



## BLOQUE 2 EQUIPOS DE TELETERAPIA



# ACELERADOR LINEAL



# TEMA 4 – ACELERADOR LINEAL DE ELECTRONES

## INDICE

**4.1- ACELERADORES LINEALES**

**4.2- COMPONENTES PRINCIPALES**

**4.3- TIPOS DE ACELERADORES LINEALES**

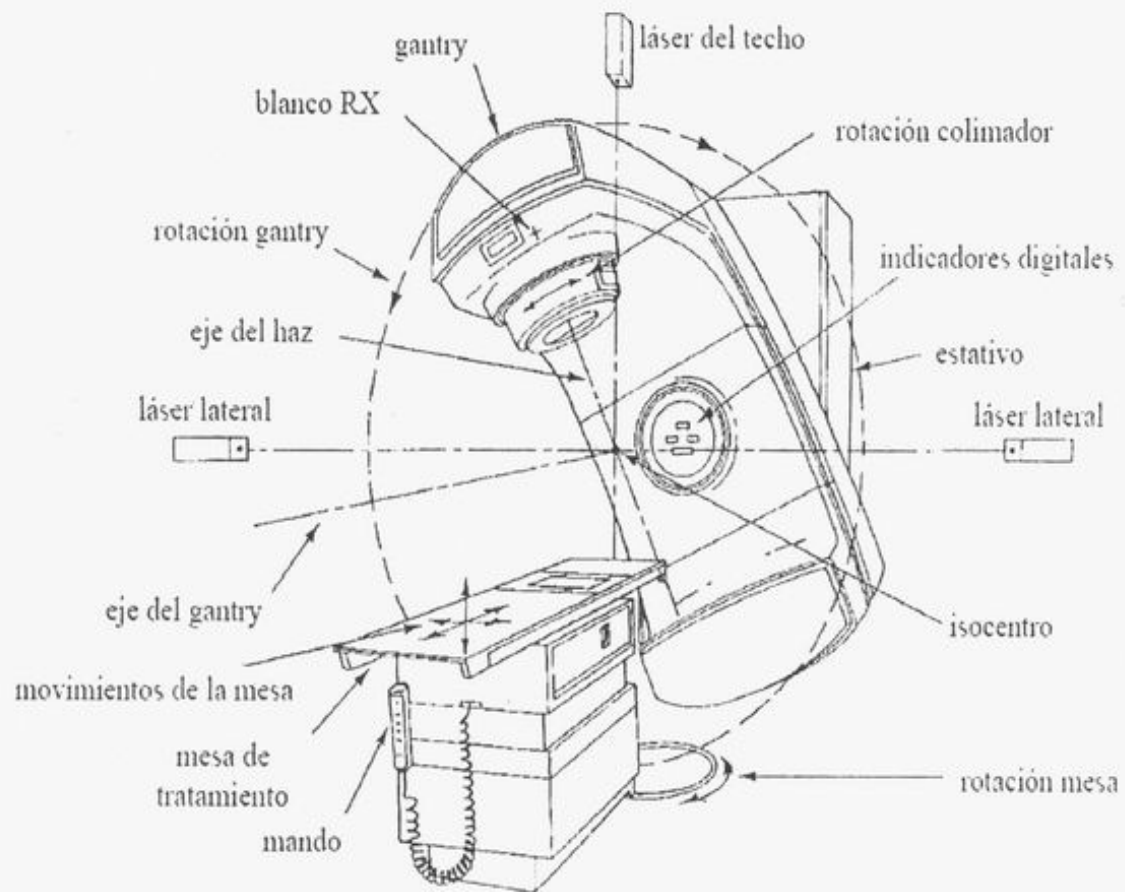
**4.4 - ESQUEMA GENERAL DE UN ACELERADOR LINEAL**

**4.5 - PARTES PRINCIPALES DEL MISMO Y SU FUNCIONAMIENTO**

**4.6 – MODIFICADORES DEL HAZ**

**4.7 –BOLUS Y OTROS COMPENSADORES.**

**4.8 - SISTEMAS DE COLIMACION Y CONFORMACION DEL HAZ**



# ACELERADORES LINEALES

- ❑ Aceleradores uso médico : Aceleradores Lineales de Electrones (ALE) O LINAC (siglas en inglés).
- ❑ Diseño primer acelerador — Rolf Wideroe en 1928.
- ❑ Aceleran partículas cargadas en línea recta mediante campos magnéticos y eléctricos.
- ❑ Destruyen células cancerosas sin afectar los tejidos circundantes normales.
- ❑ Solo se producen radiaciones cuando el equipo es conectado y se ordena producirlas.

Los ALE generan :

- ✓ ELECTRONES : son capaces de acelerarlos a velocidades cercanas a la de la luz .
- ✓ RAYOS X DE ALTA ENERGIA : los electrones acelerados inciden sobre un blanco determinado.

Los ALE pueden producir tanto haces de electrones como haces de rayos X para uso terapéutico

# COMPONENTES PRINCIPALES

## COMPONENTES PRINCIPALES DE UN ACELERADOR LINEAL DE ELECTRONES

En la ESTRUCTURA GENERAL de un acelerador podemos diferenciar:

- Parte externa: Elementos que hacen posible el funcionamiento tanto de la radiación ionizante que debe producir como de los movimientos.
- Estructura interna: Formada por una serie de componentes responsables de este funcionamiento.



# ESTRUCTURA ACELERADOR LINEAL

- COMPONENTES EXTERNOS
  - Estativo
  - Brazo o Gantry
  - Modulador
  - Mesa de tratamiento
  - Mesa de control
  - Interlocks o enclavamientos de seguridad
- COMPONENTES INTERNOS
  - Generador de radiofrecuencia
  - Cañón de electrones
  - Guía aceleradora
  - Deflector magnético
  - Blanco o folias dispersoras
  - Cono aplanador del haz
  - Sistema de cámaras monitoras
  - Colimadores
  - Componentes movimientos mecánicos

# COMPONENTES EXTERNOS ALE

## ESTATIVO

- Parte fija del equipo , soporta el brazo o gantry y contiene los sistemas mecánicos y auxiliares para su funcionamiento.

## BRAZO O GANTRY

- Parte móvil del acelerador, contiene ☐ Componentes internos del acelerador.

- Forma de "L"

En un extremo : cabezal del equipo .

Otro extremo : contrapeso para equilibrar sus movimientos.



En algunas unidades , este es:

Sistema de adquisición de imágenes portal o Sistema de visión portal, también denominado EPID.



Sistema  
Vision  
Portal

# BRAZO O GANTRY

-El **brazo o gantry contiene** : mecanismos para acelerar el haz y administrar el tratamiento por medio de dispositivos de conformación del haz.

## **CABEZAL**

- Extremo superior del brazo del acelerador.

- **Contiene:** Fuente de radiación

  - Sistemas de colimación

  - Sistema de iluminación del campo

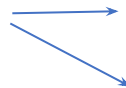
- **Compuesto por:** Blanco de rayos X

  - Cono ecualizador para fotones

  - Filtros homogeneizadores para electrones

  - Cámaras de ionización

  - Colimadores

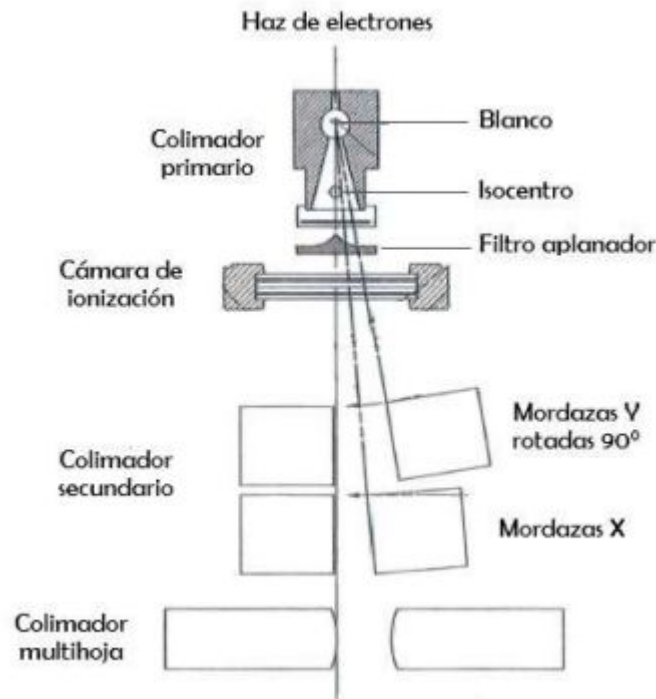


Primarios

Secundarios

### CABEZAL

- Electrones perpendiculares al suelo, se rompe el vacío y se dirigen hacia el paciente.
- También es la zona donde se producen los haces de fotones.



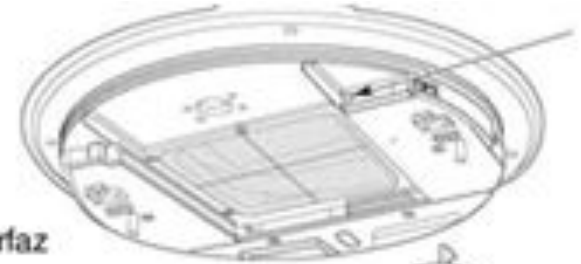
**Colimador**: Componente interno del ALE , ubicado en el cabezal del equipo.

UBICACIONES DE LOS ACCESORIOS  
DEL COLIMADOR

COLIMADOR



Soporte  
de la interfaz



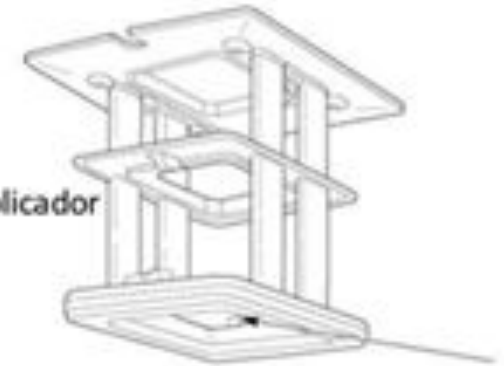
Soporte de  
accesorios



Soporte del  
compensador



Soporte del aplicador  
de electrones



# MODULADOR

- Localizado en el interior de la sala de tratamiento.
- Contiene los elementos que distribuyen y controlan la potencia eléctrica.



## **MODULADOR**

Contiene los componentes que transforman la corriente alterna en alto voltaje y lo distribuyen a los sistemas del acelerador.

Contiene los controles de alimentación principales, los disyuntores de circuitos del sistema y otros controles e indicadores.

# MESA DE TRATAMIENTO

Lugar donde se posiciona al paciente para realizar el tratamiento.

• Consta de :

*Tablero* □ parte superior de la mesa donde se posiciona al paciente.

*Pedestal* □ parte que soporta el tablero y que contiene los sistemas mecánicos .

## MOVIMIENTOS DE LA MESA

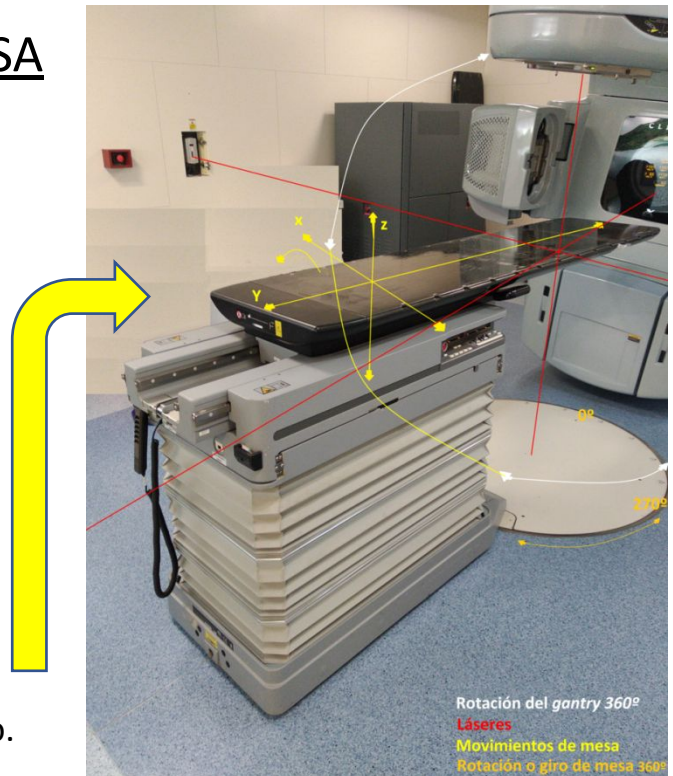
• **Vertical**

• **Longitudinal**

• **Transversal o Lateral**

• **Angular o rotación isocéntrica**

En la imagen y en color amarillo se muestran los diferentes movimientos de la mesa de tratamiento.



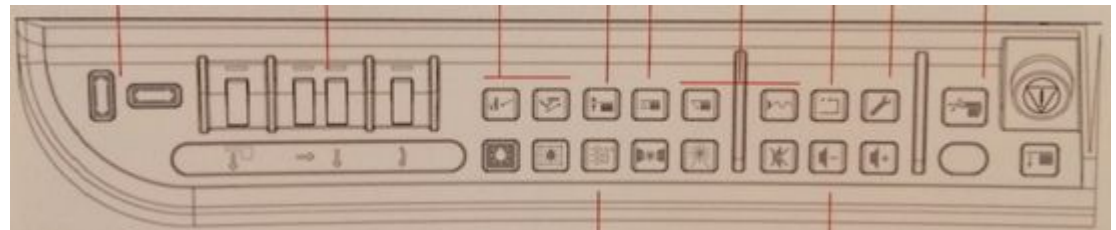
# Mesa de tratamiento

Dispone de :

**Mando o telemando** ☐ Mismas funciones ☐ **Paneles laterales**



- ✓ movimientos de la mesa.
- ✓ giro colimador y gantry.
- ✓ campo luminoso
  - ✓ Láseres
  - ✓ Mordazas



# MESA DE CONTROL

-Situada en la sala de control.

- Consta de :

- mandos de control
- cámaras vigilancia
- micrófono y altavoz



*\*El micrófono ,el altavoz y el control del sistema de imagen □ integrado en el equipo o conectado a parte con la sala.*

**Ordenador** – Consta de:

Uno o varios monitores: Estado de operación de unidad

Dos teclados : Convencional y teclado de la consola de control.

## Modos de operación

-Modo clínico

-Modo físico

Componentes externos ALE

## INTERLOCKS O ENCLAVAMIENTOS DE SEGURIDAD

Sistemas de seguridad del equipo, aparecen en el monitor de la consola a modo de aviso.

*Ejemplos;*

*DOOR* → Puerta abierta

*PNDT* → Telemando no está colocado correctamente.

*Modo servicio*: Acceso a los interlocks y modificaciones parámetros equipo.

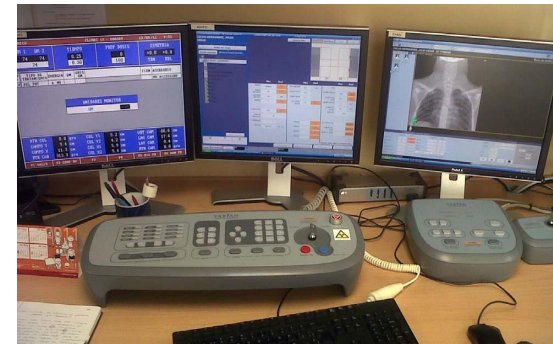
## TECLADO DE LA CONSOLA

Panel donde están los mandos de control del equipo.

*Doble mecanismo de seguridad*: la llave y botón de parada de emergencia.

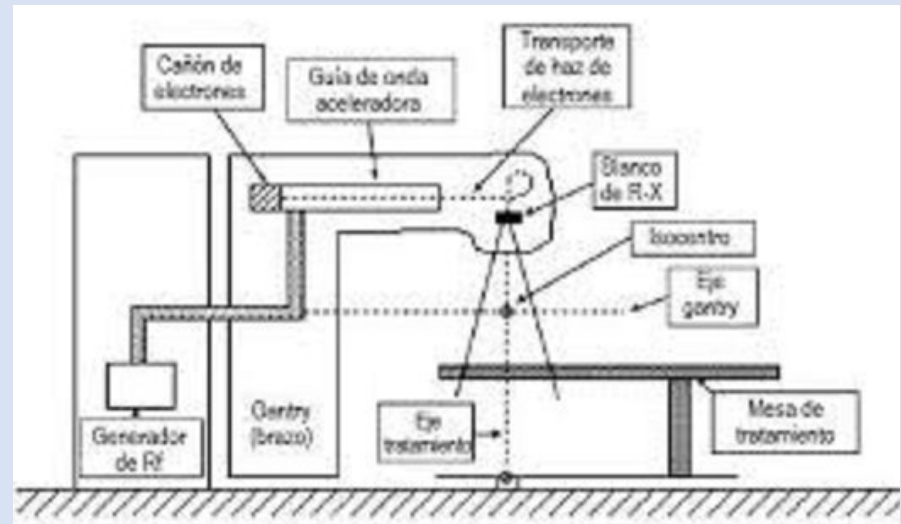
Parámetros de tratamiento que controla:

- ✓ Selección modo fotones o modo electrones.
- ✓ Selección energía.
- ✓ Accesorios (cuñas, aplicadores de electrones...).
- ✓ Tamaño de campo.
- ✓ Giro de colimador, gantry y camilla.
- ✓ Unidades Monitor (UM).
- ✓ Tasa de dosis.

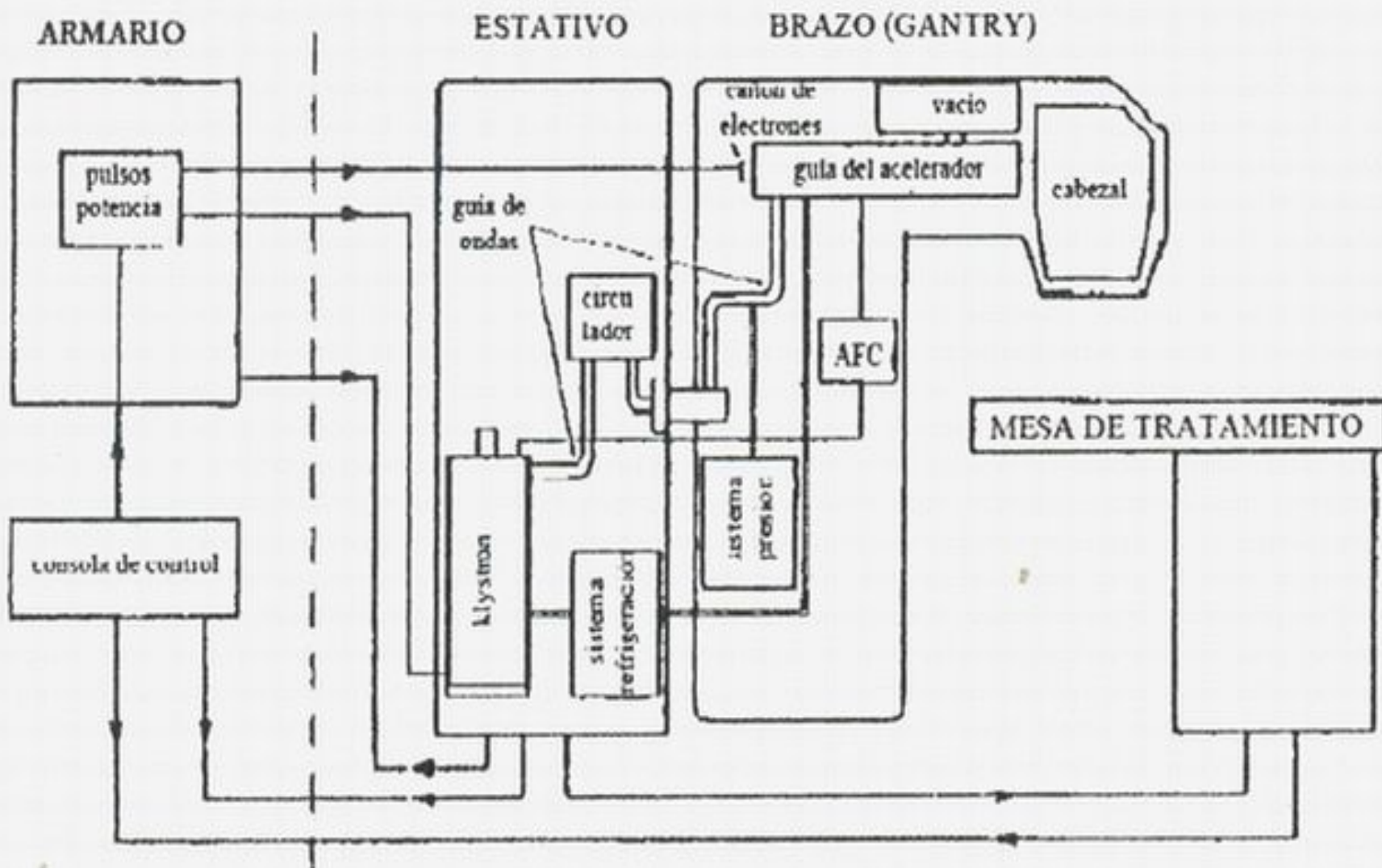


## COMPONENTES INTERNOS DE UN ALE

- Generador de radiofrecuencia
- Cañón de electrones
- Guía aceleradora
- Deflector magnético
- Blanco o folias dispersoras
- Cono aplanador del haz
- Sistema de cámaras monitoras
- Colimadores
- Componentes para los movimientos mecánicos

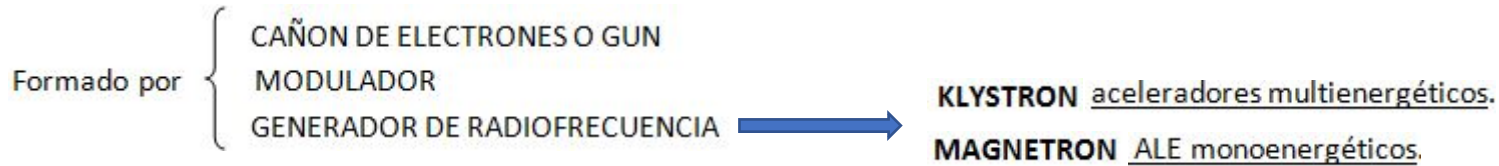


*\*Definiremos estos componentes en el funcionamiento del acelerador lineal.*



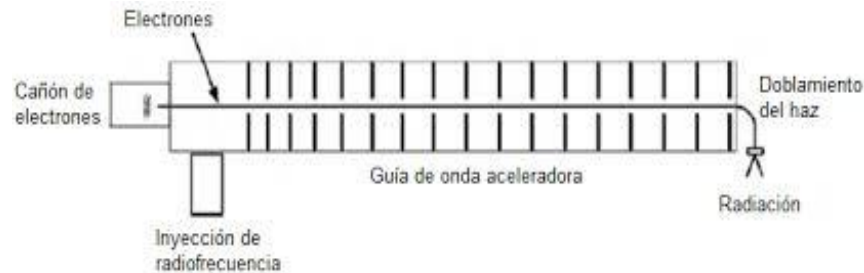
# FUNCION COMPONENTES INTERNOS

## SISTEMA GENERADOR



## SISTEMA ACELERADOR

GUÍA ACELERADORA →



**SISTEMA DE DEFLEXION** → *Sistema magnético de deflexión del haz a 90 y a 270.*

**SISTEMA DE CONFORMACION DEL HAZ** → Lámina difusora y colimadores.

**SISTEMA DE MANTENIMIENTO**

- ① Sistema de vacío.
- ② Sistema de refrigeración.

**SISTEMA DE MOVIMIENTOS MECANICOS** → Control manual colgante o telemando.

## 4.3 - TIPOS DE ACELERADORES LINEALES

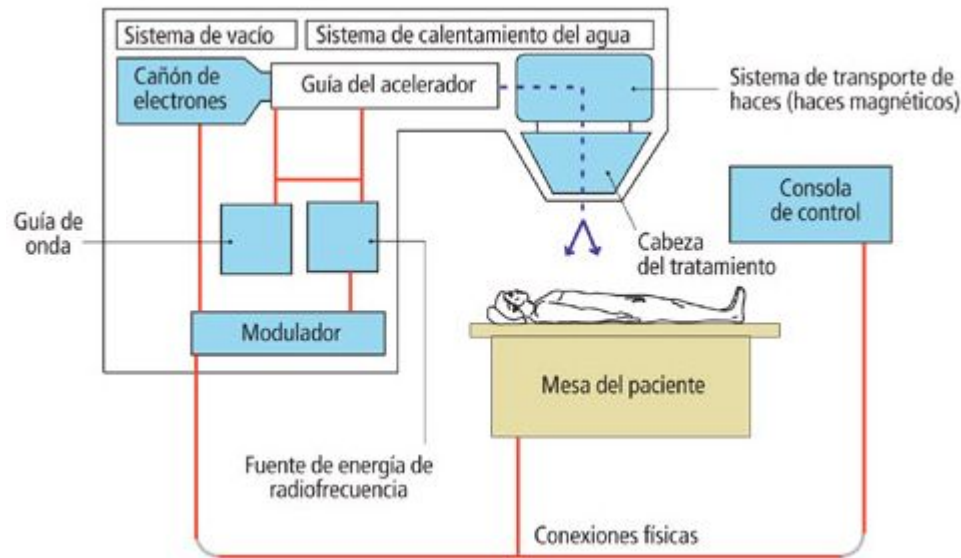
**ALE monoenergéticos** □ FOTONES (entre 4 MV y 6 MV )

**ALE multienergéticos** □ FOTONES Y ELECTRONES.

- Haces de fotones baja energía (4MV - 6MV) y alta energía (18MV - 20 MV)
- Haces de electrones de diferentes energías.

## 4.4 - ESQUEMA GENERAL DE UN ACELERADOR LINEAL

Acelerador lineal o LINAC es un dispositivo de grandes dimensiones que suministra a distancia rayos X de alta energía.



# 4.5 – FUNCIONAMIENTO ACELERADOR LINEAL

## PARTES PRINCIPALES Y FUNCIONAMIENTO

COMPONENTES PRINCIPALES: modulador, cañón de electrones, fuente de poder de radiofrecuencia y guía del acelerador.

### FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN ACELERADOR LINEAL

- a) Los electrones producidos se introducen en la SECCION ACELERADORA
- b) Las ondas son generadas ➡ MODULADOR y amplificadas ➡ magnetrón o klystron
- c) Las ondas son inyectadas a través de la guía de ondas.
- d) Los electrones y las ondas se inyectan en forma de pulsos de forma simultánea.

# SECCIÓN GENERADORA

## Cañón de electrones

forma cerrada ya que dentro ➡ Alto grado de vacío

Emite electrones y los inyecta en la sección aceleradora.

## Modulador:

Suministra simultáneamente pulsos de tensión a cañón de electrones y klystron.

- La *fente de alimentación* proporciona corriente continua al modulador.
- El *circulador* aísla el klystron de las microondas.

Generador de potencia (magnetron o klystron): Fuente de potencia de alta frecuencia.

*Magnetron* : Transforma energía eléctrica en electromagnética en forma de microonda

*Klystron* : Válvula vacío de electrones.

### Magnetron

- Usado en LINAC de bajas energías (4-8 MeV) Pico 3MW.
- Menor voltaje.
- Menor tamaño.

### Klystron

- Usado en LINAC de altas energías (10-25 MeV) Pico 7MW.
- Alto voltaje.
- Mayor tamaño.

# SECCIÓN ACELERADORA

Forma de tubo , en su interior hay una serie de cavidades a las que se ha realizado el vacío.

□ Se inyectan ondas provenientes de la guía de ondas y electrones provenientes del cañón.

□ Dos modelos de ondas:

PROGRESIVAS

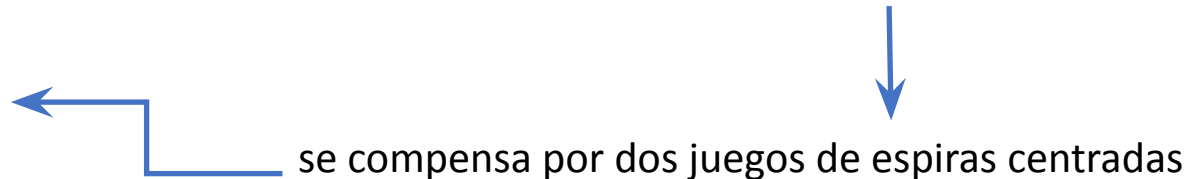
ESTACIONARIAS

**Los electrones adquieren la energía de las ondas :**

- En la 1ª parte de la sección los electrones adquieren la velocidad de la luz.
- Las energías alcanzadas en los ALE varían entre 6 y 24 MeV.
- El diámetro del haz de electrones al final de la sección aceleradora es del orden de 3mm.

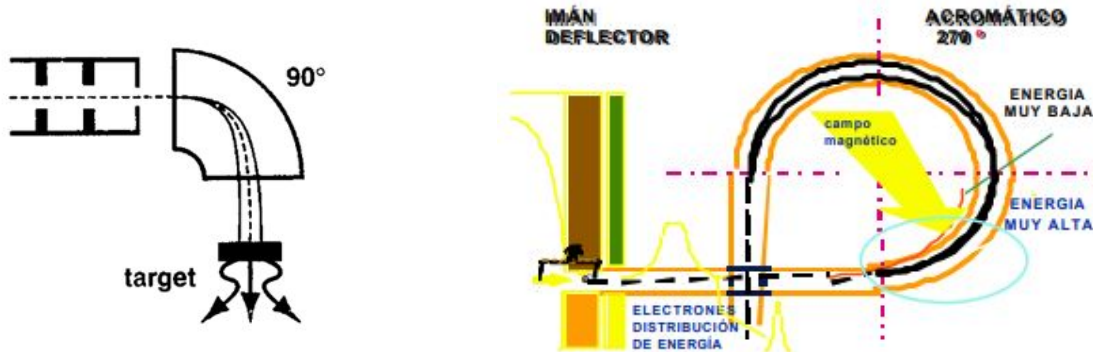
Para agrupar a los electrones durante su trayectoria → Evitar cualquier desviación del haz.

Extremo de la guía de ondas



# SECCIÓN DEFLECTORA

- Los ALE tienen unas bobinas magnéticas que permiten desviar la trayectoria de los electrones.
- Los electrones pueden ser desviados  $90^\circ$  o  $270^\circ$ .
- Este conjunto  $\longrightarrow$  SISTEMA MAGNÉTICO DE DEFLEXIÓN DEL HAZ.
  - SISTEMA DE DEFLEXION DEL HAZ A  $90^\circ$  □ emplea un imán muy intenso.
  - SISTEMA DE DEFLEXION DEL HAZ A  $270^\circ$  □ Corrige la energía y variaciones del haz.



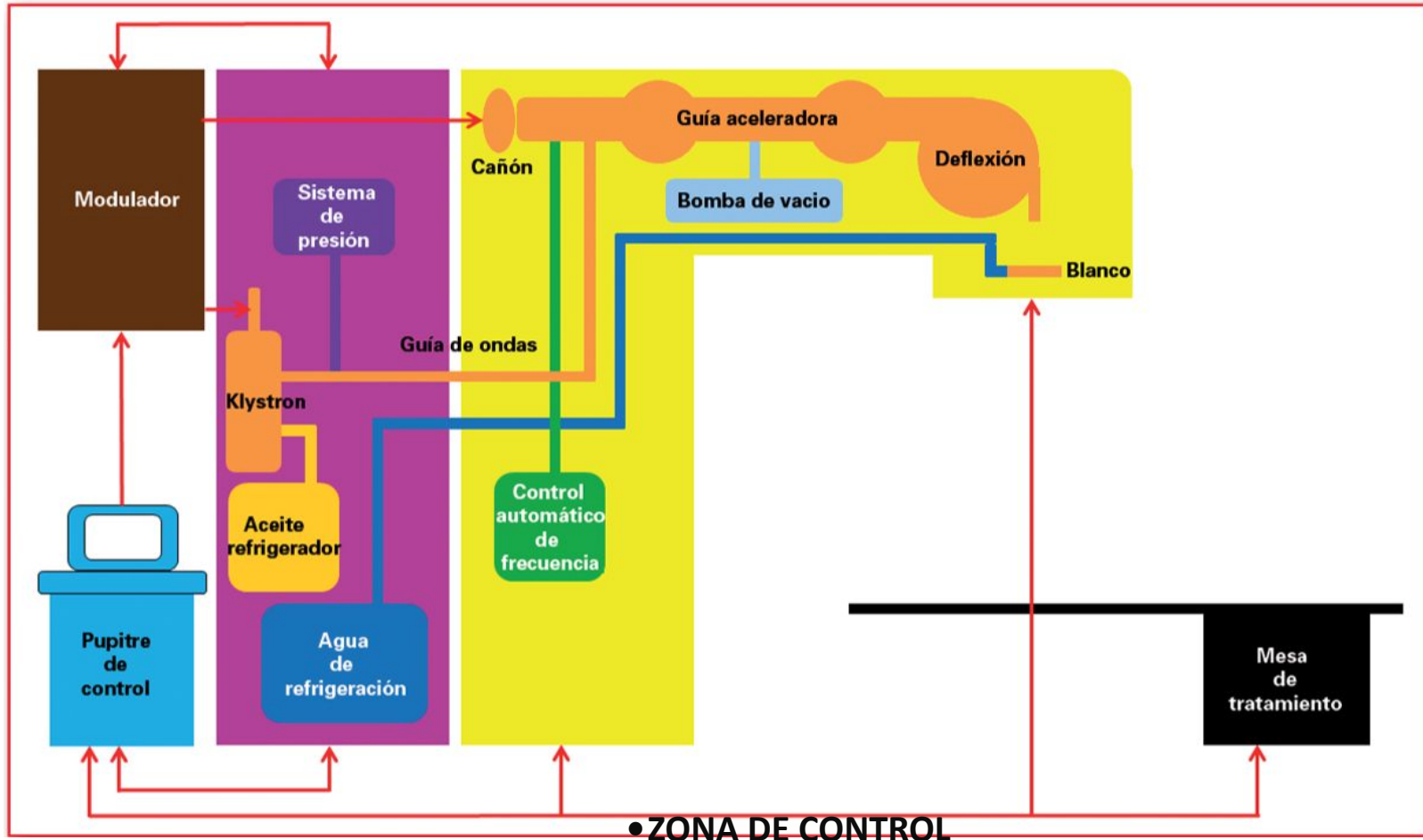
## SISTEMA DE DEFLEXION EN ACELERADORES MULTIENERGETICOS

- Sección aceleradora ALE multienergéticos  $\longrightarrow$  2 m
- Paciente paralelo al suelo  $\longrightarrow$  desviar la trayectoria de los electrones  $90^\circ$

## SISTEMA DE DEFLEXION EN ACELERADORES MONOENERGETICOS

- cañón de electrones perpendicular al suelo  $\longrightarrow$  NO poseen bobinas de deflexión

# ESQUEMA ACCELERADOR LINEAL



FLECHAS EN ROJO



indican camino de



señales de control

• ZONA DE CONTROL

• MODULADOR

• ESTATIVO

• BRAZO O GANTRY

• MESA DE TRATAMIENTO

# Funcionamiento CABEZAL

En el CABEZAL se producen HACES DE ELECTRONES y HACES DE FOTONES



se dirigen a blanco o target

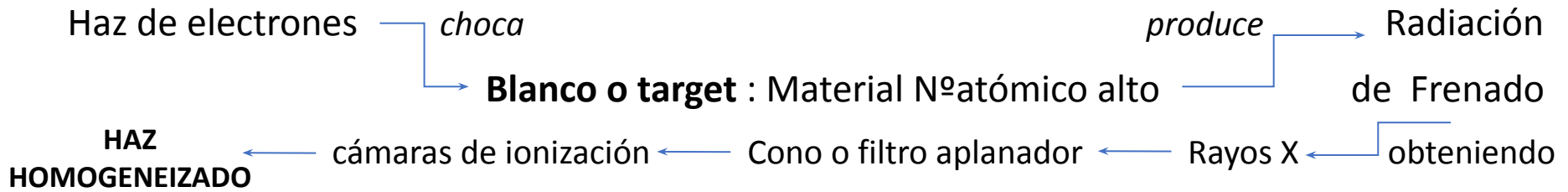


Con los electrones perpendiculares al suelo, se rompe el vacío y se dirigen → Paciente.

Compuesto por : Elementos mediante los que se obtienen haces de fotones y electrones.

- ❑ Blanco de rayos X.
- ❑ Cono ecualizador para fotones.
- ❑ Filtros homogeneizadores para electrones.
- ❑ Cámaras de ionización.
- ❑ Colimadores primarios y secundarios.

# HACES DE FOTONES



## ELEMENTOS HOMOGENEIZACION DEL HAZ

1º Cono o filtro nivelador : a la salida del blanco.

2º Cámaras monitoras : Son 2 cámaras de ionización.

Controlan  $\rightarrow$  Dosis

Tasa de dosis

Homogeneidad

simetría del haz

\*La medida de estas dosis : “Unidades monitor” (UM)

3º Sistema de colimación : Colimador primario y Colimador secundario.

Actualmente , los sistemas de colimación secundaria cuenta con un sistema denominado MULTILÁMINAS Éste puede sustituir el colimador secundario o estar añadido como colimador terciario.



# HACES DE ELECTRONES

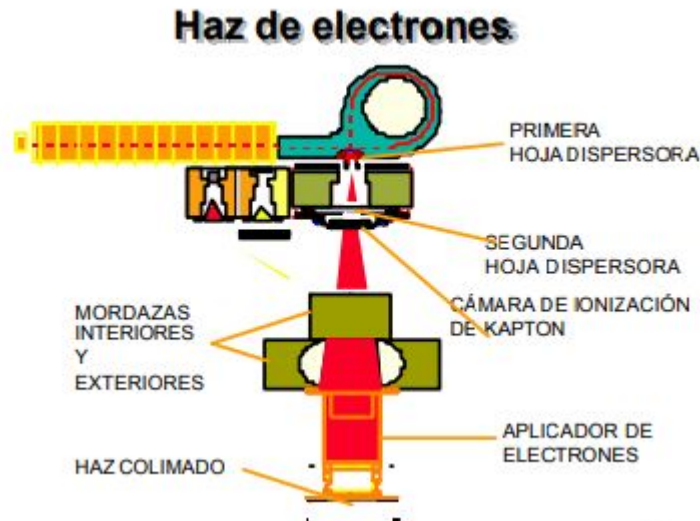
*El camino de los haces de electrones después de la salida del vacío...*

1º Se dispersan en unas **hojas dispersoras** que permiten que los haces se extiendan y sean uniformes.

2º Penetran en las **cámaras monitoras**

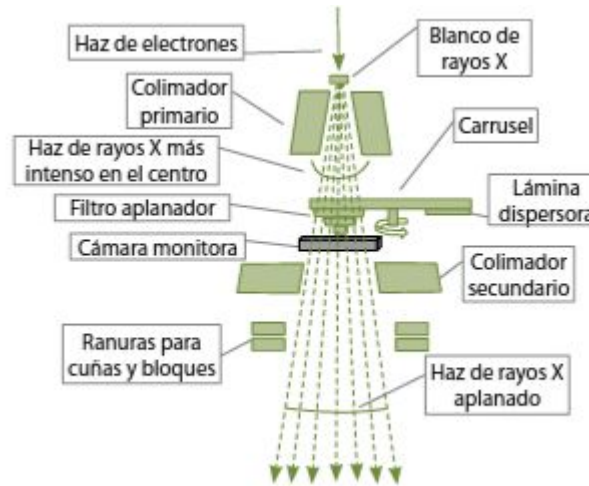
3º APLICADOR - **colimador terciario** : filtra los electrones dispersos .

- a 10, 5 o 0 cm de la piel.



# ESQUEMA COMPONENTES EXISTENTES EN EL CABEZAL DE UN ACELERADOR PARA PRODUCIR RX

RX de frenado → Se producen cuando los electrones chocan con el material que constituye el blanco , tras él → *colimador primario*



Por último , otros dos elementos del acelerador son:

## SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Función: Refrigera la fuente de potencia de alta frecuencia, la guía de ondas y el blanco de rayos X.

## CONTROL AUTOMÁTICO DE FRECUENCIA

Función : mantener constante la frecuencia de las microondas.

## 4.7 - MODIFICADORES DEL HAZ

### MODIFICADOR DE HAZ DE RADIACION EXTERNA

Objetivo: variar la distribución de dosis en el volumen irradiado .

**Cuña** → Crea un gradiente de dosis en zona irradiada.

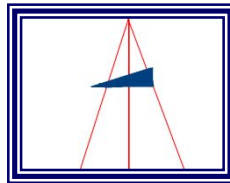
Se definen por 3 parámetros; Factor de transmisión, ángulo de cuña y el campo máximo de utilización.

#### TIPOS DE CUÑAS

**CUÑAS FISICAS**

**CUÑAS MOTORIZADAS**

**CUÑAS DINAMICAS (O VIRTUALES)**

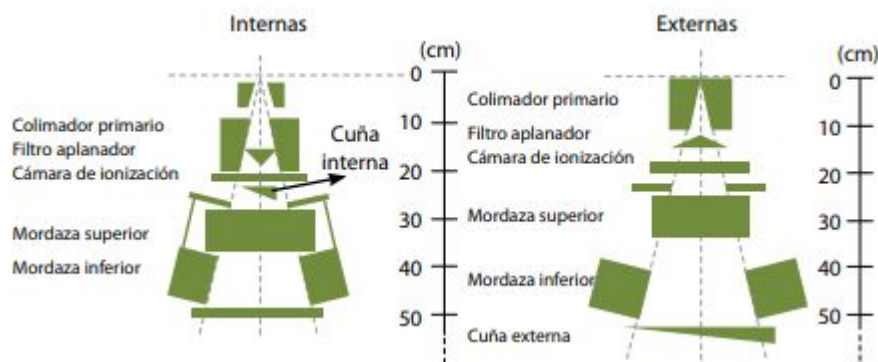


# TIPOS DE CUÑAS

## CUÑAS FÍSICAS

( 15, 30, 45 y 60 grados) Unidades de cobalto

Motorizadas Internas (universales) y Externas

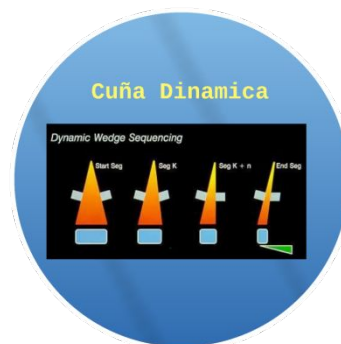


## CUÑAS MOTORIZADAS

Cuña motorizada en una dirección del campo de radiación y una dinámica en la otra.

## CUÑAS DINAMICAS (O VIRTUALES)

Surgieron al aparecer ALE con las mandíbulas que forman el colimador.



## 4.7 - BOLUS Y OTROS COMPENSADORES



**COMPENSADORES** *Mismo efecto que el bolus, pero con efecto de protección piel. A unos 15 a 20 cm de la superficie a tratar.*

- Consiguen distribuciones dosis no uniformes en el tumor.
- Fabricados comúnmente de aleaciones de Pb, como el Cerrobend.

Compensadores tipo Ellis: disminuir la dosis en la piel, a 15cm. Son bloques de aluminio o cobre .

### BOLUS

- Elemento modificador del haz de radiación.
- Material de composición orgánica equivalente a la densidad del agua (cera/parafina, agua o siliconas).

## 4.8 - SISTEMAS DE COLIMACION Y CONFORMACION DEL HAZ

### 4.8.1- SISTEMA DE COLIMACION DEL HAZ

Función: Orientar el haz, delimitar y conformar campo de tratamiento.

Colimadores: Estructuras para detener o atenuar la radiación.

Colimador primario

Colimador secundario

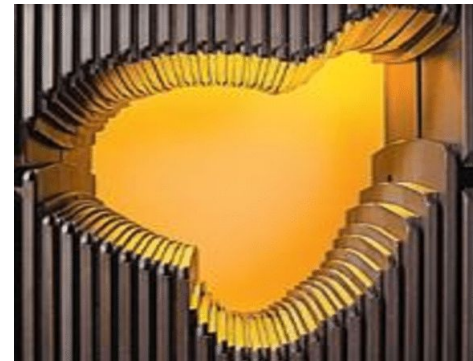
Colimador multiláminas (MLC)

Moldean el haz de radiación

Otros dispositivos → blanco de rayos X, filtro aplanador y lámina dispersora.

COLIMADORES EN UNIDADES DE COBALTO : Bloques de Pb - Ajustables.

COLIMADORES EN ACELERADORES LINEALES : MLC



## COLIMADORES

- **Colimador primario**

Forma cónica.

Función: evitar la fuga de radiación dispersa.

- **Colimador secundario**

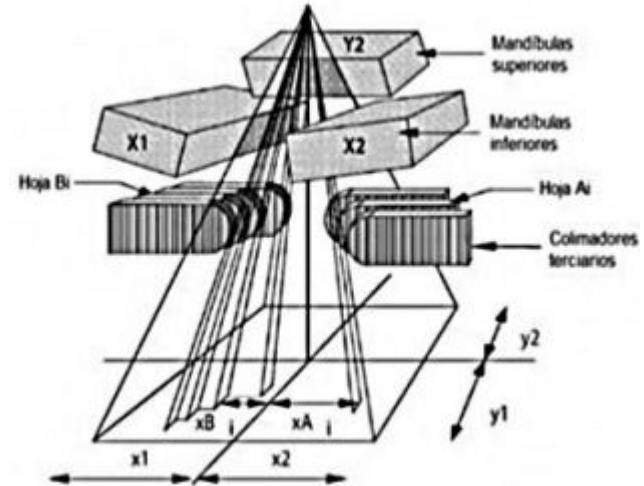
Mandíbulas (2 pares de bloques).

Función: Disminuir la Penumbra.

- **Colimador multilaminas (MLC)**

Entre 20 y 60 pares de laminas

Función: Conformar campos y modular la intensidad del haz.



## COLIMADOR MULTILÁMINAS (MLC)

- Moldea los haces de radiación.
- Láminas motorizadas independientes.
- Aleaciones de Tungsteno(alta densidad)
- Acoplado al cabezal.

### VENTAJAS

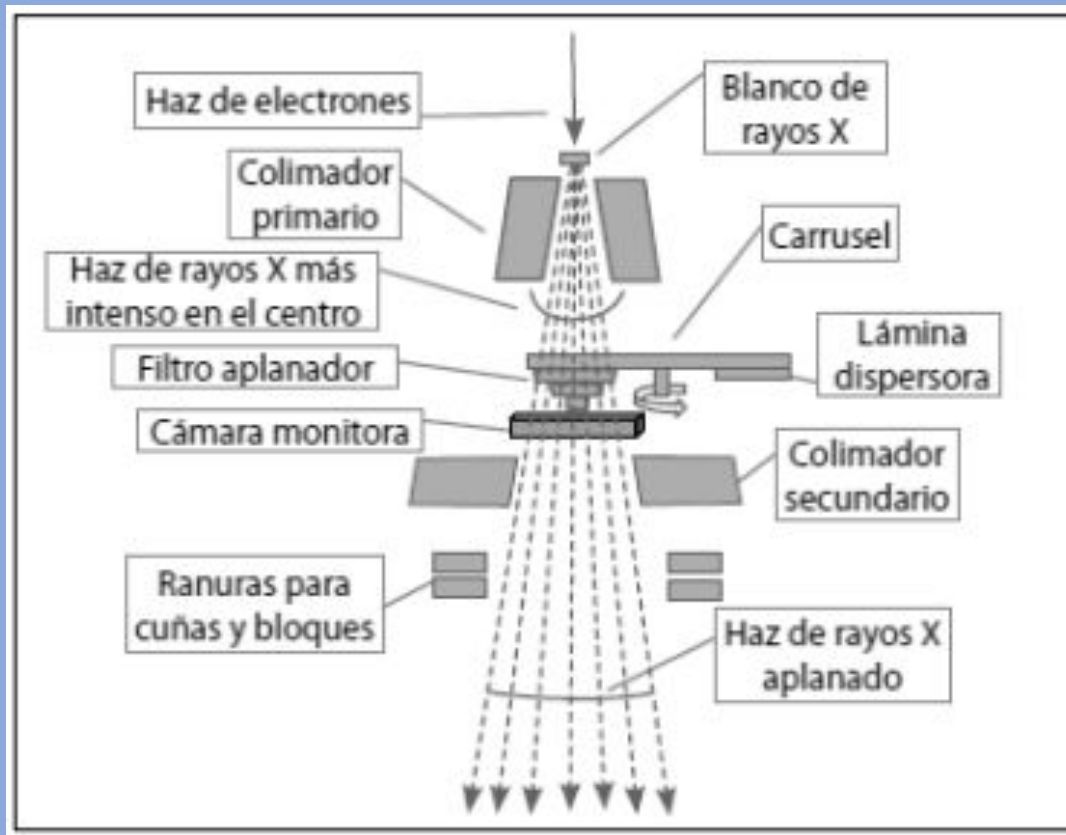
- Conformación de campos irregulares.

### INCONVENIENTES

- Alto coste y mantenimiento.
- Fallo de un servomotor puede hacer que el ALE no funcione.



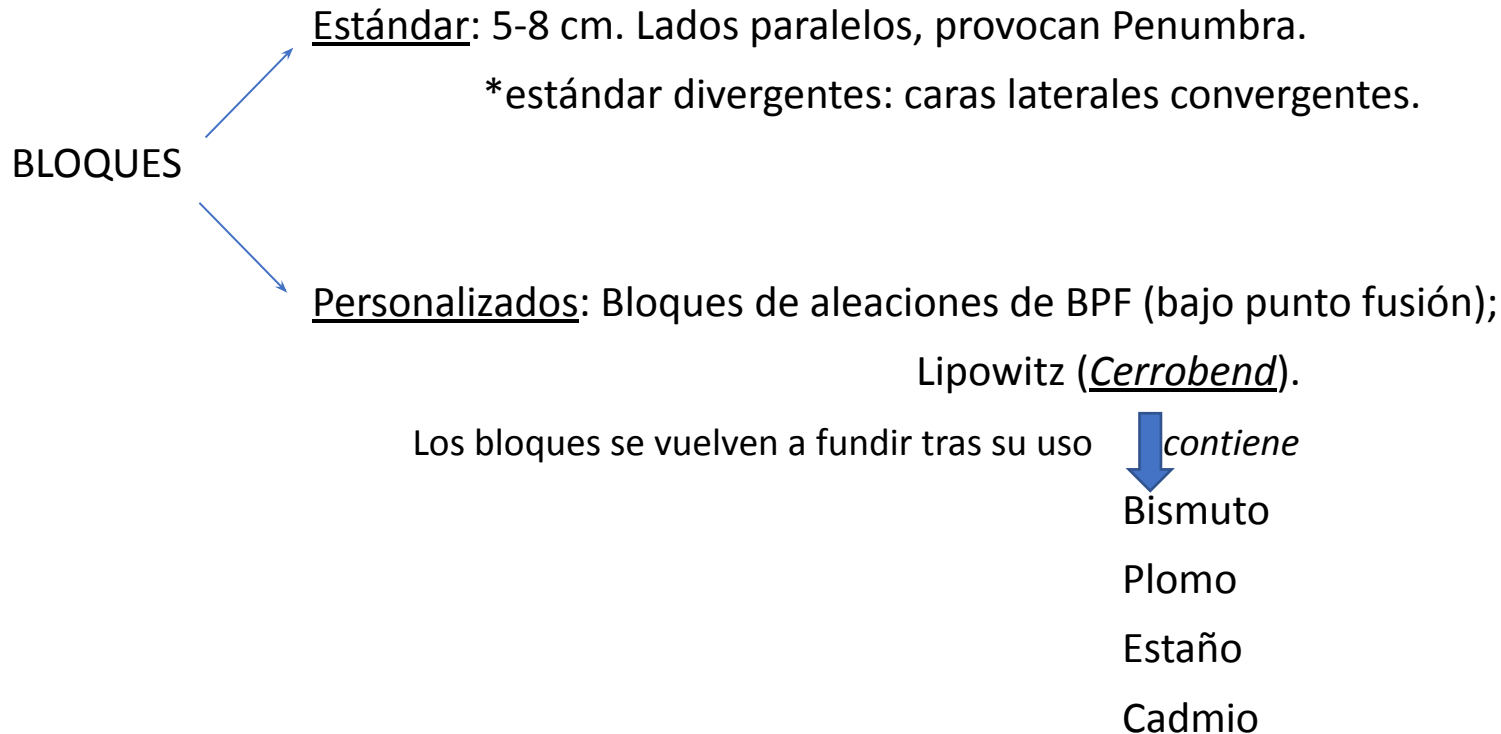
# SISTEMA DE COLIMACION

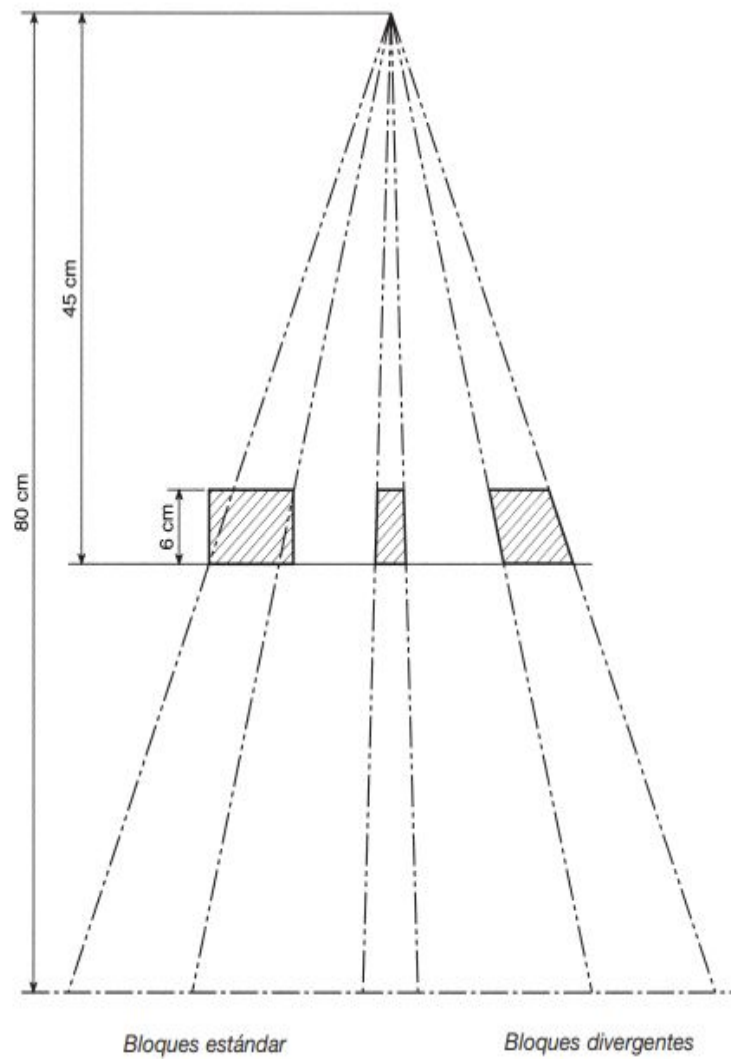


## 4.8.2 - SISTEMA DE CONFORMACION DEL HAZ

### BLOQUES

La conformación del haz se obtiene con bloques de Pb o tungsteno.





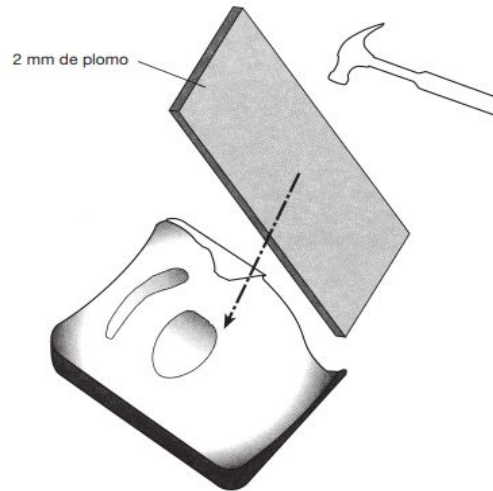
## Montaje de los bloques

- Los *bloques personalizados* → Bandeja de montaje. (Siempre con sujeción)
- El grosor disminuye a medida que aumenta la energía de fotones.

| GROSOR DE BLOQUES REQUERIDO PARA UNA TRANSMISIÓN DEL 6% A TRAVÉS DEL CERROBEND |            |                   |    |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|----|----|----|----|
| Energía (MeV)                                                                  | Cobalto 60 | Acelerador lineal |    |    |    |    |
|                                                                                |            | 5.5               | 6  | 15 | 18 | 25 |
| Grosor en mm                                                                   | 55         | 76                | 70 | 66 | 65 | 62 |

## LÁMINA DE PLOMO CONTORNEADA

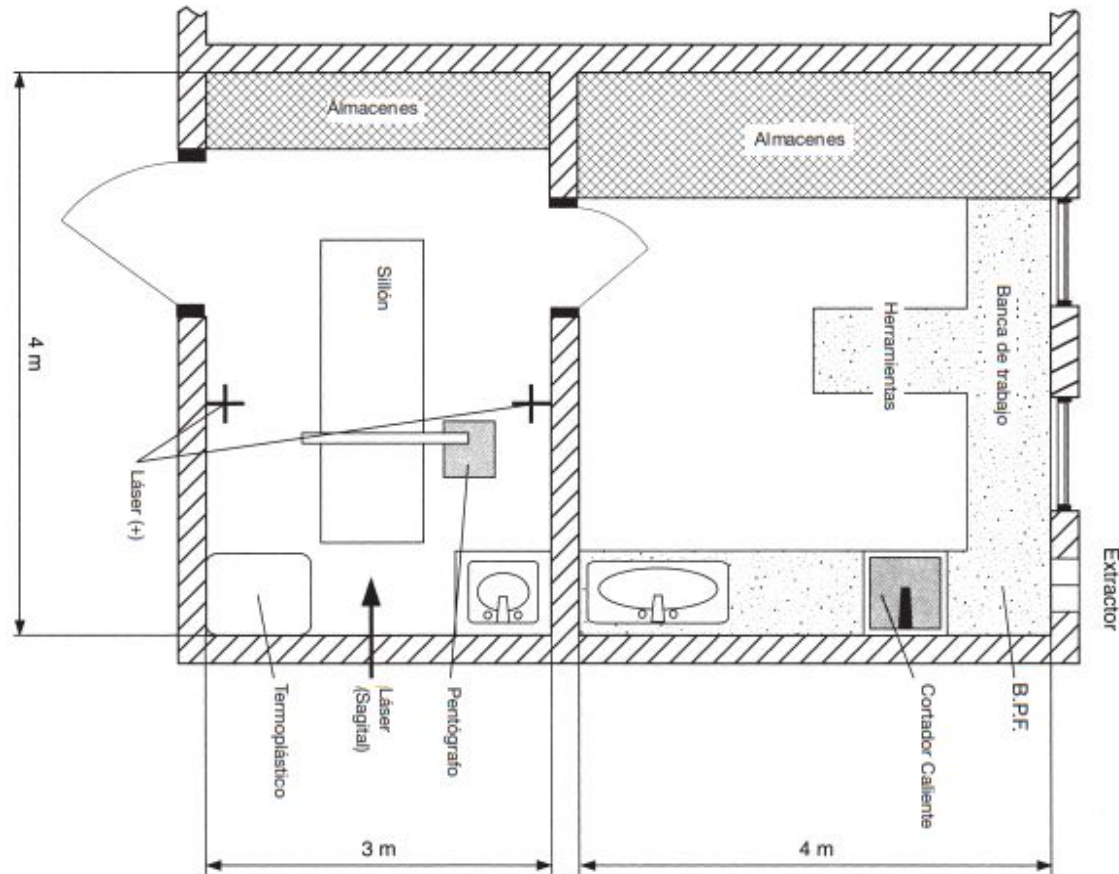
Para rayos X de ortovoltaje, el contorno del bloque → capas sucesivas de 2 a 3 mm de plomo enrollado.

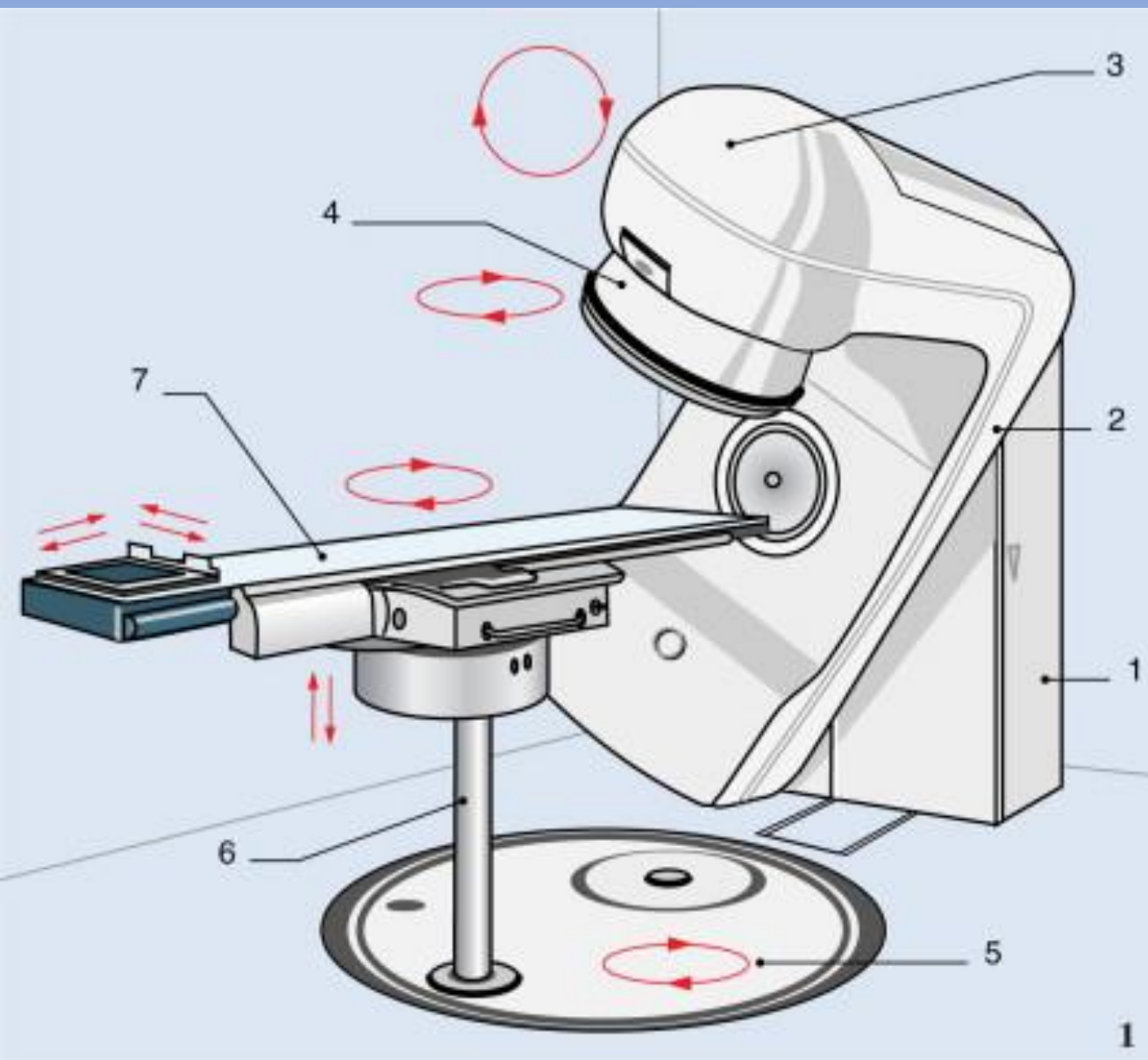


# EL TALLER DE MOLDES

FUNCIÓN DEL TALLER → Las técnicas del taller son necesarias para el mayor beneficio posible del tratamiento con teleterapia.

Ubicado dentro del servicio de oncología radioterápica.





## ACELERADOR LINEAL

1 – Estativo

2 –

3 – Brazo o Gantry

4 – Cabezal

5 – Rotación mesa

6 – Elevador mesa

7 – Mesa de  
tratamiento