

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“INSTALACIÓN DE DOS SISTEMAS DE RX EN EL ÁREA DE  
IMAGEN DEL HOSPITAL CLINICA KENNEDY DE GUAYAQUIL”**

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA**

**JULIO CÉSAR MEJÍA CORONEL**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

## AGRADECIMIENTO

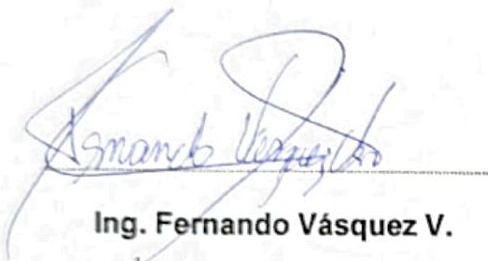
A mi madre, por su constante esfuerzo y estímulo todos los años de mi educación secundaria y universitaria; a mis hijos, por ser el motor que siempre impulsó mis emprendimientos; a mi novia, por su apoyo irrestricto y sus constantes muestras de comprensión; a mis profesores de la Politécnica, por su sapiencia y conocimiento que no tuvieron reparos en compartir conmigo y con los que han formado y cuyas enseñanzas me permitieron formarme como profesional; al M.sc Miguel Yapur, por su apoyo y sus siempre acertados consejos.

Y también a todos aquellos que de una manera u otra colaboraron en la terminación de esta etapa.

## DEDICATORIA

Con cariño y afecto a Narcisa, Daniel, Erick y  
Joselyne.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Ing. Fernando Vásquez V.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC



**Ing. Elio Sánchez G.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Julio César Mejía Coronel

## RESUMEN

Instalar un equipo de Rx no debe implicar dificultades cuando el sistema es adquirido pensando en el medio en el que va a ser instalado, si esto no se cumple, se pueden producir problemas que deben ser resueltos de la forma más práctica y económica posible. En esta instalación se tuvo como reto principal la total falta de información técnica de los equipos, su enorme complejidad y las pocas facilidades que brindaba el área, por lo que el trabajo que no debía pasar de un máximo de una semana se convirtió en una labor de casi 10 meses.

La estrategia que se usó fue la de instalar módulo por módulo, probando el sistema en cada paso para asegurar que iba quedando operativo etapa por etapa, se usó deducción y lógica, además de la asesoría en algunas disciplinas tan dispares como control de plagas e impermeabilización de suelos.

El resultado final fue lograr la operatividad de dos unidades de RX que funcionaron por 12 años, hicieron en conjunto 250.000 disparos y dieron servicio a cerca de 85.000 pacientes.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	.iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii
CAPÍTULO 1 .....	1
1 METODOLOGÍA.....	1
1.1 Instalación Física.....	2
1.2..... Instalación Eléctrica.....	5
1.3 Montaje de los equipos.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2 RESULTADOS OBTENIDOS.....	7
2.1 Instalaciones Mecánicas.....	8
2.2 Distancia Piso-Techo.....	10
2.3 Instalación Eléctrica.....	13
2.4 Ensamblaje General.....	16
2.5 Calibraciones.....	20
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	28

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo consistió en la instalación de dos sistemas de RX de 1000 MA y 150 KV en el área de imagen de la Clínica Kennedy de la ciudad de Guayaquil, entre Agosto de 1984 y Mayo de 1985.

La instalación presentaba tres tipos de problemas:

**Mecánicos:** No podía perforarse en el piso más allá de 0.10 m por un problema de agua superficial.

La mesa era muy larga para poder pararla 90 grados.

La columna ciélfica era larga para la longitud piso-techo.

Poco espacio para distribuir adecuadamente los módulos.

Algunos módulos no podían ser fijados a las paredes.

Dificultades por falta de infraestructura del área.

**Eléctricos:** La acometida de voltaje era inadecuada.

Sistema eléctrico con poca capacidad de carga.

**Electrónicos:** Los equipos estuvieron demasiado tiempo almacenados en un ambiente salino.

Falta de información técnica.



Ningún soporte del fabricante o del vendedor.

Cables de interconexión en mal estado.

Nuestro objetivo era lograr la total instalación de los dos equipos, por lo que en el Capítulo 1 describo en forma general los componentes del sistema y en detalle los problemas encontrados; en el Capítulo 2 explicamos la forma en que se enfocó cada dificultad y como se le dio una solución aceptable tanto por la parte técnica como para el cliente.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. METODOLOGÍA**

La falta de manuales de servicio, información técnica y descripciones de ensamblaje hizo que se analice el trabajo de instalación y arranque de los sistemas desde un punto de vista deductivo ya que teóricamente se conocía como los módulos se conectaban entre sí, por lo que se podía partir desde la fuente de poder e ir conectándolos por etapas para ir probando su funcionamiento en cada paso. Se enfocó el problema determinísticamente y se procedió a ordenar el trabajo subsistema por subsistema, el resultado final debía ser la obtención de una emisión de RX, si todos los pasos resultaban positivos.

## 1.1 INSTALACIÓN FÍSICA

Principal dificultad: área inadecuada; el subsuelo de la clínica se encuentra a 3 metros por debajo del nivel de la calle y tiene una distancia piso-techo de 2.10 metros, cuando la recomendación para este tipo de unidades es de 3.0 a 3.50 metros. El piso no podía ser perforado para empernar los equipos ya que el terreno fue ganado a un estero y perforaciones mayores a 0.10 m producían abundantes flujos de agua. Adicionalmente existía el problema de que las paredes eran muy delgadas y no se podía colgar mucho peso de ellas.

Un sistema de RX normalmente consta de los siguientes módulos: fuente de poder, transformador de alto voltaje, mesa de examinación, consola de control, unidad de velocidad alta, soporte del tubo que puede ser cielítico o por columna, que a su vez es piso-techo, piso-pared o piso-piso, bucky de pared, bucky de mesa, colimador, seriógrafo y finalmente el tubo que es nuestro emisor de radiación, como se ve en la figura 1.1

En 1984, cuando se realizó esta instalación, no existían los equipos de alta frecuencia lo que hacía que cada módulo fuera extremadamente grande y pesado, exigiendo mucho espacio e infraestructura para poder instalarlos. El equipo en conjunto pesaba aproximadamente tonelada y media, repartida en 11 partes, cada subsistema recibía o enviaba señales y datos por un conjunto de cables multipares de 24 líneas del número 14 AWG. El largo total de los cables utilizados fue de 96 metros.



**Figura 1.1: Sistema de RX**

La poca altura de la habitación daba dos problemas: la mesa tenía una longitud de 2.15 m y en las tomas de fosas nasales debe ser inclinada a 90 grados, adicionalmente la columna cervical estaba diseñada para funcionar en tumbados de más de 3.0 m. La mesa de examinación, con un peso individual de 300 kg, tenía que ser montada con el seriógrafo, el bucky y el tubo de fluroscopía, lo que agregaba un adicional de 150 kg más. Todo el conjunto estaba montado en un soporte en forma de T donde se aloja el motor que permite el balanceo.

El montaje de la mesa requería que su pie de soporte, figura 1.2 ,sea fijado al piso con 4 pernos de 0.025 x 0.3 m. Sin embargo lo máximo que se nos permitía perforar eran 0,1 m.



**Figura 1.2: Mesa de examinación**

Finalmente, la unidad de alta velocidad, con un peso de 125 kg no podía ser instalada en la pared, pues no soportaría ese peso, de hecho nada debía fijarse en las paredes ya que al construirse la clínica se tomó muy en cuenta el peso total del edificio, pues al descansar en un suelo arcilloso la

edificación tendería a hundirse si no se ponía un tope al mismo, por lo que muchas estructuras se construyeron lo más ligeras posibles.

## **1.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.**

El cálculo de carga de la clínica no consideraba la instalación de todos los equipos del área de imagen por lo que estaba ya excedido. En ese momento se deseaba instalar simultáneamente los equipos de RX, un tomógrafo, un mamógrafo y un angiógrafo, lo que superaba en casi 20% la capacidad del transformador que alimentaba esa sección que era de 35 KVA, originando caídas de tensión e irregularidades en las líneas. Debe agregarse que la clínica solo podía suministrar un voltaje trifásico de 240 VAC, cuando los requerimientos del equipo eran de 380 VAC.

## **1.3 MONTAJE DE LOS EQUIPOS.**

Electrónicamente hablando, el montaje de los módulos implicó la interconexión entre tarjetas electrónicas sin que hubiera un manual de montaje, ni un diagrama de bloques y menos un diagrama de conexiones. Los equipos habían sido almacenados por tres meses en una bodega húmeda y las tarjetas presentaban moho en los pines, había oxidación en los gabinetes y lo más increíble de todo, los cables de uno de los equipos habían sido cortados casi a ras en los conectores, ya que después de probarlo y en el afán de enviarlo con celeridad no se tomaron la molestia de desconectarlos sino que los recortaron.

Una dificultad adicional se presentó al estar el área todavía en construcción, lo que significaba la presencia de polvo, ruido y el fallo del sistema eléctrico provisional, dejándonos sin luz ni ventilación hasta que se reconecte el fallo.

Debido al medio ambiente húmedo, los equipos presentaban daños estructurales que debían ser corregidos para asegurar una operación prolongada, pues la afectación no se circunscribía a la parte metálica, sino a cables, tarjetas electrónicas, conectores y terminales, que pese a ser relativamente nuevos mostraban signos de oxidación en sus partes de cobre.

Parte de esto se contuvo pintando los gabinetes con una base anticorrosiva y pintura de grado automotriz.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. RESULTADOS OBTENIDOS**

El objetivo de este trabajo fue poder dejar las dos unidades operativas, el tiempo no fue limitante pues se entendía la complejidad del problema, sin embargo, debía resolverse de una manera lo más económica posible por lo que nos dedicamos a solucionar las cosas una por vez, logrando al final de la labor obtener las dos unidades instaladas.



Fue gravitante para el éxito final, que cada unidad sea trabajada desde la parte mecánica, a la eléctrica y la electrónica, asegurando que todos los componentes estuvieran perfectamente funcionales.

## **2.1 INSTALACIONES MECÁNICAS.**

Sin una mesa de examinación no es posible trabajar en RX, por lo que esto es lo primero que se atendió, además de darnos la pauta de la ubicación de las otras unidades, ya que la mesa marca incluso el espacio de ingreso de los pacientes.

Consultando con especialistas en mecánica de suelo se decidió que la fijación de la mesa al piso debía hacerse distribuyendo el peso de la misma en una zona más amplia que la del pie de soporte que tenía. Para ello se diseñó una plancha metálica de 1.50 x 1.0 x 0.15 m que se soldó a la base de la mesa; esta tenía 35 perforaciones distribuidas irregularmente por la que se instalarían pernos de expansión de 0.10 x 0.01 m, ver Fig. 2.1

Procedimiento similar se usó para el bucky de pared; en el caso de los otros gabinetes, pudieron ser puestos en su ubicación final sin requerir montajes adicionales ya que por su peso quedaban anclados sin problemas.

Más adelante se explicará la necesidad de la instalación de una riel en el piso, pero este trabajo no requirió perforaciones más profundas que las ya indicadas.



**Fig. 2.1: Placa para instalación de mesa de RX**

La perforación de cada agujero se haría en tramos de uno o dos centímetros, intercalando entre cada paso la aplicación de un líquido sellante. Cuando todos los agujeros fueron terminados se esperó dos días para observar si había filtración de agua, en los casos que el resultado era negativo se fijaron

las bases de los pernos de expansión, en los que fueron positivos se volvió a aplicar sellador y el proceso se repitió hasta que el último agujero quedó listo. Con esto se fijó la mesa al piso y se hicieron las pruebas de basculación.

## **2.2 DISTANCIA PISO-TECHO.**

Los topes de la mesa fueron modificados para eliminar los soportes de aluminio que tenían originalmente, e instalar otros de fabricación nacional más delgados, con esto se logró reducir la longitud de la mesa de 2.15 m a 2.13 m y se labró una muesca en el tumbado de modo que la mesa encajara en la misma cuando estuviera vertical.

No fue tan fácil resolver el problema de la columna cielítica pues no podía ser recortada. La decisión final fue eliminarla e instalar una columna piso-piso con riel en la parte posterior de la mesa, de modo que no se fijara nada en la pared. Una imagen de este tipo de soporte puede observarse en la figura 2.2.



**Figura 2.2: Columna cielítica**

La función de la columna cielítica es sostener el tubo de RX superior (porque hay uno debajo de la mesa para la fluroscopía que es el llamado inferior), permitir movernos por todo la habitación, hacer las tomas sobre la mesa y en el bucky de pared, lo cual nos da mucha libertad para la ubicación del bucky.

Al usar una columna, se limita el movimiento del tubo a un estrecho recorrido sobre la mesa, por lo que el bucky solo podía ponerse en uno de los dos extremos de la misma, sin embargo era la única forma de darle solución a la imposibilidad de usar la cielítica. Al instalar la columna, por no ser esta parte del equipo original hay que lograr un delicado balance entre el peso del tubo,

el colimador, el ventilador y los cables de RX y los pesos de plomo que se instalan en su interior, ya que de este equilibrio depende la facilidad de movimiento para el operador.

Como el bucky de pared no podía ser fijado a la misma, se procedió a realizar un trabajo similar al de la mesa, se instaló una placa en su base que le permitía tener estabilidad sin el soporte posterior. Se puede observar un ejemplo de bucky de pared en la figura 2.3.



**Figura 2.3: Bucky de pared**

La instalación del acelerador de velocidad fue también complicada, pues era demasiado grande y pesado para ser instalado en la habitación, sin embargo la solución fue similar al de la columna ciclónica y se eliminó. El trabajo de este módulo es acelerar el ánodo del tubo a 9.000 RPM, en vez de las 3.500 RPM con las que trabaja un sistema estándar, esto da una mejor disipación de calor y mejor resolución, pero ambas ventajas no compensaban el problema de buscarle sitio por lo que finalmente se lo dejó fuera del sistema. Esto implicó la modificación de todos los “interlocks” del equipo y realizar varios “bypasses” que le avisaban al sistema la presencia y “status” del acelerador.

Los otros 3 gabinetes fueron instalados en las paredes pues no producían torque en las mismas y su peso no era exagerado. Estos gabinetes eran el control de la cámara, una fuente auxiliar y la interfaz de comunicación

### **2.3 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.**

Cada sistema tenía una potencia estimada en 50 KVA, pues la corriente nominal era de 75 A, trabajando a un voltaje trifásico de 380 VAC.

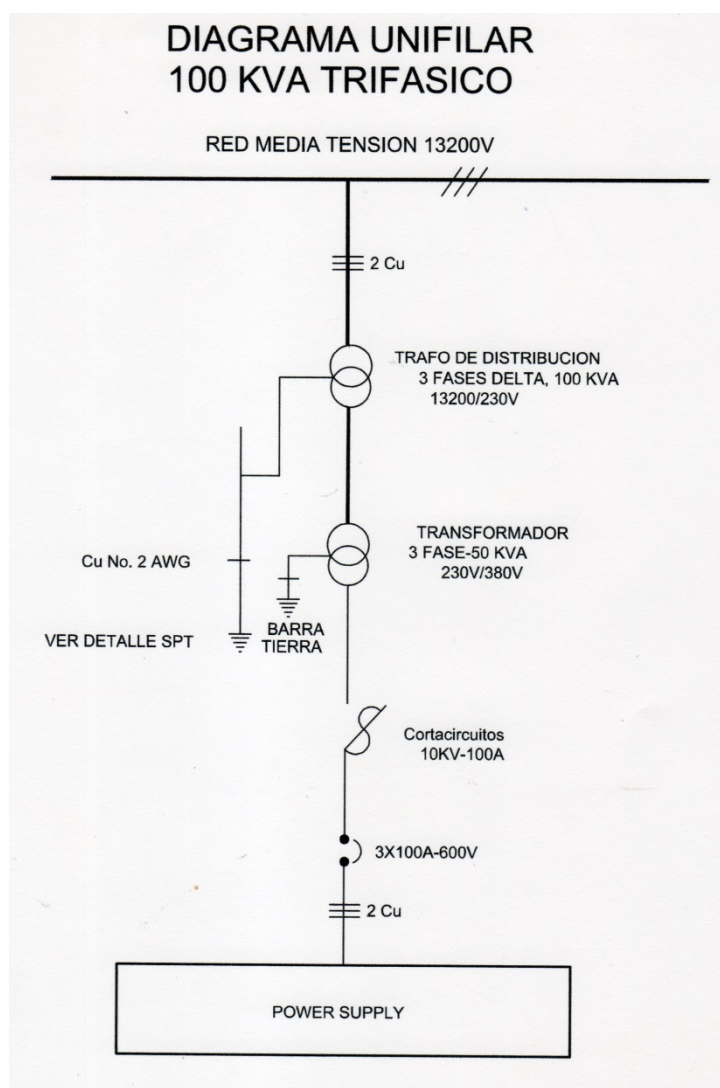
$$P = 1.73 \times 75 \times 380 \text{ VA.} = 48.45 \text{ KVA}$$

A esto debía sumarse el consumo del tomógrafo, el mamógrafo y el angiógrafo ubicados en la misma área, lo que resultaba bastante alejado de los 35 KVA que servía el transformador dedicado a esa sección de la clínica. La suma de todas las potencias operacionales estaba cerca de los 100 KVA.

Sin embargo, consideremos que esos son estimados en valores pico, y que no son cargas continuas en el tiempo. En los equipos de RX, se puede hacer un disparo de 100 KV y 300 MA pero con tiempos de milisegundos, lo mismo ocurre con todos los equipos de imagen. Pero haciendo un cálculo conservador era evidente que el transformado de 35 KVA era insuficiente, por lo que se solicitó su cambio por uno de 50 KVA solo para los dos equipos de RX. Finalmente se instaló uno de 100 KVA para toda el área aduciendo que no era posible que todos los equipos funcionaran simultáneamente, y en caso de que esto ocurriera, no podía ser por más de fracciones de segundo, por lo que con las protecciones adecuadas se podía correr el riesgo, decisión que fue tomada por la gerencia de la clínica.

Para resolver el problema de la diferencia de voltaje, se instalaron tres transformadores elevadores en paralelo con cada fase de la delta que alimentaba a esa área. Se instaló un contactor con protección térmica de 100 A y un bloque de fusibles lentos de 100 A. El esquema de esta instalación puede verse en la Fig. 2.4.

Los componentes del sistema de protección llegaron con el equipo, esto es el “breaker” y la caja de fusibles, por lo que solamente se tuvo que calcular el calibre del cable para la acometida y se eligió un tamaño 2/0 AWG flexible con hilos de cobre, que teóricamente debía permitirnos manejar corrientes de hasta 150 A, sin que se produzca calentamiento cuando ocurran ligeras sobrecargas.

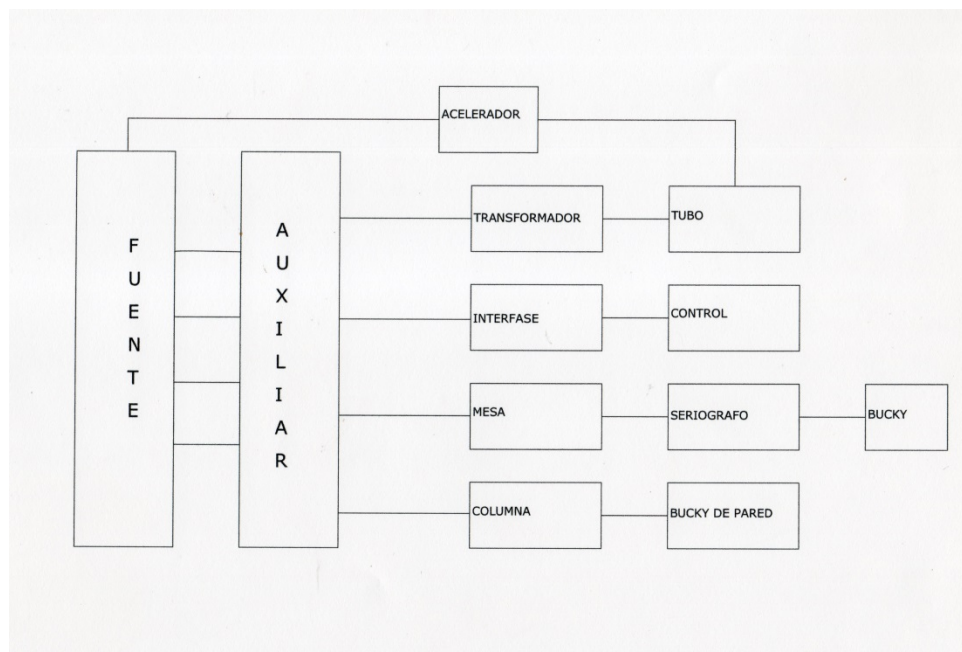


**Figura 2.4: Diagrama unifilar de instalación**



## 2.4 ENSAMBLAJE GENERAL.

El diagrama de bloques de la instalación puede observarse en la figura 2.5.



**Figura 2.5: Diagrama de bloques de instalación**

Una vez que pudimos obtener una línea de alimentación eléctrica de las mismas características a las de la placa de los equipos, procedimos a realizar la instalación física de la mesa. El siguiente equipo en instalarse fue la fuente de poder ya que era el módulo que suministra los voltajes de operación de los demás subsistemas.

¿Cómo hacer las conexiones entre unidades sin un diagrama de interconexión?. Pues algunos de los conectores tenían etiquetas con la nomenclatura estándar para RX, por ejemplo, O7, O8 y O9 sabíamos que correspondían a los terminales de LF; SF y COM del tubo de rayos X, porque es una norma internacional, pero el 80% de las demás señales entre todos los módulos solo tenían una marca como J1 o J67 que corresponden a sus similares P1 y P67, pero ¿en cuál subsistema?.

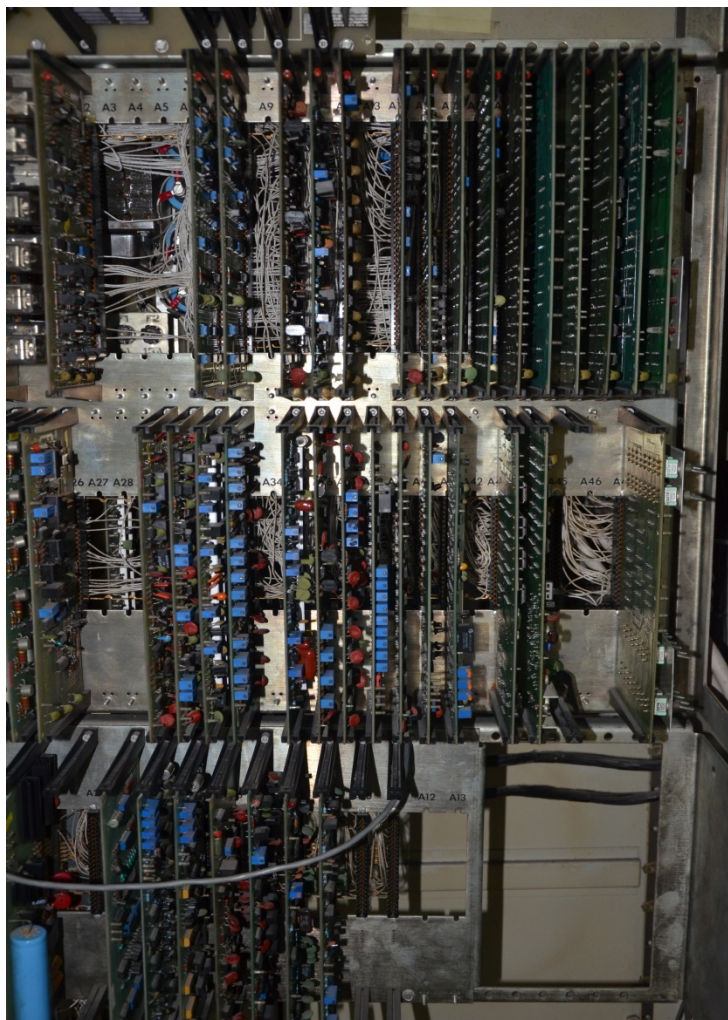
La respuesta llegó de la unidad que había sido probada en fábrica y que tuvieron que desmantelar con prisa, pues no se tomaron la molestia de sacar los conectores sino que simplemente cortaron los cables. Usamos el patrón de corte para determinar que cable iba a qué parte.

En los casos en que no pudo hacerse, porque el conector fue sacado limpiamente o el corte era similar a cualquier otro, se analizó circuito por circuito para determinar en qué momento se activaba y que voltaje, parámetros y señales manejaba.



**Figura 2.6: Módulos de equipo de RX**

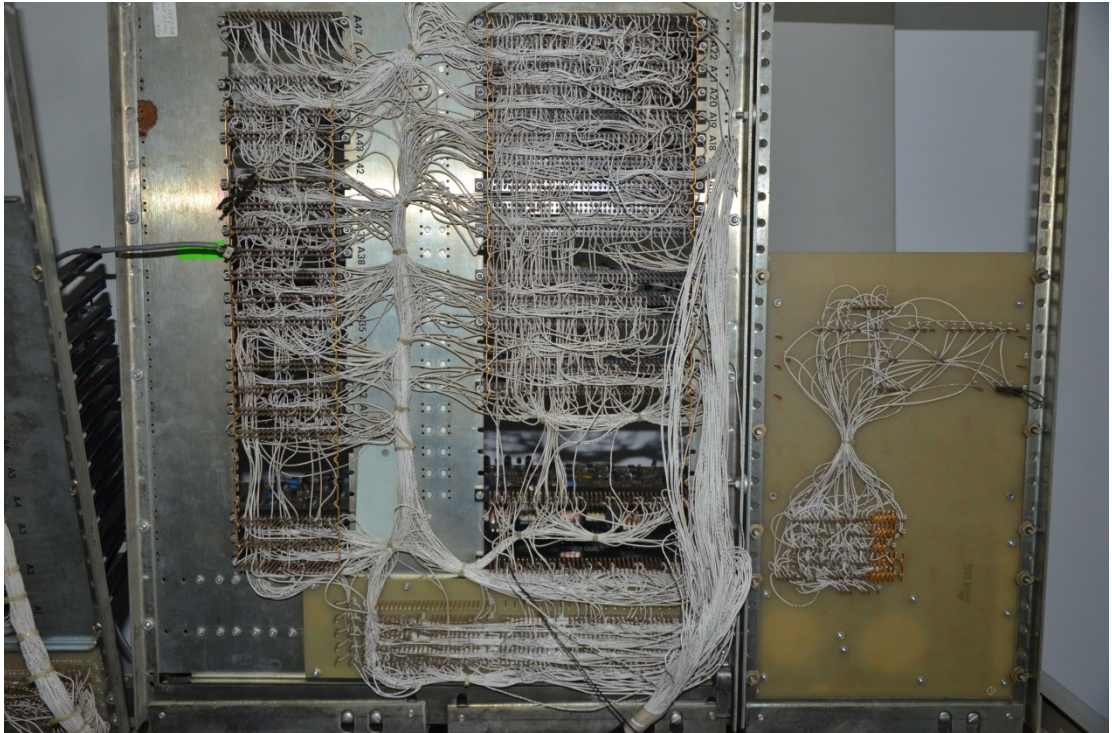
Esto implicó la elaboración de muchos planos manuales de las innumerables tarjetas que componían cada unidad, como puede apreciarse en las figuras 2.6. y 2.7.



**Figura 2.7: Interior de módulo de transmisión**

Todas las tarjetas electrónicas fueron limpiadas individualmente, cepillados sus terminales y los cables internos de conexión, ver Fig. 2.8, fueron resoldados. A los cables multipares se les cambió los terminales y se verificó

su integridad como conductores debido principalmente a las ineficientes condiciones de almacenamiento que tuvieron.



**Figura 2.8: Parte posterior del módulo de transmisión**

## **2.5 CALIBRACIONES.**

Al terminar la instalación física de los sistemas tenemos que proceder a las calibraciones, que son de dos tipos: mecánicas y eléctricas.

Las calibraciones mecánicas se refieren a todo lo que implica movimiento en el sistema:

- Recorrido de la cubierta de la mesa.
- Recorrido de la columna.
- Recorrido del brazo de sostén del tubo superior.
- Recorrido de la cubierta del bucky de pared.
- Grados de inclinación de la mesa.
- Collimación del tubo superior e inferior.
- Ajuste del calentamiento del tubo.

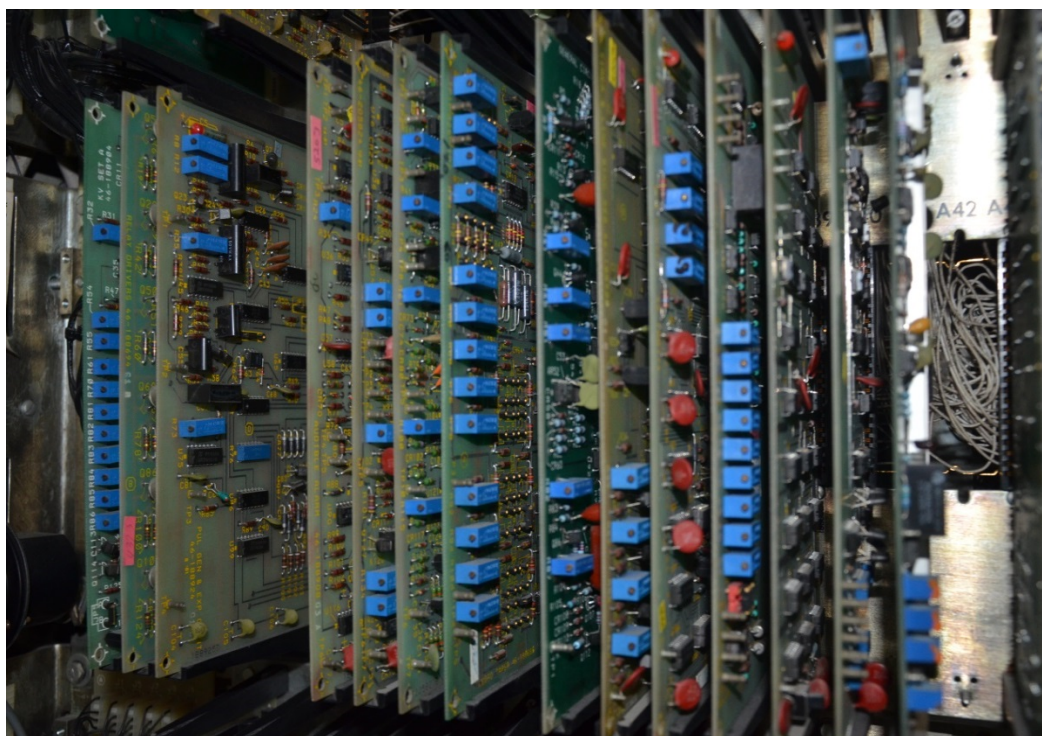
Las calibraciones eléctricas se refieren a todos los parámetros de operación del equipo y son importantes porque de ello depende la calidad y cantidad de emisión de radiación que van a afectar directamente al paciente y al operador.

Estas son:

- Voltaje de entrada.
- Compensación de voltaje.
- Corriente de filamentos.
- Voltaje del primario.
- Amperaje de operación.
- Corriente de precalentamiento.

- Kilovoltaje.
- Velocidad de rotación del ánodo.
- Comprobación de la emisión.
- Prueba de calidad de las placas.

En la actualidad, este trabajo prácticamente no se hace porque los equipos son del tipo “plug” and “play”, y al tener un control digital, normalmente con microprocesador, todos los datos y valores de ajustes y calibraciones se almacenan en una memoria lo que permite un fácil y rápido acceso para hacer los cambios y modificaciones que se requieran, pero en la década de los 80's la forma tradicional de ajuste era usando potenciómetros y resistencias de alambre. Algunos ejemplos pueden observarse en las figuras 2.9 y 2.10.



**Figura 2.9: Potenci6metros de ajuste**



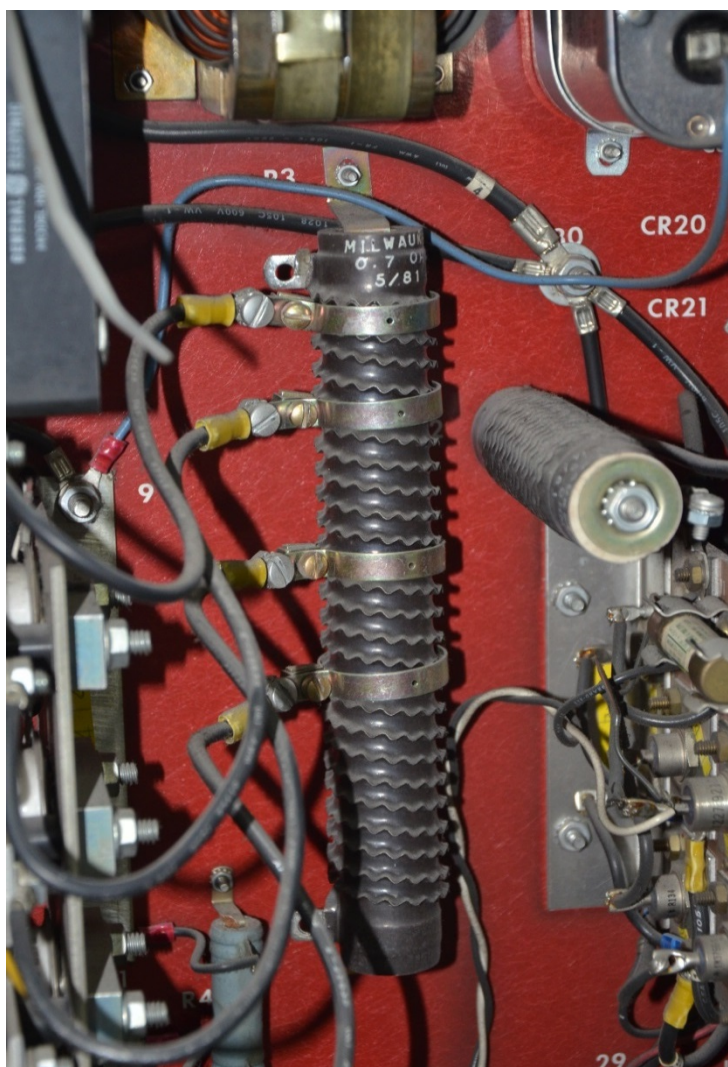


Figura 2.10: Resistencia de ajuste

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. La falta de planeación para la adquisición de cualquier equipo puede derivar en problemas graves al momento de llegar su instalación. Esto es particularmente complicado cuando se trata de equipos médicos que de una forma u otra van a interactuar con personas, sean pacientes y/u operadores. Debe tomarse en cuenta el tipo de voltaje, la frecuencia de operación, el consumo de corriente, el tamaño del mismo, los requerimientos del aterrizaje, el consumo de potencia y las necesidades de infraestructura si es que requiere montaje, pues hay que calcular por donde va a pasar, como lo vamos a llevar al área, el tipo de equipo que se va a necesitar para su desplazamiento e instalación. Y todo esto debe estar planificado y discutido antes de que el equipo llegue. También es importante asegurar el estado en que llega y la información que viene con él.

2. La falta de información técnica es una limitante muy importante en cuanto a la efectividad de cualquier tipo de trabajo, principalmente por el tiempo que consume la ejecución. El trabajo que se describe en este informe es una prueba plausible que se pueden hacer muchas cosas sin los manuales, pero a un costo de tiempo enorme.
3. En cierto tipo de equipos es necesario contar con el soporte y respaldo del fabricante o vendedor pues nos puede suministrar la información requerida cuando se presenten dificultades de tipo técnico.

### **Recomendaciones**

1. Mantener un buen canal de comunicación con el cliente y el distribuidor o vendedor de los equipos con los que se trabaja, para asegurar tener informado a todos de los requerimientos funcionales y operacionales de los equipos. El cliente debe estar al tanto del espacio que se va a requerir, tanto para la instalación como para el servicio: Jamás se debe permitir la instalación de un equipo de modo que no presente después las facilidades de acceso del ingeniero que va a realizar el servicio de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
2. Debe insistirse siempre en la visita al área de trabajo o instalación para asegurarse in situ de que el lugar cumple las condiciones básicas para la labor que se va a ejecutar, no solo para las unidades involucradas, sino para el

personal a cargo, pues existen cosas tan triviales como la no existencia de baños o sitios para adquisición de comida, que pueden en un momento parecer banales, pero que después se convierten en un problema cuando se tiene que administrar el trabajo de varias personas durante un período de tiempo prolongado. No debemos ver esto como una limitante sino como un problema que resolver, pues si lo tenemos previsto, tenemos la oportunidad de planificar para poder solucionarlo.

3. Es conveniente tener una buena preparación y conocimiento de los equipos con los que se va a trabajar, por lo que se recomienda con énfasis la necesidad de contar con el entrenamiento respectivo, de manera especial cuando se trata de equipos tecnológicamente complicados, o de uso delicado, o crítico. Este entrenamiento debe buscarse con el fabricante o con técnicos que conozcan de los sistemas.
4. Es importante tener un conocimiento más que básico cuando se trata de trabajos de cierta magnitud, eso nos permite tener un referente a seguir cuando las condiciones del trabajo se complican.
5. No desistir nunca cuando ocurren complicaciones, si se tiene el tiempo y los recursos, siempre se puede lograr los objetivos planteados. Que el cliente siempre esté enterado de lo que pasa y de los problemas que están sucediendo, informándolo con honestidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Eureka Xray Corp, X Ray Service Manual, Arlington Heights, 1980.

Profexray Litton, Technical Manual, M-50500 Issue 1, 1974.

Universal X-Ray, Installation and Service Manual, 1970