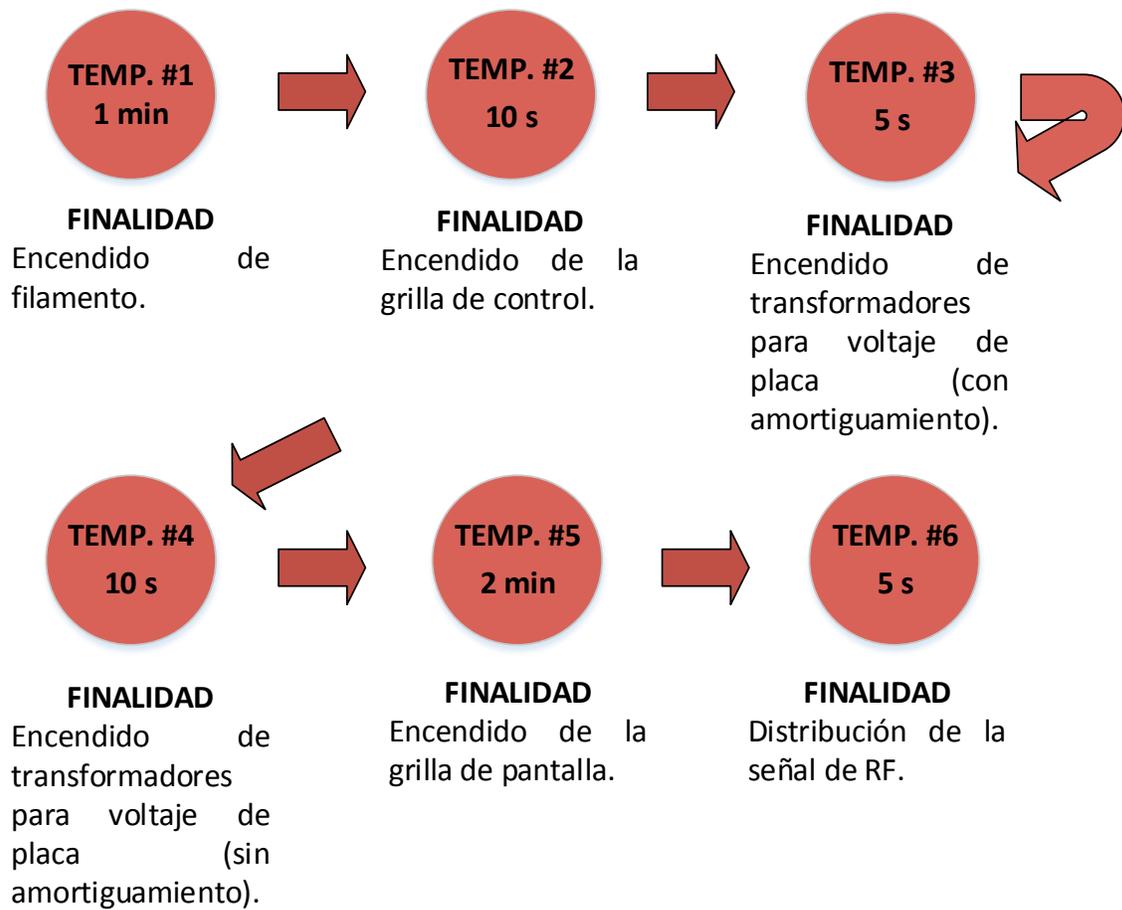


Figura 3.3: Representación de la secuencia de encendido original del transmisor, manejada por 6 temporizadores que ejecutan el proceso en paralelo para las tres etapas del mismo.

3.3.1. El entorno CoDeSys

El entorno CoDeSys es una plataforma, que dentro de un mismo entorno, permite programar la CPU del PLC, así como, configurar las entradas y salidas del sistema, el bus de comunicaciones, las alarmas, servidores e interfaces de visualización, entre otros. De las funciones listadas, se detallará brevemente las de programación y de alarmas.

La programación de la CPU del PLC se puede llevar a cabo empleando cualquiera de los lenguajes del estándar 61131-3 (diagrama de escalera, diagrama de bloques funcional, texto estructurado, entre otros), y es posible usar librerías personalizadas y de extensión, así como importar librerías externas. Los programas pueden ser organizados en carpetas que agrupan a los subprogramas del mismo (ver Figura 3.4), los cuales pueden ser escritos (de manera independiente el uno del otro) en uno o más lenguajes del estándar y manejar variables locales (ver Figura 3.5).

El sistema de alarmas permite notificar al usuario los errores durante el encendido o el funcionamiento del transmisor mediante un entorno gráfico visual y almacenar un registro histórico de los mismos. La configuración de alarmas (ver Figura 3.6) permite definir clases de alarmas y grupos de alarmas. Una clase sirve para asignarle ciertos parámetros generales a las alarma, mientras que un grupo permite definir y configurar las alarmas en sí. Entre los parámetros que se pueden configurar, se encuentran: clase a la que pertenece, prioridad (0 al 255), variable o expresión de activación de la alarma, entre otros. Los grupos de alarmas definidos para un proyecto, pueden organizarse dentro del árbol de configuración mediante carpetas y subcarpetas. Además, el sistema permite grabar los eventos de alarma dentro de un archivo de registro, del cual se puede configurar la carpeta de destino y el formato de guardado. Adicionalmente, las alarmas pueden ser insertadas en la interfaz de visualización creando tablas de alarmas, las que notificarán al usuario con detalles del error ocurrido.

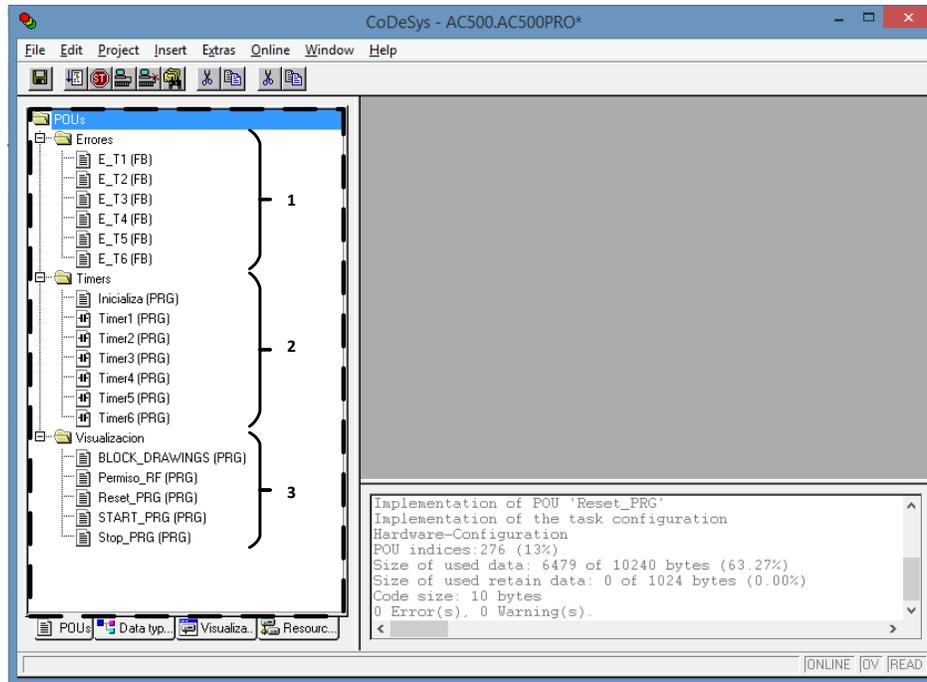


Figura 3.4: El entorno de programación CoDeSys con la solución dividida en una carpeta para manejar errores (1), una para controlar el funcionamiento de los timers (2) y la otra para manejar la visualización del sistema (3).

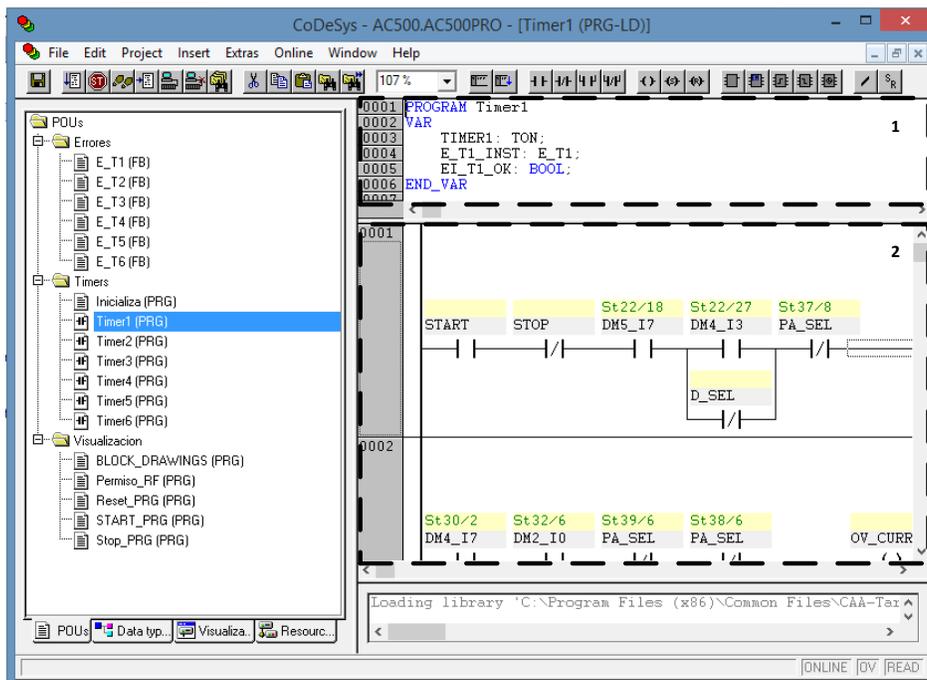


Figura 3.5: Programa “Timer1” con las secciones de variables locales (1) y de desarrollo del programa propiamente dicho (2).

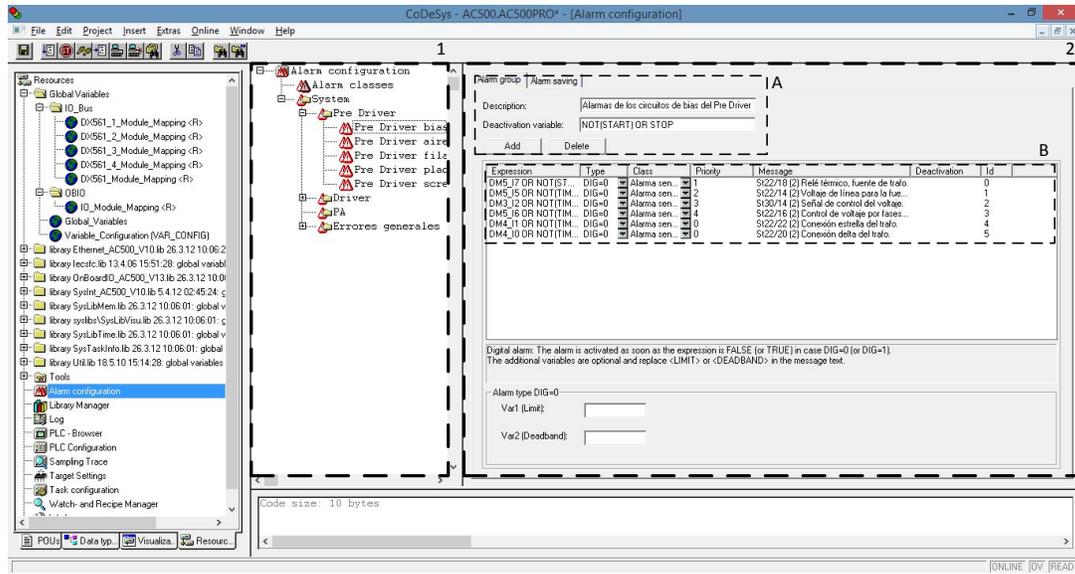


Figura 3.6: El entorno de programación CoDeSys con la solución dividida en una carpeta para manejar errores (A) y la otra para controlar el funcionamiento de los timers (B).

3.3.2. Programa de control

La implementación del programa de control se hizo en base a la secuencia original (el programa puede ser revisado en el Anexo 2), para usar las señales de control ya existentes sin la necesidad de modificar los circuitos del transmisor para extraer nuevas señales de control. La solución se divide en subprogramas que controlan el encendido del transmisor, la inicialización de variables y valores de salida, el control de errores y alarmas y el las animaciones en la visualización. Estos están organizados en carpetas que corresponden a las tareas definidas (ver Figura 3.5). Debido al funcionamiento cíclico de los PLC, el diagrama de flujo del programa de control (ver Figura 3.8) detalla un solo ciclo de control, que se repetirá una vez este llegue al final. El equipo funciona mediante la ejecución de tareas, las que llaman a los programas que van a ejecutarse (ver Figura 3.7) dentro de lo que vendría a ser la etapa de procesamiento del ciclo de funcionamiento de un PLC (lectura de entradas, ejecución del algoritmo y actualización de salidas). El modelo de CPU PM554-T-ETH permite configurar una tarea, la cual llama y ejecuta los programas que hayan sido definidos. La única tarea del programa ha sido configurada con el tipo “freewheeling” (periodo de ejecución variable), debido a que el encendido del transmisor es progresivo y conforme se concreta, esta tarda más tiempo en ejecutarse.

Los programas de los temporizadores siguen un esquema de funcionamiento similar: las condiciones son leídas, si son correctas y el temporizador no ha sido activado aún, este se activa y luego del tiempo que le corresponde, las salidas que este controla, son activadas. Si alguna de las condiciones leídas no tiene el estado correcto, todas las salidas de la secuencia de control son desactivadas. El manejo del error y de alarmas generadas, le corresponde a los programas que será descrito en la siguiente sección.

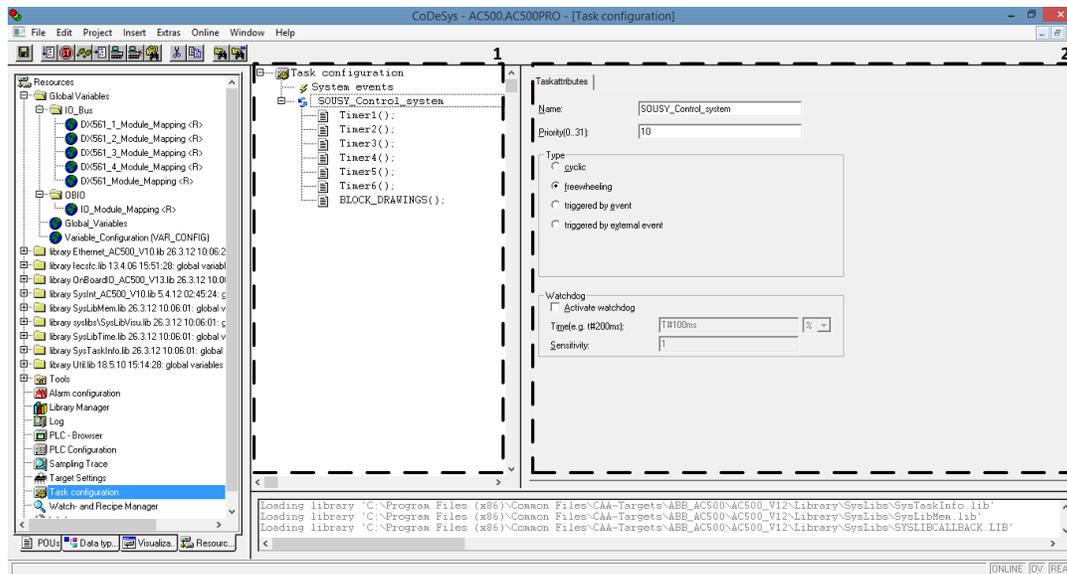


Figura 3.7: Configuración para la ejecución de tareas del programa. Las tareas son definidas y dentro de ellas se listan los programas que serán ejecutados (1) y la configuración permite definir parámetros como el tipo, nombre, entre otros (2).

3.3.3. Programa de alarmas

Dentro de las alarmas del sistema se definió una sola clase, denominada “Alarma sensor”, en la que se configuraron los parámetros para que pueda ser almacenada en un archivo por cada circuito principal de cada etapa del transmisor. Por otro lado, los grupos de alarmas han sido organizados en cuatro carpetas: tres para cada etapa del transmisor y una para errores generales. Se definió un grupo de alarmas para cada circuito principal de las etapas del transmisor, con mensajes que pueden ser mostrados en tablas (detalladas más adelante en la sección de visualización) y que orientan al usuario sobre la ubicación de las señales que produjeron el error. Las alarmas pueden activarse cuando ocurre algún error durante el encendido o en el funcionamiento del transmisor. Durante el encendido, al verificar si se activa una alarma, se tiene en consideración que esta corresponda a parte del transmisor a la que el programa de encendido ha llegado, para evitar que se generen falsas alarmas (ver Figura 3.9).



Figura 3.9: Diagrama de flujo del programa de alarmas.

3.3.4. Visualización del sistema

La visualización es una representación gráfica de las variables del programa que permite manejar las entradas del programa del PLC usando el mouse o teclado de una computadora. El editor gráfico permite que elementos (como botones, cuadros de texto, indicadores, entre otros)

sean organizados y conectados con las variables del programa según convenga. Las propiedades de dichos elementos pueden modificarse accediendo a un cuadro de diálogo que permite asignarles características iniciales, asignar un comportamiento relacionado a las variables del programa, entre otros.

La visualización puede configurarse desde una de las pestañas del entorno y esta puede ser organizada usando carpetas y subcarpetas, tal y como sucede con los programas de control. Para este caso, la visualización ha sido dividida y organizada en cuatro carpetas: bienvenida, principal, estados y errores (ver Figura 3.10). Las carpetas “bienvenida” y “principal” agrupan una sola pantalla de visualización cada una, mientras que la carpeta “estados” agrupa una pantalla de visualización por etapa del transmisor. Finalmente, la carpeta “errores” contiene cuatro subcarpetas (una por cada etapa del transmisor y una de errores generales), las cuales contienen una pantalla de visualización por cada circuito principal de cada una de las etapas del transmisor.

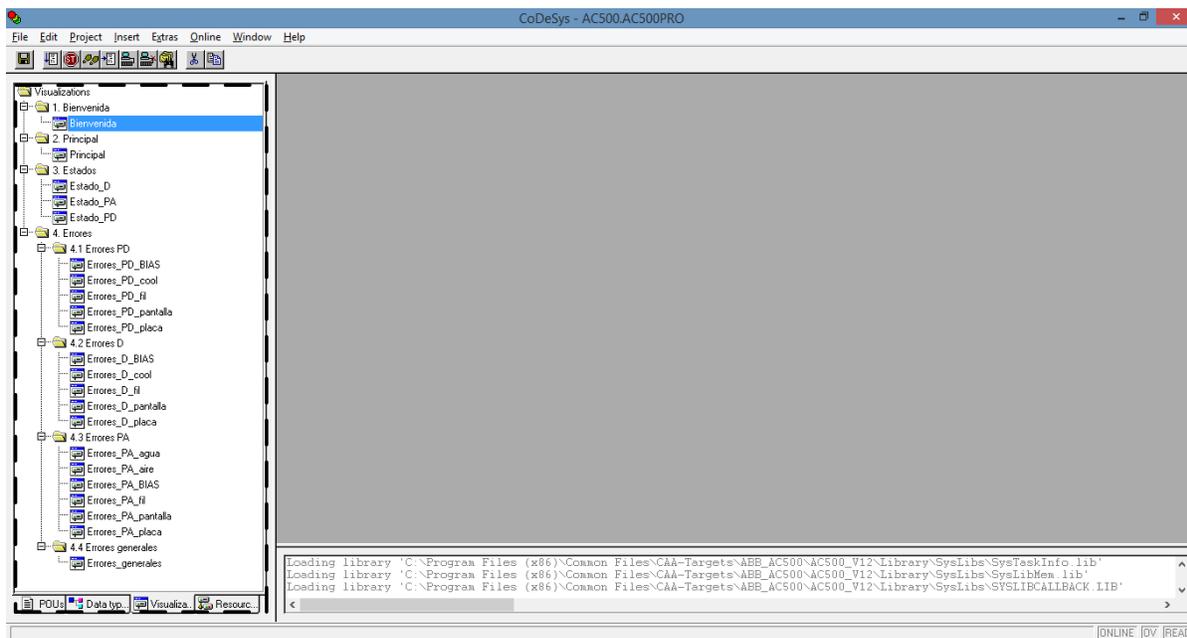


Figura 3.10: En líneas punteadas se encuentra encerrada la estructura que agrupa las pantallas de visualización del funcionamiento del sistema.

La interacción entre el sistema (a través de la visualización) y el usuario, comprende los siguientes pasos:

- La pantalla de bienvenida (ver Figura 3.11) permite seleccionar qué etapas del transmisor se usarán. Una vez que estas se hayan seleccionado haciendo click en el botón correspondiente, pulsando el botón siguiente, se accede a la pantalla principal.



Figura 3.11: Las etapas del transmisor tienen un indicador que cambiará a color rojo si la etapa es seleccionada. Al elegir las etapas Driver o PA, necesariamente las etapas previas también se activarán.

- La pantalla principal (ver Figura 3.12) cuenta con una representación gráfica del transmisor y con botones que permiten manejar el sistema. Las etapas seleccionadas en la pantalla de bienvenida permanecerán de color azul, mientras que las que no fueron seleccionadas cambiarán a color plomo. Presionando el botón "Start" se da inicio al sistema, y en caso no se detecten errores durante el encendido, los indicadores visuales etiquetados como "Temporizador" del 1 al 6 y las etapas seleccionadas cambiarán de color a verde. El botón "Stop" permite detener la ejecución del programa y apagar todas las salidas del controlador en cualquier momento. El botón de "Permiso de RF" permite que la señal de radiofrecuencia entre al transmisor para que esta sea amplificada. Si un error ocurre durante el proceso de encendido, el sistema se detendrá automáticamente y se desactivarán todas las salidas. En la visualización, las etapas del transmisor en las que se haya detectado algún error cambiarán a color rojo. Luego, haciendo click en el botón "Estado" de la etapa correspondiente, se podrá tener más detalle sobre la falla (a qué circuito corresponde). En el caso de los errores generales, el indicador visual del botón "Errores generales" cambiará a color rojo y el detalle del error podrá ser accedido presionando dicho botón.

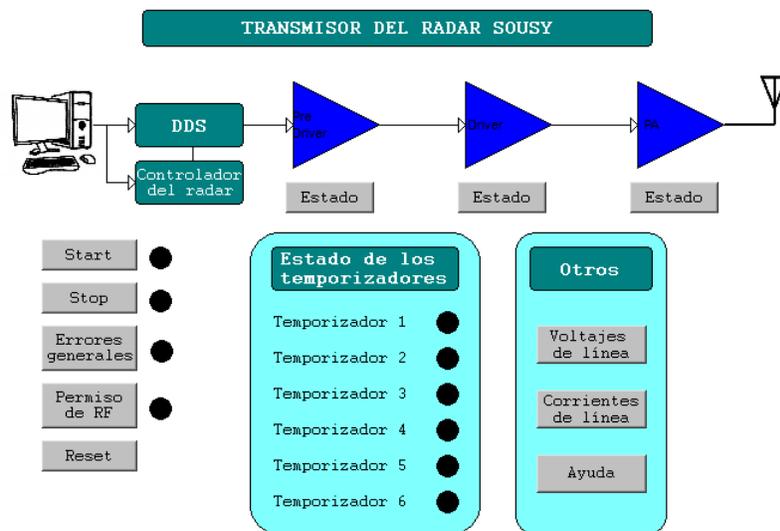


Figura 3.12: En la pantalla principal de la visualización están representadas las tres etapas del transmisor y es posible acceder al estado de cada una de ellas haciendo click al botón correspondiente.

- La pantalla de errores (ver Figura 3.13) de las etapas del transmisor tiene un listado de los principales circuitos de cada uno de ellos: circuito de enfriamiento (aire y/o agua), circuito de filamento, circuito de grilla, circuito de placa y circuito de pantalla. En dicho listado, cada circuito tiene un indicador visual con tres estados indicados con tres colores posibles: negro, que quiere decir que el sistema aún no ha llegado a dicha etapa y no se tiene información sobre el circuito; verde, quiere decir que las señales del circuito funcionan correctamente o rojo, que evidencia que un error ocurrió con alguna de las señales del circuito. Para el último caso, al hacer click en el botón “Detalle”, se accederá a otra pantalla con más especificaciones sobre el error.



Figura 3.13: La lista de circuitos depende es muy similar para todas las etapas del transmisor, con excepción del PA, el cual tiene circuitos de enfriamiento por aire y por agua.

- La pantalla de estados (ver Figura 3.14) permite al usuario conocer más detalles del error ocurrido, como el módulo y circuito del transmisor al que corresponde. El mensaje indica de qué señal provino el error y además, es almacenado en una carpeta que contiene un historial de archivos de funcionamiento generados cada vez que el programa se ejecuta.



Figura 3.14: El detalle de los errores mostrará un mensaje en el que se incluirá el módulo y el circuito al que pertenece, así como la fecha y hora del incidente.

En este capítulo se definieron los requerimientos para el nuevo sistema y se presentó el diseño propuesto, incluyendo un diagrama de bloques. Luego, se listaron las alternativas de hardware para cada uno de los bloques. De dichas alternativas, se escogió la alternativa de ABB de acuerdo a los criterios mencionados. Finalmente, se pasó explicar detalles acerca del entorno de desarrollo CoDeSys y la implementación en sí.

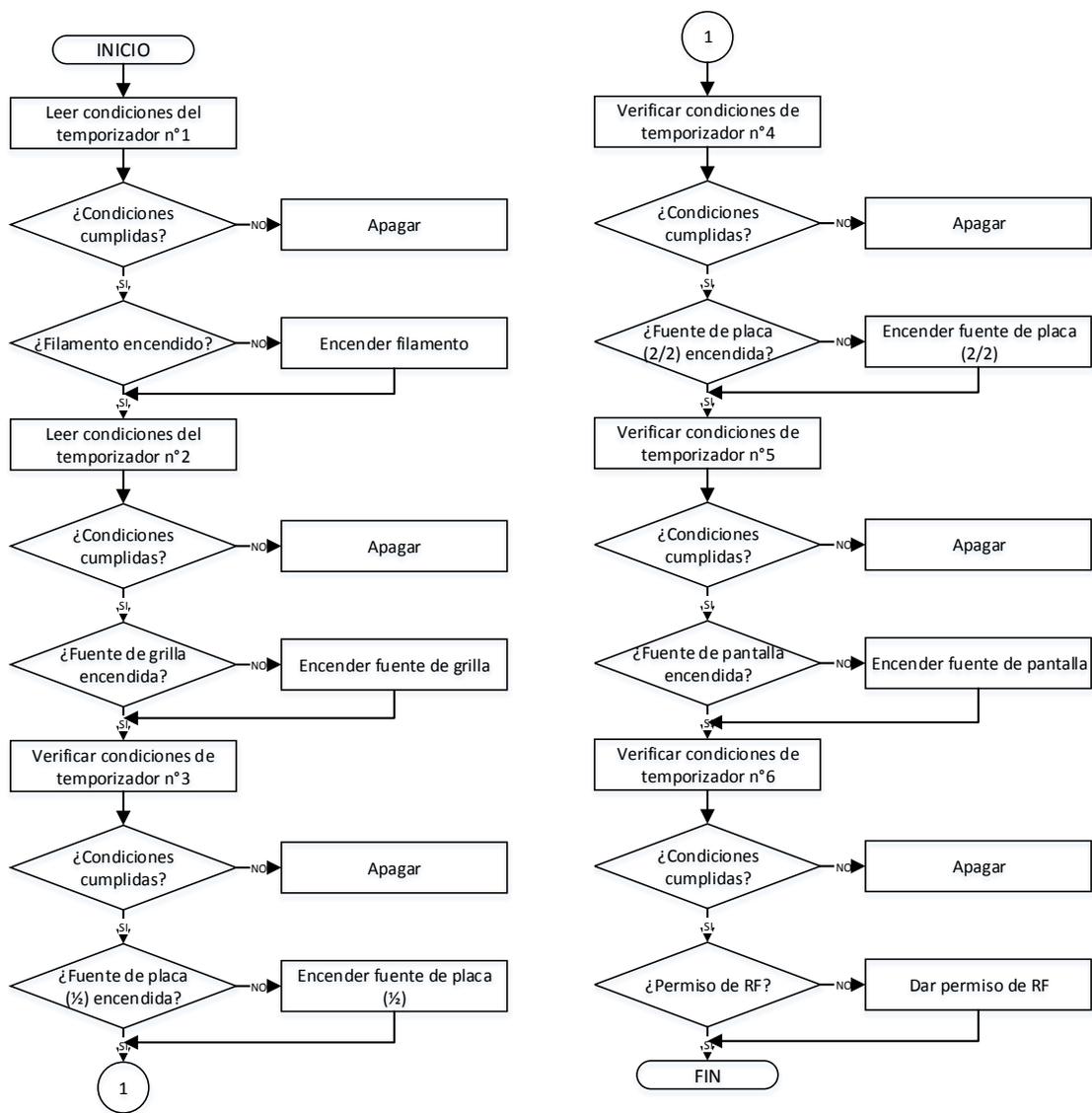


Figura 3.8: Diagrama de flujo del programa de control.

Capítulo 4

Resultados

A pesar de su implementación, el sistema no pudo ser probado porque factores externos no lo permitieron, tales como fallas en el transmisor o del grupo electrógeno que lo alimenta (sistema de enfriamiento y recalentamiento del generador). Sin embargo, la solución pudo ser probada mediante simulaciones obteniendo resultados satisfactorios. Además, el sistema se encuentra implementado e instalado (ver Figura 4.1), lo cual permite que las pruebas de campo puedan realizarse después de que dichos problemas se hayan superado y un protocolo de pruebas sea puesto en práctica.

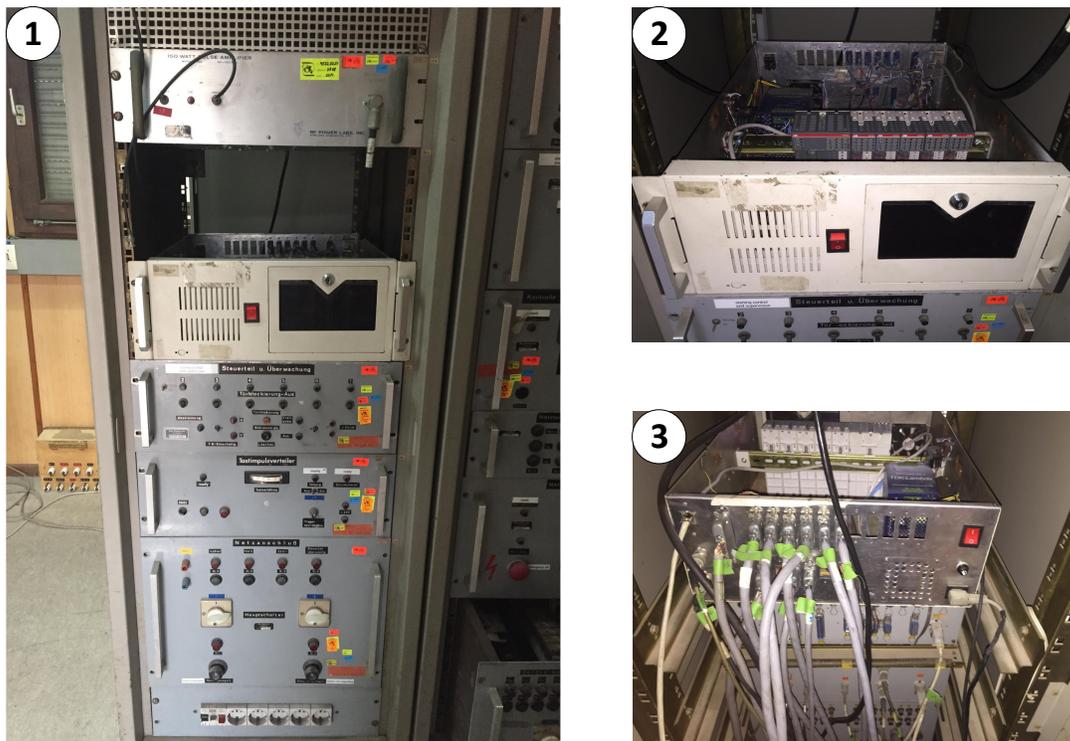


Figura 4.1: El sistema de automatización instalado: (1) Vista de la instalación en el primer rack del transmisor, (2) Vista frontal del sistema instalado y (3) Vista trasera de las señales conectadas al sistema.

4.1. Casos de estudio

La ejecución del programa de control se puede realizar de dos maneras: en el equipo (PLC) o accediendo al modo simulación en la computadora donde fue implementado. Dicho modo permite forzar los valores de las variables del programa del PLC, con lo que es posible evaluar la respuesta del programa ante diferentes situaciones que se pueden presentar durante su funcionamiento.

Para realizar las pruebas del sistema, se empleó el modo simulación del programa para ponerlo a prueba ante algunas situaciones típicas que permitan verificar su correcta respuesta. Por comodidad, todas las simulaciones fueron realizadas solo seleccionando la etapa de Pre Driver en el entorno. Las tres situaciones que se pusieron a prueba son: encendido del transmisor con entradas en valor correcto, un error ocurre mientras el transmisor está funcionando y un error ocurre durante el proceso de encendido. La evaluación de la respuesta del sistema tiene el siguiente proceso: primero, se activa el modo simulación con el programa en modo “online”, se selecciona la etapa Pre-Driver (el indicador luminoso cambiará a color rojo) en la pantalla de bienvenida y luego yendo a la pantalla principal se podrán iniciar las simulaciones. En dicha pantalla, solo la etapa de Pre-Driver estará de color azul, mientras que las etapas de Driver y PA estarán de color gris pues no han sido seleccionadas (ver Figura 4.3). Finalmente, se puede iniciar el sistema y los casos simulados son presentados a continuación.

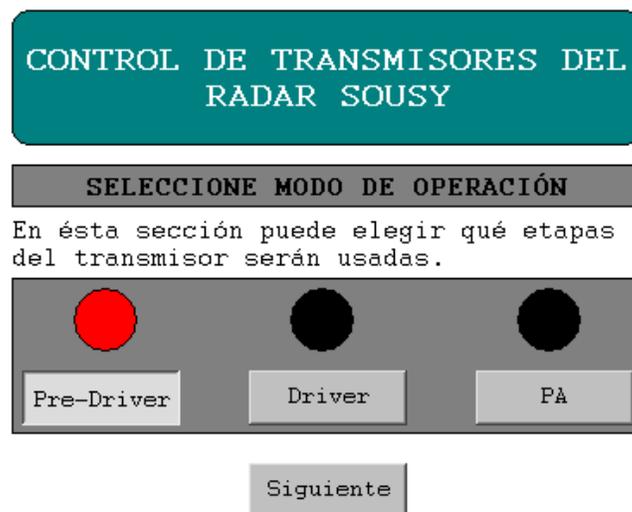


Figura 4.2: La pantalla de bienvenida que permite seleccionar qué etapas del transmisor se van a usar, en el caso de la simulación, solo la etapa Pre-Driver es seleccionada y el indicador cambia a color rojo.

4.1.1. Caso 1

En este caso, todas las entradas fueron forzadas como correctas (dentro de la sección de programación, haciendo doble click de la entrada correspondiente se puede forzar su valor). Luego, la secuencia es iniciada presionando el botón “Start”. Ya que todas las entradas fueron forzadas a su valor correcto, los indicadores visuales denominados “Temporizador” (del 1 al 6) y el bloque de Pre Driver están de color verde (ver Figura 4.4), lo que quiere decir que todo está funcionando bien.

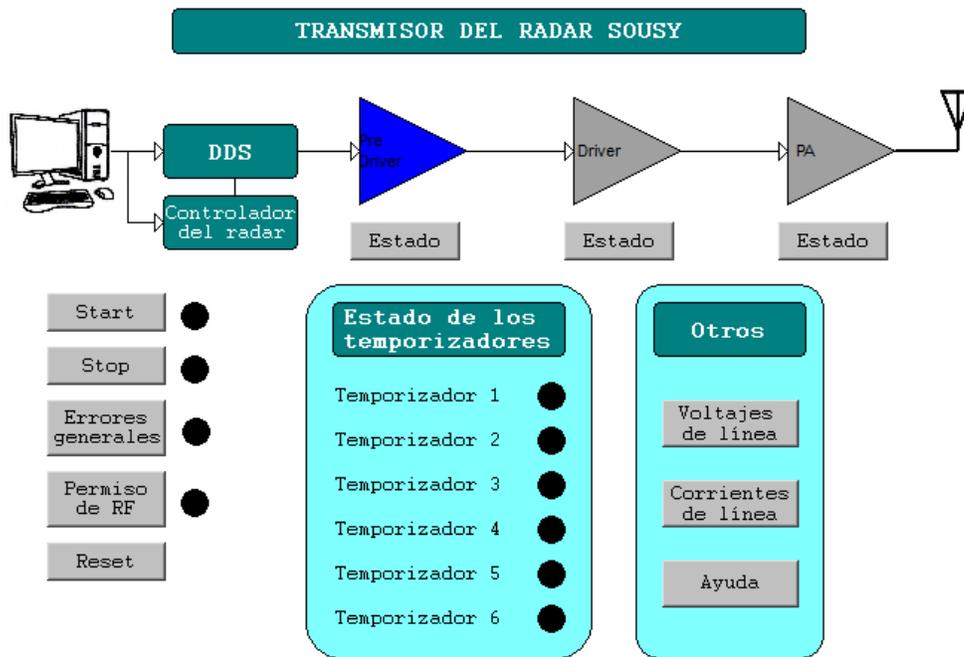


Figura 4.3: Las etapas del transmisor son representadas en color azul si estas fueron seleccionadas y en color plomo en caso contrario. Inicialmente todos los indicadores visuales se encuentran apagados.

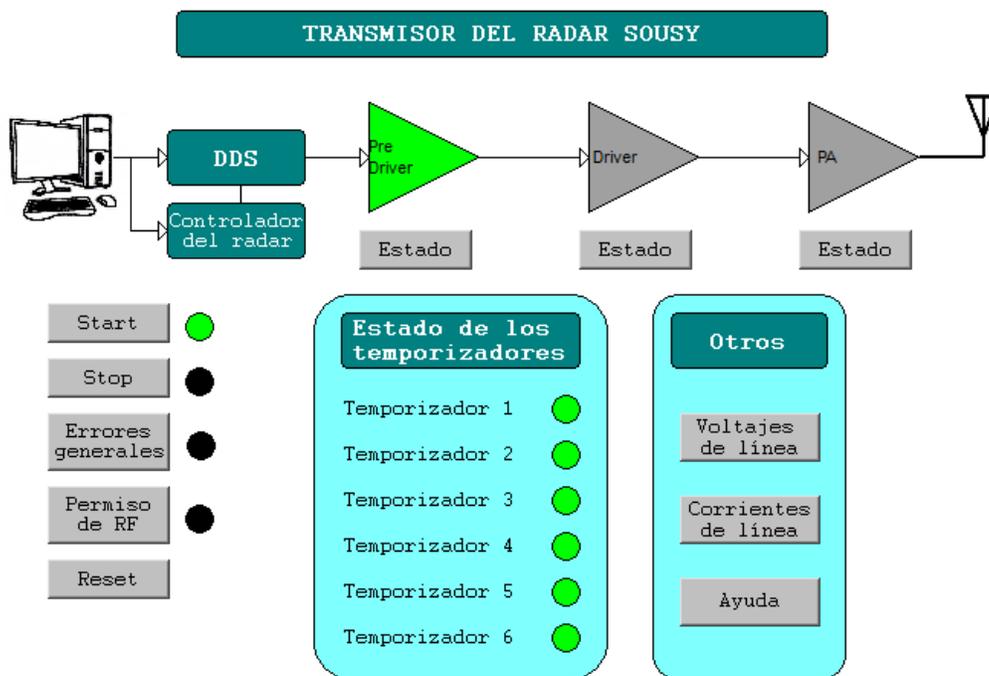


Figura 4.4: Si el transmisor enciende correctamente, los indicadores visuales correspondientes a los 6 temporizadores y a las etapas seleccionadas cambiarán a color verde.

4.1.2. Caso 2

Para este caso de simulación, un error ocurre con el transmisor está funcionando, para lo que se cambiará el estado de ciertas variables de entrada del PLC. La variable de entrada “DM5_I7” (ver Figura 4.5) es forzada a un estado incorrecto, que en otras palabras, indica un error. Sin embargo, dentro del hardware del transmisor, dicha variable está ligada a una variable de salida que va a otro circuito, que a su vez maneja otras dos variables de entrada de la secuencia de encendido, las cuales se desactivarían a consecuencia de la primera si se tratara del hardware del transmisor. Por dicho motivo, también es necesario forzar dichas variables a su valor incorrecto durante la simulación (ver Figura 4.6). El error provocará que se apaguen los indicadores “Temporizador” y las etapas del transmisor que hayan fallado cambiarán a color rojo (ver Figura 4.7). Dando click al botón “Estado” se puede acceder a la pantalla con el estado de los circuitos principales de la etapa correspondiente. En este caso, los errores corresponden a los circuitos de filamento y grilla (ver Figura 4.8), cuyos indicadores cambian a color rojo, mientras que para los circuitos que no tuvieron errores el indicador permanece de color verde. Dando click al botón “Detalle” del circuito de filamento, se da una descripción más específica del error (ver Figura 4.9): el mensaje indica entre paréntesis el módulo al que pertenece, el conector al que corresponde y la enumeración de la señal correspondiente al mismo; así como la fecha y la hora de la falla. Además, estos detalles son almacenados en un archivo de registro ubicado en la computadora de supervisión.

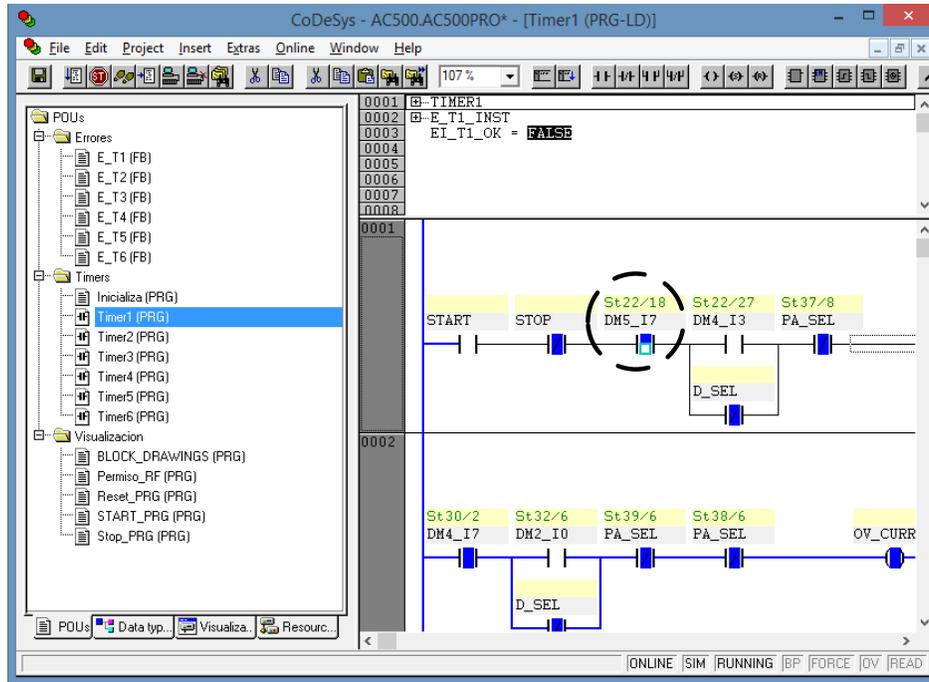


Figura 4.5: El error de una variable de la entrada “DM5_I7” se puede simular con solo hacer doble click sobre la misma para desactivarla.

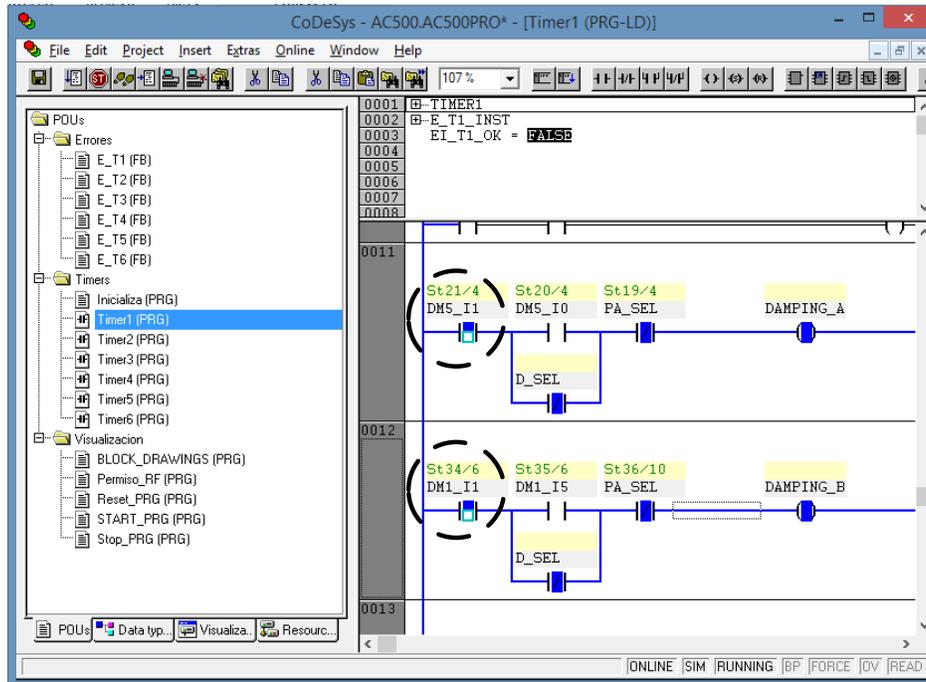


Figura 4.6: El error de la entrada “DM5_I7” ocasiona que las entradas “DM5_I1” y “DM1_I1” también se desactiven.

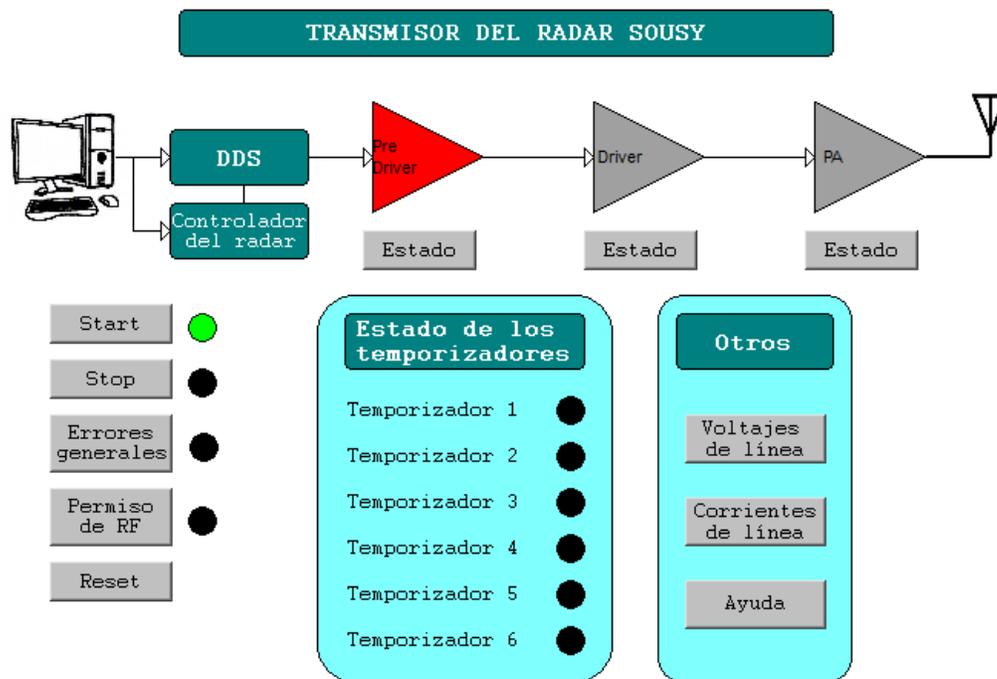


Figura 4.7: Una vez que el error ocurre, el sistema responde desactivando las salidas del sistema y notificando a través de la visualización al usuario.

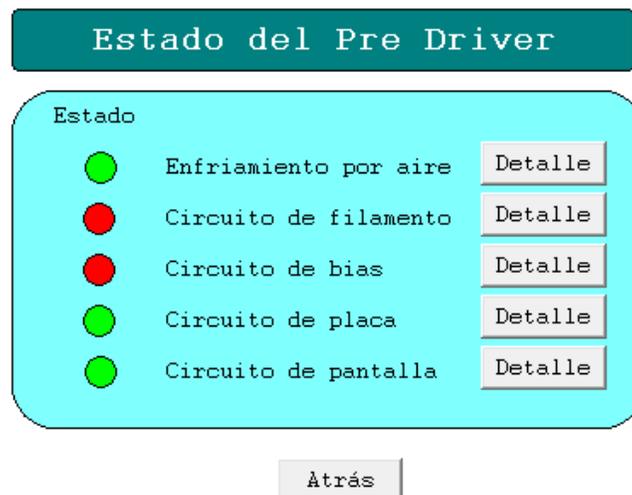


Figura 4.8: El estado de los circuitos de la etapa Pre Driver. En este caso, las entradas que fueron forzadas se interpretan como una falla en los circuitos de filamento y de grilla.

Pre Driver: errores de filamento

	Message	Date	Time
0	St34/6 (3) Alimentación del filamento.	14-06-2015	23:08:47
1	St21/4 (3) Alimentación amortiguada del filamento.	14-06-2015	23:08:47

Figura 4.9: Para el circuito de filamento se registr el detalle de los errores correspondientes, así como la fecha y hora del incidente.

4.1.3. Caso 3

En el último caso, el error se da durante el encendido del transmisor, por lo que no todas las entradas son forzadas a su valor correcto antes de arrancar el sistema. Nuevamente se seleccionaron las mismas entradas que en el caso anterior, es decir, la entrada de valor incorrecto pertenece al circuito de enfriamiento por aire y arrastra dos errores en el circuito de filamento. Con dichas condiciones iniciales, el estado de las variables omitidas se refleja en la pantalla principal de manera similar que en el caso anterior (ver Figura 4.7) y al hacer click en el botón de “Estado”, se puede observar en qué circuitos hubo un error (ver Figura 4.10) y el detalle de los mismos (ver Figura 4.11).

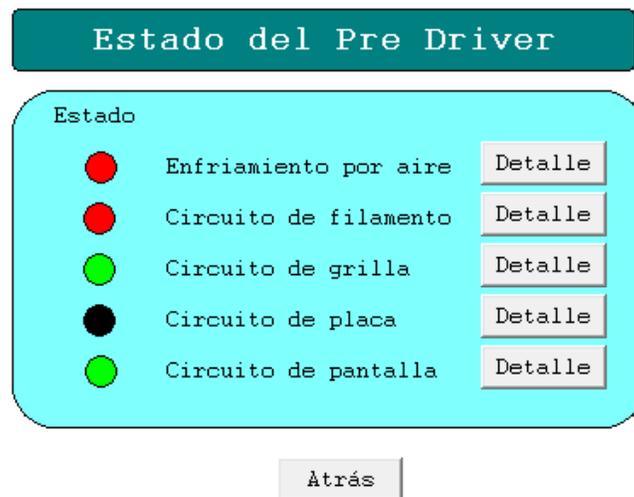


Figura 4.10: El error ocurre en el circuito de enfriamiento por aire acarrea el error en el circuito de filamento. Los circuitos en color verde tienen las entradas en estado correcto, mientras que para el circuito de placa aún no se tiene información, pues la secuencia de encendido aún no ha llegado al mismo.

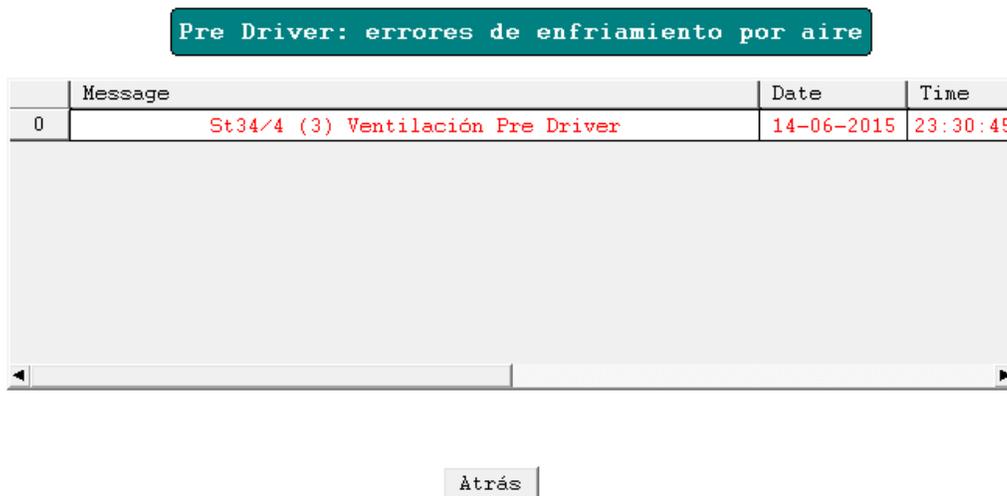


Figura 4.11: De manera similar al caso anterior, el detalle del error muestra a qué módulo corresponde, qué número de conector y número de señal del mismo.

4.2. Comentarios sobre los casos de estudio

El usuario tiene la facultad de seleccionar qué etapas del transmisor desea utilizar mediante la pantalla de bienvenida de visualización. La interfaz desarrollada le permite iniciar el sistema de manera amigable y remota. De dicha manera, si se detecta algún error, el sistema responde automáticamente desactivando las salidas de control y generando las alarmas respectivas (animaciones en la visualización). El sistema permite que el usuario acceda a ver el estado de los principales circuitos de las etapas seleccionadas en el transmisor. El detalle de dichos circuitos permite al usuario localizar rápidamente un error, en comparación de lo que tardaría en identificarlos y buscarlos de la manera tradicional. Además, los errores se registran en archivos que son generados cada vez que se enciende el transmisor, lo cual permite evaluar mejor su desempeño y qué partes son las que fallan con mayor frecuencia. Así mismo, el usuario podrá dar permiso para que la señal de RF ingrese al transmisor, detener el sistema y/o reiniciarlo cuando sea necesario, todo ello a través del entorno de visualización amigable desarrollado. Si el usuario requiere asistencia para el funcionamiento del sistema, el entorno también incluye un botón de ayuda.

4.3. Presupuesto

En el Cuadro 4.1 se muestra detalladamente el listado de componentes usados en el proyecto, junto con los precios y cantidades de cada uno.

Cuadro 4.1: Análisis económico del desarrollo

Artículo	Cantidad	Costo (US\$)
AC500, Starter Kit con CPU PM554-T-ETH (marca ABB)	1 unidad	700.00
Módulo digital 8DI/8DO modelo DX561 (marca ABB)	5 unidades	935.00
Terminal de 9 polos para puertos de PLC modelo L444 (marca ABB)	7 unidades	49.00
Terminal de 11 polos para puertos de PLC modelo TA563-11 (marca ABB)	7 unidades	56.00
Fuente conmutada 24 V/10 A (marca Lambda)	1 unidad	121.60
Conector tipo Centronix de 24 puntos de conexión (marca Amphenol)	6 unidades	43.68
Riel DIN	3 m	4.00
Cable multifilar calibre 20 AWG	30 m	15.00
Cable multifilar calibre 18 AWG	3 m	2.00
Fusible 5 A con portafusible	1 unidad	1.00
Filtro de línea para chasis	1 unidad	1.00
Conector hembra RJ45 (ethernet)	1 unidad	1.00
Interruptor de alimentación con luz de neón	1 unidad	0.30
Regulador de voltaje de 12 V (LM7812)	1 unidad	0.50
Condensador cerámico de 0.1 F	2 unidades	0.05
Bornera de 2 posiciones	2 unidades	0.30
Baquelita de una sola capa	5 cm × 5 cm	1.50
Chasis con dos ventiladores	1 unidad	0.00
Computadora portátil con sistema operativo Windows	1 unidad	530.00
Cable de energía para (5 m)	1 unidad	6.00
Plancha de aluminio	1 m × 1 m	9.00
Sueldo de tesista	18 meses	4090.91
Sueldo de técnico (20% de tiempo)	18 meses	1636.36
TOTAL		8204.10

En este capítulo se presentaron los resultados de simulación del sistema para 3 casos de estudio en particular. Para cada uno de ellos, se describieron los parámetros de simulación y se muestran los resultados gráficamente. Finalmente, se presenta un análisis económico del proyecto desarrollado.

Conclusiones

- El sistema implementado permite el control de la secuencia de encendido respetando las condiciones con las que se encontraba implementado el sistema original y permite la supervisión de funcionamiento del mismo a través de un entorno amigable al usuario.
- El encendido modular del transmisor permite que el radar pueda funcionar a menores potencias, ya sea porque así lo requiere en un experimento, para probar las etapas individualmente o por si se necesita usar el radar a pesar de que alguna de las etapas no se encuentra disponible en ese momento.
- El entorno de supervisión facilita al usuario el manejo del sistema, en particular, en la detección de fallas. El usuario es notificado a través de una alarma sobre la ubicación dentro de los circuitos de la falla y además facilita el conocimiento en todo momento el estado del transmisor por medio de las pantallas de visualización. Esto lo convierte en una herramienta que permite simplificar el mantenimiento correctivo del sistema.
- El desarrollo del sistema de control se realizó a medida trabajando junto con los usuarios finales, lo que permitió que se definiera su comportamiento frente a fallas y la forma de implementar el entorno de visualización.

Recomendaciones

- Un sistema de control con lógica cableada tiene como dificultad adaptar las señales de control con las que cuenta, pues estas no necesariamente son compatibles con los dispositivos de control moderno. Por ello, lo primero que se debería hacer es determinar con el usuarios si se requiere un sistema de control completamente nuevo o si solo se va a adaptar al original, teniendolo de respaldo durante un periodo inicial de pruebas.
- El levantamiento de circuitos de mando de una secuencia lógica de control de un sistema con el que uno no se encuentra familiarizado puede resultar una tarea confusa, por lo que es importante contar con el apoyo de personal con mayor experiencia en el uso del mismo, lo que facilita y ayuda a corregir errores de interpretación de la lógica.
- Si bien los PLC son dispositivos flexibles (permiten modificar los puertos de entrada de manera simple), es importante contar con un listado de las señales debidamente identificadas. Cambiar una señal por otra en la configuración implica que también deba cambiarse en la secuencia de control, lo que origina retrasos y confusión durante la implementación. Por ejemplo, un sistema confiable de organización es contar con una tabla de señales ennumeradas y cables que sigan un código de colores.
- Al entrar a la etapa de pruebas del sistema, se debe coordinar con el personal a cargo de los equipos a fin de evitar percances que las retrasen. De mayor importancia aun, es contar con un protocolo de pruebas que proteja al equipo ante posibles errores del sistema implementado, un plan de emergencia y la constante supervisión de los usuarios con más experiencia en el uso del equipo.

Bibliografía

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to radar systems*. McGraw-Hill book company, 2001.
- [2] R. M. O'Donnell, "Introduction to Radar Systems," MIT Lincoln Laboratory, Tech. Rep., 2002, disponible en línea en: <http://www.ll.mit.edu/workshops/education/videocourses/intro radar/index.html>.
- [3] R.F. Woodman, O. Castillo, G. Micchue, P. Reyes and S. Villegas, "SOUSY radar at Jicamarca: system description and first observations," in *Extended Abstracts: 10th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Piura, Peru*, 2003, disponible en línea en: http://jro.igp.gob.pe/mst10/CD/ExtAbs/Session5/I5_518.pdf.
- [4] N. Instruments, "What is Data Acquisition?" disponible en línea en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>.
- [5] CODESYS, "The System: General overview," disponible en línea en: <http://www.codesys.com/the-system.html>.
- [6] G. Micchue and R. Woodman, "Development of a digital receiver for the Jicamarca Observatory radars," in *Extended Abstracts: 10th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Piura, Peru*, 2003, disponible en línea en: http://jro.igp.gob.pe/mst10/CD/ExtAbs/Session5/I5_506.pdf.
- [7] D. E. Scipión, D. A. Lawrence, R. F. Woodman, D. A. Lume, M. A. Milla, and B. B. Balsley, "Simultaneous observations of structure function of refractive index using a high resolution radar and the DataHawk small airborne measurement system," in *Ann. Geophy*, 2015, bajo revisión.
- [8] D. Scipión, "Characterization of the convective boundary layer through a combination of Large-Eddy simulations and a radar simulator," Ph.D. dissertation, University of Oklahoma, 2011.
- [9] R. Woodman, "MST and ST radars and wind profilers," in *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 2002.
- [10] M. Systems, "Echotek Series ECV4-4 Four-Channel, Wideband, Virtex-4-based digital receivers," disponible en línea en: https://www.mrcy.com/products/boards/echotek_ecv4_4_chan/.

- [11] N. Instruments, “What is NI USRP?” disponible en línea en: <http://www.ni.com/usrp/what-is/>.
- [12] M. Gaudreau, J. Casey, P. Brown, T. Hawkey, J. Mulvaney and M. Kempkes, “High performance, Solid-state high voltage radar modulators,” in *Pulsed Power Conference*, 2005.
- [13] M. Kempkes, T. Hawkey, J., M. Gaudreau and R. A. Philips, “W-Band transmitter upgrade for the Haystack UltraWideband Satellite Imaging Radar (HUSIR),” in *Vacuum Electronics Conference*, 2006.
- [14] M. Kempkes, K. Schrock, T. Hawkey and M. Gaudreau, “Solid state transmitter for a 2 MW Klystron),” in *Diversified Technologies*, 2011.
- [15] J. C. Espinoza, “Automatización del encendido de los transmisores principales del Radio Observatorio de Jicamarca,” 2006.
- [16] I. I. of Technology Kharagpur, “Introduction to Sequence/Logic Control and Programmable Logic Controllers.”
- [17] I. Automation, “What is SCADA?” disponible en línea en: <http://www.inductiveautomation.com/what-is-scada>.

Lista de abreviaturas

AMISR: Advanced Modular Incoherent Scatter Radar.

CPU: Central Processing Unit.

DAQ: Data Acquisition.

DC: Direct Current.

DSP: Digital Signal Processing.

FPGA: Field Programmable Gate Array.

HMI: Human Machine Interface.

HUSIR: Haystack Ultra-Wideband Satellite Imaging Radar.

IF: Intermediate Frequency.

IL: Instruction List.

JARS: Jicamarca Acquisition Radar System.

LD: Ladder Diagram.

MST: Mesosphere Stratosphere Troposphere.

PA: Power Amplifier.

PLC: Programmable Logic Controller.

PLD: Programmable Logic Device.

RADAR: Radio Detecting And Ranging.

RF: Radio Frequency.

ROJ: Radio Observatorio de Jicamarca.

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.

SOUSY: Sounding System.

ST: Structured Text.

UHF: Ultra High Frequency.

USRP: Universal Software Radio Peripheral.

VHF: Very High Frequency.

WRMDSS: Web-based Remote Monitoring and Distributed Diagnosis System.

Anexos

Anexo 1

Distribución de señales en los módulos del PLC.

DM0	
IN	OUT
0	0 St26/1 (mod 1)
1	1 St28/3 (mod 1)
2	2
3	3
4	4
5	5
6 St28/2	6
7 St28/5 (mod 1)	7

DM1	
IN	OUT
0 St34/4 (mod 3)	0
1 St34/6 (mod 3)	1
2 St34/14 (mod 3)	2
3 St34/16 (mod 3)	3
4 St35/4 (mod 4)	4
5 St35/6 (mod 4)	5
6 St35/14 (mod 4)	6
7 St35/16 (mod 4)	7

DM2	
IN	OUT
0 St32/6 (mod 2)	0
1 St32/12 (mod 2)	1
2	2
3	3
4	4
5 St33/5 (mod 2)	5
6 St33/11 (mod 2)	6
7 St33/12 (mod 2)	7

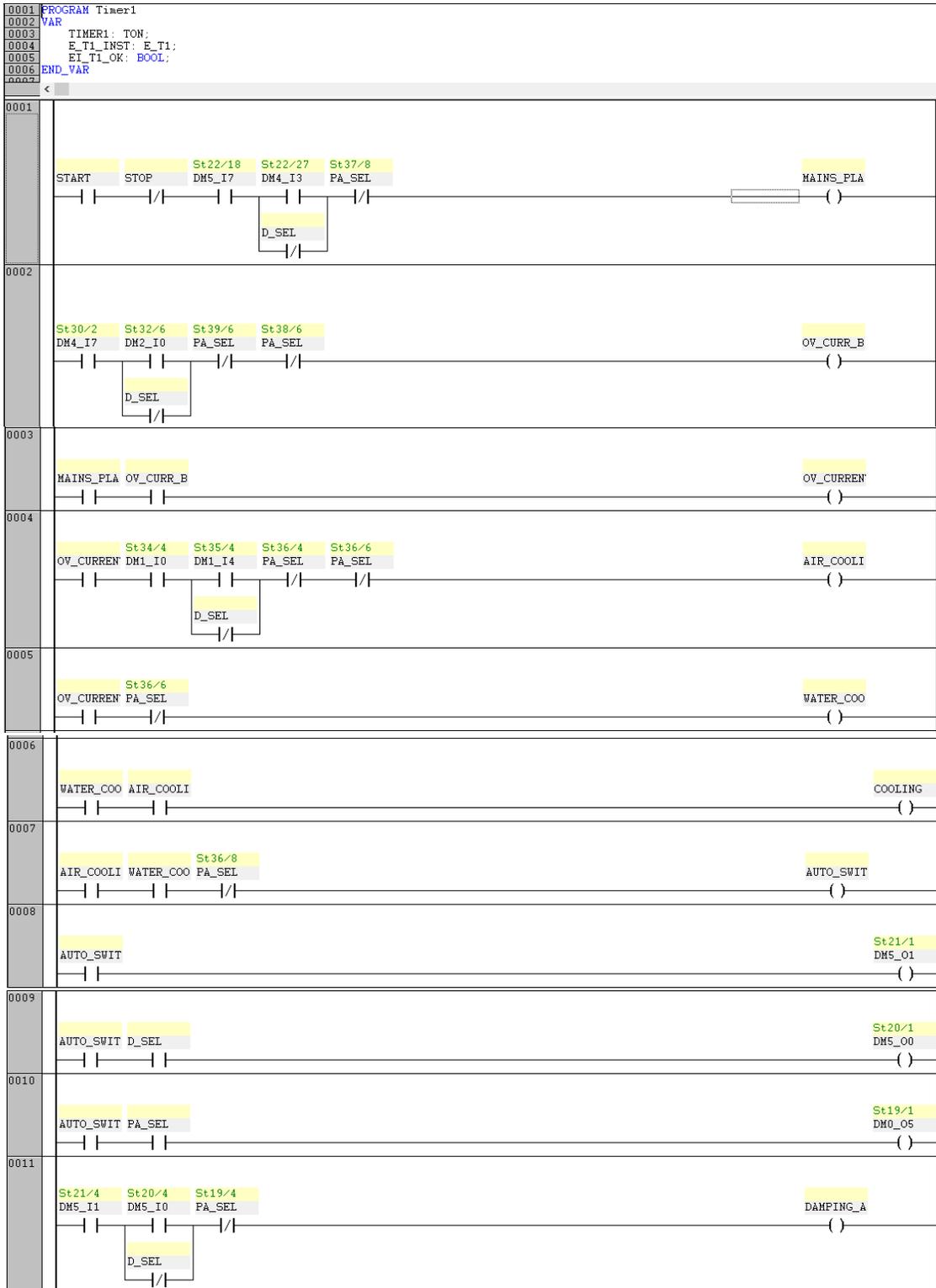
DM3	
IN	OUT
0 St30/6 (mod 2)	0 St33/1 (mod 2)
1 St30/12 (mod 2)	1 St34/11 (mod 3)
2 St30/14 (mod 2)	2 St35/11 (mod 4)
3	3
4 St31/4 (mod 2)	4
5 St31/10 (mod 2)	5
6 St32/2 (mod 2)	6
7 St32/4 (mod 2)	7

DM4	
IN	OUT
0 St22/20 (mod 2)	0 St22/41 (mod 2)
1 St22/22 (mod 2)	1 St22/45 (mod 2)
2 St22/24 (mod 2)	2 St22/47 (mod 2)
3 St22/27 (mod 2)	3 St30/3 (mod 2)
4 St22/29 (mod 2)	4 St30/17 (mod 2)
5 St22/31 (mod 2)	5 St31/1 (mod 2)
6 St22/50 (mod 2)	6 St32/10 (mod 2)
7 St30/2 (mod 2)	7 St32/19 (mod 2)

DM5	
IN	OUT
0 St20/4 (mod 4)	0 St20/1 (mod 4)
1 St21/4 (mod 3)	1 St21/1 (mod 3)
2 St22/2 (mod 2)	2 St22/3 (mod 2)
3 St22/6 (mod 2)	3 St22/7 (mod 2)
4 St22/10 (mod 2)	4 St22/11 (mod 2)
5 St22/14 (mod 2)	5 St22/32 (mod 2)
6 St22/16 (mod 2)	6 St22/35 (mod 2)
7 St22/18 (mod 2)	7 St22/38 (mod 2)

Anexo 2

Diagrama de escalera del temporizador 1:



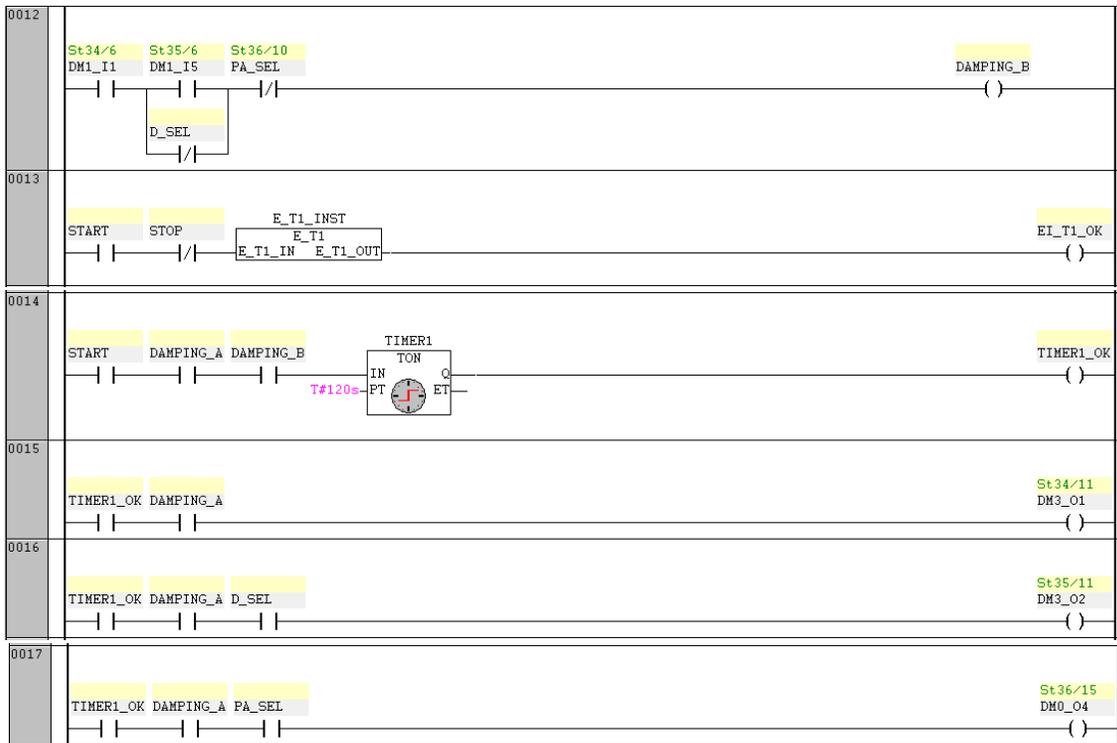
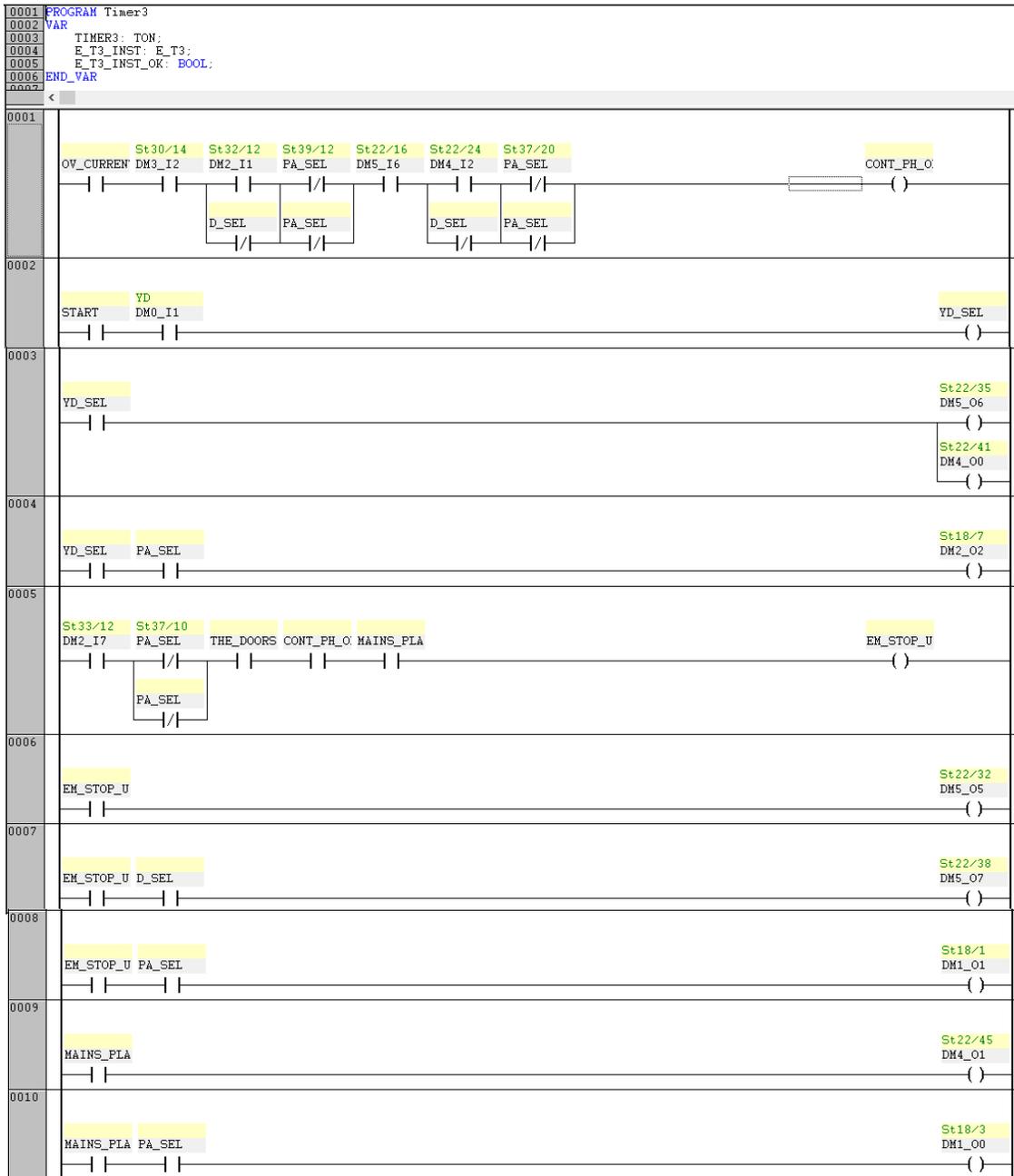


Diagrama de escalera del temporizador 3:



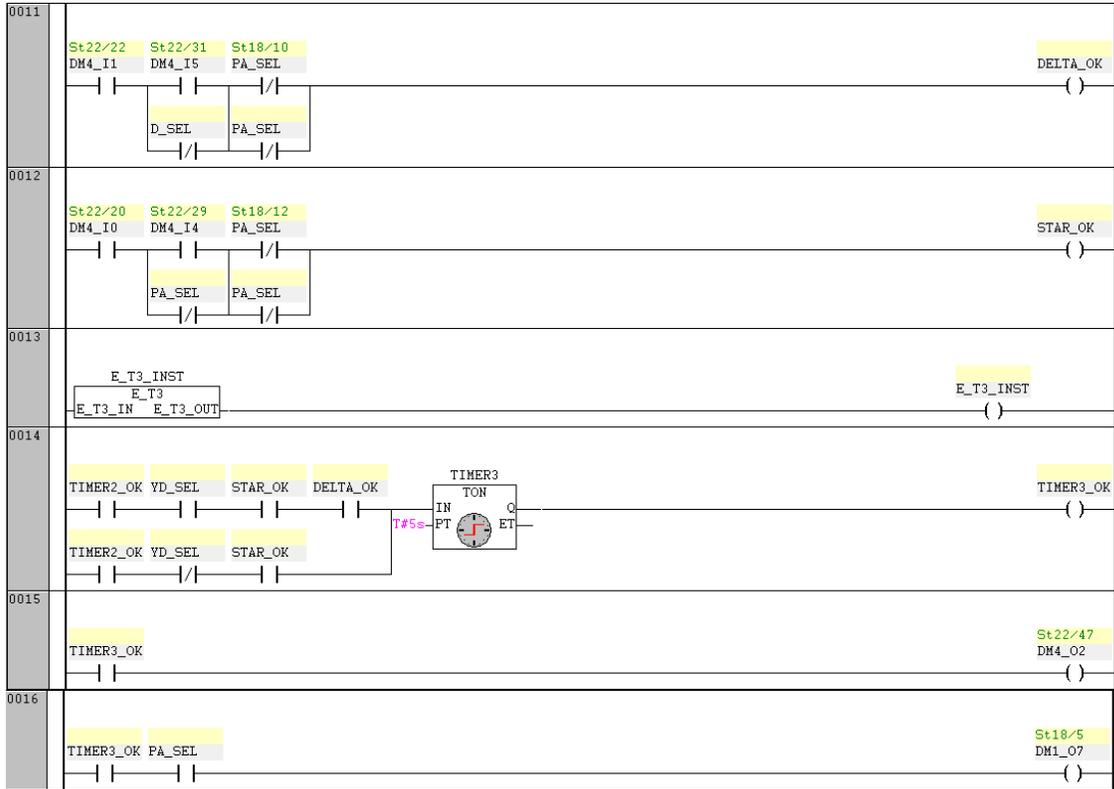


Diagrama de escalera del temporizador 4:

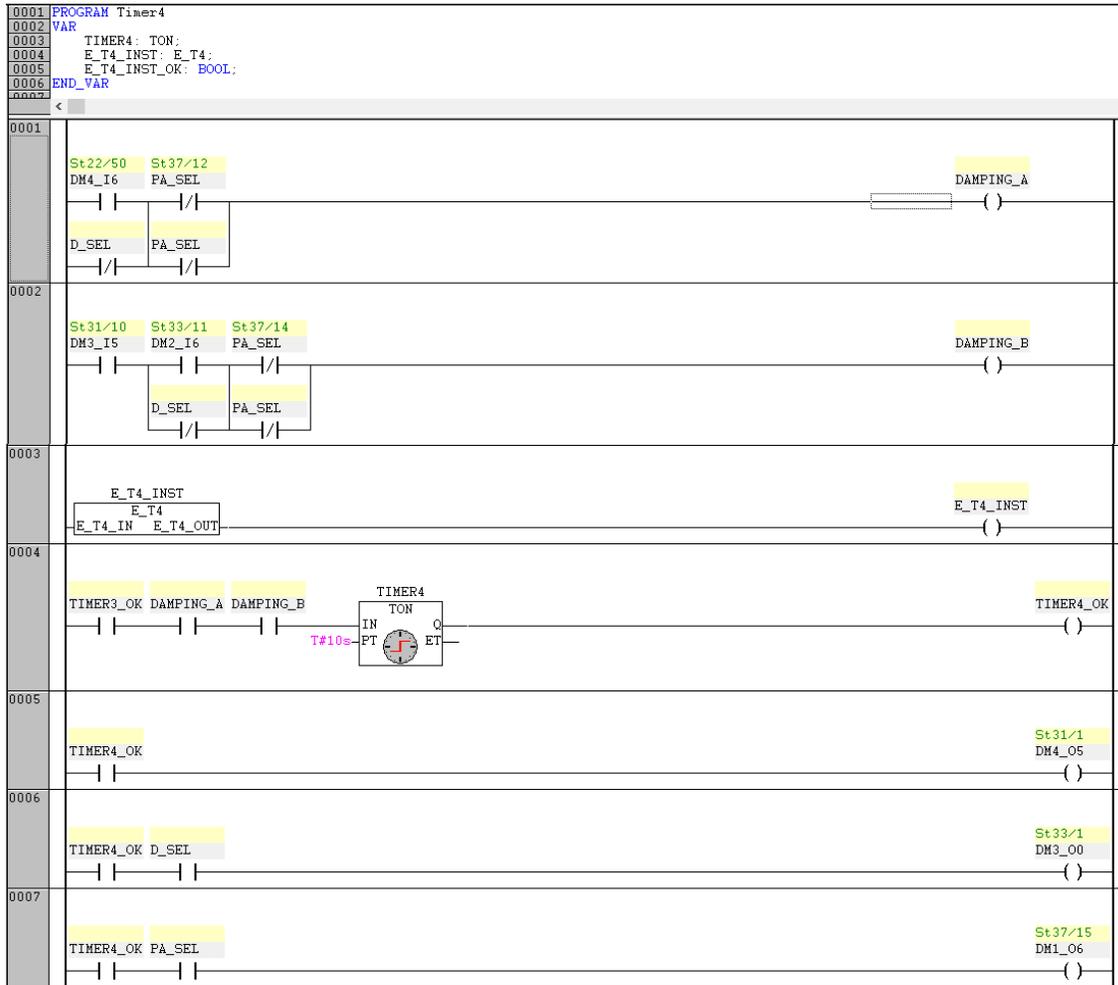


Diagrama de escalera del temporizador 5:

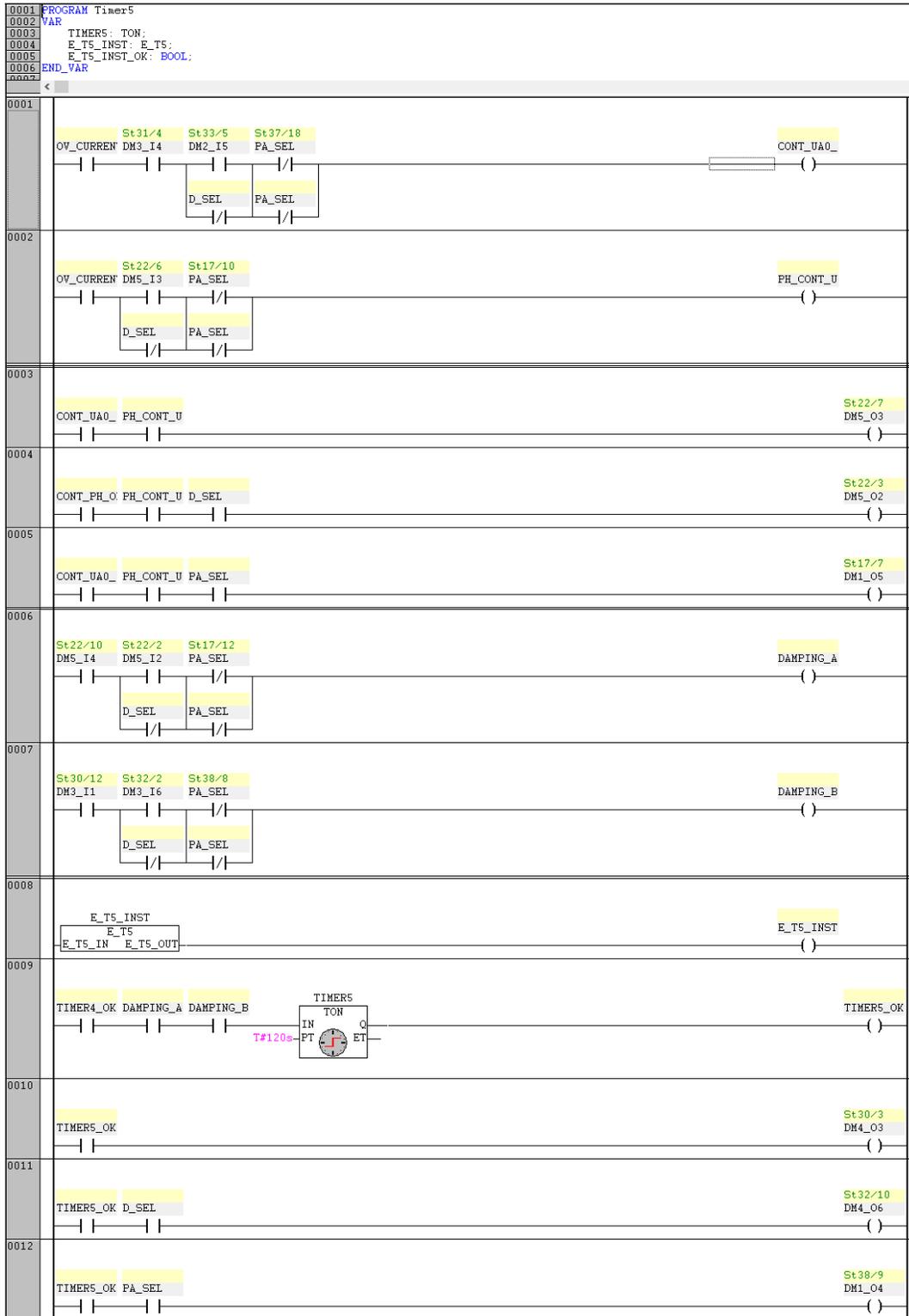
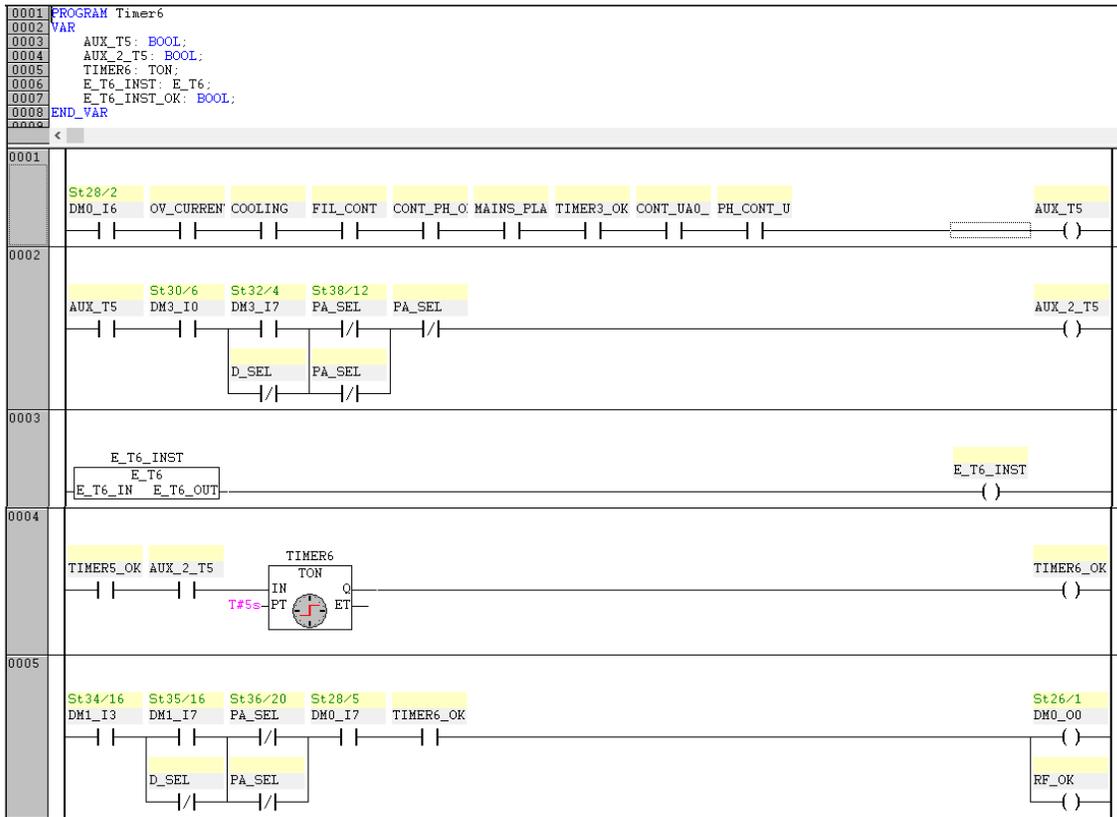


Diagrama de escalera del temporizador 6:



Anexo 3

Hoja de datos de la CPU modelo PM554T-ETH:

AC500-CPU's PM554 and PM564

- PM554: CPU with integrated digital inputs and outputs
- PM564: CPU with integrated digital and analog inputs and outputs

1	3 LEDs to display the status of the CPU
2	PM554 8 yellow LEDs to display the status of the digital input signals PM564 6 yellow LEDs to display the status of the digital input signals 2 yellow LEDs to display the status of the analog input signals
3	PM554 6 yellow LEDs to display the status of the digital output signals PM564 6 yellow LEDs to display the status of the digital output signals 1 yellow LED to display the status of the analog output signal
4	I/O-Bus for connecting additional I/O modules
5	Terminal number
6	Allocation between terminal number and signal name
7	Terminals for the input and output signals (20-pin, not removable)
8	5-pin removable connector for COM2 (optional)
9	Handle bar for opening the cover for the expansion modules
10	SD Memory Card slot (optional)
11	RUN/STOP switch
12	Ethernet interface (depending on model)
13	9-pin SUB-D- jack (COM1) for RS-485 connection
14	2 holes for wall-mounting with screws
15	5-pin removable connector for power supply (24 V DC or 100-240 V AC - depending on model)
16	DIN rail

Intended Purpose

The CPUs PM554 and PM564 are the central units (basic units) of the control system Advant Controller 500 (AC500). The main characteristics are:

- 128 kB program memory
- I/O-Bus (for expansion with max. 10 I/O devices since firmware V2.0.6, max. 7 I/O devices before firmware V2.0.6)
- COM1 (serial RS-485 interface)
- 8 digital inputs (PM554), 6 digital inputs (PM564)
- 6 digital outputs
- 2 analog inputs (PM564 only; the 2 analog inputs can be configured as digital inputs)
- 1 analog output (PM564 only)

The various CPU variants differ in the following characteristics:

- Power supply (24 V DC or 100-240 V AC)
- Type of the digital outputs (transistor or relays)
- Ethernet interface (only models with suffix -ETH)
- Analog inputs/outputs (only type PM564)

All CPU variants can be expanded by a SD Memory Card slot, a second serial RS-485 interface (COM2) and a RTC (real time clock).

Assortment

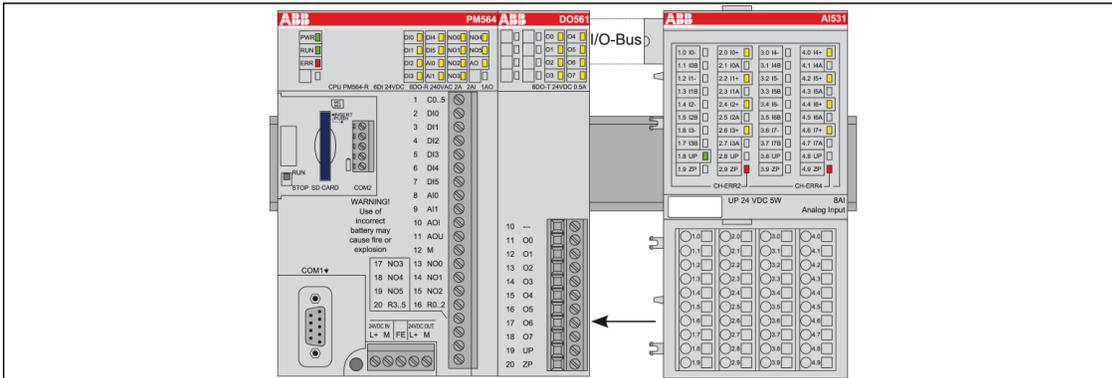
The CPUs PM554 and PM564 can be delivered in the following variants:

CPU	Program memory	Cycle time for 1000 instructions	Ethernet interface	Other interfaces	Type of digital outputs	Power supply
PM554-T	128 kB	Binary: min 0.08 ms Word: min. 0.1 ms Floating point: min. 1.2 ms	-	Serial RS-485 interface (COM1)	Transistor	24 V DC
PM554-T-ETH			x	Serial RS-485 interface (COM1)	Transistor	24 V DC
PM554-R			-	Serial RS-485 interface (COM2, optional)	Relays	24 V DC
PM554-R-AC			-	Serial RS-485 interface (COM2, optional)	Relays	100-240 V AC
PM564-T			-	I/O-Bus	Transistor	24 V DC
PM564-T-ETH			x	I/O-Bus	Transistor	24 V DC
PM564-R			-	SD Memory Card slot (optional)	Relays	24 V DC
PM564-R-ETH			x	SD Memory Card slot (optional)	Relays	24 V DC
PM564-R-AC			-	SD Memory Card slot (optional)	Relays	100-240 V AC
PM564-R-ETH-AC			x	SD Memory Card slot (optional)	Relays	100-240 V AC

Interfaces

I/O-Bus

The CPUs PM554 and PM564 can operate up to 10 S500 I/O Modules (since firmware V2.0.6. Before firmware V2.0.6, only 7 S500 I/O Modules are possible). The electrical connection of the I/O-Bus is performed automatically by telescoping the modules on the DIN rail (see illustration).



Serial interface COM1

The serial non-isolated COM1 interfaces provides communication via RS-485 and is carried out as a 9-pin Sub-D jack. The COM1 interface can be used

- for online connection with the PS501 Control Builder Software (via a RS-485 programming cable. e. g. [TK503](#))
- as Modbus RTU (master and slave)
- for ASCII serial protocols
- as CS31 system bus (master only).

NOTE COM1 does **not** support communication via RS-232. The programming cable TK501 cannot be used.

The pin assignment of the serial interface COM1:

	1	FE	Functional earth
	2	SGND	0 V power supply, internally connected to M terminal
	3	RxD/TxD-P	Receive/Transmit positive
	4	Reserved	Reserved, not connected
	5	SGND	0 V power supply, internally connected to M terminal
	6	+3.3 V	3.3 V power supply
	7	Reserved	Reserved, not connected
	8	RxD/TxD-N	Receive/Transmit negative
	9	Reserved	Reserved, not connected
	Shield	Cable shield	Functional earth

NOTE The Serial RS485 Interface is **not** electrically isolated.

Additional information for wiring the COM1 interface can be found in the chapters [Serial Interface COM1 \(PM55x, PM56x\)](#) and [CS31 System Bus \(PM55x, PM56x\)](#).

Serial interface COM2 (optional)

The optional serial COM2 interfaces provides communication via RS-485 and is carried out as a 5-pin removable terminal with screw connection. The COM2 interface can be used

- for online connection with the PS501 Control Builder Software (via a RS-485 programming cable. e. g. [TK504](#))
- as Modbus RTU (master and slave)
- for ASCII serial protocols

NOTE The Serial RS-485 Interface is **not** electrically isolated.

NOTE Communication via CS31 bus is **not** possible.

Additional information for installing the accessory modules can be found in the chapters [TA562-RS Serial RS-485 Adaptor](#) and [TA562-RTC RS Real-time Clock and Serial RS-485 Adaptor](#).

The pin assignment of the serial interface COM2:

1		1	Terminator P
2		2	TxD/RxD-P
3		3	TxD/RxD-N
4		4	Terminator N
5		5	Functional earth

Additional information for wiring the COM2 interface can be found in the chapter [Serial Interface COM2 \(PM55x, PM56x\)](#).

Ethernet interface (depending on model)

The pin assignment of the Ethernet interface:

	1	Tx+	Transmit Data +
	2	Tx-	Transmit Data -
	3	Rx+	Receive Data +
	4	NC	Not connected
	5	NC	Not connected
	6	Rx-	Receive Data -
	7	NC	Not connected
	8	NC	Not connected
Shield	Cable shield	Functional earth	

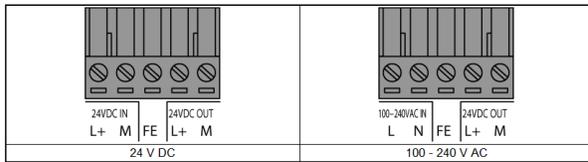
Electrical Connection

DANGER **Danger of life through electric shock!**
 The terminals of the module can carry 230 V voltage.
 Make sure that all voltage sources (supply and process voltage) are switched off before you are beginning with operations at the system.

CAUTION **Risk of damaging the PLC modules!**
 The CPU can be damaged by overvoltages and short circuits.
 Make sure that all voltage sources (supply and process voltage) are switched off before you are beginning with operations at the system.

Power supply

Depending on the variant, the CPUs can be connected to the following supply voltages:



The connection is performed via a 5-pin removable terminal block. The terminal block is also available as a spare part (inside [TA570 Spare Part Set for AC500-eCo CPUs](#)).

The 24-V-DC-variant contains 2 L+ and M terminals. The L+ terminal on the left side is the input and the right side is the output. The M terminals are interconnected internally. The supply can be easily looped through to supply the Onboard Digital Inputs.

CAUTION **Risk of damaging the CPU and the connected modules!**
 Voltages > 30 V DC can destroy the CPU and the connected modules.
 Make sure that the supply voltage never exceeds 30 V DC.

The 100-240-V-AC-variant contains an internally power supply with a wide-range input. It provides a 24-V-DC-output at the terminals L+ and M which can be used to supply the Onboard Digital Inputs.

NOTE The voltage output at 100-240-V-AC-variants can provide **180 mA max.** The output is protected against overload by a self-resetting fuse (PTC).

NOTE According to IEC 60204-1:2005, control transformers with electrically isolated windings must be used for all control circuits which are supplied by an AC voltage.

Onboard I/Os

The AC500 CPU PM554 provides 8 Onboard Digital Inputs (24 V DC) and 6 Onboard Digital Outputs (depending on variant 24 V DC transistor outputs or relay outputs). The AC500 CPU PM564 provides 6 Onboard Digital Inputs (24 V DC), 6 Onboard Digital Outputs (depending on variant 24 V DC transistor outputs or relay outputs), 2 Onboard Analog inputs (voltage 0 ... 10 V) and 1 Onboard Analog Output (voltage 0 ... 10 V or current 0 ... 20 mA / 4 ... 20 mA). The Onboard Analog Inputs can be configured as Digital Inputs, so 8 Onboard Digital Inputs may be available if no analog inputs are needed.

Numbers and types of the Onboard I/Os are listed in the table below:

CPU type	Power supply	No. and type of digital inputs	No. and type of digital outputs	No. and type of analog inputs	No. and type of analog outputs
PM554-T	24 V DC	8 x 24 V DC	6 x 24 V DC, 0.5 A max. (transistor)	none	none
PM554-T-ETH	24 V DC	8 x 24 V DC	6 x 24 V DC, 0.5 A max. (transistor)	none	none
PM554-R	24 V DC	8 x 24 V DC	6 x relay output, 2 A max.	none	none
PM554-R-AC	100 to 240 V AC	8 x 24 V DC	6 x relay output, 2 A max.	none	none
PM564-T	24 V DC	6 x 24 V DC*	6 x 24 V DC, 0.5 A max. (transistor)	2 x voltage *	1 x voltage or current
PM564-T-ETH	24 V DC	6 x 24 V DC*	6 x 24 V DC, 0.5 A max. (transistor)	2 x voltage *	1 x voltage or current
PM564-R	24 V DC	6 x 24 V DC*	6 x relay output, 2 A max.	2 x voltage *	1 x voltage or current
PM564-R-ETH	24 V DC	6 x 24 V DC*	6 x relay output, 2 A max.	2 x voltage *	1 x voltage or current
PM564-R-AC	100 to 240 V AC	6 x 24 V DC*	6 x relay output, 2 A max.	2 x voltage *	1 x voltage or current
PM564-R-ETH-AC	100 to 240 V AC	6 x 24 V DC*	6 x relay output, 2 A max.	2 x voltage *	1 x voltage or current

* PM564 has 2 analog inputs which can be configured as digital inputs. If the analog inputs are configured as digital inputs, 8 digital inputs totally are available.

 NOTE	The 2 analog inputs are not electrically isolated from the 24 V power supply of the CPU.
--	---

All inputs (DI0 ... DI7) and all outputs (DO0 ... DO5) belong to 1 group. The inputs and outputs are group-wise electrically isolated.

For more information on the Onboard I/Os, refer to chapter [Onboard I/Os in PM554 CPUs](#) and [Onboard I/Os in PM564 CPUs](#).

Diagnosis

The AC500 CPU can display various errors according to the error classes. The following error classes are possible. The reaction of the CPU is different for each type of error.

Error class	Type	Meaning	Example
E1 ERR-LED is ON	Fatal error	A safe function of the operating system is no longer guaranteed.	Checksum error in the system Flash or RAM error
E2 ERR-LED is ON	Severe error	The operating system is functioning without problems, but the error-free processing of the user program is no longer guaranteed.	Checksum error in the user Flash, independent of the task duration
E3 ERR-LED is ON/OFF*	Light error	It depends on the application, if the user program should be stopped by the operating system or not. The user should decide, which reaction is necessary.	Flash could not be programmed, I/O module has failed
E4 ERR-LED is ON/OFF*	Warning	Error in the periphery (e.g. I/O) which only can have influence in the future. The user should decide the reaction to provide.	Short-circuit at an I/O module, the battery is exhausted or not inserted

* The behaviour if the ERR-LED lights up at error classes E3 or E4 is configurable.

Control Elements

RUN/STOP switch

The AC500-CPU PM554 and PM564 contain a RUN/STOP switch which can be set with a small screwdriver. In the RUN position, the program loaded in the CPU will be executed and in the STOP position it will be stopped. When COM1 and COM2 are not in online access mode, the user program can only be changed, uploaded and downloaded if the RUN/STOP switch is in STOP position.

Accessories

The AC500 CPU types PM554 and PM564 can be equipped with the following accessories:

MC503	SD Memory Card adaptor
TA961-RTC	RTC (real-time clock) adaptor
TA962-RS	Serial RS485 interface adaptor
TA962-RS-RTC	RTC (real-time clock) adaptor with serial RS-485 interface

More information about the adaptors can be found in the chapter [Accessories](#).

Displays

Status LEDs of the CPU

The CPUs PM554 and PM564 show their status of operation via 3 LEDs located in the left upper edge of the CPU.

LED	Status	Color	LED = ON	LED = OFF	LED flashing
PWR	Power supply	green	Power supply present	Power supply missing	--
RUN	RUN/STOP Status	green	CPU is in status RUN	CPU is in status STOP	Fast flashing (4 Hz): The CPU is reading/writing data to the SD Memory Card. If the ERR-LED is also flashing, data is written to the Flash-EEPROM. Slow flashing (1 Hz): The firmware update from the SD Memory Card has been finished successfully.
ERR	Error indication	red	An error occurred	No errors or only warnings encountered (E4-errors). The LED behaviour by the error classes 2 to 4 is configurable.	with 4 Hz (fast): displays together with the RUN LED a currently running firmware-update or writing data to the Flash-EPROM.

I/O LEDs

Each CPU contains up to 15 LEDs (depending on type) to display the statuses of the inputs and outputs.

CPU type	LED	Status	Color	LED = ON	LED = OFF
PM554 PM564	I0 ... I7 (PM554)	Digital input	yellow	Input is ON	Input is OFF
	I0 ... I5 (PM564)				
	O0 ... O5	Digital output	yellow	Output is ON	Output is OFF
PM564	AI6, AI7*	Analog input	yellow	Input is ON	Input is OFF
	AO	Analog output	yellow	Output is ON	Output is OFF

* The analog inputs AI6 and AI7 can be configured as digital input or analog input.

Status LEDs at Ethernet Connector (-ETH models only)

LED	Color	OFF	ON	Flashing
Activity	yellow	No activity	---	Activity
Link	green	No link	Link	---

Technical Data

The system data of AC500 and S500 are valid here. Only additional details are therefore documented below.

General data of the CPUs

For more information, please refer to the [AC500-eCo System Data](#) chapters.

Power supply	24 V DC	100 - 240 V AC
Connection of power supply	Via removable 5-pin screw terminal	
Current consumption from power supply (max.)	PM554-T: 180 mA PM554-T-ETH: 190 mA PM554-R: 210 mA PM564-T: 210 mA PM564-T-ETH: 230 mA PM564-R: 240 mA PM564-R-ETH: 250 mA	PM554-R-AC: 210 mA at 100 V AC, 120 mA at 240 V AC *) PM564-R-AC: 220 mA at 100 V AC, 130 mA at 240 V AC *) PM564-R-ETH-AC: 230 mA at 100 V AC, 140 mA at 240 V AC *)
Current consumption from power supply (typ.)	PM554-T: 60 mA PM554-T-ETH: 70 mA PM554-R: 80 mA PM564-T: 95 mA PM564-T-ETH: 100 mA PM564-R: 110 mA PM564-R-ETH: 120 mA	PM554-R-AC: 20 mA at 100 V AC, 12 mA at 240 V AC *) PM564-R-AC: 20 mA at 100 V AC, 11 mA at 240 V AC *) PM564-R-ETH-AC: 23 mA at 100 V AC, 14 mA at 240 V AC *)
Inrush current at nominal voltage	Typ. 3.9 A²s	Typ. 0.3 A²s
Required Fuse	3 A fast	Max. 10A
Max. power dissipation within the CPU	PM554-T: 3.0 W PM554-T-ETH: 3.3 W PM554-R: 3.5 W PM564-T: 3.9 W PM564-T-ETH: 4.4 W PM564-R: 4.5 W PM564-R-ETH: 4.9 W	PM554-R-AC: 4.8 W PM564-R-AC: 4.8 W PM564-R-ETH-AC: 5.3 W
CPU interfaces	I/O-Bus, COM1, COM2 (optional), Ethernet (depending on model)	
Connection system	See AC500 System Data	
Dimensions	See AC500 System Data	
- Width x height x depth	82 mm x 135 mm x 75 mm	
Weight	PM554-T: 300 g PM554-T-ETH: 300 g PM554-R: 350 g PM564-T: 300 g PM564-T-ETH: 300 g PM564-R: 350 g PM564-R-ETH: 350 g	PM554-R-AC: 400 g PM564-R-AC: 400 g PM554-R-ETH-AC: 400 g
Mounting position	horizontal or vertical	

Detailed data of the CPUs

Program memory	128 kB Flash EPROM
Data memory	
- VAR data	10 kB
- VAR_RETAIN data	1 kB, always buffered in flash
- %RB data (persistent)	1 kB, can be buffered in flash (depending on configuration)
- %MB data	2 kB
Data buffering	in flash memory
Real time clock (RTC)	optional
Battery low indication	Warning
Programming languages	- Instruction List (IL) - Function Block Diagram (FBD) - Ladder Diagram (LD) - Sequential Function Chart (SFC) - Structured Text (ST) - Continuous Function Chart (CFC)
Cycle time for 1000 instructions	
- Binary	0.1 ms
- Word	on request
- Floating point	on request
Program execution	
- cyclic	yes
- time-controlled	yes
- Multitasking	yes
- Interruption	1 interrupted with up or down edge detection
LEDs	Power, Run, Error, Status of I/Os
RUN/STOP switch	yes
Protection of the user program by password	possible
Usable accessories	MC503: SD Memory Card expansion module TA561-RTC: Real time clock expansion module TA562-RS: Serial RS-485 expansion module TA562-RS-RTC: Real time clock and serial RS485 expansion module
Certifications	CE

Detailed data of the interfaces

Serial interface COM1	
Physical link	Non-isolated RS-485
Baudrate	configurable from 1.2 to 115.5 kB/s
Connection	9-pin Sub-D jack
Common Mode range	Typ. -8 V / +12 V
Usage	- Programming port - Modbus (master and slave) - Serial ASCII communication - CS31 (master only)
Max. cable length	50 m (with shielded cable)

Serial interface COM2 (optional)	
Physical link	Non-isolated RS-485
Baudrate	configurable from 1.2 to 115.5 kB/s
Connection	5-pin removable terminal block
Common Mode range	Typ. -8 V / +12 V
Usage	- Programming port - Modbus (master and slave) - Serial ASCII communication
Max. cable length	50 m (with shielded cable)

Data of I/Os

	PM554	PM564
Max. digital I/O image size	256 (128 inputs, 128 outputs)	
Max. analog I/O image size	64 (32 inputs, 32 outputs)	
Max. expansion modules	7 modules	
- Digital inputs	224+8	224+8
- Digital outputs	168+6	168+6
- Analog inputs	112	112+2
- Analog outputs	112	112+1
Number of decentralized inputs and outputs	on CS31-bus: up to 31 stations with up to 120 digital inputs / 120 digital outputs each	
Detailed data of the Onboard I/O	see Onboard I/Os in PM554 and Onboard I/Os in PM564	

Anexo 4

Hoja de datos del módulo de expansión digital DX561:

Digital Input/Output Module DX561

- 8 digital inputs 24 V DC,
- 8 digital transistor outputs 24 V DC,
- Group-wise electrically isolated

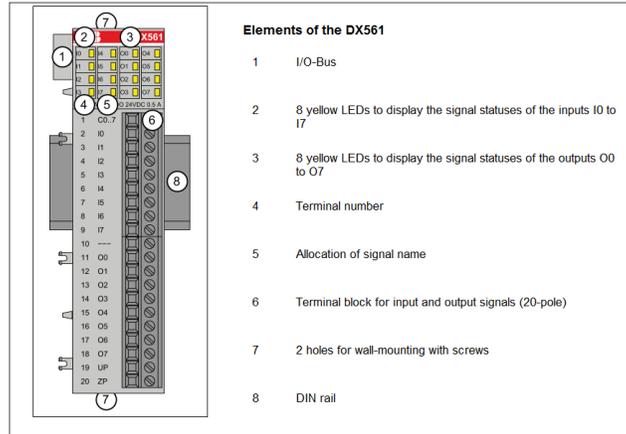


Figure: Overview of Digital Input/Output Module DX561

Intended Purpose

The Digital Input/Output Module DX561 can be used as a remote expansion module at the following devices:

- S500 Bus Modules (e. g. CI592-CS31, CI501-PNIO, CI541-DP, CI581-CN)
- AC500 CPUs (PM5xx)

It contains the following features:

- 8 digital inputs 24 V DC (I0 to I7) in 1 group
- 8 digital outputs 24 V DC (O0 to O7) in 1 group

The inputs and outputs are group-wise electrically isolated from each other.
The other electronic circuitry of the module is electrically isolated from the inputs.

Functionality

Digital inputs	8 (24 V DC), can be used as source inputs or as sink inputs
Digital outputs	8 (transistor outputs 24 V DC, max. 0.5 A)
LED displays	For signal statuses
Internal power supply	Via I/O-Bus
External power supply	Via the terminals ZP and UP (process voltage 24 V DC)

Electrical Connection

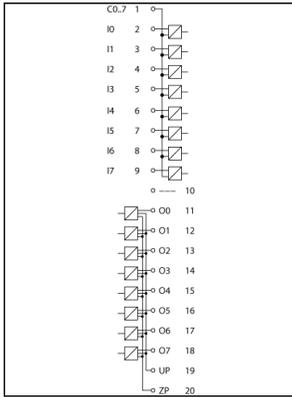
The Digital Input/Output Module DX561 can be connected to the following devices via the I/O-Bus connector:

- S500 Bus Modules (e. g. CI592-CS31, CI501-PNIO, CI541-DP, CI581-CN)
- AC500 CPUs (PM5xx)
- other AC500 I/O Modules

 Note	The DX561 must not be used as a remote expansion module at DC505-FBP and CI592-CS31-HA Bus Modules.
 Note	Mounting, disassembling and electrical connection for the I/O Modules are described in detail in the S500 System Data chapters.

The electrical connection is carried out by using a removable 9-pole and 11-pole Terminal Block. These terminal blocks differ in their connection system (spring terminals or screw-type terminals, cable mounting from the front or from the side). For more information, refer to the chapter [Terminal Blocks for S500-eCo I/O Modules](#). The terminal blocks are not included in the module's scope of delivery and must be ordered separately.

The following block diagram shows the internal construction of the digital inputs and outputs:



The assignment of the terminals:

Terminal	Signal	Meaning
1	CO.7	Input common for signals I0 to I7
2	I0	Input signal I0
3	I1	Input signal I1
4	I2	Input signal I2
5	I3	Input signal I3
6	I4	Input signal I4
7	I5	Input signal I5
8	I6	Input signal I6
9	I7	Input signal I7
10	---	Reserved
11	O0	Output signal O0
12	O1	Output signal O1
13	O2	Output signal O2
14	O3	Output signal O3
15	O4	Output signal O4
16	O5	Output signal O5
17	O6	Output signal O6
18	O7	Output signal O7
19	UP	Process voltage UP +24 V DC
20	ZP	Process voltage ZP 0 V DC

The internal power supply voltage for the module's circuitry is carried out via the I/O-Bus (provided by a Bus Module or a CPU). Thus, the current consumption from 24 V DC power supply at the terminals L+/UP and M/ZP of the CPU/Bus Module increases by 10 mA per DX561.

The external power supply connection is carried out via the UP (+24 V DC) and ZP (0 V DC) terminals.

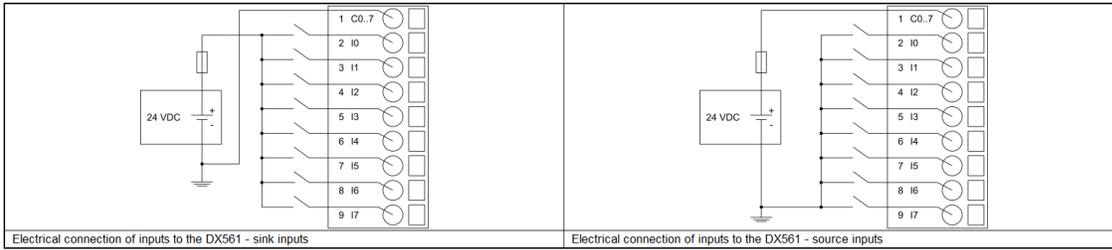
Risk of damaging the PLC modules!
The PLC modules must not be removed when the plant is powered on. Make sure that all voltage sources (supply and process voltage) are switched off before you are

- connecting or disconnecting any signal or terminal block
- removing or replacing a module.

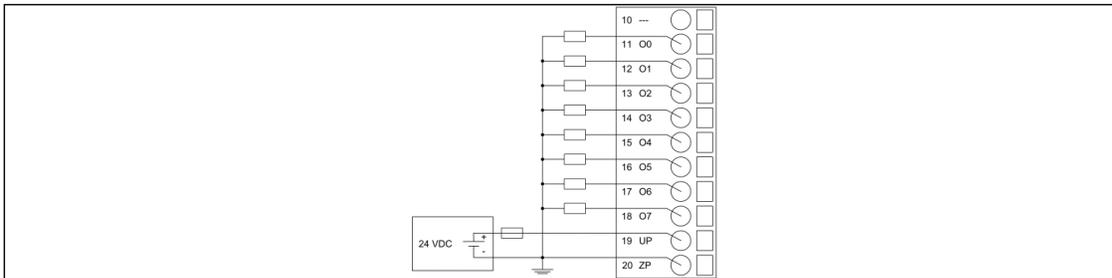
Risk of damaging the PLC modules!
The PLC modules can be damaged by overvoltages and short circuits.

- Make sure that all voltage sources (supply and process voltage) are switched off before you are beginning with operations at the system.
- Never connect any voltages or signals to reserved terminals (marked with ---). Reserved terminals may carry internal voltages.

The following figure shows the electrical connection of the inputs to the Digital Input/Output Module DX561:



The following figure shows the electrical connection of the outputs to the Digital Input/Output Module DX561:



CAUTION **Risk of malfunctions in the plant!**
The outputs may switch on for a period of 10 to 50 µs if the process supply voltage UP/ZP is switched on. This must be considered in the planning of the application.

CAUTION **Risk of damaging the I/O Module!**
The outputs are not protected against short circuit and overload.

- Never short circuit or overload the outputs.
- Never connect the outputs to other voltages.
- Use an external 3 A fast protection fuse for the outputs.

The meaning of the LEDs is described in the [Displays](#) chapter.

Internal Data Exchange

	DX561
Digital inputs (Bytes)	1
Digital outputs (Bytes)	1

I/O Configuration

The Digital Input/Output Module DX561 does not store configuration data itself.

Parameterization

The arrangement of the parameter data is performed with Control Builder Plus software.

The parameter data directly influences the functionality of modules.

For non-standard applications, it is necessary to adapt the parameters to your system configuration.

Name	Value	Internal Value	Internal Value, Type	Default	Min.	Max.	EDS Slot Index
Module ID	Internal	6135 *1)	WORD	0x17F7	0	65535	xx01
Ignore module	No Yes	0 1	BYTE	No (0x00)			
Parameter length	Internal	1	BYTE	0	0	255	xx02 *2)

*1) with CS31 and addresses less than 70, the value is increased by 1

*2) Value is hexadecimal: HighByte is slot (xx: 0 ... 7), LowByte is index (1 ... n)

GSD file:	Ext_User_Prm_Data_Len = Ext_User_Prm_Data_Const(0) =	0x03 0xF8, 0x17, 0x00, 0x01;
------------------	---	------------------------------------

Diagnosis

E1..E4	d1	d2	d3	d4	Identifier 000..063	AC500-Display	<- Display in
Class	Comp	Dev	Mod	Ch	Err	PS501 PLC Browser	
Byte 6 Bit 6..7	-	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6 Bit 0..5	PNIO diagnosis block	
Class	Inter- face	Device	Module	Channel	Error- Identifier	Error message	Remedy
	1)	2)	3)	4)			
Module error DX561							
3	14 11 / 12	1..10 ADR	31 1..10	31	19	Checksum error in the I/O module	Replace I/O Module
3	14 11 / 12	1..10 ADR	31 1..10	31	43	Internal error in the module	Replace I/O Module
3	14 11 / 12	1..10 ADR	31 1..10	31	9	Overflow diagnosis buffer	Restart
4	14 11 / 12	1..10 ADR	31 1..10	31	26	Parameter error	Check master

Remarks:

1)	In AC500 the following interface identifier applies: 14 = I/O-Bus, 11 = COM1 (e.g. CS31-Bus), 12 = COM2. The PNIO diagnosis block does not contain this identifier.
2)	With "Device" the following allocation applies: 31 = Module itself, 1..10 = Expansion module 1..10, ADR = Hardware address (e.g. of the DC551-CS31)
3)	With "Module" the following allocation applies dependent of the master: Module error: I/O-Bus or PNIO: 31 = Module itself; COM1/COM2: 1..10 = expansion 1..10 Channel error: I/O-Bus or PNIO = Module type (2 = DO); COM1/COM2: 1..10 = expansion 1..10
4)	In case of module errors, with channel "31 = Module itself" is output.

Displays

Statuses of the LEDs:

LED	Status	Color	LED = OFF	LED = ON
Inputs I0...I7	Digital input	Yellow	Input is OFF	Input is ON (the input voltage is even displayed if the supply voltage of the module is OFF)
Outputs O0...O7	Digital output	Yellow	Output is OFF	Output is on (the output voltage is only displayed if the supply voltage of the module is ON)

Technical Data

The [System Data of AC500-eCo](#) are valid here. Only additional details are therefore documented below.

Process supply voltage UP	
Connections	Terminal 19 for UP (+24 V DC) and terminal 20 for ZP (0 V)
Rated value	24 V DC
Current consumption via UP terminal	5 mA + max. 0.5 A per output
Max. ripple	5 %
Protection against reversed voltage	Yes
Rated protection fuse for UP	Recommended; the outputs must be protected by an 3 A fast fuse
Current consumption from 24 V DC power supply at the L+/UP and M/ZP terminals of the CPU/Bus Module	Ca. 10 mA
Electrical isolation	Yes, between the output group and the rest of module
Isolated groups	2 groups (1 group for 8 input channels, 1 group for 8 output channels)
Surge-voltage (max.)	35 V DC for 0.5 s
Max. power dissipation within the module	2.3 W
Weight	ca. 120 g
Mounting position	Horizontal or vertical
Cooling	The natural convection cooling must not be hindered by cable ducts or other parts in the switch-gear cabinet.

Technical Data of the Digital Inputs

Number of channels per module	8	
Distribution of the channels into groups	1 group for 8 channels	
Connections of the channels I0 to I7	Terminals 2 to 9	
Reference potential for the channels I0 to I7	Terminal 1	
Indication of the input signals	1 yellow LED per channel; the LED is ON when the input signal is high (signal 1)	
Input type according to EN 61131-2	Type 1 source	Type 1 sink
Input signal range	-24 V DC	+24 V DC
Signal 0	-5 V ... +3 V	-3 V ... +5 V
Undefined signal	-15 V ... +5 V	+5 V ... +15 V
Signal 1	-30 V ... -15 V	+15 V ... +30 V
Ripple with signal 0	-5 V ... +3 V	-3 V ... +5 V
Ripple with signal 1	-30 V ... -15 V	+15 V ... +30 V
Input current per channel		
Input voltage +24 V	Typ. 5 mA	
Input voltage +5 V	1 mA	
Input voltage +15 V	> 2.5 mA	
Input voltage +30 V	< 6.5 mA	
Max. permissible leakage current (at 2-wire proximity switches)	1 mA	
Input delay (0->1 or 1->0)	Typ. 8 ms	
Max. cable length		
Shielded	500 m	
Unshielded	300 m	

Technical Data of the Digital Outputs

Number of channels per module	8 transistor outputs (24 V DC, 0.5 A max.)
Distribution of the channels into groups	1 group of 8 channels
Connection of the channels O0 to O7	Terminals 11 to 18
Reference potential for the channels O0 to O7	Terminal 20 (minus pole of the process voltage, name ZP)
Common power supply voltage	Terminal 19 (plus pole of the process voltage, name UP)
Indication of the output signals	1 yellow LED per channel, the LED is on when the output signal is high (signal 1) and the module is powered through the I/O-Bus
Way of operation	Non-latching type
Max. output voltage at signal 1	20 V DC at max. current consumption
Output delay	
0 to 1	50 µs
1 to 0	200 µs
Output current	
Rated current per channel (max.)	0.5 A at UP 24 V DC
Rated current per group (max.)	4 A
Rated current (all channels together, max.)	4 A
Lamp load (max.)	5 W
Max. leakage current with signal 0	0.5 mA
Demagnetization when inductive loads are switched off	Must be performed externally according to driven load specification
Switching Frequencies	
With inductive loads	Max. 0.5 Hz
With lamp loads	Max. 11 Hz at max. 5 W
Short circuit / Overload proof	No
Overload message	No
Output current limitation	No
Resistance to feedback against 24 V DC	No
Connection of 2 outputs in parallel	Not possible
Max. cable length	
Shielded	500 m
Unshielded	150 m