

Ingeniería Básica y de Detalle para la instalación y puesta en marcha del Acelerador Lineal Monoenergético de 6MV que funcionará en el área de oncología del Hospital Carlos Andrade Marín

**Mario Fabián Montúfar Swing
José Andrés Ramos Neacato**

**Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército
Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador**

Resumen: El presente artículo describirá el proceso de instalación de un equipo Linac (Acelerador lineal), en el área de oncología del Hospital Carlos Andrade Marín, perteneciente a la marca Elekta, uno de los más grandes fabricantes en el área de tratamiento de cáncer.

Este equipo permitirá realizar tratamientos de radioterapia a pacientes con cáncer.

El área en la cual va a ser instalado el equipo deberá poseer ciertas características las cuales modificaremos e implementaremos ciertos recursos que nos apoyaran a la instalación.

1. Introducción

El tratamiento de tumores cancerígenos a distancia mediante radiación ionizante, mejor conocida como radioterapia, ha sido aplicado en el Ecuador mediante Bombas de Cobalto, cabezales giratorios que obtenían la radiación ionizante de fuentes radioactivas contenidas dentro de la misma máquina.

Toda célula del cuerpo humano puede ser afectada por la radiación, siendo las células cancerígenas las más vulnerables. Con este principio se ha desarrollado la radioterapia.

El Ecuador posee una base establecida de 5 Unidades de Cobalto funcionales ubicadas en Solca Guayaquil, Solca Cuenca, Solca Loja, Hospital Vicente Corral Moscoso Cuenca y Clínica Pichincha Quito las cuales en su tiempo fueron un despunte en la tecnología, sin

embargo actualmente ya han cumplido su vida útil, como es la unidad de Cobalto que se encontraba ubicada en el Hospital Carlos Andrade Marín.

El funcionamiento de una Unidad de Cobalto depende del material radioactivo que se encuentra encapsulado en una fuente contenedora en el cabezal del equipo de radioterapia. El principio del tratamiento entre una Unidad de Cobalto y un Acelerador Lineal es el mismo.

Los Aceleradores Lineales poseen una tecnología para generación de radiación que no depende de material radioactivo, la radiación es producida electrónicamente dentro del equipo, este funcionamiento no crea desechos y la radiación ionizante únicamente es emitida en el momento del tratamiento haciendo de los Linac equipos más seguros y confiables.

Es así que introduciremos este sistema en las necesidades de salud del Ecuador.

2. Funcionamiento de un Acelerador lineal.

El sistema de generación de radiación se encuentra en el Gantry donde pondremos mayor énfasis en el proceso de instalación, estos sistemas no deben sufrir ninguna alteración eléctrica o magnética ya que en este se encuentran el magnetrón encargado de la producción de ondas de radio frecuencia que darán la cantidad de energía que llevarán los electrones, estos serán producidos por un cañón de electrones el cual se encuentra conformado por un

filamento de tungsteno al que se lo someterá a diferentes temperaturas, dando como resultado que a mayores temperaturas libere mayor cantidad de electrones, estos electrones pasan a una guía de ondas el cual con un sistema de magnetos son direccionados de una forma exacta, así como acelerando, los electrones obtenidos llegan a un sistema de doblado, que curva la trayectoria de los electrones en posición perpendicular al isocentro. Posteriormente el haz chocar con una placa de tungsteno, dando como resultado rayos x (fotones).

Generados los fotones, entra en marcha lo que es el sistema del colimador el cual posee un cabezal cónico el que limita la explosión de rayos x, permitiendo enfocarlos en una dirección, este sistema genera una radiación no homogénea en todos sus puntos, a continuación encontraremos un sistema de filtros y colimadores que nos ayudaran con la planicidad.

En conjunto estos sistemas permiten tratamientos hacia el paciente, por lo que es muy necesario un cuidadoso proceso de instalación y calibración.

El sistema Chiller es un sistema de enfriamiento, que principalmente actuará sobre la guía de onda y doblador magnético ya que al acelerar los electrones y manejar las ondas radioactivas se producen altas temperaturas, lo que reduce en gran medida el tiempo de vida de estos sistemas.

Obtenido todos estos puntos nos corresponde la instalación de la mesa de tratamiento con un correcto posicionamiento del eje de rotación central de la mesa el cual debe estar ubicado en el isocentro de la barrera primaria.

La instalación de los sistemas eléctricos y electrónicos hacia la sala de control y equipos que apoyaran a la generación de energía, para todo estos sistemas hay que tener muy claros los diagramas

eléctricos, interpretaciones de corrientes y voltajes que posea, ya que será la base de control hacia el sistema remoto de control del equipo.

Finalmente es necesaria la implementación de los equipos de control y mando. Tales como TCC (Treatment Control Cabinet), RTC (Real Time Computer), TRM (Treatment Room Monitor) y MCC (Main control Cabinet).

3. Calculo Blindaje

Formulas Empleadas:

$$B_{pri} = \frac{P * d_{pri}^2}{W * U * T}$$

$$n = -\log (B_{pri})$$

$$S = TVL_1 + (n - 1) * TVL_e$$

$$H = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(S-TVL_1)}{TVL_e}\right]\right\}}$$

Símbolos y Acrónimos:

P	Dosis por semana requerida fuera de la barrera de protección
d_{pri}	Distancia desde el haz de radiación
W	Carga de trabajo o dosis por semana a 1 m del objetivo
U	Factor de uso o fracción de tiempo por semana que el haz principal cae en la barrera primaria
T	Factor ocupacional o factor de tiempo que una persona estará detrás de la barrera primaria
.n	Factor de atenuación (NUMBER TENTH VALUE LAYERS)
S	Espesor de la barrera
H	Dosis equivalente (Barrera de transmisión)

Formulas:

Distancia en profundidad S, nivel de atenuación n

$$S = TVL_1 + (n - 1) * TVL_e$$

$$n = 1 + \frac{S - TVL_1}{TVL_e}$$

Problema:

Antecedentes:

Material	Densidad [g/cm ³]	TVL ₁	TVL _E
Concreto Normal	2,35	37	33
Acero	7,85	10	10
Plomo	11,35	5,7	5,7
Concreto de Alta Densidad	3,2	24	24

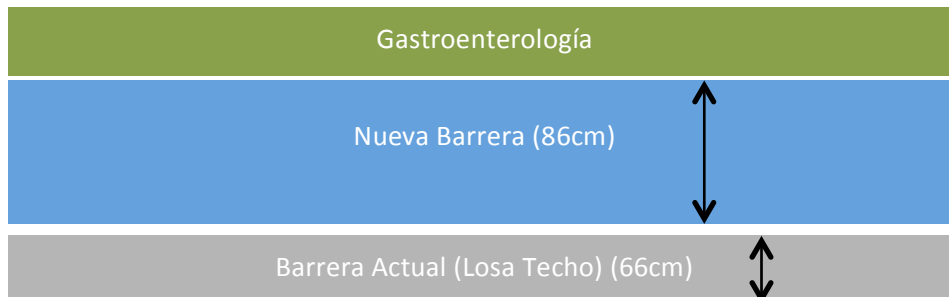
Datos:

Barrera Primaria para el Techo HCAM:
n=6,3313

Barrera actual (Losa Techo): 66cm

Índice estimado de decaimiento de barrera actual: 0,85

Distancia desde el piso de la Barrera actual hasta el piso de gastroenterología: 86 cm



$$66 \text{ cm} * 0,85 = 56,1 \text{ cm}$$

Remplazando

$$n = 1 + \frac{56,1 - 37}{33}$$

$$n = 1,5788$$

$$n_{\text{faltante}} = 6,3313 - 1,5788$$

$$n_f = 4,7525$$

Calculo de barrera utilizando 2 materiales: Concreto y Acero

Definición de variables:

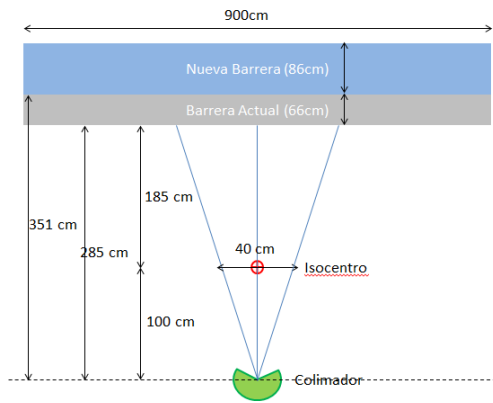
n₁ = Atenuación del Concreto

n₂ = Atenuación del Acero

S₁ = Profundidad del Concreto

S₂ = Profundidad del Acero

Cálculos y Solución:



Ecuaciones Primordiales de nuestro problema:

$$1) n_1 + n_2 = n_f = 4,7525$$

$$2) S_1 + S_2 = 86\text{cm}$$

Opción 1: Concreto Normal + Acero

$$3) n_1 = 1 + \frac{S_1 - 37}{33}$$

$$4) n_2 = \frac{S_2}{10}$$

3 y 4 en 1

$$5) \left(1 + \frac{S_1 - 37}{33}\right) + \left(\frac{S_2}{10}\right) = 4,7525$$

5 en 2

$$1 + \frac{S_1 - 37}{33} + \frac{86 - S_1}{10} = 4,7525$$

$S_1 = 53,4641$ cm de Concreto normal

$S_2 = 32,5358$ cm de Acero

Opción 2: Concreto de Alta Densidad + Acero (Depende de la disponibilidad de material)

$$6) n_3 = 1 + \frac{S_1}{24}$$

$$7) n_4 = \frac{S_4}{10}$$

6 y 7 en 1

$$8) \frac{S_3}{24} + \frac{S_4}{10} = 4,7525$$

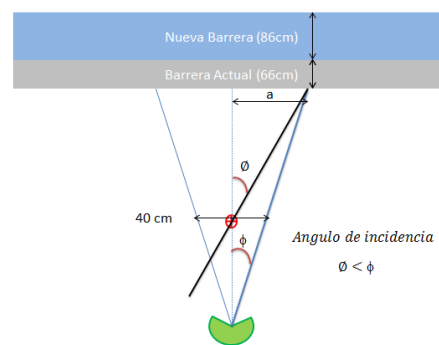
8 en 2

$$\frac{86 - S_4}{24} + \frac{S_4}{10} = 4,7525$$

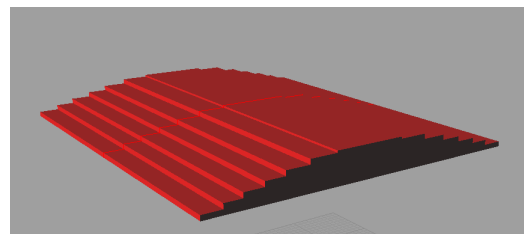
$S_3 = 76,141$ cm de Concreto normal

$S_4 = 9,8589$ cm de Acero

Angulo de incidencia a la barrera Primaria



Modelo del Terminado del Laminado de Acero

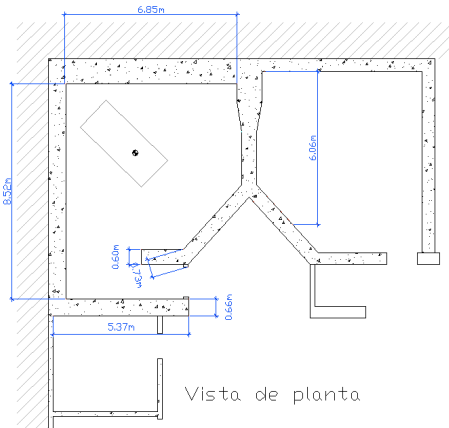


4. Adecuaciones Bunker

Para la elaboración de un mejor documento de apoyo presentaremos una vista superior de cómo es el bunker en su origen.

Introducción De Un Sistema Chiller Para El Proceso De Refrigeración Del Linac

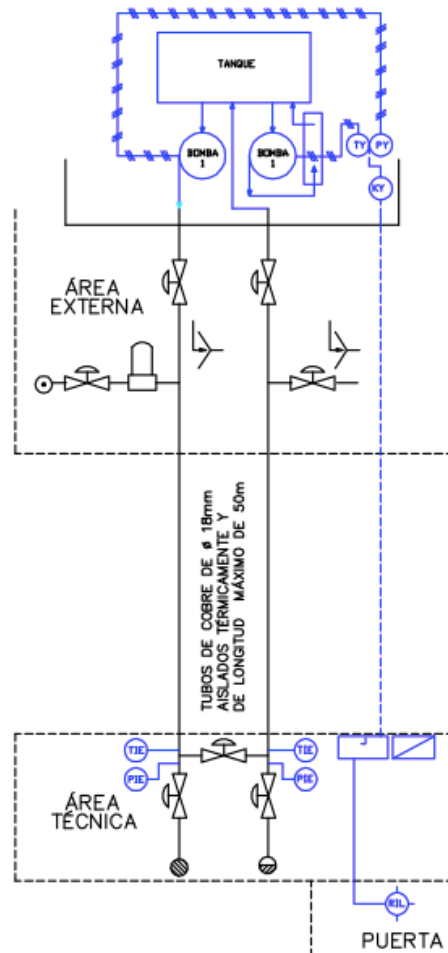
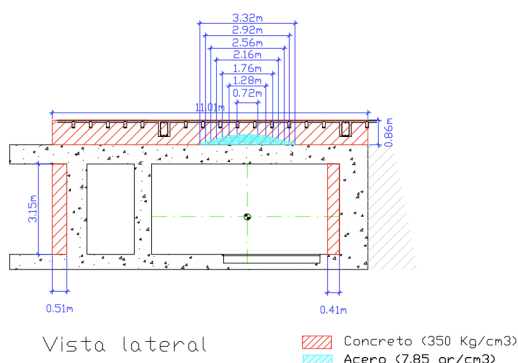
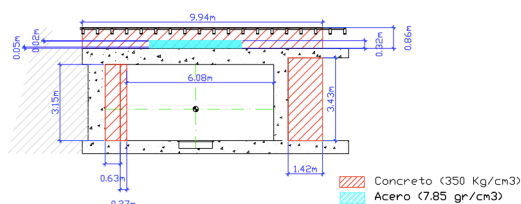
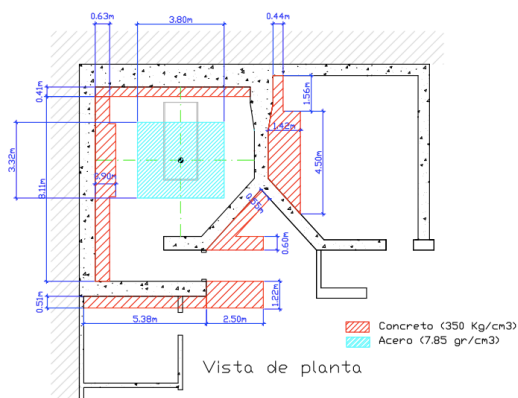
Se destaca las características del sistema chiller y como los procesos deben ser incorporados relacionándose entre ellos.



Sabiendo estas características presentaremos diferentes planos de adecuación y necesidades a implementar.

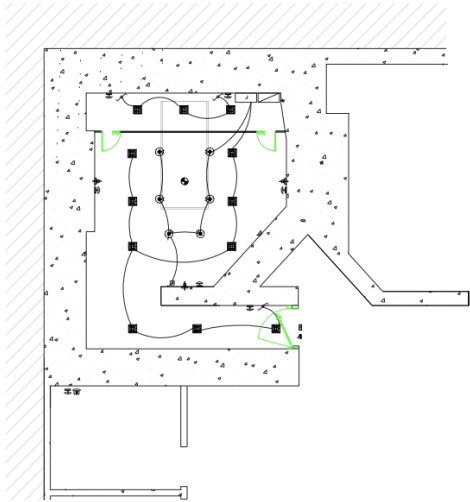
Área Bunker Adecuar

Se presentan las nuevas medidas del bunker



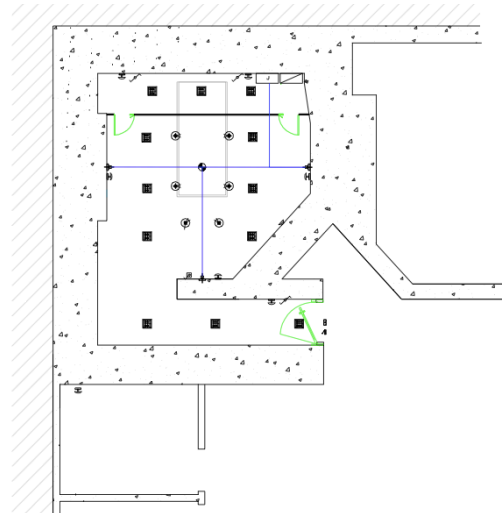
Iluminación área bunker

El plano indicara la correcta ubicación de las lámparas, características y circuitos a integrar.



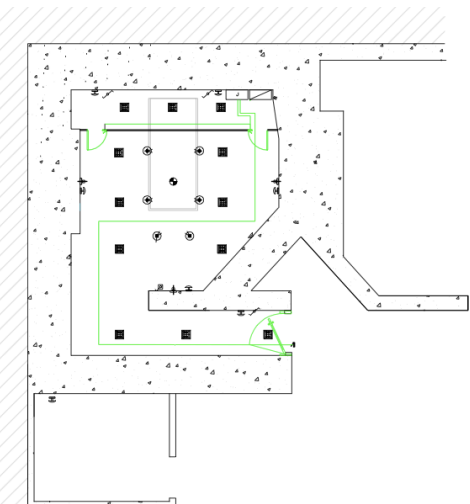
Interlocks

Serán los protectores contra radiaciones no programadas, ubicados en puertas de principal uso.



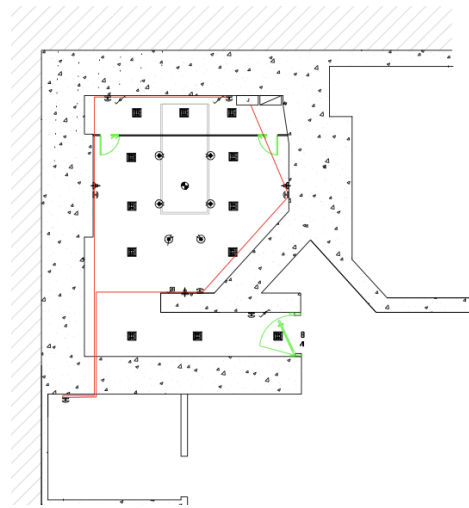
Paradas de Emergencia

Pulsadores mecánicos con retorno manual, apoyaran a cualquier emergencia parando el sistema completo.



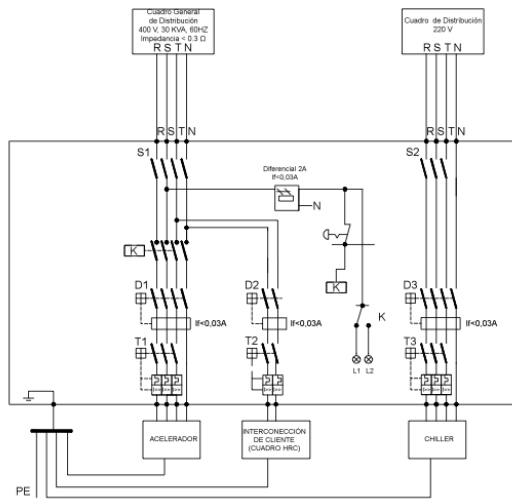
Lasers

Indicadores del isocentro en el espacio y ayudar a posicionar al paciente.



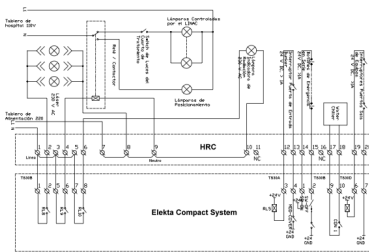
Tablero Eléctrico de Distribución

Tablero donde se encuentra las acometida de energía, para alimentar a los diferentes sistemas.



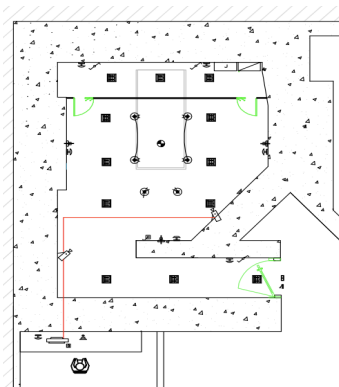
Tablero auxiliar

Tablero de comunicación entre Linac y sistemas implementados: Luces, paradas de emergencia, lámpara de radiación, encendido chiller.



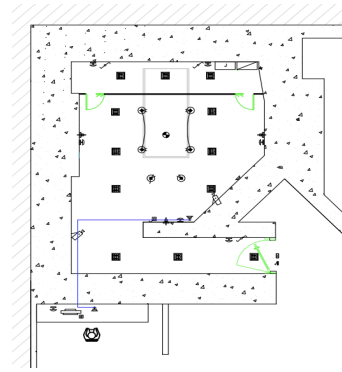
Sistema CCTV

Vigilancia del paciente en el área de tratamiento.



Sistema intercomunicación

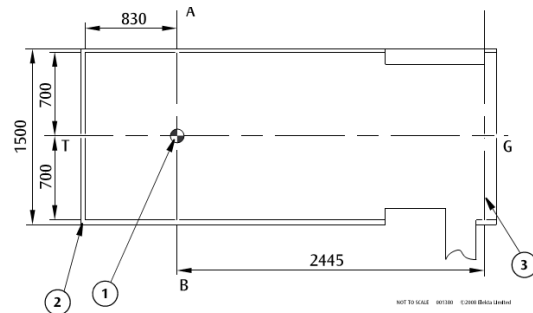
Comunicación entre área de control y área de tratamiento, Doctor –Paciente.



5. Instalación Linac

Instalación Base del Gantry

Para una correcta instalación de la Base se debe previamente construir una fosa. Esta Fosa será de vital importancia para una correcta instalación, y debe haber sido construida en conjunto con el Bunker de protección. Antes de ingresar los equipos al cuarto de tratamiento confirme que la Fosa cuenta con las características requeridas a continuación:



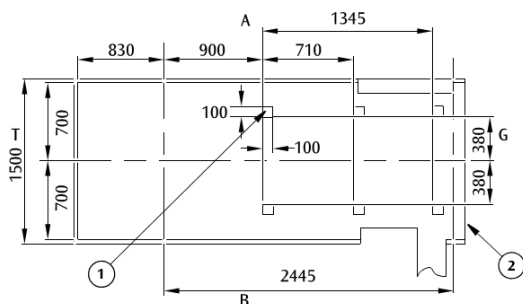
Todas las medidas se encuentran expresadas en milímetros.

- Isocentro
- Cavidad angular de hierro 50 mm x 50 mm
- Limite para la instalación de la base

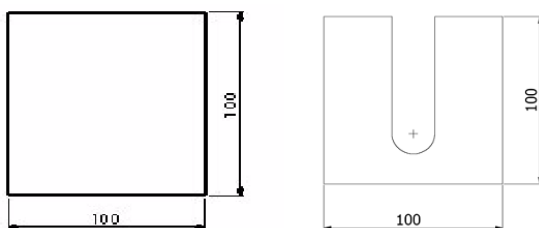
Después de haber confirmado las dimensiones de la Fosa vamos a continuar con la marcación del piso y la

perforación de agujeros para la instalación de la base. En el caso de la ciudad de Quito es imperativo la perforación de 6 agujeros donde se colocara un kit antisísmico de fijación.

1. El primer paso, es determinar el isocentro en el piso de la fosa, se lo puede marcar con un marcador de tinta permanente y siguiendo las indicaciones de la figura anterior.
2. Se debe trazar sobre el piso una línea que muestre las líneas A-B y G-T.
3. Finalmente se debe colocar una línea que nos permita visualizar el límite de instalación. Como se ve en la figura anterior.
4. Ayudados de la siguiente figura se debe marcar la posición donde serán instalados los 6 puntos de fijación del kit antisísmico.



1. Posición del punto de fijación de la base
2. Línea limite.
3. Coloque el fijador sobre cada posición y márkelo.



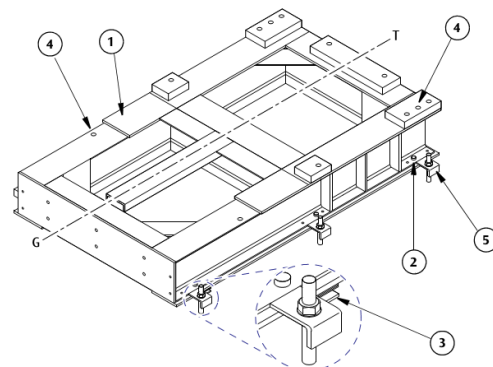
Posicionamiento de la Base.

Utilizando el castillo o A-frame se debe mover la base hasta situarlo justo entre los 6 tornillos de fijación.

Se debe alinear cuidadosamente con la marca del límite de instalación y la línea G-T.

Debemos revisar los siguientes ítems:

- La base se encuentra sobre las marcas.
- La distancia entre el borde exterior de la base borde y el filo de la fosa, y los agujeros son aproximadamente las mismas. La base es relativamente simétrica en el centro de la línea G-T. Máximo una diferencia de 7.5 mm.
- Los seis tornillos están centrados longitudinalmente en relación a la base.
- Los platos de fijación deben estar correctamente colocados como se muestra en la figura.



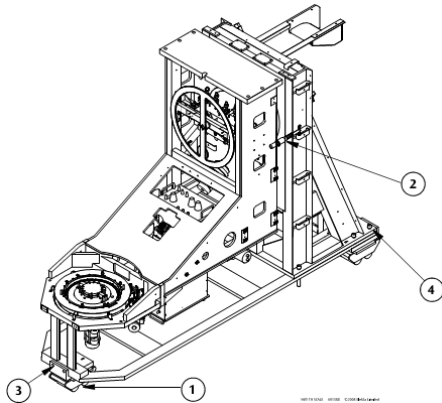
1. Superficie mecánica de nivelación.
2. Tornillo tipo Jack
3. Ajuste de Cuña
4. Agujeros de fijación del Gantry
5. Abrazadera de fijación

Sobre la parte superficie mecánica de nivelación compruebe que el sistema esta correctamente instalado utilizando un nivel. Ajuste los platos de sujeción con firmeza al piso.

Instalación Gantry

Se deben usar para la parte más pesada dos troles ajustados con 2 tornillos M20

cada uno y para la parte frontal o más liviana se debe ajustar el trole con dos tornillos M16. Antes de mover el Gantry se debe ajustar el bloqueo de seguridad. Como se muestra en la figura.



1. Trole
2. Bloqueo de seguridad
3. Tornillos M16 x 40 mm
4. Tornillos M20 X 160 mm

Se debe colocar el Gantry de manera muy cuidadosa, sobre la base del Acelerador, se debe asegurar que se encuentre horizontal sobre la base, sin inclinación. Para fijar el Gantry se debe utilizar 10 tornillos M20 x160 mm en conjunto con arandelas y tuercas M20.

Para continuar la instalación del Gantry se debe colocar dos cámaras de ionización de forma circular. Las cámaras de ionización nos permiten evaluar electrónicamente la radiación producida por el acelerador. Estas cámaras serán nuestros sensores principales para realizar calibraciones del acelerador y se ubican en el extremo del Gantry.

Las cámaras de ionización son muy delicadas por lo cual se recomienda evitar su manipulación. Para la colocación de las cámaras se debe tomar en cuenta que la estructura que las soportara cuenta de tres tipos de tornillos como muestra la figura.

Ambas cámaras de ionización son exactamente iguales, pero vamos a definir las cámaras como A y B. A se encontrara en la parte exterior y B se encontrara en la parte interior como muestra la figura anterior.

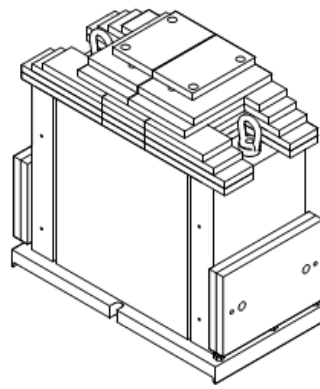
Se ha definido A y B en especial para realizar una correcta instalación de los cables de conexión de las cámaras. Los cables que se encuentran marcados como V1A, V2A y C1A corresponden a la cámara A y los cables V1B, V2B y C2B a la cámara B.

Instalación de contrapesos del Gantry

Es necesario compensar el peso del Gantry para que el motor que lo mueve realice el menor esfuerzo posible. Aproximadamente se requiere agregar un peso de 1440 Kg al extremo opuesto de la guía de onda, lo cual requiere extremo cuidado en la manipulación.

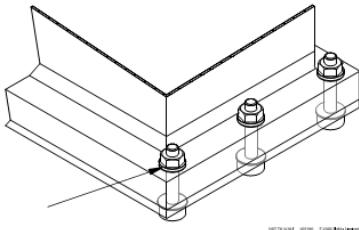
Normalmente la colocación de los contrapesos se la realiza con el Gantry colocado a 180°, pero en vista que nuestro bunker no tiene las dimensiones optimas ni posee una viga tipo I; el trabajo se realizo con el Gantry a 90° y utilizando el castillo.

El manejo de los contrapesos en esta posición puede resultar muy peligroso y se deben tomar todas las medidas de seguridad requeridas.

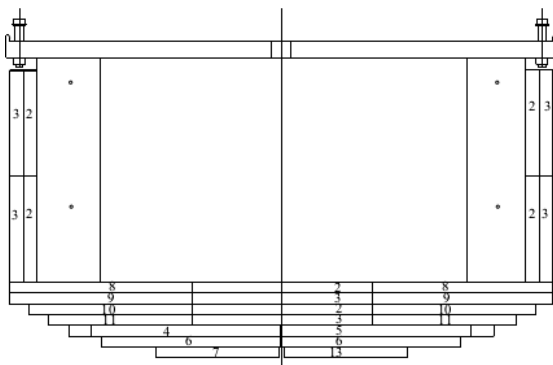


Cuidadosamente ya con los contrapesos en posición se los debe ajustar con 6 tornillos tipo M20 x 120 al Gantry, deben ser ajustados en cruz para evitar que los tornillos queden inclinados o

presenten un torque que los pueda deformar.



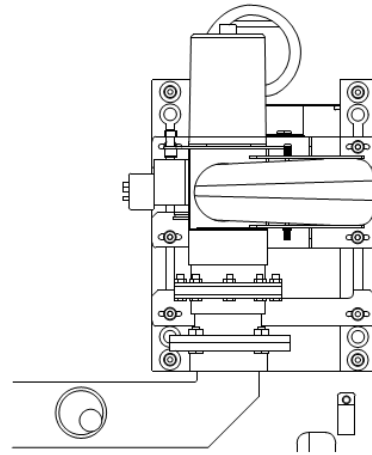
Ya colocado el contrapeso principal se debe atornillar los diferentes contrapesos individuales, de uno en uno, hasta completar el peso requerido para obtener un equilibrio adecuado. A continuación podemos observar una figura que nos permite ubicar la posición de los diferentes pesos individuales.



El número de contrapesos colocados dependerá de la configuración final del equipo y sus componentes adicionales.

Instalación del Magnetrón

El magnetrón es un dispositivo que nos permite generar microondas, en el caso particular del acelerador nos permitirá dar los pulsos electromagnéticos para acelerar los electrones en la guía de ondas. Por lo tanto para su instalación el magnetrón no debe topar la estructura de hierro del Linac u objetos magnéticos ya que puede interferir con su delicada configuración interna. Se debe utilizar herramientas antimagnéticas.



El Magnetrón debe ser tratado con mucho cuidado y manipulado asegurándose de no poseer electricidad estática.

Se debe desatornillar cada uno de los tornillos de la base donde se colocara el magnetrón utilizando herramientas antimagnéticas. En vista que nos encontramos muy cerca de un poderoso imán.

Para fijar el magnetrón se necesitaran 8 tornillos 3 M6 x 40 mm y 5 M6 x 30 mm.

La colocación del magnetrón se debe hacer con el Gantry a 90°, se debe ajustar los tornillos en su posición original, se debe ajustar dos 2 mangueras por donde circulara el sistema refrigeración. La temperatura normal al interior del magnetrón puede estar entre 800 a 900 ° centígrados.

Instalación del modulador

Para la instalación del modulador únicamente se requiere colocarlo dentro del cuarto de control posicionándolo detrás del lugar donde se colocara la Fascia. Con mucho cuidado hay que asegurarse que el modulador se encuentre conectado al cable de alto voltaje para su alimentación. La conexión es trifásica y se encuentra a la salida del regulador de voltaje.

Debido al alto voltaje generado por el modulador, el Thyatron nos permitirá

rectificar el voltaje que proveerá el modulador. Este no viene al interior del modulador debido a que esta construido de vidrio y debe ser instalado en el sitio donde trabajara el Acelerador.

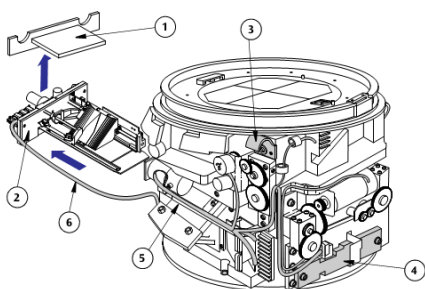
Para instalarlo se debe retirar el cobertor lateral del modulador. Un cobertor en de 6 tornillos debe ser retirado de igual manera que se encuentra en la base. Con mucho cuidado se debe ingresar el Thyatron para conectar el cable del ánodo (cable amarillo) con el ánodo del Thyatron.

Existen dos pares de cables que deben ser unidos antes de ajustar en su posición al Thyatron, X1 con X2 (cable blanco con verde) y X3 con X4 (amarillos)

Instalación del colimador Multihojas

Instalación del dispositivo de limitación de Haz (BLD)

Para la instalación del dispositivo de limitación del Haz es necesario instalar el diafragma asimétrico del BLD. El primer paso a realizar es desconectar el cable de control que controlas las cuñas que en la siguiente figura se lo identifica con el numero 6.



1. Blindaje de Plomo
2. Cuñas Automáticas
3. Gancho de Fijación (Se encuentra uno en cada esquina)
4. Blindaje de Plomo Posterior
5. Cable del colimador
6. Cable de control de las cuñas automáticas.

Remover dos tornillos M6 del socket frontal del blindaje de plomo (1) y retire cuidadosamente las cuñas, luego será ensamblada nuevamente. A demás existen 2 tornillos M6 más que deben ser retirados como muestra la figura.

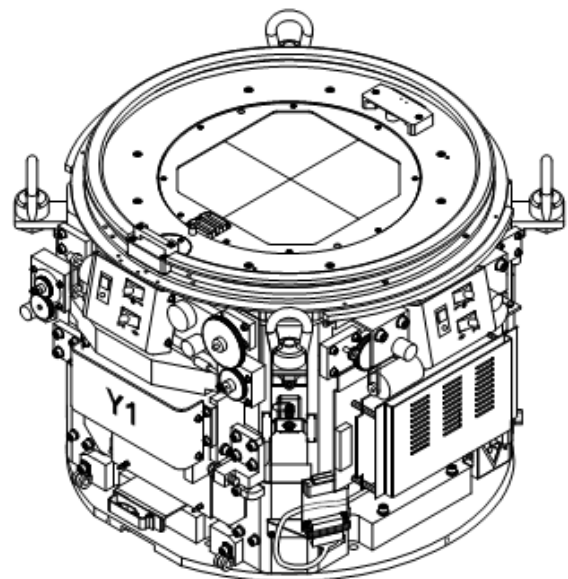
Sólo se debe levantar el dispositivo del limitación del Haz (BLD) con las correas de elevación, los grilletes y ganchos de izada. El BLD es pesado y si cae puede causar graves lesiones y daños en el equipo.

Se debe colocar el BLD en posición sobre el Gantry, y muy cuidadosamente ir deslizándolo hacia abajo para que coincida con dos pequeños tubos de acero que nos ayudaran como guías de ubicación. Hay que asegurarse que el descenso del BLD no presione ningún cable.

Para la fijación es necesaria la utilización de 6 tornillos hexagonales en la base del dispositivo de limitación del Haz.

A continuación ya con el BLD en posición, asegurado y con el diafragma asimétrico desmontado. Se procede con la instalación del Colimador Multihojas que se ubicara al interior del BLD.

4.3 Instalación del Colimador Multihojas MLCi2 en el Dispositivo de Limitación del Haz BLD



Con el colimador a 180° y el BLD a -180° podemos empezar la instalación.

Debemos estar colocar el seguro del Gantry para evitar que este gire y provoque accidentes.

Desconecte el conector PL26C del ensamble de auto cuñas. Se debe retirar el equipo refractante. En vista que no incluye el foco que permite simular el campo. Este debe ser colocado manualmente en el dispositivo.

Colocada la bombilla se debe colocar el dispositivo refractante en su lugar original. El colimador Multihojas se ubica debajo de del dispositivo refractante. Con mucho cuidado se debe ubicar por el lado C marcado en el BLD el banco de Multihojas. Se desliza muy suavemente por el espacio vacío. Se coloca los blindajes laterales, y se vuelve a instalar las cuñas automáticas en su lugar. Se reconectan los cables y se vuelven a ajustar los tornillos como venían originalmente.

Instalación De La Mesa De Tratamiento

La mesa de tratamiento es el lugar donde se ubicará el paciente para recibir la terapia de radiación. Es muy importante que se encuentre correctamente ubicada ya que esta determinara el preciso lugar en donde el isocentro y el tumor a tratar se sobrepondrán para el tratamiento.

Lo primero que se realizo fue la fijación de un bloque separador, para lo cual se debe tener la unidad base de iso-rotación instalada y nivelada. Este bloque separador de 81 mm se coloca en el brazo de la base de iso-rotación. Y debes asegurarnos que los dos pines de sujeción encaje en los agujeros del bloque.

Clavija en el brazo de la base de iso-rotación.

Pines de los agujero del bloque espaciador.

Instalación de los soportes rodantes de piso

Para la instalación de los soportes rodantes, previamente, se realizaron varios agujeros en el piso usando el mismo método empleado para la instalación de la base. Las piezas del soporte vienen desarmadas por motivos de seguridad, y de precisión. Se debe colocar los tornillos de la parte superior del soporte como muestra el gráfico (4.4 Gráfico 2), instale dos tornillos M8x40. Se debe ajustar la altura y el ángulo de los rodillos de apoyo al piso para alinear el plato con el suelo. Asegúrese de que los rodillos son tangenciales a la disco, y deben colocarse tan cerca del isocentro como sea posible, para evitar daños en el brazo iso-rotación y cables.

Los pilares también deben ser ajustados para que la rueda del soporte se ubique debajo y pegada al disco giratorio.

Colocación de la mesa de tratamiento sobre la base de Iso-Rotación

Para la colocación de la mesa es necesario utilizar el castillo, nuevamente se hace hincapié en el tema de seguridad. La mesa tiene un peso considerable y debe encajar únicamente un extremo de la misma sobre le brazo de la base de Iso-Rotación. El proceso concluye con el correcto ajuste de los tornillos entre base y mesa.

Finalmente se debe colocar y asegurar el disco de piso a la base y sobre los soportes rodantes.

Instalación de la Estación de Control

Estación de control es el lugar donde se ubicará el Físico Médico y manejará el acelerador lineal. Realmente decir estación de control involucra un término muy pequeño a lo que realmente maneja la interface Hombre-Maquina.

La instalación de la estación de control será dividida en dos partes:

Instalación de los Sistemas de control en el interior de cuarto de tratamiento.

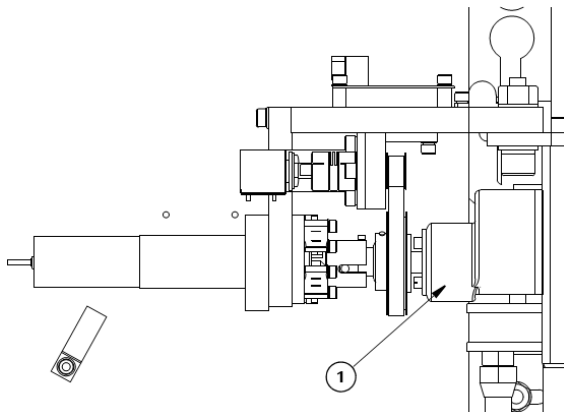
Instalación de los Sistemas de control en el área de control.

Instalación de Sintonizador

El sintonizador permite que el magnetrón genere la frecuencia necesaria y adecuada para acelerar los electrones en la guía de onda. Es muy importante para alcanzar la velocidad necesaria de los electros para generar una radiación uniforme y constante.

Antes de la instalación del Sintonizador hay que asegurarse que el perno de límite se encuentre en el medio del rango de rotación completa y asegúrese que la resistencia entre el TAP y cualquier terminal sea de $10\text{ K}\Omega$.

Ya revisado estos detalles debemos acoplarlo al Magnetrón, el siguiente diagrama nos permite observar la correcta colocación de sintonizador.

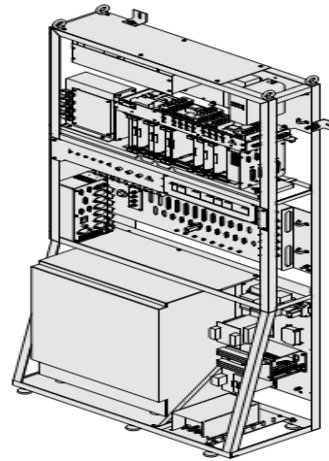


Se debe ajustar la posición de la brida de conducción. Se debe ajustar en el magnetrón en sentido horario y al llegar al final se debe volver una vuelta y media. El Sintonizador no se encuentra totalmente seguro así que hay que tener mucho cuidado con no golpearlo. Ahora se debe ajustar los tres pernos de la brida del sintonizador con los del magnetrón.

Se ajusto el espacio entre el accionamiento de las dos bridas de tal manera que la parte de sintonización del magnetrón se pueda mover libremente. Luego de comprobar esto es momento de ajustar los pernos.

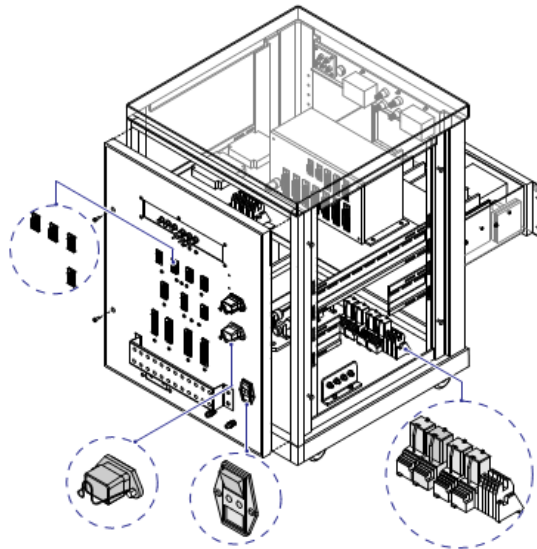
Gabinete del cuarto de tratamiento

Este Gabinete es la columna vertebral del Linac, se encargara de regular el ángulo de giro del Linac, así también el movimiento de la mesa, manejará el sistema Multihojas, apagará y prenderá las luces y láseres, etc. Para su instalación requeriremos colocarlo junto a la base del Acelerador. Solo colocaremos el equipo en su posición ya que las conexiones se realizarán cuando todos los equipos estén en su correcta ubicación.



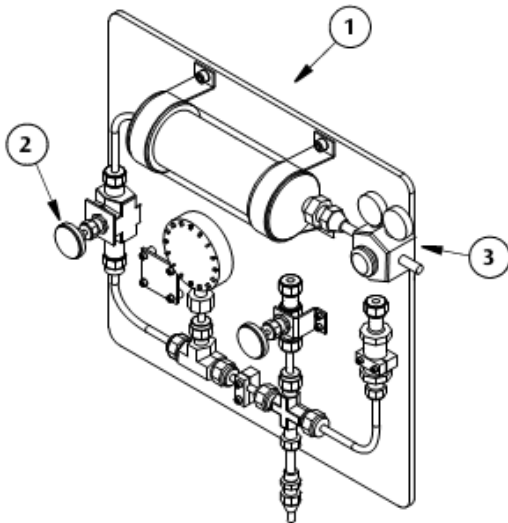
Gabinete de Control Principal (MCC)

De la misma manera, el gabinete del cuarto de control es la columna, entonces el Gabinete de Control Principal sería el Cerebro del Acelerador. Estos dos equipos serán el sistema nervioso del Acelerador, y sus interconexiones serán vistas en detalle en las tablas finales correspondientes a este mismo sub capítulo.



Sistema de presurización del gas dieléctrico

Para la instalación del sistema de presurización de gas dieléctrico es necesario seguir los siguientes pasos: Debemos asegurarnos que el flujo de aire en el cuarto de tratamiento es constante, y que la válvula del gas dieléctrico se encuentre cerrada.



1. Sistema de montaje de Gas
2. Válvula de entrada del Gas
3. Válvula de descompresión

Conectar el tanque de SF₆ a la válvula de entrada y abra la válvula.

Abra la válvula del cilindro del gas y debemos ajustar la válvula de

descompresión a una presión de 0.18 MPa.

Cierre la válvula del cilindro del gas. Ya que no es un sistema cerrado.

Sistemas de control en el área de control

Hay que hacer una aclaración, la mayoría de los equipos que se colocan en el área de control, tales como monitores, computadores, ups, etc. poseen diferentes fabricantes y mucha documentación tuvo que ser leída de manera externa.

Computador Front-End (FEC) para Diafragmas Asimétricos

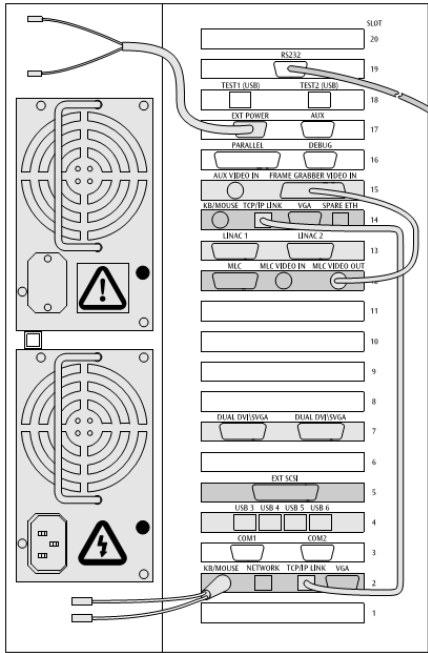
El sistema ELEKTA Compact con diafragmas asimétricos utiliza un computador (FEC) para el control del Acelerador Lineal.

El computador debe poseer ciertas características únicamente y se lo instala como un computador normal.

Características de periféricos:

- Tarjeta serial RS232
- Extensión de poder
- Entrada de Video Frame Grabber
- Entrada de video Auxiliar
- Link de TCP/IP
- Salida de Video Auxiliar
- Tarjeta dual DVI/SVGA
- Tarjeta de salida SCSI
- Tarjeta Con Multiples puertos USB
- Tarjeta de red

Las características en software vienen implantadas de fábrica por recomendación de ELEKTA Co.

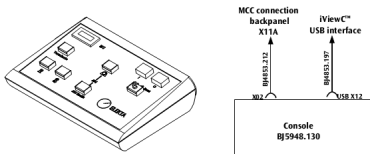


3. Rotar el Gantry en un movimiento continuo de -182° a 182° en forma horaria, tomando la medición de corriente cada 45° .
4. Repetir el paso 3 pero esta vez en sentido anti horario de 182° a -182° .
5. Las mediciones en cada uno de estos puntos la corriente debe ser menor a 0.5 A como máximo, y teniendo 0.4 A como corriente típica.
6. Si estos valores no son los adecuados remueva los pesos de balance repitiendo los pasos del 2 al 5 hasta obtener los valores correctos.

Es necesario colocar en UPS de respaldo para este equipo en vista que actualmente en nuestro país sufrimos ocasionalmente de apagones.

Es así que en la barra de herramientas primaria encontraremos el símbolo de calibración.

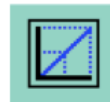
Instalación de la Consola



La consola de mando posee un cable de conexión (BJ4853.212 o BJ4853.004) desde la consola (X02) al panel MCC (X11A). También se debe conectar el cable (BJ4853.197) a la interface USB del iView Computer. En este caso el equipo Contara con un sistema iView que no fue instalado por nosotros.

Compact Geometry Calibration

Con esta herramienta se pueden calibrar movimientos de Gantry, colimador y tabla



6. Calibracion

ASU Calibration

Calibra el sistema ASU respecto al Linac



Balaneo Gantry

Beam Calibration

1. El Gantry debe estar posicionado a -182° .
2. Mediremos la corriente de salida de cualquiera de las tres fases del driver del motor AC en las terminales U, V o W, con un multímetro.

Nos ayuda a calibrar el Haz de radiación



Calcule reference dose

Existen dos cámaras de ionización a las cuales nos ayudan a medir las dosis de referencia



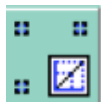
MLC opción primaria

Botón primario con el que se puede escoger diferentes opciones.



Calibrate reference reflectors

Usados para calibrar los reflectores referenciales.



Calibrate video lines

Con esto calibraremos las líneas de video



Calibrate leaf bank

Ayudara a calibrar el banco de datos de hojas.



Optics optimization

Optimizara el movimiento del multi hojas



Calibrate diaphragms MLC

Con esta opción podemos buscar señales del equipo tanto para modificarlas o monitorearlas



7. Conclusiones

El análisis de ingeniería básica logro destacar que dentro del proceso de instalación en el bunker las barreras primarias no constaban con la suficiente dimensión para la protección hacia el personal no operacional y operacional.

Mediante el estudio de protección radiológica y efectos biológicos se pudo determinar que la radiación ionizante bajo un responsable manejo y tomando las medidas adecuadas, no representa un peligro para la salud del personal ocupacional.

Se logro diseñar una barrera primaria que cumpla con los niveles de protección requeridos por la SCAN y adicionalmente se minimizo el costo gracias a la implementación de un modelo piramidal de planchas de acero nunca antes utilizado en el Ecuador.

Los cálculos realizados para el análisis de la barrera primaria determinaron una combinación entre acero y hormigón que no afectaron el nivel del piso del área gastroenterología sobre el techo del bunker.

A través de la ingeniería básica se pudo analizar y conocer cada una de las áreas,

procedimientos y partes que conforman el Acelerador Lineal modelo Compact, así como la interacción entre procesos, logrando una integración satisfactoria entre los diferentes dispositivos.

Los planos obtenidos para cada uno de los sistemas externos, deben ser diseñados para desarrollarse para que trabajen en conjunto con el Linac, por lo que es muy importante que se conozca detalladamente los procesos del Linac.

En el área de la medicina, un punto muy importante, es tener en cuenta al paciente, y que mejor manera es brindarles un servicio con equipos que tengan tecnología de punta. Que se encuentren correctamente calibrados y probados para un tratamiento eficaz.

8. Recomendaciones

Se recomienda para la instalación de cualquier equipo que maneje alto voltaje o donde se requiera movilizar grandes pesos seguir cuidadosamente los requerimientos de seguridad que salvaguardaran tanto la integridad física como la del equipo en sí.

En el proceso de instalación se debe leer detenidamente los manuales, siguiendo paso a paso, por más simple que parezca. El orden de instrucciones para garantizar un correcto funcionamiento del equipo.

Cuando se realicen cálculos matemáticos deberán estar organizados y bien explicados, para que cualquier persona que los estudie pueda comprender el flujo de información y el detalle del problema.

En procesos tales como instalaciones se deberían efectuar estudios y análisis, básicos y de detalle, para prever todos los requerimientos necesarios para un exitoso proyecto.

En sistemas complejos donde la calibración de procesos es esencial, hay que estar muy atentos a cada uno de los pasos que se realizan, estos deben ser ejecutados correctamente ya que cualquier falla se verá reflejado en la dosis entregada al paciente.

El Ecuador poseemos una red de suministro eléctrico que no nos asegura un voltaje constante, estas variaciones se verán reflejadas en dosis de radiación inexactas entregadas al paciente, lo ideal es la utilización de un regulador de tensión.

9. Referencias Bibliográficas

FUNCIONARIOS DE LA EX COMISION ECUATORIANA DE ENERGÍA ATÓMICA, , *Curso básico de protección radiológica*, tercera edición, Ministerio, Marzo 2011, 192 pag.

NCRP Report, , *Structural shielding design and evaluation for megavoltage x and gama-ray radiotherapy facilities*, , Bethesda, Diciembre 2005,

MCGINLEY, Patton, *Shielding techniques for radiation oncology facilities*, segund edición, Medical physics publishing, Madison Wisconsin, 2003, 163 pag

VIGGS, Peter, *Radiation shielding for Megavoltage photon therapy machines*, paper, Department of radiology radiation oncology, Massachusetts, Julio 2010, 72 pag.

ELEKTA LIMITED INSTALLATION INFORMATION, Artículo 100556602, Beijing, 2010, 250 pag.

ELEKTA, LIMITED, SITE INFORMATION, Artículo 100556602, Begin, 2010, 250 pag.

ELEKTA COMPACT WHIT ASYMMETRIC DIAPHRAGMS, Artículo 100556702, Fleming, 2012, 194 pag.

ELEKTA COMPACT SITE AND
PLANNIG GUIDE, Articulo

100552103, Beijing, 2010, 170 pag.