

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Informe Final del Proyecto de Habilitación Profesional

Evaluación económica, pre-instalación y puesta en
marcha de un equipo PET/CT

Carla Andrea Soto Peña

Concepción, Enero de 2015

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Profesor Patrocinante:
Dr. Esteban Pino Q.

Evaluación económica, pre-instalación y puesta en marcha de un equipo PET/CT



Carla Andrea Soto Peña

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil Biomédico

Enero de 2015

Resumen

El cáncer está afectando a millones de personas a nivel mundial, registrando año a año millones de muertes. Frente a esta situación la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado estrategias de prevención. Una de ellas es realizar diagnósticos a tiempo, con el fin de llevar a cabo un tratamiento eficaz y así disminuir la tasa de mortalidad.

En la actualidad, el PET/CT es una de las principales técnicas de apoyo diagnóstico, modalidad híbrida que cuenta en su primera fase con una exploración de tomografía computarizada (CT) y en su segunda fase con una exploración de tomografía por emisión de positrones (PET). En Chile se cuenta con 6 PET/CT alojados en la región metropolitana y en recintos privados. Esta cifra no alcanza a cubrir la demanda estimada por la OMS, que determina que por cada millón de habitantes debería existir un PET/CT.

Frente a este escenario se llevó a cabo una evaluación del proyecto de instalar un PET/CT en la región metropolitana y otro en la región del Biobío, ante lo cual, se desarrolla una herramienta técnica consistente en la pre instalación y puesta en marcha del equipo, señalando los requerimientos de espacio, eléctricos, blindaje y materiales. Se incluye la revisión de la normativa vigente y las autorizaciones pertinentes para la eventual puesta en marcha. Este informe incluye además una evaluación económica consistente en la determinación de los indicadores económicos TIR y VAN con el objetivo de evaluar la rentabilidad y ganancias del proyecto.

Los resultados muestran que para la región metropolitana se obtiene un VAN=\$105.174.521 y un TIR=12%, lo cual indica que el proyecto es rentable y dejaría importantes ganancias. En cuanto a la región del Biobío, se llevó a cabo una evaluación con 4 alternativas, ya que se debe incurrir en costos adicionales, como el transporte del radiofármaco, insumo indispensable para la operación del equipo PET/CT. Por lo tanto, la alternativa más viable deja un VAN=\$5.044.201 y tu TIR=10%, lo que revela que el proyecto es rentable, pero con menores ganancias que en la región metropolitana.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por haberme puesto en el lugar indicado, en el momento preciso y con las personas correctas.

Agradezco a mis padres, Roberto Soto y Myriam Peña por enseñarme lo verdaderamente trascendental de la vida, por ser mi principal aliento y por entregar gran parte de su vida para poder finalizar este proceso.

Gratitud a toda mi familia por su constante preocupación y apoyo, en especial a mi tío y amigo Juan Carlos.

A mis amigos de la vida, Francisca, Alejandra, Vanessa, Daniela, Paulina, Luis, Marcela y Constanza por haber sido parte de esta experiencia tan enriquecedora y hermosa a la vez.

Agradezco a David por su amistad, por haber sido un gran apoyo incondicional y siempre alentarme a seguir adelante.

También quiero agradecer a todos los profesores que fueron parte de mi formación universitaria, muy en especial al profesor Esteban Pino por su paciencia y al profesor César García por su constancia y disponibilidad.

Tabla de Contenidos

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES	1
1.2.	OBJETIVOS	3
1.2.1.	<i>Objetivo General</i>	3
1.2.2.	<i>Objetivo Específicos</i>	3
1.3.	ALCANCES Y LIMITACIONES	3
2.	EL CÁNCER Y PET/CT	4
2.1.	DATOS ESTADÍSTICOS DEL CÁNCER. SITUACIÓN EPIDEMIOLÓGICA DEL CÁNCER A NIVEL MUNDIAL.....	4
2.2.	REALIDAD NACIONAL.....	5
2.3.	EVOLUCIÓN DEL DIAGNÓSTICO DEL CÁNCER POR MEDIO DE IMÁGENES MÉDICAS	7
2.4.	PET/CT COMO SOLUCIÓN DIAGNÓSTICA.....	7
2.5.	APLICACIONES PET/CT	8
2.6.	VENTAJAS DEL PET/CT FRENTE A UN PET Y/O CT	10
3.	FACTIBILIDAD PROYECTO DE PET/CT	11
3.1.	PRE-INVERSIÓN: ANÁLISIS ECONÓMICO	13
3.1.1.	<i>Análisis de Mercado</i>	13
3.1.2.	<i>Análisis de Costos para la región metropolitana</i>	15
3.1.3.	<i>Análisis de Costos para la región del Biobío.</i>	18
3.2.	INVERSIÓN: BASE DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA PRE-INSTALACIÓN	21
3.2.1.	<i>Requerimientos del espacio físico</i>	22
3.2.2.	<i>Blindaje y consideraciones sobre materiales de construcción</i>	30
3.2.3.	<i>Instalaciones eléctricas y requisitos de potencia y electricidad</i>	33
3.2.4.	<i>Instalación de ventilación y climatización</i>	34
3.2.5.	<i>Layout sala, equipamientos de salas</i>	38
3.3.	OPERACIÓN: PUESTA EN MARCHA	39
3.3.1.	<i>Radiación y autorización sanitaria</i>	39
4.	CONCLUSIONES	42
4.1.	TRABAJO FUTURO.....	43
5.	ANEXOS	44
	ANEXO A: IMÁGENES MÉDICAS	44
A.1	<i>Diagnóstico por medio de imágenes médicas</i>	44
A.2	<i>Técnicas de imágenes médicas</i>	44
	ANEXO B: CICLOTRÓN	54
B.1	<i>Parte interna de un ciclotrón y su funcionamiento</i>	55
	ANEXO C: NORMATIVAS	58
C.1	<i>Marco Legal</i>	58
	ANEXO D: TABLAS EVALUACIÓN ECONÓMICA.	63
D.1	<i>Evaluación económica región metropolitana.</i>	63
D.2	<i>Equipo PET/CT nuevo, mantención full.</i>	63
D.3	<i>Equipo PET/CT nuevo, mantención básica</i>	65
D.4	<i>Equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.</i>	66
D.5	<i>Equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica</i>	68
D.6	<i>Flujos de caja.</i>	70
6.	BIBLIOGRAFÍA	73

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Estimación capital de trabajo.....	15
Tabla 3.2 Costos de inversión.....	16
Tabla 3.3 Costos fijos.....	17
Tabla 3.4 Costos variables.....	17
Tabla 3.5 Comparación demanda pet/ct diario.....	21
Tabla 3.6 Voltaje permitido / demanda de corriente.....	33
Tabla 3.7 Requerimientos eléctricos instalación PET/CT.....	34
Tabla 3.8 Demanda máxima de potencia momentánea.....	34
Tabla 3.9 Emisiones de calor sala de examen.....	35
Tabla 3.10 Emisiones de calor sala de control.....	36
Tabla 3.11 Número de personas que ocupan el cuarto en forma.....	36
Tabla 3.12 Metros cuadrados del área para acondicionar.....	37
Tabla 3.13 Exposición del recinto.....	37
Tabla 3.14 Condiciones ambientales instalación PET/CT.....	38
Tabla 5.1 Radionúclidos más utilizados en pet.....	51
Tabla 5.2 Consumo eléctrico anual para aire acondicionado.....	63
Tabla 5.3 Valores referentes al PET/CT.....	63
Tabla 5.4 Costos de inversión equipo pet/ct nuevo, mantención full.....	63
Tabla 5.5 Costos fijos equipo PET/CT nuevo, mantención full.....	64
Tabla 5.6 Costos variables equipo PET/CT nuevo, mantención full.....	64
Tabla 5.7 Costos de inversión equipo PET/CT nuevo, mantención básica.....	65
Tabla 5.8 Costos fijos equipo PET/CT nuevo, mantención básica.....	65
Tabla 5.9 Costos variables equipo PET/CT nuevo, mantención básica.....	66
Tabla 5.10 Costos de inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.....	66
Tabla 5.11 Costos fijos equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.....	67
Tabla 5.12 Costos de inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.....	67
Tabla 5.13 Costos de inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.....	68
Tabla 5.14 Costos fijos equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.....	68
Tabla 5.15 Costos variables equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.....	69
Tabla 5.16 Flujo de caja - santiago.....	70
Tabla 5.17 Flujo de caja - concepción (equipo nuevo - mantención full).....	71
Tabla 5.18 Flujo de caja - concepción (equipo reacondicionado - mantención full).....	71
Tabla 5.19 Flujo de caja - concepción (equipo nuevo - mantención básica).....	72
Tabla 5.20 Flujo de caja - concepción (equipo reacondicionado - mantención básica).....	72

Lista de Figuras

Fig. 2.1 Cánceres según tendencia de la tasa de mortalidad. Chile 2012.....	6
Fig. 2.2 Funcionamiento PET/CT.....	7
Fig. 2.3 Fusión de las imágenes obtenidas de un ct con un PET.....	8
Fig. 2.4 Vista superior PET/CT.....	9
Fig. 3.1 Etapas de la implementación de un proyecto PET/CT.....	12
Fig. 3.2 Layout sugerido.....	23
Fig. 3.3 Sala PET/CT.....	24
Fig. 3.4 Sala de comando o control.....	25
Fig. 3.5 Imagen de una sala de preparación de un paciente.....	26
Fig. 3.6 Baño destinado para los pacientes irradiados.....	27
Fig. 3.7 Cuarto caliente, donde se manipulan los radiofármacos.....	28
Fig. 3.8 Castillo plomado donde se manipula el radiofármaco.....	29
Fig. 3.9 Dimensiones blindaje instalación PET/CT.....	32
Fig. 5.1 Primera imagen obtenida con RX.....	44
Fig. 5.2 Funcionamiento de un tomógrafo computarizado.....	47
Fig. 5.3 Componentes de un tomógrafo computarizado.....	48
Fig. 5.4 Generación rayos X.....	49
Fig. 5.5 Parte interna de un gantry.....	49
Fig. 5.6 Vista interior de un equipo ct en el que giran tanto el tubo de rayos x como los detectores.....	50
Fig. 5.7 Proceso de aniquilación de un positrón y un electrón con la consiguiente formación de dos fotones opuestos de 511 KeV.....	51
Fig. 5.8 2-deoxy-2-(f-18) fluoro-d-glucosa.....	52
Fig. 5.9 Metabolismo de FDG.....	53
Fig. 5.10 Porcentajes de las aplicaciones de un PET/CT.....	54
Fig. 5.11 Estructura interna de un ciclotrón.....	55
Fig. 5.12 Trayectoria del electrón.....	56
Fig. 5.13 Movimiento de una partícula dentro de un ciclotrón.....	57

Nomenclatura

- Sv** : Sievert es una unidad derivada del SI utilizada para describir el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones sobre la materia viva en dosis equivalente. Es equivalente a 1 J/Kg.
- Gy** : Gray, unidad derivada del SI que mide la dosis absorbida de radiaciones ionizantes por un material dado.
- Bq** : La unidad que mide la cantidad de radionúclidos, un becquerel corresponde a una desintegración por segundo.
- KeV** : Kiloelectronvoltio, múltiplo de eV equivalente a 10^3 eV.
- MeV** : Megaelectronvoltio, múltiplo de eV equivalente a 10^6 eV.
- Gauss** : Es una unidad de campo magnético del Sistema Cegesimal de Unidades (CGS)
- Ci** : Curie
- R** : Roentgen es la cantidad de ionización en aire seco por unidad de masa en condiciones estándar de temperatura y presión.
- BTU** : La Unidad Térmica Británica (BTU en inglés) se utiliza generalmente como unidad de energía térmica. Sin embargo, cuando se utiliza para describir el poder de los sistemas de calefacción o rejillas de BTU, el término se entiende que significa BTU/hora. El kilovatio (KW) es la unidad métrica de energía.

Abreviaciones

ENT	: Enfermedades No Transmisibles.
CCHEN	: Comisión Chilena de Energía Nuclear.
DSNR	: Departamento de Seguridad Nuclear y Radioprotección
DEI	: División de Evaluación e Inspección.
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
CONICYT	: Comisión de Investigación Científica y Tecnológica.
PET	: Tomografía por Emisión de Positrones.
CT	: Del inglés Computed Tomography
FDG	: Fluorodesoxiglucosa
SEREMI	: Secretaría Regional Ministerial de Salud
IR	: Instalaciones Radiactivas
EGRI	: Equipos Generadores de Radiación Ionizante
FALP	: Fundación Arturo López Pérez
AVISA	: Años de Vida Ajustados por Discapacidad
AVPP	: Años de Vida Potenciales Perdidos
RX	: Rayos X
AVP	: Años de Vida Perdidos por Muerte Prematura
AVAD	: Años de vida Ajustados a Discapacidad
ETS	: Evaluación de Tecnologías Sanitarias
PIB	: Producto Interno Bruto
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna de Retorno
SII	: Servicio de Impuestos Internos.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En la actualidad y a nivel mundial el cáncer aqueja a millones de personas, no discriminando género, edad ni estrato social. El término cáncer, es un término genérico que designa un amplio grupo de enfermedades que pueden afectar a cualquier parte del organismo; también se le puede asignar el nombre de tumor maligno o neoplasia maligna. Una de las características de esta enfermedad es la multiplicación rápida de células anormales, invadiendo partes adyacentes del cuerpo o propagándose a otros órganos, proceso conocido como metástasis, siendo la principal causa de muerte por cáncer.

Es tal el alza de esta enfermedad, que sustituyó a las enfermedades cardiovasculares como principal causa de muerte a partir del 2011. Se estima que la incidencia del cáncer aumentará sustancialmente de 12,7 millones en 2008 a 14,1 millones en 2012 [1].

A pesar de la desalentadora realidad, afortunadamente muchos cánceres tienen grandes probabilidades de curarse si se detectan tempranamente y se tratan a tiempo, con el fin de reducir la carga de morbilidad. Una de las estrategias de detección temprana consiste en realizar un diagnóstico a tiempo, mediante el uso de equipos médicos por medio de imágenes de apoyo, logrando etapificar la enfermedad.

Las tecnologías convencionales utilizadas para diagnosticar el cáncer son el escáner por tomografía computarizada (CT, por su ordenamiento en inglés) y la tomografía por emisión de positrones (PET, por su ordenamiento en inglés) ¹. El CT tiene como facultad ver el detalle anatómico con gran precisión y resolución, aunque en algunas ocasiones se hace necesario el uso de medios de contraste para mejorar la visión de algunas estructuras. Por su parte, el PET detecta los cambios metabólicos del organismo, pudiendo detectar las anomalías y, de esta forma, valorar la extensión de la enfermedad y diferenciar lesiones benignas de malignas. El CT tuvo sus inicios en los años 70 y sólo en los años 90 se introdujo la exploración PET, a finales de esta década se desarrolla una nueva tecnología, que fusiona en un solo equipo los rayos X (CT) y los rayos Gamma (PET) en lo que en la actualidad se conoce como PET/CT.

Esta revolucionaria técnica diagnóstica, entrega pruebas precisas que hasta hace poco tiempo atrás eran impensadas, donde además de diagnosticar, es una herramienta de confirmación y prevención. Disminuye entre un 20 a 30% los falsos negativos. Se estima además, que este medio de

¹ Para mayor detalle sobre CT y PET, ver Anexo A: Imágenes Médicas.

exploración tiene una sensibilidad del 95% para distinguir si un tumor es maligno, en comparación con el 68% del CT. Puede detectar cánceres de linfoma, mama, ovario, páncreas, colon, recto, gastroesofágicos, endocrinos, de cabeza y cuello, entre otros [2].

Con todas estas características, la utilización del PET/CT ha sido reconocida como una importante herramienta de estadificación tumoral, evaluación de la respuesta al tratamiento y favorecimiento a la planificación del trabajo. A raíz de esto, la OMS ha establecido que por cada millón de personas debe existir un PET/CT, aunque otras entidades sugieren que por medio millón de habitantes debería existir uno [1].

Es por esta razón que los países desarrollados han apostado por esta nueva tecnología, pero nuestra realidad nacional es diferente. Aunque en Chile se ha duplicado el gasto público en salud en los últimos 10 años, sólo dedica el 7,2% del Producto Interno Bruto (PIB) al área de la salud, con un financiamiento público menor al 50% del total, según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [3]. Aun sabiendo que mejora sustancialmente la asistencia a los pacientes, las autoridades sanitarias no se arriesgan por nuevas tecnologías.

Según el último censo realizado en Chile el año 2012, el número de habitantes a nivel nacional es de 16.634.603, con una tasa de crecimiento anual de 0,99. En tanto, la Región Metropolitana figura con 6.685.685 habitantes, con una tasa de crecimiento de 1,00. Para efectos de este proyecto, también se analiza la región del Biobío, por ser considera la segunda región con más habitantes del país, registrando 1.971.998 de habitantes y una tasa de crecimiento de 0,58 [4].

Cabe mencionar que en Chile se cuenta con 6 PET/CT, y a nivel regional, Concepción cuenta con un PET/CT, pero deberían ser dos según las estadísticas de la OMS. Todos los equipos a nivel nacional pertenecen a una entidad privada, existiendo un vacío en la salud pública a lo largo del país, y analizando la cantidad de habitantes que hay en nuestro país, se puede estimar fácilmente el déficit de este medio de exploración, no cubriendo las necesidades a nivel país, ya que geográficamente Santiago, donde se encuentran mayormente concentrados los PET/CT, tiene un acceso más limitado para los habitantes de las regiones más extremas.

Por esta razón, este informe tiene como fin realizar un análisis de factibilidad de instalar un PET/CT tanto para la región metropolitana, como para la región del Biobío. Para esto, se desarrolla una evaluación económica y una guía con los requerimientos de pre instalación y puesta en marcha para el funcionamiento de un PET/CT.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar la factibilidad técnica y económica de instalar un PET/CT en la región metropolitana y/o región del Biobío, incorporando una guía técnica de instalación y los criterios predominantes para la acreditación y autorización de las entidades sanitarias.

1.2.2. Objetivo Específicos

El objetivo de este informe es desarrollar una herramienta técnica para la instalación y montaje de equipos médicos, que apoya a los procesos de diseño, planificación e implementación de los hospitales y clínicas a nivel nacional y así dilucidar la real factibilidad de implementar un PET/CT. Esta guía pretende dar un panorama general de los pasos a seguir en el establecimiento de la instalación de un PET/CT, desde la formulación de una estrategia hasta la puesta en marcha, tales como:

- Realizar una evaluación económica mediante indicadores económicos, en dos escenarios. Uno de ellos en la región metropolitana y el segundo en la región del Biobío de Chile.
- Realizar una guía técnica, con la finalidad de utilizarla como una herramienta para la pre instalación del equipo PET/CT.
- Revisar las autorizaciones pertinentes a la puesta en marcha del equipo.

1.3. Alcances y Limitaciones

Como alcance, cabe mencionar que no se analizará la opción de tener un ciclotrón en la región del Biobío, instalación radiactiva donde se sintetiza el radiofármaco, ya que la evaluación técnica y económica de una instalación se escapa de los objetivos centrales a evaluar.

2. El cáncer y PET/CT

2.1. Datos estadísticos del cáncer. Situación epidemiológica del cáncer a nivel mundial

El cáncer es una de las principales causas de muerte a nivel mundial. En el año 2008 se registraron 12,7 millones de casos en el mundo, donde 7,6 millones terminaron en muertes[5].

Los tipos de cáncer más recurrentes en los países desarrollados son el de pulmón, mama, colorectal y próstata, constituyendo el 46% del total de la carga. En tanto, en los países en vías de desarrollo se tiene el cáncer sarcoma de Kaposi, cérvico uterino, hepático, gástrico y de esófago, correspondientes al 43% del total de la carga [5].

La Organización Mundial de la Salud ha clasificado las causas de muertes en tres grupos con el propósito de estudiar la carga de enfermedad y así analizar de mejor forma la transición epidemiológica, es decir, como va cambiando la tendencia en la mortalidad.

Grupo I: enfermedades transmisibles, mortalidad materna, neonatal y relacionada con factores nutricionales.

Grupo II: enfermedades no transmisibles.

Grupo III: lesiones y accidentes.

Cabe mencionar que las enfermedades del grupo I ocurren principalmente en grupos de poblaciones de bajos niveles de ingreso, donde su tasa de mortalidad ha experimentado una disminución rápida, ya que en el año 2002 estas enfermedades representaban el 32% de todas las defunciones y se espera que para el año 2030 el porcentaje baje a un 14%. Por el contrario, las enfermedades no transmisibles del grupo II, donde se encuentra el cáncer, tendrán un aumento sostenido durante la transición epidemiológica, y se espera que para el año 2030 las defunciones correspondan al 70%. Además, según el estudio de carga de enfermedad del año 2010 corrobora esta tendencia, indicando que el número de muertes correspondientes al grupo II sufrió un alza de 8 a 34,5 millones desde 1990 a 2010. En cambio, en el grupo I las muertes han descendido de 15,9 a 13,2 millones considerando el mismo periodo [5].

El aumento en el número de defunciones se debe a tres grandes causas, las cuales son el crecimiento poblacional, los cambios epidemiológicos y envejecimiento poblacional, este último según el banco mundial de 2003, el aumento de ingresos radica en una disminución de la mortalidad por cáncer, en cambio, tener ingresos reducidos implica un aumento considerable en la tasa de mortalidad. [5]

A este estudio se debe incorporar indicadores de salud para cuantificar el impacto que pueda llegar a tener una enfermedad, es el caso de AVISA que representa los Años de Vida Saludables perdidos anualmente. Este indicador corresponde a la suma de los Años de Vida Perdidos por muerte prematura (AVP), con los Años de Vida Ajustados a Discapacidad (AVAD). Según el primer informe del Banco Mundial de 1993, la sumatoria de todos los AVISA corresponde a la medida sintética denominada “Carga de Enfermedad”, donde el cáncer contribuye con un 7,6% de los AVISA a nivel mundial, existiendo 4 causas, cada una de ellas aporta 15 millones de AVISA: cáncer de pulmón y tráquea 1,8%, cáncer de hígado 0,8%, cáncer gástrico 0,8% y el resto de las neoplasias un 1,3% [6].

2.2. Realidad Nacional

En Chile, las principales causas de muertes son las enfermedades no transmisibles, tanto crónicas y agudas. Dentro de las enfermedades crónicas se encuentra el cáncer, que es la segunda causa de muerte en nuestro país, esto se debe a la transición epidemiológica que se ha hecho presente en las últimas décadas, debido a los cambios en los modos de vida y a una fuerte exposición a factores de riesgo que pueden resultar muy diversos dependiendo la zona de nuestro país. Los indicadores de salud del año 2009 muestran que el cáncer tiene una tasa observada de 133,7 muertes por cada 100.000 habitantes [7]. Como se menciona anteriormente, los factores de riesgos son diversos y pueden tener variadas repercusiones, teniendo un origen multifactorial, como lo son los factores genéticos, ambientales, demográficos, socioeconómicos y culturales. Según lo revela la primera Encuesta Nacional de Salud de Chile, efectuada en el año 2003 por el Ministerio de Salud (MINSAL). Este estudio dejó entrever un estilo de vida poco saludable reflejado en los siguientes porcentajes:

- 42% consumo de tabaco
- 89% de sedentarismo
- 60% sobrepeso y obesidad

Estos malos hábitos se mantuvieron en el tiempo, ya que los resultados de la segunda Encuesta Nacional de Salud de Chile 2009-2010 evidenciaron la prevalencia de las patologías y sus factores de riesgo, donde el porcentaje de fumadores llega al 40,6%, el sedentarismo en el tiempo libre disminuyó, llegando a un 88,6% y el sobrepeso y obesidad tiene un alarmante 64,5% [7] [8].

Cabe mencionar que el estudio de Carga de Enfermedad en Chile del año 2007, evidenció que el grupo II de enfermedades no transmisibles concentraba el 84% de los AVISA [8]. En este mismo estudio, las neoplasias malignas se encuentran en el séptimo lugar en importancia de AVISA, pese a corresponder a la segunda causa de muerte en Chile, debido a una reducción en su importancia relativa al privilegiar a los grupos de menor edad. Esto se traduce en 221.529 años de vida perdidos, correspondientes a un 5,2% del total de AVISA de la población chilena del año 2004. Al analizarlo por sexo, la importancia relativa del cáncer en el total de AVISA se mantiene en la séptima posición para los hombres, mientras que en las mujeres asciende al sexto lugar.

La situación epidemiológica de la mortalidad en Chile en el año 2007 muestra que el cáncer ocupa el segundo lugar dentro de las causas de muerte [8]. En nuestro país el cáncer de estómago, el de vesícula biliar, pulmón y de mama corresponden a los más recurrentes, según estudio de carga de enfermedad realizado por el MINSAL.

Por otro lado, las proyecciones al 2012 de las tasas de mortalidad por cáncer muestran que existen algunos tipos de cáncer con una presentación ascendente, otros descendentes y otros con presentación estable. Dentro de los tipos de cáncer ascendentes se encuentran el cáncer de próstata y el de colon y recto, ver Fig. 2.1. Al analizar por edad, la gran mayoría de las muertes por neoplasias malignas se presentan en los adultos y adultos mayores, aumentando la prevalencia a medida que aumenta la edad.

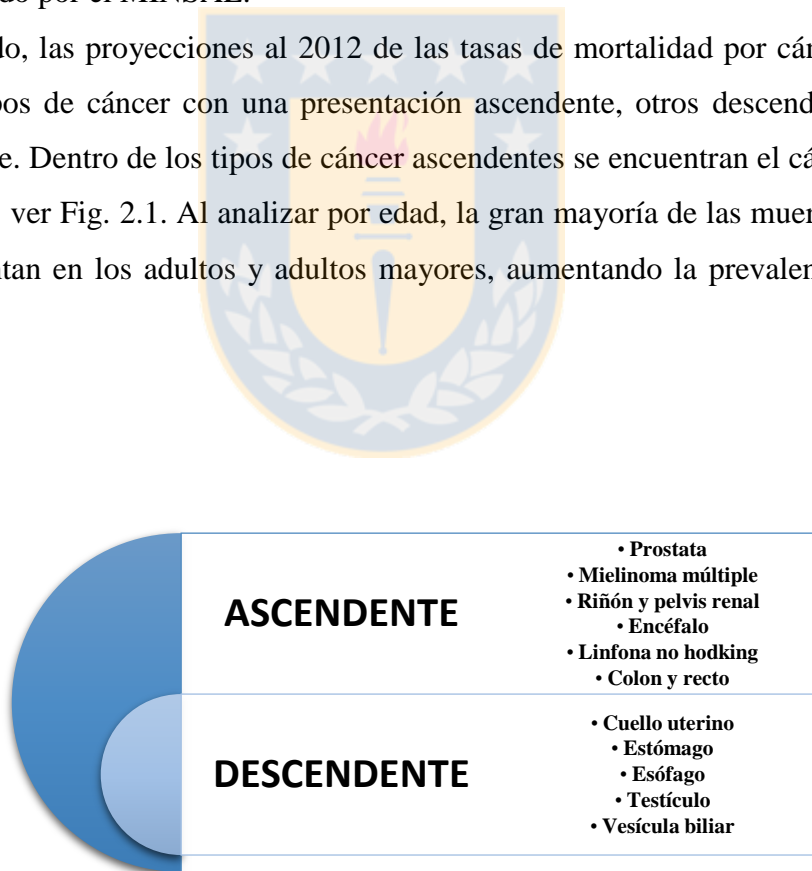


Fig. 2.1 Cánceres según Tendencia de la tasa de Mortalidad. Chile 2012 [7]

2.3. Evolución del diagnóstico del cáncer por medio de imágenes médicas

La imagen médica se entiende como el conjunto de técnicas que producen imágenes del interior del cuerpo de forma no invasiva, cuyo propósito es entregar la información sobre su estructura y funcionamiento, y de esta forma detectar las posibles anomalías.

Las diversas técnicas de imagen médica aportan información complementaria sobre el estado físico-fisiológico del órgano en estudio sobre aspectos distintos que puedan confirmar, matizar y en muchos casos modificar el diagnóstico realizado con las técnicas antiguas.

El campo de las imágenes médicas, es una de las áreas que más auge, avance y perfeccionamiento ha experimentado en las últimas décadas, y aunque a pesar de que sólo tiene un siglo de antigüedad, ha tenido un crecimiento realmente significativo.

2.4. PET/CT como solución diagnóstica

El PET/CT es un tipo de técnica de medicina nuclear que implica la captura de imágenes de la inyección de un fármaco radiactivo en un paciente. A medida que el radiofármaco se desintegra en el cuerpo, los positrones entran en contacto con los electrones y produce rayos gamma. Los rayos gamma son detectados por el escáner de PET o también conocidos como gamma cámara y se utilizan para construir una imagen en 3D de los procesos funcionales en el cuerpo Fig. 2.2.

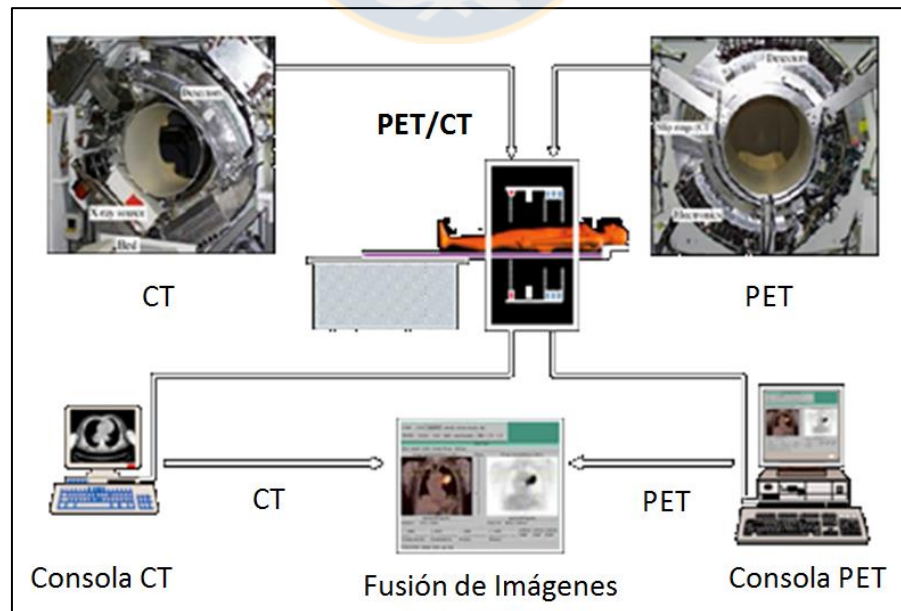


Fig. 2.2 Funcionamiento PET/CT [9].

2.5. Aplicaciones PET/CT

- Oncología: se usa para detectar el cáncer y localizar tumores
- Cardiología: se utiliza para diagnosticar y tratar las enfermedades del corazón
- Neurología: se utiliza para diagnosticar y tratar enfermedades, como el Alzheimer, el Parkinson y la epilepsia

El PET / CT es la fusión de las tecnologías PET y CT, realizado en un sistema de formación de imágenes². Fig. 2.3 y Fig. 2.4.

La combinación de la información funcional adquirida en las imágenes de PET y la información anatómica adquirida en las imágenes de TC produce una imagen más completa 3D que supera las limitaciones de la tecnología en su forma individual [9].

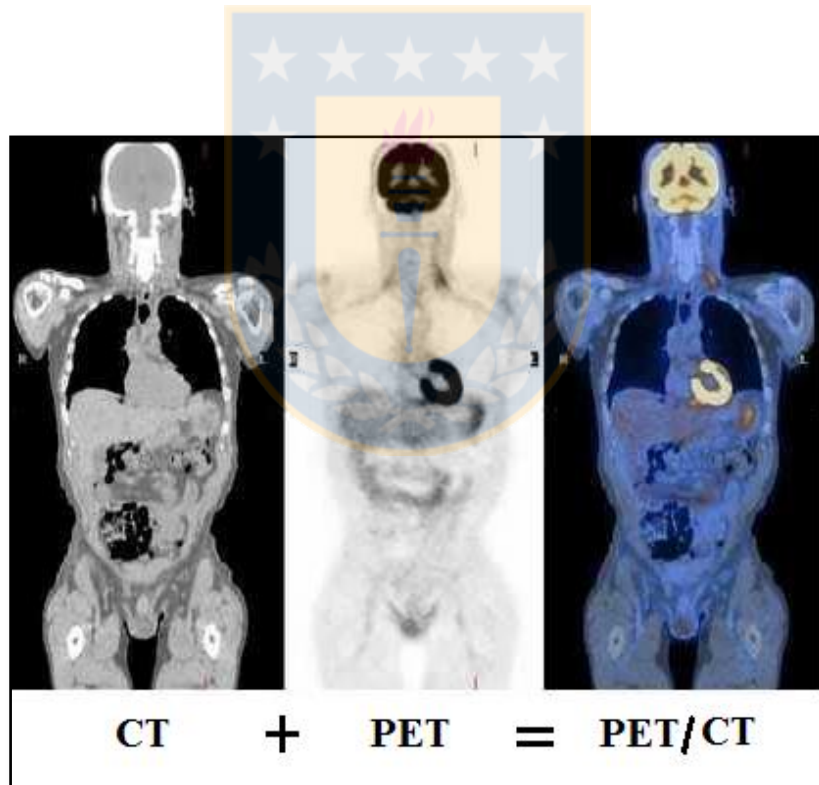


Fig. 2.3 Fusión de las imágenes obtenidas de un CT con un PET [14].

² Para mayor información sobre PET y CT ver anexo A.

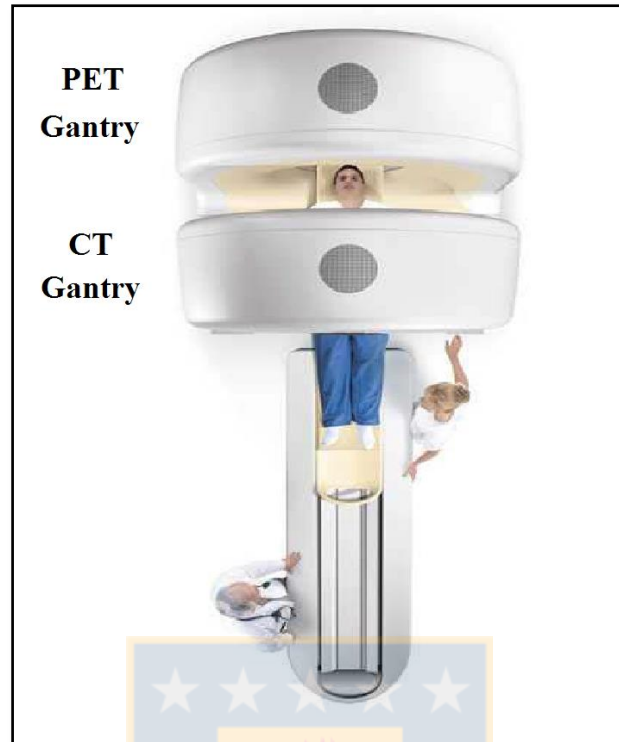


Fig. 2.4 Vista superior PET/CT [14].

El PET/CT es un equipo médico de alta complejidad, una tecnología que cuenta con un sistema híbrido, es decir, actúa en su primera fase como CT (parte radiológica) y en una segunda fase como PET (medicina nuclear), otorgando de esta forma, información metabólica y funcional en un mismo examen.

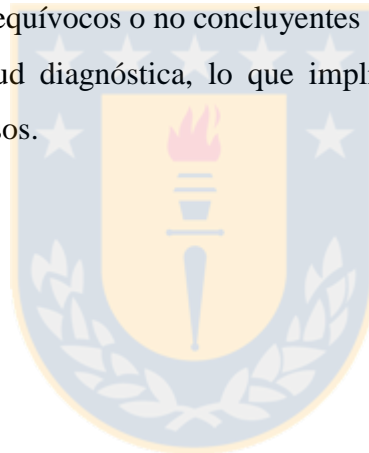
El primer tomógrafo PET/CT fue diseñado por David Townsend y su uso clínico comenzó en el año 1998 con el propósito de generar una alineación con mayor precisión de las imágenes obtenidas tanto del CT como del PET. Hasta ese entonces el método más eficaz para el diagnóstico, estadificación y seguimiento del cáncer era el CT, pero como sólo detectaba los cambios estructurales anatómicos, tenía la desventaja de ver lesiones que no presentaban un buen contraste con los tejidos circundantes. Por otra parte el PET cuya finalidad era prácticamente la misma, también tenía limitantes al no poder entregar con exactitud la localidad anatómica de la lesión, sólo aportaba información fisiológica y metabólica.

Como se menciona anteriormente, para el proceso de exploración en la fase PET³, se requiere de un radiofármaco, el cual es sintetizado en un ciclotrón⁴. Este isótopo ingresa al cuerpo emitiendo radiación gamma, radiación capturada por un scanner del PET.

2.6. Ventajas del PET/CT frente a un PET y/o CT

Por ser una tecnología reciente, el PET/CT no cuenta con muchos estudios exhaustivos, son muy pocas las publicaciones y con un tamaño muestral reducido. Dentro del análisis que se ha podido llevar a cabo, se pueden encontrar las siguientes ventajas con respecto a las anteriores técnicas diagnósticas:

- Mejor localización de tumores
- Favorece la planificación del tratamiento
- Disminuye los resultados equívocos o no concluyentes
- Posee una mayor exactitud diagnóstica, lo que implica en modificar el diagnóstico y el tratamiento en algunos casos.



³ Para mayor detalle acerca de la fase PET, ver Anexo A. Tomografía por emisión de positrones.

⁴ Para mayor detalle acerca del funcionamiento del Ciclotrón, ver Anexo B. Ciclotrón.

3. Factibilidad Proyecto de PET/CT

El desarrollo tecnológico y la investigación crecen a pasos agigantados a nivel mundial. Estas tecnologías se hacen presentes cada vez más en el ámbito de la medicina, en pro del mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Uno de los principales objetivos es proporcionar esta guía de implementación como una herramienta para facilitar la toma de decisiones de los profesionales encargados de gestionar y administrar la compra de equipos médicos de alta complejidad, como es el caso del PET/CT.

La evidencia empírica indica que existe un desconocimiento generalizado en el ámbito del equipamiento médico, ya que no se posee una guía clara o estándar al momento de tomar las decisiones con respecto a la construcción y estructura de las instalaciones dentro de un recinto hospitalario, así como también existe un desconocimiento con respecto a la normativa establecida.

Como primera instancia, se debe crear un equipo multidisciplinario con el objetivo de establecer y cumplir los tiempos predeterminados, desde la concepción de la idea, hasta su puesta en marcha, donde la creación de este equipo, ayudará a reducir los tiempos del proyecto.

Los profesionales de las diversas disciplinas tendrán como objetivos específicos desarrollar las justificaciones técnicas y conceptuales para la compra de un PET/CT, sirviendo y actuando como enlaces para dicho fin, creando además sinergias con otros grupos que se puedan ver involucrados, con la finalidad de crear alianzas estratégicas. De esta forma, este equipo tendrá las bases para ser el motor que mueva el proyecto y, así tener sólidos argumentos para convencer a las autoridades pertinentes sobre la compra.

Al momento de trazar las estrategias se deben identificar las fortalezas y las debilidades. Dentro de las debilidades se consideran el desconocimiento generalizado por el PET/CT por ser un equipo relativamente nuevo en Chile. También al momento de realizar compras de equipamiento médico, se tiende a priorizar en equipos en los cuales ya se ha comprobado su eficacia y pocas veces se corre el riesgo de apostar por tecnología nueva y valiosa.

Una vez que la idea ha sido concebida, se lleva a cabo un estudio de factibilidad, con el objetivo de analizar si es posible llevar a cabo dicho proyecto, donde mediante el diseño de estrategias poder lograr objetivos tales como:

- Reducción de errores y mayor precisión en los procesos
- Reducción de costos mediante la optimización o eliminación de los recursos no necesarios
- Integración de todas las áreas y subsistemas

- Aceleración en la recopilación de los datos
- Reducción en el tiempo de procesamiento y ejecución de las tareas
- Disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos señalados
- Conocer si la gente demandará el producto
- Saber si es posible producir utilidades

También se hace necesario realizar un análisis de viabilidad, que se utiliza para realizar una proyección del éxito o fracaso del proyecto, donde se analizan puntos referentes al medio ambiente del proyecto, rentabilidad, necesidades del mercado, factibilidad política, medio físico, legislación aplicable y flujos de caja de la operación, haciendo énfasis en la viabilidad financiera.

A modo de síntesis, el proyecto de instalación se puede dividir en tres grandes etapas. La primera de ellas es la **Pre-inversión**, donde se realiza la formulación del proyecto mediante los indicadores VAN (Valor Actual Neto) de beneficio-costos y TIR (Tasa Interna de Retorno) como indicador de la rentabilidad social de la inversión, además de realizar una recopilación de todos los requerimientos previos para la correcta estimación de la evaluación y concluir que tan rentable puede resultar el proyecto.

Posterior a esto, viene la etapa de la **Inversión** donde en su primera fase se estudia el diseño general y las etapas de construcción en base a los requerimientos exigidos y, como segunda fase se realiza la obra gruesa, instalaciones, terminaciones y se lleva a cabo el monitoreo mediante protocolos de apoyo, requerimientos y recomendaciones. Finalmente viene la etapa de la **Operación** donde se lleva a cabo la puesta en marcha, realizando la instalación y montaje, para que finalmente el proyecto quede habilitado. Lo anterior queda resumido en la Fig. 3.1



Fig. 3.1 Etapas de la implementación de un proyecto PET/CT [26].

3.1. Pre-inversión: Análisis Económico

Preparar y evaluar un proyecto es de vital importancia para tomar las decisiones más acertadas con relación a la rentabilidad de una idea, ya sea que esta idea busque solucionar un problema o busque aprovechar una oportunidad de negocio. Como primera instancia se debe estudiar la magnitud de las inversiones, costos y beneficios. Como segunda fase se procede a evaluar el proyecto, es decir, analizar qué tan rentable es la inversión.

En este caso la finalidad del estudio es analizar qué tan rentable resultará el proyecto con el objetivo de modernizar los métodos diagnósticos, reemplazando a las antiguas tecnologías. En este caso la evaluación y análisis se realizará para una empresa que ya esté en funcionamiento, es decir, clínicas u hospitales que quieran incorporar este servicio, esta evaluación se efectúa para un periodo de 10 años. Para tales fines, se debe construir un flujo de caja, si este flujo logra compensar los egresos hechos, sea por inversión o costos, se puede decir o concluir que la inversión es rentable.

Por lo tanto, en esta sección se analiza la adquisición de un PET/CT en la región metropolitana y otro en la región del Biobío, con el fin de realizar comparaciones y ver si es rentable tener una tecnología de estas dimensiones en otra región que no sea Santiago. Cabe recordar, que para el funcionamiento del PET/CT se requiere de un ciclotrón, donde se fabrica el radiofármaco que tiene una vida media de 110 minutos. En Chile, sólo existen dos ciclotrones, ambos en la ciudad de Santiago. Uno de ellos pertenece a la CCHEN, siendo el primero en nuestro país, y el primero en Latinoamérica, abasteciendo toda la demanda de radiofármacos a nivel nacional desde el año 2002.

El otro Ciclotrón se encuentra en la Fundación Arturo López Pérez inaugurado en agosto de 2011, siendo de carácter privado, ya que pertenece a la empresa PositronPharma y esta es quien presta los servicios a FALP (Fundación Arturo López Pérez). Por lo tanto, instalar un equipo que requiera de un radiofármaco necesita un eficiente medio de transporte, en el caso de alguna región, este transporte debe realizarse vía aérea, donde el viaje no supere el tiempo de vida media del radiofármaco y que además de un margen de tiempo hasta la aplicación al paciente.

En base a esta realidad se efectúa una evaluación económica.

3.1.1. Análisis de Mercado

Como primera instancia se genera una necesidad de contar con una tecnología avanzada en el ámbito de diagnóstico en el área oncológica. La necesidad de incluir dicha prestación puede ser originada por médicos oncólogos, por el área de imagenología o por algún departamento de

biomédica de algún hospital o clínica, donde deberán argumentar la factibilidad técnica de contar con un equipo de tal envergadura. Cabe mencionar que el PET/CT es una prestación garantizada, ya que se encuentra incluida en el arancel MLE (Modalidad Libre Elección) de FONASA [10].

Una vez recopilados los argumentos, se presenta como proyecto a la Gerencia General, donde se dirime en una discusión los pros y los contras de adquirir una tecnología relativamente nueva en Chile, por lo que se debe realizar una evaluación económica del proyecto.

La comisión evaluadora dependiendo del recinto de salud, puede estar conformada por la Gerencia General, Gerencia de Finanzas, Gerencia de Abastecimiento o Gerencia Comercial.

Dentro de los primeros pasos a seguir, se deben entregar los antecedentes al jefe de Productos, quien tendrá la función de evaluar este tipo de proyecto, en términos marginales. Las primeras reuniones serán de carácter informativo, para determinar los procedimientos, los insumos, personal necesario, flujo de pacientes, flujos de insumos, es decir, básicamente entender cómo será el funcionamiento.

Posterior a este análisis, la información recopilada se lleva a números y se realiza una presentación preliminar para despejar las dudas, revisando las consideraciones y finalmente se presenta el proyecto. Previo a esto, el equipo que presenta la idea de contar con un PET/CT, debe mostrar las alternativas que ofrece el mercado, con las respectivas características técnicas que posean.

El equipo PET/CT al ser un híbrido y tener una sección de medicina nuclear, debe funcionar con radiofármacos, por lo que las personas encargadas del área de imagenología deberán negociar los precios con los centros atómicos.

El 23 de agosto de 2011, el Director Nacional del asegurador público, Mikel Uriarte anunció que FONASA sumaría 16 nuevas prestaciones al arancel de libre elección, se trata de prestaciones de alta complejidad en las áreas oncológicas, dermatológica, osteomuscular y pediatría, que no contaban con cobertura en el sistema público y cuyos valores, previos al convenio, variaban entre \$100 mil y \$800 mil pesos aproximadamente. La inclusión de estas prestaciones en el arancel de FONASA tendrá un costo de \$7 mil millones. Una de estas prestaciones corresponde al PET/CT, con un valor de \$500 mil aproximadamente y copago del 50%.

Como se mencionó anteriormente, la técnica PET/CT, corresponde a una prestación de medicina nuclear (05-01-135) que se caracteriza por la administración de isótopos radioactivos que emiten positrones.

Las justificaciones para llevar a cabo el proyecto son:

- Permitir realizar nuevas prestaciones y mejorar la oferta de atenciones en CT.
- Estimar como demanda probable 4 pacientes por cada millón de habitantes para PET/CT por día que idóneamente se realizaran en la jornada de la mañana para facilitar la coordinación con la empresa proveedora del radiofármaco.
- Durante la jornada de la tarde, el equipo será utilizado como CT, con la finalidad de aumentar la demanda de scanner, estimando 18 exámenes por día. Estas cifras son en base a la experiencia recabadas en las diversas clínicas de la región metropolitana.

En la Tabla 5.3 se podrán observar los valores asociados al PET/CT.

3.1.2. Análisis de Costos para la región metropolitana

Costos de Inversión

Se comienza haciendo la evaluación de inversión para la región metropolitana, dentro de los costos se considera el capital de trabajo, que son recursos que debe destinar la empresa para poder operar, también conocido como activo corriente o efectivo [11]. Estos recursos están destinados a cubrir las necesidades de insumos, mano de obra, etc. Es decir, tener una disposición inmediata para lograr cubrir las necesidades que surjan a tiempo. En la Tabla 3.1 se pueden observar los valores de los sueldos estimados para el capital de trabajo, siendo un total mensual de \$ 5.100.000. Pero en este proyecto se contemplaran dos meses, por lo tanto, el capital de trabajo corresponderá a \$10.200.000.

Tabla 3.1 Estimación Capital de trabajo.

Personal	Sueldo
Tecnólogos (2)	\$ 3.200.000
Técnico auxiliar	\$ 450.000
Secretaria	\$ 450.000
Físico Nuclear	\$ 1.000.000
TOTAL	\$ 5.100.000

Dentro de los costos de inversión, también se tiene el costo del equipamiento que incluye el PET/CT, impresora y aire acondicionado (AAC) (incluido en el precio del PET/CT), el inmobiliario,

infraestructura⁵ y las instalaciones de los equipos. Finalmente, la suma de todos los costos da un total de \$1.463.310.000, tal como se aprecia en Tabla 3.2.

Tabla 3.2 costos de inversión.

Costos de inversión	
Equipamiento	
Equipo PET/CT	\$ 725.400.000
Impresora	\$ 150.000
Total	\$ 725.550.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Instalación	
Equipo	\$ 49.400.000
AAC	\$ 2.360.000
Total	\$ 51.760.000
Capital de trabajo	\$ 10.200.000
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.463.510.000

Costos Fijos

Son aquellos en los que incurre la empresa y que en el corto plazo o para ciertos niveles de producción, no dependen del volumen de productos [11]. En este proyecto, los costos fijos se agrupan en recursos humanos y consumos básicos. En el caso del recurso humano, se tiene considerado las remuneraciones mensuales para dos tecnólogos médicos, donde cada uno percibe una remuneración de \$1.600.000, un técnico auxiliar con \$450.000 y una secretaria con \$450.000, según el portal web futuro laboral. También se contará con un físico nuclear, aunque su trabajo corresponde a algunas visitas anuales, se considera un gasto mensual de \$1.000.000.

Otro costo fijo considerado es el consumo eléctrico del equipo PET/CT (24 kW/h diarios) y el de dos equipos de aire acondicionado, uno para la sala de examen del PET/CT (15,08 kW/h) y otro para la sala de control (7,84 kW/h)⁶. Ambos equipos también requieren mantención la cual es considerada. El resultado total de los costos fijos anuales es \$ 66.089.593, ver detalle en Tabla 3.3.

⁵ El valor de la infraestructura y el valor del equipo fueron otorgados por una empresa proveedora.

⁶ Para más detalles acerca del consumo eléctrico, ver Anexo D.

Tabla 3.3 Costos Fijos

Costos Fijos	
Personal	\$ 61.200.000
Tecnólogos (2)	\$ 38.400.000
Técnico auxiliar	\$ 5.400.000
Secretaria	\$ 5.400.000
Físico Nuclear	\$ 12.000.000
Consumos básicos	\$ 5.969.193
Electricidad	\$ 5.848.793
Mantenimiento AAC	\$ 120.400
TOTAL	\$ 67.169.193

Costos variables

Son aquellos costos que evolucionan en paralelo con el volumen de actividad de la empresa [11]. Acá los costos variables son los insumos, donde en primer lugar están los insumos del PET/CT consistentes en radiofármaco (valor de referencia del ciclotrón de FALP), disco compacto (CD) para entregar las imágenes de la exploración, papel y el 15% del valor del examen para el médico informante. Además se debe sumar los insumos del CT, medio de contraste, papel y médico informante. Los detalles aparecen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Costos Variables.

Costos variables			
Ítem	porcentaje	valor	
Insumos PET-CT			\$ 252.801
Radiofármaco	100%	\$ 175.000	\$ 175.000
CD	100%	\$ 120	\$ 120
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante PET/CT	15%	\$ 517.360	\$ 77.604
Insumos CT			\$ 19.423
Medio de contraste	80%	\$ 10.120	\$ 8.096
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante	15%	\$ 75.000	\$ 11.250

Finalmente, para la construcción del flujo de caja (Anexo D: Tablas Evaluación Económica. Tabla 5.17), dentro de los costos se considera la mantención del equipo PET/CT. El tipo de mantención es la más completa, que incluye el cambio de tubo de rayos X y prestación de servicios de asistencia técnica preventiva y correctiva. Cabe mencionar que el equipo se deprecia a los 10 años según el Servicio de Impuestos Internos (SII) [12], el impuesto a la renta es de 20% y la tasa de descuento de 10%, ya que el riesgo del proyecto se estima como bajo.

Con las consideraciones (Tabla 5.3) de tener una demanda estimada de 1040 PET/CT (4 exámenes por día) más 4680 (18 exámenes por día) exámenes de CT, los indicadores económicos nos entregan los siguientes resultados:

- VAN = \$ 105.174.521
- TIR = 12%

Como se puede observar, el VAN es considerablemente mayor a cero, lo que indica que las ganancias son beneficiosas. En el caso del TIR que representa un 12%, mayor a la tasa de descuento indicada, refleja que el proyecto es rentable. Frente a este escenario, el proyecto es viable.

3.1.3. Análisis de Costos para la región del Biobío.

Se evalúan 4 situaciones, ya que la demanda estimada es menor que en la región metropolitana, estimando un número de 780 exámenes PET/CT anuales (3 exámenes por día) y 3900 exámenes de CT anuales (15 exámenes por día). Además se debe considerar el gasto del transporte aéreo del radiofármaco, que tiene un valor de \$150.000 por tres dosis. Para efectos de esta evaluación se va a considerar el valor de un equipo PET/CT nuevo y uno reacondicionado y, dos tipos de mantenciones, donde una contempla el cambio de tubo de rayos X dentro del plan de mantenimiento y la otra no, por lo cual en esta última el valor será incluido por separado, estimando tres años de vida útil del tubo, por lo tanto, cada dicho periodo se agregará el valor de \$156.000.000 por tales motivos. El resto de los costos serán los mismos que se emplearon en la evaluación de la región metropolitana.

A continuación se realizará un análisis comparativo entre las opciones de adquirir un equipo nuevo de uno reacondicionado y cada caso se evaluará con un tipo de mantención básica y una mantención full, con el propósito de ver qué situación es más rentable y bajo qué parámetros es viable llevar a cabo el proyecto.

Caso 1. Equipo PET/CT nuevo, mantención full.

De acuerdo a las Tablas 5.4 5.5 y 5.6 que indican los costos del proyecto y el Anexo D.6 Flujos de caja.

Que muestra el flujo de caja, se obtienen los siguientes indicadores económicos:

- $VAN = -\$ 376.426.647$
- $TIR = 3\%$

Según los resultados obtenidos, el VAN es negativo, por lo tanto, el proyecto se rechaza, ya que los costos asociados al proyecto son mayores a los beneficios que generaría si realizara el proyecto. El resultado del TIR es un 3%, menor a la tasa de descuento, indicando que el proyecto no es rentable.

Caso 2. Equipo PET/CT nuevo, mantención básica.

Para revertir la situación anterior, la mantención se cambia por una básica, donde los resultados tampoco son alentadores. El flujo de caja de poder ver en Anexo D.6 Flujos de caja.

- $VAN = -\$ 273.471.733$
- $TIR = 5\%$

El VAN sigue siendo negativo y el TIR no logra superar la tasa de descuento, por lo tanto, esta alternativa no es óptima.

Caso 3. Equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.

Ahora, se evalúa el proyecto con la compra de un equipo acondicionado y una mantención full. Anexo D.6 Flujos de caja.

- $VAN = -\$97.910.714$
- $TIR = 8\%$

El resultado de los indicadores económicos muestran un VAN nuevamente negativo, es decir, los beneficios son menores que los costos y un TIR menor a la tasa de descuento, por lo que tampoco es rentable.

Caso 4. Equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.

Por último, en el escenario de comprar un equipo reacondicionado con una mantención básica, los indicadores muestran lo siguiente:

- $VAN = \$ 5.044.201$
- $TIR = 10\%$

Bajo estos parámetros el proyecto es rentable y además se tendrían ganancias favorables. Sin duda, esta sería la mejor alternativa a implementar en la región del Biobío. Además que una instalación de esta envergadura podría favorecer todo el tramo sur del país y de esta forma aumentar las ganancias.

En un inicio del proyecto, 3 exámenes PET/CT por día es una cifra prudente y los resultados de la evaluación económica indican que bajo algunos parámetros si es posible llevar a cabo la adquisición de este equipo, pero si aumentamos la demanda diaria de PET/CT a 4 por día, los resultados son muy diferentes, como se puede ver en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Comparación demanda PET/CT diario.

DEMANDA EXÁMENES		
	3 exámenes PET/CT 18 exámenes CT	4 exámenes PET/CT 18 exámenes CT
CASO 1 PET/CT nuevo Mantención full	VAN=-\$ 376.426.647 TIR = 3%	VAN= -\$ 127.134.803 TIR = 8%
CASO 2 PET/CT nuevo Mantención básica	VAN= -\$273.471.733 TIR = 5%	VAN= -\$24.179.888 TIR = 10%
CASO 3 PET/CT reacondicionado Mantención full	VAN = -\$97.910.714 TIR = 8%	VAN=151.381.130 TIR = 13%
CASO 4 PET/CT reacondicionado Mantención básica	VAN= \$5.044.201 TIR = 10%	VAN= 254.336.045 TIR = 15%

Como se puede ver en la Tabla 3.5, al aumentar la demanda diaria de PET/CT, en el caso 3 y 4 es factible llevar a cabo el proyecto, donde además las ganancias son muy superiores a la de la demanda estimada de 3 exámenes por día. La mejor opción para la región del Biobío es adquirir un PET/CT reacondicionado, con una mantención básica.

3.2. Inversión: Base de los requerimientos para la pre-instalación

Para el diseño de una instalación de un centro de medicina nuclear PET/CT, es clave contar con el personal experto en protección radiológica, conjuntamente con otros especialistas en otros campos de las ciencias y la ingeniería. Contar con un propicio equipo de trabajo implica tener los criterios de optimización para el diseño, construcción y puesta en marcha de dicha instalación, para poder abarcar todas las áreas pertinentes y, de esta forma no tener que volver a repetir o cambiar procesos ya realizados. El desarrollo de esta guía técnica aborda los aspectos relacionados a la planta física, los requerimientos eléctricos, térmicos, mecánicos, además de instalaciones especiales indispensables para el funcionamiento del equipo.

3.2.1. Requerimientos del espacio físico

Fácil acceso

Para diseñar una instalación radiactiva, se debe analizar rigurosamente su ubicación, sobre todo si se encuentra dentro de un edificio, donde se deberán cumplir características tales como un lugar poco frecuentado, con el fin de tener un control en el acceso, además el lugar debe tener un mínimo riesgo de incendio, debe existir un adecuado traslado del material radiactivo y no deben estar próximas a almacenes de productos explosivos o fácilmente inflamables ni en lugares donde se puedan producir inundaciones, vale decir, escoger un área física idónea para el óptimo funcionamiento del equipo y sus instalaciones. Para esta evaluación no se considerarán obras civiles gruesas, si no que obras donde se modificará un área ya construida.

Uno de los primeros pasos a seguir, para la instalación de un PET/CT, es ver y analizar los accesos. La accesibilidad al sitio debe ser espaciosa y expedita ya que se trata de un equipo de gran peso (4,6 toneladas) y gran tamaño, además de las maniobras que se deben realizar por las cargas pesadas y volúmenes importantes. Muy trascendental además es la ruta por donde se transportará el radiofármaco hasta el cuarto caliente, por la corta vida media que posee este trazador.

Ubicación

Se debe tener especial cuidado donde se ubicará el equipo, ya que el sistema PET es sensible a los campos magnéticos externos, como lo son los equipos de resonancia magnética cercanos.

Para evitar problemas de calidad de imagen, la intensidad del campo magnético externo tiene que ser de menos de 1 Gauss (0,1 m) de escáner y no deberá oscilar en más de +/- 0,05 Gauss. Donde 1 Gauss corresponde a 10^{-4} Tesla.

Disposición de las salas y dimensiones

Una vez que se estima el área que será modificada, se procede a realizar la construcción de las habitaciones. Con lo que respecta a las habitaciones, esta instalación debe contar con múltiples salas, las cuales deben estar distribuidas estratégicamente dependiendo de la funcionalidad de cada una. Este servicio debe contar como mínimo con: sala de examen, sala cuarto caliente (área exclusiva para la manipulación, almacenamiento, fraccionamiento de radioisótopos y marcación de radiofármacos y la gestión de residuos radiactivos), sala de espera de pacientes inyectados (box), área de administración de radiofármacos al paciente (box), baño exclusivo para paciente y debe contar con una ducha de emergencia.

La Fig. 3.2 muestra el layout que representa una forma idónea de la disposición de las salas.

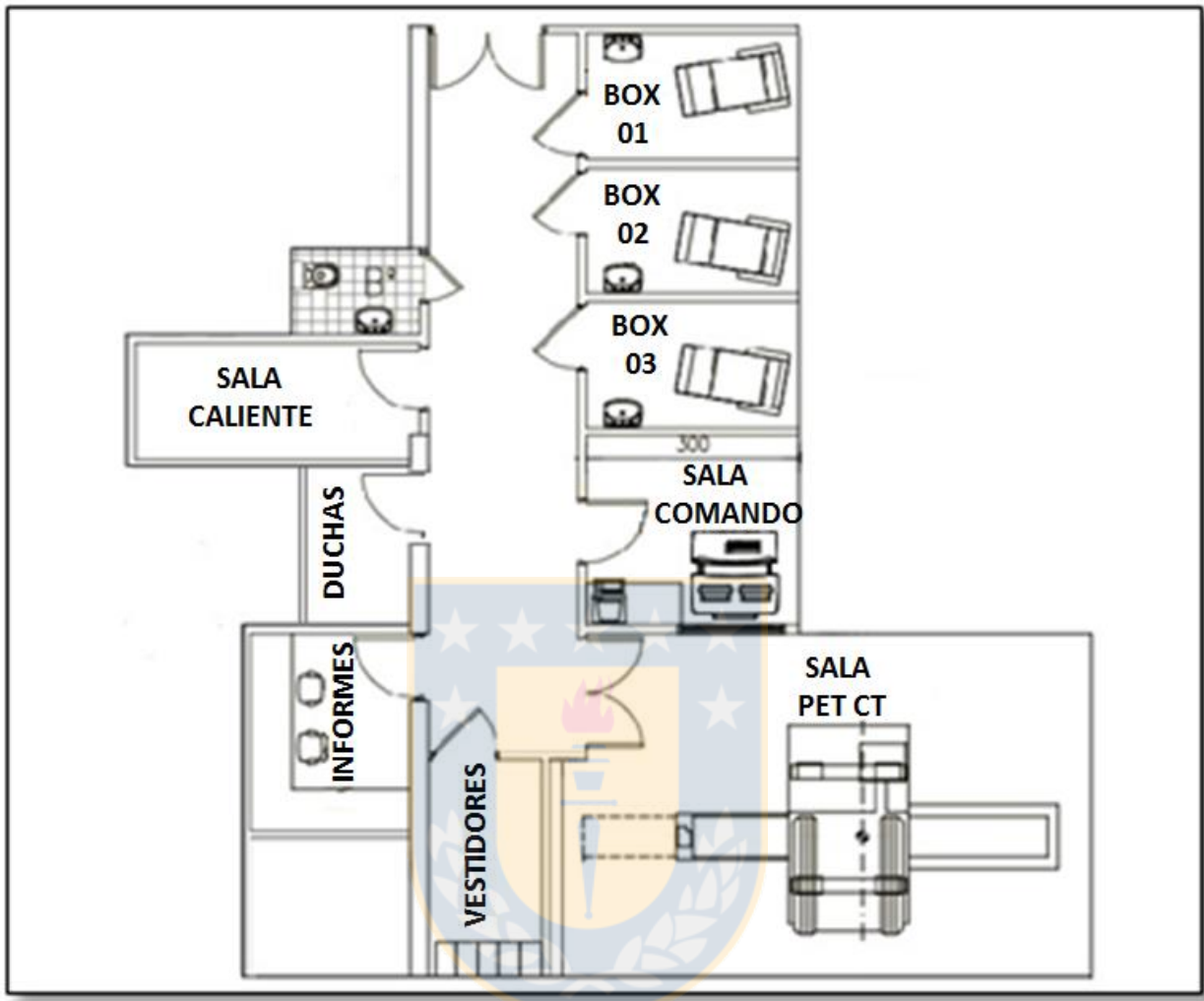


Fig. 3.2 layout sugerido [17].

A continuación se expondrán las salas requeridas y su funcionalidad [13] [14].

- **Sala PET/CT (exploración):** Espacio físico donde se aloja el PET/CT. Esta habitación debe tener un acceso fácil desde las salas de preparación del paciente y baño. La entrada a esta sala debe ubicarse lo más cerca posible de la sala de preparación. Se estima que la dimensión de la sala debe ser de 8 m de largo x 4,4 m de ancho, y tener una altura de 2,6 m aproximadamente, aunque si las dimensiones del área aumentan, se facilitará las operaciones como las de mantención. La puerta de acceso idealmente debe ser de 0,9 m x 2,10 m.



Fig. 3.3 Sala PET/CT [14].

- **La sala de comando o control:** Como su nombre lo indica, es el lugar donde el tecnólogo médico realiza el examen, mediante un ordenador que está configurado con el software entregado por la empresa proveedora. Esta habitación está unida con la sala de exploración, donde se comunican mediante una ventana de vidrio plomado, es requisito fundamental que ambas salas estén continuas. Su dimensión óptima es 4,5 m de largo x 3 m de ancho y una altura de 2,4 m. Fig. 3.4



Fig. 3.4 Sala de Comando o Control. Registro fotográfico Clínica Privada de Santiago.

- **Box de preparación:** Es apropiado que existan 3 box. Estas salas deben tener la funcionalidad para preparar al paciente para el examen, es decir, para el momento donde deben ser inyectados con el radiofármaco y para su posterior reposo después de realizada la exploración, con el fin de que sea eliminada toda la sustancia radiactiva y, de esta forma evitar que otras personas pudiesen ser irradiadas, ya que son una fuente relativamente intensa de radiación. Estos box requieren tener una camilla cada uno o en su defecto una silla reclinable, para que cada recinto sea independiente para cada paciente. Un ejemplo de este box se puede apreciar en la Fig. 3.5



Fig. 3.5 Imagen de una sala de preparación de un paciente. Registro fotográfico Clínica Privada de Santiago.

- **Baños:** se puede requerir de uno o dos baños para los pacientes. Este inodoro debe estar ubicado lo más cerca posible de las salas de preparación del pacientes para facilitar el acceso, ya que antes de iniciar el procedimiento de emisión de positrones, a los pacientes se le pide vaciar su vejiga.

Estos sanitarios deben ser de uso exclusivos de los pacientes, por ende, no deben ser usados por personal del recinto de salud, porque es factible que el suelo, los muebles sanitarios, el retrete y las llaves de agua estén contaminados.

Además como medida de seguridad, esta instalación debe incluir señales que requieran al paciente que descargue el estanco y se lave bien las manos al terminar e incluir el lavado como medida normal de higiene. Cabe tener en cuenta que los sanitarios montados en la pared permiten que los suelos estén despejados. En la Fig. 3.6 se puede observar las recomendaciones dadas anteriormente.



Fig. 3.6 Baño destinado para los pacientes irradiados. Registro fotográfico Clínica Privada de Santiago.

- Sala cuarto caliente:** Donde se almacena y prepara la dosis de radiofármaco. Por lo general, los radiofármacos para PET pueden ser entregados a la habitación de inyección de dos maneras: ya sea en una jeringa mono-dosis o en un frasco. Cuando son recibidas las dosis de material inyectable ya sea proveniente de un ciclotrón situado en el mismo lugar que el PET/CT o transportado de otro lugar, la radiactividad puede ser muy alta, dependiendo del número de pacientes, y cada dosis tiene que ser dispensada en ampollas. En este caso, se necesita de una pequeña sala, concebida como un laboratorio básico caliente con protección para los emisores de positrones y próxima de la sala de inyección, como se aprecia en la Fig. 3.7. El cuarto caliente debe tener las dimensiones adecuadas para la manipulación de radiofármacos y procedimientos de descontaminación. Su lavamanos debe ser hondo y de seguridad, fabricados de un material liso y continuo, no poroso e inoxidable. Su piso, paredes y techo en uso o cuarto caliente, debe estar construido de material impermeable que permita la descontaminación, la misma exigencia de impermeabilidad la debe cumplir su mobiliario. Sus pisos y paredes deben tener cantos redondeados, y deben estar dotados de soluciones adecuadas para descontaminación humana, así como de jabón de PH balanceado para el uso diario.

La puerta de acceso al cuarto caliente debe poseer blindaje adecuado que proporcione protección contra las radiaciones. Al lado de esta puerta debe colocarse un detector de contaminación de área. El servicio debe dotarse de un calibrador de dosis para determinar la exactitud de las actividades de radiofármacos a suministrar a los pacientes (10mCi). Este instrumento es de carácter imprescindible en un servicio de Medicina Nuclear y en ningún caso dicho servicio debe funcionar sin el mismo y aun cuando se trabaje en base a dosis preestablecidas por el laboratorio de radiofarmacia, estas deben ser comprobadas.



Fig. 3.7 Cuarto caliente, donde se manipulan los radiofármacos. Registro fotográfico Clínica Privada de Santiago.



Fig. 3.8 Castillo plomado donde se manipula el radiofármaco. Registro fotográfico Clínica Privada de Santiago.

- **Sala para la realización de informe:** Esta sala es utilizada como estación de trabajo para el personal clínico, científico y técnico. Acá también se pueden realizar las reuniones, presentación de informes o cualquier actividad que esté relacionada con el equipo, ya que es un espacio de uso común.
- **Un vestidor:** sala cuya finalidad es servir como vestidor a los pacientes donde el único requerimiento especial es contar con paredes y puertas blindadas, ya que una vez finalizada la exploración, el paciente seguirá radiado por algunos minutos más.

Existen múltiples aspectos al momento de diseñar una instalación para PET/CT, es decir, tener las consideraciones que requiere un equipo que emite radiación. Una vez conocido el lugar que se reacondicionará para la instalación y la cantidad de salas requeridas por las entidades sanitarias para un óptimo funcionamiento y la seguridad necesaria tanto para el personal de trabajo y pacientes, se procede a analizar las áreas colindantes para hacer los cálculos de blindaje, también se debe analizar el tipo de pisos en cuanto al material y a la resistencia, además del suministro de potencia eléctrica, aire acondicionado y finalmente la instalación del equipo.

3.2.2. Blindaje y consideraciones sobre materiales de construcción

Blindaje

Como se indicó anteriormente, los fotones asociados al decaimiento del positrón son de mucha más energía que otras radiaciones diagnósticas, entregando 511 keV, lo que se produce en la aniquilación electrón-positrón, fundamento de la adquisición de imagen en los PET/CT. Por lo que las barreras de blindaje se hacen necesarias tanto en paredes como en suelo y techo. Esto se aplica tanto para radiación X y radiación gamma [15] [16]. La protección contra la radiación es de vital importancia, por lo tanto, se debe realizar un cálculo muy riguroso para no exponer al personal de trabajo ni a las personas que transitan por las áreas colindantes. El cálculo es realizado por un físico nuclear. Además de las paredes y puertas, los elementos con los que se manipula el radiofármaco deben también estar protegidos.

El material que atenuará la radiación es el plomo, debido a que el espesor décimo-reductor, TVL (espesor de material que reduce a la décima parte el número de fotones transmitidos) es de 17 mm, muy inferior al del TVL del hormigón que tiene un espesor de 150 mm.

Información de referencia

Tasa de exposición generada 37 MBq (1mCi) de F-18 = 5,3μSv/h a 1m

Es importante señalar que la actividad máxima administrada por paciente es de 370 MBq, que corresponde a 10mCi.

$5,3 \mu\text{Sv/h mCi} * 180 \text{ mCi} = 954 \mu\text{Sv/h}$ a 1 metro. (Tasa de exposición máxima de 1 bulk)

954 μSv/h equivale a 95,4 mR/h en unidades nacionales.

Cabe reiterar que la unidad Becquerel mide la desintegración de 1Bq por segundo y que la unidad Sv mide los efectos relativos de los distintos tipos de radiación [17].

Límites de referencia utilizados

Considerando que el límite de exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en Chile está estipulado anualmente en 5 Rem a cuerpo completo, el criterio de evaluación empleado por las SEREMI de Salud a nivel nacional para autorizar instalaciones de segunda y tercera categoría considera 8 horas de trabajo al día, 5 días a la semana durante 12 meses (en el peor escenario de exposición ocupacional, que es considerado como conservador) se traduce en 2000 horas de trabajo

al año. Dividiendo el límite anual de 5 Rem (o, equivalentemente 5000 mrem) por 2000 horas laborales [15], se tiene:

Límite de evaluación Ocupacional: 2,5 mrem/h (o mR/h) y,

Límite No-Ocupacional o de Público: 0,25 mR/h (referencia internacional, no estipulada en Chile, pero se utiliza como criterio de evaluación).

-Proyectado a 1 semana para la determinación de blindajes:

Ocupacional: $2,5 \text{ mR/h} * 8 \text{ horas/día} * 5 \text{ días /semana} = 100 \text{ mR semana}$

No Ocupacional = $1/10$ Ocupacional = 10 mR semana

No Ocupacional (ALARA) = 2 mR semana, criterio que considera futuras modificaciones en legislación nacional y recomendado en AAPM Task Group 108

Teniendo en cuenta las dimensiones del servicio y del tipo de áreas colindantes y uso al que se destinan, los criterios de diseño para el cálculo de blindaje estructural son los siguientes:

- Número proyectado de pacientes a la semana
- Pacientes por día
- Dosis de 1 Bulk de F-18: 180 mCi
- Actividad máxima administrada por paciente: 370 MBq (10mCi).
- Permanencia del paciente en reposo en cuartos de preparación e inyección: 30 y 90 minutos, para reducir la captación en el sistema músculo esquelético
- Después del reposo el paciente es llevado al baño a vaciar su vejiga eliminando el 15% aproximado de la actividad inyectada.
- Finalmente el paciente es dirigido hacia la sala de examen, donde la duración de la adquisición del estudio fluctúa entre 15 y 60 minutos.
- Se requiere que finalizado el estudio permanezca en el centro, específicamente en la sala habilitada para ello, hasta que el paciente esté sin radiación en su cuerpo, esto tarda aproximadamente 60 minutos.

Bajo estas consideraciones las dimensiones de blindaje ideales para la instalación del PET/CT son las que se pueden apreciar en la Fig. 3.9

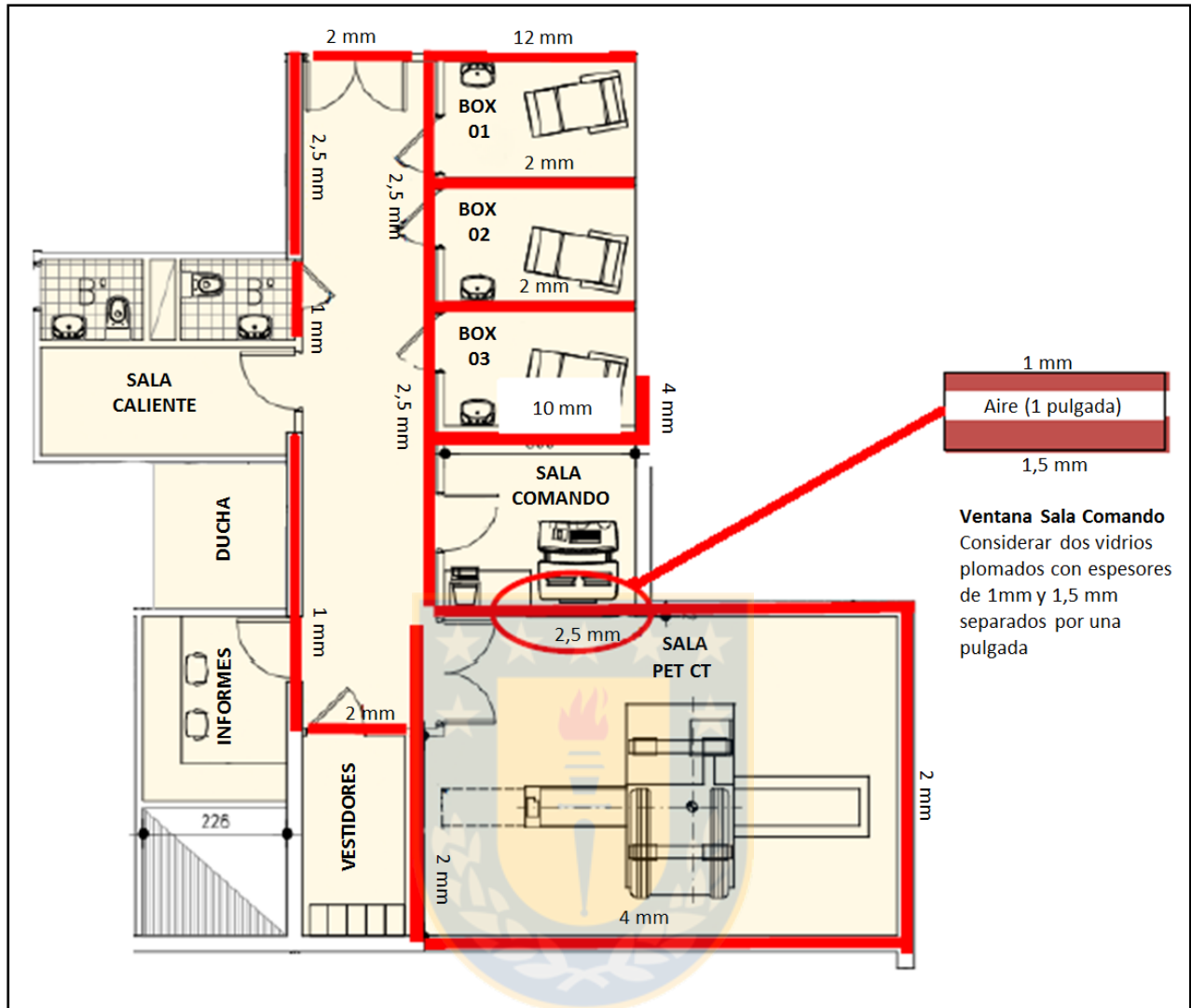


Fig. 3.9 Dimensiones Blindaje instalación PET/CT [17].

Pisos y techos

Debe contar con una serie de características, una de las cuales, es que los materiales estén homologados, cumpliendo con varios requisitos:

- Material fácilmente descontaminable, químicamente resistentes, con resistencia al fuego, impermeable, lavable
- Las superficies deben tener acabado liso, sin poros ni grietas, empalmes ni ranuras, repelentes a la humedad y sin discontinuidades.
- Los suelos serán pulidos, de baja adherencia y con capacidad de ser desmontados.

- Deben estar blindados
- Resistentes al peso de los equipos o mobiliario
- Los techos de igual forma deben ser impermeables, antiinflamables, no porosos y resistentes a la humedad
- Las paredes deben estar recubiertas con pinturas plásticas o resinas fácilmente descontaminable. Con esquinas redondeadas, sin salientes ni codos.

3.2.3. Instalaciones eléctricas y requisitos de potencia y electricidad

Las especificaciones de las instalaciones eléctricas vienen detalladas por el fabricante y son muy exigentes:

Requisitos de energía

Con respecto al **voltaje**, se requiere una fuente primaria para todas las instalaciones. El rango de línea de tensiones nominales es de 380V a 480V (+ / - 10%), 3 fases, 50 o 60 Hz (+ / -3%), En cuanto a la configuración de la alimentación se recomienda usar como fuente de conexión Y o estrella, además de 3 cables y 1 ó 2 tierras. Y finalmente una demanda de potencia de 112,5 kVA. La variación de tensión máxima diaria debe estar dentro de los rangos que se pueden apreciar en la Tabla 3.6. Cabe mencionar que todos cálculos son en base a la tensión nominal [14] [18].

Tabla 3.6 Voltaje permitido / demanda de corriente [19].

Voltaje nominal	Rango absoluto	Corriente (A)		Protección contra sobre corriente estándar mínimo
		Momentánea	Continua	
380	342-418	228	38	150-A
400	360-440	217	36	150-A
420	378-462	206	34	150-A
440	396-484	197	33	125-A
460	414-506	188	31	125-A
480	432-528	180	30	125-A

Con respecto a la **fase de balance**, se tiene que las tensiones fase a fase deben estar dentro del 2% de la tensión más baja de la fase. La tensión transitoria máxima es de 1500V. Esta tensión transitoria de voltaje o impulso de la energía entrante debe mantenerse al mínimo, ya que pueden provocar sobrecargas, conmutación de carga, electricidad estática, etc, pudiendo causar interrupción en las exploraciones o, en casos extremos, fallo de un componente en el subsistema informático. Requerimientos eléctricos Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Requerimientos eléctricos instalación PET/CT [19].

Voltajes de operación	380V, 400V, 440V, 480V
Variación máxima de voltaje	+/- 10%
Demanda máxima	150KVA
Capacidad del transformador	225KVA(3F+N+T)

En cuanto a la **demanda de energía**, se tiene que la demanda de potencia continua = 30 KVA (demanda máxima = 150 KVA). Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Demanda máxima de potencia momentánea

Demanda	Sistema DVCT
KVA*	150
Factor de potencia AT	0,85

*La demanda incluye la energía para todo el sistema. La regulación de voltaje de línea en la demanda de potencia máxima debe ser menor que o igual al 6%.

Transformador de distribución

Para la instalación de una sola unidad, el tamaño mínimo del transformador es de 225 KVA. No se recomienda el uso de un dispositivo de regulación de voltaje.

3.2.4. Instalación de ventilación y climatización

Esta instalación requiere de equipos de enfriamiento, debido a la liberación de energía que se produce en la sala de examen y la sala de control. Este sistema de aire acondicionado debe contar con protección regulable de máxima y mínima tensión y protección de inversión de fases. Además

de una tasa de intercambio de aire fresco para la sala de exámenes de 8 renovaciones por hora como mínimo.

Además, debe contar con una alarma de temperatura instalado cerca de los gabinetes del equipo, en caso de mal funcionamiento del sistema de aire acondicionado.

Para saber la cantidad de equipos de aire acondicionado que se van a requerir, se debe analizar la carga térmica establecida por el fabricante del equipo PET/CT y los componentes periféricos. De esta forma, con la sumatoria de todas las disipaciones calóricas se obtienen los BTU (Unidad Térmica Británica). Además de las disipaciones calóricas entregadas por los equipos se consideran para el procedimiento del cálculo otros aspectos tales como: ubicación geográfica, metros cuadrados del área para acondicionar, número de personas que ocupan el cuarto en forma rutinaria y la exposición del recinto, donde se añade un 10% si el recinto está expuesto al sol o se disminuye un 10% si el recinto está expuesto a la sombra. Estos cálculos se efectúan por sala [14] [18] [19].

En primer lugar se tiene la sala de examen, en la Tabla 3.9 se observa un ejemplo de todas las emisiones de calor entregada por los equipos, dando una sumatoria total de **33.143 BTU/hr**. Cabe mencionar que para la realización de la sumatoria se considera la máxima emisión calórica por equipo.

En cuanto a la ubicación geográfica, para Latinoamérica se consideran **15.000 BTU/hr**, donde se considera que la temperatura climática máxima no supere los 40 °C.

El número de personas es 1, que es el paciente correspondiente a **600 BTU/hr**. Ver Tabla 3.11.

La sala de examen tiene un área de 35,2 m², que corresponden a 8.450 BTU/hr. Tabla 3.12.

Como este recinto está expuesto a la sombra, al total se le debe restar un 10%. Ver Tabla 3.13.

El resultado del cálculo final es de 51.473,7 BTU/hr. Al no existir un tamaño de aire Acondicionado disponible, se considera el equipo con 60.000 BTU, estas dimensiones se encuentran dentro de los márgenes permitidos.

Tabla 3.9 Emisiones de calor sala de examen

FUENTES DE CALOR	EMISIÓN DE CALOR EN BTU
CT Scanner Gantry	18.000 BTU/hr realización examen 5.118 BTU/hr – standby
PET Gantry	6.000 BTU/hr
NMRS Cabinet	5.293 BTU/hr
Teal Isotran (standard)	2.350 BTU/hr
Gantry Power Protection	1.500 BTU/hr

Ubicación Geográfica	15.000 BTU/hr
Cantidad de Personas	600 BTU/hr
Metros Cuadrados	8.450 BTU/hr
Total Parcial	57.193 BTU/hr
Recinto Expuesto a la Sombra (-10%) de Total	51.473,7 BTU/hr

En el caso de la sala de control la sumatoria de las emisiones de calor da un total de **8.954 BTU/hr**. Ver Tabla 3.10.

Este recinto tiene 13,5 m², que corresponden a 5.200 BTU/hr. Ver Tabla 3.12.

Habitualmente esta sala está ocupada por 1 personas, lo que corresponde a **600 BTU/hr**. Ver Tabla 3.11.

Además se debe sumar **15.000 BTU/hr** por la ubicación geográfica.

En cuanto a la exposición del recinto, se debe disminuir el 10% del total por estar expuesto a la sombra. Ver Tabla 3.13.

El resultado del cálculo final es de 26.778,6 BTU/hr. Por lo tanto, se va a requerir un aire acondicionado de 27.000 BTU/hr.

Tabla 3.10 Emisiones de calor sala de control [19].

FUENTES DE CALOR	EMISIÓN DE CALOR EN BTU
CRC	2.000 BTU/hr
Sistema full UPS 60 Hz (opción)	6.954 BTU/hr nota: puede ser localizado remotamente
Ubicación Geográfica	15.000 BTU/hr
Cantidad de Personas	600 BTU/hr
Metros Cuadrados	5.200 BTU/hr
Total Parcial	29.754 BTU/hr
Recinto Expuesto a la Sombra (-10%) de Total	26.778,6 BTU/hr

Tabla 3.11 Número de personas que ocupan el cuarto en forma rutinaria y su correspondencia en BTU/hr.

Personas	BTU/hr
1	600
2	1200

**Tabla 3.12 Metros cuadrados del área para acondicionar
y su correspondencia en BTU/hr.**

Área m ²	Enfriamiento BTU/hr
7	2.600
9	3350
14	5200
19	6000
23	6900
28	7500
33	7900
37	9000
47	10900
56	12800

Tabla 3.13 Exposición del recinto.

Recinto	
Expuesto al sol	Expuesto a la sombra
+10%	-10%

Cualquier tipo de ventilación y climatización debe garantizar condiciones de trabajo cómodas y una continua renovación de aire. En general deben ser considerados los siguientes aspectos: evitar la recirculación de aire, la toma de aire debe tener una ubicación adecuada, el flujo de aire debe ir de las zonas no activas a las zonas activas, el sistema de climatización debe ser independiente.

En la sala de exámenes los conductos de aire acondicionado no deben estar dirigidos directamente sobre la gammacámara.

Condiciones ambientales

El rango de temperatura de funcionamiento durante el examen es de 15 ° a 24 ° C y 35% a 70% de humedad relativa (sin condensación).

La producción de calor en el área del PET/CT no tiene ningún efecto de temperatura y humedad en otras áreas. Se recomienda encarecidamente que las salas que se encuentran dentro de la instalación del PET/CT se controlen de forma individual para cumplir con los rangos ambientales especificados.

En la Tabla 3.14, se pueden apreciar las condiciones con respecto a la temperatura de operación.

Tabla 3.14 Condiciones ambientales instalación PET/CT

Temperatura de operación	18°C – 24°C
Humedad relativa	30% - 60%
Gradiente máximo de temperatura	+/- 3°C/Hr
Gradiente máximo de humedad	+/- 5%/Hr

3.2.5. Layout sala, equipamientos de salas

El sistema PET/CT está constituido por 9 componentes fundamentales:

1. CT Gantry
2. PET Gantry
3. Mesa soporte paciente
4. Unidad de separación del Gantry
5. In-bore lifter
6. Gantry Power Protection (GPP)
7. CRC – Host Console and CIRS (Vertical Server)
8. NMRS (servidor Recon de Medicina Nuclear)
9. Isotran LM transformer (standard for all 50 or 60 Hz Sites, 200 to 480 VAC, worldwide)

Estos componentes son los fundamentales conectados en serie con el sistema. Para proporcionar protección de energía del sistema completo, incluyendo el sistema CT, se recomienda una UPS de 1500 VA. Esta UPS y el NMRS se pueden ubicar tanto en la sala de examen o en el sitio donde se encuentra el PET/CT.

La sala en general donde se encuentra el PET/CT, se puede dividir principalmente en la sala de exploración, que es donde se encuentra el equipo, y la sala de control donde se aloja el monitor y la consola, ambas separadas por una puerta y una ventana de vidrio plomado.

No está permitido colocar alto voltaje, UPS, u otros dispositivos de acondicionamiento de energía, a no ser que tenga una distancia mínima de 1,5 m de la camilla del paciente, a menos que esté certificado como un dispositivo médico. Por tales motivos, se recomienda encarecidamente que dichos componentes auxiliares se ubiquen en una sala técnica adyacente a la sala de examen del PET/CT o de la sala de control [14].

Esta disposición también puede proteger al técnico de la radiación durante la instalación de equipos y mantenimiento. La UPS y el equipo transformador Isotran nunca debe ubicarse más allá de 61 m del sistema PET / CT. La unidad de potencia Teal LM deberá estar situado dentro 15.2 m desde el sistema cuando se utiliza junto con un dispositivo UPS.

3.3. Operación: Puesta en marcha

Una vez lista la construcción del recinto, es decir de las salas requeridas, el orden de las operaciones son las siguientes:

- Armado y calibración del equipo, por parte de la empresa proveedora.
- Término de la habilitación del área PET/CT por parte de la constructora contratada por el ente estatal o privado.
- Una vez parte física esta lista, se procede a realizar el licenciamiento del equipo por parte de la SEREMI, se estima que este procedimiento tarde alrededor de dos meses.
- Posteriormente viene la autorización sanitaria, también por parte de la SEREMI, donde idealmente debería durar 1 mes, siempre que se cumplan con todos los requerimientos.
- Finalmente viene el inicio de la operación.

Para todo el proceso, desde el inicio que corresponde al armado y calibración hasta la puesta en marcha, se estima un tiempo de aproximadamente 1 año y medio. En base a la experiencia de instalaciones ya realizadas, la instalación queda entrapada en los procesos de licenciamiento y autorización por parte de la SEREMI, ya que esta entidad es muy rigurosa y si no se cumple a cabalidad lo estipulado, los permisos no serán otorgados, por lo mismo, es de vital importancia no obviar ningún requerimiento.

3.3.1. Radiación y autorización sanitaria

Dentro de los requisitos para la puesta en marcha del PET/CT se debe contar con la autorización sanitaria de tres instituciones SEREMI, CCHEN e ISP.

La CCHEN es la autoridad competente que evalúa y fiscaliza el funcionamiento de todas las instalaciones radiactivas del País. De esta forma, la CCHEN está a cargo de la regulación, autorización y fiscalización de instalaciones nucleares y radiactivas de primera categoría.

- Autorizaciones de construcción
- Certificados

- Autorizaciones de importación
- Autorizaciones de operador
- Leyes
- Autorizaciones de exportación
- Autorizaciones de transporte
- Circulares
- Reglamentos

La SEREMI es la autoridad reguladora de este tipo de instalaciones, por lo tanto, es la entidad que entrega los requisitos de importación e instalación

La autorización sanitaria es realizada por el sub departamento de Salud Ocupacional y Prevención de Riesgos de la SEREMI de salud.

La SEREMI tiene como objetivo proteger la salud de los trabajadores, de los riesgos que pueda originar el medio ambiente, aplicando el código sanitario y otras normativas, así mismo tiene el deber de velar por el cumplimiento de dichas normas, planes, programas y políticas nacionales, otorgando autorizaciones sanitarias y medidas sanitarias.

La Secretaria Regional Ministerial del Salud dentro del vasto campo de prevención de riesgos, se encuentra la protección radiológica, que conforme a las disposiciones del Código Sanitario da: *“La autorización y el control de la aplicación y el manejo de las sustancias radiactivas o en equipos generadores de radiaciones ionizantes”*.

Por lo tanto, para cumplir tales efectos, a través de acciones permanentes debe promover, prevenir, fiscalizar y vigilar la normativa para cuidar la salud de los trabajadores.

El control de dicha entidad se realiza por medio de la formalización y fiscalización. La formalización tiene como objetivo hacer que las actividades productivas y de servicios que utilizan las instalaciones radiactivas logren cumplir con todos los requerimientos legales, para de esta forma conseguir los permisos sanitarios correspondientes, en pro de la mejora en la calidad de salud, tanto de los trabajadores, de la comunidad y también del medio ambiente.

Por su parte la fiscalización, realizada por la autoridad sanitaria tiene como misión verificar y evaluar que se cumplan todas las condiciones mínimas que permitan preservar la salud de las personas en sus lugares de trabajo. Esta fiscalización se lleva a cabo mediante sanciones correctivas y/o punitivas cuando se detecta un incumplimiento de la norma sanitaria laboral asociada.

Solicitud autorización de funcionamiento de la instalación de radio diagnóstico médico con fuentes radiactivas

En el caso del equipo PET/CT, dentro de los requerimientos para la autorización, debe contar:

- La instalación radiactiva debe cumplir con requisitos de protección radiológica para el personal expuesto, como para el público, con señalizaciones de advertencia de peligro de irradiación y contaminación, advertencia a la mujer embarazada y los procedimientos de seguridad y protección radiológica operacional.
- Todas las áreas de manipulación de radioisótopos deben considerar las medidas señaladas. En relación a la exposición ocupacional, las tasas de dosis para trabajador expuesto no pueden exceder los 2,5 mR/hr (valor derivado); para público y áreas aledañas, el valor de referencia derivado es de 0,25 mR/hr.
- La instalación radiactiva debe ser de acceso restringido, sala de pacientes, laboratorio caliente, servicios higiénicos para pacientes. Todas son áreas donde existe radiación dispersa de origen artificial, por tanto deben estar señalizadas.
- Los desechos y materiales contaminados deben ser sometidos a decaimiento radiactivo, el procedimiento debe considerar registro según el isótopo radiactivo utilizado, fecha de generación del desecho, tiempo de decaimiento y fecha de retiro.

4. Conclusiones

La incorporación de la tecnología PET/CT ha traído sin duda cambios favorables en el ámbito de la salud, siendo muchos los beneficiados. Descubrir el diagnóstico en una fase temprana, implica realizar un tratamiento eficaz y oportuno, alargando la esperanza de vida del paciente. Esta técnica tiene como objetivo apoyar el diagnóstico, favoreciendo la planificación del tratamiento.

En cuanto a la factibilidad de instalar este equipo en la región metropolitana, se realizó un flujo de caja para obtener los indicadores económicos, con un TIR igual al 12% y un VAN de \$ 105.174.521 donde los resultados muestran que las ganancias serían elevadas y por lo tanto, el proyecto es rentable. Según la OMS por cada millón de habitantes debería existir un PET/CT, y como en Santiago ya se cuenta con 6 de estos equipos, instalando dos unidades más la demanda debería quedar satisfecha. Sin embargo, la demanda debería ser aún mayor, considerando todos los habitantes de Chile. Por la geografía del país existen zonas muy extremas, que por dificultades económicas no pueden tener acceso a mejor salud y tecnología. Por esta razón, se realizó una segunda evaluación económica a la región del Biobío de Chile, por ser la segunda región más importante y a la vez la segunda con mayor número de habitantes, barajando varias alternativas con el fin de hacer viable el proyecto.

Cabe mencionar que para la realización de un examen se requiere de un radiofármaco, el cual se sintetiza en un ciclotrón. En Chile sólo hay dos ciclotrones que abastecen toda la demanda, ambos ubicados en la región metropolitana, por lo cual para la evaluación en la región del Biobío se debió incorporar el transporte aéreo del radiofármaco, que es bastante costoso, por lo que se puede pensar en la instalación de un ciclotrón en la zona sur, pero dicho análisis queda fuera de este proyecto por ser de gran envergadura. Frente a esta realidad, los resultados demuestran que para un eventual proyecto rentable, se debe incurrir en la compra de un equipo reacondicionado, además contratar un plan de mantenimiento básico, que no incluya cambio de tubo de rayos X. Los indicadores económicos muestran un VAN = 5.044.201 y un TIR del 10%.

El desconocimiento generalizado de este equipo hace pensar que es un proyecto con un alto riesgo de inversión, pero el equipo en evaluación es un híbrido, compuesto por dos equipos en uno, en donde, frente a una baja utilización de éste, es posible realizar exámenes individuales de exploraciones PET y tomografías convencionales. Para la realización de la evaluación económica se consideró un escenario conservador, de 18 exámenes de CT al día, asegurando de esta forma los

resultados de los indicadores económicos. Y se espera, que a medida que esta tecnología vaya comprobando aún más su fidelidad, la demanda sufra un ascenso y con esto un incremento de los ingresos.

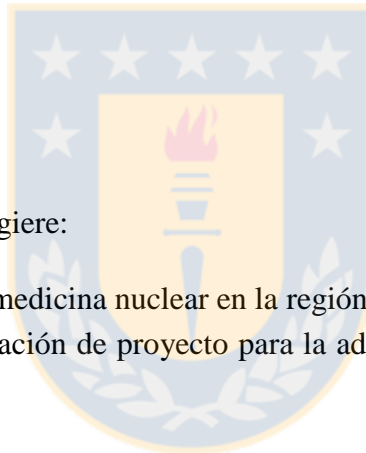
La guía técnica propuesta como una herramienta para la pre-instalación, incluye los aspectos físicos, térmicos, eléctricos y de blindaje necesarios para la instalación de equipos PET/CT, así como para cumplir con los requerimientos y exigencias actuales impuestos por la autorización sanitaria para aprobar la puesta en marcha de la instalación.

Haciendo un balance de orden concluyente, revisando los puntos anteriormente señalados, se demuestra la factibilidad de llevar a cabo un proyecto de gran envergadura como lo es el PET/CT dejando cifras positivas para los inversionistas y favoreciendo el apoyo diagnóstico del cáncer.

4.1. Trabajo Futuro

Como posible trabajo futuro se sugiere:

- Evaluar centro de medicina nuclear en la región del Biobío.
- Realizar una evaluación de proyecto para la adquisición de un ciclotrón en la región del Biobío.



5. Anexos

Anexo A: Imágenes Médicas

A.1 Diagnóstico por medio de imágenes médicas

Las imágenes médicas tienen sus inicios alrededor del año 1895 con el descubrimiento accidental de los rayos X, donde dicho hallazgo se le atribuye a Wilhelm Röntgen. De esta forma se pudieron obtener las primeras imágenes del interior del cuerpo humano usando rayos X, ver Fig. 5.1 otorgándole a Röntgen el Premio Nobel de Física en 1901 [20].

Así, este hito establece el inicio de la imagen médica, revolucionando la historia de ésta misma, por medio de una gran cantidad de hallazgos que permitió el desarrollo de la radiología y su evolución hasta la situación actual.



Fig. 5.1 Primera imagen obtenida con RX [20].

A.2 Técnicas de imágenes médicas

A través de la historia y con el fin de obtener un diagnóstico certero, la ciencia ha innovado en nuevas técnicas médicas con el único fin de mejorar la calidad de la salud de las personas. Estas

técnicas se basan en desarrollar sistemas que tengan la facultad de detectar las distintas señales físicas que emite el cuerpo u órgano en estudio, pero que son imperceptibles para el ser humano. Una vez que son detectadas las imágenes, un sistema computacional convierte las señales adquiridas del cuerpo en datos, y una vez procesados se puede obtener finalmente la imagen. Estas imágenes podrán mostrar información estructural y/o funcional dependiendo del objetivo del estudio y del equipo a utilizar.

Las diversas técnicas sanitarias han permitido transformar la práctica de la medicina, donde el diagnóstico por imagen ha permitido reducir los tiempos, ofreciendo a los pacientes nuevas posibilidades en los tratamientos de su enfermedad [21].

A.2.1 Radiografía (RX)

El descubrimiento realizado por Röntgen en 1895, dio inicio al diagnóstico por imágenes del cuerpo humano, realizadas mediante el uso de rayos x, dando origen a lo que será una era en la innovación de las tecnologías sanitarias.

Consiste en una fuente externa emisora de rayos X, donde la radiación es absorbida en diferentes grados mientras atraviesa los diferentes tejidos de interés clínico, tras el paciente en estudio se ubica un sensor que detecta la radiación, dando lugar a una radiografía.

Cada tejido del cuerpo humano posee un coeficiente de atenuación el cual está ligado directamente a su densidad. Los tejidos duros como los huesos poseen altas densidades lo que provoca una menor transmisión de rayos X desde la fuente emisora hasta la de detección, lo cual se traduce en una imagen con tonalidades oscuras. A diferencia de tejidos blandos en donde se tendrá una mayor cantidad de rayos X detectados expresándose esto en una imagen de tonalidades claras, blancos. Es así, como el resto de los tejidos u órganos van arrojando diferentes tipos de matices de gris dependiendo su densidad.

La utilización de este sistema presentaba algunas dificultades porque al obtenerse una imagen en dos dimensiones, las estructuras del cuerpo aparecían superpuestas, lo que se traducía en no poder observar las anomalías existentes. Por lo tanto, una de las primeras soluciones fue incorporar un medio de contraste con el fin de obtener imágenes más claras y visualizar de manera más óptima algunos órganos. El medio de contraste es una sustancia radio-opaca que modifica el coeficiente de atenuación a los rayos X de un órgano o tejido, que permite realizar un estudio morfológico [22].

A.2.2 Tomografía Computarizada

La tomografía computarizada (CT), es una técnica de imagen médica que utiliza un equipo de rayos X especial para crear imágenes transversales de las diferentes zonas del cuerpo con una excelente precisión y detalle de las diversas estructuras anatómicas, que se puedan distinguir en los distintos ejes donde se escanea el cuerpo.

A finales de los años 60, Godfrey Hounsfield, crea y desarrolla el primer tomógrafo computarizado, en los laboratorios de EMI. Simultáneamente, el físico sudafricano Allan Cormack, de la Universidad Tufts, Massachusetts, desarrolló la teoría de la reconstrucción de imagen utilizada en esta tecnología. Finalmente, ambos científicos compartieron el Premio Nobel de Fisiología.

En 1972 se instaló el primer equipo de CT de uso clínico. Los primeros equipos estaban dedicados a exploraciones de la cabeza y, hasta 1976 no aparecieron los sistemas de cuerpo entero con mayores aberturas para los pacientes [23].

La CT basa su funcionamiento en la atenuación de un haz de rayos X mientras atraviesa una parte del cuerpo. Este haz de RX llega a los detectores de radiación, que obtienen la medida de la atenuación resultante de haber atravesado una franja del cuerpo, detectando la energía de los fotones transmitidos, donde posteriormente genera un valor numérico proporcional a ésta, como se muestra en la Fig. 5.2.

Para poder reconstruir el corte, se necesitan varias proyecciones de la atenuación desde distintas direcciones. Las proyecciones obtenidas finalmente se almacenan digitalmente en un ordenador. Tras un procesamiento informático se reconstruye la imagen de las estructuras anatómicas de la sección estudiada y cada porción elemental de la imagen tiene asociado un tono gris que representa un coeficiente de absorción. Esta técnica reproduce imágenes de muy alta calidad, donde tiene la cualidad de que los tejidos no se superponen en la imagen, como ocurre en las proyecciones convencionales, mejorando la resolución de bajo contraste para mejorar la visualización del tejido blando [23] [15].

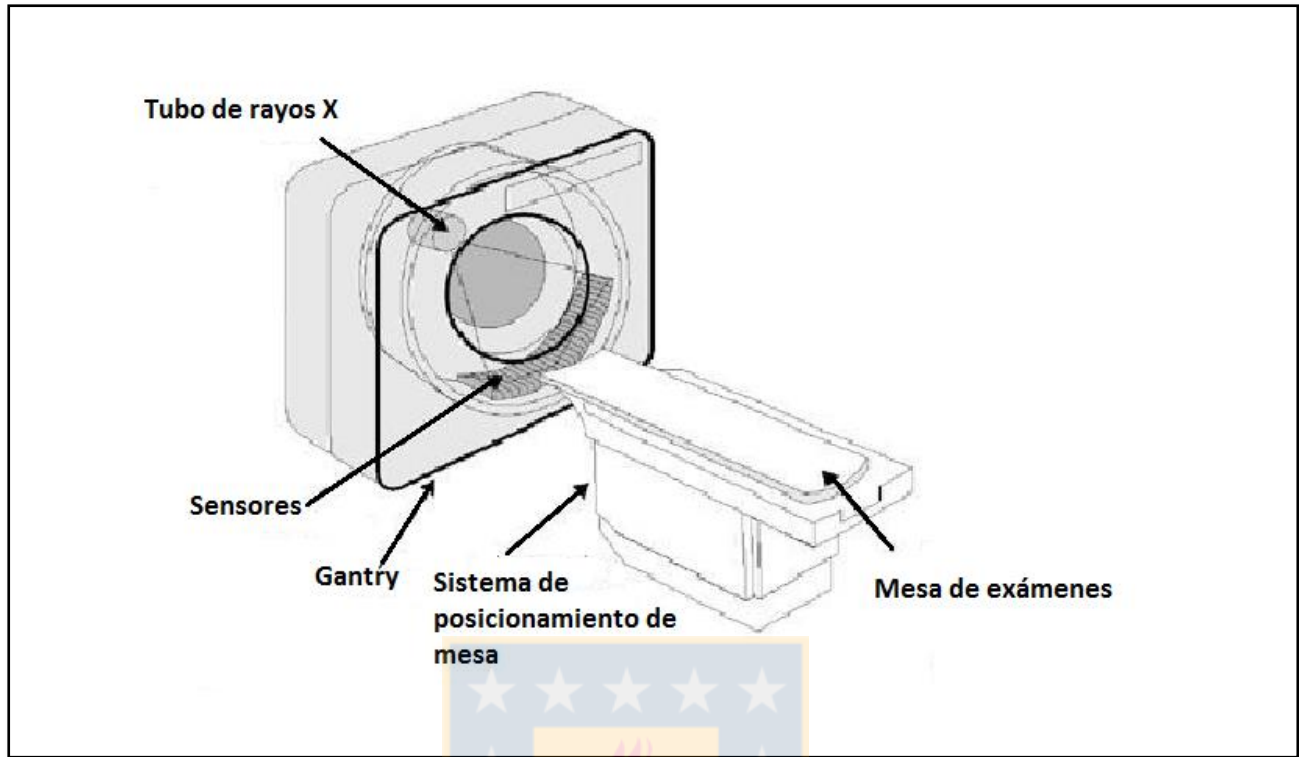


Fig. 5.2 Funcionamiento de un tomógrafo computarizado [23].

Los tomógrafos computarizados están compuestos de tres grandes módulos: gantry, computador y consola.

El **Gantry** es el lugar físico donde se introduce al paciente para la ejecución del examen. Tal como muestra la Fig. 5.3 el Gantry almacena el tubo de rayos X, los detectores, el DAS y todo el conjunto mecánico necesario para realizar el movimiento asociado con la exploración.

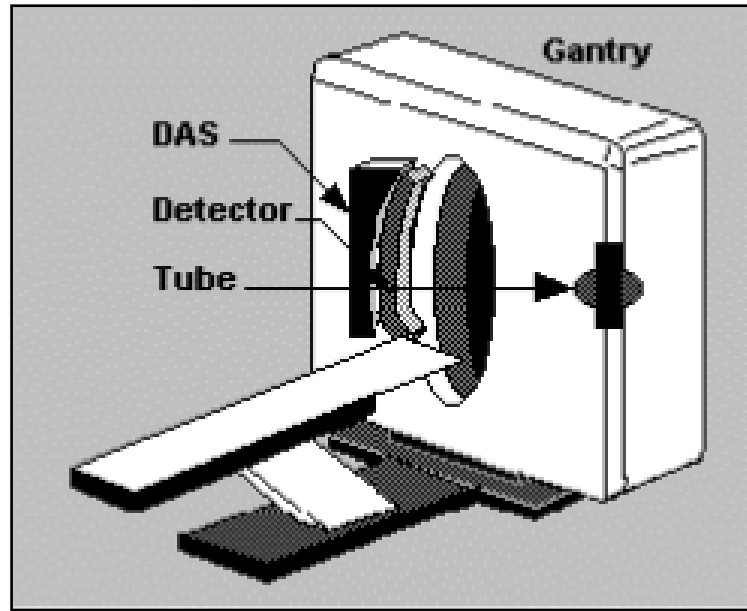


Fig. 5.3 Componentes de un tomógrafo computarizado [23].

A continuación se definen los componentes de un tomógrafo computarizado.

- Tubo de Rayos X: es donde se generan los rayos X, en un recipiente de vidrio al vacío que posee una cubierta de plomo con una pequeña ventana que permite la salida de la radiación al exterior. Esta radiación ionizante que se utiliza en radiodiagnóstico se produce mediante la aceleración de electrones, es decir, el cátodo libera los electrones con mucha energía y, donde posteriormente son frenados bruscamente, colisionando contra el ánodo y su energía se convierte en fotones Fig. 5.4 Cabe mencionar la importancia del tubo de rayos X, debido a que es la principal causa de avería en los tomógrafos, limitando la frecuencia secuencial de imágenes.
- Detectores: tiene como objetivo recoger la información sobre la intensidad de rayo que llega a cada punto tras atravesar el cuerpo, traduciendo estos impulso y luego los envía al computador, procesándolos e integrándolos en una imagen.
- Colimador: regula el tamaño y la forma del haz de rayos. Este elemento permite variar el ancho del corte tomográfico, pudiendo variar de 1 a 10 mm de espesor.
- DAS (Data Acquisition System): muestrea la señal eléctrica y realiza la conversión analógica-digital, para que la computadora procese y digitalice los datos provenientes de los detectores.
- Generador de alto voltaje: se encarga de alimentar el tubo de rayos X.

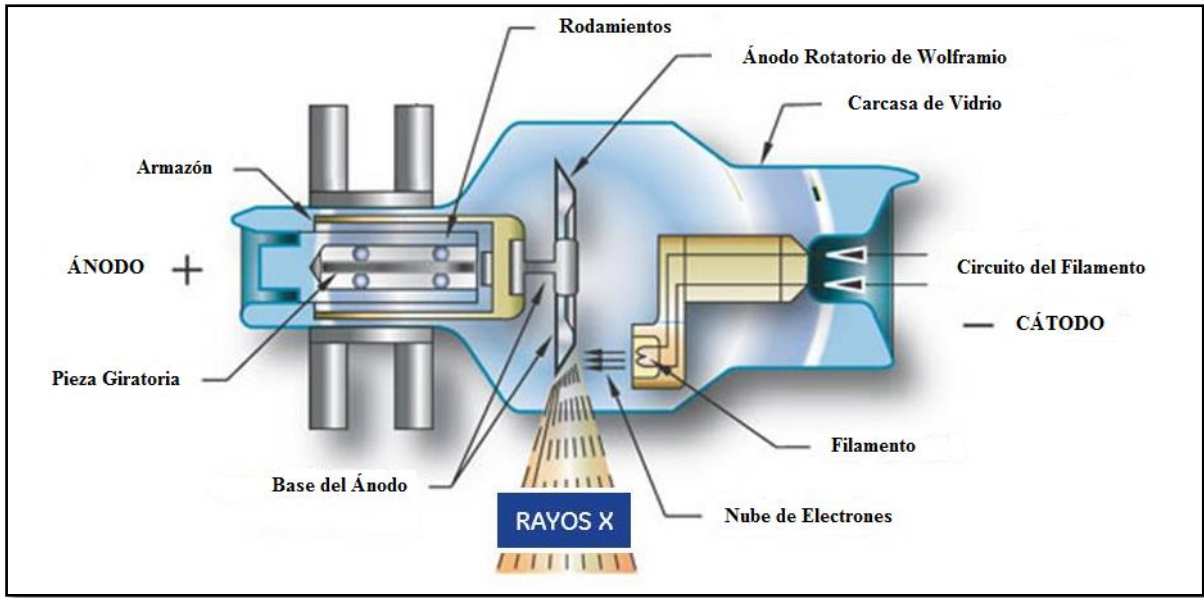


Fig. 5.4 Generación rayos X [23].

El **computador**: se encarga del funcionamiento total del equipo, mediante el procesamiento, almacenamiento y control de las imágenes reconstruidas y de los datos primarios utilizando un software de aplicación. Acá todos los datos son procesados con el fin de representar varias vistas tridimensionales del órgano o región es estudio.

La **consola**: es el interfaz con el usuario, donde se encuentra el monitor donde el operador observa las imágenes, un teclado para controlar la operación del equipo y una CPU [23].

En las Fig. 5.5 y Fig. 5.6 se puede ver los componentes de un tomógrafo computarizado.

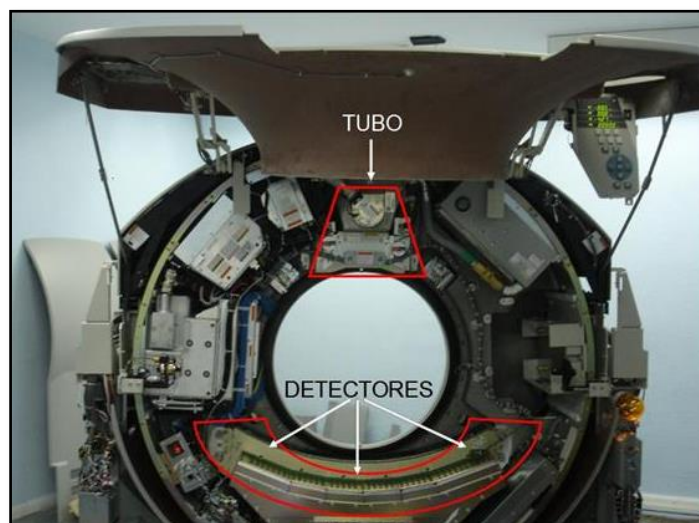


Fig. 5.5 Parte interna de un Gantry.

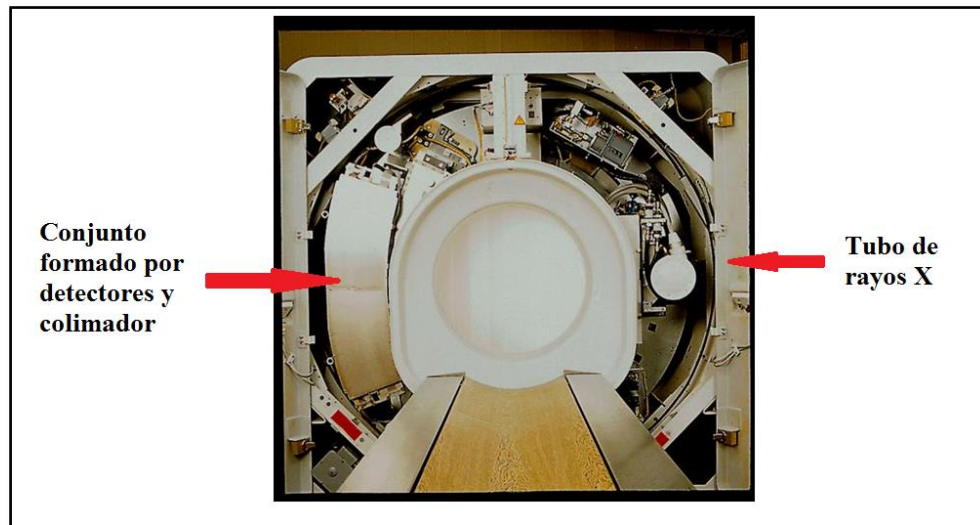


Fig. 5.6 Vista interior de un equipo CT en el que giran tanto el tubo de rayos X como los detectores.

Dentro de las cualidades de un CT está proporcionar un gran detalle anatómico, comprendiendo un gran rango dinámico que abarca hasta el tejido pulmonar óseo, pero no tiene la facultad de distinguir entre una enfermedad maligna y una benigna.

A.2.3 Tomografía por Emisión de Positrones

Es una técnica de diagnóstico clínico no invasivo que entrega una imagen del metabolismo celular. Para obtener dichas imágenes se requiere el uso de fármacos marcados con emisores de positrones. Estos radiofármacos, ingresan al cuerpo vía intravenosa, distribuyéndose por el torrente sanguíneo, y dependiendo del radiofármaco éste se acumulará en ciertas zonas del cuerpo donde sea más afín, para posteriormente ser reconocido por una cámara detectora de radiación gamma.

La formación de estos positrones se logra gracias a la desintegración radiactiva del núcleo, para alcanzar la estabilidad nuclear, debido a que tiene un número excesivo de protones. Tras sucesivas colisiones, el positrón (electrón cargado positivamente) que es emitido desde el núcleo, va perdiendo energía mientras viaja una corta distancia hasta que está prácticamente en reposo, y es ahí donde interactúa con un electrón orbital, aniquilándose mutuamente y posterior a esto, la masa tanto del electrón como la del positrón, se convierten en energía en forma de rayos gamma, cada uno de 511 keV, y viajan en direcciones opuestas (a 180°). Estos dos fotones podrán salir del cuerpo para inmediatamente ser detectados en el exterior por una Gamma cámara. Tal como se aprecia en la Fig. 5.7.

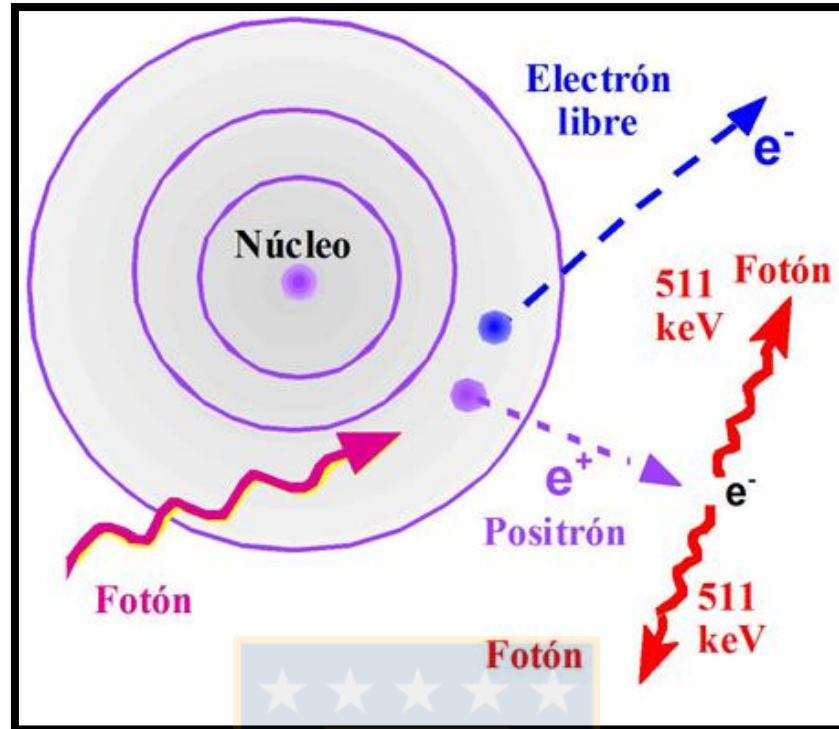


Fig. 5.7 Proceso de aniquilación de un positrón y un electrón con la consiguiente formación de dos fotones opuestos de 511keV [15].

Los radionúclidos emisores de positrones que tienen aplicación clínica, poseen una vida media relativamente corta del orden de minutos o unas pocas horas. El más utilizado es el Fluor-18, ya que su periodo de desintegración es de aproximadamente 110 minutos, muy por encima del resto. Ver Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Radionúclidos más utilizados en PET

Radionúclido	Periodo de desintegración (min)	Energía máxima de positrones (MeV)	Trazador	Aplicación
11C	20,4	0,96	Metionina	Síntesis de proteínas en el tumor
13N	9,96	1,19	Amoníaco	Flujo sanguíneo en el miocardio
15 ^o	2,07	1,72	Agua	Flujo sanguíneo en el cerebro
18F	109,8	0,64	FDG	Metabolismo de la glucosa

Metabolismo FDG

El FDG es el trazador PET más utilizado, para su funcionamiento utiliza glucosa que es captada con avidez por la mayoría de los tumores, en la Fig. 5.8 se puede ver en su forma molecular.

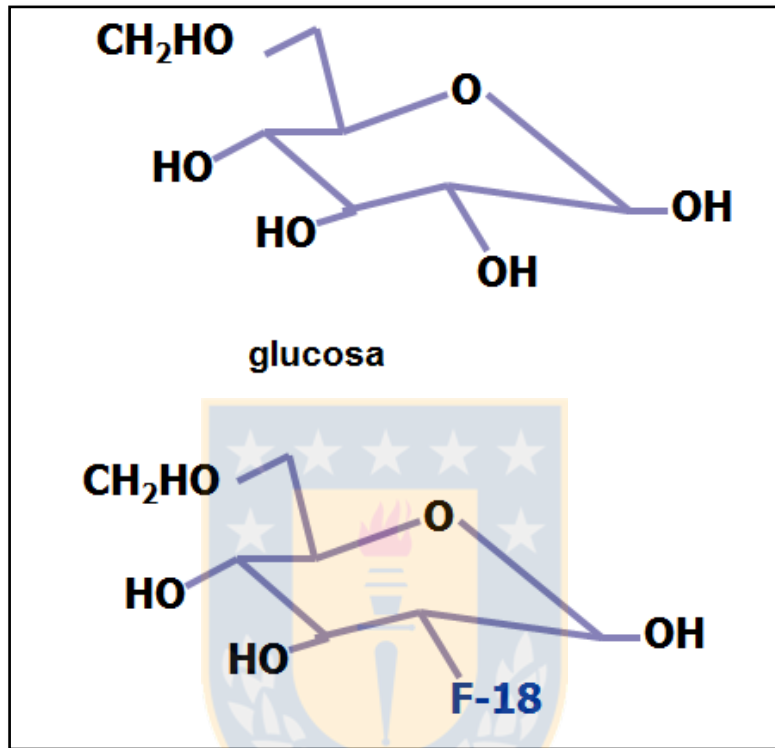


Fig. 5.8 2-deoxy-2-(F-18) fluoro-D-glucosa [1].

Este trazador es un análogo de la glucosa y su nombre completo es 2-fluoro-2-desoxi-D-glucosa. El flúor de la molécula es seleccionado y pasa a transformarse en flúor-18 (mediante un ciclotrón), que es un isótopo radiactivo emisor de positrones, lo que finalmente queda convertido en ¹⁸F-FDG, siendo el radiofármaco más utilizado. Este marcador metabólico ingresa a las células, a través de los receptores de membrana, sigue la misma vía metabólica de la glucosa y es fosforilada por la hexoquinasa, en presencia de la glucosa 6- fosfatasa, convirtiéndola en 18F-FDG-6 fosfato, pero a partir de este punto no continúa esta vía y es acumulada intracelularmente con mayor concentración en las células tumorales. Esta diferencia de concentraciones dada por el mayor consumo de glucosa y menor cantidad de glucosa 6-fosfatasa son la base del diagnóstico. Ver Fig. 5.9.

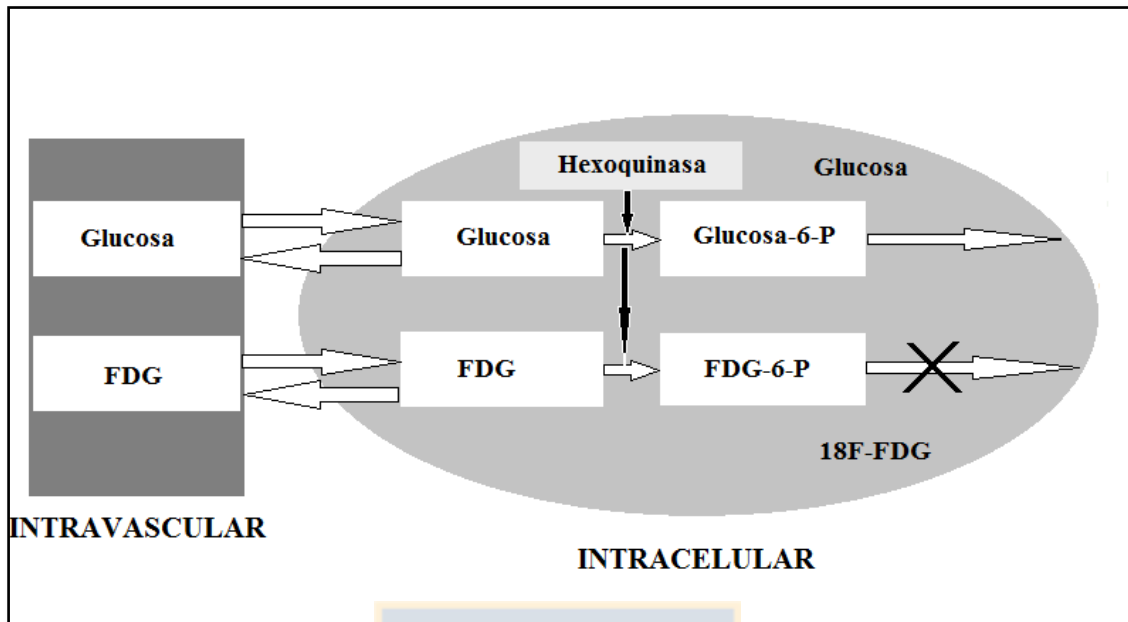


Fig. 5.9 Metabolismo de FDG [1].



Anexo B: Ciclotrón

Los radionúclidos que emiten positrones de los que se habló anteriormente, se producen mediante un ciclotrón. Este es un acelerador de partículas que fue inventado y patentado por Ernest Lawrence de la Universidad de California, pero fue operado por primera vez en el año 1932, con ayuda de Stanley Livingston quien tuvo la misión de traducir la idea en hardware de trabajo. Por este aporte a la ciencia, Lawrence fue galardonado con el Premio Nobel de Física en el año 1939 por la invención y desarrollo del ciclotrón.

A modo general, el ciclotrón es el encargado de la producción del radiofármaco, que sirve de compuesto de contraste, que se inyecta al paciente de una manera no invasiva. Una vez sintetizado el compuesto pasa a una sala de distribución donde se une con el radioactivo, consiguiendo finalmente crear el radiofármaco. A continuación, se extrae una muestra, la cual pasa por un exhaustivo proceso de verificación de calidad, el cual consta de varias etapas, garantizando así que este fármaco cumpla con los estándares exigidos.

Cabe mencionar que la síntesis de los radiofármacos tiene su mayor uso y aplicación en el área oncológica, muy por encima de las ramas de la neurología y la cardiológica, Fig. 5.10.

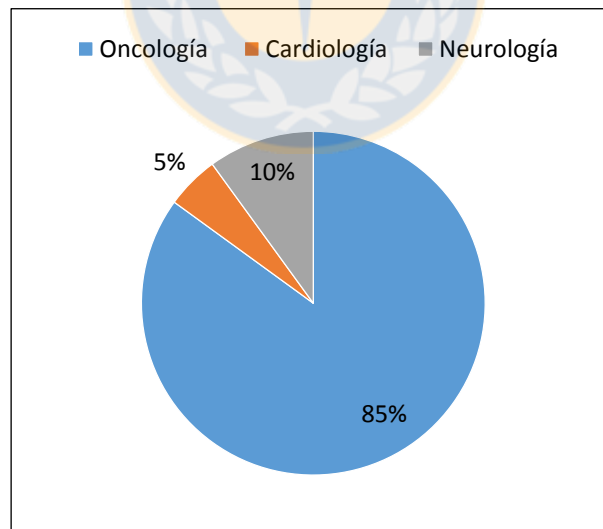


Fig. 5.10 Porcentajes de las aplicaciones de un PET/CT [9].

B.1 Parte interna de un ciclotrón y su funcionamiento

El ciclotrón es un tipo de acelerador de partículas cargadas que combina la acción de un campo eléctrico alterno, que les proporciona sucesivos impulsos, con un campo magnético uniforme que curva su trayectoria y las redirige una y otra vez hacia el campo eléctrico [15].

Es básicamente una cámara de alto vacío. Contiene un electro magneto, que genera constantemente un campo magnético que actúa de forma uniforme y perpendicular, generado por un potente electroimán. Dentro del campo magnético se encuentran dos placas metálicas semicirculares huecas, D1 y D2, (se les llama “des”, D, a causa de su forma), como se puede observar en la Fig. 5.11.

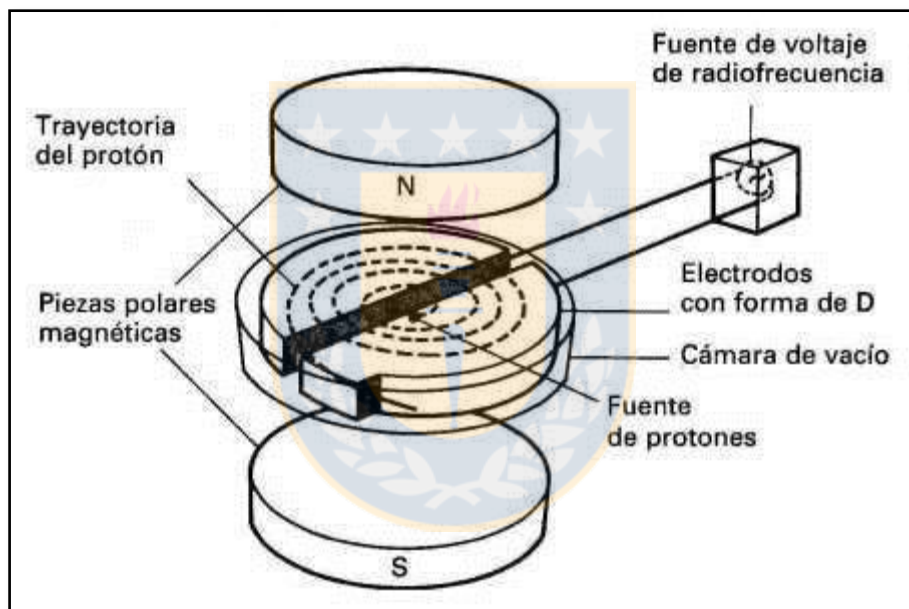


Fig. 5.11 Estructura interna de un ciclotrón [28].

Ambas placas están conectadas a una fuente de corriente alterna, que va cambiando la polaridad del campo eléctrico periódicamente.

Cerca del centro del campo magnético, existe una fuente de iones, donde las partículas cargadas se inyectan al ciclotrón inicialmente a una velocidad moderada. La fuerza magnética les proporciona una aceleración normal y, por lo tanto, tienen un movimiento circular por una de las “des”. Cuando un protón está en el centro del ciclotrón, se verá atraído hacia la placa negativa, por los principios de atracción de cargas, cuando el protón entra en la placa “D1”, se ve afectado por el campo magnético, éste se moverá de manera circular, tan pronto cuando sale el protón de la placa y

entra al espacio entre estas, las placas cambian su polaridad, donde “D2” cambia de positivo a negativo, atrayendo a la partícula. Cuando la partícula entra en “D2” el campo magnético, por lo que el protón comenzará a moverse con un patrón circular, pero esta vez como se aceleró al entrar, el radio del patrón circular será mayor. Nuevamente, al salir de “D2” la polaridad nuevamente se revierte y “D1” cambia a negativo, por lo tanto, la partícula se ve atraída y se acelera hacia ella, esto aumenta aún más la energía de la partícula. Cuando entra a “D1” el campo magnético comenzará a moverse con un patrón circular, pero esta vez el radio será aún mayor. Este ciclo continúa y la partícula sigue moviéndose en espiral. Como se puede apreciar la Fig. 5.12.

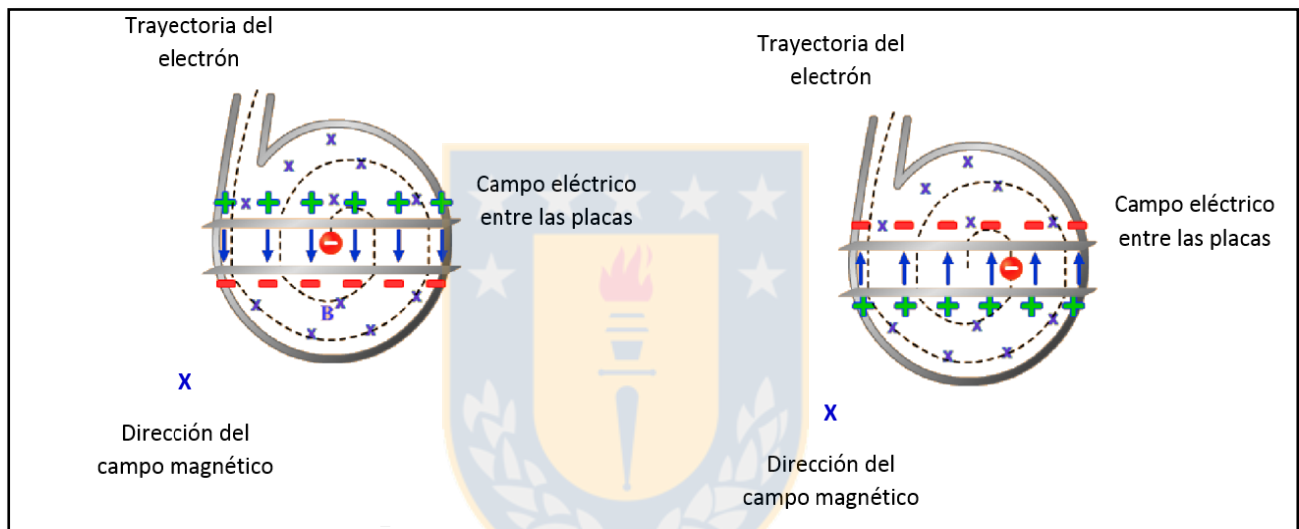


Fig. 5.12 Trayectoria del electrón [15].

Para mantener este movimiento, las polaridades “des” deben ser invertidas en un intervalo de tiempo de $T/2$, donde T es el periodo de giro de la partícula,

$$T = \frac{1}{\nu_c} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (2.1)$$

Donde m = masa, q =carga y B =campo magnético.

Una vez que las partículas se aceleran a una velocidad necesaria, son separadas o desviadas utilizando un campo magnético, luego dejan el sistema por una rendija de salida en el ciclotrón. Esta partícula acelerada, puede ser utilizada para bombardear otros átomos sólidos o moléculas que sean necesarias.

Se tiene que, velocidad:

$$v = \frac{qBR}{m} \quad (2.2)$$

Donde R, es el radio que describe la trayectoria de la partícula al salir del ciclotrón. Este radio es igual al radio dentro de las “des”.

La energía de la partícula es:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m} \quad (2.3)$$

Un hecho importante, es que el tiempo de giro de una revolución es independiente de la velocidad, el radio o la órbita de la partícula, ver Fig. 5.13.

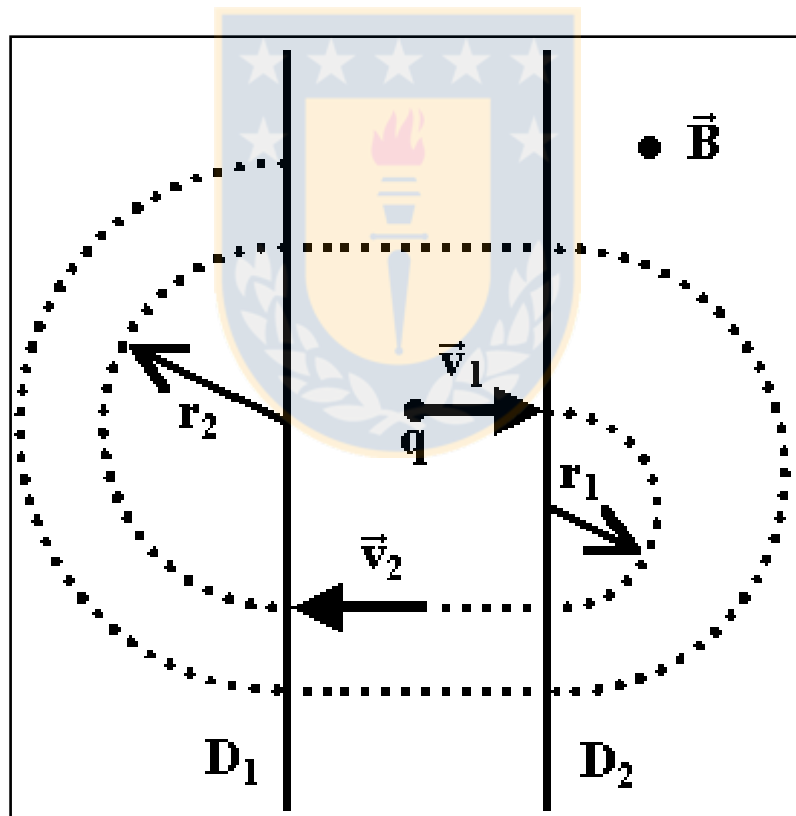


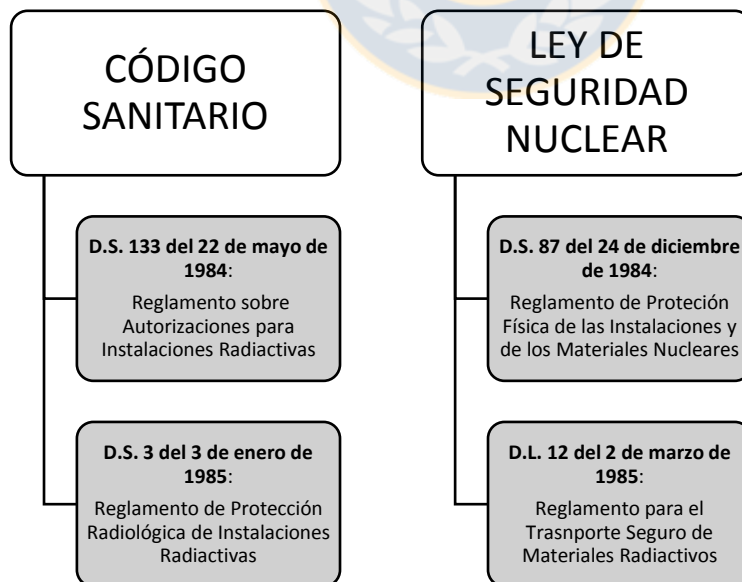
Fig. 5.13 Movimiento de una partícula dentro de un ciclotrón [27].

Anexo C: Normativas



C.1 Marco Legal

Las competencias del sector salud según el marco legal cuenta con un código sanitario (1968) y la ley de seguridad nuclear (1984), que corresponden a las autoridades regulatorias [24] [25].



C.1.1 Leyes

Ley N.º 18.302/84 del Min. Minería “Ley de Seguridad Nuclear”

- Establece el marco jurídico para el desarrollo de actividades nucleares nacionales y otorga a la Comisión Chilena de Energía Nuclear el carácter de organismo regulador fiscalizador

Ley N.º 18.730/88 del Min. Minería “Modifica Ley N.º 18.302/84, en Art. 67”

- Definiendo como encargado de dictar las normas referentes a las Instalaciones Radiaciones a la Comisión Chilena de Energía Nuclear y como autoridad competente en las instalaciones de 1º categoría.
- Otorga las competencias a los Servicios de Salud sobre las Instalaciones de 2.^a y 3.^a categoría, en cuanto a autorizaciones y control.

Ley N.º 16.744 (D.O 01.02.68)

Art.65

- Corresponde al Servicio Nacional de Salud la competencia general en materia de supervigilancia y fiscalización de la prevención, higiene y seguridad de todos los sitios de trabajo, cualesquiera que sean las actividades que en ellas se realicen.
- La competencia a que se refiere in inciso anterior lo tendrá el Servicio Nacional de Salud incluso respecto de aquellas empresas del Estado que, por aplicación de sus leyes orgánicas que las rigen, se encuentran actualmente exentas de este control.
- [a partir del 1º de Enero del 2005 dicha competencia recae en los SEREMI DE SALUD].

C.1.2 Reglamentos

D.S. N° 133 del Min. Salud del 22/05/84

- Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.

D.S. N° 87 del Min. Minería del 24/12/84

- Reglamento de protección física de las instalaciones y de los materiales nucleares.

D.S. N° 3 del Min. Salud del 31/01/85

- Aprueba reglamento de protección radiológica de instalaciones radiactivas.

D.S. N° 12 del Min. Minería del 02/03/85

- Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos.

D.S. N° 594 del Min. Salud del 15/09/99

(Modificado por el D.S. 201 del 27.04.01, publicado D.O. 05.07.01)

- Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

Título IV: De la contaminación ambiental

Art. 110°.- Los límites de dosis individual para las personas ocupacionalmente expuestas a radiaciones ionizantes son aquellos que determina el reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radioactivas o el que lo reemplace en el futuro.

C.1.3 Decretos Fuerza de Ley

D.F.L N° 725/67 (D.O. 31.01.68)

Código Sanitario. Art. 86° “Competencia de los Servicios de Salud” para:

- Autoriza todo lo relacionado con sustancias radiactivas.
- Autoriza instalaciones radiactivas (IR).
- Controlar IR y Equipos Generadores de Radiación Ionizante (EGRI).
- Prevenir los riesgos derivados del uso y aplicación de las sustancias radiactivas y de las radiaciones ionizantes, respecto de las personas expuestas, del elemento que las genera y del medio ambiente.
- Autorizar a las personas que se desempeñan en las IR, utilizando o manipulando sustancias radiactivas u opere EGRI

D.F.L. N° 1/89 (D.O. 21.02.90)

- Determina materias que requieren autorización sanitaria expresa (Art. 1.º)
 - ❖ 36.- Operación instalaciones radiactivas 2.ª y 3.ª categoría.
 - 37.- Cierre temporal o definitivo de instalaciones radiactivas 2.ª categoría.
 - 38.- Operación equipos generadores radiaciones ionizantes móviles.
 - 39.- Personas que se desempeñan en instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes.
 - 40.- Importación, exportación, venta, distribución, almacenamiento y abandono o desecho de sustancias radiactivas.

C.1.4 Decreto Supremo

D.S. N° 133/84 (D.O. 23/08/84)

Ministerio de Salud

Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.

D.S. N° 3/85 (D.O. 25/04/85)

Ministerio de Salud

Aprueba reglamento de protección radiológica de instalaciones radiactivas.



Anexo D: Tablas Evaluación Económica.

D.1 Evaluación económica región metropolitana.

Tabla 5.2 Consumo eléctrico anual para aire acondicionado.

Costos anual por consumo de electricidad por A/C				
	Requerimiento [BTU/h]	Capacidad A/C	Consumo A/C [kWh/anual]	Costo por consumo eléctrico
Sala Control	26.778	27.000	5335,2	\$ 266.760
Sala Examen	51.473	60.000	9547,2	\$ 477.360
TOTAL				\$ 744.120

Tabla 5.3 Valores referentes al PET/CT.

Valores	
exámenes CT	4680
exámenes PET/CT	1048
valor examen CT	\$ 75.000
valor examen PET/CT	\$ 517.360
depreciación (años)	10
Valor equipo	\$ 725.550.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Costo variable PET/CT	\$ 252.801
Costo variable CT	\$ 19.423
Tasa de descuento	10%

D.1 Evaluación económica región del Biob

D.2 Equipo PET/CT nuevo, mantención full.

Tabla 5.4 Costos de inversión equipo PET/CT nuevo, mantención full.

COSTOS DE INVERSIÓN	
Equipamiento	
Equipo	\$ 725.400.000
Impresora	\$ 150.000
Total	\$ 725.550.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Instalación	
Equipo	\$ 49.400.000
A/C	\$ 2.360.000
Total	\$ 51.760.000
Capital de trabajo	\$ 10.200.000
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.463.510.000

Tabla 5.5 Costos fijos equipo PET/CT nuevo, mantención full.

COSTOS FIJOS	
Personal	
Tecnólogos (2)	\$ 38.400.000
Técnico auxiliar	\$ 5.400.000
Secretaria	\$ 5.400.000
Físico Nuclear	\$ 12.000.000
Total	\$ 61.200.000
Consumos básicos	
Electricidad	\$ 5.848.793
Mantención A/C	\$ 120.400
Total	\$ 5.969.193
TOTAL COSTOS	\$ 67.169.193

Tabla 5.6 Costos variables equipo PET/CT nuevo, mantención full.

COSTOS VARIABLES			
ÍTEM	Porcentaje	Valor	Resultado
Insumos PET-CT			
Radiofármaco	100%	\$ 175.000	\$ 175.000
Transporte	100%	\$ 50.000	\$ 50.000
CD	100%	\$ 120	\$ 120
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante PET/CT	15%	\$ 517.360	\$ 77.604
TOTAL			\$ 302.801
Insumos CT			
Medio de contraste	80%	\$ 10.120	\$ 8.096
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante CT	15%	\$ 75.000	\$ 11.250
TOTAL			\$ 19.423

D.3 Equipo PET/CT nuevo, mantención básica

Tabla 5.7 Costos de inversión equipo PET/CT nuevo, mantención básica.

COSTOS DE INVERSIÓN	
Equipamiento	
Equipo	\$ 725.400.000
Impresora	\$ 150.000
Total	\$ 725.550.000
Infraestructura	
Instalación	
Equipo	\$ 49.400.000
A/C	\$ 2.360.000
Total	\$ 51.760.000
Capital de trabajo	\$ 10.200.000
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.463.510.000

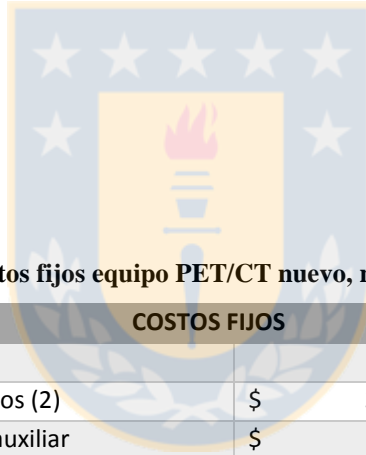


Tabla 5.8 Costos fijos equipo PET/CT nuevo, mantención básica.

COSTOS FIJOS	
Personal	
Tecnólogos (2)	\$ 38.400.000
Técnico auxiliar	\$ 5.400.000
Secretaria	\$ 5.400.000
Físico Nuclear	\$ 12.000.000
Total	\$ 61.200.000
Consumos básicos	
Electricidad	\$ 5.848.793
Mantención A/C	\$ 120.400
Total	\$ 5.969.193
TOTAL	\$ 67.169.193

Tabla 5.9 Costos variables equipo PET/CT nuevo, mantención básica.

COSTOS VARIABLES			
ÍTEM	Porcentaje	Valor	Resultado
Insumos PET-CT			
Radiofármaco	100%	\$ 175.000	\$ 175.000
Transporte	100%	\$ 50.000	\$ 50.000
CD	100%	\$ 120	\$ 120
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante PET/CT	15%	\$ 517.360	\$ 77.604
TOTAL			\$ 302.801
Insumos CT			
Medio de contraste	80%	\$ 10.120	\$ 8.096
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante CT	15%	\$ 75.000	\$ 11.250
TOTAL			\$ 19.423

D.4 Equipo PET/CT reacondicionado, mantención full

Tabla 5.10 Costos de inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.

COSTSO DE INVERSIÓN	
Equipamiento	
Equipo	\$ 520.000.000
Impresora	\$ 150.000
Total	\$ 520.150.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Instalación	
Equipo	\$ 49.400.000
A/C	\$ 2.360.000
Total	\$ 51.760.000
Capital de trabajo	\$ 10.200.000
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.258.110.000

Tabla 5.11 Costos fijos equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.

COSTOS FIJOS	
Personal	
Tecnólogos (2)	\$ 38.400.000
Técnico auxiliar	\$ 5.400.000
Secretaria	\$ 5.400.000
Físico Nuclear	\$ 12.000.000
Total	\$ 61.200.000
Consumos básicos	
Electricidad	\$ 5.848.793
Mantención A/C	\$ 120.400
Total	\$ 5.969.193
TOTAL	\$ 67.169.93

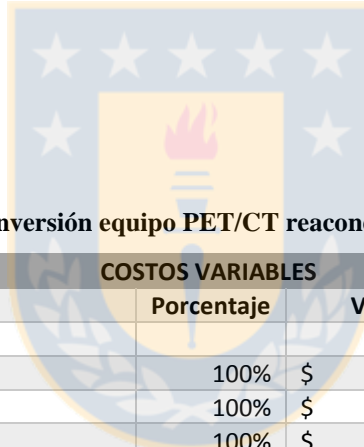


Tabla 5.12 Costos de inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención full.

COSTOS VARIABLES			
ÍTEM	Porcentaje	Valor	Resultado
Insumos PET-CT			
Radiofármaco	100%	\$ 175.000	\$ 175.000
Transporte	100%	\$ 50.000	\$ 50.000
CD	100%	\$ 120	\$ 120
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante PET/CT	15%	\$ 517.360	\$ 77.604
TOTAL			\$ 302.801
Insumos CT			
Medio de contraste	80%	\$ 10.120	\$ 8.096
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante CT	15%	\$ 75.000	\$ 11.250
TOTAL			\$ 19.423

D.5 Equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica

Tabla 5.13 Costos de Inversión equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.

COSTOS DE INVERSIÓN	
Equipamiento	
Equipo	\$ 520.000.000
Impresora	\$ 150.000
Total	\$ 520.150.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Infraestructura	\$ 676.000.000
Instalación	
Equipo	\$ 49.400.000
A/C	\$ 2.360.000
Total	\$ 51.760.000
Capital de trabajo	\$ 10.000.000
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.258.110.000



Tabla 5.14 Costos fijos equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.

COSTOS FIJOS	
Personal	
Tecnólogos (2)	\$ 38.400.000
Técnico auxiliar	\$ 5.400.000
Secretaria	\$ 5.400.000
Físico Nuclear	\$ 12.000.000
Total	\$ 61.200.000
Consumos básicos	
Electricidad	\$ 5.848.793
Mantención A/C	\$ 120.400
Total	\$ 5.969.193
TOTAL	\$ 67.169.193

Tabla 5.15 Costos variables equipo PET/CT reacondicionado, mantención básica.

COSTOS VARIABLES			
ÍTEM	Porcentaje	Valor	Resultado
Insumos PET-CT			
Radiofármaco	100%	\$ 175.000	\$ 175.000
Transporte	100%	\$ 50.000	\$ 50.000
CD	100%	\$ 120	\$ 120
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante PET/CT	15%	\$ 517.360	\$ 77.604
TOTAL			\$ 302.801
Insumos CT			
Medio de contraste	80%	\$ 10.120	\$ 8.096
Papel	100%	\$ 77	\$ 77
Médico informante CT	15%	\$ 75.000	\$ 11.250
TOTAL			\$ 19.423



Tabla 5.19 Flujo de caja - Concepción (Equipo nuevo - Mantenimiento Básico)

ítem	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Ingresos		\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800
PET/CT		\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800
CT		\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000
Total Costos (V + F + M)		\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251
Costos Variables (V)		\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058
Examen PET/CT		\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014
Examen CT		\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044
Costos Fijos (F)		\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193
Mantenimiento (M)		\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000
Depreciación		\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000	\$ 72.540.000
U.A.Impuesto		\$ 240.945.549	\$ 240.945.549	\$ 225.345.549	\$ 240.945.549	\$ 240.945.549	\$ 225.345.549	\$ 240.945.549	\$ 240.945.549	\$ 225.345.549	\$ 240.945.549
Impuestos (20%)		\$ 48.189.110	\$ 48.189.110	\$ 45.069.110	\$ 48.189.110	\$ 48.189.110	\$ 45.069.110	\$ 48.189.110	\$ 48.189.110	\$ 45.069.110	\$ 48.189.110
Inversión Total	\$ 1.463.510.000										
Flujo de caja	-\$ 1.463.510.000	\$ 192.756.439	\$ 192.756.439	\$ 180.276.439	\$ 192.756.439	\$ 192.756.439	\$ 180.276.439	\$ 192.756.439	\$ 192.756.439	\$ 180.276.439	\$ 192.756.439

Tabla 5.20 Flujo de caja - Concepción (Equipo Reacondicionado - Mantenimiento Básico)

ítem	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Ingresos		\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800	\$ 754.540.800
PET/CT		\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800	\$ 403.540.800
CT		\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000	\$ 351.000.000
Total Costos (V + F + M)		\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251	\$ 441.055.251	\$ 456.655.251	\$ 441.055.251
Costos Variables (V)		\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058	\$ 327.086.058
Examen PET/CT		\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014	\$ 236.185.014
Examen CT		\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044	\$ 90.901.044
Costos Fijos (F)		\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193	\$ 67.169.193
Mantenimiento (M)		\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000	\$ 46.800.000	\$ 62.400.000	\$ 46.800.000
Depreciación		\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000
U.A.Impuesto		\$ 261.485.549	\$ 261.485.549	\$ 245.885.549	\$ 261.485.549	\$ 261.485.549	\$ 245.885.549	\$ 261.485.549	\$ 261.485.549	\$ 245.885.549	\$ 261.485.549
Impuestos (20%)		\$ 52.297.110	\$ 52.297.110	\$ 49.177.110	\$ 52.297.110	\$ 52.297.110	\$ 49.177.110	\$ 52.297.110	\$ 52.297.110	\$ 49.177.110	\$ 52.297.110
Inversión Total	\$ 1.258.110.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja	-\$ 1.258.110.000	\$ 209.188.439	\$ 209.188.439	\$ 196.708.439	\$ 209.188.439	\$ 209.188.439	\$ 196.708.439	\$ 209.188.439	\$ 209.188.439	\$ 196.708.439	\$ 209.188.439

6. Bibliografía

- [1] OMS, Health Data (2014) "Organización Mundial de la Salud", febrero 2014. Recuperado desde <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/> [Último acceso: 26 agosto 2014].
- [2] Clínica Dávila, "Clínica Dávila" Rescatado desde: <http://www.davila.cl/pet-ct> [Último acceso: 28 agosto 2014].
- [3] OECD, "Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico" Rescatado desde: www.oecd.org/chile/ [Último acceso: 28 agosto 2014].
- [4] Instituto Nacional de Estadísticas, "INE Chile" Recuperado desde: <http://www.ine.cl/> [Último acceso: 28 agosto 2014].
- [5] Laura Intriago et al. "Cáncer en Chile y el Mundo: Una mirada epidemiológica, presente y futura" Revista Médica Clínica Las Condes, vol. 24, n° 4, pp. 531-551, 2013.
- [6] Banco Mundial, "Informe Sobre El Desarrollo Mundial, Invertir en Salud" Washington, 1993.
- [7] Nora Díaz S et al. "Primer Informe de Registros Poblacionales de Cáncer en Chile", Unidad de Estudios y Vigilancia de Enfermedades No Transmisibles. Ministerio de Salud, Gobierno de Chile. Santiago, 2012.
- [8] Dra. Tania Alfaro, "Reporte de Vigilancia de Enfermedades no Transmisibles (ENT) " Santiago, 2011.
- [9] I. Hervás y J. Martí, "La Tomografía de emisión de positrones (PET) y la PET/TAC. Dos apuestas seguras para un futuro próximo" Informática y Salud, n° 45, pp. 74-85, 2004.
- [10] Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Santiago de Chile, "El Mercado del Equipamiento Médico Hospitalario en Chile" Santiago, 2012.
- [11] N. Sapag Chain y R. Sapag Chain, "Preparación y Evaluación de Proyectos", Santiago: McGraw Hill, 2000.
- [12] Servicio de Impuestos Internos, Rescatado desde: <http://www.sii.cl/> [Último acceso: 29 agosto 2014].
- [13] Organización Panamericana de Salud., "Guía de Gestión e incorporación de nueva tecnología" Ciencias Médicas, La habana, 2009.
- [14] Philips S.A División de Sistemas Médicos, "System Requirements PET/CT" Ámsterdam, 2013.

- [15] OIEA, Organismo Internacional de Energía Atómica, "Protección Radiológica en PET/CT".
- [16] José Puértolas, "Cálculos de Blindaje en Instalaciones Radiactivas Sanitarias" Barcelona, 2010.
- [17] René Prado, «Blindaje Radiológico Sala Caliente,» Santiago, 2012.
- [18] General Electric S.A División de Equipos Médicos, "Manual de Pre instalación" 2012.
- [19] General Electric S.A División de Equipos Médicos, "Data Sheet PET/CT" 2012.
- [20] Sociedad Europea de Radiología, "La Historia de la Radiografía" Vienna, 2012.
- [21] José Luis Carreras, "La Aportación de la Tecnología Sanitaria" *La Innovación en Diagnóstico por imagen*, Madrid, 2009.
- [22] Michael Chen, Radiología Básica, Carolina del Norte: Mcgraw-hill - Interamericana de España, 2006.
- [23] Diego Corbo P. "Tomografía Axial Computada" Montevideo, 2004.
- [24] Ministerio de Hacienda, "Legislación Chilena". Gobierno de Chile, Santiago.
- [25] Gobierno de Chile, "Aspectos Regulatorios en el Control y Fiscalización de Instalaciones Radiactivas de Segunda y Tercera Categoría" Santiago.
- [26] Carolina Navarrete G. "Requerimientos de preinstalación en obra para equipos médicos de alta complejidad como apoyo a los procesos de diseño, planificación, monitoreo y construcción hospitalaria". Ministerio de Salud, Santiago.
- [26] Carolina Navarrete G. "Requerimientos de preinstalación en obra para equipos médicos de alta complejidad como apoyo a los procesos de diseño, planificación, monitoreo y construcción hospitalaria". Ministerio de Salud, Santiago.
- [27] Comisión Chilena de Energía Nuclear, "Ciclotrón PET" Gobierno de Chile, Santiago.
- [28] Universidad de Chile, Ciencias Químicas y Farmacia, "Radiactividad ". Recuperado desde http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/ap-fisquim-farm2/c3.1.html [Último acceso: 15 agosto 2015].