

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA MEJORA PARA EL
AUMENTO DE LA CAPACIDAD
PRODUCTIVA EN EL LABORATORIO DE
DOSIMETRÍA DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES ATÓMICAS
NUCLEARES Y MOLECULARES DE LA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, DEL
ULTIMO CUATRIMESTRE 2018 AL PRIMER
CUATRIMESTRE 2019

PROYECTO GRADUACIÓN PARA OPTAR
POR EL BACHILLERATO EN INGENIERIA
INDUSTRIAL

BRYAN VIALES AGÜERO

ING. MARCO CARTIN GAMBOA. MII

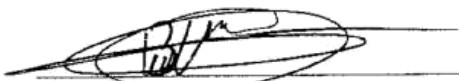
SAN JOSE, MAYO, 2019

DECLARACIÓN JURADA

Yo Bryan Viales Agüero, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 6409 469 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado:

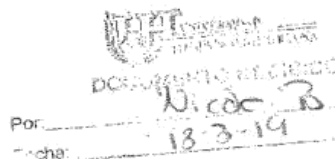
Diseño de una mejora para el aumento de la capacidad productiva en el laboratorio de dosimetría de Centro de Investigaciones Atómicas, Nucleares y Moleculares de la Universidad de Costa Rica, del último cuatrimestre 2018 al primer cuatrimestre 2019

es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 18 días del mes de 3 del año dos mil 19.



Firma del estudiante

Cédula 60409 0469



Por Viales B
Fecha: 18-3-19

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN**

San José, 30 de agosto, 2019

Señores:
Universidad
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) **Bryan Viales Agüero**, con número de identificación **604090469** autor (a) del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UNA MEJORA PARA EL AUMENTO DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA EN EL LABORATORIO DE DOSIMETRÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES ATÓMICAS NUCLEARES Y MOLECULARES DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, DEL ÚLTIMO CUATRIMESTRE 2018 AL PRIMER CUATRIMESTRE 2019**, presentado y aprobado en el año **2019**, como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial; Sí autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

 6409469
Firma y Documento de Identidad

CARTA DEL TUTOR

Heredia, 18 de Marzo de 2019

Destinatario
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

La estudiante Bryan Viales Agüero, cédula de identidad número 604090469, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: DISEÑO DE UNA MEJORA PARA EL AUMENTO DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA EN EL LABORATORIO DE DOSIMETRIA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES ATOMICAS NUCLERAS Y MOLECULARES DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, DEL ULTIMO CUATRIMESTRE 2018 AL PRIMER CUATRIMESTRE 2019 , el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	10%
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	25%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	15%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20%
	TOTAL		80%

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Marco Cartín Gamboa. MII
Cédula identidad: 110610393
Carné Colegio Profesional: II-15546

DOCUMENTO RECIBIDO
Por: Nicole B. 18-3-19 iv

CARTA DE LECTOR

San José,

Universidad Hispanoamericana
Sede Llorente
Carrera

Estimado señor

El estudiante Bryan Alberto Viales Agüero, cédula de identidad 604090469, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Diseño De Una Mejora Para El Aumento De La Capacidad Productiva En El Laboratorio De Dosimetría Del Centro De Investigaciones Atómicas Nucleares Y Moleculares De La Universidad De Costa Rica", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atte.



Ing. Erick Ulloa Chaverri

Cédula: 4-0132-0412

Carné: II-4406

3 de mayo del 2019

Señores

Comisión de Trabajos Finales de Graduación

Universidad Hispanoamericana

Escuela de Ingeniería Industrial

Estimados señores:

Yo, Noel Molina Blanco, cédula ocho cero cuarenta y seis cero quinientos ochenta y siete, vecino de San Juan de Tibás, de profesión Licenciado en Filología clásica, y que cuento con conocimientos y experiencia en revisión filológica de textos, doy fe de haber revisado el trabajo final de graduación del sustentante Bryan Viales Agüero, titulado, "Diseño de una mejora para el aumento de la capacidad productiva en el Laboratorio de Dosimetría del Centro de Investigaciones Atómicas Nucleares y Moleculares de la Universidad de Costa Rica, del último cuatrimestre 2018 al primer cuatrimestre 2019", para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Industrial.

Después de la revisión y corrección de la estudiante, considero que el Informe del Trabajo Final de Graduación indicado anteriormente, cuenta con la revisión y corrección filológica en aspectos fundamentales que lo hacen apto para ser presentado al proceso de evaluación de los Trabajos Finales de Graduación en el nivel de Bachillerato.


Quedo a su disposición para cualquier consulta en:

Email: noelmolina16@hotmail.com

Teléfono celular: 84199224

Carné Colypro 57465

De ustedes muy atentamente,



Noel Molina Blanco

Carné Colypro 57465

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por permitirme haber llegado hasta aquí, por ser mi pilar fundamental y guía en cada día de mi vida.

Al director del CICANUM, Elian Conejo, por extenderme su brazo y permitirme realizar el proyecto dentro de la institución.

Al profesor Marco Cartín Gamboa, tutor y amigo, por ser mi principal guía y apoyo en este proyecto de investigación, y especialmente por ser el mayor motivador para lograr la excelencia en este trabajo.

A mis amigos y compañeros, que con sus diferentes experiencias contribuyeron para alcanzar este logro.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, por ser mi fuerte inspiración, mi ejemplo de lucha constante y mi principal soporte en este maravilloso viaje llamado vida.

Tabla de Contenidos

DECLARACIÓN JURADA.....	ii
CARTA DE AUTORIZACION CENIT.....	iii
CARTA DEL TUTOR	iv
CARTA DEL LECTOR.....	v
CARTA DEL FILÓLOGO.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
Tabla de Contenidos	ix
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras.....	xvi
Acrónimos y siglas	xvii
Resumen Ejecutivo	xviii
CAPÍTULO I:.....	19
INTRODUCCIÓN	19
SECCIÓN 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	20
SECCIÓN 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	21
Misión.....	22
Visión	22
Política de calidad	22
SECCIÓN 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23

Antecedentes del problema.....	23
Definición del problema.....	25
Justificación del problema	26
SECCIÓN 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	27
Objetivo general	27
Objetivos Específicos	27
SECCIÓN 1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES.....	28
Alcance	28
Limitaciones	28
CAPÍTULO II:.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
SECCIÓN 2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA ..	30
2.1 Ingeniería	30
2.1.2 Ingeniería Industrial.....	31
2.1.3 Perfil del ingeniero industrial	32
2.1.4 Proceso	32
2.1.5 Eficacia.....	33
2.1.6 Eficiencia.....	33
2.1.7 Efectividad.....	33
2.1.8 Productividad	33
2.1.9 Diagrama de análisis del proceso (DAP).....	34
2.1.6 Diagrama de flujo	35
SECCIÓN 2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL	
PROYECTO	37
2.2.1 Metodología DMAIC	37
2.2.2 La medición del trabajo	39
2.2.3 Estudio de tiempos.....	40

2.2.3.1 Materiales requeridos para el estudio de tiempos	40
2.2.3.2 Estudio de tiempos: selección y cronometraje	41
SECCIÓN 2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL	
PROYECTO	43
2.3.1 A corto plazo	43
2.3.2 A mediano plazo.....	43
2.3.3 A largo plazo	44
SECCIÓN 2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS	
SEMEJANTES	45
CAPÍTULO III:	47
MARCO METODOLÓGICO	47
SECCIÓN 3.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	48
SECCIÓN 3.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUANTATIVO	
DEL PROBLEMA.....	50
SECCIÓN 3.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA,	
CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO,	
PRODUCTO O SERVICIO	52
SECCIÓN 3.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	53
SECCIÓN 3.5 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, EL ASEGURAMIENTO,	
CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.....	55
CAPÍTULO IV:	56
LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSA.....	56
4.1 Descripción de la situación actual	57

4.2 Técnica de los cinco ¿por qué?	57
4.3 Diagrama de flujo actual y descripción de las etapas del proceso	58
.....	58
4.4 Indicadores.....	62
4.5 Estudio de tiempos.....	65
4.5.1 Tamaño de la muestra	65
4.5.2 De los tiempos observados a los tiempos normales o básicos	69
4.5.3 Adición de los suplementos.....	71
4.5.4 Cálculo del tiempo estándar de la operación	72
4.5.5 Análisis del proceso	77
CAPÍTULO V:	88
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	88
5.1 Planteamiento de las mejoras	89
5.1.1 Desarrollo del estudio de tiempos final	98
5.1.1.2 Cálculo del tamaño de muestra	101
5.1.1.3. Cálculo de los tiempos básicos	102
5.1.1.4 Cálculo de los tiempos con suplementos	107
5.1.1.5 Tiempo estándar del proceso	108
5.2 Costo e implementación de las mejoras.....	111
5.2.1 Cronograma de actividades de mejora.....	117
5.3 Análisis costo-beneficio.....	118
CAPÍTULO VI:	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
Conclusiones	121
Recomendaciones	123
Bibliografía	124
APENDICE	125

ANEXOS 134

Índice de Tablas

Tabla 1. Simbología Diagrama DAP	35
Tabla 2. Simbología diagrama de flujo.....	36
Tabla 3. Hoja de observaciones.....	51
Tabla 4. Histórico de demanda versus lo logrado	57
Tabla 5. Registro de cantidades de lotes procesados diciembre 2018	64
Tabla 6. Calculo de muestra para envío	67
Tabla 7. Resumen tamaño de muestras de operaciones.....	69
Tabla 8. Calculo del tiempo normal para envío.....	70
Tabla 9. Cuadro resumen de tiempos con suplementos.....	72
Tabla 10. Tiempos estándar del proceso sin correcciones	73
Tabla 11. Tiempo estándar del proceso con correcciones.....	74
Tabla 12. Cantidad de horas necesarias para procesar 10 lotes	75
Tabla 13. Cantidad de lotes procesados por semana.....	75
Tabla 14. Lotes con correcciones en meses pasados	84
Tabla 15. Tamaño de muestra de las operaciones	101
Tabla 16. Cálculo de tiempo básico Recepción y registro de entrega	102
Tabla 17. Cálculo de tiempo básico Desensamble y Lectura	102
Tabla 18. Cálculo de tiempo básico elaboración del borrador del informe.....	103
Tabla 19. Cálculo de tiempo básico elaboración del informe	103
Tabla 20. Cálculo de tiempo básico revisión del informe	104
Tabla 21. Cálculo de tiempo básico firma y sellado	104
Tabla 22. Cálculo de tiempo básico ensamble y empaque	105
Tabla 23. Cálculo de tiempo básico revisión y registro final	105
Tabla 24. Cálculo de tiempo básico coordinación de envío	106
Tabla 25. Cálculo de tiempo básico de envío	106
Tabla 26. Cuadro resumen de tiempos estándares	107
Tabla 27. Tiempo estándar final del proceso	108
Tabla 28. Comparación estudio de tiempos.....	109
Tabla 29. Horas ejecutables por semana con estudio de tiempos final	110

Tabla 30. Costo de mejora para la eliminación de la corrección.....	110
Tabla 31. Costo refrescamiento de cambios en diagrama de flujo	112
Tabla 32. Costo mejora para el alcance de las metas	113
Tabla 33. Costo mejora medición de indicadores	115
Tabla 34. Formato para medición de indicadores	116
Tabla 35. Análisis costo-beneficio trimestral.....	119

Índice de Figuras

Figura 1. Metodología DMAIC	37
Figura 2. Dosímetro personal filmico. Instituto de Protección Radiológica (2019)....	58
Figura 3. Diagrama de flujo actual	60
Figura 4. Fórmula cálculo de muestra	65
Figura 5. Calculo de tamaño de muestra envío	67
Figura 6. Cálculo de muestra de envío con observaciones adicionales	68
Figura 7. Fórmula cálculo tiempo normal	70
Figura 8. Fórmula cálculo tiempo estándar.....	71
Figura 9. Fórmula cálculo tiempo estándar total.....	72
Figura 10. Diagrama de flujo actual	78
Figura 11. Diagrama de flujo actual	81
Figura 12. Diagrama de flujo actual	85
Figura 13. Diagrama de flujo actualizado (combinación de operaciones)	90
Figura 14. Diagrama de flujo actualizado (Almacenamiento temporal)	93
Figura 15. Diagrama de flujo con corrección	96
Figura 16. Diagrama de flujo actualizado (eliminación de corrección).....	97
Figura 17. Diagrama de flujo inicial	99
Figura 18. Diagrama de flujo final.....	100
Figura 19. Diagrama de Gantt	117

Acrónimos y siglas

UCR: Universidad de Costa Rica

CICANUM: Centro de Investigaciones Atómicas, Nucleares y Moleculares

CCSS: Caja Costarricense de Seguro Social

DAP: Diagrama de Análisis del Proceso

DMAIC: Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analizar), Improve (Mejorar), Control (Controlar)

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto se realizará en el Centro de Investigaciones Atómicas Nucleares y Moleculares (CICANUM), de la Universidad de Costa Rica. Dicho centro se encuentra ubicado en la Ciudad de la Investigación, en San Pedro de Montes de Oca y se dedica principalmente a la investigación, sin embargo, brinda algunos servicios como el de dosimetría personal los que representan ingresos bastante considerables para la institución.

El enfoque de la investigación está dirigido específicamente hacia el Laboratorio de Dosimetría personal, el cual en los últimos meses, ha presentado una serie de inconvenientes que a lo postre han significado la disminución de los ingresos del centro. Se considera pertinente trabajar en esta área, ya que permitirá analizar el impacto costo-beneficio de la propuesta, caso contrario, con las áreas dedicadas ciento por ciento a la investigación.

Mediante la aplicación de múltiples herramientas ingenieriles, se pretende analizar e identificar las posibles causas o la causa raíz de los problemas que se presentan en el Centro, con la intención de implementar una mejora que aumente la productividad de la organización.

Una vez analizado el proceso, identificadas las causas y desarrollado un plan de mejoras, se buscara la manera de que estas últimas tengan un impacto positivo dentro de la institución, tanto en la parte económica como en el nivel interno, que permita de alguna u otra forma mejorar considerablemente la manera en que se están realizando las actividades.

CAPÍTULO I:
INTRODUCCIÓN

SECCIÓN 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El presente proyecto se realizará en el Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM), de la Universidad de Costa Rica y tiene como fin brindar, mediante las herramientas de ingeniería aprendidas a lo largo de la carrera, una mejora considerable en el Laboratorio de Dosimetría.

El Centro de Investigaciones, tal y como lo menciona su nombre, realiza investigaciones científicas en los campos de fluorescencia de rayos x, electrónica nuclear y física nuclear. Los proyectos son interdisciplinarios, ubicados dentro del marco de la realidad nacional en las áreas de salud, agricultura, geofísica e industria. Presta servicios de análisis a la industria nacional, utilizando las técnicas de fluorescencia de rayos x, conteo de bajo nivel y trazos nucleares, sin embargo, el mismo centro se encarga de brindar tres servicios fundamentales, de los cuales este trabajo se centrará únicamente en el de dosimetría. El Laboratorio de dosimetría realiza la medida de las dosis individuales recibidas por trabajadores profesionalmente expuestos a radiación externa, mediante el uso de dosímetros personales termoluminiscentes (corporales, de anillo y de abdomen). Se considera pertinente trabajar en este sector, ya que el mismo representa un sesenta por ciento de los ingresos totales por servicios, y cualquier cambio puede afectar directamente la totalidad del Centro.

En el último año, la funcionalidad de dicho laboratorio se ha visto afectado por la baja capacidad ante la demanda, lo que ocasiona retrasos en los tiempos de entrega, trabajo acumulado e incluso hasta la pérdida de clientes, sin embargo dicha situación obedece a una mala planificación dentro del mismo laboratorio, procesos no muy bien definidos, falta de indicadores y tiempos estándares y una carencia total de objetivos y metas.

SECCIÓN 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares (CICANUM) se fundó hace más de 30 años como un laboratorio de la Escuela de Física. Gracias a la variedad de servicios que ofrecía y la experiencia con la que contaba, en el año 2002 se constituyó como el centro que actualmente se conoce, conformado por doce laboratorios, de los cuales la mayor parte se dedica a la investigación y otra parte al préstamo de servicios. (CICANUM, 2019)

El Centro realiza actividades de investigación científica en los campos de la física atómica, nuclear y molecular, mediante proyectos interdisciplinarios de interés nacional e internacional, que impactan en el desarrollo de aplicaciones en las áreas de la salud, agricultura, geofísica e industria. Presta servicios de análisis a la industria nacional, utilizando las técnicas de fluorescencia de rayos X, conteo de bajo nivel, dosimetría, calibración y certificación de equipo de radiación ionizante, además de diversas aplicaciones de la física experimental.

Sus principales funciones son la investigación, la capacitación y los servicios de: radiometría, dosimetría, calibración y certificación. Adicionalmente, el centro, tiene como proyecto a corto plazo iniciar con la construcción de un Ciclotrón, el cual se convertiría en el primero del país y que beneficiaría enormemente a instituciones tales como la CCSS que actualmente importan todos los servicios que puede brindar un ciclotrón y generan altos gastos al país. (CICANUM, 2019)

Misión

El CICANUM contribuye al quehacer del desarrollo científico y técnico. Por medio del cual, provee resultados confiables a las autoridades nacionales para la toma de decisiones en beneficio de la salud y el ambiente. (CICANUM, 2018)

Visión

El CICANUM, mediante el uso de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, desarrollará proyectos y prestará servicios en las áreas de investigación, docencia y acción social en beneficio de la sociedad. (CICANUM, 2018)

Política de calidad

La Alta Dirección del CICANUM se compromete para que los resultados obtenidos en el servicio de dosimetría personal del Laboratorio de Termoluminiscencia, el servicio de análisis radiométrico del Laboratorio de Espectrometría Gamma y el servicio de calibración del Laboratorio de Referencia Dosimétrica sean confiables y expeditos, de la más alta calidad y aplicando en todo momento las buenas prácticas profesionales. Lo anterior, con el propósito de contribuir con la investigación, satisfacer las necesidades analíticas del país en esas áreas y propiciar la aplicación pacífica de las diferentes técnicas nucleares.

Por tanto, se ha propuesto mantener un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, contar con personal altamente calificado, familiarizado y respetuoso de los lineamientos establecidos en dicho sistema. Además, propicia un ambiente laboral donde (sic) se asegure el mantenimiento y mejora continua del sistema. (CICANUM, 2018)

SECCIÓN 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes del problema

Ante la imposibilidad del centro de cumplir con la demanda, los ingresos por dosimetría personal del laboratorio, consistentes en el proceso de la lectura de los dosímetros que utilizan los profesionales expuestos a radiación externa y que mide los niveles de radiación recibidos, se han reducido considerablemente. De acuerdo con los datos suministrados por la empresa, en el último año han visto una reducción considerable de por lo menos un 13% de los ingresos brutos. Esto traducido en otros números tales como cantidad de dosímetros leídos, se puede decir que para los primeros tres trimestres del 2017 se leyeron aproximadamente 12370 unidades de dosímetros mientras que para el mismo periodo pero del 2018 la lectura fue de apenas 11169 unidades, es decir se leyeron **1201** dosímetros menos, que representan esa disminución considerable de ingresos en el centro, aproximadamente **¢7, 806.500**. Adicional a esto, la baja capacidad que se viene presentado obedece, según el Director del centro, a la gran variabilidad y poca definición que hay dentro del proceso, que a la postre han llevado a que la acumulación del trabajo sea considerable. De acuerdo con los datos recolectados, actualmente dentro del laboratorio, en el último trimestre, se han contabilizado más de **37** quejas por retrasos en las entregas, además se encuentran aproximadamente **1173** dosímetros pendientes de leer y analizar, lo que representa una suma importante de trabajo acumulado y que a futuro podría significar un problema aun mayor cuando no se pueda suplir ni la mitad de la demanda por todos los pendientes que existan. Además basados en observaciones que se hicieron en el proceso, se determinó que algunas de las actividades se realizan de forma diferente entre un lote y otro, y según los operarios no se tiene un lineamiento claro de lo que se debe hacer, ni mucho menos saber cuántas lecturas de dosímetros deben realizar diariamente. Por otra parte, al revisar datos de semanas anteriores es posible identificar que la cantidad de dosímetros leídos entre una semana y otra puede

variar hasta en 200 unidades, lo que indica que los tiempos y cantidad de dosímetros procesados por lotes, también son muy variables.

Definición del problema

La poca claridad o definición del proceso, son los principales problemas de la baja productividad del centro. Si bien es cierto, la disminución en las lecturas de dosímetros es evidente, no basta con decir que la capacidad productiva ha disminuido, sino más bien definir por qué se presenta esta situación y cómo eliminarla. Pese a que existe un diagrama de flujo ya definido, la variabilidad en la forma que realiza el proceso es muy amplia y los operarios no magnifican el impacto que esto puede tener dentro del laboratorio. Por eso es importante analizar el diagrama de flujo existente, así como definir tiempos estándar de las operaciones que permitan tener una visión más clara tanto a nivel gerencial como a nivel operativo con la idea principal de estandarizar el proceso.

Justificación del problema

Actualmente el éxito de una empresa depende de la coordinación de los recursos de esta, llámense humanos, financieros y físicos, que les permitan alcanzar objetivos y metas. Tanto la alta gerencia como el nivel operativo, deben trabajar en conjunto para lograr los resultados deseados y de esta manera ser efectivos con el paso del tiempo.

Una de las herramientas principales para lograr con éxito lo mencionado anteriormente, y debido a los problemas que se vienen mencionando dentro de la empresa, es el estudio de tiempos, el cual tiene como objetivo tener una idea inicial de cómo se está realizando el proceso y además brindar al personal involucrado, una visión clara de sus objetivos y metas, no solo dentro de la organización sino también a nivel externo. Es decir, se mejorara dentro del laboratorio pero también permitirá tener conocimiento del tiempo de respuesta a sus clientes

El estudio de tiempos, puede ser un elemento fundamental por considerar dentro del Laboratorio de Dosimetría, ya que el mismo beneficiaría en múltiples aspectos a este. Tener claro los tiempos de las operaciones le brinda la posibilidad al centro de poder saber los tiempos de respuesta aproximados, mejorar la capacidad productiva, así como establecer indicadores que permitan controlar la eficiencia con la cual se están realizando las operaciones. A su vez, dará una idea importante al nivel gerencial de los costos de mano de obra, los cuales muchas veces representan uno de los gastos más altos dentro de una organización. Además, con este estudio se pretende definir la sostenibilidad de las operaciones, para obtener un impacto positivo y que además pueden garantizar que esta área de la empresa está siendo dirigida de una manera constructiva y con la mayor de las rentabilidades.

SECCIÓN 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

- Mejorar el proceso de Dosimetría Personal para incrementar la capacidad productiva en el Laboratorio de Dosimetría del Centro de Investigaciones Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica.

Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de dosimetría para identificar los principales problemas que se presentan en el laboratorio.
- Proponer soluciones que permitan mejorar la capacidad productiva del laboratorio.
- Realizar un análisis de costo-beneficio de las mejoras planteadas en el laboratorio.

SECCIÓN 1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

Alcance

El presente trabajo se realiza en el III cuatrimestre del 2018 y I cuatrimestre del 2019, en el Laboratorio de Dosimetría del CICANUM, en la Universidad de Costa Rica, ubicada en San Pedro de Montes de Oca, San José.

Limitaciones

- Banco de datos incompleto y desactualizado.
- Acceso restringido debido a remodelaciones.
- No se permite dentro de la empresa el uso de cámaras para fotografías del proceso.
- No se permite la divulgación de muchos datos económicos.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

SECCIÓN 2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA

2.1 Ingeniería

La ingeniería en general, se puede definir como un conjunto de técnicas y modelos, que en conjunto con la aplicación de la tecnología y el conocimiento proveniente de las ciencias, puede ser capaz de resolver problemas, o incluso satisfacer una necesidad humana. De acuerdo con la definición del Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología de Estados Unidos de América, “la ingeniería es la profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales, obtenidos a través (sic) del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y los materiales de la naturaleza en beneficio de la humanidad”. (Baca et al, 2014)

Si bien es cierto, la ingeniería no puede ser definida como una ciencia sino más bien como la aplicación de la misma, ya que al igual que cualquier otra carrera se requiere de habilidad y la puesta en práctica de los conocimientos aprendidos en la carrera para poder dar solución a los problemas de la vida diaria, es aquí donde la inventiva y el ingenio pueden ser claros diferenciadores en el perfil de cualquier ingeniero. “Se considera que un ingeniero es aquella persona que, con cierta base científica, diseña, construye máquinas y aplica su conocimiento e ingenio para resolver problemas en bien de la comunidad; también, tiene la acepción de guía o líder. Esto concuerda con la primera definición, que establece que un ingeniero es aquel profesional que tiene conocimientos adquiridos con base en estudio, que posee un talento natural, que es creativo y que aplica sus conocimientos en el diseño de máquinas y procesos industriales para el beneficio de la humanidad”. (Baca et al, 2014)

2.1.2 Ingeniería Industrial

La ingeniería industrial es un conjunto de herramientas interdisciplinarias que se encargan del análisis e interpretación de datos o procesos, diseño y planificación, así como sistemas de logística, inventarios y control de calidad, con el objetivo principal de establecer estrategias de optimización para poder alcanzar el mayor desempeño posible dentro en un sistema de producción o bien prestación de bienes o servicios.

A través de los años, la ingeniería industrial ha ido evolucionando de manera considerable, en sus inicios, en la Revolución Industrial, muchos pioneros de la ingeniería industrial consideraron importante desarrollar sistemas que produjeran muchos bienes o servicios, es decir fueran eficaces, sin embargo no se establecían estándares ni mucho menos existía un trabajo organizado. No fue sino hasta años más tarde que aparecería Frederick Taylor, con su filosofía de trabajo organizado y la especialización del trabajo.

“Aunque ha cambiado de alguna forma, la fórmula de Taylor todavía es parte importante de la ingeniería industrial, ya que enfatiza que el trabajo debe estar organizado y al trabajador se le debe asignar una tarea específica y un método específico (sic) a seguir. Desafortunadamente, algunos de los seguidores de Taylor obtenían asombrosas ganancias en productividad simplemente con establecer el sistema de destajo y otros planes de incentivos salariales basados en los estándares de producción. Posteriormente estos esquemas tuvieron resultados desfavorables debido a que algunos ingenieros y gerentes sin escrúpulos, recortaron arbitrariamente los estándares de producción o las tarifas por pieza para hacer que el trabajador produjera más por el mismo dinero o menos. El resultado natural fue que los trabajadores se oponían a todos los esfuerzos de la gerencia por cambiar estándares de producción, aun cuando hubiera razones legítimas para el cambio. Muchas de las actitudes en los trabajadores que resultaron de esta táctica de “aceleración”, todavía continúan en estos días en muchas compañías, especialmente en aquellas con reducción de jornada o con prácticas restrictivas en la mano de obra.”. (Maynard, 2005)

Así como Taylor, existieron muchos otros pioneros de la ingeniería industrial que vinieron con el paso del tiempo a incursionar nuevos conceptos como el estudio de tiempos, estudio de puestos de trabajo, administración y control de la calidad, conceptos como eficiencia, productividad, entre otros que transformaron la ingeniería industrial en lo que es actualmente.

2.1.3 Perfil del ingeniero industrial

El ingeniero industrial actual, más allá de ser un profesional interdisciplinario, debe ser un profesional con capacidad para adaptarse al cambio, con capacidad de innovación que le permita de una u otra manera mejorar cualquier sistema de producción o de servicios de una organización. Debido al acelerado crecimiento de la tecnología y su incursión dentro de las empresas, el ingeniero industrial debe siempre estar en constante aprendizaje para, de esta forma, conocer e implementar dentro de la compañía las técnicas o métodos que realmente beneficien a la institución, ya sea minimizando los costos o maximizando las ganancias. *“Las tareas desempeñadas en la industria por los ingenieros industriales profesionales registrados, reflejan esa capacidad de mejora”* (Maynard, 2005). Y es que precisamente como lo menciona Maynard, la función de un ingeniero industrial es siempre la implementación de una mejora, ya sea mediante análisis de distribución, estudio de tiempos, análisis y control de inventarios, control de la calidad, estudios estadísticos, simulaciones entre muchas otras ramas que existen dentro de esta ingeniería y que tiene como único fin beneficiar no solo a la organización, sino también a la sociedad.

2.1.4 Proceso

Un proceso es un conjunto de pasos o actividades, que están relacionadas entre sí y que tiene como fin alcanzar un resultado específico

2.1.5 Eficacia

El término eficaz significa la capacidad que se tiene para alcanzar metas y objetivos planteados. Es decir, se es eficaz en cuanto se alcanza la meta y lo que se propuso, sin importar de qué forma se hizo.

2.1.6 Eficiencia

Consiste en optimizar los recursos, aunque esto muchas veces significa no alcanzar la meta.

2.1.7 Efectividad

El término efectividad engloba los dos anteriores, es decir, ser efectivo consiste en alcanzar la meta con la menor cantidad de recursos posibles.

2.1.8 Productividad

Esta se puede definir como la relación que existe entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos, que busca siempre la mejora del proceso productivo. La fórmula que se utiliza para cálculo de la productividad es la siguiente:

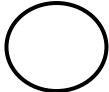
Productividad = Salidas/Entradas

Por ejemplo, en un proceso de lectura de dosímetros, las salidas pueden ser definidas como el total de dosímetros leídos y las entradas la cantidad de horas invertidas en la lectura.

Niebel, B (2004), menciona que la única posibilidad para que una empresa o negocio crezca y aumente su rentabilidad (o sus utilidades) es aumentando su productividad. El mejoramiento de la productividad se refiere al aumento de la producción por hora-trabajo o por tiempo gastado.

2.1.9 Diagrama de análisis del proceso (DAP)

Un diagrama de análisis es la representación gráfica de un proceso. Este diagrama cuenta con una serie de símbolos que representan las diferentes actividades que existen dentro de un proceso y que permite una mejor comprensión del mismo. Este diagrama representa una de las herramientas más fáciles y beneficiosas de la ingeniería industrial, ya que permite visualizar mejoras en las actividades de manera rápida y oportuna, principalmente en identificación de posibles cuellos de botella que pueden resultar en tiempos de producción altos. También permiten establecer mecanismos de control y mejora de los procesos.

Símbolo	Nombre	Definición
	Operación	Un círculo indica donde se elabora un producto, hay transformación.

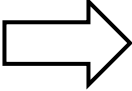



	Transporte	Una flecha indica transporte, ya sea de materiales o de producto.
	Inspección	Un cuadrado indica una inspección del producto en ese punto.
	Demora	Representa cualquier atraso dentro del proceso.
	Almacenamiento	El triángulo invertido, representa el almacenamiento de elementos o del producto final.

Tabla 1. Simbología Diagrama DAP

Fuente: Elaboración propia

2.1.6 Diagrama de flujo

Este se puede definir como una representación gráfica de todas las etapas, secuencias, actividades u operaciones que se encuentra dentro de un proceso. Tiene como función tener un análisis preliminar del proceso y las operaciones con el fin de mejorar la calidad de dichos elementos. Además un diagrama de flujo cuenta con una simbología que facilita la comprensión tanto para el ingeniero como para cualquier otro profesional. A continuación se presenta la simbología del diagrama de flujo:





Símbolo	Nombre
	Inicio/Fin
	Operación
	Decisión
	Datos

Tabla 2. Simbología diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

SECCIÓN 2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

2.2.1 Metodología DMAIC

Existen muchas metodologías para mejorar la manera en la que se trabaja en distintas áreas dentro de la organización, sin embargo, la metodología DMAIC, ayuda en la resolución de problemas en procesos ya creados. Dicho método consiste en una serie de cinco pasos: Definir (Define), Medir (Measure), Analizar (Analyze), Mejorar (Improve) y Controlar (Control), los cuales muchas veces *“logran ahorros e incrementos en las ventas. Esto implica varias cosas: se seleccionan proyectos clave que en realidad atiendan a sus verdaderas causas, se generan soluciones de fondo y duraderas, y se tiene un buen sistema para evaluar los logros del proyecto”*. (Gutiérrez, 2009).

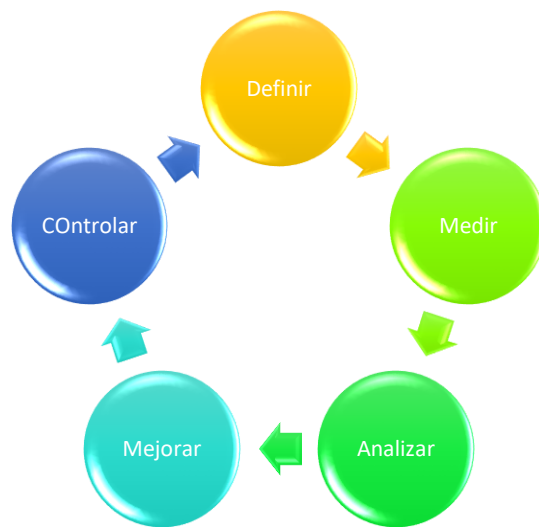


Figura 1. Metodología DMAIC

Fuente: Elaboración propia

A continuación se definirán los cinco pasos de dicha metodología:

1) Definir: el primer paso consiste en definir el proceso en cual se va a trabajar. Este paso es de vital importancia, ya que su correcta identificación dependerá del éxito que obtenga el proyecto al finalizar. En esta etapa se deben tener claros los objetivos, su alcance, sus beneficios, entre otras cosas, que definen el marco del proyecto. Adicionalmente, en esta etapa es fundamental elaborar un diagrama del proceso que permita visualizar de manera clara y ordenada adónde se va a trabajar.

2) Medir: esta segunda etapa pretende estudiar de manera más detallada el proceso. Esto con el fin de poder comprender mejor el problema que se presenta. En esta sección se establecen las métricas, y se valida la situación actual que permita establecer un punto de arranque. El mapeo de procesos a un nivel más detallado es una de las herramientas utilizadas en esta etapa.

3) Analizar: el objetivo principal en esta etapa es identificar la causa raíz del problema. Es decir, se pretende comprender la razón principal por la cual se está generando el problema. Muchas veces, en esta etapa, es común que se den equivocaciones al momento de identificar la raíz del problema, ya que algunos “síntomas” pueden ser confundidos con esta. Es por esta razón que se debe hacer un análisis minucioso y detallado y además utilizar técnicas efectivas como los cinco porqués que permitan llegar al problema principal.

4) Mejorar: después de analizar la causa raíz del problema, lo más importante es brindar soluciones a la misma. En esta etapa se deben buscar las soluciones que reduzcan de manera considerable o eliminen por completo el problema identificado.

5) Controlar: Después de haber alcanzado las mejoras, en esta etapa se debe diseñar un sistema que permita controlar los resultados esperados. Dicho sistema tiene como

reto principal mantener las mejoras con el paso del tiempo, lo cual también representa algunas dificultades, ya que es aquí donde las mejoras deben quedar institucionalizadas, y esto involucra a todo el personal que, muchas veces, se resiste al cambio y le cuesta adaptarse a nuevas cosas.

Según Gutiérrez (2009), para que se logre efectivamente implementar la metodología DMAIC, es necesario establecer un sistema de control para:

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se vuelvan a repetir (mantener las ganancias).
- Impedir que las mejoras y conocimientos obtenidos se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Alentar a la mejora continua.

2.2.2 La medición del trabajo

Según Kanawaty (1996) “la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida”. Es decir, con la medición del trabajo se pretende conocer el tiempo que un operario realiza en una operación o bien, cuánto se demora en la elaboración de un producto final.

El principal objetivo de la medición del trabajo obedece a la eliminación de tiempos improductivos, es decir, el tiempo durante el cual no se ejecuta trabajo que agregue valor a la operación.

“En efecto, la medición de trabajo, como su nombre lo indica, es el medio por el cual la dirección puede medir el tiempo que se invierte en ejecutar una operación o una serie de operaciones de tal forma que el tiempo improductivo se destaque y sea posible separarlo del

tiempo productivo. Así se descubren su existencia, naturaleza e importancia, que antes estaban ocultas dentro del tiempo total. Es sorprendente la cantidad de tiempo improductivo incorporado en los procesos de las fábricas que nunca han aplicado la medición del trabajo, de modo que o bien no se sospechaba o se consideraba como cosa corriente e inevitable que nadie podía remediar. Pero una vez conocidos conocida la existencia de los tiempos improductivos y averiguadas sus causas se pueden tomar medidas para reducirlo” (Kanawaty, 1996)

Además de todo lo mencionado en el párrafo anterior, cabe destacar que la medición del trabajo también permite establecer tiempos estándar en las operaciones y en el proceso, lo cual beneficia de manera considerable ya que a futuro será fácil identificar tiempos improductivos en general, por el simple hecho de que se está demorando más del tiempo ya previamente establecido.

2.2.3 Estudio de tiempos

Según Kanawaty (1996), el estudio de tiempos es “una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida” En otras palabras, es una pequeña derivación de la medición del trabajo que pretende medir tareas específicas.

2.2.3.1 Materiales requeridos para el estudio de tiempos

- Un cronómetro

- Un tablero de observaciones
- Formularios de estudios de tiempos

Es importante también destacar, que muchos de estos insumos pueden ser reemplazados por aparatos electrónicos que al fin y al cabo desempeñan la misma función.

2.2.3.2 Estudio de tiempos: selección y cronometraje

Según Kanawaty (1996) para el estudio de tiempos existe una serie de puntos clave que deben ser considerados y que serán explicados a continuación:

- a) Selección del trabajo:** lo primero que se debe hacer es seleccionar correctamente el trabajo que se va a estudiar.
- b) El estudio de tiempos y los trabajadores:** es importante destacar que el estudio de tiempos puede ser hasta cierto punto incómodo para los operarios. Es por esta razón que el profesional a cargo del estudio debe encontrar la manera de hacer que esto no afecte el rendimiento de los operarios y que los tiempos obtenidos sean lo más cercanos a la realidad.
- c) Etapas del estudio de tiempos:** Según Kanawaty (1996) es estudio de tiempos suele contar con ocho etapas:
 - 1)** Obtener y registrar toda la información posible acerca de la tarea que sea relevante y puede influir en la ejecución del trabajo.
 - 2)** Descomponer la operación en “elementos”

- 3) Determinar el tamaño de la muestra.
 - 4) Medir el tiempo con un instrumento adecuado y registrar los tiempos invertidos por los operarios en los diferentes elementos de la operación.
 - 5) Determinar la velocidad de trabajo efectiva por correlación con la idea que tenga el analista que debe ser el ritmo adecuado.
 - 6) Convertir los tiempos observados en tiempos básicos.
 - 7) Determinar los suplementos que se añadirán al tiempo básico de la operación.
 - 8) Determinar el tiempo tipo de la operación.
- d) **Obtener y registrar información:** es importante registrar toda la información pertinente obtenida por la observación directa.
- e) **Comprobar el método:** se debe corroborar el que el método que se emplea es el correcto o el mejor de las circunstancias existentes.
- f) **Descomponer la tarea en elementos:** es vital descomponer la operación en elementos. Ya que la medición completa de la operación puede afectar la consecución del tiempo real. Es por esto que se recomienda medir tiempos después de haber separado la operación en los elementos que se consideren pertinentes.
- g) **Delimitar los elementos:** en esta sección es de vital importancia delimitar correctamente los elementos, es decir, estos deben ser breves, fáciles de identificar y estar bien definidos de principio a fin.
- h) **Tamaño de la muestra:** se debe determinar el tamaño de la muestra o el número de observaciones que se deben efectuar para cada elemento, considerando el nivel de confianza y el margen de error ya predeterminados.
- i) **Cronometraje de cada elemento:** Una vez delimitados y definidos los elementos se debe iniciar con el cronometraje de los mismos.

SECCIÓN 2.3 MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

2.3.1 A corto plazo

Se pretende, mediante este proyecto, poder favorecer el desempeño y aumentar la productividad del Laboratorio de Dosimetría, con la idea de estandarizar tiempos de los elementos y del proceso en general.

2.3.2 A mediano plazo

Una vez estandarizados los tiempos, y que los empleados se hayan adaptado a los nuevos cambios, la idea principal del desarrollo de este proyecto es cumplir de manera satisfactoria con la demanda, eliminar los tiempos improductivos y disminuir los trabajos acumulados que muchas veces provocan retrasos en la entrega de dosímetros y que a su vez puede generar la pérdida de clientes. Al ser esta una institución pública, la horas extras no son parte de la compañía, sin embargo, la acumulación de trabajo es recurrente, esto debido a la mala ejecución de las tareas, falta de tiempos estándar que permitan disminuir tiempos improductivos y que además favorezca a los empleados ya que los mismos tendrán noción de que al momento de ejecutarse las tareas como debe ser, se evitara la acumulación de trabajo lo que a su vez puede ser un causante principal de estrés que afecta de manera directa el flujo del proceso.

2.3.3 A largo plazo

Permitir a la Dirección conocer las razones por las cuales las entregas se retrasan. Una vez definidos los tiempos estándares en las operaciones, será posible determinar si es probable cumplir con las demandas. Además, se pretende que el impacto del proyecto sea tan beneficioso para este laboratorio, que permita a los altos mandos tomar este como ejemplo para empezar a ejecutarlo en las diferentes áreas de la empresa, con el fin de aumentar la productividad total de la compañía.

SECCIÓN 2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES

En los diferentes proyectos relacionados con este tema, la mayoría de los problemas viene a darse por retrasos en entregas a clientes. Dicho retrasos pueden obedecer a distintas razones, sin embargo, para el objeto en estudio responde únicamente a la razón no tener tiempos estándares definidos en la operación, lo que puede provocar este problema. Muchas veces las empresas no caen en razón que un retraso en una entrega puede traer consecuencias aún mayores, tales como estrés laboral, acumulación de trabajo, órdenes de trabajo perdidas, improductividad, ineficiencia, altos costos de mano de obra y, en el peor de los casos, la pérdida de clientes.

De acuerdo con Pineda (2005), en su trabajo de tesis relacionada con el estudio de tiempos, este menciona que dicho estudio se realiza con la idea de que la compañía pueda incrementar su participación en el mercado, ya que podrá tener certeza en la planeación y control de la producción y que además mejorara la calidad de los productos y podrá ser más competitiva. Además Pineda menciona que una de las principales razones por la que se desarrolla dicho proyecto, responde a la idea de optimizar los recursos y realizar entregas en el tiempo correspondiente.

Tanto en este como en otros de los estudios relacionados con el estudio de tiempos, se considera vital la colaboración de todos los niveles de la compañía, desde la alta gerencia hasta el nivel operativo, ya que la realización de este no es un proceso fácil. Se requiere de mucho tacto y poder de convencimiento a los operarios para que los tiempos obtenidos sean certeros, de lo contrario los resultados podrían ser imprecisos.

Además, se debe tener en cuenta que cada vez que se realiza un estudio de estos, este trae consigo un cambio y se debe tener la expectativa de que siempre será para mejorar, pero también se debe esperar y estar preparados para la resistencia al cambio, ya que muchas veces este puede significar uno de los principales obstáculos a los que se debe enfrentar el analista. Por esta razón, es de vital importancia considerar el recurso humano como el principal elemento de cualquier operación y partir de allí para trabajar fuertemente y conseguir los resultados deseados.

CAPÍTULO III:
MARCO METODOLÓGICO

SECCIÓN 3.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para la definición actual del problema, se procede a la recopilación de toda la información relacionado con el proceso, la cual se realiza mediante dos principales maneras:

- Se efectúan múltiples visitas al Centro con la idea de realizar reuniones, tanto con el Director como con el Jefe Administrativo. Esto con la idea de obtener la mayor cantidad de información posible, así como escuchar a las partes internas acerca de sus inquietudes y posibles oportunidades de mejora.
- Una vez analizadas las situaciones presentes dentro del centro, se procede a realizar observaciones directas con la idea de estudiar y comprender mejor el proceso.

Además, y pese a que el centro cuenta con un manual de procedimientos para todos los distintos laboratorios, se elaborará un Diagrama de Flujo de Proceso, con la idea de comprender mejor las distintas actividades que se dan y tener una mejor y más fácil visualización de cómo se desarrolla el proceso en el cual se realizará el estudio.

Una vez definido el proceso, se implementara la técnica o la metodología DMAIC, con idea de definir correctamente el problema, medirlo, analizarlo y mejorarlo.

Por otra parte, también se hará uso de otra técnica muy sencilla y útil denominada los “cinco por qué?”, la cual tiene como función principal encontrar la causa raíz de cualquier problema con un simple método de preguntarse cinco veces la razón de por

qué se puede estar presentando una situación. A continuación, un ejemplo de la implementación de la técnica:

Problema: Mi televisor no enciende

¿Por qué? Porque no hay electricidad.

¿Por qué no hay electricidad? Porque no pagué a tiempo.

¿Por qué no pagué a tiempo? Porque no tengo tiempo.

¿Por qué no tengo tiempo? Porque trabajo mucho.

¿Por qué trabajo mucho? Porque tengo muchas deudas.

Para este caso en específico del televisor, se viene a determinar que la causa principal obedece a un exceso de deudas, por lo cual este debería ser el motivo en el cual se debe trabajar para poder darle una solución definitiva al problema y así evitar que vuelva a suceder.

SECCIÓN 3.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUANTATIVO DEL PROBLEMA

En esta etapa del proyecto, se debe hacer énfasis en la etapa de medición de la metodología DMAIC. Primeramente se definirá una serie de indicadores de productividad, que permitan identificar o tener parámetros iniciales de cómo funcionan las operaciones regularmente. Para este caso en específico, los indicadores estarán siempre relacionados con parámetros de tiempo ya que se pretende brindar una mejora en este aspecto.

Por otra parte, la realización de un estudio de tiempos, permitirá obtener todos los datos cuantitativos necesarios para la realización del proyecto. Se utilizará una serie de herramientas que facilitarán el estudio, tales como cronómetros, hoja de observaciones y observación directa.

El método de observación directa será la herramienta principal por utilizar para la obtención de los datos, ya que permitirá medir las diferentes tareas que se realizan durante el proceso. En conjunto con un cronómetro digital, se medirán todos los elementos correspondientes en un flujo normal del proceso. En coordinación con la dirección, los tiempos serán medidos de manera diaria y sin indicar o seleccionar tareas específicas en el momento, es decir, todos los trabajadores sabrán acerca del estudio, sin embargo, no se les indicará el momento exacto de la medición, ya que esto podría provocar que los mismos realicen sus actividades a un ritmo acelerado y no dentro de los parámetros del día a día. Esto se realizará de esta manera con el fin de obtener tiempos cronometrados lo más cercanos posibles a la realidad.

Por último, se empleará una hoja de observaciones que permita medir de una manera más ordenada todo el proceso, dentro de la misma se encontrarán muchos

SECCIÓN 3.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO

Se realizara una propuesta de mejora con base en la información obtenida en el estudio de tiempos. De igual manera, se seguirá utilizando la metodología DMAIC, en este caso para el paso de analizar (Analyze), con el fin de comprender y poder interpretar los resultados del estudio.

Es importante destacar en este punto, que previamente, mediante la observación directa, se analizará el flujo del proceso y mediante un mapeo del mismo, se definirá si se realiza de la manera más óptima o si bien, se puede implementar una mejora en el Diagrama de Flujo existente, que permita dar una mejora a mayor escala. Y en conjunto con los tiempos estándar que se definan logren un mayor impacto en el aumento de la productividad dentro del laboratorio.

Después de analizar los datos e información obtenida, se procederá a brindar una serie de mejoras que permitan dar solución al problema, sin dejar de lado que se deben priorizar las que cumplan y satisfagan los objetivos ya planteados.

SECCIÓN 3.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En esta etapa se desarrollará el plan de mejoras de acuerdo con las prioridades que ya se hayan establecido.

- a)** En caso de haber observado que se deba realizar algún cambio en el proceso como tal, lo primero que se realizará será documentar estas variaciones. Posteriormente a esto se le indicará, a cada uno de los trabajadores, las nuevas tareas o funciones por realizar, o bien aquellas que dejarán de hacer y que les permita estar más acorde con el Diagrama de Flujo optimizado.
- b)** La medición de tiempos arrojará los tiempos ideales o tiempos estándar de cada operación y con esto se deberá realizar la documentación de los mismos. Una vez realizado esto, se deberá informar a los empleados los resultados obtenidos y las nuevas métricas o parámetros existentes los cuales deberán cumplir con creces.
- c)** Durante el siguiente mes se deberá realizar periódicamente un control de los tiempos obtenidos que permita verificar que los trabajadores están cumpliendo con los mismos.
- d)** Luego de verificar que los tiempos establecidos están siendo alcanzados, se realizará una comparación de los indicadores de productividad pasados con los actuales, para demostrar el crecimiento significativo en estos.

Para la implementación efectiva de dichos puntos, será de vital importancia la selección de una herramienta que permita visualizar en una línea del tiempo si se está cumpliendo con lo presupuestado. Es por esta razón que se utilizará el diagrama de

Gantt, con la idea de poder organizar, monitorear y ejecutar todas las actividades o propuestas presentadas, así como también determinar si estas están siendo ejecutadas en el tiempo establecido posteriormente. La idea del diagrama es tener una fecha de inicio y una final para que tanto los mandos medios como altos, puedan tener la seguridad de que para cierta fecha el proceso debe estar funcionando al cien por ciento con todas las mejoras ya debidamente implementadas.

SECCIÓN 3.5 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, EL ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

En esta etapa se aplicará el último paso de la metodología DMAIC el cual es controlar (Control), con el que se pretende mantener a tope la mejora implementada y la optimización del proceso.

Para lograr asegurar los resultados y mantener el control de los mismos, se deben utilizar las herramientas indicadas. En este caso se evaluará periódicamente a los empleados para verificar que los mismos están cumpliendo con los tiempos establecidos. Esta evaluación será realizada cada vez que el nivel gerencial lo considere necesario.

Además de la toma periódica de tiempos, se considera vital darles seguimiento a los indicadores de productividad definidos, que permitan visualizar la situación actual y que se estén cumpliendo con los objetivos establecidos. Es decir, que se estén viendo reflejados aumentos de productividad en el proceso, que se estén cumpliendo las metas y que no haya entregas atrasadas.

La idea principal de las ideas anteriormente planteadas, va a permitir saber si las métricas se están cumpliendo conforme con lo establecido, y si existe alguna desviación o incumplimiento de estos, se podrán tomar las medidas necesarias para corregirlo.

CAPÍTULO IV:

LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSA

4.1 Descripción de la situación actual

En el laboratorio de dosimetría del CICANUM, en el último año específicamente, los ingresos por concepto de brindar este servicio se han visto disminuidos considerablemente. Esto preocupa mucho a la Dirección, ya que este servicio representa un alto porcentaje del total de los ingresos que se reciben en el lugar. Sin embargo, con base en las múltiples visitas realizadas a la institución, se han percibido algunas de las principales causas por las cuales se han dado estos problemas y que serán detallados brevemente. Además, de acuerdo con los datos históricos de la empresa, se evidencia que en los últimos seis meses, el centro no ha sido capaz de cumplir con la demanda, lo que preocupa aún más a la Dirección.

Mes	Demanda	Logrado
Agosto	1200	975
Setiembre	1240	1060
Octubre	1180	950
Noviembre	1125	890
Diciembre	1190	950
Enero	1215	1035

Tabla 4. Histórico de demanda versus lo logrado

Fuente: Elaboración propia

4.2 Técnica de los cinco ¿por qué?

El problema principal que presenta el centro actualmente obedece a la alta variabilidad que se da en el proceso y que incurre en la disminución de la capacidad

productiva. Es por esto que se realiza la aplicación de esta técnica para determinar la causa raíz del problema.

Problema: Proceso no estandarizado

¿Por qué? Porque no hay objetivos y metas claras.

¿Por qué no hay objetivos y metas claras? Porque no hay indicadores.

¿Por qué no hay indicadores? Porque no se han definido.

¿Por qué no se han definido? Porque no existe un estudio de tiempos.

4.3 Diagrama de flujo actual y descripción de las etapas del proceso

Primero que nada es importante mencionar que los dosímetros utilizados en el Laboratorio de Dosimetría del CICANUM, son los llamados: Dosímetros de película.



Figura 2. Dosímetro personal filmico. Instituto de Protección Radiológica (2019)

Tal y como lo muestra la imagen, dichos dosímetros son de plástico y de un tamaño bastante pequeño, que contienen dentro una pequeña lámina llamada: película, que es la encargada en conjunto con los filtros de transformar las radiaciones ionizantes para que puedan ser medidas. Estos dosímetros deben ser ubicados en la zona más representativa del cuerpo y debe ser de uso obligatorio para todas las personas expuestas a radiación.

Una vez que estos llegan al centro, siguen un flujo de proceso que se presenta a continuación:

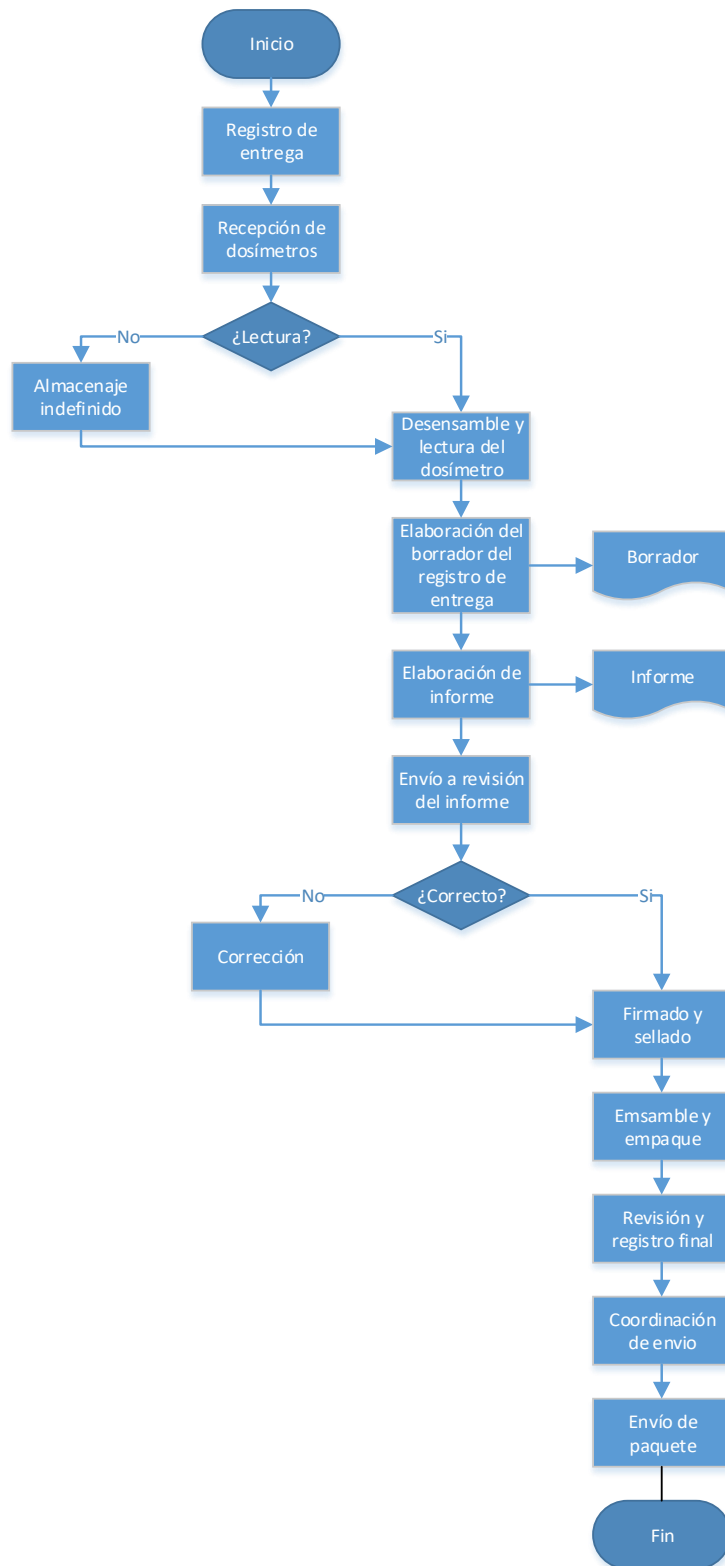


Figura 3. Diagrama de flujo actual

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra el proceso tal y como está definido actualmente en el manual de procedimientos. Y se procederá a describir cada una de las etapas que lo conforman:

- 1) **Registro de entrega:** en esta etapa se llenan los registros de la cantidad de dosímetros que el cliente entrega en ventanilla, la fecha, el lugar de procedencia y número de cliente o de dosímetro.
- 2) **Recepción de dosímetros:** consiste en la recepción en ventanilla de los dosímetros y su conteo.
- 3) **Almacenaje indefinido:** Los dosímetros recibidos en ventanilla son almacenados en una gaveta dependiendo de la cantidad. Si son “muchos”, llámese más de diez, se procesan de manera inmediata, y si son menos de esta cantidad, se almacenan hasta tener más dosímetros acumulados, razón por la cual muchas veces se acumulan cantidades muy grandes porque esto no se controla.
- 4) **Desensamble y lectura:** En esta operación, el personal recoge los dosímetros de la gaveta, procede al desensamble y posterior a esto los ingresa a la lectora para medir las dosis de radiación recibidas.
- 5) **Elaboración del borrador de registro de entrega:** en esta operación, el usuario encargado de la lectura de dosímetros, procede a iniciar con la elaboración del borrador del informe, el cual solo indica el número de los dosímetros leídos.
- 6) **Elaboración del informe:** esta operación consiste en un informe el cual cuenta con las dosis iniciales y finales recibidas en este dosímetro, que permiten saber si las dosis recibidas están dentro de los parámetros permitidos.
- 7) **Revisión del informe:** es esta etapa, un operario se encarga de verificar que los datos registrados en el informe coinciden con los arrojados por la lectora y que no presentan ningún error.
- 8) **Corrección del informe:** para esta operación, si los datos en el informe no coinciden con los arrojados por la lectora se debe identificar el error y proceder a la elaboración de un informe correcto.

- 9) Firma y sellado:** si no existe error alguno en la revisión, se procede a realizar la firma y sellado del informe.
- 10) Ensamble y empaque:** para esta etapa se procede al ensamblaje del dosímetro y al empaque para que estos pueden ser enviados.
- 11) Revisión y registro final:** para esta operación, el personal se encarga de revisar que la cantidad de dosímetros listos para el envío, coincidan con la cantidad de dosímetros registrados al inicio del proceso.
- 12) Coordinación y envío:** esta operación consiste básicamente en el contacto con el cliente vía telefónica, para coordinar la entrega de los dosímetros.
- 13) Envío del paquete:** en esta última etapa el mensajero se encarga de recolectar los dosímetros para proceder a entregarlos en el lugar ya coordinado previamente.

4.4 Indicadores

Una vez identificado el proceso, y con una mejor comprensión del mismo, se pretende establecer indicadores que permitan saber cuál es la situación actual del proceso. Si bien es cierto, pese a que el centro no cuenta en sus registros con pago de horas extras, esto no quiere decir que no exista trabajo acumulado, retrasos en entregas y en ciertas ocasiones incluso hasta la imposibilidad de atraer nuevos clientes por su incapacidad de respuesta. La razón de que no haya horas extras obedece propiamente a una política del centro que va ligada a los regímenes de las instituciones públicas.

Al momento de establecer los indicadores, se toma en cuenta que el ingreso de los dosímetros al centro es variable, es decir, en una mañana puede que haya registros de “x” cantidad ingresados, mientras que por la tarde puede que no haya ningún ingreso. Es por esta razón que los indicadores tomaran medidas específicas de horas diarias y horas semanales, que puedan brindar una visión más cercana a la realidad.

Los indicadores utilizados serán los siguientes:

- **Cantidad de dosímetros leídos/día trabajado**
- **Cantidad de dosímetros leídos/semana trabajada**

De acuerdo con la información brindada por el centro, al momento de iniciar la investigación, se obtienen los siguientes datos:

Lecturas

Lunes: 142 lecturas / 10 horas = 14,2 dosímetros leídos por hora diaria

Martes: 167 lecturas / 10 horas = 16,7 dosímetros leídos por hora diaria

Miércoles: 183 lecturas / 10 horas = 18,3 dosímetros leídos por hora diaria

Jueves: 205 lecturas / 10 horas = 20,5 dosímetros leídos por hora diaria

Viernes: 164 lecturas / 10 horas = 16,4 dosímetros leídos por hora diaria

Semanal: 861 lecturas / 5 días = 172,2 dosímetros leídos por día semanal

Con estos datos recolectados, es posible notar que hay una disminución con respecto al total de dosímetros leídos tanto diarios como semanales en comparación con los dosímetros registrados en los trimestres anteriores, 12370 unidades en el 2017 y 11169 en el 2018 (trimestralmente) Es decir, si semanalmente se leyeran 861 dosímetros esto equivaldría a 3444 unidades mensuales, lo que a su vez representaría 10332 dosímetros trimestrales, cantidad menor incluso a la registrada el último trimestre en estudio (2018). Además, es importante señalar, que estas cantidades responden a lotes de dosímetros de cualquier número (cantidad), ya que durante la investigación se pudo observar que se procesaban lotes de 15, 20, 35 unidades. Pese a que el proceso, por un asunto de costos, tiene definido que el número de dosímetros

que se deben procesar debe ser de 40 unidades, actualmente no se está ejecutando de esta forma.

Lotes	Cantidad de dosímetros	Lotes	Cantidad de dosímetros
Lote 1	20	Lote 11	15
Lote 2	18	Lote 12	30
Lote 3	34	Lote 13	44
Lote 4	37	Lote 14	32
Lote 5	22	Lote 15	24
Lote 6	45	Lote 16	28
Lote 7	27	Lote 17	22
Lote 8	35	Lote 18	15
Lote 9	33	Lote 19	20
Lote 10	27	Lote 20	25

Tabla 5. Registro de cantidades de lotes procesados diciembre 2018

Fuente: Elaboración propia

Estos datos mostrados corresponden a una muestra de 20 lotes obtenidos del registro de datos históricos que mantiene el laboratorio, y se observa claramente la variabilidad que existe en las cantidades de los lotes.

4.5 Estudio de tiempos

4.5.1 Tamaño de la muestra

Para el cálculo de la muestra en un estudio de tiempos se utilizará el método estadístico, en el cual se debe realizar cierto número de observaciones preliminares y luego aplicar la fórmula correspondiente para obtener el tamaño de la muestra; para este caso en estudio se deberán realizar distintos cálculos (ver anexo ya que la operación se dividirá en varios elementos). La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra es la siguiente:

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Figura 4. Fórmula cálculo de muestra

Fuente: Kanawaty (1996) *Introducción al estudio del trabajo*

Donde:

n = tamaño de la muestra

n' = número de observaciones preliminares

\sum = sumatoria de los valores

x = valor de las observaciones

Se procederá al cálculo de la muestra de la siguiente manera, cabe destacar que los tiempos aquí presentados están en minutos y que además se midieron lotes de 40 dosímetros por cada observación. Se toma la decisión de trabajar lotes con esta cantidad de dosímetros ya que dentro del manual de procedimientos esta descrito de esta forma. Esto porque la maquina lectora trabaja con un hidrógeno especial que, según las especificaciones de la misma máquina, no debe exceder más de 50 dosímetros por turno. Es por esta razón, que se trabaja esta cantidad para la optimización de este insumo, ya que con lotes más pequeños habrá más utilización de dicho hidrógeno y se recurrirá a mayores gastos. Adicional a esto, se debe hacer referencia a que no se trabajan lotes de 50, debido a que trabajar la maquina al 100% de su capacidad no es lo recomendado.

Es importante resaltar que se debe calcular el tamaño de muestra para cada uno de las operaciones involucradas en la **Figura 3**, por lo que se considera la actividad de “envío” como ejemplo. Por otra parte, para el cálculo de la muestra en el ejemplo siguiente, se definen cinco observaciones preliminares Esta cantidad corresponde a observaciones de cinco lotes de 40 dosímetros cada uno y no a dosímetros individuales:

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x^2	Observaciones necesarias
Envío	5	21 min	441 min	7
		19 min	361 min	
		21,5 min	462,3 min	
		18,5 min	342,3 min	
		22 min	484 min	
	Suma	102 min	2090,5 min	
	Observaciones adicionales	21 min	441 min	7
		19 min	361 min	
		21,5 min	462,3 min	
		18,5 min	342,3 min	
		22 min	484 min	
	Suma	144 min	2974,5 min	

Tabla 6. Calculo de muestra para envío

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención del número del tamaño de la muestra (7) se aplica la siguiente fórmula:

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{5 * 2090,5 - (102)^2}}{102} \right)^2 = 7.4$$

Figura 5. Calculo de tamaño de muestra envío

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que para este caso, las cinco observaciones preliminares no fueron suficientes debido a la variabilidad de los datos recolectados, ya que al momento de aplicar la fórmula dada, tal y como se muestra en el cálculo anterior, esta indica que

el número de observaciones necesarias debe ser siete, y esta no puede ser mayor que la cantidad de observaciones preliminares (Kanawaty pág. 235). Es por esta razón que se procede a incluir dos observaciones más que permitieran obtener en observaciones necesarias un valor menor a las observaciones preliminares.

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{7 * 2974,5 - (144)^2}}{144} \right)^2 = 6.6$$

Figura 6. Cálculo de muestra de envío con observaciones adicionales

Fuente: Elaboración propia

Además al momento de aplicar dicha fórmula a las siete observaciones preliminares, esta nos como resultado que se necesitan únicamente 6.6 observaciones o bien siete, debido a que la variabilidad fue menor. Para este caso, ya no se deben agregar más observaciones preliminares ya que el resultado arrojó un número menor de observaciones necesarias.

El cálculo de las actividades restantes se muestran en el **apéndice 1**, y a continuación se muestra un cuadro resumen de dichos cálculos:

Cuadro resumen tamaño de muestra		Cantidad de observaciones
Recepcion de dosímetros		5
Registro de entrega		8
Desensamble y lectura de dosímetros		9
Elaboracion del borrador de registro de entrega		5
Elaboracion del informe		10
Revision del informe		5
Correccion del informe		7
Firmado y sellado		9
Ensamble y empaque		5
Revision y registro final		5
Coordinacion de envio		3
Envío		7

Tabla 7. Resumen tamaño de muestras de operaciones

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 De los tiempos observados a los tiempos normales o básicos

Para el cálculo de los tiempos normales, se debe hacer la valoración del ritmo para cada uno de los tiempos observados. Se debe proceder a valorar el ritmo de trabajo, el cual viene a ser una de las fases más delicadas del estudio de tiempos, ya que queda a criterio del analista. Para la valoración del ritmo, se debe primero identificar un ritmo tipo, el cual generalmente va a estar definido por un **100**, de aquí se parte para identificar si el trabajador realiza la actividad a un ritmo menor o más lento que lo normal, entonces se le asignara algún valor inferior al 100, generalmente valores múltiplos de cinco, o si por el contrario, se considera que trabaja a una velocidad superior a la normal, se le asignara entonces un valor mayor que 100. Una vez que

los tiempos observados estén promediados se procederá a aplicar la siguiente formula:

$$T_n = T_e \times \frac{\text{Valor Atribuido}}{\text{Valor Estándar}}$$

Figura 7. Fórmula cálculo tiempo normal

Fuente: Kanawaty (1996) *Introducción al estudio del trabajo*

Donde:

T_n = tiempo normal o básico

T_e = tiempos observados

Para el cálculo de los tiempos normales cabe destacar que el ritmo se debe calcular a cada uno de los tiempos observados y no al promedio de los mismos. A continuación se presenta el cálculo de los tiempos normales para la operación de envío la cual se utiliza como ejemplo para mostrar los datos. Los cálculos de los tiempos normales de las demás operaciones se pueden observar en el **apéndice 2**:

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			95
Envío		21 min	20 min
		19 min	18,1 min
Tamaño de muestra	7	21,5 min	20,4 min
		18,5 min	17,6 min
		22 min	20,9 min
		20 min	19 min
		22 min	20,9 min
	Tiempo normal		19,54 min

Tabla 8. Calculo del tiempo normal para envío

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Adición de los suplementos

Para cualquier tarea o labor desempeñada, es de vital importancia siempre agregar el porcentaje de los tiempos suplementarios, con la idea de tener tiempos estándares más cercanos a la realidad. La adición de suplementos para este caso, corresponden únicamente a suplementos por necesidades personales y suplementos base por fatiga, ya que se considera que las actividades se realizan en condiciones óptimas de temperatura, iluminación, ergonomía, entre otras. El porcentaje de suplementos asignado para este estudio, están dados por la Organización Internacional Del Trabajo (ver anexo 23) y corresponden a un 9% para hombres y 11% para mujeres.

Para el cálculo del tiempo estándar con sus respectivos suplementos se utilizará la siguiente fórmula:

$$Tt = Tn \times (1 + Suplementos)$$

Figura 8. Fórmula cálculo tiempo estándar

Fuente: Kanawaty (1996) *Introducción al estudio del trabajo*

Donde:

Tt = tiempo tipo o tiempo estándar

Tn = tiempo normal o básico

A continuación se mostrará un cuadro resumen en el que se observa el tiempo estándar ya definido para todas las operaciones:

Cuadro resumen tiempos estándares	Tiempo normal	Suplementos	Tiempo estandar
Recepcion de dosímetros	3,02 min	11%	3,35
Registro de entrega	23,75 min	11%	26,36
Desensamble y lectura de dosímetros	7,29 min	11%	8,09
Elaboracion del borrador de registro de entrega	4,07	11%	4,52
Elaboracion del informe	4,45 min	9%	4,85
Revision del informe	3,28 min	9%	3,57
Correccion del informe	4,86 min	9%	5,30
Firmado y sellado	1,04 min	9%	1,13
Ensamble y empaque	7,14 min	11%	7,93
Revision y registro final	3,79 min	11%	4,21
Coordinacion de envio	13,18 min	11%	14,62
Envío	19,54 min	9%	21,30

Tabla 9. Cuadro resumen de tiempos con suplementos

Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Cálculo del tiempo estándar de la operación

Para el cálculo del tiempo estándar de la operación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\sum Tt = \textit{Tiempo Estándar}$$

Figura 9. Fórmula cálculo tiempo estándar total

Fuente: Kanawaty (1996) *Introducción al estudio del trabajo*

Donde:

ΣTt = sumatoria de los tiempos tipos o tiempos estándar de los elementos.

Es válido resaltar que para efectos del caso en estudio, se obtendrán dos tiempos estándar de la operación, el primero será para aquellos procesos que no necesiten corrección de informe, y el segundo para aquellos que sí lo necesiten. A continuación tiempos estándares de la operación:

	Tiempo estándar total sin corrección
Registro de entrega	26,36 min
Recepción de dosímetros	3,35 min
Desensamble y lectura	8,09 min
Elaboración del borrador	4,52 min
Elaboración del informe	4,85 min
Revisión del informe	3,57 min
Firma y sellado	1,13 min
Ensamble y empaque	7,93 min
Revisión y registro final	4,21 min
Coordinación de envío	14,62 min
Envío	21,30 min
TOTAL	99,94 min

Tabla 10. Tiempos estándar del proceso sin correcciones

Fuente: Elaboración propia

	Tiempo estándar total con corrección
Registro de entrega	26,36 min
Recepción de dosímetros	3,35 min
Desensamble y lectura	8,09 min
Elaboración del borrador	4,52 min
Elaboración del informe	4,85 min
Revisión del informe	3,57 min
Corrección del informe	5,30 min
Firma y sellado	1,13 min
Ensamble y empaque	7,93 min
Revisión y registro final	4,21 min
Coordinación de envío	14,62 min
Envío	21,30 min
TOTAL	105,23 min

Tabla 11. Tiempo estándar del proceso con correcciones

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las tablas anteriores, es posible observar que para el proceso que incluye correcciones se requiere de poco más de cinco minutos adicionales. Según los datos recolectados en la institución, cuatro de cada diez reportes requieren de corrección, lo que significa que por cada diez lotes existe un periodo de aproximadamente veinte minutos que se utiliza para esta operación.

Numero de lote	Estudio de tiempos inicial
Lote 1	99,9 min
Lote 2	99,9 min
Lote 3	99,9 min
Lote 4	99,9 min
Lote 5	99,9 min
Lote 6	99,9 min
Lote 7 (con corrección)	105,2 min
Lote 8 (con corrección)	105,2 min
Lote 9 (con corrección)	105,2 min
Lote 10 (con corrección)	105,2 min
Total	1020,2 min
Horas requeridas para procesar 10 lotes	17

Tabla 12. Cantidad de horas necesarias para procesar 10 lotes

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se puede observar que se necesitan 17 horas para poder procesar 10 lotes de 40 dosímetros. Considerando que el laboratorio trabaja 50 horas semanales se tiene que:

Cantidas de lotes	Cantidad de horas
10	17
20	34
30	51

Tabla 13. Cantidad de lotes procesados por semana

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de contemplar cuantos dosímetros pueden ser leídos semanalmente, basta con determinar que en el laboratorio se trabajan 50 horas semanales (cinco días de diez horas cada uno), por lo que para en este estudio de tiempos (17 horas por cada diez lotes), se pueden trabajar poco menos de 30 lotes semanales equivalentes a 1175 dosímetros semanales, 4700 mensuales y 14100 trimestrales. Dichos datos obtenidos en este estudio de tiempos, da una referencia para saber tiempos aproximados de las operaciones y la cantidad de dosímetros que se puede procesar, y de aquí partir para implementar mejoras dentro del proceso y aplicar un nuevo estudio de tiempos que permita observar cuánto más se puede mejorar desde este punto de referencia que se acaba de plantear.

La diferencia de lecturas entre el escenario inicial y este estudio de tiempos, es considerable y se evidencia que actualmente tal y como se muestra en la **Tabla 4** no se está alcanzado ni tan siquiera esta cifra de lecturas. La razón obedece a que como se menciona en la definición del problema, los operarios no tienen claro o desconocen las metas diarias dentro del laboratorio, motivo por el cual trabajan a su propio ritmo y generan menor producción de la que se debería. Con la aplicación de este estudio de tiempos inicial, se evidencia que se tiene la capacidad para una mayor cantidad de lecturas, sin embargo, no la suficiente para suplir las demandas, por lo cual se deben implementar algunas mejoras que serán evaluadas brevemente a continuación y que servirán para aumentar la capacidad productiva del laboratorio.

4.5.5 Análisis del proceso

Pese a que el centro cuenta con su debido manual de procedimientos y además con un estudio de movimientos realizado hace poco (inicios del 2018), se pudieron observar algunas cosas que serán detalladas a continuación y que serán de gran ayuda para optimizar el proceso

a) Registro de entrega:

En esta etapa se llenan los registros de la cantidad de dosímetros que el cliente entrega en ventanilla, la fecha, el lugar de procedencia y número de cliente o de dosímetro. Dicha operación es ejecutada de acuerdo con la información brindada por el cliente, es decir si este indica que entrega diez dosímetros, el operario debe proceder a registrar esta cantidad en el formulario tal y como este lo indica. Posteriormente se realiza la recepción de los dosímetros, lo que se describe a continuación.

b) Recepción de dosímetros:

Para esta operación, se reciben los dosímetros que trae el cliente y se procede al conteo de los mismos para corroborar que la información brindada es la correcta. Es aquí donde los problemas empiezan a darse, ya que en algunas ocasiones el cliente brinda mal la información inicial y por ende el formulario iniciado ya no sirve, razón por lo cual se debe iniciar a completar otro. Dicho movimiento significa grandes lapsos perdidos y además re trabajos, ya que como se menciona anteriormente, el formulario debe ser completado de nuevo.

A continuación se muestra el diagrama de flujo para comprender mejor lo anteriormente planteado:

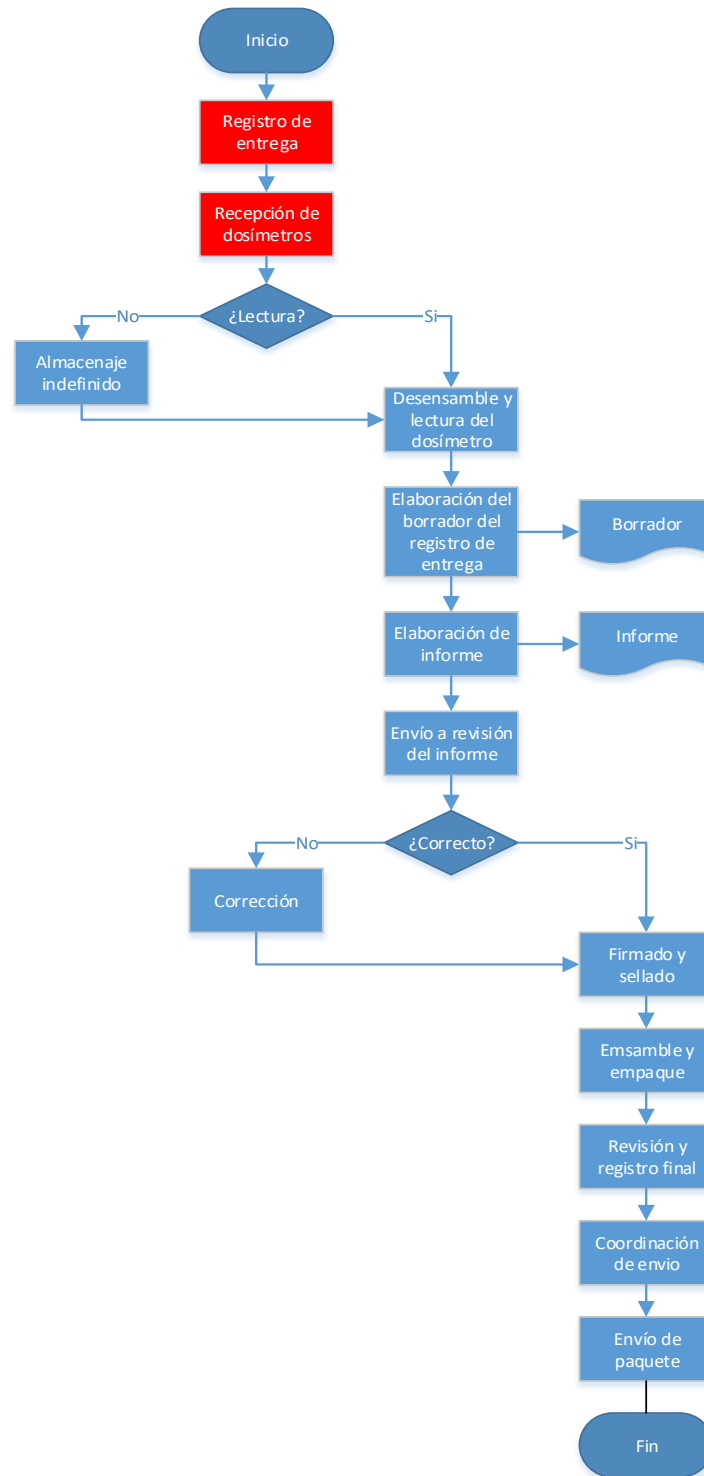


Figura 10. Diagrama de flujo actual

Fuente: Elaboración Propia

c) Almacenamiento indefinido

Otra de las acciones que se dan durante el proceso, y quizás una de las más perjudiciales, es el almacenamiento indefinido de los dosímetros. Para entender mejor este punto, se debe saber que luego de la recepción y el registro de entrega, dependiendo de la cantidad recibida, los dosímetros son almacenados hasta que el siguiente operario decida buscarlos para su lectura. Muchas veces, por no indicar que siempre, este almacenamiento conlleva a grandes cantidades de dosímetros almacenados (actualmente 1173 dosímetros).

Los operarios tienen “definido” que si la cantidad recibida de dosímetros es mayor que diez unidades, se procede a la lectura correspondiente, pero si es menor a esta cantidad entonces se almacenan hasta acumular una cantidad mayor que diez unidades. Lo ideal sería que el momento de recibir una cantidad menor que diez, se proceda a completar el lote con las unidades que ya están almacenadas y así poder ejecutar la lectura de manera inmediata. Sin embargo, suele suceder que la mayoría de las veces acumulan estas pequeñas cantidades de manera recurrente, que termina provocando que estas se conviertan en cantidades bastante significativas de dosímetros, que al final de cuentas son las mismas que se consideran como trabajo acumulado. Todas estas situaciones obedecen a la poca claridad que se tiene del proceso y a la falta de metas, ya que los mismos operarios desconocen o carecen de alguna guía que les indique la manera correcta como se debería ejecutar este almacenamiento. Por otra parte, si se tuviera una meta diaria establecida, este tipo de acumulamiento repetitivo de cantidades pequeñas también se evitaría, ya que los operarios tendrían la tarea de alcanzar lo planteado por la empresa y no acumularían de esta manera los dosímetros pensando en que se puede hacer luego u otro día y nada pasa.

Además si bien es cierto la demanda actual de la empresa según los datos obtenidos por la misma es de 1100 a 1250 unidades semanales (ver Tabla 4), se podría decir que semanalmente y de acuerdo con el estudio de tiempos inicial, que indica que se tiene capacidad para 1175 lecturas, debería almacenarse entre 25 y 75 dosímetros por semana. Esto es quizás es lo que provoca que actualmente, junto con la poca definición del proceso y el procesamiento de lotes de tamaños variables, se tenga esta cantidad tan grande de trabajo acumulado.

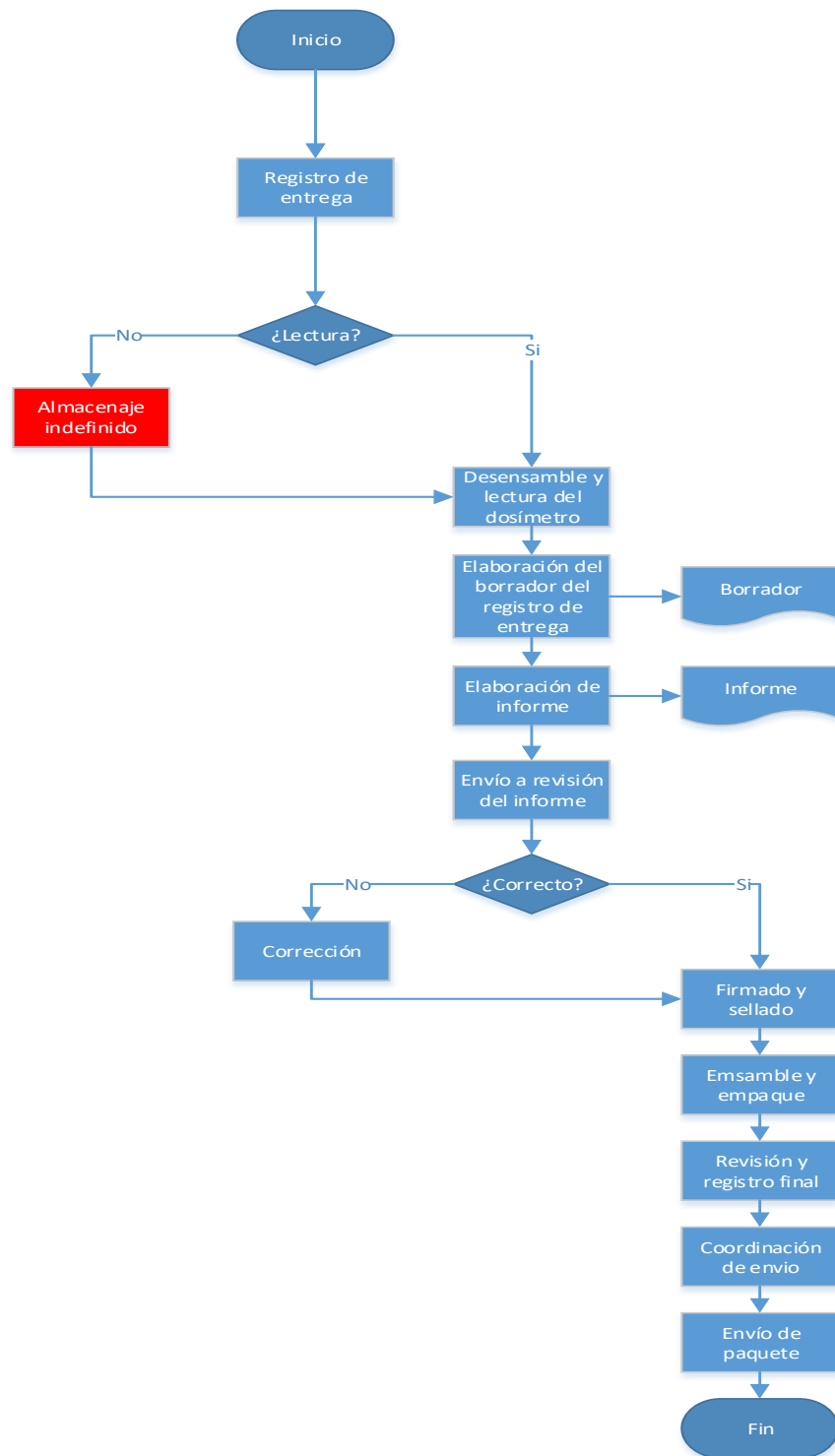


Figura 11. Diagrama de flujo actual

Fuente: Elaboración propia

d) Desensamble y lectura:

Para esta operación en concreto, se procede al desarme del dosímetro para extraer la película (ver **figura 2**), la cual es la que se introduce en la máquina lectora para su posterior lectura. Dicha actividad podría ser considerada como la que se ejecuta con mayor efectividad.

e) Elaboración del borrador del informe:

Dicha operación obedece a la elaboración del informe que genera únicamente la cantidad de dosímetros leídos. Esta es la actividad que se realiza en el periodo de tiempo más corto y no es de mucha dificultad.

f) Elaboración del informe:

Para esta operación se elabora un informe en el que se indican los datos de radiación recibida inicial versus los datos finales, que determina si estos se encuentran dentro de los límites permitidos. Esta operación se ejecuta de manera rápida y sin ningún tipo de complicaciones.

g) Revisión del informe:

En esta operación se procede a realizar una verificación del informe físico y el informe digital generado por la máquina lectora. En esta parte el operario se encarga de verificar manualmente que los datos de los límites permitidos aquí mostrados sean veraces. Es decir, si al momento de realizar una resta entre la dosis final menos la

inicial el resultado no coincide con el mostrado en el informe, se debe proceder a realizar una corrección.

h) Corrección:

Esto obedece a que la máquina no está haciendo bien sus funciones según el operario del laboratorio. Este proceso de corrección se da porque la máquina lectora muchas veces no “extrae” algunos datos o información del dosímetro, y al momento de ser revisado el informe por el operario, éste detecta que las cantidades no son las correctas. Es entonces cuando, dicho operario debe verificar y corregir para que los datos sean coherentes y que la información que se brinda sea completamente veraz.

Meses atrás, con la colaboración del ingeniero en sistemas del centro, se realizó un estudio en dicha máquina que determinó que el problema en los informes obedece a un inconveniente con un componente o dispositivo electrónico de la máquina, lo que implica que la misma algunas veces no sea capaz de extraer la información de algunos dosímetros, sin embargo esto quedó en la investigación y pesar de que el centro gestionó la compra del repuesto y lo tiene disponible en bodega, nunca se realizó el paro del equipo para darle solución al problema, ya que dicha situación, actualmente para la organización no es relevante, puesto que cuentan con el operario que realice las correcciones y que además no demora “mucho” tiempo realizando esta acción. Sin embargo y como se muestra en la **Tabla 11**, cuatro de cada diez informes deben corregirse, lo que se traduce ya en un tiempo considerable al día, y ni que decir si se habla de semanas y meses, solo por el simple hecho de no darle a la máquina lectora el mantenimiento requerido. Se muestra además a continuación, un cuadro con los registros de los lotes que requirieron corrección en el último semestre:

Mes	Lotes con correccion
Agosto	42
Setiembre	32
Octubre	36
Noviembre	36
Diciembre	40
Enero	34

Tabla 14. Lotes con correcciones en meses pasados

Fuente: Elaboración propia

Además se muestra a continuación el diagrama de flujo que permite identificar dónde se encuentra esta operación en el flujo de línea:

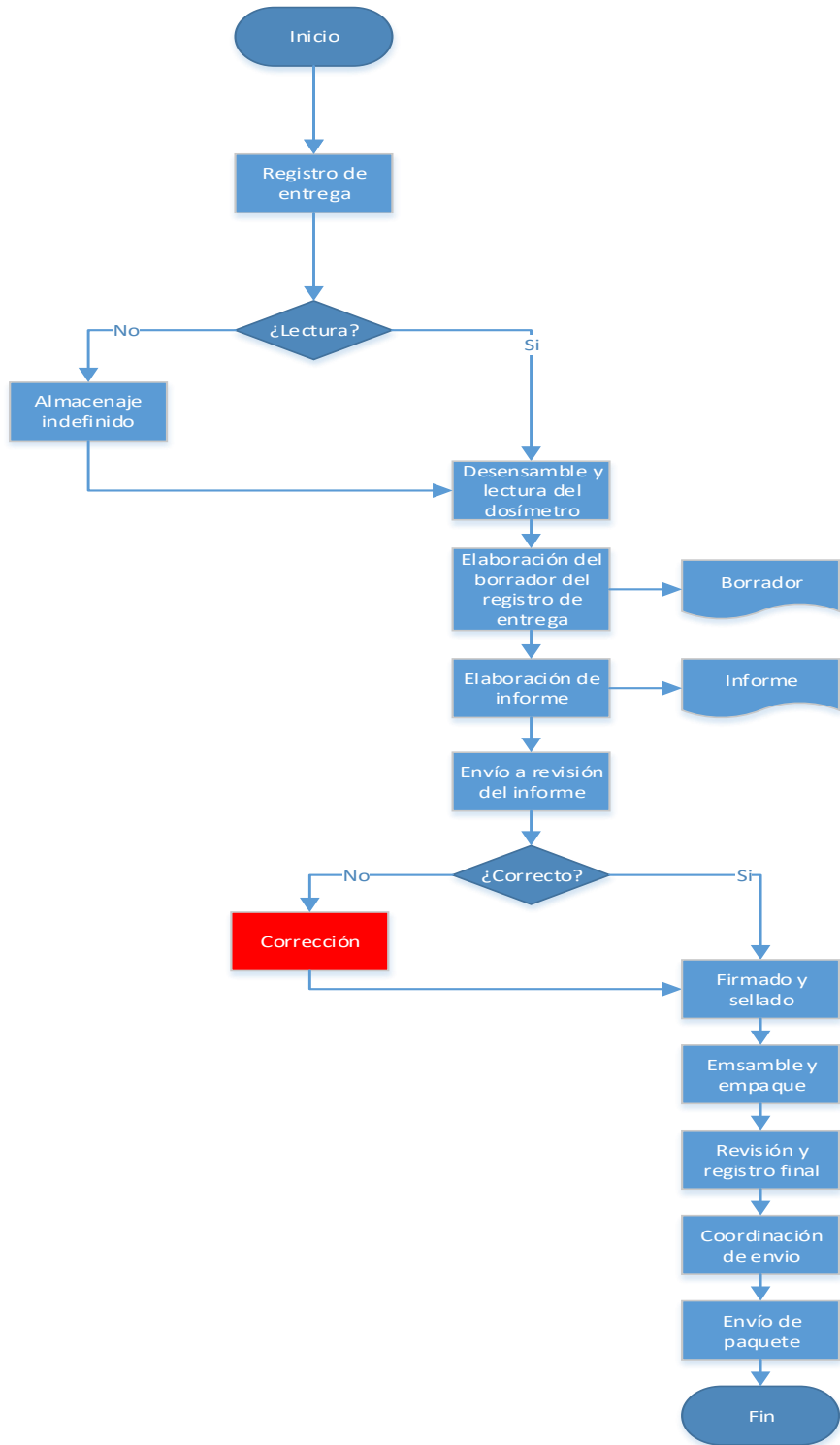


Figura 12. Diagrama de flujo actual

Fuente: Elaboración propia

i) Firma y sellado:

Posterior a la revisión y una eventual corrección, se debe proceder a firmar y sellar los informes generados. Esta operación requiere de una inversión de tiempo mínima.

j) Ensamble y empaque:

Una vez firmados y sellados los informes, se procede al ensamble del dosímetro, y se introduce nuevamente la película dentro de la carcasa del dosímetro y posteriormente se empaqueta para proceder al envío. En esta operación la complejidad es un poco mayor a las anteriores, sin embargo, la *expertise* del operario hace que esta operación no sea un problema dentro del proceso.

k) Revisión y registro final:

Una vez que los dosímetros estén ya empacados se procede a la revisión de que la cantidad contenida dentro del empaque coincida con la misma registrada en el sistema en el momento del registro inicial.

l) Coordinación del envío:

En esta operación se procede a coordinar el envío con el cliente, ya sea que este recoja los dosímetros en ventanilla o bien se procede a hacer el envío con el mensajero del laboratorio.

m) Envío

El envío se realiza cuando el cliente así lo solicita, en este caso, la recolección de los dosímetros listos para enviar y su posterior entrega está a cargo del mensajero del laboratorio.

CAPÍTULO V:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

5.1 Planteamiento de las mejoras

A continuación se detallarán algunas de las mejoras propuestas en el proceso para la posterior aplicación de un estudio de tiempos final que permita una mayor capacidad productiva:

a) Combinación de operaciones

Para el diagrama de flujo mostrado a continuación, se puede observar que en comparación con el diagrama de flujo expuesto en el capítulo 4 (ver figura 10), el único cambio que se muestra obedece únicamente a la combinación de las dos primeras operaciones que dará como resultado una optimización del proceso. Se combina la operación de recepción y la de registro, con el fin de mejorar los tiempos. Esto implica que el operario sea quien realice el conteo de los dosímetros y posterior a esto llenar el formulario contra este dato. Caso contrario a como se daba antes, que el operario primero llenaba el formulario con la información que el cliente le brindaba y posteriormente revisaba que los mismos fueran correctos, y que significaban los trabajos q ya mencionados.

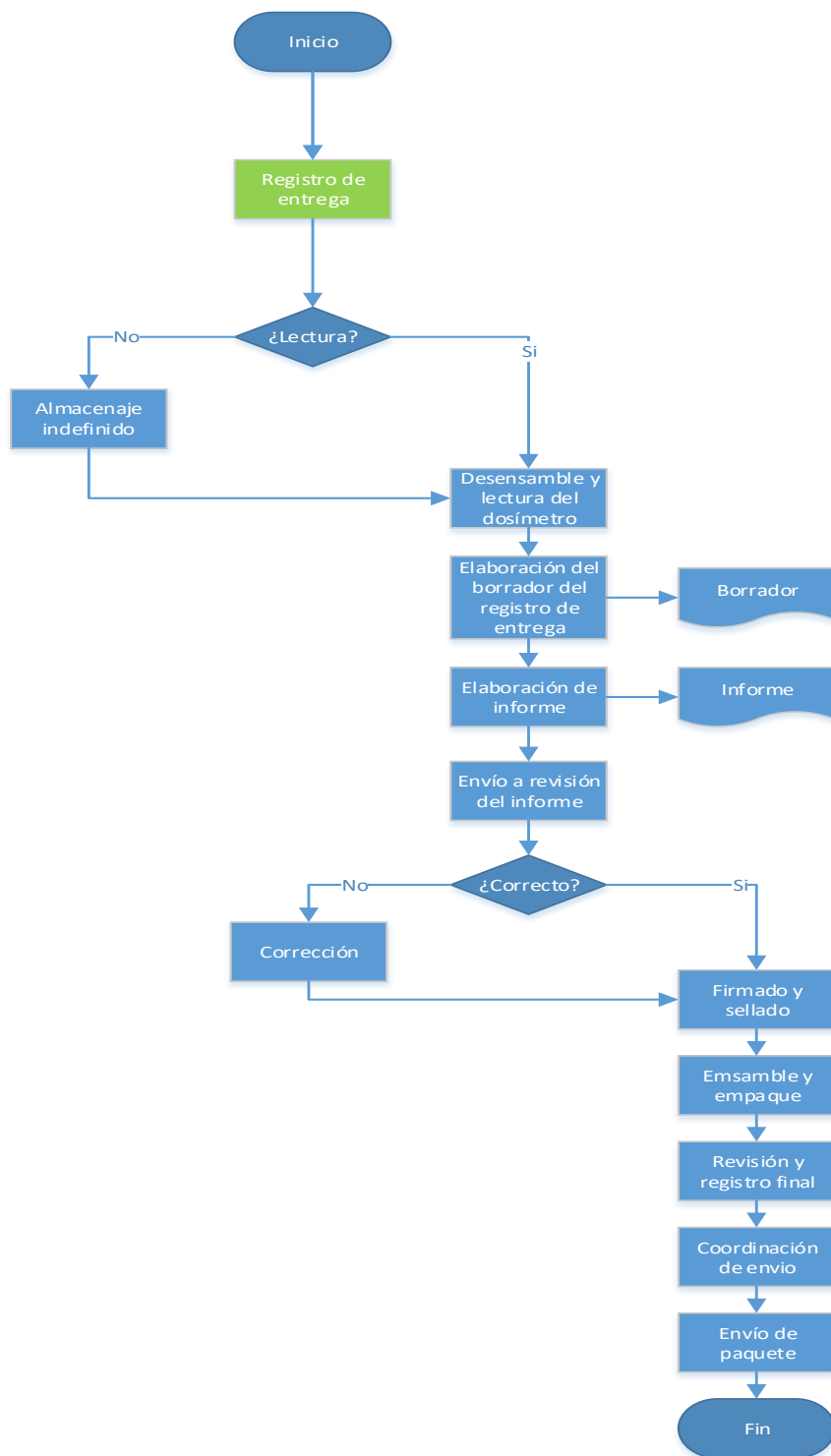


Figura 13. Diagrama de flujo actualizado (combinación de operaciones)

Fuente: Elaboración propia

b) Almacenamiento temporal

Si bien es cierto, cualquier almacenamiento puede ser perjudicial y lo más óptimo sería eliminarlo, para este caso en específico y por la naturaleza del proceso, no es posible. Como se mencionó anteriormente en la investigación, la máquina lectora utiliza hidrógeno, razón por la cual no sería rentable iniciar con lecturas cada vez que llegue un dosímetro o dos. Es por esta razón que se decide tomar este almacenamiento como algo temporal, hasta que al menos haya 40 dosímetros para lectura. Esta cantidad de 40 ya está definido dentro del manual de procedimientos de esta forma, ya que se pretende optimizar también el uso del hidrógeno. Además, la máquina lectora tiene una capacidad máxima de 50 lecturas a la vez y no es recomendable utilizar los equipos al 100% de su capacidad, por lo tanto, se decide utilizar una cantidad un poco menor.

Si se observa el escenario inicial, se tenía que la cantidad de dosímetros por lote para procesar, debía ser mayor que diez unidades, esto provocaba una mayor variabilidad en el tamaño de los lotes, ya que no existía, o al menos los operarios desconocían, una cantidad definida. Por estas razones, la cantidad de unidades que se procesaban podía ser cualquiera siempre y cuando fuera mayor que diez. Además, al momento de recibir cantidades menores que diez, estas se almacenaban, cuando lo ideal debía ser completar ese lote de cantidad pequeña con otras unidades que ya estuvieran almacenadas y así ejecutar la lectura.

Para la mejora planteada, además de la definición de lotes específicos de 40 unidades, se mantendrá un control más riguroso con respecto a los dosímetros almacenados, esto con la idea de evitar que se acumulan dosímetros sin ningún control. Es decir, si se reciben lotes de menor cantidad a la establecida, se debe, de manera inmediata, revisar si se tienen dosímetros almacenados y completar con estos

las 40 unidades para proceder con la lectura. Esto con la idea de evitar que se acumulen grandes cantidades.

Para la revisión y el cumplimiento de esta mejora, se pretende que el ingeniero industrial del centro haga recorridos diarios dentro del laboratorio, al menos una o dos veces al día, con la idea de verificar que las cantidades acumuladas no sean mayores que las 40 unidades.

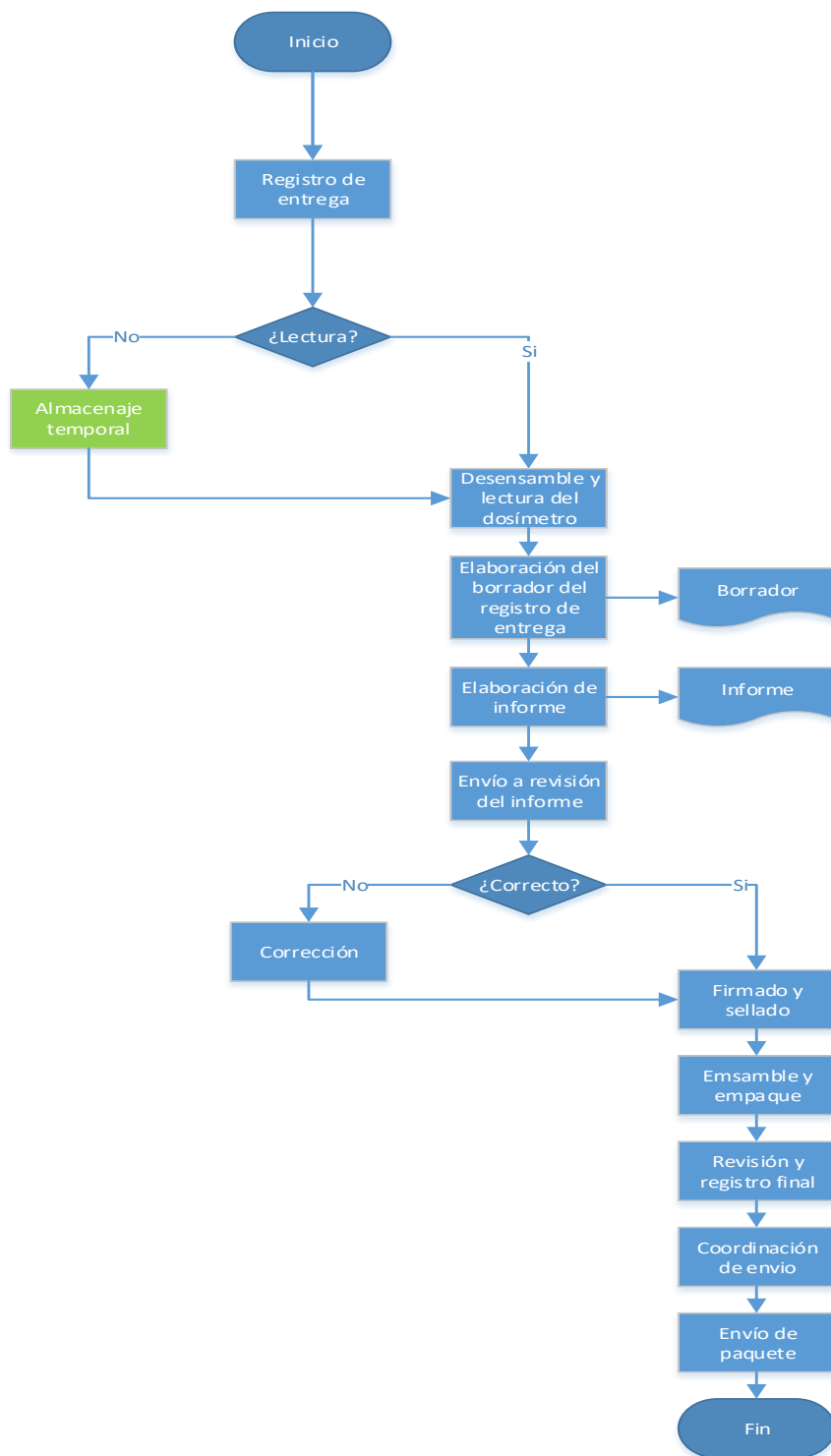


Figura 14. Diagrama de flujo actualizado (Almacenamiento temporal)

Fuente: Elaboración propia

c) Eliminación de las correcciones

Tal y como se menciona en el capítulo anterior, cuatro de cada diez informes requieren de corrección, lo que implica una mayor cantidad de tiempo invertido en esta operación. El hecho de realizar las correcciones se da, porque la máquina no ejecuta al 100% bien sus funciones, que a la postre afectan todo el proceso. Dicho problema tal y como se evidenció en el capítulo 4, obedece al mal funcionamiento de un componente o dispositivo electrónico que provoca que algunas veces no se extrae la información de los dosímetros. Dicho problema se investigó meses atrás y a pesar de que el repuesto del componente se encuentra en la bodega del laboratorio, no se ha gestionado o planeado el día para realizar este ajuste. Esto se debe a que en el laboratorio se “acostumbraron” a este problema, y la alta gerencia no le vio un sentido de urgencia a la situación debido a que contaban con el personal que corrige estos informes.

Como parte de las propuestas de mejora, se decide gestionar la acción del cambio del componente para así poder eliminar esta operación del diagrama de flujo ya que esto permitirá tener la máquina funcionando correctamente y brindando datos e informes 100% veraces sin necesidad de corrección.

Pese a que para la empresa esta corrección no significa grandes costos, no dimensionan la cantidad de tiempo invertido y lo que esto podría significar si se transformara en términos monetarios. Es por esta razón que se propone solucionar los inconvenientes en la máquina para así poder procesar lotes sin necesidad de corrección, que además de ayudar en la reducción de tiempos, genera un cien por ciento de fiabilidad en los informes y permitirá aumentar la capacidad productiva.

Dicha mejora se pretende con:

- 1) Implicación del profesional del centro encargado de sistemas para el reemplazo del componente de la máquina. Se destinará un día específico que debe definir la Gerencia para realizar este reemplazo.
- 2) Mantenimiento preventivo de la máquina lectora, esto se realizará una vez por semana al inicio del turno, con la idea de verificar que la máquina esté funcionando correctamente y en caso de no ser así, solucionarlo de manera inmediata.

A continuación se muestra cómo cambia el diagrama de flujo, sin la operación de corrección:

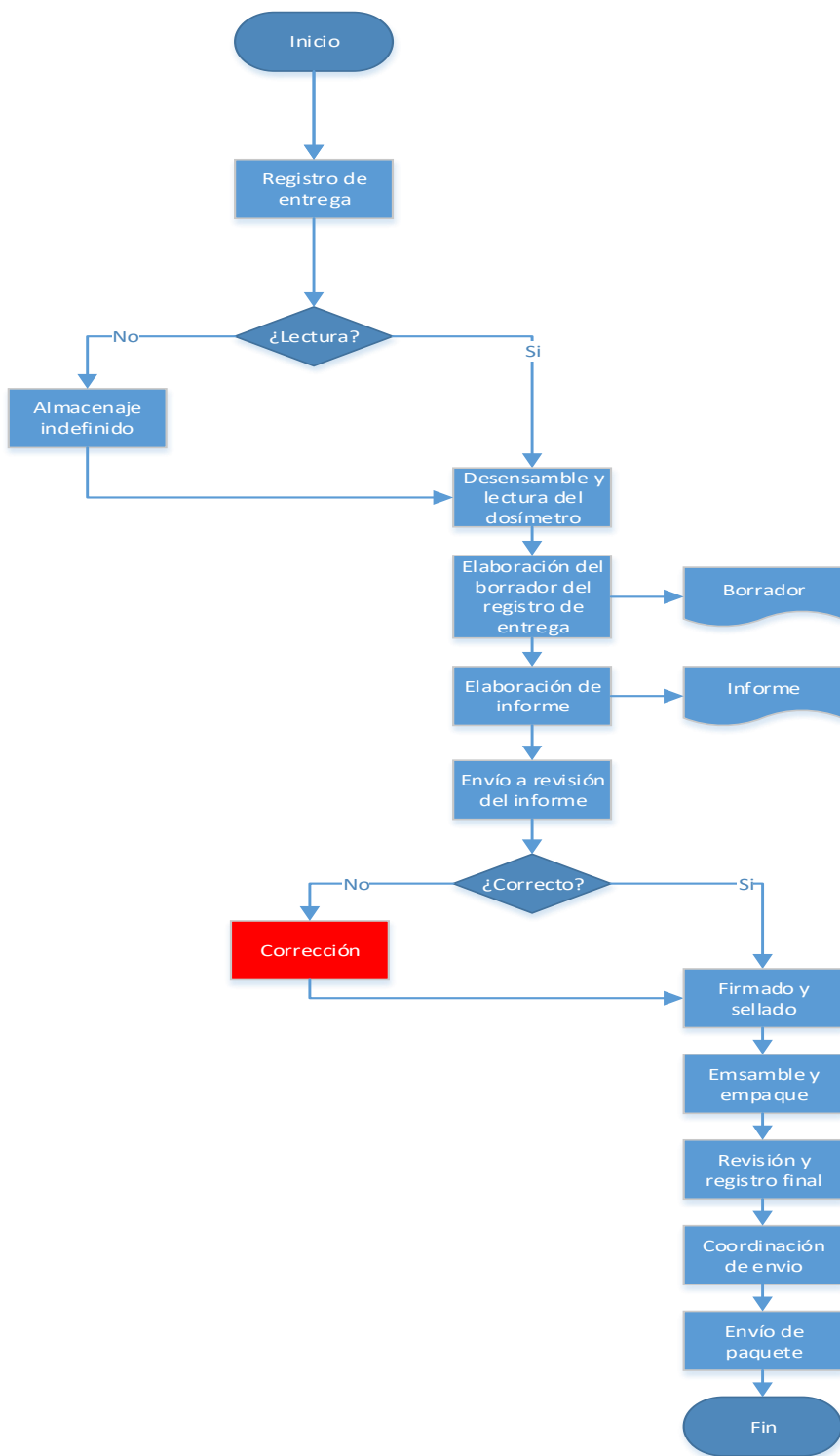


Figura 15. Diagrama de flujo con corrección

Fuente: Elaboración propia

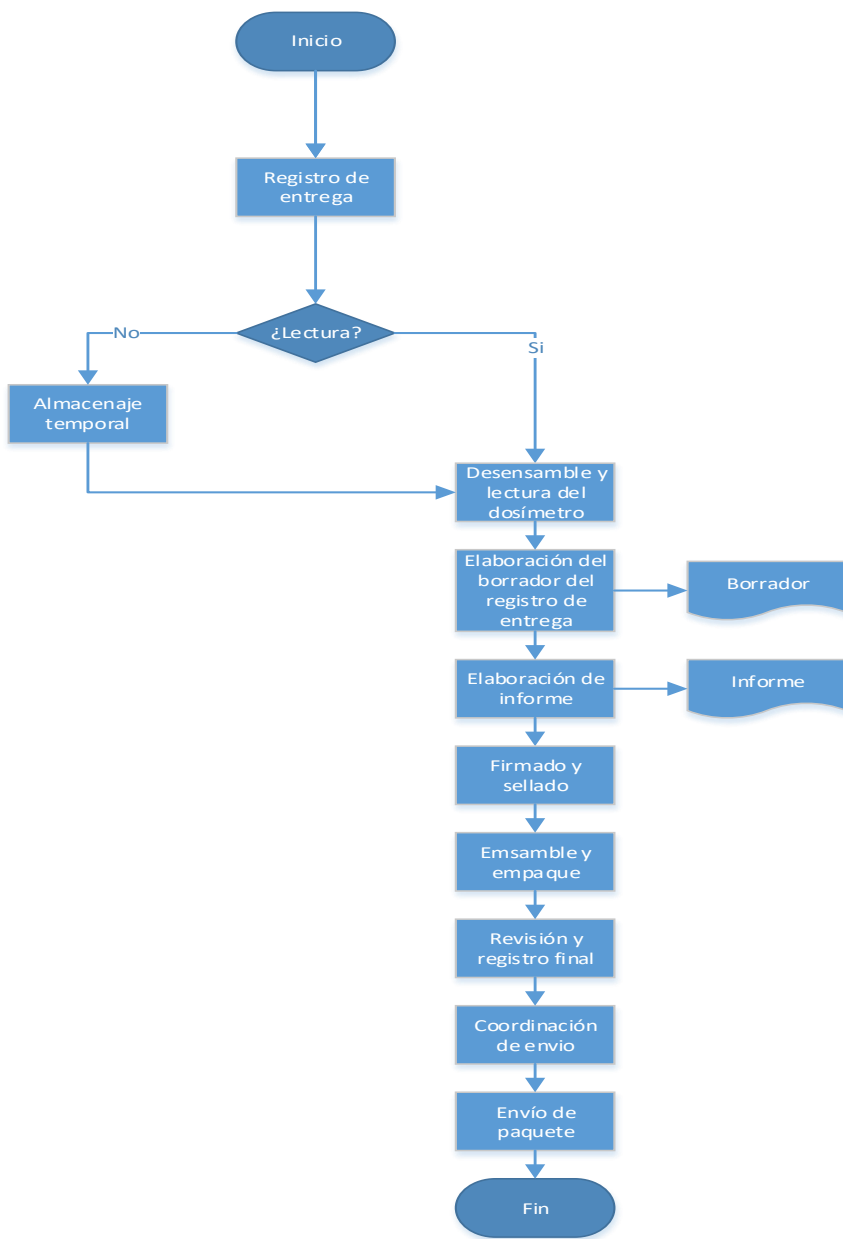


Figura 16. Diagrama de flujo actualizado (eliminación de corrección)

Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Desarrollo del estudio de tiempos final

Luego de mencionar las ideas planteadas sobre pequeñas mejoras dentro del proceso, se considera pertinente realizar otro estudio de tiempos, con el fin de visualizar un antes y un después del proceso y además identificar cuánto han disminuido los tiempos de la operación, ya que en comparación con el diagrama de flujo inicial, antes se tenían 12 operaciones, mientras que en el actual únicamente diez, lo cual se muestra a continuación y evidencia que se ha optimizado el proceso:

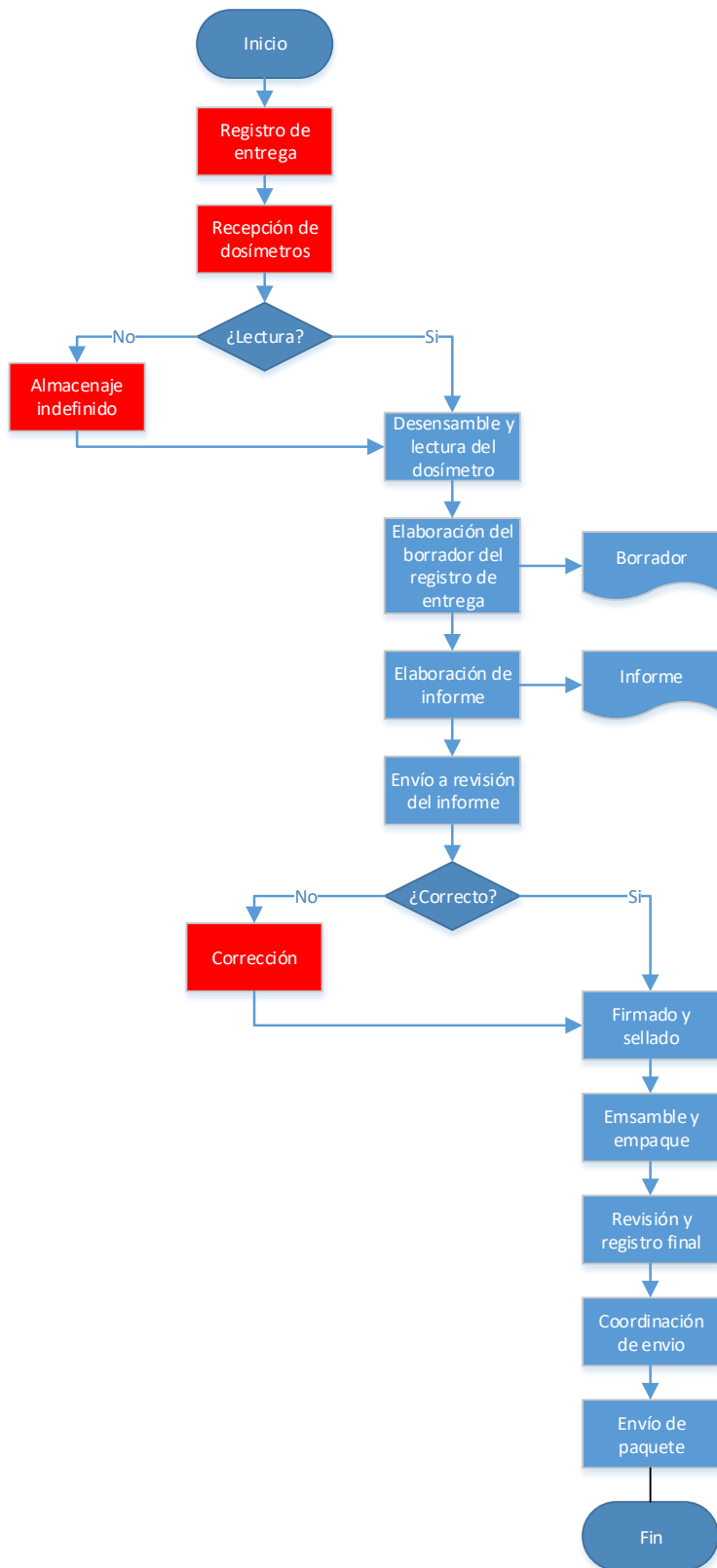


Figura 17. Diagrama de flujo inicial

Fuente: Elaboración propia

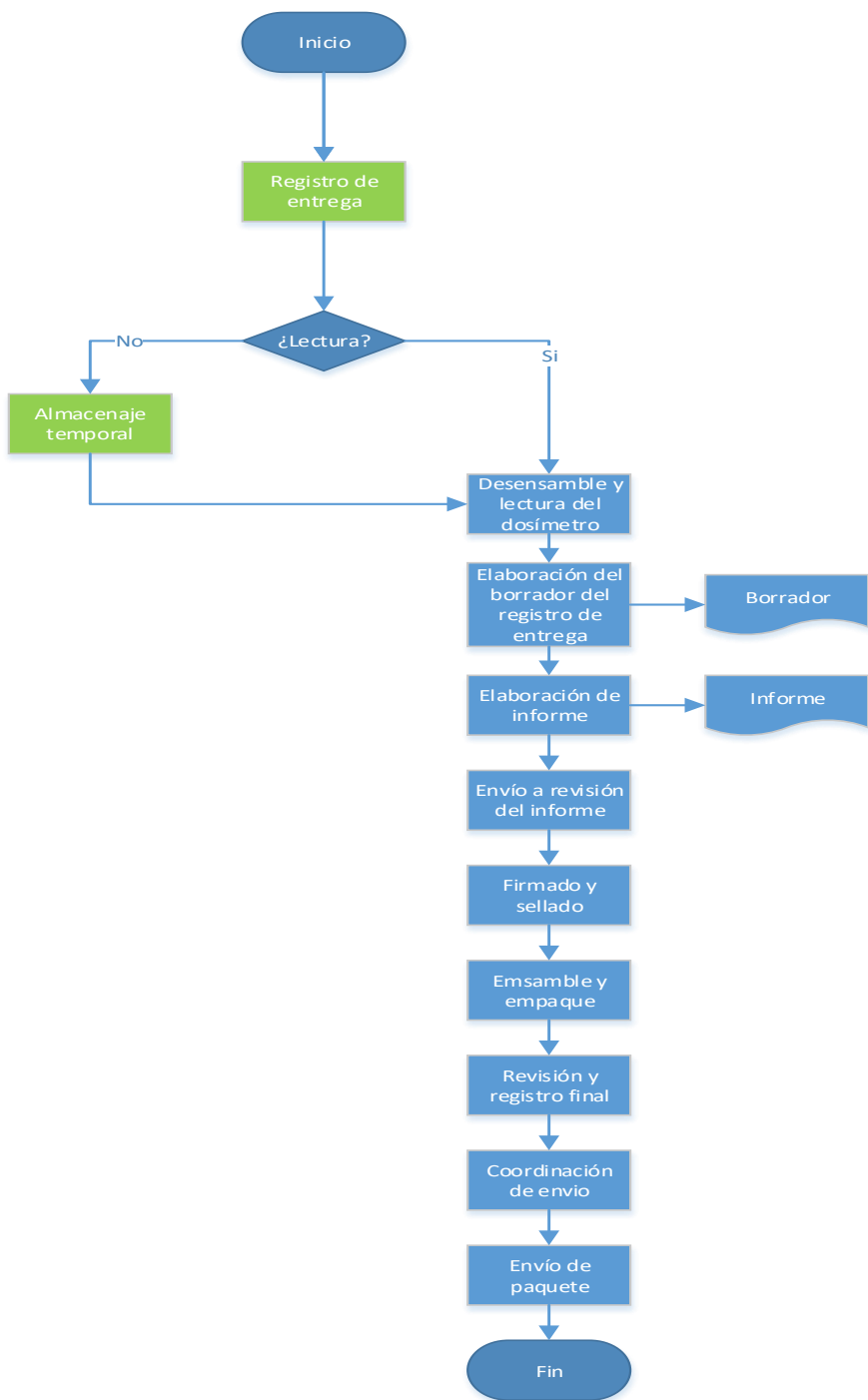


Figura 18. Diagrama de flujo final

Fuente: Elaboración propia

Es por esta razón que el estudio de tiempos se realizará tomando en cuenta este diagrama de flujo final, con el fin de obtener un antes y un después con respecto a los tiempos obtenidos.

5.1.1.2 Cálculo del tamaño de muestra

Para el cálculo de tamaño de muestra se realizará la misma aplicación de fórmulas que en el estudio de tiempos inicial, con la única diferencia de la variable en los tiempos obtenidos ya que puede variar la cantidad de observaciones necesarias en comparación con los datos obtenidos en el primer estudio de tiempos.

Cuadro resumen tamaño de muestra		Cantidad de observaciones
Recepcion y registro de dosímetros		5
Desensamble y lectura de dosímetros		5
Elaboracion del borrador de registro de entrega		8
Elaboracion del informe		10
Revision del informe		5
Firmado y sellado		18
Ensamble y empaque		6
Revision y registro final		11
Coordinacion de envio		6
Envío		8

Tabla 15. Tamaño de muestra de las operaciones

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.3. Cálculo de los tiempos básicos

La siguiente tabla representa el cálculo del tiempo básico para una de las operaciones:

Valoración del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			90
Recepción y registro de entrega		26,4 min	23,8 min
		25 min	22,5 min
		23 min	20,7 min
		27 min	24,3 min
		24 min	21,6 min
		25,6 min	23,0 min
	Tiempo normal		22,65 min

Tabla 16. Cálculo de tiempo básico Recepción y registro de entrega

Fuente: Elaboración propia

Valoración del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Desensamble y lectura de dosímetros		7,5 min	7,9 min
		7,3 min	7,7 min
		6,4 min	6,7 min
		6,3 min	6,6 min
		7 min	7,4 min
		6,8 min	7,1 min
		7,1 min	7,5 min
		6,7 min	7 min
	Tiempo normal		7,23 min

Tabla 17. Cálculo de tiempo básico Desensamble y Lectura

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Elaboracion del borrador de registro de entrega		3,7 min	3,9 min
		4,2 min	4,4 min
		4,3 min	4,5 min
		3,6 min	3,8 min
		4,2 min	4,4 min
		3,8 min	4 min
		4,3 min	4,5 min
		3,8 min	4 min
		4 min	4,2 min
		3,5 min	3,7 min
	Tiempo normal		4,14 min

Tabla 18. Cálculo de tiempo básico elaboración del borrador del informe

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			95
Elaboracion del informe		4,3 min	4,1 min
		5,2 min	4,9 min
		5,3 min	5 min
		4,7 min	4,5 min
		4,8 min	4,6 min
		4,1 min	3,9 min
		5,1 min	4,8 min
		4,8 min	4,6 min
		4,4 min	4,2 min
		4,7 min	4,5 min
		5,1 min	4,8 min
	Tiempo normal		4,53 min

Tabla 19. Cálculo de tiempo básico elaboración del informe

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Revision del informe		3,4 min	3,6 min
		3,5 min	3,7 min
		3,1 min	3,3 min
		3,5 min	3,7 min
		3,7 min	3,9 min
	Tiempo normal		3,61 min

Tabla 20. Cálculo de tiempo básico revisión del informe

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Firmado y sellado		0,8 min	0,8 min
		0,9 min	0,9 min
		0,7 min	0,7 min
		0,9 min	0,9 min
		0,9 min	0,9 min
		0,9 min	0,9 min
		0,8 min	0,8 min
		0,9 min	0,9 min
		0,7 min	0,7 min
		0,8 min	0,8 min
		0,8 min	0,8 min
		0,8 min	0,8 min
		0,7 min	0,7 min
		1 min	1,1 min
		0,9 min	0,9 min
		0,7 min	0,7 min
		0,8 min	0,8 min
		0,9 min	0,9 min
	Tiempo normal		0,87 min

Tabla 21. Cálculo de tiempo básico firma y sellado

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			85
Coordinacion de envio		14,4 min	12,2 min
		15,6 min	13,3 min
		14,1 min	12,0 min
		16,2 min	13,8 min
		13,7 min	11,6 min
		14,5 min	12,3 min
		13,8	11,7 min
	Tiempo normal		12,42 min

Tabla 24. Cálculo de tiempo básico coordinación de envío

Fuente: Elaboración propia

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			95
Envío		22 min	21 min
		20 min	19,0 min
		19,5 min	18,5 min
		21,5 min	20,4 min
		19 min	18,1 min
		18,5 min	18 min
		22,5 min	21,4 min
		19 min	18,1 min
	Tiempo normal		19,24 min

Tabla 25. Cálculo de tiempo básico de envío

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.4 Cálculo de los tiempos con suplementos

A continuación se presenta la tabla resumen con el cálculo del tiempo estándar para una de las operaciones:

Cuadro resumen tiempos estándares	Tiempo normal	Suplementos	Tiempo estandar
Recepcion y registro de dosímetros	22,65 min	11%	25,14
Desensamble y lectura de dosímetros	7,23 min	11%	8,03
Elaboracion del borrador de registro de entrega	4,14	11%	4,59
Elaboracion del informe	4,53 min	9%	4,94
Revision del informe	3,61 min	9%	3,94
Firmado y sellado	0,87 min	9%	0,95
Ensamble y empaque	6,67 min	11%	7,41
Revision y registro final	3,55 min	11%	3,94
Coordinacion de envio	12,42 min	11%	13,79
Envío	19,24 min	9%	20,97

Tabla 26. Cuadro resumen de tiempos estándares

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.5 Tiempo estándar del proceso

Para el cálculo del tiempo estándar del proceso, basta solo con sumar los distintos tiempos estándares de cada uno de las operaciones. Dicho cálculo se muestra a continuación:

	Tiempo estándar total final
Recepcion y registro de entrega	25,14 min
Desensamble y lectura	8,03 min
Elaboración del borrador	4,59 min
Elaboración del informe	4,94 min
Revisión del informe	3,94 min
Firma y sellado	0,95 min
Ensamble y empaque	7,41 min
Revisión y registro final	3,94 min
Coordinacion de envío	13,79 min
Envío	20,97 min
TOTAL	93,69 min

Tabla 27. Tiempo estándar final del proceso

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el estudio de tiempos inicial se tenía que para lotes que no requerían de corrección se necesitaban **99,76 min**, mientras que para lotes que si requerían de corrección el tiempo era de **105 min**. Es decir, en ambos casos el tiempo total del proceso es mayor al obtenido en este estudio de tiempos final equivalente a **93,7 min**. Esta disminución obedece a los cambios realizados en el diagrama de flujo que demuestra que son beneficiosos en el proceso.

Para entender mejor lo anteriormente planteado se muestra una tabla comparativa de 10 lotes:

Numero de lote	Estudio de tiempos inicial	Estudio de tiempos final
Lote 1	99,8 min	93,7 min
Lote 2	99,8 min	93,7 min
Lote 3	99,8 min	93,7 min
Lote 4	99,8 min	93,7 min
Lote 5	99,8 min	93,7 min
Lote 6	99,8 min	93,7 min
Lote 7	105,0 min	93,7 min
Lote 8	105,0 min	93,7 min
Lote 9	105,0 min	93,7 min
Lote 10	105,0 min	93,7 min
Total	1018,6 min	936,9 min
Diferencia en minutos		81,7 min
Horas requeridas para procesar 10 lotes	17	15,6

Tabla 28. Comparación estudio de tiempos

Fuente: Elaboración propia

Para la columna del estudio de tiempos inicial se tiene que cuatro de esos lotes requieren de corrección, ya que así es como sucede. Por otra parte, en la columna del estudio de tiempos final, se obtienen los mismos datos para los diez lotes, debido a que en este estudio se eliminaron los lotes que incluían corrección como parte de una mejora.

Como parte del análisis de este cuadro comparativo, se puede observar que existe una diferencia de 81,7 min entre ambos estudios, equivalentes a 1,4 horas. Considerando que el laboratorio trabaja diez horas diarias, se puede decir que para el primer escenario de 17 horas, se necesitarían casi dos días para cumplir con la totalidad, mientras que para el escenario final basta con día y medio. Con el estudio de tiempos final, se podrían procesar 11 lotes casi que en el mismo tiempo en el que se procesan diez lotes en el estudio de tiempos inicial. Esto traducido a cantidad de dosímetros es equivalente a casi 40 dosímetros más.

Cantidas de lotes	Cantidad de horas
10	15,6
20	31,2
30	46,8

Tabla 29. Horas ejecutables por semana con estudio de tiempos final

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de contemplar la diferencia de dosímetros que pueden ser leídos en una semana entre un estudio de tiempos y otro, basta con determinar que en el laboratorio se trabajan 50 horas semanales (cinco días de diez horas cada uno), por lo que para el primer método (17 horas por cada 10 lotes), se pueden trabajar poco menos de 30 lotes semanales equivalentes a 1175 dosímetros semanales. Mientras que para el segundo método se pueden trabajar tres lotes completos más **3.2** horas adicionales que completarían las 50 semanales y que equivalen a 1285 dosímetros semanales, 5140 mensuales y 15420 trimestrales. Es decir, entre un método y otro se pueden leer 110 dosímetros más semanales, 440 más mensuales y 1320 más trimestrales. Si se analiza el histórico de datos que tiene la empresa, se demuestra que sí se puede dar abasto con la demanda de clientes que normalmente contempla entre los 1100 y 1250 dosímetros semanales (ver Tabla 4).

5.2 Costo e implementación de las mejoras

La parte de la implementación de una mejora, viene a ser quizás una de las etapas más complicadas de cualquier investigación ya que es aquí donde, por temas de tiempos y presupuestos, muchas veces no es posible finalizar un proyecto de manera exitosa. Sin embargo, para el caso en estudio, afortunadamente las mejoras no requieren de una gran inversión económica y los beneficios que serán obtenidos generarán grandes ganancias tanto en tiempo como en dinero para el laboratorio, y por ende, para todo el centro.

a) Análisis, solución y mejoramiento de la máquina lectora

Para eliminar los problemas en los informes (eliminación de operación “Corrección” dentro del diagrama), es importante la implicación de un ingeniero en sistemas, el cual sea capaz de reemplazar el componente electrónico dañado y solucionar el problema existente en dicha máquina. Una vez solucionado este problema, será posible ejecutar al ciento por ciento el escenario propuesto en el estudio de tiempos final y alcanzar una mejor capacidad productiva.

Salario Lic. Ingeniero en Sistemas	₪663.772,10
Cantidad de días invertidos para la mejora	2
Cantidad de horas invertidas en la mejora	20
Costo de la mejora	₪ 63.824,24

Tabla 30. Costo de mejora para la eliminación de la corrección

Fuente: Elaboración propia

El cuadro anterior representa el costo que implica dicha mejora, que viene a ser la gestión del reemplazo del componente dañado que permitirá la eliminación de la operación Corrección dentro del diagrama de flujo, la misma se ejecutará en dos días, ya que se define el primer día para la sustitución del componente y el día 2 para el análisis y la corroboración de la máquina. Cabe además destacar que la disponibilidad de dichos profesionales será inmediata, ya que los mismos laboran dentro del centro, por lo cual solo se debe planear el día de acuerdo con la disposición de los mismos.

b) Refrescamiento del proceso y sus cambios básicos en el diagrama de flujo del proceso al personal del laboratorio.

Con la idea de que los operarios comprendan los cambios realizados en el diagrama de flujo final (ver figura 18) tales como la combinación de las operaciones de Recepción y Registro, así como el cambio en el Almacenamiento, se propone la idea de dar un refrescamiento semanal durante dos semanas, los días lunes para que la comprensión de lo actualizado sea mejor y cada una de la personas involucradas tenga conocimiento cien por ciento de sus roles y tareas.

Salario Lic. Ingeniero Industrial	₺663.772,10
Cantidad de días invertidos para la mejora	2
Cantidad de horas invertidas en la mejora	4
Costo de la mejora	₺ 12.764,85

Tabla 31. Costo refrescamiento de cambios en diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

Dicho cuadro representa el costo de esta mejora, la cual propone exclusivamente dos horas diarias para su ejecución ya que no es considerado como algo crítico.

c) Charla e inducción al personal sobre el estudio de tiempos realizados, y su posición y meta por cumplir en las diferentes posiciones.

Para esta propuesta la idea consiste en mostrarles a los operarios la obtención de los resultados en el estudio de tiempos, con el fin de que comprendan las nuevas metas que deben cumplir para mejorar la capacidad productiva. De acuerdo con los datos presentados en los antecedentes se puede ver que con esta capacidad es posible dar abasto e incluso sacar el trabajo acumulado, ya que la demanda semanal ronda entre los 1100 a 1250 dosímetros semanales. Además, en esta propuesta se incluye también el diseño de un plan de entrenamiento para cada uno de ellos, en el cual se pueda medir su curva de aprendizaje en relación con los cambios dados. Es decir, se pretende guiar paso a paso a los operarios para que los mismos sean capaces de alcanzar las metas.

Salario Lic. Ingeniero Industrial	₺663.772,10
Cantidad de días invertidos para la mejora	26
Cantidad de horas invertidas en la mejora	24
Costo de la mejora	₺ 76.589,09

Tabla 32. Costo mejora para el alcance de las metas

Fuente: Elaboración propia

Tal y como lo representa el cuadro anterior, dicha mejora tiene comprendido todo un mes. Sin embargo la ejecución es de 24 horas, las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

Martes: dos horas dedicadas a la explicación de los indicadores y las metas por cumplir.

Miércoles: una hora de “coaching” dedicada exclusivamente a los operarios para guiarlos paso a paso a alcanzar las metas.

Jueves: una hora de “coaching” dedicada exclusivamente a los operarios para guiarlos paso a paso a alcanzar las metas.

Viernes: dos horas para el análisis del avance de la semana y la retroalimentación a cada uno de los operarios.

Este plan se ejecutará de la misma forma durante cuatro semanas.

d) Medición de indicadores para verificar que se esté cumpliendo con los tiempos ya estipulados.

La idea de esta propuesta es llevar un control semanal que permita saber de qué manera los operarios están logrando alcanzar los nuevos tiempos propuestos. Se pretende dedicar el último día del mes, desde que se empezaron a ejecutar las mejoras, para identificar si se están alcanzando las metas o si aún se necesita tiempo para lograrlo. Para esta parte en específico, se utilizaron indicadores sencillos como la cantidad de dosímetros leídos por horas del día, horas semanales y horas mensuales. De no alcanzarse los objetivos se procederá a repetir el plan de mejoras durante un mes más.

Salario Lic. Ingeniero Industrial	₡663.772,10
Cantidad de días invertidos para la mejora	12
Cantidad de horas invertidas en la mejora	12
Costo de la mejora	₡ 38.294,54

Tabla 33. Costo mejora medición de indicadores

Fuente: Elaboración propia

Se pretende medir durante una hora al día, al inicio del turno, la ejecución de las operaciones de los trabajadores, esto a cargo del Jefe Administrativo del centro quien es Lic. Ingeniero Industrial. Lo anterior al menos tres días por semana, durante cuatro semanas y se propone el siguiente formato:

Lecturas de dosímetros			
Día	Unidades semana 1	Horas invertidas	Indicador
Lunes	95	10	9,5
Martes			
Miercoles			
Jueves			
Viernes			
Total semanal			
Día	Unidades semana 2	Horas invertidas	Indicador
Lunes			
Martes			
Miercoles			
Jueves			
Viernes			
Total semanal			
Día	Unidades semana 3	Horas invertidas	Indicador
Lunes			
Martes			
Miercoles			
Jueves			
Viernes			
Total semanal			
Día	Unidades semana 4	Horas invertidas	Indicador
Lunes			
Martes			
Miercoles			
Jueves			
Viernes			
Total semanal			
Total mensual			

Tabla 34. Formato para medición de indicadores

Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Cronograma de actividades de mejora

A continuación se encuentra el gráfico de Gantt con el cronograma de las actividades:

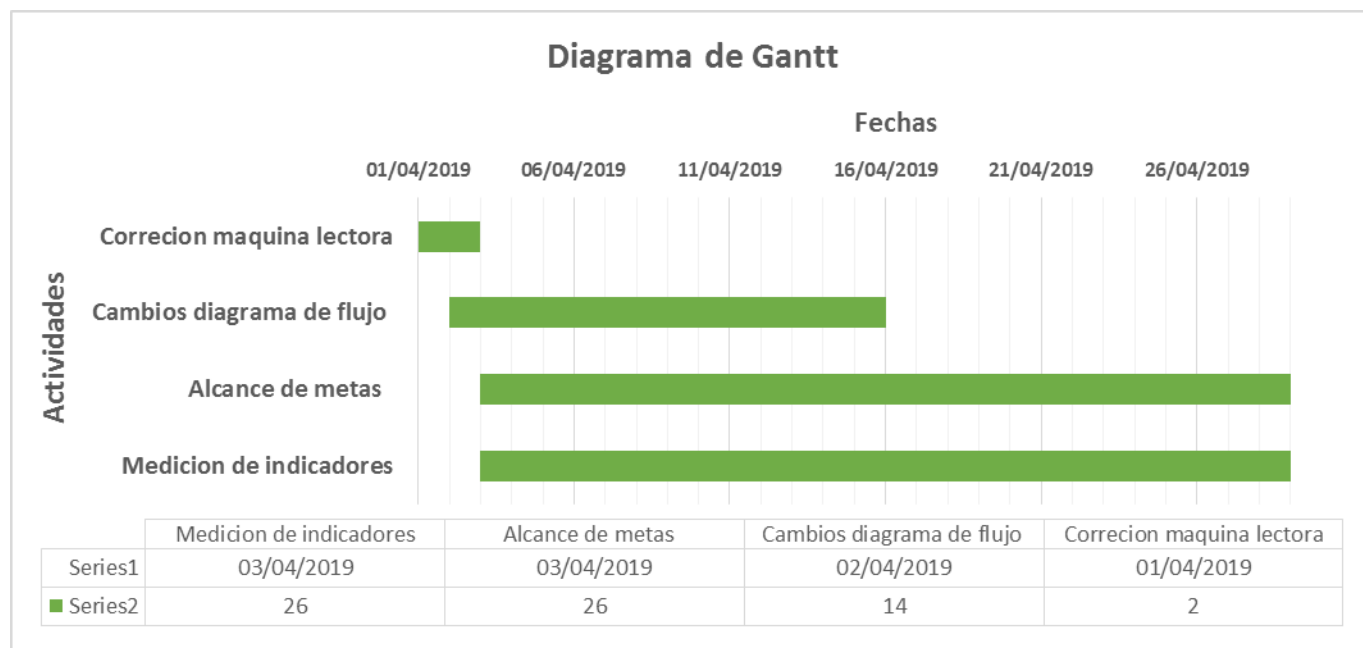


Figura 19. Diagrama de Gantt

Fuente: Elaboración propia

5.3 Análisis costo-beneficio

Para el análisis costo beneficio de las propuestas anteriormente mencionadas, es importante mencionar que muchos de estos análisis impactan de manera positiva la rentabilidad del centro. Es decir, muchos de las propuestas de mejora vienen a beneficiar al centro en aspectos como:

- Tiempos de proceso estandarizados
- Eliminación de tiempos ociosos e improductivos
- Utilización de indicadores para medir la productividad
- Definición de objetivos y metas claras

Además, y en acoplamiento con la Dirección, la puesta en funcionamiento de las mejoras estará a cargo del Jefe Administrativo del centro quien es un Lic. Ingeniero Industrial y además del Lic. Ingeniero en Informática del centro.

Por otra parte, y en aras de obtener una visualización económica de como este estudio beneficia al centro, se elabora el siguiente cuadro:

Mejoras	Costo
Correccion maquina lectora	₡ 63.824
Cambios diagrama de flujo	₡ 12.765
Alcance de metas	₡ 76.589
Buenas practicas manufactura	₡ 6.382
Toma tiempos de verificacion	₡ 38.295
Analisis de indicadores	₡ 12.765
TOTAL	₡ 210.620
	Beneficios trimestrales
Diferencia en cantidad de lecturas (unidades)	1320
Costo de lectura de dosimetro	₡ 6.500
TOTAL	₡ 8.580.000
Costo-beneficio	₡ 8.369.380

Tabla 35. Análisis costo-beneficio trimestral

Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro anterior, es posible identificar un aumento cuantioso en los ingresos trimestrales netos del centro, equivalente a ₡ 8.369.380. Es decir mensualmente el centro podrá empezar a percibir un aumento en los ingresos de ₡ 2.789.793. Cantidad que no es para nada despreciable y que resultará de mucho beneficio para esta institución. Cabe destacar que esta comparación o análisis de costo beneficio se realizó con los datos o cantidad de dosímetros procesados semanalmente en el estudio de tiempos inicial versus los ingresos que se pueden percibir si se realizan correctamente todas las correcciones y se ejecutan los tiempos ya establecidos en el estudio de tiempos final, además, dichos ingresos se obtendrán sin la necesidad de personal extra, ya que el estudio fue realizado con base en el personal con el que ya se contaba.

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1) De acuerdo con la investigación realizada, el principal problema que se presenta dentro del laboratorio es, sin duda alguna, la disminución considerable de los ingresos. Dicha disminución viene a ser más notable a partir de los últimos trimestres y obedece propiamente a otros pequeños problemas que se presentaban dentro del centro y que para muchos resultaban ser irrelevantes: La falta de capacidad para atraer nuevos clientes, el retraso en entrega de dosímetros, así como las frecuentes acumulaciones de trabajo eran algunos de los problemas “menores” que contribuían a dicha disminución de ingresos.

- 2) Una vez analizada la situación dentro del centro, se determinaron las herramientas necesarias tales como la técnica de los cinco por qué, la metodología DMAIC y el estudio de tiempos, con el fin principal de implementar las mejoras que fueran más beneficiosas para el centro. Todas estas herramientas en conjunto, lograron identificar y establecer nuevos parámetros de productividad y tiempos, los cuales permitieron visualizar la gran posibilidad que había de mejora. El estudio de tiempos, permitió establecer los tiempos estándares de los elementos y del proceso en general, lo cual dio el escenario perfecto para calcular los índices de productividad actual. Posterior a estos cálculos, fue posible calcular o proyectar los ingresos tanto mensuales como trimestrales que el centro podía recibir, y de esta manera demostrar que el estudio realizado ha sido confiable y beneficioso para el laboratorio.

- 3) Para el análisis costo beneficio del proyecto realizado, se consideran beneficiosos muchos de los cambios implementados. La definición de indicadores de productividad, así como la estandarización de los tiempos del proceso, son quizás los más importantes ya que pueden ser utilizados como parámetros que permiten saber si el proceso está trabajando de manera óptima, o bien partir de aquí para mejorarlo. Sin embargo, dichas mejoras también permitieron analizar la situación actual que vive el centro con respecto a la

disminución de los ingresos, y permitió brindar la ganancia neta que el centro puede obtener con una correcta implementación de lo planteado. De acuerdo con los tiempos e indicadores de productividad el laboratorio de dosimetría podría aumentar sus ingresos en **₡ 8.369.380** trimestrales, equivalentes a **₡ 2.789.793** mensuales que tanto para esta, como para cualquier otra institución, representa un aumento bastante considerable.

Recomendaciones

- 1) Se debe dar seguimiento del cumplimiento de los tiempos estándar de los procesos definidos con el fin de garantizar que los resultados de este estudio se mantengan a lo largo del tiempo.
- 2) Realizar un plan de entrenamiento cruzado, para no depender de solo una persona en cada proceso, y en caso de que falte la persona sea cubierto por otro trabajador para que no afecte la productividad.
- 3) . Realizar encuestas periódicas a los operarios del Laboratorio, como medio de retroalimentación a las jefaturas para identificar otras áreas de mejora y mantener abierta la comunicación entre los involucrados en el proceso.

Bibliografía

- 1) Baca, G., Cruz, M., Cristóbal, M. A., & Gutiérrez, J. C. (2014). *Introducción a la ingeniería industrial*. México: Patria
- 2) George, K. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. 4ed. Ginebra, Suiza: oficina internacional del trabajo.
- 3) Humberto, G. P. (2009). *Calidad total y productividad*. Editorial Mc Graw Hill, Ed.
- 4) Maynard, H. B. (2005). *Maynard manual del ingeniero industrial*. McGraw-Hill.
- 5) Niebel, B. W., Freivalds, A., & Osuna, M. A. G. (2004). *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Alfaomega.
- 6) Pineda, Adolfo. (2005). *Estudio de tiempos y movimientos en la línea de producción de piso de granito en la fábrica casa blanca S.A.* (Tesis de maestría).Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- 7) Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

APENDICE

Apéndice 1. Calculo de tamaños de muestra

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Recepcion de dosímetros	5	3,2 min	10,2 min	5
		3,4 min	11,6 min	
		3,3 min	10,9 min	
		2,9 min	8,4 min	
		3,1 min	9,6 min	
	Suma	15,9 min	50,7 min	

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Registro de entrega	5	28 min	784 min	8
		26 min	676 min	
		27,5 min	756,3 min	
		30 min	900 min	
		28 min	784 min	
	Observaciones adicionales	29 min	841 min	
		31 min	961 min	
		24 min	576 min	
		28 min	784 min	
	Suma	251,5 min	7062,3 min	

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Desensamble y lectura de dosímetros	5	7 min	49 min	9
		7,2 min	51,8 min	
		6,5 min	42,3 min	
		7 min	49 min	
		7,3 min	53,3 min	
	Observaciones adicionales	8 min	64 min	
		6,8 min	46,2 min	
		6,1 min	37,2 min	
		6,6 min	43,6 min	
	Suma	62,5 min	436,4 min	

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Elaboracion del borrador de registro de entrega	5	4 min	16 min	5
		3,5 min	12,3 min	
		3,8 min	14,4 min	
		4,1 min	16,8 min	
		4 min	16 min	
		Suma	19,4 min	75,5 min

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Elaboracion del informe	5	4,5 min	20,3 min	10
		5,1 min	26 min	
		5,4 min	29,2 min	
		4,8 min	23 min	
		4,5 min	20,3 min	
	Observaciones adicionales	4,4 min	19,4 min	
		5 min	25 min	
		4,6 min	21,2 min	
		4,2 min	17,6 min	
		4,3 min	18,5 min	
		5,1 min	26 min	
		Suma	51,9 min	246,4 min

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Revision del informe	5	2,9 min	8,4 min	5
		3,2 min	10,2 min	
		3 min	9 min	
		3,1 min	9,6 min	
		3,4 min	11,6 min	
		Suma	15,6 min	48,8 min
				126

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Corrección del informe	5	5 min	25 min	7
		5,5 min	30,3 min	
		4,9 min	24 min	
		6 min	36 min	
		5,7 min	32,5 min	
	Observaciones adicionales	5 min	25 min	
		5,7 min	32,5 min	
		5,3 min	28,1 min	
		5,4 min	29,2 min	
		Suma	48,5 min	262,5 min

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Firmado y sellado	5	1 min	1 min	9
		0,9 min	0,8 min	
		0,9 min	0,8 min	
		1 min	1 min	
		1,1 min	1,2 min	
	Observaciones adicionales	1 min	1 min	
		1 min	1 min	
		1,1 min	1,2 min	
		0,9 min	0,8 min	
		Suma	8,9 min	8,9 min

Cálculo del tamaño de muestra	Observaciones preliminares	x	x ²	Observaciones necesarias
Ensamble y empaque	5	7,5 min	56,3 min	5
		8,3 min	68,9 min	
		8,7 min	75,7 min	
		9 min	81 min	
		8,5 min	72,3 min	
	Observaciones adicionales	8,3 min	68,9 min	
		Suma	50,3 min	423 min

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Desensamble y lectura de dosímetros		7 min	7,4 min
		7,2 min	7,6 min
Tamaño de muestra	9	6,5 min	6,8 min
		7 min	7,4 min
		7,3 min	7,7 min
		8 min	8,4 min
		6,8 min	7,1 min
		6,1 min	6,4 min
		6,6 min	6,9 min
	Tiempo normal		7,29 min

Valoracion del ritmo		Tiempos observados	Ritmo
			105
Elaboracion del borrador de registro de entrega		4 min	4,2 min
		3,5 min	3,7 min
Tamaño de muestra	5	3,8 min	4 min
		4,1 min	4,3 min
		4 min	4,2 min
	Tiempo normal		4,07 min

ANEXOS

Anexo 1

Tabla tiempos suplementarios OIT

Sistema de suplementos por descanso porcentajes de los Tiempos Básicos¹

1. SUPLEMENTOS CONSTANTES

	Hombres	Mujeres
A. Suplemento por necesidades personales	5	7
B. Suplemento base por fatiga	4	4

2. SUPLEMENTOS VARIABLES

	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
A. Suplemento por trabajar de pie	2	4	4	45
B. Suplemento por postura anormal			2	100
Ligeramente incómoda	0	1		
incómoda (inclinado)	2	3		
Muy incómoda (echado, estirado)	7	7		
C. Uso de fuerza/energía muscular (Levantar, tirar, empujar)				
Peso levantado [kg]				
2,5	0	1		
5	1	2		
10	3	4		
25	9	20		
35,5	22	máx		
D. Mala iluminación				
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0		
Bastante por debajo	2	2		
Absolutamente insuficiente	5	5		
E. Condiciones atmosféricas				
Índice de enfriamiento Kata				
16		0		
8		10		
F. Concentración intensa				
Trabajos de cierta precisión			0	0
Trabajos precisos o fatigosos			2	2
Trabajos de gran precisión o muy fatigosos			5	5
G. Ruido				
Continuo			0	0
Intermitente y fuerte			2	2
Intermitente y muy fuerte			5	5
Estridente y fuerte				
H. Tensión mental				
Proceso bastante complejo			1	1
Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos			4	4
Muy complejo			8	8
I. Monotonía				
Trabajo algo monótono			0	0
Trabajo bastante monótono			1	1
Trabajo muy monótono			4	4
J. Tedio				
Trabajo algo aburrido			0	0
Trabajo bastante aburrido			2	1
Trabajo muy aburrido			5	2