



Consideraciones para el diseño de un Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica para la Escuela de Física de la UNAH

Considerations for the design of a Dosimetric Calibration Secondary Laboratory for the UNAH School of Physics

J. FLORES¹

Recibido: 12 de junio de 2021 / Aceptado: 5 de noviembre de 2021

¹Departamento de Gravitación, Altas Energías y Radiaciones, Escuela de Física, Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
jeflores@unah.edu.hn

RESUMEN

La función primordial de un Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD o SSDL por sus siglas en inglés) es proporcionar un servicio de metrología específica para la medición de distintos parámetros vinculados a la radiación ionizante, a través del establecimiento medidas patrón, mediante mecanismo formales y técnicamente trazables, a valores reconocidos y aceptados como reales y exactos. En Honduras el uso de las radiaciones ionizantes se extiende a varias aplicaciones y en particular en el ámbito de las exposiciones médicas han aumentado en número y complejidad con la demanda de nuevos servicios de salud y la implementación de nuevas técnicas médicas. Al tratarse de actividades en las que se expone a personas a la radiación con fines médicos resulta imperativo el establecer controles y mecanismos de aseguramiento de la calidad de los haces de radiación utilizados. Dichos mecanismos de aseguramiento de la calidad requieren de servicios asociados a la metrología de las radiaciones, cuyos costes y manejo generalmente son relativamente altos y complejos respectivamente, e implican ser iniciados mediante la inversión pública. En este documento se presentan de forma resumida las consideraciones hechas para el abordaje de la planificación inicial de un LSCD en Honduras.

ABSTRACT

The primary function of a Secondary Dosimetry Calibration Laboratory (LSCD or SSDL) is to provide a specific metrology service for the measurement of different parameters related to ionizing radiation, through the establishment of standard measurements, through formal mechanisms and technically traceable, to values recognized and accepted as real and exact. In Honduras, the use of ionizing radiation extends to various applications and in particular in the field of medical exposures, they have increased in number and complexity with the demand for new health services and the implementation of new medical techniques. As these are activities in which people are exposed to radiation for medical purposes, it is imperative to establish controls and mechanisms to ensure the quality of the radiation beams used. These quality assurance mechanisms require services associated with radiation metrology, the costs and management of which are generally relatively high and complex respectively, and imply being initiated through public investment. This document summa-

* Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial 4.0 Internacional ©(i)®

* This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. ©(i)®

rizes the considerations made to approach the initial planning of a LSCD in Honduras.

PALABRAS CLAVES

Dosimetría, Radiación, Laboratorio.

KEYWORDS

Dosimetry, Radiation, Laboratory.

I | INTRODUCCIÓN

Un Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) es una infraestructura sofisticada y compleja, designada por las autoridades nacionales de cada país, para proporcionar la necesaria cohesión entre la trazabilidad y los patrones de dosimetría de radiaciones ionizantes a nivel nacional o internacional (*Secondary Standard Dosimetry Laboratories: Development and Trends*, s.f.). El soporte para la trazabilidad internacional a los LSCD está dado por los LPD del mundo y del OIEA a través del BIPM, cuyo objetivo es proveer la coherencia y robustez necesaria para la dosimetría de las medidas con las diferentes magnitudes utilizadas en el uso de las radiaciones ionizantes.

La dosimetría es importante en tres campos de aplicación: Radioterapia, preservación de alimentos y protección radiológica. En cada campo las dosis y los requisitos de precisión de la medición son distintos. En el caso de la radioterapia la rigurosidad con relación a la precisión es mucho mayor, aquí la brecha entre la precisión requerida y la mayor precisión que se puede lograr en la práctica es muy estrecha lo que es de vital importancia para un correcto desarrollo e implementación de la práctica en el país. Por otro lado, en el caso de mediciones con fines de radioprotección por lo general no se requiere una alta precisión y en caso de Honduras es el área en donde se posee más equipamiento como cámaras de ionización y detectores personales. En el caso de la radioterapia las verificaciones periódicas y calibración de los dosímetros es una condición necesaria y constante, en el caso de la radioprotección puede ser una condición prescindible. Históricamente, la dosimetría en radioterapia y la dosimetría personal se han desarrollado de forma independiente y con poca comprensión común. En materia de radioprotección y desde el punto de vista legal, se hace necesario mantener documentada toda la cadena de trazabilidad para aquellos casos en los que hacen reclamaciones por indemnización como resultado de una exposición.

Con todos los elementos técnicos citados anteriormente, la necesidad de LSCD se vuelve necesario de manera que los usuarios de instrumentación tengan la posibilidad y certeza que las lecturas y consecuencias las mediciones que realizan se hacen bajo condiciones de incertidumbre técnicamente aceptables.

II | CONTEXTO NACIONAL

En el caso de Honduras, la utilidad de un servicio de calibración dosimétrica se fundamenta en la necesidad de establecer un sistema de control de calidad en radioterapia, en actividades vinculadas a la física médica de la Teleterapia y de la radioprotección, ya que en el país a la fecha, no existen este tipo de servicios. Las necesidades de calibración dosimétrica presentadas en radioterapia se sustentan en el nivel de riesgo asociado a el uso de los haces de radiación que entregan dosis en el orden de varios

Grays y cuya calibración dosimétrica es esencial para garantizar el éxito de la técnica terapéutica a implementar. Por otro lado, en relación con el uso de los equipos generadores de radiación en el orden de los rayos X no terapéuticos, las necesidades relacionadas con la metrología de la radiación, en el caso de Honduras, están orientadas al control de calidad de imagen, que en términos de exposición del paciente y riesgo asociado, son relativamente menores a los referidos a la radioterapia con haz externo. Paralelamente, la Teleterapia como técnicas de tratamiento del cáncer en los últimos diez años ha experimentado una paulatina migración a el uso de aceleradores lineales que han ido sustituyendo lentamente a los equipos de cobaltoterapia.

En términos de control de calidad en Radioterapia los procesos periódicos de calibración de los haces de radiación, no se logran cumplimentar por parte de los usuarios, debido a las dificultades relacionadas con acceso a estos servicios de verificación de los instrumentos de medición y de los haces de radiación. La razón fundamental argumentada, es que dicho equipo de medición debe ser enviado al extranjero para la realización de dichas calibraciones. Por otro lado, existe limitado recurso humano especializado para la realización de dichas tareas por lo que en el caso de la teleterapia enfrenta la dificultad de no contar con sistemas que garanticen la calidad de los tratamientos.

A la fecha de la realización de este documento los recursos utilizados en teleterapia para la calibración de los haces de radiación, son:

1. La contratación de un experto externo al servicio para la verificación de lo haces.
2. La envió del equipo de medición al extranjero para la realización de la verificación de la calibración.
3. Y en menor medida, el intercambio de equipo de medición entre servicios de radioterapia para la calibración de los haces de radiación.

Adicionalmente, en el país las iniciativas para la creación y puesta en marcha de estos servicios a nivel público se sustentan a través de la cooperación, habiéndose identificado como potencial receptor la Universidad Nacional Autónoma de Honduras a través de la Escuela de Física.

En Honduras, se identifican actualmente siete (7) equipos de Teleterapia operando en el país (International Atomic Energy Agency, 2021 [Online]), distribuidos en cinco (5) instalaciones. Dos de ellas se encuentran en San Pedro Sula y el resto en Tegucigalpa, siendo el Hospital de Especialidades San Felipe el que cuenta con dos (2) equipos operando. En la tabla 1 se describe el número de equipamientos por instalación y su localización. Los datos han sido obtenidos del Directorio de Centros de Radioterapia (DIRAC por sus siglas en inglés) administrado y publicado por el OIEA.

III | ACTORES RELEVANTES

En el contexto de Honduras y partiendo del nivel implementación que ha alcanzado el uso de la radiación ionizante en el país, particularmente en las exposiciones médicas, es posible afirmar que las técnicas para la realización de la calibración dosimétrica no deberían ser muy complejas en términos de equipamiento y realización. Inicialmente se desea contar con capacidades para la calibración de haces de fotones a nivel de radioproteccion y posteriormente ir implementando técnicas de calibración dosimétrica a nivel de radioterapia y finalmente, si los requerimientos tecnológicos así lo requieren,

implementar la calibración dosimétrica para haces de α y neutrones.

Siguiendo esta orientación y tomando en consideración que la Escuela de Física de la UNAH ya cuenta con una relativa experiencia en el área de la dosimetría termoluminiscente, se puede afirmar que el recurso humano está familiarizado con la dosimetría de las radiaciones. Actualmente, el servicio de dosimetría externa de la UNAH cuenta con un grupo de profesionales jóvenes que ha trabajado en la mejora del servicio de dosimetría personal externa y en su ampliación, por lo que han adquirido experiencia y conocimiento de las distintas tecnologías utilizadas en el país. Para el 2021 se espera que nuevos profesionales del área de las radiaciones se unan a la escuela y puedan servir para la ampliación de mas servicios de radioproteccion y metrología de las radiaciones

Por otro lado, las iniciativas privadas para la implementación de la calibración dosimétrica no se consideran viables, primero por la cantidad de instalaciones y equipos que así lo requieran, y segundo porque en términos de constituirse como una inversión con miras al lucro es una alternativa inviable, partiendo por los costes de inversión inicial, mantenimiento de los equipamientos, formación del recurso humano y finalmente demanda de los servicios.

Por lo anterior, la iniciativa estatal es a la fecha de la realización de este documento la única alternativa viable para atender una necesidad técnica que permitirá asegurar la calidad y trazabilidad de los valores de radiación ionizante requeridos.

IV | ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA LA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE RADIACIÓN GAMMA

La planificación e implementación de un proyecto para la implementación de un LSCD requiere tener en cuenta como objetivos (*Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*, 1971):

1. Verificar el correcto funcionamiento de un instrumento
2. Para instrumento sin ajuste de calibración debe revelarse los errores de lectura del mismo
3. Desarrollar un conjunto de investigaciones detalladas relacionadas con diferentes tecnologías de medición
4. Asesorar a los usuarios en relación a las mejoras tecnológicas que puedan atender sus necesidades de medición
5. Proveer de patrones de medición para el diseño de nuevas técnicas de medición.

Los elementos anteriores delimitaran el alcance de proyecto del LSCD y se sustentaran en la variedad equipo a calibrar, las condiciones de medición.

Para la calibración de instrumentos que medirán radiación gamma, la proporción de un amplio rango de campos de radiación que van desde algunos keV hasta los 10MeV se requiere un cierto numero de equipos emisores de rayos X distintos tipos de fuentes radiactivas. Debido que para energías menores a los 300keV la mejor opción a considerar es un sistema de rayos X (*Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*, 1971) tomando en consideración que fluctuación en el

Radionuclide	Effective quantum energy (keV)	Half-life	Specific gamma-ray constant R, m ² /Ci, h
¹²⁵ I	35	59.2 d	0.070
²⁴¹ Am	60	458 yr	0.0129
⁵⁷ Co	122	269 d	0.097
^{114m} In	192	50 d	0.0427
²⁰³ Hg	279	47.1 d	0.119
¹⁹² Ir	300-600	74.3 d	0.44
¹⁹⁸ Au	412	2.7 d	0.231
¹³⁷ Cs	662	29.9 yr	0.323
⁶⁰ Co	1250	5.23 yr	1.30
²²⁶ Ra	180-2200	1608 yr	0.825 ^b
²⁴ Na	1380 and 2800	15 h	1.83

Figura 1: Imagen del extracto de la tabla de radionucleidos adecuados para la calibración de detectores (Unger y Trubey, 1982)

valor del voltaje o la forma de onda de la fuente de alimentación, tiene como consecuencia una amplia variación del espectro de emisión del tubo y por tanto debe considerarse en el diseño un sistema dotado con protección eléctrica adecuada que brinde estabilidad y sistema de medición del kVp y tener control sobre el espectro de medición del tubo, lo que será un factor a considerar en la selección del equipo y mecanismos de respaldo.

Para energías mayores a los 300keV un radionucleido es la mejor opción. Una variedad de opciones se presentan en el documento Specific Gamma-Ray Dose Constants for Nuclides Important to Dosimetry and Radiological Assessment del OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, y en dependencia de los requerimientos de medición se pueden seleccionar el o los radionucleidos adecuados.

Para la calibración el uso de un sistema de posicionamiento remoto permitirá acceder a los detectores en comparación al utilizar la técnica de sustitución, sin necesidad de apagar el equipo de rayos X o acceder al cuarto de irradiación. Además, las lecturas del instrumento podrían ser vistas a través de un sistema de televisión de circuito cerrado, o través de una mampara de protección con ventana plomada o través de un sistema de espejos de visualización.

Para calibraciones a nivel de radioterapia se requiere de un dosímetro secundario de referencia que ha sido calibrado con respecto a un dosímetro primario de referencia de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM por su siglas en inglés), de Laboratorio Primario de Calibración Dosimétrica o a través del Laboratorio del OIEA. Este dosímetro secundario debe consistir en una cámara de ionización con un alto grado de estabilidad en el tiempo cumpliendo con lo recomendado por la Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC por su siglas en inglés). La cámara de ionización debe estar asociada a un electrómetro y durante su proceso de calibración debe realizarse sobre el conjunto completo.



Figura 2: Sistema de irradiación de cámaras de ionización instalado en el OIEA (Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy, 2009)

En dependencia de la técnica de calibración a utilizar es posible que se considere el uso una fuente de Cobalto-60 o Cesio-137 de tal manera que la actividad de a fuente sea lo suficienete como para producir una tasa de dosis de 0.1Gy/min (*Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy*, 2009)

1 | Equipos Complementarios:

A continuación, se resume una lista de equipo asociado que puede ser requerido para realizar actividades de calibración de fotones:

1. Termometro de presicion
2. Un higrómetro
3. Dispositivos de precisión para la medición de distancias
4. Temporizadores electrónicos de precisión
5. Un estabilizador de potencia eléctrica
6. Hojas de aluminio y cobre para la medición de capas hemi-reductoras
7. Un sistema de televisión de circuito cerrado
8. Fantomas
9. Instrumentación para protección radiológica

V | SITIO DE EMPLAZAMIENTO:

Para el emplazamiento de un laboratorio de calibración se requiere de un terreno en el que se ubique el edificio del laboratorio junto con los edificios o espacios para las actividades de tipo administrativo. Los aspectos relacionados con el terreno y la construcción del laboratorio deben estar estrechamente integrados. Se debe contar con una instalación con baja dispersión para los recintos de irradiación de tal manera que las actividades de calibración puedan ser desarrolladas con la precisión requerida y bajo nivel de radiación hacia el exterior de las paredes perimetrales. Estas condiciones pueden ser cubiertas con instalaciones de dimensiones relativamente grandes, de tal manera que aplicando la ley del inverso cuadrado y una cantidad adecuada de blindaje instalado en las paredes externas se podría reducir la tasa de exposición de los campos radiación producido por las fuentes radiactivas y equipos generadores, a valores aceptables en los espacios exteriores del edificio. Si el sitio seleccionado el costo de la tierra es alto, una instalación de tamaño moderado será la opción viable tomando en consideración la necesidad de instalación de blindajes adecuados en las paredes exteriores.

Para ciertos tipos de trabajo de calibración el blindaje es requerido por otras razones más allá de la protección, como por ejemplo instrumentos requeridos para la medición de fondo de radiación los cuales requieren celdas o recintos de calibración con bajos niveles de radiación de fondo. Un laboratorio de calibración requerirá un edificio diseñado para el manejo, almacenamiento y disposición de fuentes de radiación dentro de instalaciones con un bajo nivel de dispersión en el que los instrumentos pueden ser irradiados. Adicionalmente, será necesario la construcción de oficinas para el personal que labora en el laboratorio. Algunas características especiales de la instalación deberán ser consideradas como por ejemplo recintos para el almacenamiento de dosímetros de tipo TLD o Film en las que se requiere bajos niveles de radiación de fondo. En general la instalación debe constar de:

1. Cuartos de radiación
2. Recintos de almacenamiento de fuentes
3. Recintos para el almacenamiento de dosímetros personales
4. Oficinas administrativas

VI | INSTALACIONES:

La propuesta a diseñar para un laboratorio de calibración para radiación fotónica debe consistir al menos de dos salas de irradiación separadas, una para rayos X (cuando así se disponga) y otra para radiación gamma, posiblemente con una sala común de medición y control. Las dimensiones mínimas de las salas de irradiación deben ser de aproximadamente 4 m de longitud, 4 m de ancho y 3 m de altura. De ser posible, la habitación debe tener el tamaño suficiente para obtener un rango útil de distancias desde la fuente sobre la cual los resultados de la ley cuadrado inverso se mantengan suficientemente bajas, es decir menor o igual al 5 por ciento [11]. Cuando se utilizan fuentes de radiación gamma, será adecuado instalar paredes de hormigón de aproximadamente 90 cm de espesor con un techo de 40 cm de hormigón normalmente. Se debe disponer de espacio adicional para Laboratorios auxiliares y para un pequeño taller que se utilizará para pruebas electrónicas y reparación de las instalaciones.

Las salas de irradiación deberán tener sistemas adecuados de rieles y carro de transporte para los instrumentos de referencia y los instrumentos de medición que se calibran a lo largo del eje del haz,

a efectos de considerar la precisión. La desviación máxima del punto de prueba efectivo del eje del haz debe ser al menos de un 1 mm en cada dirección en el rango de distancia que se utilizará. Se debe utilizar un instrumento de alineación, preferiblemente con un rayo láser. Las paredes de hormigón deben tener penetraciones especiales para cables u otros servicios (según los servicios para las celdas calientes con una sección transversal e instalaciones adicionales. El recinto o sala debe contar con aire acondicionado en el espacio del laboratorio para reducir a corto plazo los efectos de la temperatura ambiente y las fluctuaciones de humedad. Se requiere una alimentación de red eléctrica adecuada con tensión regulada para el funcionamiento del sistema de rayos X y los instrumentos electrónicos. Cabe señalar, sin embargo, que los suministros de transformador estabilizado pueden en algunas circunstancias influir en el espectro producido por el conjunto de rayos X.

VII | GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL LABORATORIO:

Dado que las operaciones de un laboratorio de calibración dosimétrica no son típicas, el director del laboratorio tendrá la obligación de revisar estas operaciones y sus procedimientos con la finalidad de garantizar la calidad metrológica del laboratorio, así como ofrecer servicios y atención adecuados a sus cliente y estas se pueden resumir pero no limitar a la siguiente lista:

1. Recepción y manejo de dosímetros e instrumentos
2. Calibración de los sistemas de ensayo de radiación
3. Calibración de los instrumentos y dosímetros
4. Retorno de dosímetros e instrumentos calibrados
5. Resultados
6. La gestión y mantenimiento de los registros del laboratorio
7. Mantenimiento y desarrollo de los patrones de calibración propios y su proceso de verificación y calibración

1 | Recepción y manejo:

Cuando los instrumentos de monitoreo son recibidos para calibración en el laboratorio, los mismos deberían ser verificados para detectar contaminación. Un reporte de recepción y envío deberá ser preparado para cada instrumento recibido en el laboratorio. Dicho reporte deberá identificar correctamente al cliente y contar con los detalles de contacto de este incluyendo la dirección de la instalación del cliente. Inmediatamente, los paquetes que contendrán los instrumentos deberán ser abiertos en condiciones controladas y deberá realizarse una verificación de contaminación radiactiva.

2 | Calibración de los instrumentos y dosímetros:

Los procedimientos de irradiación deberán realizarse en ensamblajes destinados para este propósito. Los instrumentos por calibrar deberán ser colocados en soportes adecuados para su exposición y cada localización debería ser verificada para asegurar que el instrumento se encuentra a la distancia y ángulo correcto frente al campo de radiación.

3 | El retorno de los instrumentos calibrados:

Luego de realizar una verificación de que los instrumentos calibrados están libres de contaminación radiactiva deberán ser cuidadosamente embalados o empaquetados para ser retornados al cliente. Como regla general el retorno de los instrumentos calibrados deberá realizarse como máximo en los primeros 10 días posteriores a la recepción.

4 | El registro de las actividades del laboratorio:

Un completo y detallado registro de las actividades del laboratorio será necesario y los mismo deberán ser mantenidos por varios años con la finalidad de contar una referencia histórica para futuras evaluaciones. Estos registros comprenden:

1. Recepción y envío de los instrumentos calibrados
2. Dosis recibida por los dosímetros durante su almacenamiento (Si aplica)
3. Los datos de la calibración incluyendo la información relacionada con el montaje y los instrumentos patrón utilizados durante la calibración
4. El certificado de calibración de la fuentes y cronograma de calibración de esta.

5 | Mantenimiento y desarrollo de los patrones de calibración propios y su proceso de verificación y calibración:

El laboratorio de calibración deberá contar con un conjunto de controles de calidad para mantener un récord del desempeño de este. Estos registros serán establecidos por el director del laboratorio en función de la infraestructura utilizada para realizar las actividades de calibración. La necesidad de contar con auditorías por un tercero deberá ser considerada para asegurar un adecuado desempeño

VIII | PLANTILLA DE PERSONAL

La cantidad de personal dependerá de la demanda de trabajo del laboratorio. En general el laboratorio debería contar con un director, un físico, varios técnicos y personal administrativo, pero este listado no se limita a esta plantilla. Esta propuesta contiene dos profesionales cualificados para desarrollar los aspectos científicos del laboratorio junto con los técnicos para asistir en los procedimientos de rutina del programa de calibración del laboratorio. La integridad técnica del laboratorio debe ser irreprochable y su personal técnico deberá tener una reconocida competencia para asegurar este aspecto.

IX | ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS

Tabla 1: Edificación de la obra gris del laboratorio

Ambiente de Trabajo	Cantidad	Área de Construcción (m ²)	Área Total (m ²)
Recintos de irradiación	2	~90	~180
Oficinas	4	~15	~60
Cuarto de descontaminación	1	~30	~30
Almacenaje de Fuentes	1	~10	~10
Subtotal			~280
Espacios Auxiliares: Ventilación, Climatización, Taller de Herramientas, Equipos eléctricos, Almacenamiento de Insumos			~100
Área total de construcción			~380

Tabla 2: Costos de Construcción

Elemento	Costo (L)	Costo Total (L)
Laboratorio	11,000	4,180,000
Diseño	10% del costo total de la obra	418,000
Gestiones	5% costos asociados a permisos y gestiones	209,000
Subtotal		4,807,000
Contingencias		600,875
Total		5,407,875

Tabla 3: Estimación de los costos de los equipos

Elemento	Número Requerido	Costo Total (L)
Soportes de Irradiación:		
Irradiación Beta-Gamma de Banco	1	55,000
Irradiación Beta-Gamma de Altura	1	14,000
Sistema de Rayos X rango medio	1	50,000
Sistema de Rayos X rango bajo	1	75,000
Total		144,000
Fuente patrón Co-60 (1 Ci)	1	125,000
Fuente patrón Cs-137 (1 Ci)	1	75,000
Total		200,000
Maquina Rayos X	2	1,100,000
Total		1,100,000
Instrumentos patrón		
Conjunto de Radiómetros	3	112,000
Cámara de Extrapolación	3	105,000
Cámara de Ionización	1	125,000
Electrómetro	1	25,000
Cronómetro Patrón	1	12,000
Total		379,000
Equipo de Monitoreo		
Medidor Beta-Gamma	4	52,000
Monitores Beta-Gamma	4	70,000
Total		122,000
Misceláneos		
Caja de almacenamiento de fuentes	2	125,000
Transformadores de voltaje constante	2	62,500
Muebles y equipo de oficina		250,000
Total		437,000

Los costos de emplazamiento para el caso de Honduras han sido aproximados y existe la posibilidad que algunos sean menores a los presentados siendo el valor final estimado sería igual a L. 10,171,875.00.

Tabla 4: Salarios directos

Personal	Rango de salario mensual (L)
Director	35,000-55,000
Físico	35,000-45,000
Técnicos (x2)	36,000-56,000
Personal Administrativo (x2)	36,000-50,000
Subtotal mensual	142,000-206,000
Total de salario anuales	2,130,000-3,090,000

Tabla 5: Costos anuales de operación

Elemento	Costo (L)
Salarios	3,090,000
Edificio	
Mantenimiento	100,000
Servicios	200,000
Depreciación	
Edificio L. 4,407,875 en 40 años	110,197
Equipo L. 9,671,875 en 10 años	967,188
Insumos	
Laboratorio	125,000
Oficina	100,000
Servicios de Apoyo	2,000,000
Viáticos	100,000
Mantenimiento de equipo	100,000
Membrecias	250,000
Manejo de paquetes	200,000
Subtotal	7,342,385

X | CONCLUSIONES

1. Un Laboratorio de Calibración Dosimétrica es un elemento técnico necesario para el aseguramiento de la calidad de medición de los instrumentos detectores de radiación actualmente operando en el país y cuyos usuarios tienen limitado acceso a servicios de verificación de la calidad, capacidad y eficacia para la medición de radiación ionizante.
2. Los servicios de calibración dosimétrica propuestos se basan en las necesidades técnicas primordiales a atender en materia de radioprotección y física médica de las radiaciones, con especial atención a las actividades de radioterapia en lo relacionado a la calibración de haces de radiación y por otro lado la verificación de la calibración de los instrumentos de medición utilizados en monitoreo de área y actividades de vinculadas a la protección radiológica.
3. Desde la perspectiva regulatoria, la conveniencia y beneficios de un servicio de calibración dosimétrica permitirá de forma independiente contar con una organización técnica asesora en materia de medición de las radiaciones disponible tanto para los usuarios como de los entes del estado encargados de la regulación y control.
4. La conveniencia de instalar un laboratorio de calibración dosimétrica con patrón secundario requiere del desarrollo de capacidades profesionales especiales, que pueden ser adquiridas mediante la asistencia del OIEA y cuya relación de cooperación permitirá posicionar a la Escuela de Física de la UNAH como una unidad nacional especializada en la radioprotección y la Metrología de las radiaciones.

I | REFERENCIAS

- Calibration of reference dosimeters for external beam radiotherapy* (n.º 469). (2009). Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Descargado de <https://www.iaea.org/publications/7995/calibration-of-reference-dosimeters-for-external-beam-radiotherapy>
- Handbook on calibration of radiation protection monitoring instruments* (n.º 133). (1971). Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Descargado de <https://www.iaea.org/publications/1234/handbook-on-calibration-of-radiation-protection-monitoring-instruments>
- International Atomic Energy Agency. (2021 [Online], Nov. 4.). *Directory of radiotherapy centres*. DIRAC. Descargado de <https://dirac.iaea.org/>
- Secondary standard dosimetry laboratories: Development and trends*. (s.f.). Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Descargado de <https://www.iaea.org/publications/3560/secondary-standard-dosimetry-laboratories-development-and-trends>
- Unger, L., y Trubey, D. (1982, Jan). *Specific gamma-ray dose constants for nuclides important to dosimetry and radiological assessment*. Descargado de https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN%3A14724519