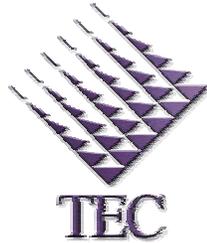


**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Techno Med**

**“Diagnóstico remoto para equipo de Rayos X”**

**Informe Final del Proyecto de Graduación para optar  
por el Grado de Bachiller en Ingeniería Electrónica**

**Giovanni F. Gómez Montero**

**Cartago, 2000**

***A mi familia, a mis buenos amigos y a Dios,***  
*porque sin su apoyo, amor y confianza*  
*este sueño no sería una realidad.*

## Índice General

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Descripción de la empresa.....	2
1.2 Definición del problema y su importancia.....	2
1.3 Objetivos .....	5
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
2.1 Estudio del problema a resolver. ....	8
2.1.1 <i>Teoría de operación del equipo de Rayos X.</i> .....	8
2.1.2 <i>Principios de funcionamiento del Generador de Rayos X.</i> .....	12
2.2 Requerimientos de la empresa.....	26
2.3 Solución propuesta .....	27
<b>CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO</b> .....	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO 4 HARDWARE UTILIZADO</b> .....	<b>34</b>
4.1 Hardware adicional requerido para el Sistema Auxiliar .....	35
4.2 Tarjeta de desarrollo Motorola .....	39
<b>CAPÍTULO 5 SOFTWARE DEL SISTEMA</b> .....	<b>44</b>
5.1 Software del sistema de control auxiliar.....	45
5.1.1 <i>Diagrama de flujo del disparo de Rayos X</i> .....	46
5.1.2 <i>Rutinas de diagnóstico</i> .....	49
5.1.3 <i>Empleo del MODEM.</i> .....	55
5.2 Software de diagnóstico en alto nivel.....	58
<b>CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>70</b>
6.1 Explicación del diseño.....	71
6.1.1 <i>Hardware del sistema de control auxiliar</i> .....	72
6.1.3 <i>Software de diagnóstico</i> .....	78
6.2 Alcances y limitaciones .....	79
<b>CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>81</b>
Conclusiones .....	82
Recomendaciones .....	84
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>85</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	<b>87</b>
Apéndice 1. Imágenes del hardware del sistema .....	88
Apéndice 2. Mensajes de error del generador de Rayos X.....	90
Apéndice 3. Partes del equipo de Rayos X Bennett. ....	91
<b>ANEXOS</b> .....	<b>93</b>
Anexo 1. ....	94
Anexo 2. Diagrama de bloques del generador Bennett .....	95
Anexo 3. Diagrama de la tarjeta principal del generador .....	97

Anexo 4. Diagrama del controlador de kilovoltaje.....	99
Anexo 5. Diagrama del controlador del filamento. ....	101
Anexo 6. Diagrama de la tarjeta de interfaz del generador.....	103

## Índice de Figuras

Figura 2.1 Lámpara del experimento de Edison.....	9
Figura 2.2 Estructura interna del tubo de Rayos X.....	10
Figura 2.3 Refracción de los Rayos X al chocar con u cuerpo sólido. ....	11
Figura 2.4 Estructura de la parrilla .....	12
Figura 2.5 Mapa de memoria del controlador principal .....	15
Figura 2.6 Circuito de control de arranque del rotor del ánodo.....	18
Figura 2.7 Circuito detector de fase.....	19
Figura 2.8 Circuito detector de corriente.....	20
Figura 2.9 Control de selección de Buckys. ....	21
Figura 2.10 Circuito detector de Bucky.....	21
Figura 2.11 Diagrama de bloques de la generación de alta tensión para el disparo de Rayos X....	22
Figura 2.12 Control de contactores de respaldo en la entrada.....	25
Figura 2.13 Control de contactores de respaldo en la salida. ....	25
Figura 2.14 Diagrama de bloques general del sistema. ....	28
Figura 4.1 Diagrama de bloques básico del controlador del generador BENNETT .....	36
Figura 4.2 Generación de señal de sincronización. ....	37
Figura 4.3 Control de señal XRAY. ....	38
Figura 4.4 Distribución de los conectores con la tarjeta de expansión.....	41
Figura 4.5 División del bus de datos. ....	42

Figura 4.6 Distribución de los pines de datos y dirección para dispositivos externos.....	42
Figura 4.7 Conexión de los puertos I/O adicionales.....	43
Figura 5.1 Diagrama de flujo para una exposición de Rayos X. ....	47
Figura 5.2 Diagrama de flujo de la rutina de prueba del rotor.....	51
Figura 5.3 Rutina de prueba de los Buckys. ....	52
Figura 5.4 Procedimiento de prueba de contactores.....	53
Figura 5.5 Diagrama de bloques de recepción de mensajes del MODEM.....	57
Figura 5.6 Selección del medio de comunicación. ....	59
Figura 5.7 Ventana de actualización de la base de datos.....	61
Figura 5.8 Ventana de configuración. ....	63
Figura 5.9 Ventana principal en modo diagnóstico.....	65
Figura 5.10 Ventana de prueba del rotor. ....	66
Figura 5.11 Ventana de prueba de los Buckys. ....	67
Figura 5.12 Ventana de disparo de Rayos X. ....	67
Figura 6.1 Diagrama general de bloques.....	71
Figura 6.2 Diagrama de flujo del procedimiento de inicio del sistema auxiliar.....	76
Figura A.1 Ubicación de componentes del sistema auxiliar.....	88
Figura A.2 Módulo de expansión.....	89
Figura A.3 Componentes del equipo de Rayos X.....	91
Figura A.4 Componentes del equipo de Rayos X (segunda parte).....	92

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Señales utilizadas para el control del disparo de Rayos X .....	17
Tabla 4.1 Distribución de señales en el conector J1 del módulo de expansión.....	38
Tabla 4.2 Distribución de señales en el conector J2 del módulo de expansión.....	39
Tabla 4.3 Distribución de señales en los puertos de entrada - salida.....	40
Tabla 5.1 Errores reportados por las rutinas de diagnóstico y los valores de retorno a la PC.....	54
Tabla 5.2 Estructura de la base de datos.....	60
Tabla 5.3 Comandos de ejecución de inicio, fin y rutinas diagnóstico .....	69

## **Resumen**

Los constantes cambios y avances en la tecnología, marcan un nuevo horizonte, un futuro en el cual, sólo los que se adapten más rápido a dichos cambios podrán sobrevivir. Pensado en esto, Techno Med, decidió mejorar su departamento de servicio para adaptarlo a las exigencias del mercado.

De esta forma surgió la idea de realizar diagnósticos en forma remota a los equipos de Rayos X distribuidos por la empresa. Además, esta idea se podrá extender más adelante, para abarcar también a los Mamógrafos.

Estos diagnósticos consisten en tomar posesión de los buses de datos, dirección y control del procesador principal del sistema, mediante el uso de un procesador secundario, un microcontrolador Motorola. Hecho lo anterior, las rutinas a ejecutarse (los diagnósticos), serán procedimientos normales de operación realizados bajo un estricto control de las variables y de las posibles fuentes de error.

Para la comunicación, el sistema de control auxiliar utiliza un MODEM externo estándar, con el que se comunica vía puerto serie.

Para poder establecer la comunicación desde la empresa hasta el sistema instalado, se desarrolló un software en Delphi. Este programa permite seleccionar de una base de datos los clientes, y mediante una interfaz gráfica amigable, se pueden realizar cada uno de los diagnósticos y observar las respuestas enviadas por el sistema de control auxiliar.

Los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado, fueron completamente satisfactorios. Se pudo establecer comunicación remota con el sistema y llevar a cabo los diferentes diagnósticos sin mayor inconveniente.

## **Abstract**

The constant changes and advances in the technology, mark a new horizon, a future in which, only those that adapt quicker to this changes they will be able to survive. Thought of this, Techno Med, decided to improve its department of service to adapt it to the demands of the market.

This way, the idea arose of carrying out diagnoses in remote form to X Ray equipment, distributed by the company. Also, this idea will be able to extend later on, to also embrace the Mamograph equipment.

These diagnoses consist on taking possession of the data, address and control buses of the main processor of the system, by means of the use of a secondary processor, a microcontroller Motorola. Made the above-mentioned, the routines to be executed (the diagnoses), will be normal procedures of operation carried out under a strict control of the variables and of the possible error sources.

For the communication, the system of auxiliary control uses a standard external MODEM, with which communicates via serial port.

To be able to establish the communication from the company until each one of the diagnosis systems, a software was developed in Delphi. This program allows to select of a database the clients, and by means of a friendly graphic interface they can be carried out each one of the diagnoses and to observe the answers sent by the system of auxiliary control.

The results obtained with the developed prototype, were totally satisfactory. Remote communication could settle down with the system and to carry out the different diagnoses without more inconvenience.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Descripción de la empresa

Techno Med es representante exclusivo en Costa Rica de la casa BENNETT, la cual es parte de *Trex Medical Corporation*, empresa dedicada a la fabricación de equipo médico. Así, Techo Med se encarga desde hace 7 años de la venta y distribución de equipo de dicha marca a clínicas y hospitales, brindando además, asesoramiento técnico, mantenimiento y entrenamiento en el uso del equipo.

## 1.2 Definición del problema y su importancia

Los generadores Bennett de la serie 1000+ para Rayos X (ver apéndice 3), poseen un sistema que alerta al usuario sobre cualquier falla de operación. Antes de realizar una exposición, el sistema confirma el estado de diferentes variables, por ejemplo, que haya corriente en el tubo generador de Rayos X, que no se sobrepase la capacidad de carga máxima del tubo, entre otros, y genera mensajes de error.

Algunas de las fallas pueden ser atendidas por los mismos técnicos radiólogos (ver Apéndice 2), porque son causadas por la mala utilización de las técnicas de radiología, por ejemplo, sobrepasar la potencia del generador produce el mensaje de error *TUBE OVERLOAD*, este se corrige fácilmente disminuyendo desde el panel del operador la corriente (mA) o la tensión (KVp<sup>1</sup>) utilizados.

El procedimiento que se sigue en caso de algún error, es determinar si este puede ser solucionado por el técnico radiólogo, si no es así, este debe informar al departamento de mantenimiento del hospital o clínica, de donde se realizará el reporte formal a la empresa.

---

<sup>1</sup> KVp : Unidad de medición. [kilovoltios pico]

Sin embargo, algunos de los mensajes de error mostrados por el equipo pueden tener dos o hasta tres posibles fuentes diferentes, lo que hace muy difícil el ubicar la falla basados solo en estos mensajes, por lo que toma más tiempo determinarla, además de que los encargados de la revisión del equipo deben llevar consigo los juegos completos de reparación para prever cualquier tipo de fallo.

Cabe resaltar aquí, que el transporte de las herramientas y los juegos de reparación completos son bastante incómodos, estos pesan casi 20 Kg. cada uno, por lo que se hace prácticamente imposible que una sola persona pueda manipularlas, a menos que se carguen de una en una realizando repetidos viajes desde el parqueo, provocando ineficiencia en la labor.

Actualmente, durante el periodo de garantía de un equipo, se realizan cuatro visitas anuales de revisión a cada uno, más las que sean necesarias por reportes de daños.

Dado que estas visitas implican un alto costo, tanto en transporte como en viáticos para al menos dos personas durante periodos de hasta dos días, la empresa ha buscado un método para determinar con la mayor precisión posible la fuente de error en forma remota, y de esta forma hacer el viaje hasta donde se encuentra instalado el equipo solo en caso de que sea necesario, y de serlo, contar con una información más detallada de este, para llegar a una solución en el menor tiempo posible y sólo utilizando los recursos básicos para realizarla.

Lo que la empresa propone para cumplir con lo anterior, es un sistema de diagnóstico remoto, que permita en primera instancia, monitorear las señales de error del aparato de Rayos X durante su uso, y segundo, que permita controlar el equipo a distancia para determinar su estado.

En lo referente a la venta de servicios, los que cuentan con la estrategia de mercadeo más eficiente son los que tienen mayor éxito, por eso Techno Med tiene como meta la optimización de sus procedimientos de detección de fallas y diagnósticos, para así disminuir tanto el tiempo invertido como los recursos utilizados en estas operaciones. La satisfacción del cliente con el trabajo realizado influirá a mediano plazo en la imagen de la empresa, ubicándola en un lugar privilegiado entre la competencia.

### 1.3 Objetivos

Los objetivos desarrollados durante el progreso del proyecto, incluyen principalmente los aspectos de análisis del equipo de Rayos X, diseño, conexión por MODEM del sistema, el cableado de los dispositivos y la puesta en marcha del sistema de diagnóstico remoto.

De acuerdo con los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto, para el estado final del proyecto se logró:

- La descripción del funcionamiento de cada una de las partes principales del control del generador de Rayos X.
- El listado y descripción de las señales utilizadas por el  $\mu$ Procesador principal para comunicarse con las partes más importantes del equipo.
- La creación de un diagrama de bloques con la descripción de la secuencia de encendido y apagado de las señales y los puntos de verificación de los posibles errores que se pueden presentar al realizar una exposición de Rayos X.
- La decodificación de los diferentes códigos binarios con los que se obtienen los diferentes valores de KVp y corriente en el filamento.
- El diseño del hardware adicional, necesario para el funcionamiento de la tarjeta de control auxiliar.
- El diseño del hardware necesario para el funcionamiento adecuado del chip MODEM, y su interacción con el sistema de control auxiliar.

- El análisis de las características principales y funcionamiento de la tarjeta de control del sistema auxiliar.
- El análisis de las características principales y funcionamiento del chip MODEM.
- La construcción del hardware requerido para el funcionamiento de la tarjeta de control auxiliar.
- La construcción del hardware requerido para el funcionamiento del chip MODEM.
- La implementación del software para que el sistema auxiliar pueda controlar los periféricos del controlador principal del generador.
- La implementación de las diferentes rutinas de diagnóstico en la tarjeta de control auxiliar.
- El desarrollo de las mejoras al software de alto nivel, con las que se garantizó la compatibilidad con el nuevo control auxiliar.
- La creación de nuevos módulos en el programa de alto nivel, que dieron al software mayor versatilidad, seguridad y poder.
- Las pruebas de comunicación entre el sistema de control auxiliar y una PC, utilizando el software desarrollado para tal fin.
- La simulación del funcionamiento del sistema, utilizando las tarjetas de control de KVp, control del filamento, tarjeta de interfaz y tarjeta del microcontrolador del generador de Rayos X.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES**

## **2.1 Estudio del problema a resolver.**

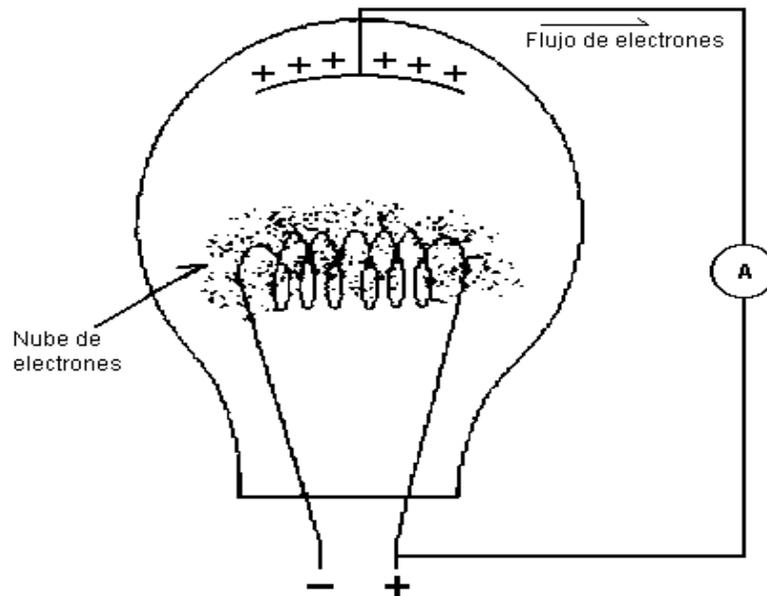
### **2.1.1 Teoría de operación del equipo de Rayos X.**

#### **2.1.1.1 Generación de Rayos X**

La generación de Rayos X se da a través de un tubo sellado al vacío, en el cual se aprovecha el fenómeno conocido como efecto Edison, el cual fue descubierto por el inventor Tomás Alba Edison. En sus experimentos con lámparas notó que al calentarse el filamento que utilizaba para generar luz, se evaporaban algunas de sus partículas y se depositaban en el cristal, lo que provocaba que la luz fuese más tenue cada vez.

Una solución que se le ocurrió, fue colocar una lámina de metal en el interior del bulbo, para que esas partículas fuesen atraídas hacia ella, esto no funcionó, sin embargo, se dio cuenta que al conectar un amperímetro entre la placa de metal y la terminal positiva del filamento, se producía una corriente eléctrica (Figura 2.1).

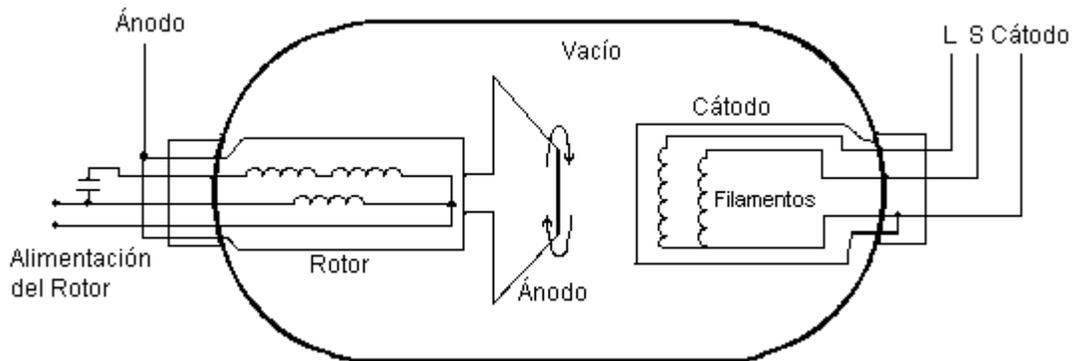
En esos días se conocía muy poco sobre electricidad, y Edison no supo explicarse lo sucedido, no obstante esto se puede explicar muy fácilmente; al conectar el amperímetro a la placa dentro del bulbo, ésta adquiere una carga positiva, por otro lado, el calentamiento del filamento produce una nube de electrones que son atraídos por la placa cargada, provocando el flujo de electrones



**Figura 2.1** Lámpara del experimento de Edison

En los tubos de los generadores *Bennett*, entre el filamento (cátodo) y la placa (ánodo), se tiene una diferencia de potencial muy alta (en el orden de los Kilovoltios), provocando que los electrones se aceleren a altas velocidades. El choque de los electrones con el ánodo produce la liberación de una gran cantidad de energía, de la cual, el 97% se disipa en forma de calor, y el 3% en Rayos X debido a las características del material con que está construido el ánodo (por lo general es tungsteno). Este choque produce que el ánodo se desgaste rápidamente, para aumentar la vida útil del tubo, estos equipos lo ponen a girar.

Como se observa en la figura 2.2, el filamento está dividido en dos, el filamento pequeño (S) para corrientes entre los 25mA y 150mA, y el filamento grande (L) para corrientes más altas, entre 200mA y 600mA.



**Figura 2.2** Estructura interna del tubo de Rayos X

Entonces, para producir un disparo de Rayos X se tienen que cumplir las siguientes condiciones básicas:

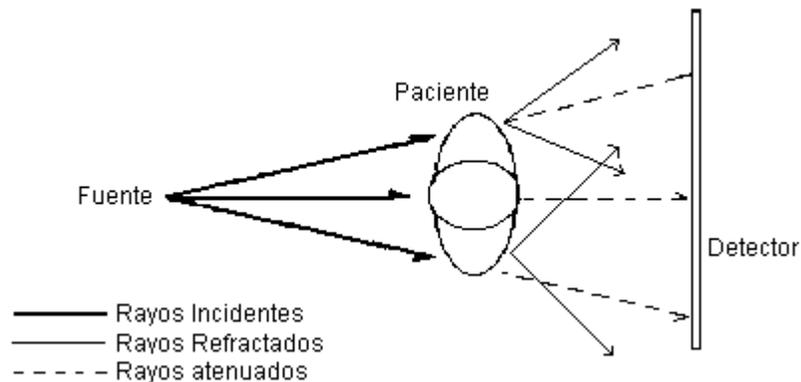
- a. El rotor debe estar girando.
- b. El filamento debe estar caliente, por lo que se hace fluir una corriente por él.

Debe existir una diferencia de tensión alta entre el ánodo y el cátodo para que se produzca el salto de electrones.

Estas condiciones son controladas por el microprocesador del generador mediante los puertos de entrada y salida que se verán más adelante.

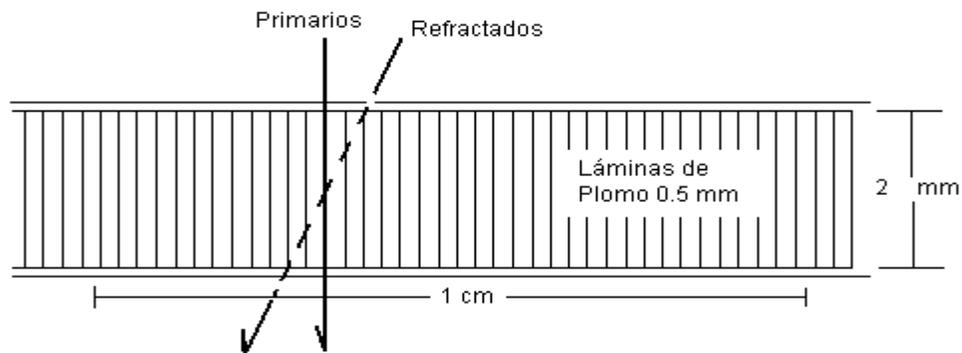
### 2.1.1.2 Uso de parrillas

Cuando se disparan Rayos X hacia un cuerpo sólido, estos chocan, se refractan y se atenúan (Figura 2.3). Con un cuerpo humano, las variaciones de densidades de los órganos internos y los huesos atenúan los rayos incidentes en diferente grado, variando los niveles de radiación que llegan a la película fotosensible, donde se forma la imagen debida a estas variaciones.



**Figura 2.3** Refracción de los Rayos X al chocar con u cuerpo sólido.

Sin embargo, la radiación provocada por los rayos refractados altera la imagen, por lo que se utilizan parrillas, estas son finas láminas de plomo colocadas en forma perpendicular a la placa fotosensible, de tal forma que los rayos que provienen con ángulos diferentes a  $90^\circ$  con la película, chocan con las pequeñas láminas y no llegan a distorsionar la imagen (Figura 2.4).



**Figura 2.4** Estructura de la parrilla

Debido a que estas láminas tienen un grosor definido, parte de la radiación choca en ésta pequeña área, provocando que aparezca la parrilla en la imagen. Para evitar esto, se utiliza un mecanismo que mueve la parrilla de un lado a otro mientras se hace el disparo, haciéndola invisible en las imágenes. Al conjunto formado por la parrilla, el mecanismo que la mueve y el soporte para la placa fotosensible se le conoce como Bucky.

### **2.1.2 Principios de funcionamiento del Generador de Rayos X.**

Se detalla a continuación las principales etapas del equipo que intervienen en la generación de Rayos X.

### **2.1.2.1 Etapa de control**

Está centrada en la tarjeta principal, donde está ubicado el microprocesador principal (un microcontrolador Motorola MC6809). Este tiene la función de controlar el proceso de disparo de Rayos X con la información brindada por el usuario a través de la consola de operación. El sistema cuenta con un banco de memoria conformado por la memoria RAM, memoria EPROM en la que se almacena el BIOS<sup>2</sup>, y puertos de entrada – salida para control. Se explican a continuación los principales módulos del equipo de Rayos X que intervienen en la generación de radiación.

#### **Memoria:**

El banco de memoria tiene 32 Kbytes de EPROM en la que está almacenado el programa de operación del generador, 2 Kbytes de memoria RAM para operaciones internas y Stack, además 4 Kbytes de EEPROM, donde se almacenan los datos de calibración del equipo y valores predeterminados para técnicas automáticas, y por último, 4 Kbytes también de memoria EEPROM para hacer una copia de seguridad de los valores predeterminados.

---

<sup>2</sup> BIOS: Sistema básico de entrada salida, por sus siglas en inglés.

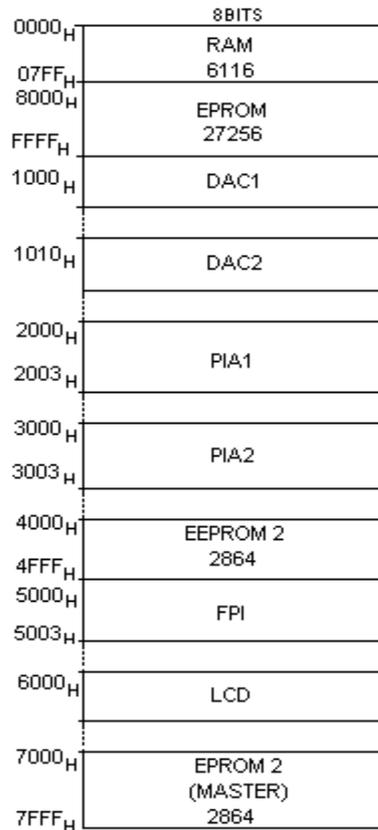
**Puertos:**

Como una característica de construcción del microprocesador Motorola 6809, los puertos de entrada y salida, son considerados como posiciones de memoria en las que se puede leer y escribir, por lo que utilizan las mismas señales de lectura y escritura que las memorias, y se representan en el mismo banco como un solo bloque.

Los puertos están controlados por adaptadores de interfaz de periféricos (PIA<sup>3</sup>) 6821 de la familia Motorola, programados por el microprocesador durante la inicialización del sistema. La interfaz se da entre el bus de datos del microprocesador (8 bits bidireccionales) y 2 buses de 8 líneas cada uno como interfaz de periféricos, que pueden ser programadas independientemente como entradas o salidas. Para poder analizar la programación de los PIA's se debe ver primero la estructura del mapa de memoria (figura 2.5).

---

<sup>3</sup> Peripheral Interface Adapter.



**Figura 2.5** Mapa de memoria del controlador principal

Los PIA cuentan con un registro de control (CR), registro de periférico (PR) y registro de dirección de datos (DDR) para cada uno de los dos buses de interfaz (Anexo 1). El registro de direcciones indica cuales líneas serán utilizadas como entradas, programando en el correspondiente bit del registro un '0'; y cuales como salidas, programando un '1'. En el registro de periféricos se almacena el dato a escribir, para tal efecto, los datos serán colocados en las líneas programadas como salidas; en este registro se almacena también el dato a leer de las líneas programadas como entradas.

Estos dispositivos realizan la interfaz de las señales que controlan el proceso de Rayos X. En la tabla 2.1 se detallan cada una de estas señales, así como su dirección de puerto y tipo; estas se pueden clasificar como señales de control, variables e información. Las variables son las líneas de entrada y se chequean durante la generación de Rayos X para asegurar un funcionamiento adecuado. Las líneas de control son señales que habilitan circuitos, activan contactores y envían información durante el proceso de disparo, según las decisiones tomadas por el microprocesador al leer las variables. Las líneas que envían información son las líneas del bus de alta frecuencia HFB por sus siglas en inglés, que carga los valores de tensión (KVp) y corriente (mA) en los correspondientes DAC (convertidor digital – analógico).

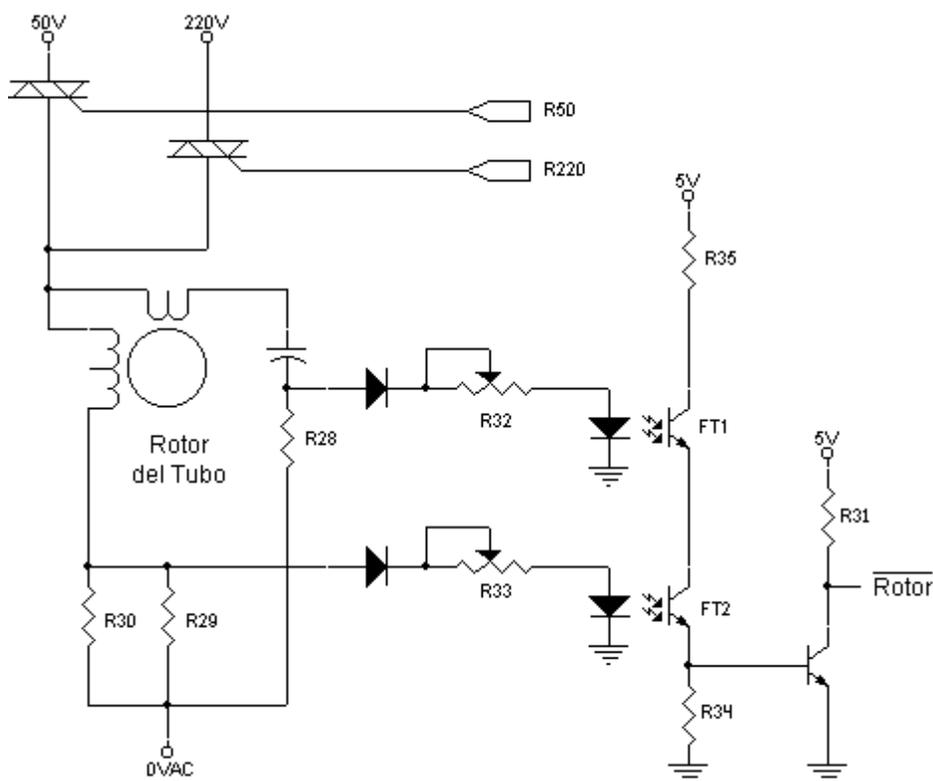
**Tabla 2.1** Señales utilizadas para el control del disparo de Rayos X

Dispositivo	Dirección del Puerto	Señales	Bit	Configuración
FPI (Puerto B)	5002 <sub>H</sub>	-	0	Salida
		-	1	
		-	2	
		Contactora 1	3	
		Contactora 2	4	
		Sonalert	5	
		Prep	6	
		-	7	
PIA1 (Puerto A)	2000 <sub>H</sub>	HFB	[0..7]	Bidireccional
PIA2 (Puerto A)	3000 <sub>H</sub>	Sel 1	0	Salida
		Sel 2	1	
		Sel 3	2	
		X-RAYON*	3	Entrada
		-	4	
		PHASE	5	
		-	6	
		ROTOR*	7	
PIA2 (Puerto B)	3002 <sub>H</sub>	Bucky 1	0	Salida
		Bucky 2	1	
		-	2	
		Expose	3	
		-	4	
		R50	5	
		BuckyRDY	6	Entrada
		R220	7	Salida

**Interfaz de control:**

Este módulo se encarga del control del rotor, chequeo de corriente en el tubo de Rayos X y control de alimentación de los Buckys. Al iniciarse la secuencia de disparo, el microprocesador activa la señal R220, aplicando al rotor 220VAC, 1.5 segundos después la inhabilita y activa la señal de R50, la que aplica 50VAC al rotor, y permanece durante el disparo, de esta forma se logra una respuesta rápida del rotor para llegar a su velocidad nominal (figura 2.6).

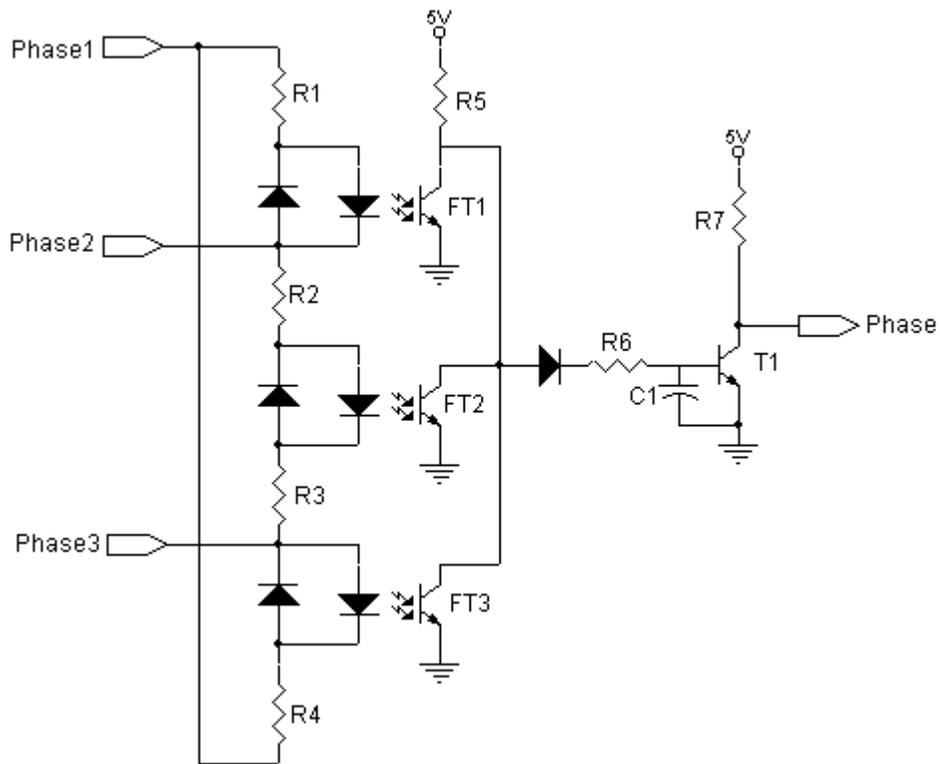
Como medida de seguridad, se comprueba que haya corriente en los dos bobinados del rotor mediante opto acoples en serie, cuando hay corriente en ambos bobinados, los opto acoples polarizan el transistor, y la señal ROTOR\* se activa; en caso de falla (ROTOR\* = 1), indica al microprocesador que existe un error con este.



Orcad Express

**Figura 2.6** Circuito de control de arranque del rotor del ánodo.

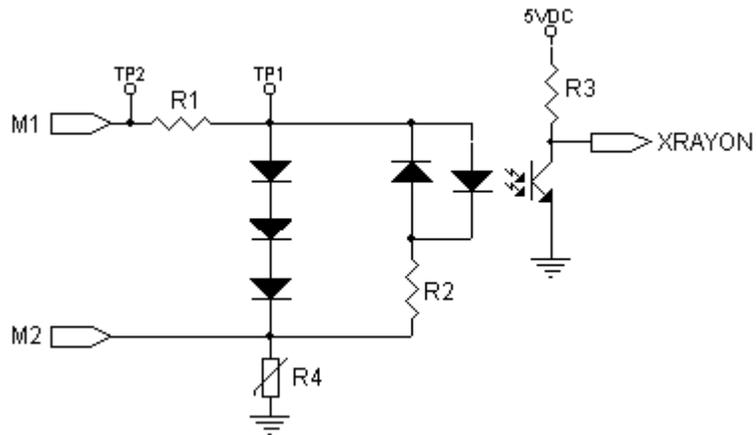
También se comprueba que la alimentación de todo el sistema este presente, midiendo la existencia de las fases de la red trifásica. En la figura 2.7, los opto acoples son activados por la presencia de cada fase, y la tensión en la base del transistor de salida es cero, haciendo que PHASE = 1, el microprocesador revisa esta variable cada vez que se realizan exposiciones.



Orcad Express

**Figura 2.7** Circuito detector de fase.

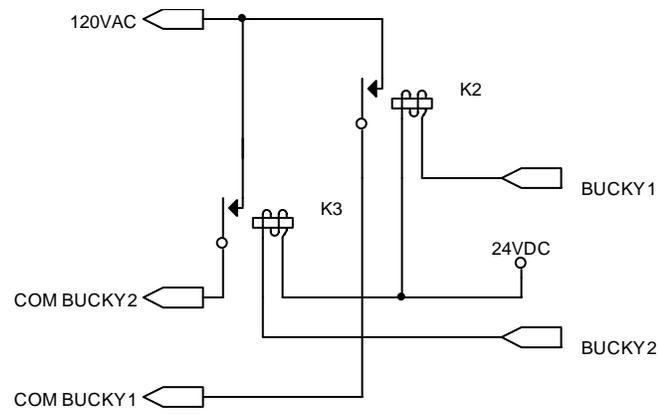
Por otro lado, cuando se da un disparo, fluye una corriente por el secundario del transformador conectado en las terminales M1 y M2, esta fluye a través de R22 y activa el opto acople, haciendo que XRAY-ON\* = 0. Si no hay corriente durante el ciclo de exposición, X-RAYON\* = 1, y se genera el error NO mA?. (figura 2.8)



Orcad Express

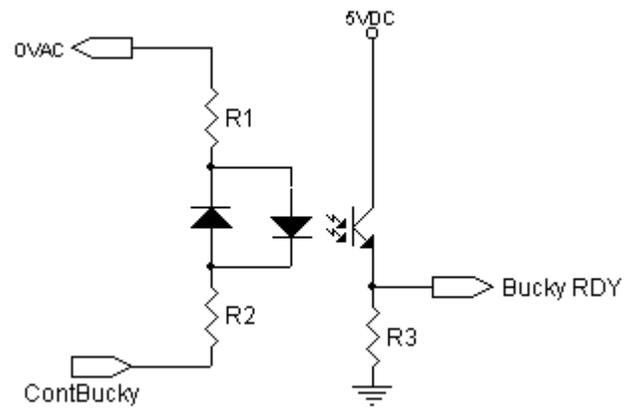
**Figura 2.8** Circuito detector de corriente.

Por último, el arranque de los Buckys se da al activar el contactor correspondiente. Al activar la señal Bucky1, el contactor K2 (figura 2.9) se cierra, permitiendo que 120VAC de alimentación se apliquen a COMBUCKY1. En el monitoreo se detecta la corriente de retorno de los 120VAC suministrados al Bucky seleccionado (figura 2.10), activándose la señal BUCKYRDY.



Orcad Express

**Figura 2.9** Control de selección de Buckys.

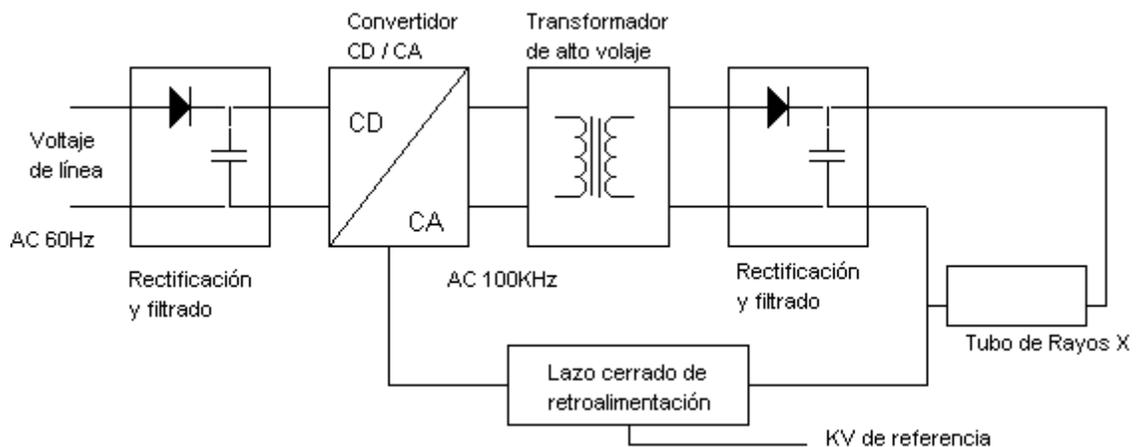


Orcad Express

**Figura 2.10** Circuito detector de Bucky.

## Control de KVP:

Para generar la alta tensión que se aplica al ánodo y cátodo, se rectifica la señal de entrada trifásica, que puede ser de 220VAC hasta 480VAC y 60Hz, se filtra para obtener una señal de CD con un porcentaje de ondulación de 3% a 5%; esta señal de CD se convierte de nuevo a corriente alterna con una frecuencia de 100KHz, se pasa por un transformador de alto voltaje, se rectifica y filtra de nuevo. Con este proceso se logra una alta tensión de CD con un porcentaje de ondulación de cero (figura 2.11).



Orcad Express

**Figura 2.11** Diagrama de bloques de la generación de alta tensión para el disparo de Rayos X.

Existe un módulo de control para el ánodo y otro para el cátodo, estos son iguales, por lo que el análisis se aplica para ambos. El control se da a partir del voltaje especificado por el usuario en el panel de control; el microprocesador principal coloca en el bus de alta frecuencia el código correspondiente al valor seleccionado, y éste se carga en el DAC U1 (ver anexo 4). El valor generado por el convertidor se compara con las señales +Vsense y -Vsense que son tensiones proporcionales a las tensiones los tanques de alta tensión.

La salida del comparador controla el oscilador de KVp, este a su vez controla un flip-flop (U6) que genera dos señales desfasadas 180° y dan los pulsos de disparo al monoestable U9. Estas señales controlan un par de *drivers* conformados uno por Q5, Q6, Q1 y Q2, y el otro por Q7, Q8, Q3 y Q4, estos generan la señal alterna que luego se amplifica. Durante un disparo, el microprocesador selecciona el pin 12 del decodificador U2, con una frecuencia de 400Hz, esta señal mantiene el monoestable U8 disparando, lo que habilita a U9, permitiendo la generación de Rayos X, si por alguna razón se detecta un error, la señal cesa y U9 se inhabilita, cortando así el disparo.

### **Control de filamento:**

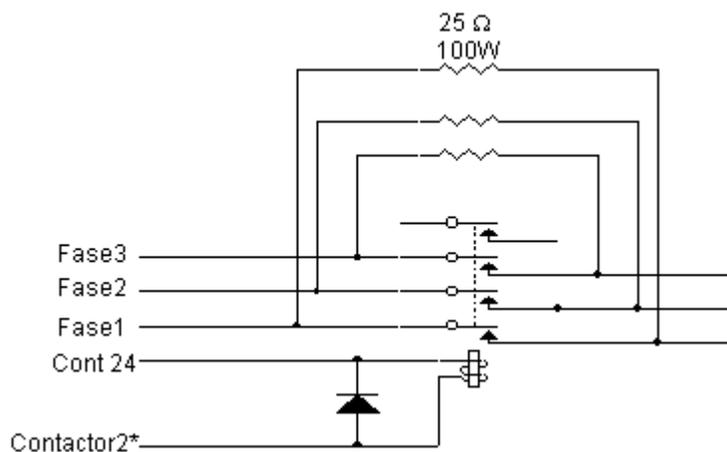
Al igual que el control de KVp el valor de corriente deseado se codifica y coloca en el HFB, y mediante el DAC U2 (ver anexo 5) se obtiene una tensión entre 0v y -5v proporcional a esta corriente. A esta tensión se le agrega un nivel de CD y se invierte con los operacionales del chip U3, la resultante se aplica a un modulador por ancho de pulsos cuya función es la de variar el voltaje medio en el filamento.

La señal del modulador controla un amplificador configurado como puente, el cual genera una tensión alterna balanceada que se aplica al filamento seleccionado. La tensión en las resistencias R12 y R13 es proporcional a la corriente que fluye por el filamento y se realimenta al modulador para cerrar el lazo de control. Esta señal es comparada además con una referencia de corriente máxima para prevenir corrientes excesivas.

En este módulo se selecciona también el filamento que se va a utilizar para la exposición, si se energiza el contactor K1 se da paso de corriente al filamento pequeño, de lo contrario se selecciona el filamento grande.

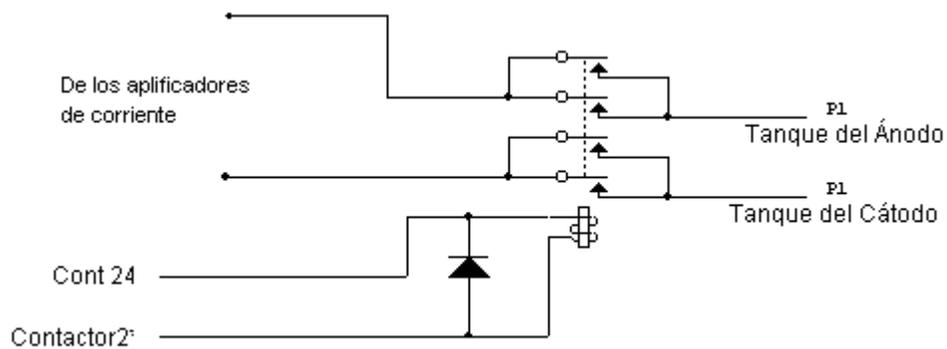
#### **2.1.2.2 Etapa de potencia**

Como medida de seguridad, se aíslan los amplificadores de corriente tanto la entrada como la de salida. En la entrada (figura 2.12), mientras los contactores estén abiertos, la corriente es limitada por las resistencias de respaldo, permitiendo la alimentación del resto de circuitos; en la salida (figura 2.13) las líneas que van de los amplificadores de corriente hacia los tanques de alto voltaje están totalmente aisladas. Al iniciarse el proceso de disparo, el microprocesador activa las señales CONTACTOR1 Y CONTACTOR2, que cierran los contactores permitiendo el disparo.



Orcad Express

**Figura 2.12** Control de contactores de respaldo en la entrada.



Orcad Express

**Figura 2.13** Control de contactores de respaldo en la salida.

## 2.2 Requerimientos de la empresa

Los principales requerimientos que solicitó la empresa en la realización de este proyecto son las siguientes:

- a. Se debe contar con un sistema mínimo, que permita realizar las rutinas de diagnóstico básicas al equipo de Rayos X, para ello, debe contar con la capacidad de detener el proceso del procesador principal del generador y de controlar los periféricos de este (específicamente los controladores de puertos PIA), para así tener acceso a todas las variables del sistema.
- b. Dicho sistema mínimo debe tener la capacidad de recibir comandos de ejecución de diagnósticos tanto por MODEM como por un puerto serie. Esto con la finalidad de poder llegar a realizar las pruebas desde la empresa (vía MODEM) o desde la misma sala de Rayos X, mediante un computador portátil.
- c. Se espera que dicho sistema mínimo pueda tener recursos disponibles para controlar otros periféricos, esto, por cuanto se espera que este sistema pueda llegar a realizar más adelante rutinas de diagnóstico más avanzadas, incluso que llegue a realizar monitoreos en forma paralela al funcionamiento del equipo de Rayos X, y que sea este sistema mínimo el que se comunique a la empresa para reportar una situación anómala.

### **2.3 Solución propuesta**

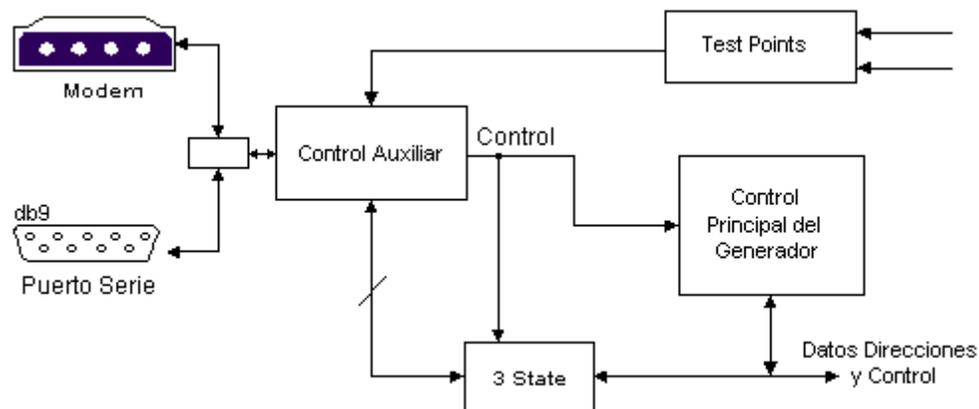
Se propuso como solución el desarrollo de un sistema mínimo (el cual se llamará de aquí en adelante como *Sistema de Control Auxiliar*), basado en un microcontrolador Motorola MC68HC912B32. Las características principales de este se discutirán en una sección posterior.

Las funciones principales que tiene a su cargo el sistema de control auxiliar son las siguientes, establecimiento de la comunicación, ya sea por puerto serie directamente hacia una PC o a través de un MODEM, interrupción del proceso del procesador del generador, toma de control de los buses de datos, dirección y control de dicho procesador y la ejecución de diversas rutinas de diagnóstico (las cuales son rutinas normales de operación, pero realizadas en forma aislada y bajo un estricto control en las fuentes de error posibles).

Las rutinas de diagnóstico que fueron llevadas a cabo son las siguientes:

- Prueba de contactores,
- Verificación de alimentación trifásica,
- Verificación de Buckys,
- Prueba del rotor y
- Ejecución de una exposición de Rayos X completa.

Para la comunicación con el sistema de control auxiliar, se aprovechará la interfaz serie asíncrona para que este pueda recibir órdenes mediante un puerto serie de una PC, además se utilizará un MODEM, para que desde la empresa se pueda establecer comunicación con el sistema por la línea telefónica. Este MODEM se comunica con el sistema de control auxiliar mediante el mismo puerto serie, aprovechando al máximo las características del microcontrolador. Para diferenciar el método de transmisión a utilizar se utilizó un interruptor externo (*jumper*), el cual, esta normalmente configurado para utilizar el MODEM. Un diagrama de bloques general, que describe el funcionamiento del sistema de control auxiliar se muestra en la figura 2.14.



**Figura 2.14** Diagrama de bloques general del sistema.

Para lograr lo anterior se requirió de un software de alto nivel, el cual permitió iniciar la comunicación, tanto por el puerto serie como por el MODEM de la PC, además de mostrar todas las posibles pruebas que pueden ser realizadas. Dicho software ya se estaba creado al iniciar pero fue necesario modificarlo para hacerlo compatible con el nuevo sistema de control auxiliar.

# **CAPÍTULO 3**

## **PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

Para llevar a cabo los objetivos específicos propuestos en la sección 1.3, fue necesario realizar una serie de tareas, las cuales serán comentadas a continuación:

Para las tareas iniciales propuestas fue necesario llevar a cabo una serie de estudios e investigaciones. En primer instancia, se procedió a conocer el equipo de Rayos X, marca *Bennett*, para lo cual se realizó una descripción detallada de cada uno de los módulos que lo conforman. Se utilizaron diversos recursos entre los que se pueden mencionar, el estudio de los manuales del equipo, diagramas esquemáticos, manuales de usuario (desarrollados en la misma empresa para los cursos que imparte a los usuarios) y a entrevistas con los ingenieros del departamento de servicio de la empresa, de estas últimas se obtuvo información de gran relevancia debido a la gran experiencia de este personal.

Con base en esta información, y con el afán de comprender mejor el funcionamiento del equipo, se procedió a la creación de un listado de las señales que utiliza el microprocesador para controlar cada una de las partes involucradas en la generación de Rayos X, así como a la creación de un diagrama de bloques que describiera la generación de Rayos X del equipo.

Sin embargo, las investigaciones no se enfocaron únicamente en la comprensión del generador de Rayos X, también se dedicó tiempo para estudiar el funcionamiento del microcontrolador que se utilizó. Para esto se contó con el manual de usuario de dicho  $\mu$ Controlador así como el apoyo del soporte técnico de los distribuidores de la tarjeta de desarrollo utilizada, ya que en algunas ocasiones se encontraron problemas que no venían especificados en dicho manual.

Para poder llevar a cabo una exposición completa de Rayos X, fue necesario encontrar los códigos binarios que son cargados en unos DAC's<sup>4</sup>, cuyas salidas son utilizadas para generar los valores de KVp y de corriente del filamento, este proceso se llevó a cabo en un equipo de Rayos X funcional, fue necesario tomar medidas de tensión en el punto de prueba 1 de la tarjeta de control del filamento (ver anexo 5) y en el punto de prueba 3 de la tarjeta de control de KVp (anexo 4), basados en estos valores se comenzó a insertar códigos binarios crecientes a los DAC's hasta alcanzar los valores medidos anteriormente, cuando este valor fue alcanzado ya tenía su equivalente en código binario.

Otra de las tareas llevadas a cabo fue el construir el hardware, como primer paso, se eligió la mejor ubicación de la tarjeta de desarrollo para que esta tuviera un fácil acceso hacia la interconexión con los buses de datos y dirección del controlador principal, con esto hecho, se procedió al alambrado de las bases y conectores. Además se trató que la ubicación del MODEM, junto con los componentes que requirió quedara lo más 'compacto' posible, para evitar un desperdicio de espacio.

Para la implementación del software básico del sistema auxiliar, se recurrió al análisis realizado a la tarjeta de control del generador al principio, con el fin de establecer cuales puertos de esta serán necesarios para el acceso a cada una de las señales de control. Después, se crearon las diferentes rutinas con las que se pudo efectuar la configuración de estos puertos. Después se procedió a crear las diferentes rutinas de diagnóstico basado en los diagramas de flujo creados para tal fin.

---

<sup>4</sup> DAC : Digital to analog converter / Convertidor digital a analógico.

Para realizar las mejoras al software de alto nivel en Delphi, fue necesario, en primer lugar, estudiar con detenimiento cada sección del programa, ya que no es posible mejorar aquello que no se conoce. Una vez realizado este completo análisis del software se realizó un resumen de los puntos altos del programa, y de sus flaquezas para tener más claro que secciones del programa era conveniente imitar y cuales debían ser mejoradas o incluso eliminadas. Con esta información se procedió finalmente a realizar las mejoras que fueran necesarias, pero gracias a esta información se contó con las herramientas necesarias para la creación de nuevos módulos para el programa, módulos que sirvieron para adaptar el programa al nuevo control auxiliar.

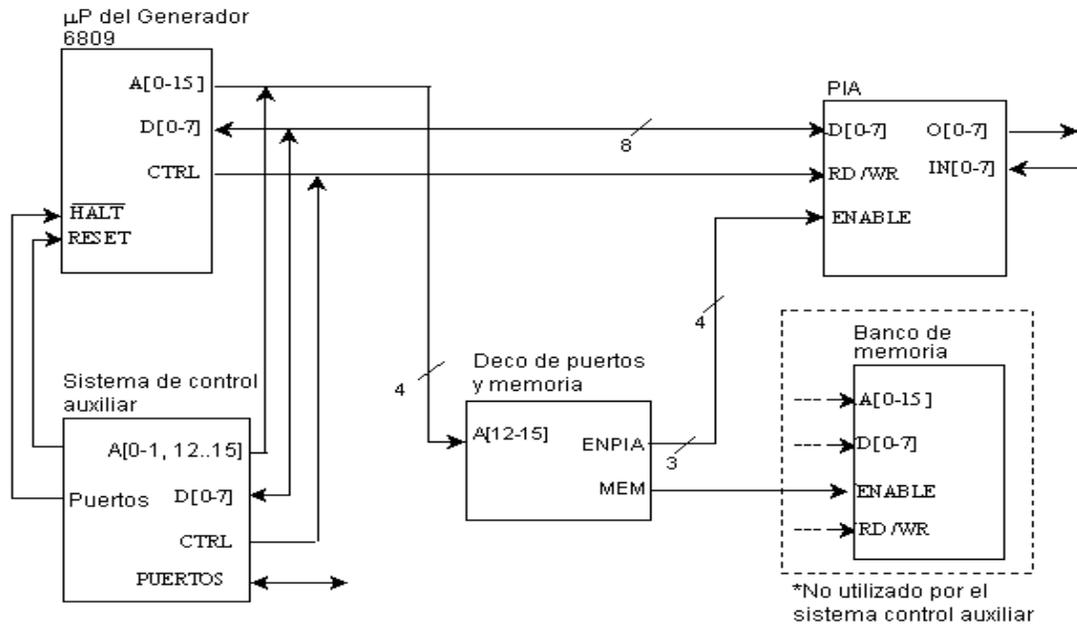
# **CAPÍTULO 4**

## **HARDWARE UTILIZADO**

El sistema auxiliar está comprendido básicamente por la tarjeta de desarrollo Motorola 912B32. La programación se realiza en lenguaje C desde una PC, el programa compilado se transfiere por medio del puerto serie principal a la memoria Flash EEPROM de la tarjeta, gracias a esto se evita la utilización de programadores de memoria externos.

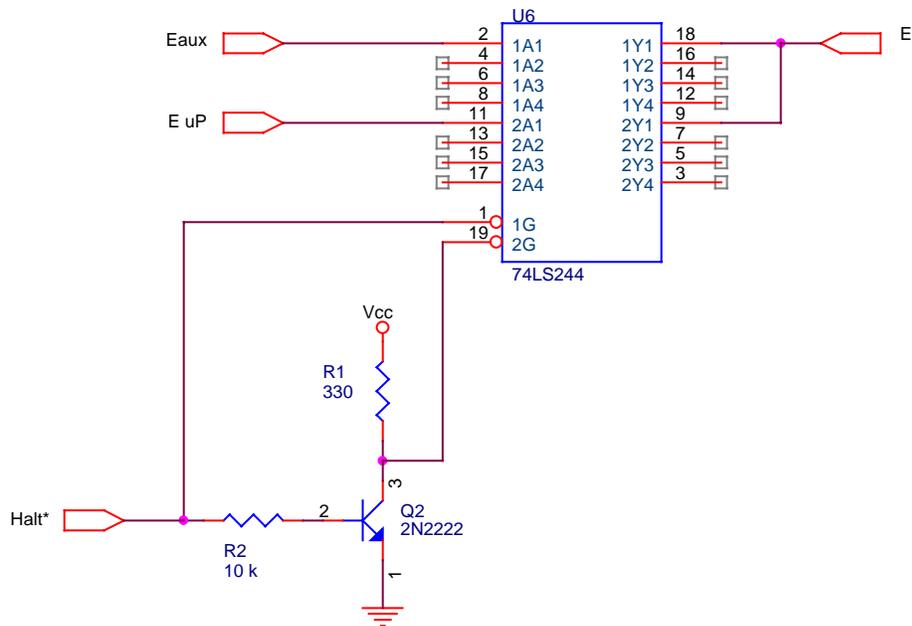
#### **4.1 Hardware adicional requerido para el Sistema Auxiliar**

La función del sistema auxiliar es tomar el control del generador de Rayos X cuando se realiza un diagnóstico remoto. Los comandos para la ejecución de las rutinas son enviados a través de la línea telefónica o puerto serie, En la figura 4.1 se muestra un diagrama general del controlador del generador de Rayos X, y la forma en que el sistema auxiliar toma el control. El acceso a los buses de datos, control y direcciones del generador se da mediante un módulo de expansión, esta es una pequeña tarjeta impresa que se coloca en sustitución del microprocesador principal, en ella se monta nuevamente dicho procesador, de esta forma se pueden conectar los buses con los puertos de entrada – salida del  $\mu$ Controlador auxiliar.



**Figura 4.1** Diagrama de bloques básico del controlador del generador BENNETT

El microprocesador del generador genera una señal denominada  $E$ , esta señal es utilizada en los procesos de lectura y escritura de los periféricos del sistema, por lo que es necesario generar dicha señal desde el sistema auxiliar, sin embargo, cuando el procesador pasa al estado de  $HALT$  (o detención), esta señal es la única que sigue activa, este inconveniente se soluciona con la lógica mostrada en la figura 4.2. Esta consiste de un buffer con dos controles de tercer estado (un 74LS244), de esta manera, cuando el sistema auxiliar se prepara para tomar el control activando la señal  $Halt^*$ , esta a su vez impide el paso de la señal  $E_{\mu P}$  del generador de Rayos X y permite el paso de su propia señal,  $E_{AUX}$ .

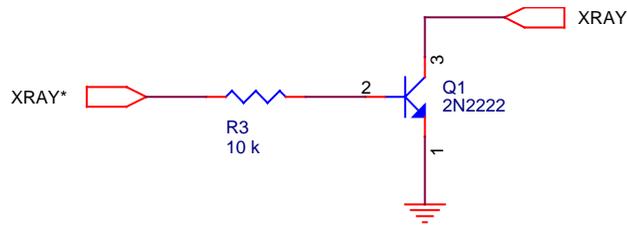


Orcad Express

**Figura 4.2** Generación de señal de sincronización.

Existe una señal necesaria para la generación de Rayos X, llamada  $XRAY^*$ , esta señal no es generada por el microprocesador, si no que se genera en el panel del operador en el momento que se desea llevar a cabo una exposición, ya que esta activa la fuente de tensión para energizar los contactores de respaldo. Como la idea principal es poder llevar a cabo pruebas y exposiciones vía telefónica, sin ninguna intervención de ninguna otra persona, es necesario generar esta señal desde el sistema de control auxiliar.

En la figura 4.3 se observa la forma en que se genera la señal  $XRAY_{AUX}$ , ya esta está conectada a la salida de un *driver* de colector abierto (pin 15 de U10, ver anexo 3), por lo que no afecta la conexión normal del dispositivo.



Orcad Express

**Figura 4.3** Control de señal XRAY.

Con excepción de las señales NMI\*, IRQ\*, FIRQ\*, BS, BA, XTAL, EXTAL\*, MRDY y Q del microprocesador, todas pueden tener acceso mediante los dos conectores, J1 y J2 del módulo de expansión, además se incluye la señal externa XRAY<sub>AUX</sub>.

En la tabla 4.1 y tabla 4.2 se indica el orden de bits en cada uno de los conectores J1 y J2.

**Tabla 4.1** Distribución de señales en el conector J1 del módulo de expansión.

Pin	Señal	Tipo
1	GND	-
2	-	
3	-	
4	XRAY <sub>AUX</sub>	Entrada
5	-	
6	-	
7	-	-
8 – 9	A[0 – 1]	Entradas
20	A12	Entrada

**Tabla 4.2** Distribución de señales en el conector J2 del módulo de expansión.

Pin	Señal	Tipo
1	HALT*	Entrada
2	-	-
3	E <sub>AUX</sub>	Entrada
4	RESET	Entrada
5	-	-
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	R/W*	Entrada
10 -17	D[0..7]	Bidireccional
18 – 20	A[13..15]	Entradas

#### 4.2 Tarjeta de desarrollo Motorola.

Las características principales del  $\mu$ Controlador Motorola son las siguientes:

- MCU12 de 16 bits,
- ALU de 20 bits,
- 32Kbytes de EEPROM Flash (2Kbytes protegidos para el *boot.*),
- 768 bytes de EEPROM,
- 1Kbyte de RAM,
- Temporizador,
- Interfaces de comunicación serie asíncrona,
- Hasta 50 líneas configurables como entrada – salida,
- Dos fuentes de interrupción externa y varias fuentes de interrupción internas.

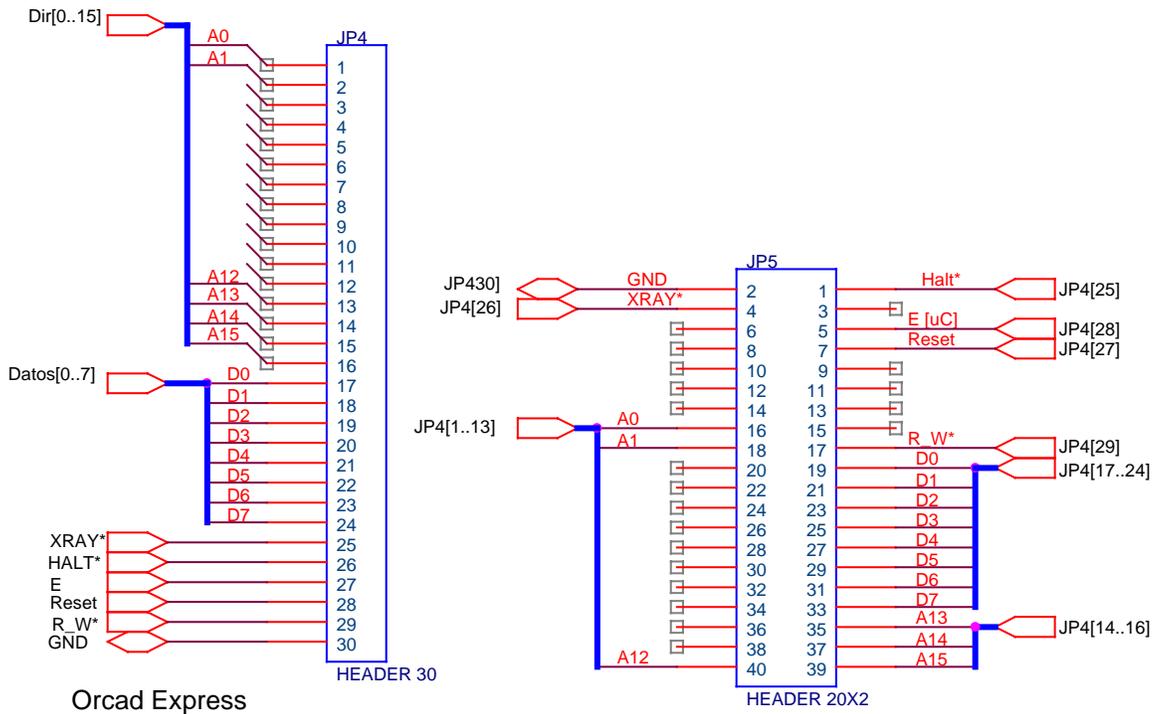
Los buses de datos, control y direcciones del generador de Rayos X son controlados por los puertos de entrada y salida del  $\mu$ Controlador 912B32, la asignación de dichos puertos a las diferentes señales se detallan a continuación en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Distribución de señales en los puertos de entrada - salida.

Puerto	Bit	Señales
A	0..7	D[0..7]
B	0 - 1	A[0 - 1]
	4..7	A[12..15]
E	2	R/W*
	4	E <sub>AUX</sub>
	7	DBE*
P	0	HALT*
	1	XRAY*
	2	RESET
	4	AD_INT
	5	AD_EXT
	7	Sel PSerie/Modem
AD	0..7	Entradas Digitales o Analógicas de redundancia.
DLC	0..5	Entradas o Salidas Digitales redundantes.

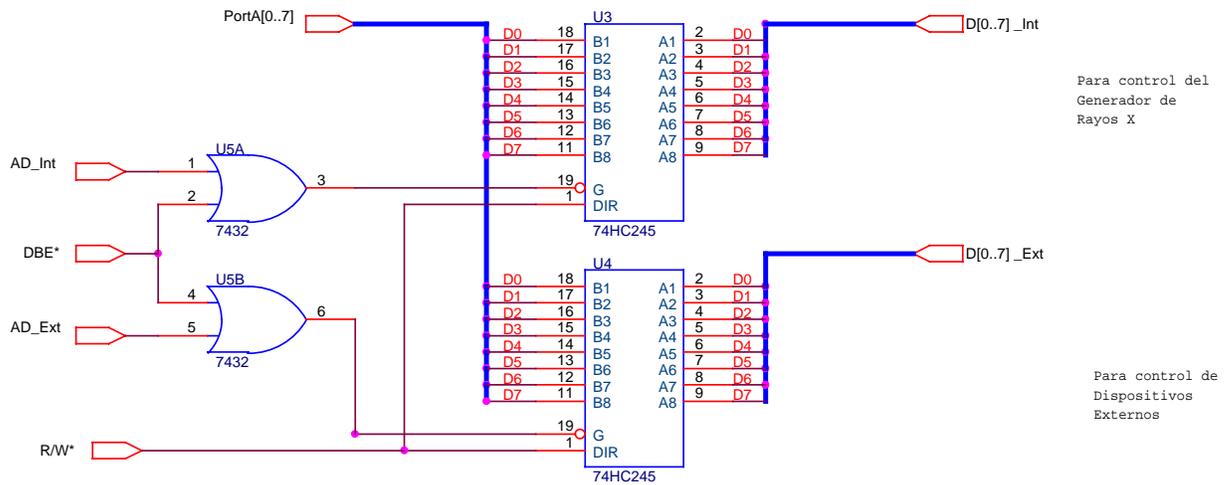
Durante la operación normal del equipo, el sistema auxiliar debe de estar aislado del controlador principal en el generador, por esta razón, los puertos que controlan los buses de direcciones, datos y control deben permanecer como entradas para evitar conflictos de choques de datos, y en modo de diagnóstico se programan como salidas aquellos que lo requieran.

La distribución de estas señales en los conectores que se comunican con la tarjeta de expansión se muestra a continuación.



**Figura 4.4** Distribución de los conectores con la tarjeta de expansión.

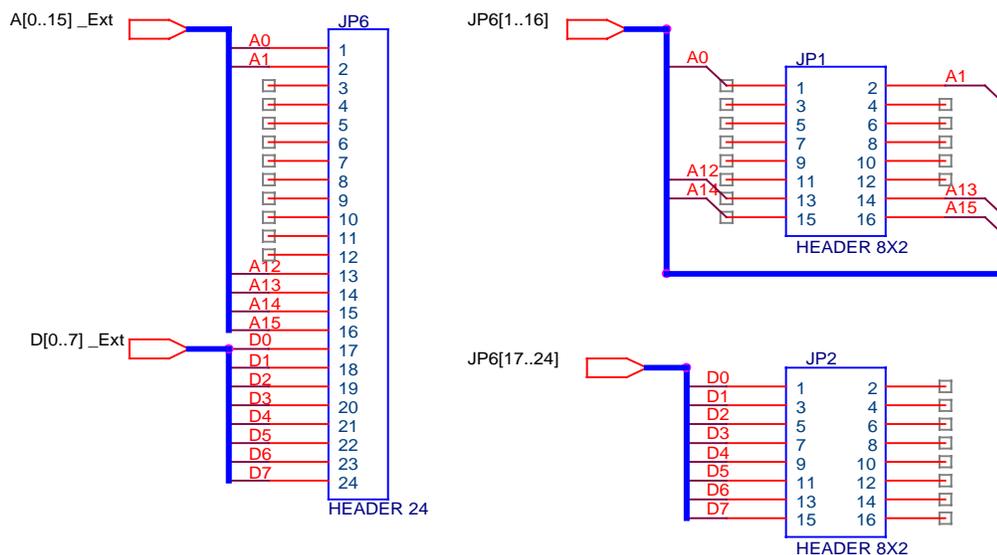
Las señales DBE\*, AD\_ INT y AD\_ EXT se utilizan para ‘cambiar la trayectoria’ del bus de datos, como se esta pensando en una futura expansión del sistema, el bus de datos puede llegar tanto a la tarjeta del generador como a algún otro dispositivo que se quiera conectar, para ello basta con ubicarlo en el mapa de memoria. El bus de datos pasa de la tarjeta de desarrollo hacia dos *transcievers*, la señal de habilitación del bus de datos (DBE\*) pasa a través de compuertas OR junto con las señales AD\_ INT y AD\_ EXT como se muestra en la figura 4.5.



Orcad Express

**Figura 4.5** División del bus de datos.

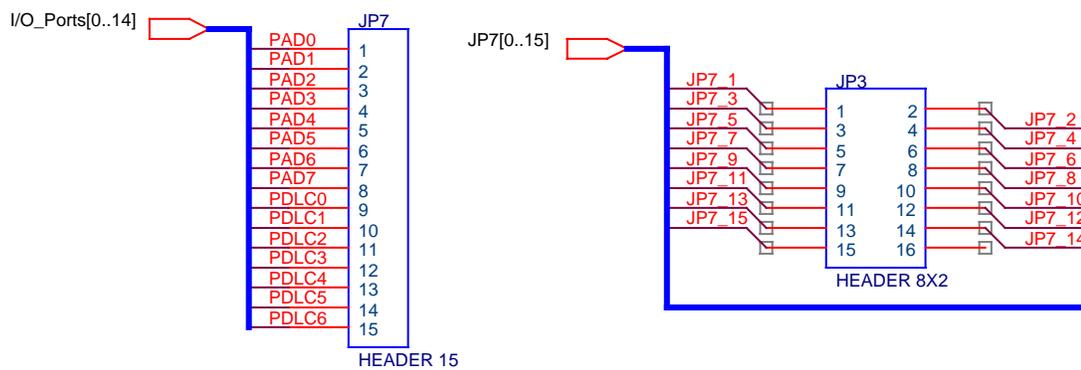
La distribución de los pines de datos y dirección para dispositivos externos se muestran en la figura 4.6.



Orcad Express

**Figura 4.6** Distribución de los pines de datos y dirección para dispositivos externos.

Además de tener la posibilidad de direccionar dispositivos mediante los buses de datos y dirección, también como opción para expansión los puertos AD y DLC. Para ello, estos puertos se encuentran alambrados hacia un conector, lo que se muestra en la figura 4.7.



Orcad Express

**Figura 4.7** Conexión de los puertos I/O adicionales

# **CAPÍTULO 5**

## **SOFTWARE DEL SISTEMA**

## 5.1 Software del sistema de control auxiliar.

Como se mencionó con anterioridad, el software del sistema auxiliar se desarrolló en lenguaje de programación 'C', con lo cual se dio una gran versatilidad al desarrollo del programa, además de su fácil programación, también se contó con la gran facilidad para bajar el software compilado a la tarjeta de desarrollo.

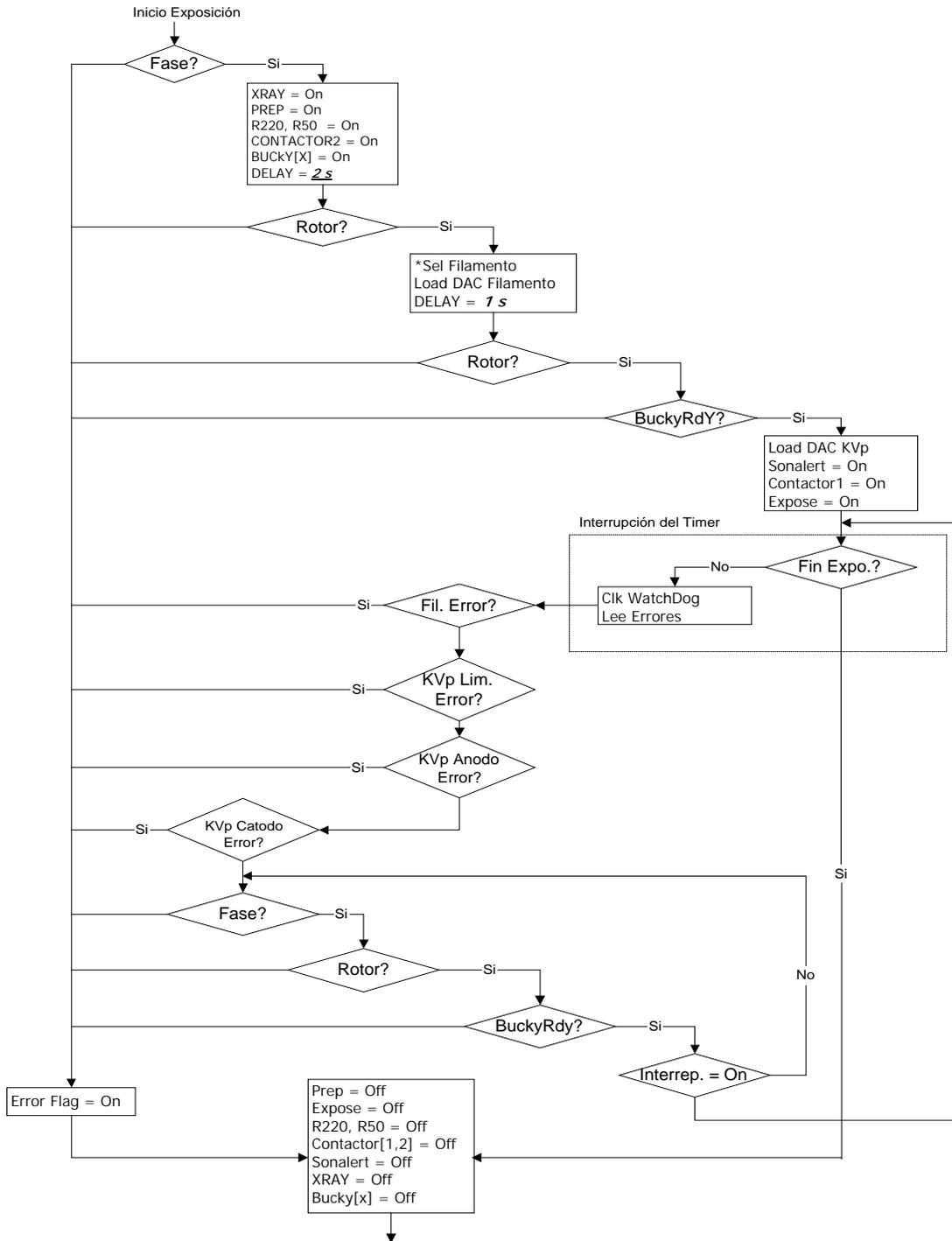
En el arranque, la tarea que se realiza es la de inicializar todos los puertos, configurándolos en primera instancia como entradas para que no interfieran con el proceso del generador, además, se configuran las diferentes funciones que estarán activas, tal como el *temporizador*, el puerto serie y finalmente la inicialización de las variables a ser utilizadas. Después de ello el micro realizará un chequeo del bit 7 del puerto P, el cual indica, mediante un *jumper* si se establecerá la comunicación por el puerto serie o por el MODEM. Una vez que esta verificación se haya llevado a cabo, si se desea cambiar el puerto de comunicación se deberá cambiar de posición el *jumper* y luego reiniciar al micro para que reconozca el cambio.

Una vez seleccionada la vía de comunicación, el micro se mantendrá en espera del comando de inicialización de diagnóstico. Cualquiera que sea la vía de comunicación que se haya elegido, la llegada de comandos se alertará por interrupciones al micro, con lo que la comunicación se vuelve más dinámica.

Este primer comando de inicio de diagnóstico, es el que prepara el camino para las rutinas de diagnóstico próximas a venir, ya que pone en estado de *Halt* al procesador de la tarjeta principal, configura los puertos para el diagnóstico y configura los PIA's de la manera adecuada. Una vez que esto haya finalizado el sistema de control auxiliar comunicará que se encuentra listo para recibir las órdenes de ejecución de diagnósticos, antes de que esto se dé, el sistema auxiliar deshabilita las interrupciones para evitar que se reciban nuevos comandos. Igual ocurrirá cada vez que se inicie un diagnóstico, no se recibirán nuevas órdenes, hasta que la acción actual no haya terminado.

### **5.1.1 Diagrama de flujo del disparo de Rayos X**

Basándose en el estudio del funcionamiento del generador de Rayos X se determinó la siguiente secuencia de eventos, necesarios para la generación de Rayos X, esta se detalla en el diagrama de flujo de la figura 5.1.



Visio 4.1

Figura 5.1 Diagrama de flujo para una exposición de Rayos X.

Conjunto a la iniciación de las diferentes variables se va revisando que cada uno de los dispositivos que se estén activando, realmente lo estén haciendo. Como primer paso, se comprueba que las condiciones para el disparo se den, la señal PHASE debe estar activa; posteriormente se alimenta el rotor activando las señales R220 y R50 para el arranque rápido, se comprueba mediante la señal ROTOR\* que esté girando, si no es así se genera un mensaje de error y se aborta el disparo. En este punto se activa la señal PREP y la señal XRAY\*, que energiza los contactores, y se activa la señal CONTACTOR2, además se activa el Bucky seleccionado.

Como siguiente paso, se selecciona el filamento que se va a utilizar (esto depende de la técnica de Rayos X que se este ejecutando), y se carga en el DAC su valor, esta es una de las primeras tareas que se deben realizar ya que el filamento debe estar caliente para poder disparar. En este punto se vuelve a revisar que el Rotor este girando (esta doble verificación es necesaria debido a que este utiliza un procedimiento de arranque rápido, primero con 220V y luego con 50V, y existe la posibilidad de que al pasar a 50V se dé un error).

Luego se revisa que el Bucky que se activó con anterioridad, lo haya hecho realmente, si es así, se coloca el código correspondiente al kilovoltaje a aplicar (también depende de la técnica a utilizar), se activa el CONTACTOR1 que acopla las salidas de los amplificadores de corriente con los tanques de alta tensión, se activa EXPOSE que indica en el panel de control que se está haciendo un disparo, ya que a partir de este momento se genera la señal de 400Hz que habilita la generación del kilovoltaje, se activa también la señal SONALERT que produce un sonido mientras se realiza la exposición.

La generación de la frecuencia de 400 Hz, se realiza mediante un temporizador, por lo que se genera una interrupción cada vez que este se desborda (cada 2.469 ms, aproximadamente), en la rutina de atención de dicha interrupción se genera el pulso de reloj, se leen las posibles fuentes de error de las tarjetas de control de KVp y filamento, y finalmente se revisa si ya se ha llegado al final de la exposición (el tiempo de duración depende de la técnica utilizada).

Cuando se termina con la atención de la interrupción se revisa si existen errores en las tarjetas de KVp o de filamento, en caso de no haber, el programa se mantendrá chequeando continuamente las variables PHASE, ROTOR\*, y BUCKYRDY, buscando otras posibles fuentes de error.

Si cualquiera de estas se da, se detiene inmediatamente el proceso, deshabilitando la interrupción del temporizador (cesando así la señal de 400Hz), y se apagan todas las señales que se habían activado.

### **5.1.2 Rutinas de diagnóstico.**

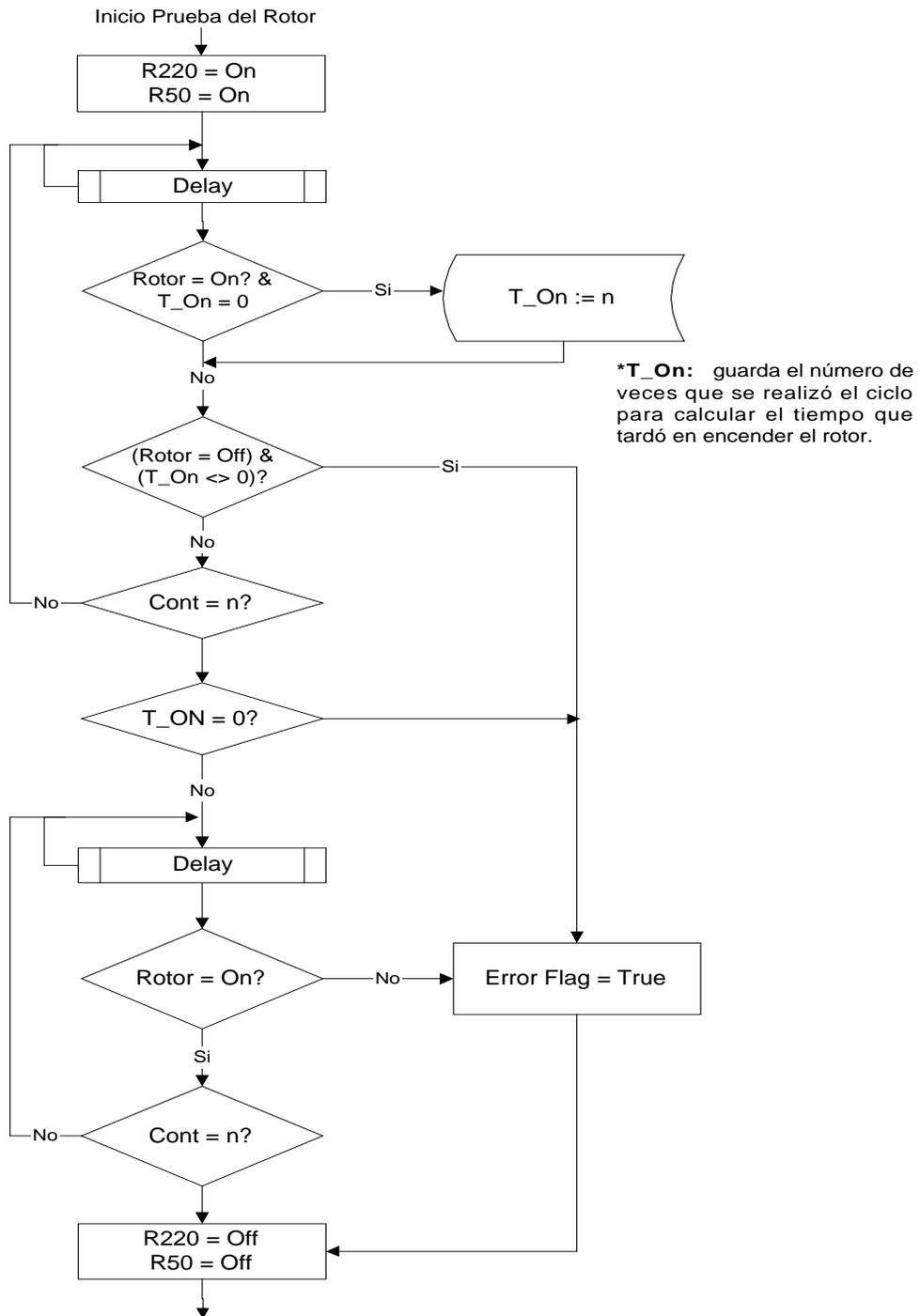
Las rutinas de diagnóstico son procedimientos o módulos individuales dentro del ciclo de disparo de Rayos X, que pueden ser ejecutados individualmente para comprobar el adecuado funcionamiento del equipo. Estos procedimientos son el encendido del rotor, encendido de los Buckys, encendido de los contactores, y verificación de fase.

### **Rutina de Rotor:**

Las pruebas de rotor se ejecutan con el fin de comprobar que el rotor del tubo gire durante un disparo de Rayos X. En la figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo de esta rutina de diagnóstico.

Como se puede observar, la rutina es bastante sencilla, enciende las señales R220 y R50, y luego chequea aproximadamente cada 20 ms si el rotor ya encendió, si es así, guarda en una variable el número de veces que el ciclo se repitió, esto para saber no solo que el rotor arrancó, si no también para saber cuanto duró en hacerlo. Este ciclo se repite durante un lapso de 2 s, una vez que el rotor haya encendido se mantiene preguntando (hasta cumplir con el tiempo establecido), si el rotor se ha apagado, si es así, genera un error indicando que este arrancó pero luego se apagó.

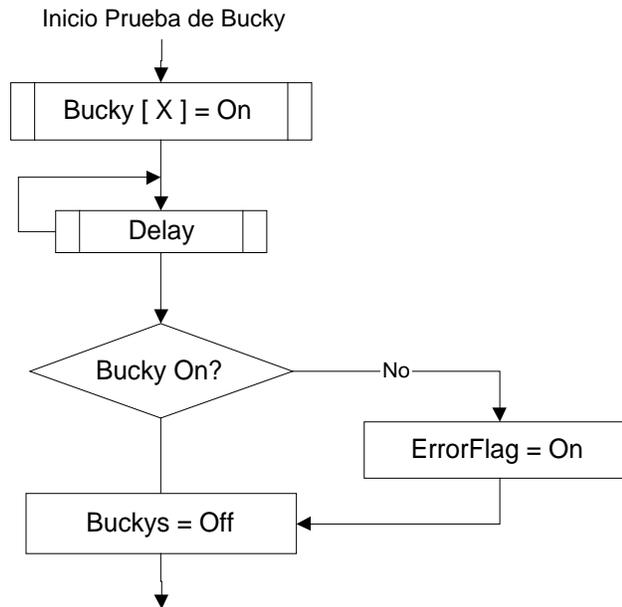
Una vez que termina este ciclo, se pregunta si el rotor nunca encendió, si esto ocurre se genera un error indicándolo, pero si no, continúa el programa entrando a otro ciclo de 3.5 segundos de duración, en donde pregunta continuamente si el rotor todavía se mantiene encendido, si se apagara generaría un error indicando que el rotor se apagó al pasar a 50V (la razón para que el primer ciclo dure 2 segundos es que ese es el tiempo que toma el sistema para pasar de 220V a 50V).



Visio 4.1

**Figura 5.2** Diagrama de flujo de la rutina de prueba del rotor.

## Rutina de prueba de los Buckys:

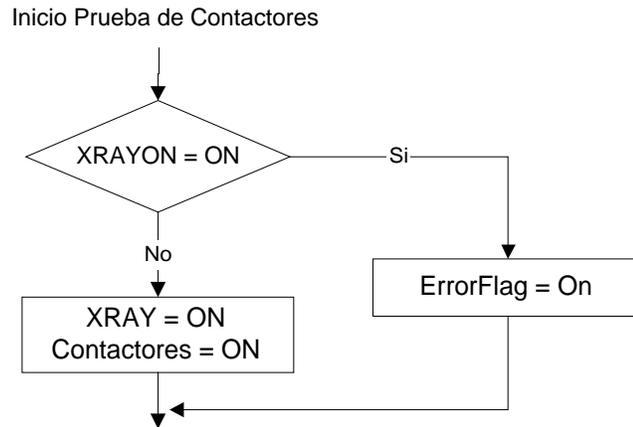


Visio 4.1

**Figura 5.3** Rutina de prueba de los Buckys.

Esta es la rutina que permite encender cualquiera de los Buckys, solo hay que indicarlo en el parámetro de entrada de la función, esta rutina simplemente activa el Bucky que se haya seleccionado, espera un tiempo de aproximadamente 5 segundos y luego verifica que la bandera de encendido de este (BUCKYRDY), se haya activado, si no es así activa la bandera de error con un código de error que indica esto.

## Pruebas de contactores:



Visio 4.1

**Figura 5.4** Procedimiento de prueba de contactores.

Esta rutina primero chequea que la señal XRAYON no esté presente, de ser así, existe la posibilidad de que se dé un disparo de Rayos X accidental, ya que cuando se activa la señal de CONTACTOR también se debe activar la señal XRAY\*, y así, se activan los contactores de respaldo, y el equipo está en posibilidad de generar Rayos X

Si esta señal está presente, se activa la bandera de error con un código específico y termina, de lo contrario los contactores se activan. Esta prueba requiere que alguien este presente en la sala de Rayos X, ya que no existe ninguna bandera o señal que indique si los contactores se activaron o no, esta persona debe cumplir dicha función al escuchar si los contactores entran y salen como debe ser.

### Rutina de verificación de fase:

Esta rutina chequea si la bandera de presencia de fase se encuentra presente, de no ser así activa la bandera de error correspondiente.

### Errores reportados por las rutinas de diagnóstico

Después de la ejecución de cada una de las rutinas de diagnóstico se almacena en una variable del sistema auxiliar el resultado de dicha prueba, esta se codifica según se muestra en la tabla 5.1 y se envía de retorno a la PC.

**Tabla 5.1** Errores reportados por las rutinas de diagnóstico y los valores de retorno a la PC.

Código de error	Valor Reportado	Significado
KV_XS	11	KVp. Excesivo
FIL_E	22	Error en filamento
KVP_CATODO	33	Error en Cátodo de fuente de KVp.
KVP_ÁNODO	44	Error en Ánodo de fuente de KVp.
FASE_E	55	No hay alimentación trifásica
BUCKY1_E	66	Bucky 1 no encendió
BUCKY2_E	77	Bucky 2 no encendió
BUCKY_EON	71	Bucky encendido antes de iniciar la prueba.
CONTACTOR_E	88	Señal XRAYON activa antes de activar contactor.
R220_E1	91	Error en Rotor. Nunca arrancó.
R220_E2	92	Error en Rotor. Arrancó pero se detuvo antes de pasar a la alimentación de 50V.
R50_E	95	Error en Rotor. Se detuvo al pasar a la alimentación de 50V.
PRUEBA_OK	05	Diagnóstico realizado con éxito.

### 5.1.3 Empleo del MODEM.

El sistema auxiliar utiliza un MODEM externo estándar para comunicarse, la comunicación entre el MODEM y el sistema auxiliar se realiza a través del puerto serie. Antes de utilizarse, el MODEM debe ser configurado mediante el uso de comandos AT, los comandos que se utilizan para dicha configuración son los siguientes:

```
AT&FX4&C1&D0&K0V1\V1S0=1
```

El comando *S0=1* indica que el MODEM responderá automáticamente al primer tono de llamada entrante, el comando *&K0* indica al MODEM que desactive el control de flujo entre el MODEM y la PC (el sistema auxiliar en este caso). El comando *&D0* indica al MODEM que ignore la señal RTS, el resto de los comandos AT se describirán en la sección 5.2.

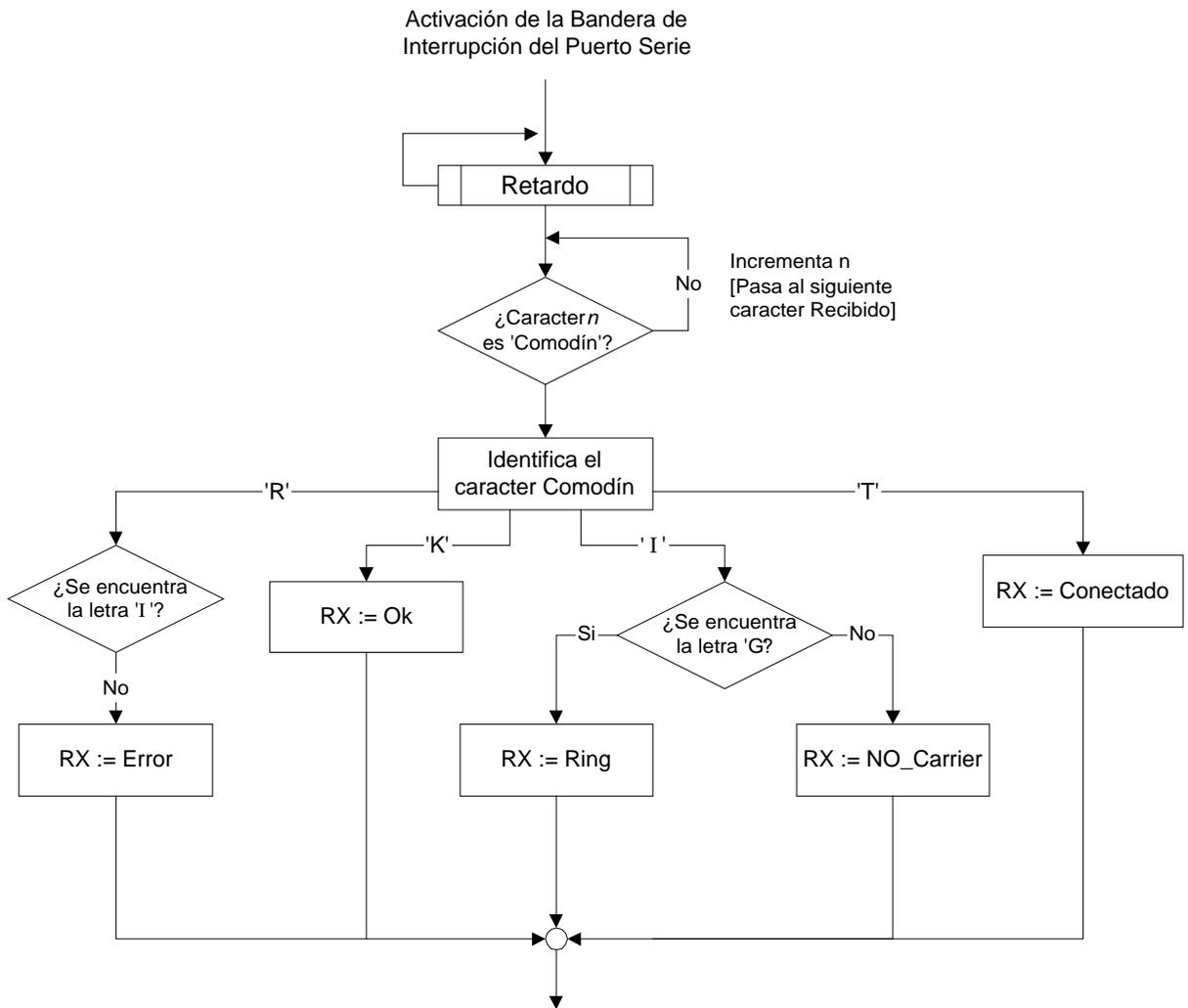
El MODEM envía diferentes mensajes en cada uno de los diferentes procesos que esta realizando, sin embargo, como el sistema auxiliar solamente esperará llamadas entrantes, estos mensajes se ven reducidos a la siguiente lista:

- CONNECT 9600,
- RING,
- OK,
- ERROR y
- NO CARRIER.

Para facilitar y agilizar el proceso de reconocimiento de estos mensajes por el sistema auxiliar se utilizó la idea del *caracter comodín*, esto significa que se realizó un análisis de los mensajes para buscar caracteres específicos que permitieran reconocer el mensaje completo. De esta manera, se encontró que con la letra **T** se puede identificar el mensaje CONNECT 9600 pues solo se presenta en esta palabra, de igual forma, con la letra **K** se identifica el mensaje OK. Para el resto de los mensajes se utilizaron dos caracteres para la identificación pues no tienen caracteres específicos que los distinguan. Así, con la letra **I** se puede descartar entre RING y NO CARRIER simplemente preguntando si está presente también la letra **G**.

Para el mensaje ERROR se pregunta por la presencia de la letra **R** y la ausencia de la letra **I**. Esta secuencia parece complicada pero en realidad es muy sencilla gracias a la estructura CASE del lenguaje de programación.

Lo anterior se describe en el diagrama de bloques de la figura 5.5. El procedimiento descrito en esta figura inicia en el momento en que la bandera de interrupción del puerto serie se activa, como se genera una interrupción para cada carácter recibido inmediatamente después de ingresar al procedimiento realiza un retardo de aproximadamente 1 segundo, mientras este retardo se ejecuta, finaliza la recepción del mensaje, el cual queda almacenado en el buffer de recepción, ya con todos los caracteres que conforma el mensaje guardados se deshabilita la interrupción del puerto serie y se procede a la identificación del mensaje. Este inicia con la búsqueda letra por letra del mensaje de un caracter comodín, si no se encuentra pasa a la siguiente letra, en caso contrario, ejecuta el código correspondiente para el comodín encontrado.



Vicio 4.1

**Figura 5.5** Diagrama de bloques de recepción de mensajes del MODEM

Una vez que se ha establecido la comunicación entre la PC (computadora personal, por sus siglas en inglés), y el sistema auxiliar el procedimiento tiene una estructura similar a la anterior, primero revisa que el caracter de comando de diagnóstico se encuentra en el mensaje (letra 'U'), de ser así realiza una búsqueda del caracter de comando y ejecuta el código correspondiente mediante una estructura de programación Case. Si el caracter de comando de diagnóstico no se encuentra, se ejecuta el procedimiento descrito anteriormente para determinar si es un mensaje de error procedente del MODEM.

## **5.2 Software de diagnóstico en alto nivel.**

El programa RxMax *Plus!* es la herramienta de software que se creó para realizar el diagnóstico remoto de los equipos de Rayos X, fue escrito en Delphi, un software de desarrollo basado en el manejo de eventos y objetos, los cuales facilitan la elaboración de aplicaciones en ambiente Windows. Su función es el establecer comunicación con el equipo ya sea mediante el uso de un puerto serie de la PC o mediante un MODEM, en cuyo caso se puede seleccionar el usuario al que se desea realizar diagnóstico desde la base de datos que este maneja. Una vez establecida la comunicación se pueden elegir las distintas rutinas de diagnóstico disponibles.

La primer tarea que realiza el programa es la de definir el medio con el que se establecerá la comunicación: el puerto serie o el MODEM, como se muestra en la figura 5.6 a continuación.



**Figura 5.6** Selección del medio de comunicación.

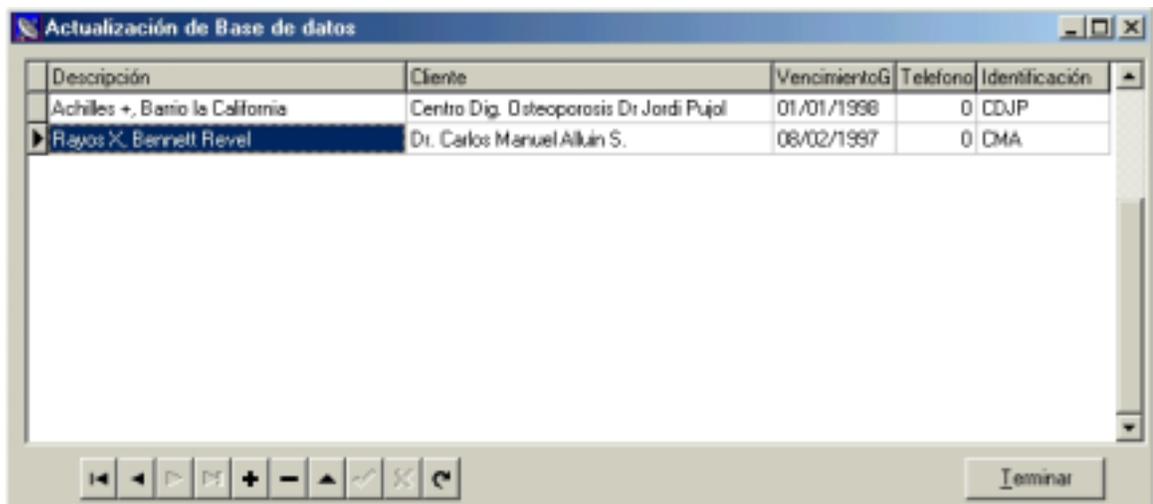
Una vez pasado esto se realizan varias operaciones básicas, se carga el archivo de configuración, la base de datos, y se inicializa el MODEM de la computadora personal. En el archivo de configuración se almacena la dirección del puerto donde se encuentra instalado el MODEM, que puede ser el COM1, COM2, COM3 o COM4; también se especifica si se debe marcar un número adicional para acceder a una línea externa, y cuál debe ser este número, esto en caso de estar trabajando con una central telefónica. Este archivo se llama RxDiag.cfg y debe estar en el mismo directorio en el que se encuentra la aplicación RxMax *Plus!*, si el archivo no existe, el programa no será capaz de iniciar un diagnóstico remoto, y se debe utilizar la opción de configuración, con la que se creará el nuevo archivo.

La lista de equipos disponibles para el diagnóstico se almacena en una base de datos donde se especifica su descripción, el cliente a quien pertenece, fecha de vencimiento de garantía (en caso de tener), número de teléfono para diagnóstico y su identificación. La estructura de esta base de datos se detalla en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Estructura de la base de datos

<b>N° Registro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tamaño</b>
1	Descripción	Alfabético	50 caracteres
2	Cliente	Alfabético	50 caracteres
3	Vencimiento de Garantía	Fecha	-
4	Teléfono	Numérico	-
5	Identificación	Alfabético	20 caracteres

Con la opción de cambio en la base de datos, accesible desde el menú principal, es posible modificar los registros, ya sea agregando nuevos equipos para el diagnóstico, eliminando los que ya no son necesarios o actualizando algún valor. En la figura 5.7 se muestra la ventana de actualización, para moverse dentro de la tabla y modificar los registros se utilizan los botones de la barra superior, estos indicarán su función colocando el puntero sobre alguno de ellos. La función de cada botón es, de izquierda a derecha, la siguiente: ir al primer registro, registro anterior, registro siguiente, ir al último registro, agregar registro, eliminar registro, editar registro, aceptar edición, cancelar edición, y actualizar base de datos.



**Figura 5.7** Ventana de actualización de la base de datos.

### Configuración del MODEM:

La iniciación del MODEM se realiza mediante los comandos AT, escribiendo la cadena:

```
AT&FX4&C1&D2V1\V1.
```

Con el comando *&F* se cargan la configuración por default de fábrica. Con *X4* se habilitan todas las señales de respuesta del MODEM para los diferentes eventos:

- *OK*: Para indicar que el comando fue interpretado correctamente.
- *CONNECT*: Cuando se establece la comunicación con el equipo remoto.
- *RING*: Cuando se detectan timbres en la línea (llamada entrante).
- *NO CARRIER*: Si al intentar establecer la conexión no hay señal de portadora.

- *ERROR*: Al encontrar un error en los comandos.
- *NO DIALTONE*: Al intentar marcar y no hay tono.
- *BUSY*: Al llamar y encontrar la línea ocupada.
- *NO ANSWER*: Cuando no recibe respuesta del equipo remoto.

Con *&C1* se activa la señal carry detect, cuando una señal de portadora está presente. *&D2* indica que el MODEM atiende la llamada, retorna al modo de comandos y se prepara para una operación asíncrona. Con *V1* los resultados serán recibidos en modo de texto y el comando *\V1* indica al MODEM que ponga los mensajes que envía en una sola línea.

Una vez realizada esta operación el usuario puede cambiar algunos parámetros en la comunicación. Como se muestra en la figura 5.8, se puede alterar el puerto en donde se encuentra instalado el MODEM, además, en caso de estar conectados a través de una central telefónica se puede tener acceso a la línea externa marcando un número específico.

La opción para contestar con un determinado número de tonos, se encuentra como prevista ante la opción que en un proyecto futuro el sistema auxiliar de diagnóstico sea quien realice una llamada indicando algún problema.



**Figura 5.8** Ventana de configuración.

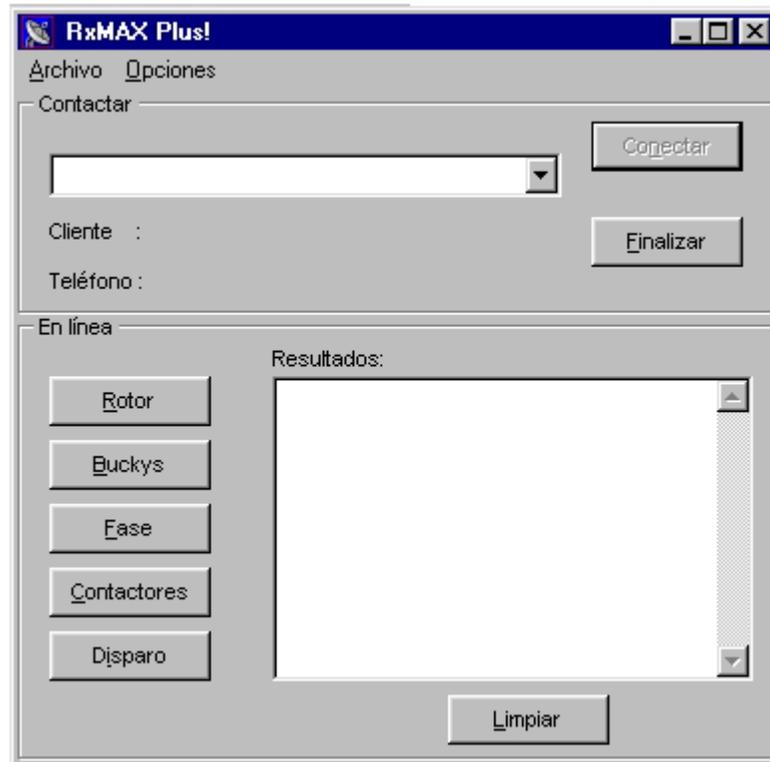
Cuando la comunicación se establece a través del puerto serie, la única opción disponible a cambiar en esta ventana es la dirección del puerto que se va a utilizar.

**Marcado:**

Cuando se va establecer una comunicación con el MODEM, el primer paso es elegir uno de los clientes en la base de datos, luego al presionar el botón 'Diagnosticar', se pasa al procedimiento encargado de la conexión. Lo primero que se verifica es que ya se haya entrado a la ventana de configuración al menos una vez, de no ser así se genera un mensaje de error indicando que este proceso se debe de llevar a cabo.

El siguiente paso es añadir al comando de marcado el número telefónico del equipo seleccionado, así como el número para línea externa si es necesario, y luego se entra al procedimiento de marcado. Este procedimiento envía al MODEM el comando ATDT<número> donde <número> indica el número telefónico a marcar; la letra T indica que se marcará con tonos. Si se debe acceder a una línea externa se envía entonces el comando ATDT<n>W<número> donde <n> es el número para acceder a la línea externa, y la letra W indica que el número telefónico se marcará cuando se tenga tono en la línea. Después del marcado, se espera la respuesta del MODEM y sólo cuando se establece la comunicación con el equipo remoto, se puede continuar.

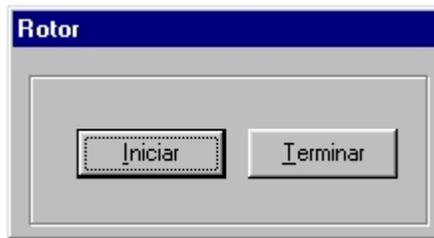
Cuando se establece la comunicación, se habilita la ventana de diagnóstico (figura 5.9), en la que se puede seleccionar la rutina que se desea ejecutar.



**Figura 5.9** Ventana principal en modo diagnóstico.

### **Opciones de diagnóstico:**

Con cada botón se accede a una nueva ventana donde se inicia y finaliza la rutina seleccionada. Con el botón Rotor, aparece la ventana de la figura 5.10, esta es una prueba sencilla, consiste solo en encender el rotor y esperar la respuesta del sistema auxiliar, mientras la prueba esta en ejecución el botón *Terminar* se inactiva para evitar que la ventana se cierre antes de que la prueba haya concluido.



**Figura 5.10** Ventana de prueba del rotor.

La ventana de verificación de fase tiene exactamente el mismo formato que la de revisión del rotor, ya que ambas pruebas son tan sencillas que no necesitan ningún elemento extra.

En la figura 5.11 se muestra la ventana de prueba de los Buckys, en esta ventana se debe de seleccionar primero cual de los Buckys se desea probar, hasta no hacer una elección el botón iniciar permanece inactivo para evitar el envío de comandos falsos al sistema auxiliar, al igual que en la prueba anterior (y que todas las demás), el botón *Terminar* permanecerá deshabilitado mientras dure la prueba.

La ventana de verificación de los contactores tiene las mismas características que la de revisión de Buckys, en ambos casos es necesario seleccionar entre uno de dos posibles opciones, en este caso, Contactor 1 o Contactor 2. Con respecto a la prueba de los contactores se debe de hacer una aclaración, ya que no existe ninguna señal que indique la activación o no de los contactores, esta prueba esta pensada para realizarse con la colaboración del técnico de Rayos X, presente en la sala, ya que la única forma de confirmar que los contactores hayan entrado o no, es escuchando el sonido característico que estos realizan al activarse.



**Figura 5.11** Ventana de prueba de los Buckys.

En la figura 5.12 se muestra la ventana de disparo de Rayos X, en esta se permite la elección de la técnica a utilizar (habrán tres técnicas diferentes), así como el Bucky que se desee utilizar durante la exposición, en caso de que se desee utilizar.



**Figura 5.12** Ventana de disparo de Rayos X.

Se debe indicar que todas estas pruebas tienen un sistema de seguridad en caso de que el sistema auxiliar se 'congele' por algún motivo, si después de 35 segundos de haber iniciado la prueba el sistema auxiliar no ha respondido, la prueba se cancelará y advertirá al usuario del error.

Cada prueba tiene su propio comando, para facilitar el reconocimiento de dichos comandos por el sistema auxiliar se utilizaron códigos alfanuméricos sencillos para componer estas órdenes.

El formato de los comandos enviados al sistema de control auxiliar es el siguiente (cada campo corresponde a un byte):

U	Cmd	Cmd	Dato1	Dato2	Dato3
---	-----	-----	-------	-------	-------

Donde:

U : Indica llegada de comando de diagnóstico.

Cmd : Comando a ejecutarse,

Dato[n] : Datos extra necesarios, como indicación de técnica o elección de Bucky.

En la tabla 5.3 se muestran todos los comandos que pueden ser enviados al sistema auxiliar, con su respectivo significado.

**Tabla 5.3** Comandos de ejecución de inicio, fin y rutinas diagnóstico

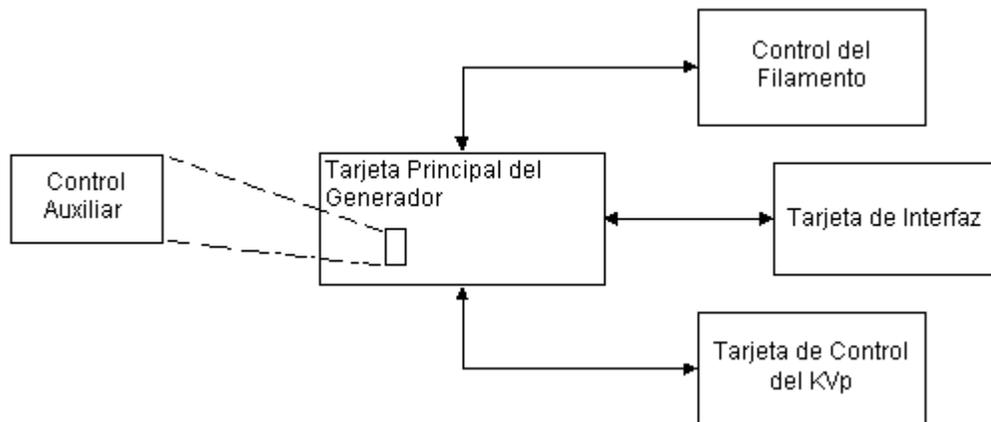
Nombre del Comando	Comando	Dato requerido		Descripción
Rotor	0	No		Revisa el rotor
Fase	1	No		Chequea presencia de fase
Bucky	2	6		Selección del Bucky 1
		7		Selección del Bucky 2
Contactador 1	4	No		Verifica contactador 1
Contactador 2	5	No		Verifica contactador 2
Inicio de diagnóstico	P	No		
Fin de diagnóstico	S	No		
		<b>t</b>	<b>Bucky</b>	
Exposición con técnica 1	A	X	6	Selección del Bucky 1 y tiempo de exposición.
			7	Selección del Bucky 2 y tiempo de exposición
Exposición con técnica 2	B	Y	6	Selección del Bucky 1 y tiempo de exposición.
			7	Selección del Bucky 2 y tiempo de exposición.
Exposición con técnica 3	C	Z	6	Selección del Bucky 1 y tiempo de exposición.
			7	Selección del Bucky 2 y tiempo de exposición.

**CAPÍTULO 6**  
**ANÁLISIS Y RESULTADOS**

## 6.1 Explicación del diseño

En la figura 6.1 se puede observar un diagrama de bloques muy general de las principales tarjetas del generador de Rayos X: la tarjeta del microprocesador, tarjeta de control de KVp, la tarjeta de control del filamento y la tarjeta de interfaz (ver anexos 3 al 6 para más detalles).

El sistema de control auxiliar desarrollado, se ubicaría en este diagrama dentro de la tarjeta principal del procesador, ya que en el momento en que este entra en funcionamiento, se convierte, en cierta manera, en el nuevo procesador central del generador, pues toma el control de todo el sistema mientras que el procesador principal queda suspendido. Lo mencionado anteriormente, es la forma más sencilla de explicar las funciones del control auxiliar, a continuación se realizará una descripción detallada de cada una de las partes que conforman al control auxiliar.



**Figura 6.1** Diagrama general de bloques

### **6.1.1 Hardware del sistema de control auxiliar**

El hardware utilizado consiste básicamente de tres partes, la tarjeta de desarrollo Motorola 912B32, el conjunto de dispositivos necesarios para funcionamiento y expansión de este último y el módulo de expansión.

#### **Tarjeta de desarrollo Motorola:**

La tarjeta de desarrollo Motorola es como un sistema mínimo para el procesador MC68HC912B32, ya que esta contiene el hardware necesario para realizar la programación del micro, para elegir entre modo programación o modo operación, así como los componentes básicos necesarios para que el micro funcione correctamente.

#### **Hardware adicional:**

En su mayoría el hardware adicional se utilizó para realizar una expansión del bus de datos, pensando en una ampliación futura del sistema, como se observa en la figura 4.5, este consistió en utilizar dos *transcievers*<sup>5</sup>, de esta manera se pueden direccionar los datos hacia la tarjeta del generador de Rayos X o hacia algún dispositivo externo que se pueda llegar a utilizar. Para distinguir entre cual de los dos será utilizado, la señal DBE\* (habilitación del bus de datos, por sus siglas en inglés), se da a través de compuertas 'O', así se puede inhibir uno de los dos mediante la activación o no de las señales AD\_INT y AD\_EXT, donde una señal será siempre la inversa de la otra con tal de evitar choque en los buses.

---

<sup>5</sup> Transcievers: dispositivos capaces de transmitir y recibir datos por el mismo canal.

A través del conector JP5, mostrado en la figura A.1 del apéndice 1, se realiza la interconexión con el módulo de expansión y a través de este, con la tarjeta de control del generador de Rayos X. En la figura 4.4 se puede ver la distribución de las señales de dicho conector. Como se observa en esta figura y se detalla en las tablas 1 y 2, solo se utilizan las líneas de dirección A[0 – 1] y A[12..15]. Esto se explica fácilmente con la ayuda del esquemático mostrado en el anexo 3, para utilizar los PIA's sólo se requieren las líneas que se utilizan en el decodificador de memoria y puertos U8 (A[12..15]) y las líneas de configuración de los PIA's U5, U6 y U7 (A[0 – 1]). Ya que el sistema auxiliar no tendrá acceso a las memorias del sistema las demás líneas no se requieren.

En la figura 4.6 se puede ver la distribución de señales de los conectores JP1 y JP2, estos son los conectores que se dispusieron para el uso de dispositivos externos.

La otra parte de hardware que fue necesario adaptarle al sistema fue un Maxim RS – 232, (U7 de la figura A1 del apéndice 1), ya que el puerto serie del microcontrolador trabaja con niveles lógicos TTL y es necesario convertirlos al estándar RS – 232 para poder establecer comunicación con cualquier dispositivo.

### **Módulo de expansión:**

El módulo de expansión (figura A.2, apéndice 1), es necesario para poder acceder a los buses de control, datos y dirección del procesador del generador de Rayos X, esto se logra a través de los conectores J1 y J2 de este módulo, las señales presentes en estos conectores se pueden ver en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente. Además de lo anterior, en este módulo se encuentran ubicados dos elementos importantes en el funcionamiento del sistema.

El primero de ellos es un buffer de 3<sup>er</sup> estado con control independiente de alta impedancia, este permite separar la señal de sincronización del procesador principal del generador ('E<sub>μP</sub>'), con la señal de sincronización procedente del sistema auxiliar de control ('E<sub>AUX</sub>'), como se puede observar en la figura 4.2. Esto se debe a que cuando el procesador del generador pasa a estado *HALT* la señal E<sub>μP</sub> se sigue generando, y como los procesos de escritura/lectura a los PIA's deben estar sincronizados con esta señal, es necesario aislarla y generar una señal propia de sincronización. Esto se logra utilizando la misma señal de *HALT* aplicándola al control 1 de alta impedancia del buffer, luego invirtiéndola a través de Q2 y pasándola al otro control de alta impedancia. De esta manera, aunque ambas señales estén presentes, solo una de ellas pasará a la tarjeta de control del generador de Rayos X. Una característica importante de este sistema es la independencia del control auxiliar, ya que si se desea eliminar por algún motivo este último (removiendo la faja de datos), el control de tercer estado, en ausencia de la señal de *HALT* seguirá permitiendo el paso a la señal E<sub>μP</sub>.

El segundo elemento es la presencia en este módulo del control de la señal XRAY\* para la activación de los contactores, se muestra en la figura 4.3. El cual consiste en un transistor (Q1), cuyo colector se conecta a la salida del buffer que controla XRAY\* en la tarjeta de control del generador (ver U10, anexo 3).

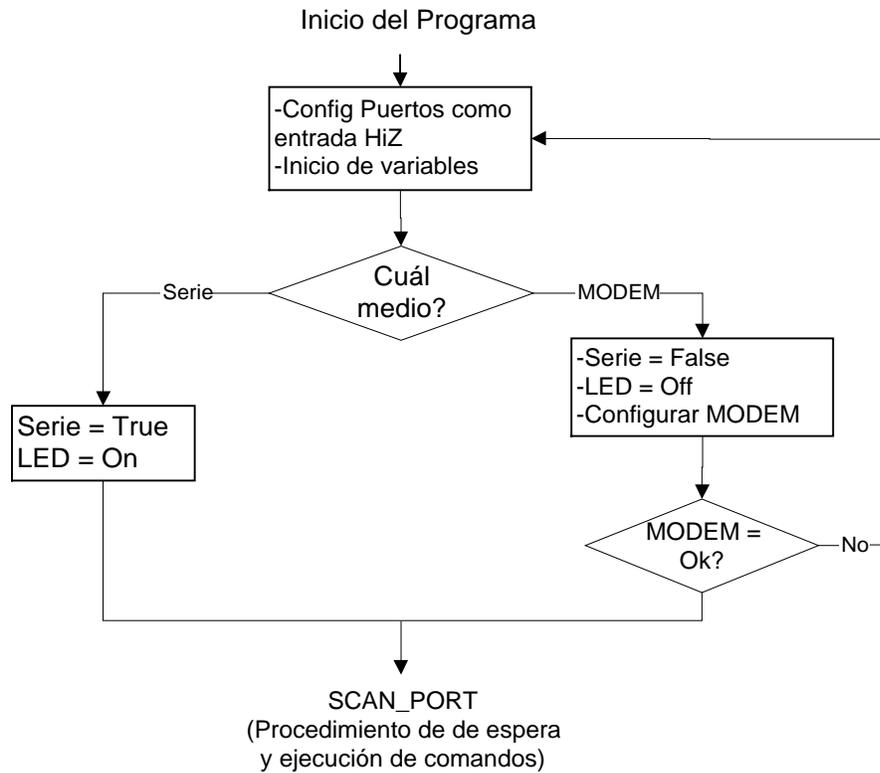
### 6.1.2 Software del sistema auxiliar

El software del sistema auxiliar se desarrolló en lenguaje "C", el cual es un lenguaje de programación de alto nivel, lo cual brindó una gran facilidad de programación, además de permitir el desarrollo de un programa muy potente con pocas instrucciones. Se utilizó además un compilador especial para convertir este programa en lenguaje de máquina para la serie HC12 de Motorola, este programa se llama ICC (*ImageCraft IDE*).

Las rutinas de iniciación y control del sistema auxiliar son fundamentales, ya que cuando el sistema auxiliar arranca, ya el generador de Rayos X estará en operación, por lo que se cuidó que ninguna señal entrara en conflicto con el procesador del generador principal durante el proceso de iniciación del sistema. En este sentido se obtuvieron excelentes resultados, en primer lugar porque una de las características que posee el microcontrolador del sistema auxiliar (912B32 de Motorola), es que después de un *Reset* todos sus puertos quedan configurados como entradas de alta impedancia, lo que fue una gran ventaja.

El diagrama de flujo del programa principal se observa en la figura 6.2, el primer paso que se realiza es el configurar, directamente, los puertos como entradas, solo por aspectos de seguridad, además de la inicialización de variables. Después de esto, se realiza la verificación del Puerto P (bit 7), al cual está conectado el *jumper* de selección entre comunicación directa a la PC o comunicación a través del MODEM. Dado que en ambos casos se establece la comunicación por el puerto serie del sistema auxiliar, los procedimientos de reconocimiento de caracteres y ejecución de comandos son idénticos, la razón por la que se debe de establecer dicha distinción es para realizar la configuración del MODEM y la espera de la llamada, ya que estas son características propias del MODEM.

Continuando en el diagrama, se observa que en caso de que el MODEM no se haya configurado correctamente, el programa volverá al inicio, reconfigurando los puertos y reiniciando las variables.



Visio 4.1

**Figura 6.2** Diagrama de flujo del procedimiento de inicio del sistema auxiliar

El procedimiento que se ejecuta inmediatamente después de la inicialización de variables, puertos y MODEM, se llama *SCAN\_PORT*, este procedimiento realiza la espera de llamada (en caso de utilizar el MODEM), y luego permanece en espera de comandos, sin embargo, ningún comando recibido (intencional o debido a algún ruido en la línea), tendrá efecto alguno, hasta que el comando de inicio de diagnóstico se reciba, es en este momento, que el control auxiliar toma posesión del equipo de Rayos X para la realización de los diagnósticos.

En lo que respecta a la comunicación con el software de diagnóstico, desarrollado en Delphi, se atiende mediante la interrupción del puerto serie del sistema auxiliar, esto permitió aprovechar mejor los recursos del sistema, ya que este reacciona en el momento que llegan los comandos.

El software de diseño de tal forma, que el reconocimiento entre los comandos de diagnóstico y los mensajes del MODEM se puede realizar con solo revisar el primer caracter de la palabra recibida, en los comandos de diagnóstico se utilizó como encabezado, un caracter que no estuviera presente en ninguno de los posibles mensajes que provienen del MODEM.

Lo anterior fue necesario como medida de seguridad, ya que una vez establecida la comunicación a través del MODEM, es factible que la llamada se corte, con lo que el MODEM responderá con el mensaje *NO CARRIER*, si solo se esperaran comandos de diagnóstico después de establecer la comunicación, no se podría determinar el corte de la llamada.

### 6.1.3 Software de diagnóstico

Para realizar con mayor eficiencia y facilidad la comunicación con el MODEM y con el puerto serie para el envío de comandos e información, se utilizó una unidad llamada ComPort (adicional al Delphi), que contiene funciones específicas para manejo del puerto serie (un MODEM se controla a través de un puerto serie). Con las funciones *ReadString* y *WriteString* se pueden leer y escribir, respectivamente, cadenas de caracteres del puerto serie, entonces, por ejemplo, para marcar un número telefónico bastará con la instrucción *WriteString('ATDT2530389',+#13)*, y para enviar un comando al sistema auxiliar se escribe *WriteString('U00'+#13)*. El #13 es el caracter de *enter*, y es necesario para que el MODEM reconozca que se está enviando un comando.

En la lectura de datos provenientes del MODEM se utiliza el evento *RxChar* también de la unidad ComPort. Cada vez que se detecta un dato en el buffer de recepción se ejecuta este procedimiento, y con la instrucción *Línea := ReadString* se almacena en la variable *Línea* el dato que llegó al puerto.

Debido a que el puerto utilizado por el MODEM difiere, o más bien, debe diferir del otro puerto serie, se utilizaron dos objetos ComPort en el programa, de esta forma los puertos se manejan en forma independiente uno del otro.

## 6.2 Alcances y limitaciones

El proyecto quedó en un punto en el que los objetivos propuestos se alcanzaron en su totalidad, haciendo hincapié, en que fue necesario modificar uno de estos para poder llegar a los resultados esperados. Pese a ello, es posible el establecer comunicación con un equipo de Rayos X, vía MODEM o puerto serie, y llevar a cabo las rutinas de verificación de Buckys, contactores, alimentación trifásica y rotor, que permiten determinar del estado del equipo.

El objetivo modificado fue el de la utilización del MODEM, según este, se debía de utilizar un chip MODEM para establecer la comunicación, sin embargo, debido a factores externos, tal como la dificultad para conseguir estos chips, el escaso conocimiento del proceso de *handshaking*<sup>6</sup> y el poco tiempo que se contó en esta etapa del proyecto, no fue posible la utilización de este componente. Para poder solventar esta situación se utilizó un MODEM externo estándar de PC, el cual es fácilmente controlado mediante la utilización de comandos AT.

---

<sup>6</sup> Procedimiento estándar para llevar a cabo una conexión por MODEM.

Por otro lado, el software que se desarrolló para el Sistema de Desarrollo Motorola, llenó a plenitud las expectativas creadas, ya que una de las características esperadas para este, es que existiera la posibilidad de robustecerlo, agregándole nuevas características. El software que se creó ocupó tan solo 4.1 Kb de los 30 Kb disponibles para programa en el microcontrolador, además, se utilizaron menos de 100 bytes de RAM (de 1 Kb disponible) y quedaron aproximadamente 20 líneas de puertos disponibles (8 líneas de entrada digital o entrada analógica y 12 líneas configurables como entrada o salida). Lo anterior sumado a la estructuración con que se realizó el programa en lenguaje "C", deja más que sobrado al microcontrolador para las nuevas funciones que se le quisieran agregar.

**CAPÍTULO 7**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Conclusiones

De acuerdo a las diferentes etapas que fueron cubiertas en el proyecto de graduación y las actividades que se realizaron, se pueden considerar las siguientes conclusiones:

- Es posible realizar diagnósticos individuales a cada uno de los módulos que conforman el generador de Rayos X.
- Durante el periodo de generación de Rayos X, debe de limitarse el número de revisiones en los errores para evitar falsas lecturas.
- Para llevar a cabo una exposición de Rayos X, es necesario que el sistema auxiliar active la señal XRAY\*, ya que esta señal normalmente se activa en la consola del operador.
- Si se desea realizar una exposición de Rayos X con el sistema auxiliar, el generador debe haber estado encendido durante al menos media hora antes.
- Fue necesario desarrollar un *método seguro* de recepción de comandos, para evitar que el sistema reaccionará ante ruidos en la línea.
- Al iniciarse la comunicación vía MODEM no se le deben enviar comandos a este, hasta haber pasado al modo de transferencia de datos.
- La velocidad de comunicación con el sistema auxiliar debe ser de 9600 baudios, sin importar que sea por el MODEM o directamente por el puerto serie.

- Una vez terminado un diagnóstico con el MODEM (y terminado la comunicación), se debe esperar al menos 2 minutos antes de iniciar una nueva conexión, para dar tiempo al MODEM de que reinicie.
- Si se realizó una exposición de Rayos X en el último diagnóstico, se debe de esperar al menos 10 minutos antes de realizar otra exposición, para prevenir el sobrecalentamiento del equipo.

## Recomendaciones

Para una futura continuación de este proyecto será necesario que se tomen en cuenta ciertas recomendaciones:

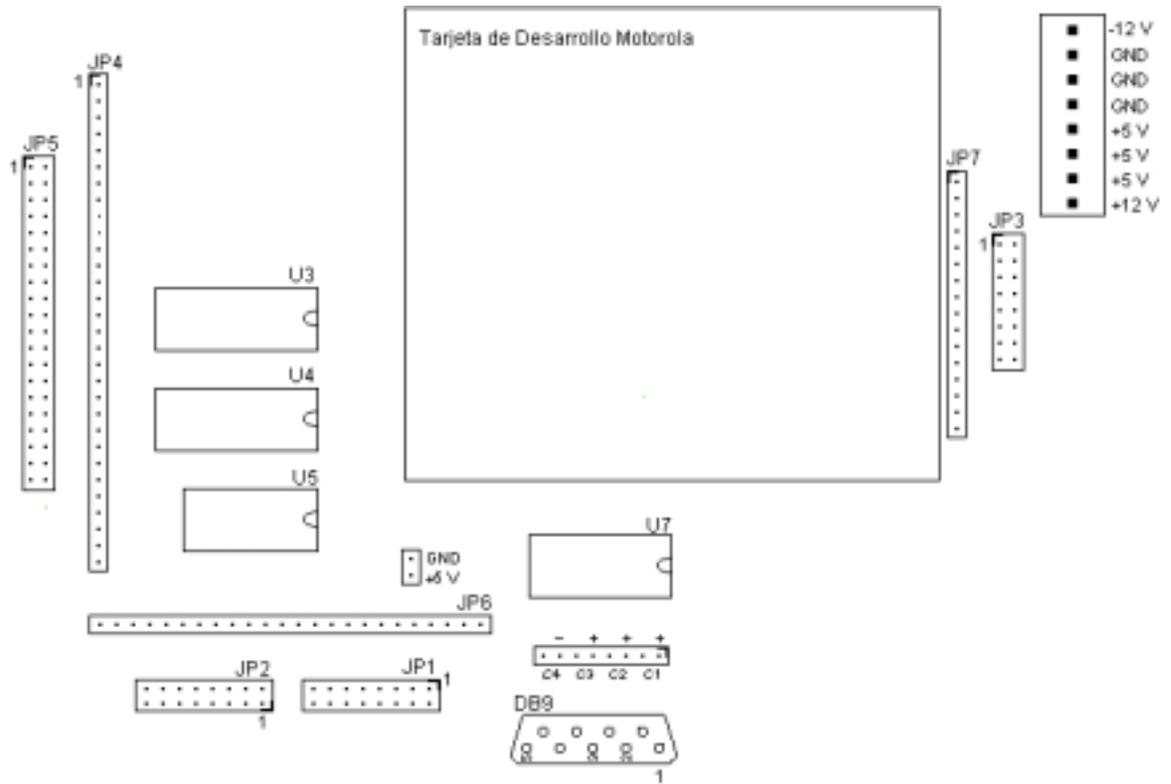
1. Después de realizar una exposición de Rayos X, es recomendable esperar al menos 10 minutos antes de repetirla, para evitar un sobrecalentamiento. En operación normal el panel del operador muestra el valor de KHU (kilo unidades térmicas), el cual es un valor calculado por el sistema de la temperatura del tubo de Rayos X, debido a que al iniciar un diagnóstico (y al finalizarlo) es necesario aplicar un *reset* al controlador principal, este valor se pierde y si se realizan disparos podría darse un sobrecalentamiento.
2. Cuando se realiza un diagnóstico no debe haber personas extrañas en la sala de Rayos X, ya que al estar revisando el equipo en forma remota, no es posible saber si la sala esta vacía antes de realizar una exposición de Rayos X.
3. Para alcanzar la optimización del sistema actual, en términos de espacio, será necesario descartar el MODEM externo para utilizar el chip MODEM, esto minimizará la cantidad de espacio físico requerido para el sistema de diagnóstico. De igual forma se disminuirían los costos de fabricación total así como el uso de la energía.
4. Es sumamente importante que sea tomado en cuenta el hecho que la memoria Flash del microcontrolador del sistema auxiliar tiene una vida útil garantizada por Motorola de 100 procesos completos de escritura/ lectura, por lo que debe de minimizarse al máximo la cantidad de programaciones que se realicen.

## **BIBLIOGRAFÍA**

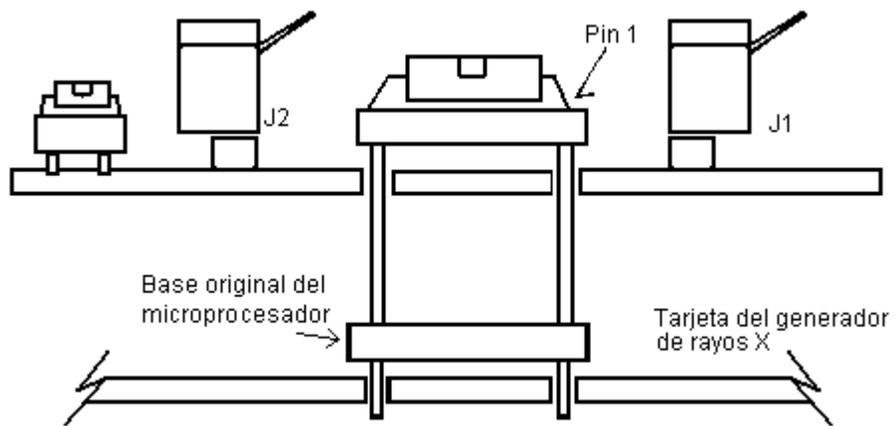
- Gottfried, B. "*Programación en C*", 2ª Edición. España, 1997. Serie Schaum McGrawHill.
- Miller, G. "*Delphi para programadores*", 1ª Edición. España 1996. McGraw Hill.
- Techno Med. "*Curso de operación y mantenimiento de equipos Bennett Generadores serie 1000*". 1999.
- Bennett. "*Instalation and operation manual*".
- Bennett. "*Schematics*".
- Motorola. "*M68EVB912B32 Evaluation Board User's Manual*". 1997.
- Motorola. "*M68HC12B Family, Advance Information*". 2000.
- Motorola. "*68HC12, CPU12 Reference Manual*". 1997.

## **APÉNDICES**

## Apéndice 1. Imágenes del hardware del sistema



**Figura A.1** Ubicación de componentes del sistema auxiliar



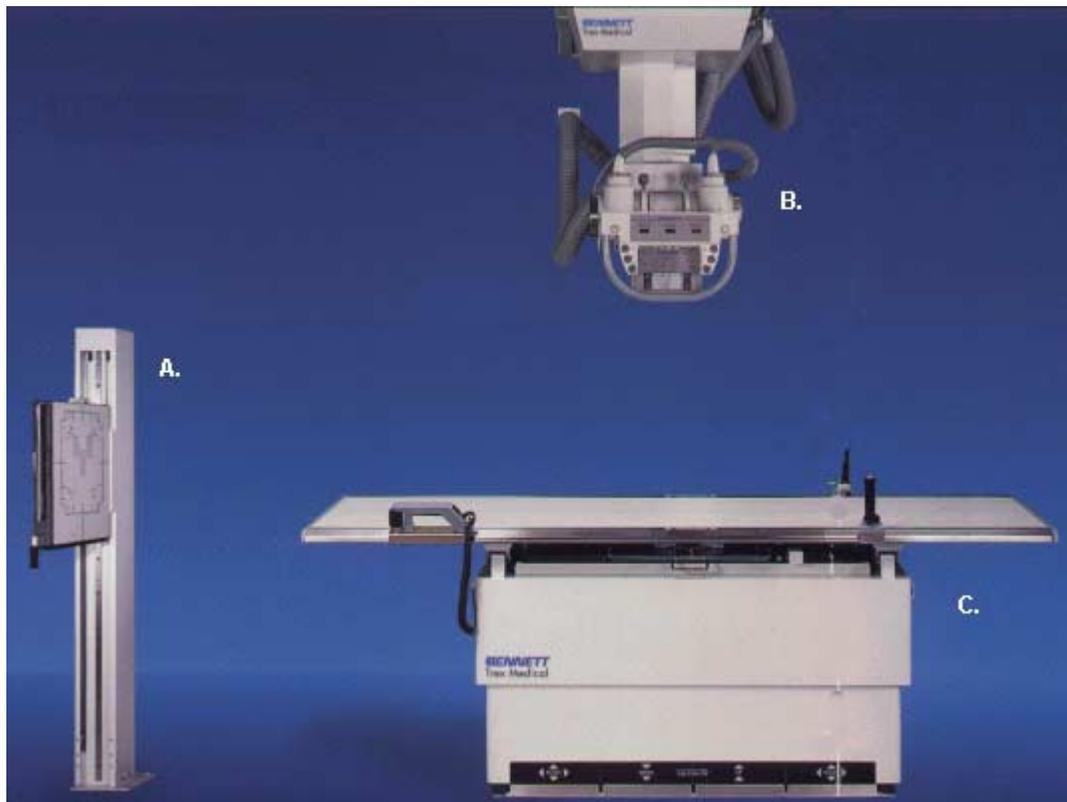
**Figura A.2** Módulo de expansión

## Apéndice 2. Mensajes de error del generador de Rayos X

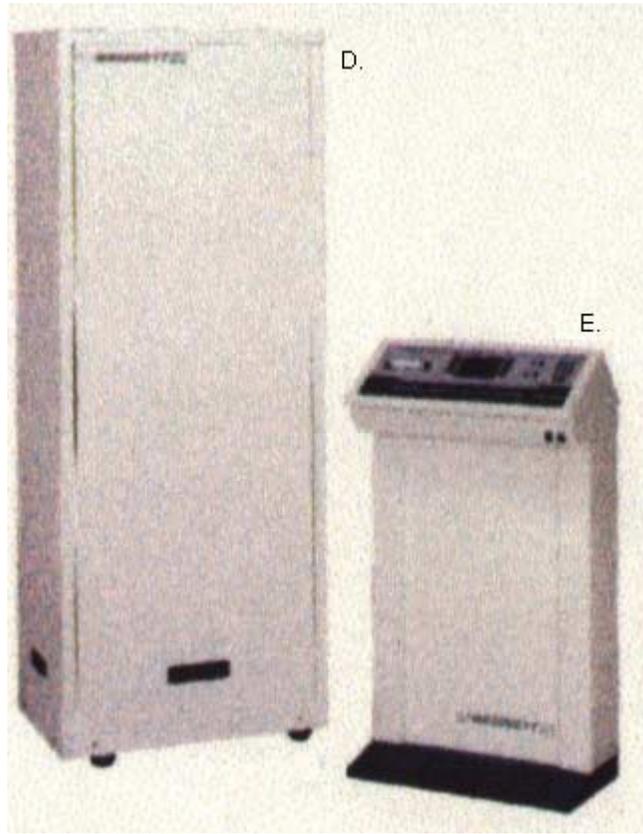
Mensaje	Descripción
BUCKY?	Bucky seleccionado pero no devuelve señal "ready" para la exposición..
CALIB?	Los datos de calibración en la EEROM no son correctos.
DOOR?	La puerta de entrada de la sala está abierta.
FAULT?	Problema con el AEC.
FIELD?	Intento de exposición en modo AEC activado sin seleccionar el campo de la cámara de ionización.
FILAM?	Problema con el voltaje del circuito de control del filamento.
HYFOB?	(Hold-Your-Finger-On-Button) (mantenga el dedo en el botón). Exposición terminada prematuramente porque se soltó la tecla EXPOSE antes de terminar la exposición.
KVP?	Problema con el circuito KVp del ánodo o transformador de alto voltaje del ánodo.
KVP-C?	Problema con el circuito catódico o transformador de alto voltaje del cátodo.
LINE?	La línea de entrada está fuera de rango.
MAS?	0 mAs seleccionado, ninguna exposición puede iniciarse.
MASTR?	Problema con la EEPROM maestra en la que está copiando.
NO MA?	Intento de exposición, no hay corriente en el tubo.
PAPER?	Papel agotado en la impresora interna.
PBL?	El circuito positivo de limitación del haz está abierto.
PHASE?	Falta de las tres fases de entrada.
PRNTR?	Problema de comunicación entre el control y la impresora.
REALY?	Problema con el contactor de respaldo.
RETRY?	La EEPROM programada no ha guardado correctamente los datos.
ROTOR?	El rotor del tubo está demasiado caliente o no obtiene la corriente necesaria para empezar.
S.E.S?	El voltaje de la fuente de energía almacenada es bajo.
TEMPORIZADOR?	Problema con el circuito temporizador.
TUBE OBERLOAD	Se ha rebasado la capacidad de carga máxima del tubo.

**Apéndice 3.** Partes del equipo de Rayos X Bennett.

- a. Bucky de pared,
- b. Telescopio,
- c. Mesa elevadora,
- d. Gabinete del generador,
- e. Consola del operador.



**Figura A.3** Componentes del equipo de Rayos X.



**Figura A.4** Componentes del equipo de Rayos X (segunda parte)

## **ANEXOS**

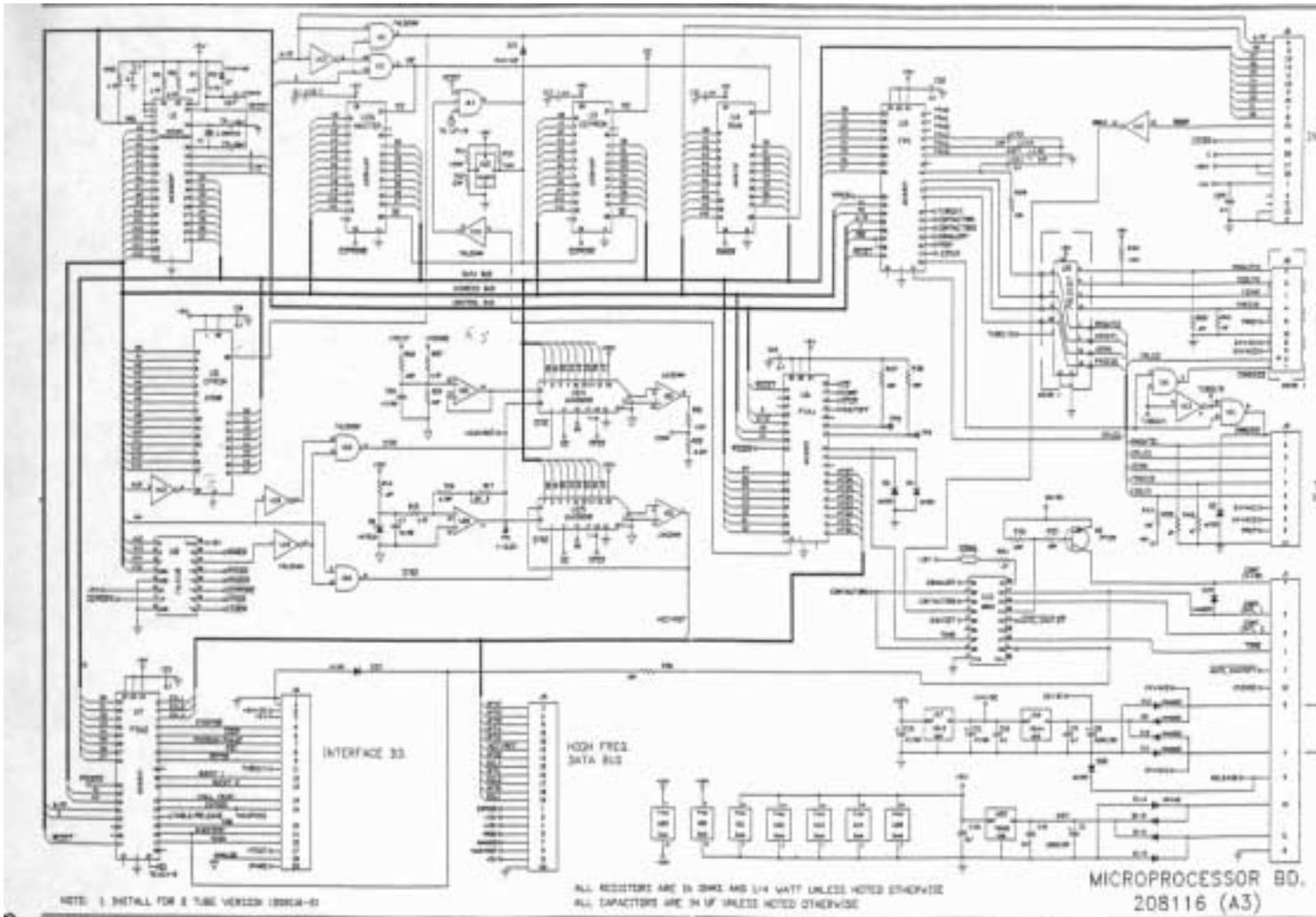
**Anexo 1.**

[Hoja de datos del PIA 6821.](#)

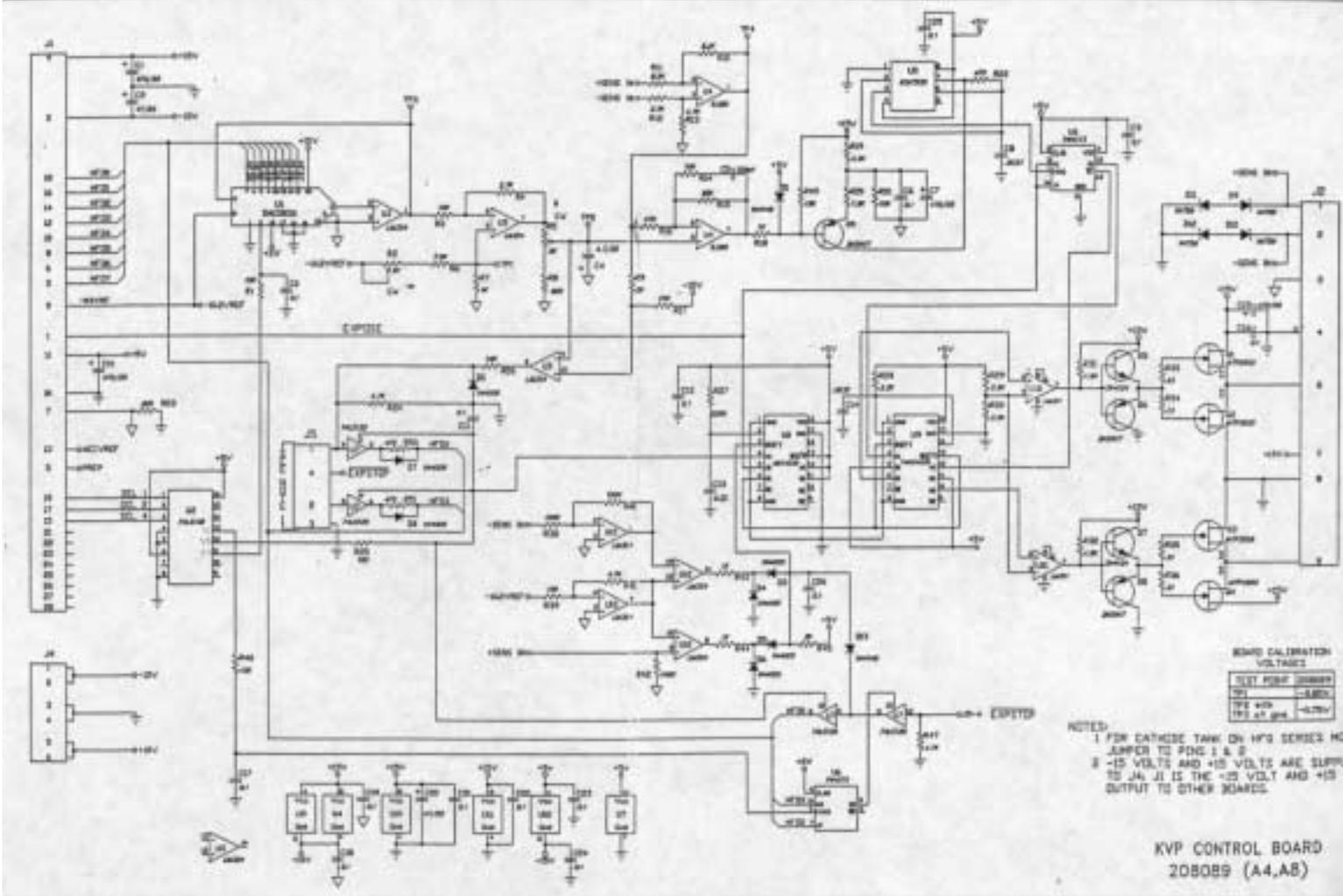
## **Anexo 2. Diagrama de bloques del generador Bennett**



### **Anexo 3. Diagrama de la tarjeta principal del generador**

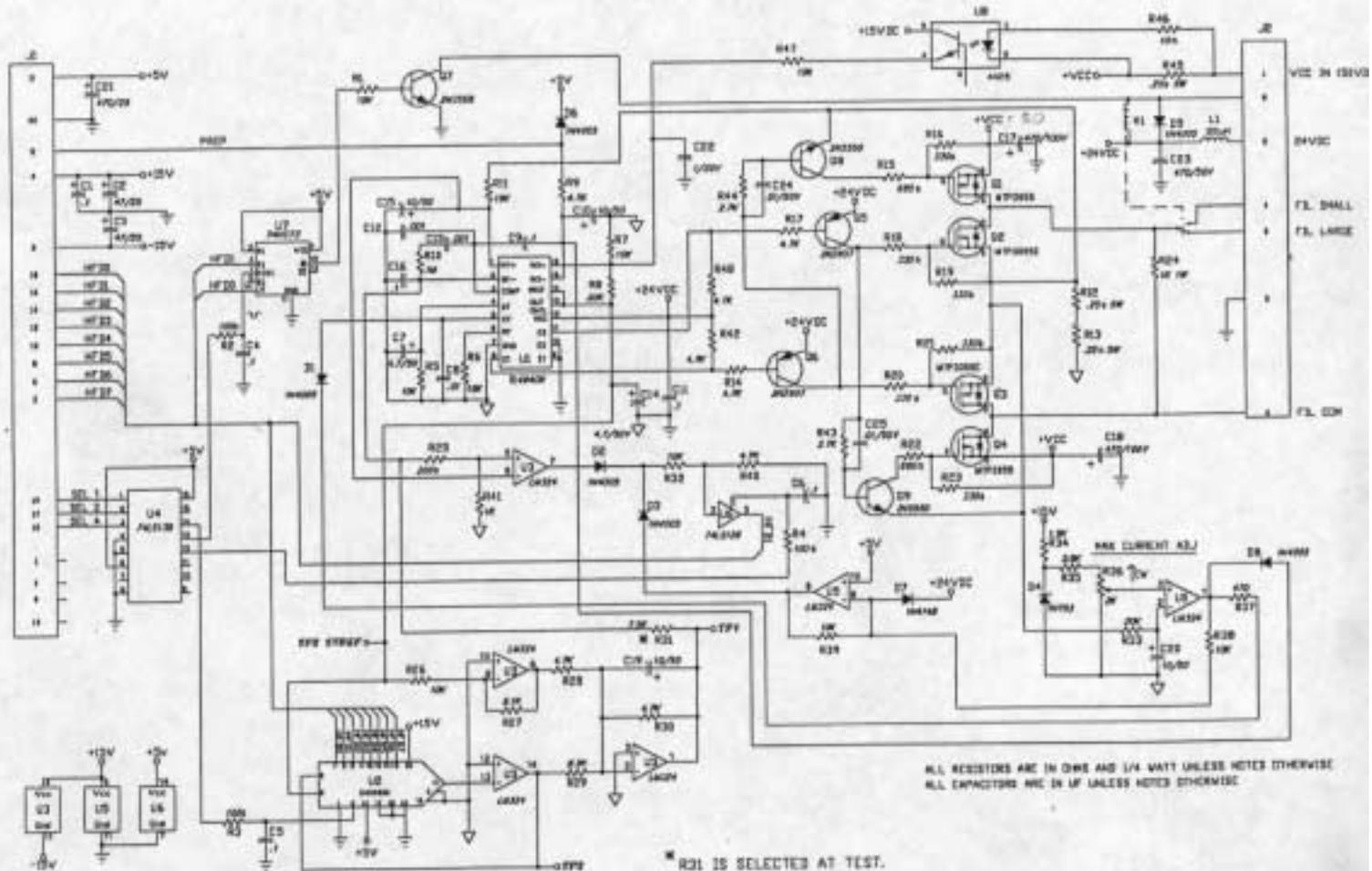


## **Anexo 4. Diagrama del controlador de kilovoltaje**



**Anexo 5. Diagrama del controlador del filamento.**

# SCHEMATICS



**FILAMENT CONTROL REGULATOR BOARD, 208163 (A5)**

ALL RESISTORS ARE IN OHMS AND 1/4 WATT UNLESS NOTED OTHERWISE  
ALL CAPACITORS ARE IN PF UNLESS NOTED OTHERWISE

**Anexo 6. Diagrama de la tarjeta de interfaz del generador.**

