



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE
PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**

Rodrigo Javier Vera Girón

Asesorado por Mtra. Mariela Pontaza Juárez

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE
PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RODRIGO JAVIER VERA GIRÓN
ASESORADO POR MTRA. MARIELA PONTAZA JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Mynor Roderico Figueroa Fuentes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE
PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 07 de noviembre de 2022.

Rodrigo Javier Vera Girón



EEPFI-PP-2008-2022

Guatemala, 12 de noviembre de 2022

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela De Ingenieria Mecanica
Presente.

Estimado Ing. Morales

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **PROPUESTA DE REDISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Sistemas de modelos de gestión**, presentado por el estudiante **Rodrigo Javier Vera Girón** carné número **201602773**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

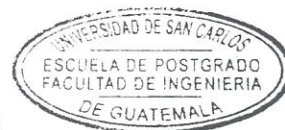
"Id y Enseñad a Todos"

Mtra. Mariela Pontaza Juárez
Asesor(a)

Licda. Mariela Pontaza Juárez
Química Farmacéutica
Colegiada No. 4221

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-1653-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE REDISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**, presentado por el estudiante universitario **Rodrigo Javier Vera Girón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, noviembre de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.030.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS BAJO EL SISTEMA DE GESTIÓN DE PRODUCTIVIDAD TOTAL EN INDUSTRIA FARMACEÚTICA**, presentado por: **Rodrigo Javier Vera Girón**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser siempre una guía e inspiración en mi vida.

Mis padres

Rualdo Vera y Brenda Girón de Vera, por su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida, todos los consejos y lecciones de vida que me han compartido.

Mi familia

Por su apoyo y cariño

Mis amigos

Por los buenos momentos vividos y su apoyo

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por inculcarme la cultura universitaria y los valores necesarios para ser un profesional exitoso y autosuficiente
Facultad de Ingeniería	Por proporcionar los medios necesarios para poder finalizar mis estudios en un ambiente agradable.
Mis padres	Por el esfuerzo y sacrificio para que pueda cumplir esta meta, así como muchas otras.
Mis hermanos	Josué y Karina Vera, por su apoyo, consejos y compañía a lo largo de mi vida. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis sobrinos	Matías y Danilo Fajardo, por ser una de las mayores alegrías de mi vida.
Mi asesora	Licenciada Mariela Pontaza Juárez, por su apoyo, amistad, consejos y lecciones compartidas.

Mis amigos

Javier Arriola, José Daniel Soto, Adrián Sutuc, Lissa Revolorio, Kimberly Pineda, Rodrigo Pérez, Alberto Pérez, Adolfo Estrada, Juan España, Antonella Rossi, Sergio Kestler, Demsy Santos, Luis Carlos Peña, Marlon Escobar, María Fernanda Rosales, Alejandra Maité, José de la Cerda, Carlos Cruz, Luis Mendizabal, Manuel López, Antonio López, Jorge Molina y Erick Ramírez, Por su apoyo, conocimientos y los grandes momentos recreativos que hemos compartido.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central	11
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
3.4. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	23

7.1.	Metrología	23
7.1.1.	Clasificación de la metrología.....	25
7.1.1.1.	Metrología legal.....	25
7.1.1.2.	Metrología Industrial.....	25
7.1.1.3.	Metrología científica	26
7.1.2.	Medición, verificación y calibración	26
7.1.3.	Exactitud, precisión, sensibilidad y tolerancia	28
7.1.4.	Errores de medición	29
7.1.5.	Documentación y trazabilidad	30
7.1.6.	Importancia de las calibraciones en la industria farmacéutica.....	32
7.2.	Productividad	33
7.2.1.	Gestión de la productividad	34
7.2.1.1.	Medición de la productividad en función de la eficiencia	35
7.2.1.1.1.	Productividad basada en los recursos.....	35
7.2.1.1.2.	Productividad financiera ..	36
7.2.1.2.	Medición de la productividad en función de la calidad-eficiencia.....	37
7.2.1.2.1.	Eficiencia Global de equipos (OEE).....	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.	METODOLOGÍA	49
9.1.	Características del estudio	49
9.2.	Unidades de análisis	50
9.3.	Variables	50

9.4.	Fases	51
9.4.1.	Fase 1: análisis de situación actual	51
9.4.2.	Fase 2: recolección y análisis de información.....	52
9.4.3.	Fase 3: propuesta de depuración de equipos e información	53
9.4.4.	Fase 4: presentación de resultados.....	53
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	55
10.1.	Técnicas cualitativas	55
10.2.	Técnicas cuantitativas	55
10.3.	Técnicas de recolección de información y datos	56
10.4.	Técnicas de análisis de información	56
11.	Cronograma	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
12.1.	Recursos necesarios	61
	REFERENCIAS	63
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Triángulo de oro	24
2.	Proceso de calibración	27
3.	Cadena de trazabilidad	32
4.	Factores del OEE y su incidencia en la productividad.....	39
5.	Cronograma	59

TABLAS

I.	Fase 1. Análisis de situación actual	18
II.	Fase 2. Recolección y análisis de información.....	19
III.	Fase 3. Propuesta de rediseño	21
IV.	Fase 4. Presentación de resultados	22
V.	Clasificación del OEE.....	42
VI.	Variables de estudio.....	50
VII.	Presupuesto	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Availability / Disponibilidad.
AT	Avalable time / Tiempo disponible.
C	Costo.
=	Igual que
$\geq$	Mayor o igual que
$\leq$	Menor o igual que
<	Menor que
P	Performance / Rendimiento.
%	Porcentaje
PT	Productive time / Tiempo productivo.
Q	Quality / Calidad.
Q	Quetzal
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Competitividad	Capacidad de resaltar sobre otros
Insumos	Gastos del proceso productivo (Trabajo, humano, capital, energía y otros gastos).
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
OEE	Overall Equipment Effectiveness / Eficiencia global de equipos.
PTF	Productividad total de los factores.
Producción	Fabricación o elaboración de un producto.
Trazabilidad	Serie de procedimientos que permite registrar e identificar todo el proceso que sigue un producto o servicio.
Velocidad nominal	Valor de velocidad al que debe realizarse un proceso.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de estudio tiene como objetivo optimizar la productividad del procedimiento de calibración de equipos de medición en una industria farmacéutica. Con esto se busca generar un impacto significativo en la productividad global y financiera del área de operaciones.

El Departamento de Mantenimiento actualmente cuenta con un procedimiento de calibración de equipos de medición donde se especifica la planeación, ejecución y documentación de los procesos de calibración. Sin embargo, se requiere modificar los distintos aspectos del procedimiento de calibración que involucran la eficiencia y calidad del proceso de calibración en función del aumento de productividad proceso productivo.

El esquema de solución del estudio se basará en la optimización de la productividad mediante una propuesta de implementación de un sistema basado en la gestión de la productividad total, el cual se enfocará en minimizar tiempos de paro y costos derivados de procesos de calibración de equipos de medición.

Con el estudio se espera obtener una propuesta del procedimiento de calibración de equipos que asegure procesos de calibración de calidad. efectivos y productivos, lo que reduce significativamente los tiempos de paro y desperdicios de recursos. Finalmente, se espera obtener un incremento significativo en el OEE y costo de transformación, con lo cual se definirá la efectividad de la propuesta.

2. ANTECEDENTES

Toda empresa busca mantenerse en un marco competitivo de mercado, para lo cual se hace necesario asegurar la calidad de sus productos o servicios aprovechando al máximo los recursos utilizados en el proceso. Las empresas se ven ante el reto de idear, diseñar, desarrollar, implementar y controlar, estrategias que mejoren su competitividad tanto a nivel nacional como internacional. Estas estrategias deben centrarse en la optimización de la productividad de los distintos procesos mediante los cuales se producen los productos o servicios.

En primer lugar, se debe tener claro que es la productividad desde el punto de vista del mejoramiento de la competitividad.

La productividad entendida como herramienta estratégica para el logro y mejora de la competitividad, plantea el objetivo de suministrar a los sectores y a las empresas manufactureras la aplicación de un modelo integrado por el ciclo de: Medición, Evaluación, Planeación y Mejoramiento. (Jiménez, Delgado y Gaona, 2001, p. 81)

Existen distintos sistemas de gestión de la productividad, el escogido para mejorar la productividad del procedimiento de calibración de equipos es el de gestión total de la productividad.

Una gestión total de productividad en las empresas es un punto de cuidado en los planes a pequeño y largo plazo ya que, si una empresa no es competitiva y no cumple con una buena calidad, producción,

eficiencia, innovación, nuevos métodos de trabajo y tecnología, estará fuera del mercado. (Quirós, 2007, p. 4)

La definición anterior hace referencia a una aplicación de nivel empresarial, sin embargo, la gestión total de la productividad es un sistema que puede implementarse a un procedimiento específico.

La implementación de un sistema de productividad en un procedimiento no es una tarea fácil, esto requiere de un amplio análisis y planificación para asegurar que al momento de implementarlo se obtengan los resultados deseados. Para implementar cualquier modelo lo primero a realizar es identificar la situación actual, para esto es necesario medir la productividad, “Medición de la productividad se refiere al comportamiento y desempeño que ha alcanzado una organización y la utilización de los recursos en el logro de sus objetivos” (Fontalvo-Herrera, De La Hoz-Granadillo y Morelos-Gómez, 2018, p. 56). Con esta medición se tendrá claro el estado actual del cumplimiento de los objetivos empresariales, a la vez que se define el nivel de aprovechamiento de los recursos para alcanzar estos objetivos.

Con base en los resultados obtenidos de la medición de productividad se identificarán las partes del procedimiento que requieren mayor corrección. Con base en estas correcciones se realizará la planeación de la estrategia para implementar el sistema de productividad. Al momento de planear la estrategia es importante realizar un ejercicio prospectico.

Entender el sentido futuro de las decisiones presentes, con el objeto de preparar a las organizaciones para definir y desarrollar las estrategias que les permitirán enfrentar los hechos a que se verán expuestas en el

porvenir, intentando desentrañar oportunidades y amenazas que el mismo les depara. (Naváez, 2020, párr. 4)

Es importante justificar de alguna forma el éxito que tendrá la implementación del sistema de productividad, ya que esto requerirá una inversión de recursos y tiempo. Es por lo anterior que se deben tomar referencias de otros estudios semejante.

Los sistemas de productividad se pueden aplicar desde un nivel internacional, en donde comúnmente se busca comprender el crecimiento y desarrollo económico. Villalobos, Molero y Castellano (2021) manifiestan que el problema principal al intentar comprender el crecimiento y desarrollo económico no es entender el proceso por el cual una economía incrementa su PIB y la acumulación de capital físico, sino desarrollar una productividad total de los factores (PTF).

Estos sistemas también se pueden implementar a un nivel nacional, logrando determinar los niveles de productividad entre distintos estados y el crecimiento en los mismos, con la finalidad de definir las variables que mayor incidencia tendrán en el aumento de la productividad. Diaz-Bautista y Saénz (2002) tras realizar un estudio de la productividad total y crecimiento económico de México, indican que el nivel de productividad de los estados fronterizos es diferente al de los estados del centro y sur del México, sin embargo, se muestran asimetrías en el crecimiento de la productividad total factorial entre las regiones de México, con lo que se demuestra que si los estados acumulan capital humano y financiero se obtendrá un incremento en la productividad con beneficios económicos para el país.

Los sistemas de productividad se aplican con mayor frecuencia a nivel de industria, sin embargo, se tiene un estudio similar en el sentido que se busca definir las variables con mayor incidencia en la productividad. Idrovo-Aguirre y Serey (2018) concluyen sobre el crecimiento económico del sector de construcción en Chile, demostrando que este se encuentra dominado por la acumulación de factores y no por la eficiencia con que estos son utilizados en el proceso productivo.

Al seguir en la línea de los sistemas de productividad aplicados en industrias, se tienen otros estudios en los cuales el enfoque va dirigido a implementar un sistema de productividad para medir y analizar la productividad en una industria específica. Muñoz (2021) propone y analiza el valor de implementar una metodología integral para medir la productividad en la industria minera, seleccionando la productividad total de factores como medida para analizar e identificar puntos de mejorar del desempeño de estas operaciones a través de iniciativas de tecnología y gestión.

Hasta el momento se han revisado estudios que se relacionan más a la medición de la productividad como punto de partida para desarrollar estrategias de mejora, sin embargo, existen estudios que desarrollan la implementación de un sistema de productividad, Medina (2010) establece que al implementar un modelo de productividad no solo se debe medir, sino estimar la productividad a alcanzar.

Es común pensar que los sistemas productivos se aplican como mínimo a macro industrias, sin embargo, estos sistemas pueden aplicarse en microempresas con la finalidad de propiciar su desenvolvimiento en los mercados. Hay que recordar que, la pequeña empresa es considerada como uno de los principales vehículos de crecimiento económico de los

países, por ello se debe de sumar esfuerzos para resolver sus problemas y lograr que alcancen sus objetivos. (Andía, 2001, p. 60)

Se puede denotar como los sistemas de productividad son aplicados a niveles macro y micro, además de distintos tipos de industrias y procesos que no están directamente relacionados a la producción. Estos sistemas permiten identificar la situación actual y definir los planes de acción para lograr los objetivos establecidos. Mediante estas referencias se puede identificar la importancia de la implementación de un sistema de gestión total de la productividad en el procedimiento de calibración de equipos, para poder lograr que el mismo sea productivo, optimiza tiempos de paro y costos resultantes de la desorganización y falta de gestión.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La empresa dedicada a la fabricación, recepción y distribución de productos farmacéuticos es la encargada de abastecer el área centroamericana y del caribe. Constantemente desarrolla proyectos con la finalidad de mejorar la productividad, optimiza tiempos y recursos de tal forma que la producción, calidad y compromisos medio ambientales no se vean afectados.

Al ser una industria farmacéutica es indispensable asegurar que los procesos se realicen bajo parámetros establecidos lo cual requiere equipos de medición que proporcionen una lectura confiable de la variable o variables a medir. La forma de asegurar una medición confiable es mediante la calibración de equipos.

Actualmente se cuenta con un procedimiento de calibración de equipos en el cual se especifican todos los procesos relacionados con la calibración de equipos y el cumplimiento del cronograma de calibración de equipos.

3.2. Descripción del problema

El procedimiento de calibración de equipos cumple con el objetivo de asegurar que todos los equipos de medición estén bajo parámetros necesarios para asegurar una lectura confiable, sin embargo, no es eficiente debido a los siguientes factores:

- Equipos de medición: actualmente se calibra todo equipo o instrumento de medición ya sea que forme parte del proceso productivo, del proceso de muestreo de calidad, validación de productos o en procesos de mantenimiento. Esto permite asegurar una medición confiable, sin embargo, varios de estos equipos no son utilizados para controlar alguna variable. Estos equipos mencionados no justifican calibración, pero debido a una falta de investigación y análisis en los procesos no se han podido identificar.
- Cronograma: en el cronograma de calibraciones se encuentran distribuidas las calibraciones de equipos por mes, también incluye información significativa para el proceso de calibración (código interno, rango de uso, error permitido, área y ubicación). Actualmente la distribución de las calibraciones está desbalanceada, se tiene meses con una alta demanda de calibraciones y otros donde son escasas, además de no estar planificadas por áreas.
- Gestión de calibraciones: al ejecutar el procedimiento de calibración de equipos primero se solicita a los encargados de áreas la fecha de disponibilidad del área, luego se solicita al proveedor agendar la visita. Este proceso presenta poca planificación generando que el plazo entre solicitud de equipos, notificación a proveedores y ejecución de calibración sea de uno a dos días máximo.
- Proveedores: el servicio prestado por los proveedores es aceptable, sin embargo, no se mide, tampoco están establecidos los requerimientos que deben cumplir previo a cualquier calibración.

Todos los factores previamente enlistados resultan en pérdidas de tiempo por desorganización, falta de planificación, falta de información y reprocesos, con lo que genera que el procedimiento de calibración de equipos no sea eficiente.

3.3. Formulación del problema

A continuación, se plantea la pregunta central del problema, así como las preguntas auxiliares.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo gestionar el procedimiento de calibración de equipos para que sea productivo?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el nivel de productividad actual del procedimiento de calibración de equipos?
- ¿De qué manera realizar la depuración de equipos por calibrar para optimizar el aprovechamiento de recursos, asegurando la calidad del proceso productivo?
- ¿Cómo verificar y corregir la información que se maneja de los equipos a calibrar para eliminar errores en calibraciones que resulten en reprocesos?

- ¿De qué forma eliminar la desorganización y desbalanceo en la distribución de calibraciones anuales para optimizar la productividad del proceso de calibraciones?

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en el Departamento de Mantenimiento e Ingeniería el cual se encarga de planificar, gestionar y ejecutar el procedimiento de calibración de equipos. Se requerirá el apoyo de los departamentos afectados al momento de realizar las calibraciones debido a que los equipos de medición se encuentran en sus áreas. Estos departamentos son: fabricación, empaque, calidad y validaciones.

Se desarrollará dentro de la jornada normal de trabajo en un plazo de tiempo de 6 a 8 meses. Al ser una propuesta de rediseño del procedimiento de calibración de equipos de medición no se considera la implementación de este.

Se excluye a los proveedores dentro del rediseño en el contexto del cambio de procedimiento y procesos, a pesar de ser estos los que ejecutan todas las calibraciones al ser las mismas de tipo externas, quedando únicamente considerados para envío de plan de calibración del mes y evaluación del servicio. Esto debido a que no se puede rediseñar los procedimientos y procesos de empresas ajenas, sin una negociación.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se desarrollará bajo la línea de investigación metodologías de producción, enfocada a la productividad total. Se definió este enfoque debido a la baja productividad que se presenta dentro del procedimiento de calibración de equipos, el cual se desarrolla, planifica y ejecuta bajo el Departamento de Mantenimiento e Ingeniería.

En la industria farmacéutica es de alta importancia asegurar que el proceso de producción se realice bajo parámetros estrictos previamente establecidos. Para mantener un control de las variables que intervienen en el proceso de producción son necesarios instrumentos de medición que proporcionen una lectura fiable, por la razón anterior es indispensable contar con un procedimiento de calibración de equipos de medición.

Actualmente se tiene establecido un procedimiento de calibración de equipos, sin embargo, presenta un bajo nivel de eficiencia debido a la falta de gestión basada en la productividad del proceso, generando pérdidas de tiempo y de recursos por procesos de calibración innecesarios. El desarrollo de la propuesta de rediseño del procedimiento de calibración de equipo bajo el sistema de gestión de productividad total iniciará con la medición de la productividad actual del mismo, con base en esto evaluar y definir los equipos de calibración para poder realizar una depuración de estos. Junto con la depuración, se realizará una verificación de la información manejada en la base de datos de equipos de medición. Finalmente se buscará corregir la falta de planificación y desorganización que ha generado un desbalance en el cronograma de calibraciones, mediante una redistribución de las calibraciones

por áreas. Mediante la implementación de estas mejoras se obtendrá un procedimiento de calibración de equipos de medición que se base en la productividad total sin afectar la calidad de los procesos productivos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar y gestionar el procedimiento de calibración de equipos de medición bajo el sistema de gestión de productividad total para optimizar costos y minimizar tiempos de paro.

5.2. Específicos

- Establecer la productividad actual del procedimiento de calibración de equipos de medición con base en su incidencia en el OEE y costo de transformación.
- Justificar la criticidad de cada equipo de medición con base en los resultados obtenidos de una matriz de evaluación de equipo para calibración.
- Comparar la información de cada equipo que requiera calibración con base en la retroalimentación obtenida mediante la matriz de evaluación de equipo para calibración.
- Organizar las calibraciones agendadas por mes con base en su clasificación según variable de medición y las áreas en las cuales se encuentran los equipos de medición, en busca de la optimización de la productividad, reducción costos, y balanceo del cronograma de calibraciones.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Tras finalizar el rediseño del procedimiento de calibración, la empresa farmacéutica contará con una propuesta que permitirá un ahorro en costos resultante de la reducción de tiempos de paro y de la adquisición de servicios tercerizados de calibración de equipos. Para lograr obtener este ahorro se deberá definir el nivel de productividad actual del procedimiento de calibración con base en el cumplimiento del cronograma de calibraciones y los reprocesos de calibraciones.

Además de determinar el nivel de producción, se investigará sobre condiciones que deben cumplir los equipos de medición para requerir calibración, una vez definidas las condiciones se plasmarán en una matriz para que los usuarios de los equipos de medición puedan responder con la finalidad de evaluar las respuestas y determinar si los equipos justifican calibración, de no justificar se darán de baja en el procedimiento de calibración.

Por otro lado, mediante la matriz se obtendrá información básica, pero fundamental, de los equipos de medición. Esta información servirá para comparar con la información actual que se tiene de los equipos y poder corregir la información que se tenga incorrecta o desactualizada con respecto a la información proporcionada por los usuarios.

Finalmente, definidos los equipos a incluir en el procedimiento de calibración, se proseguirá a reorganizar el cronograma de calibraciones con el principal objetivo de balancear las calibraciones durante el año, con la

búsqueda de organizarlas de forma que se optimice el aprovechamiento de paros de producción de las distintas áreas.

Una vez implementado el nuevo procedimiento de calibración de equipos, se presentará un procedimiento optimizado, que este diseñado de tal forma que no se requiere posteriores rediseños, sino revisiones de puntos específicos por adición de nuevos equipos de medición, los cuales tendrán que pasar el filtro de la matriz para ingresar al procedimiento.

Con la finalidad de alcanzar los resultados mencionado bajo los niveles de productividad deseados, se plantea la siguiente distribución en fases del rediseño del procedimiento de calibración:

Tabla I. **Fase 1. Análisis de situación actual**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Análisis del Procedimiento de Calibración de Equipos	Revisar y evaluar el Procedimiento de Calibración de Equipos para definir procesos innecesarios u obsoletos, además, de determinar puntos de mejora. Para esto es necesario ejecutar procesos de calibración siguiendo este procedimiento.	Humano, computador, software Microsoft Excel, Procedimiento de Calibración de equipos, registros del departamento de mantenimiento y certificados de calibración.	3 semanas
Medición de tiempo promedio de ejecución de un proceso de calibración según el tipo de equipo de medición.	Acompañar al proveedor en el proceso de calibración, midiendo el tiempo de ejecución de calibración. A estos tiempos de les debe agregar el tiempo de planificación y documentación.	Humano, computador, software Microsoft Excel, cronograma de calibraciones, equipos de medición, papelería y útiles.	4 semanas

Continuación tabla I.

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Análisis de costos de los procesos de calibración.	Mediante los registros en SAP de órdenes de compra se determina el costo promedio de los procesos de calibración según el tipo de equipo de medición. Además, se debe realizar una proyección de los costos derivados de los procesos de calibración con base en los tiempos promedios de cada tipo de proceso de calibración.	Humano, computador, cronograma de calibraciones, software SAP y software Microsoft Excel.	4 semanas
Determinar el OEE y costo de transformación actual.	Mediante el apoyo del área de fabricación se determina OEE actual y el costo de transformación promedio de los últimos 12 meses.	Humano, computadora, registros del área de operaciones y software Microsoft Excel.	2 semanas

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Fase 2. Recolección y análisis de información

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Determinar criterios de calibración.	Mediante el apoyo de fuentes bibliográficas de entes reguladores de procesos de calibración, se determinarán criterios que deben cumplir los equipos de medición para justificar un proceso de calibración.	Humano, computador, acceso a internet, bibliografías de proveedores y buscadores web.	2 semanas

Continuación tabla II.

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Desarrollo y envío de matriz de justificación de calibración	Con base en la información recolectada en el punto anterior, se desarrolla una matriz con la cual se puedan cuantificar características cualitativas de los equipos y su incidencia en los distintos procesos productivos o auxiliares a la producción. Esta matriz también funciona como un cuestionario sobre la información fundamental de los equipos de medición (rango de medición, tolerancia, ubicación y fecha de próxima calibración). Una vez desarrollada la matriz, se solicita autorización a gerencia de operaciones para el envío de la matriz a las áreas a cargo de los equipos de medición. Además, se solicitará apoyo a las áreas involucradas para que puedan responder a la matriz.	Humano, computador, software Microsoft Excel, software Outlook y cronograma de calibraciones.	3 semanas
Recolección de información de equipos de medición.	Tras finalizado el plazo para responder a la matriz de justificación de calibración, se procede a recibir la información de cada equipo de medición y tabular dicha información en una hoja de Excel.	Humano, computador, software Microsoft Excel, software Outlook y cronograma de calibraciones.	2 semanas

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Fase 3. Propuesta de rediseño

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Propuesta de depuración de equipos	Con las respuestas recibidas de la matriz de justificación de calibración, se define si el equipo de medición evaluado requiere o no de un proceso de calibración anual, prosiguiendo a depurar aquellos equipos que no obtengan la calificación mínima para ser considerados dentro del cronograma de calibraciones.	Humano, computador, correo electrónico y software Microsoft Excel.	3 semanas
Comparación y de depuración información.	Comparar la información manejada por los usuarios con la información que se tiene de los equipos que según la matriz requieran calibración, esto con la finalidad de realizar una depuración bajo un método de integración de datos.	Humano, cronograma de calibraciones, computador, correo electrónico y software Microsoft Excel	3 semanas
Propuesta de redistribución de calibraciones	Desarrollar una redistribución de las calibraciones, con la finalidad de obtener un plan de calibraciones balanceado, además, que las calibraciones de los equipos de medición pertenecientes a una misma área o máquina se realicen en el mismo mes y que estos coincidan con el plan de mantenimiento de dichas áreas y máquinas.	Humano, cronograma de calibraciones, cronograma de mantenimiento de equipos, computador y software Microsoft Excel	7 semanas

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Fase 4. Presentación de resultados**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempos
Análisis costo-beneficio de la propuesta de depuración y redistribución.	Con base en esta nueva propuesta se realiza una proyección de costos, la cual se compara con los costos determinados del proceso de calibración vigente, mediante un análisis costo beneficio.	Humano, cronograma de calibraciones, computador y software Microsoft Excel.	4 semanas
Determinación del cambio en el OEE y Costo de Transformación.	Con base en la nueva propuesta se estima el nuevo OEE y Costo de transformación ha obtener, y se prosigue a comprar con el OEE y Costo de Transformación actual. Esta comparación se realiza mediante una tabla en la que se presenta el cambio y el porcentaje de mejora de ambos indicadores.	Humano, computadora, registros del área de operaciones y software Microsoft Excel.	3 semanas
Desarrollo y de presentación informe final.	Se desarrolla el informe final según las indicaciones proporcionadas por la Escuela de Estudios de Postgrados, para su posterior revisión por parte del asesor, docente y terna evaluadora.	Humano, computadora, Software de Microsoft Word, Excel y Project, archivos y bibliografías de la Escuela de Estudio de postgrado.	10 semanas

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Metrología

La necesidad de medir surge desde los inicios del ser humano con la finalidad de mantener un control sobre los distintos procesos desarrollados en sus actividades y labores diarias. Sin contar con unidades e instrumentos de medición, estos adecuaron los recursos existentes para cumplir con una medición precisa, un ejemplo de esto es la utilización de la mano humana como instrumento de medición, teniendo como unidades de medida la palma, la cuarta, el dedo y la pulgada. (Ramírez, 2019)

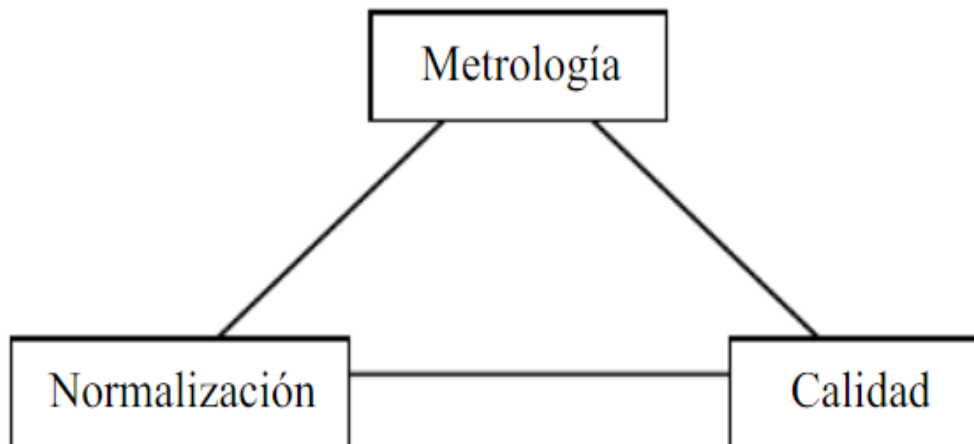
Con el paso del tiempo las mediciones en general fueron desarrollándose y ampliándose hasta tal punto que el ser humano se vio en la necesidad de crear una ciencia dedicada al estudio de las mediciones, es así como surge la metrología. La metrología es la ciencia dedicada al estudio, diseño y establecimiento de todos los aspectos teóricos y prácticos referente a las mediciones, esto incluye a las magnitudes, sistemas de unidades, instrumentos de medición, incertidumbres, tolerancias, procesos de medición, verificación y calibración, entre otros. (Manrique y Casanova, 1994)

La metrología también se encarga de investigar, experimentar y establecer los patrones de referencia o instrumentos de referencia utilizados para comparar o verificar las medidas proporcionadas por instrumentos de medición, lo cual se conoce comúnmente como un proceso de calibración. (Villamizar, 2004)

La metrología tiene la peculiaridad que condiciona a otras ciencias, así como utilizar recursos de las demás ciencias para cumplir sus objetivos, además, requiere de un alto grado de experimentación para progresar en su desarrollo. El desarrollo de la metrología permite el desarrollo de otras ciencias, así como el desarrollo de otras ciencias promueven el desarrollo de la metrología.

Dentro de esta ciencia existe un concepto llamado el triángulo de oro, el cual expresa la relación entre la metrología, normalización y calidad. Esta relación define que para trabajar con calidad se requiere adaptarse a las estandarizaciones internacionales y tener la capacidad de aplicar la metrología en los procesos productivos. (Ramírez, 2019)

Figura 1. **Triángulo de oro**



Fuente: Villamizar, (2004). *Metrología*. Consultado el 15 de octubre de 2022. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/380676207/307283432-Libro-de-Metrologia-pdf>

7.1.1. Clasificación de la metrología

Al estar ligada a la mayoría de las ciencias, sino es que a todas, la metrología requiere de subdivisiones para poder estudiar, diseñar y establecer las técnicas, procesos y demás componentes que influyen en la toma de mediciones. Por lo tanto, la metrología se clasifica con base en su campo de aplicación en metrología legal, metrología industrial y metrología científica.

7.1.1.1. Metrología legal

La metrología legal se relaciona con los criterios técnicos y obligatorios que deben seguir los métodos e instrumentos de medición, desde la perspectiva de seguridad y exactitud de una medición. (Villamizar, 2004) Su función es asegurar el cumplimiento de una legislación de metrología, la cual hace referencia a aspectos como: personal capacitado, laboratorios de metrología, aplicación de patrones, entre otros. (Ramírez, 2019)

Esta clasificación de la metrología se implementó con el objetivo de dar seguridad a los consumidores sobre los bienes y servicios adquiridos, ya que asegura el cumplimiento de las características y parámetros ofrecidos por los fabricantes, que de no cumplirse pueden tener influencia sobre el medio ambiente, la salud o seguridad de los consumidores. (Sánchez y Gómez, 2019) Cabe mencionar que el alcance de la metrología legal dependerá de la legislación nacional vigente.

7.1.1.2. Metrología industrial

La metrología industrial es la encargada de asegurar que las mediciones que intervienen en los procesos productivos sean confiables, mediante la

calibración, control y mantenimiento de los instrumentos de medición conforme a las normas establecidas. (Sánchez y Gómez, 2019) Además, permite alcanzar la calidad deseada en procesos y productos, así como optimizar procesos productivos.

Su principal campo de aplicación es la calibración de equipos de medición, con base en la cual se definen los procedimientos e intervalos de calibración, se controla los procesos de medición y se gestionan los equipos de medición. (Villamizar, 2004) En referencia a los procesos de calibración, se cuenta con la ventaja de realizar estos procesos en sitio o en un laboratorio de metrología el cual pueda situarse en el país o exterior.

7.1.1.3. Metrología científica

La metrología científica también es conocida como metrología general, es la metrología que abarca la organización y desarrollo de patrones de medición y su mantenimiento, además, de la definición de las unidades de medidas, así como la solución de problemas teóricos y prácticos correspondientes a estas unidades. (Sánchez y Gómez, 2019)

Dentro de esta rama de la metrología se hace referencia a la metrología según la técnica y tipo de medición, entre las principales que se pueden mencionar se encuentran la metrología de masa, dimensional, de temperatura y química. (Villamizar, 2004)

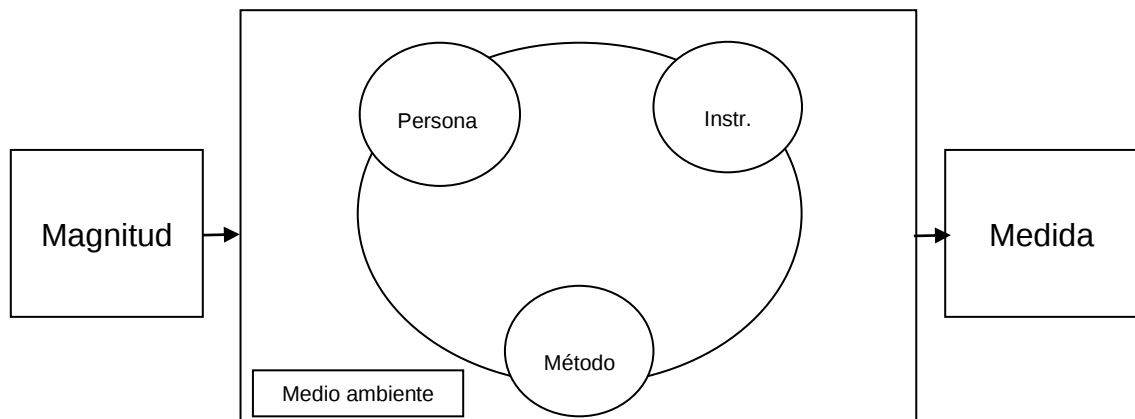
7.1.2. Medición, verificación y calibración

Hasta este punto se ha mencionado en reiteradas ocasiones los conceptos de medición, verificación y calibración, sin embargo, no se ha

definido a que hace referencia estos términos, lo cual es indispensable para no confundir los mismos.

La medición es el proceso de determinar numéricamente el valor de una magnitud. Al tomar la medición como un proceso, la magnitud se define como la entrada del proceso, con base en la entrada el operario determina el instrumento de medición y método a emplear en el ambiente donde se desarrolla el proceso, finalmente el producto obtenido es un valor numérico el cual se conoce como medida. (Villamizar, 2004)

Figura 2. **Proceso de calibración**



Fuente: Villamizar, R. (2004). *Metrología*. Consultado el 15 de octubre de 2022. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/380676207/307283432-Libro-de-Metrologia-pdf>

La verificación consiste en comparar y comprobar que la diferencia entre el valor proporcionado por un instrumento de medición y el valor real sea menor que el error máximo permisible en la especificación del instrumento, ya que de no cumplirse con esta condición se prosigue a calibrar para tomar la decisión de reparar, reclasificar o dar de baja el instrumento de medición. (Villamizar, 2004) Las verificaciones son procesos internos los cuales, a pesar de basarse en

alguna norma o especificación de fabricantes, no requieren de un personal certificado para realizarse.

La calibración es un proceso de evaluación periódica de la exactitud de un instrumento de medición, consiste en medir una magnitud en condiciones específicas, para posteriormente comparar la medida del instrumento de medición con la medida de un patrón, con lo que se obtiene la desviación del instrumento. (Ramírez, 2019) Con base en este resultado se determina si las medidas obtenidas del instrumento de medición se encuentran dentro de un rango de tolerancia aceptable para asegurar que son confiables y no afectaran el proceso en el que está involucrado el instrumento de medición en el periodo de tiempo que tenga validez la calibración, por esto los procesos de calibración son realizados por entes calificados y certificados. (Villamizar, 2004)

Las calibraciones se realizan periódicamente debido a que conforme se da uso de un instrumento se producen desajustes, por lo que se definen periodos de vigencia de calibración dependiendo el uso y el proceso productivo del que forma parte el instrumento.

En los procesos de calibración no es posible realizar mediciones en todos los puntos de uso de un instrumento de medición, sin embargo, se prosigue a realizarse en puntos específicos mediante los cuales se establece una desviación global de calibración. (Sánchez y Gómez, 2019)

7.1.3. Exactitud, precisión, sensibilidad y tolerancia

Leer no es lo mismo que medir, esta frase hace referencia a que la lectura proporcionada por un instrumento de medición no es el valor real de la magnitud medida (Manrique y Casanova, 1994). En este punto es donde entran

en juego los conceptos de exactitud, precisión y sensibilidad, los cuales suelen confundirse entre sí.

La exactitud es la cualidad de los instrumentos de medición que permite proporcionar mediciones próximas al valor real, en otras palabras, es la diferencia entre el valor medido y el valor real, por lo que a menor diferencia se tendrá una mayor exactitud. En los procesos de calibración de instrumentos es la exactitud el factor por evaluar.

La precisión es la capacidad de un instrumento de proporcionar valores cercanos entre sí de distintas mediciones realizadas bajo las mismas condiciones en un lapso corto, por lo que es común cuantificarse mediante un análisis estadístico de incertezas, como lo es el cálculo de la desviación estándar.

La sensibilidad es la mínima variación que un instrumento de medición puede proporcionar entre dos mediciones continuas con exactitud y precisión. (Villamizar, 2004)

La tolerancia, a diferencia de la sensibilidad, es la máxima variación permitida de una medida con respecto al valor real, esta variación dependerá principalmente de la exactitud que se requiere en el proceso medido (Sánchez y Gómez, 2019).

7.1.4. Errores de medición

En los procesos de medición y calibración se busca minimizar los factores que pueden generar variación, por lo que la metrología hace énfasis en el estudio de errores. Los errores son estimaciones de la incertidumbre de una

medida, por lo que a mayor incertidumbre se genere en una medición mayor será el error resultante. Existen dos tipos de errores que pueden afectar a las mediciones, los errores sistemáticos y los errores accidentales.

Los errores sistemáticos son aquellos que se dan por causas conocidas, por lo que se pueden controlar y corregir. Estos son causados por:

- Error instrumental: se debe al emplear un instrumento de medición defectuoso, descalibrado o que no sea apto para el proceso de medición, por lo que genera una variación, la cual se puede corregir empleando un instrumento en condiciones óptimas, calibrado y apto para el proceso de medición a emplear.
- Error en el método: consiste en la utilización de un método de calibración inadecuado, se corrige cambiando el instrumento, al observador y/o al método de medición.
- Error humano: es el error sistemático más complicado de determinar y no se puede corregir, sino más bien controlar.

Los errores accidentales, a diferencia de los sistemáticos, se deben a causas imprevisibles e incontrolables. Son generados principalmente por variaciones intrínsecas del ambiente, sin embargo, presentan una distribución proporcional, por lo que se pueden estimar mediante un análisis estadístico de incertidumbres. (Ramírez, 2019)

7.1.5. Documentación y trazabilidad

Es de alta importancia que las mediciones realizadas en los procesos de producción sean confiables para cumplir con las condiciones necesarias que

aseguran la calidad de los productos, esto se logra mediante procesos de calibración. En términos industriales, una planta cuenta con una gran variedad de instrumentos de medición, por lo que se desarrolla e implementa un procedimiento de calibración de equipos. Dentro del procedimiento se detallan las características de los sistemas de calibración y plan de calibración, los cuales deben documentarse para validar la ejecución de los procesos de calibración. (Restrepo, 2007)

La documentación conforma una parte fundamental del sistema de aseguramiento de calidad en los procesos de calibración. Para validar una calibración se debe solicitar un certificado en el cual se especifique el método empleado, el equipo sometido a dicho método, las condiciones bajo las cuales se realizó el proceso de calibración y los resultados obtenidos. (Villamizar, 2004)

El documentar los procesos de calibración permite tener un registro del proceso de calibración, en donde se pueda identificar el patrón con que se realizó dicho proceso y así poder asegurar que ese patrón estuviese calibrado con lo que se puede validar la calibración. La descripción anterior hace referencia a la trazabilidad, que es la propiedad del resultado de una medición que permite el relacionamiento con un patrón nacional o internacional, mediante una cadena continua y documentada de calibraciones, en donde se hayan definido las incertidumbres respectivas. (Sánchez y Gómez, 2019)

La trazabilidad es válida cuando se proporcionan evidencias científicas, ininterrumpidas y aptas a cada aplicación, que presente calibraciones con resultados de sus mediciones, las cuales deben ser correctamente documentadas. (Villamizar, 2004) La trazabilidad en la calibración de instrumentos de medición se puede visualizar mediante la figura 3.

Figura 3. **Cadena de trazabilidad**



Fuente: Villamizar, (2004). *Metrología*. Consultado el 15 de octubre de 2022. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/380676207/307283432-Libro-de-Metrologia-pdf>

7.1.6. Importancia de las calibraciones en la industria farmacéutica

Las calibraciones comprenden un punto fundamental en los procesos industriales, esto debido a proporciona confianza e información sobre estos procesos, lo cual se ve reflejado en beneficios, entre los cuales destacan: la calidad de los productos, aumento de productividad, disminución de costos, aumento de vida útil de los instrumentos de medición y promueve la normalización internacional. (Villamizar, 2004) Además, también representan un método para proporcionar seguridad y confianza a los consumidores que los productos adquiridos cumplen con las especificaciones proporcionadas por los proveedores.

Estos aspectos no son irrelevantes para la industria farmacéutica, incluso se puede afirmar que son más importantes y aplicables a la misma. En las farmacéuticas se tiene un mayor y estricto control de las variables que intervienen en sus procesos productivos debido a que una variación de estos puede repercutir en la salud de los consumidores.

Por la incidencia de la industria farmacéutica en la salud, se tiene constantes auditorias por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, con la finalidad de asegurar que se cumpla con el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 11.03.42:07 PRODUCTOS FARMACEÚTICOS. MEDICAMENTOS DE USO HUMANO. BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA LA INDUSTRIA FARMACEÚTICA. Este reglamento tiene como objetivo establecer las buenas prácticas de manufactura que regulen todos los procedimientos relacionados en la manufactura de productos farmacéuticos para asegurar la seguridad y calidad de los mismos. (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS], 2022)

Dentro del reglamento se tiene una sección referente a las calibraciones, en el cual se establece la necesidad de calibraciones de instrumentos de medición, las cuales deben realizarse en intervalos convenientes y establecidos en un procedimiento escrito que contenga como mínimo: frecuencia, límites de exactitud, precisión y previsiones para acciones preventivas y correctivas. (MSPAS, 2022)

7.2. Productividad

Cada día es más importante profundizar en los conceptos de productividad y mejora continua con la finalidad de aumentar la eficiencia y competitividad de la industria donde se apliquen los mismos, lo cual se ve

reflejado en la reducción de sus costos de producción y mejora de la calidad de sus procesos productivos.

A lo largo de la historia se han realizado distintas definiciones de productividad, sin embargo, todas estas definen a la productividad ya sea desde una perspectiva técnica, económica o humana. Desde la perspectiva técnica, la productividad se relaciona con la eficiencia, eficacia, calidad y procesos productivos; desde la perspectiva económica, se hace referencia a conceptos como productividad total, productividad parcial, rendimiento y competitividad; desde la perspectiva humana, se consideran aspectos relacionados al trabajo humano, la mejora de la calidad vida y el relacionamiento social. (Escalante y González, 2015) Al tomar las tres perspectivas anteriores se puede definir que la productividad es el uso óptimo de los distintos tipos de recursos disponibles para desarrollar un proceso productivo de calidad.

Se debe tener claro que, a pesar de contar y aplicar los softwares y tecnologías más avanzadas a un proceso de producción, no se puede alcanzar un nivel de productividad deseado si el factor humano no está alineado en todos sus niveles, solo alineando el factor humano con las herramientas correctas se podrá alcanzar una productividad sustentable. (López, 2012)

7.2.1. Gestión de la productividad

Para gestionar o controlar un proceso es indispensable poder medir sus variables, este principio es aplicable para la productividad. Los factores que intervienen en la productividad de un proceso son la eficiencia y calidad. Para controlar la productividad de un proceso es necesario medir los niveles de eficiencia y calidad, con base en los cuales se implementarán sistemas,

técnicas y herramientas para gestionar estos factores, controlando y alcanzado los niveles de productividad deseados. (López, 2012)

7.2.1.1. Medición de la productividad en función de la eficiencia

La eficiencia de un proceso tendrá una incidencia directa en el nivel de productividad de un proceso. La productividad en función de la eficiencia se puede medir desde dos perspectivas, cada una correspondiente a los dos principales tipos de eficiencias que se buscan gestionar en un proceso productivo, la eficiencia de recursos y la eficiencia financiera. (López, 2012)

7.2.1.1.1. Productividad basada en los recursos

La productividad se puede medir según la eficiencia de un proceso en función del aprovechamiento de los recursos, tangibles e intangibles, para alcanzar un nivel de producción. (López, 2012. Con los resultados obtenidos de estas mediciones, es posible determinar el nivel y capacidad de producción.

Con base en el aprovechamiento de los recursos podemos definir dos tipos de productividad a determinar:

- Productividad total

Es la productividad que relaciona el nivel de producción con todos los recursos utilizados para alcanzar dicha producción, sin importar su clasificación (Escalante y González, 2015). La ecuación (7.1) presenta el cálculo de la

productividad total. En la productividad total los insumos hacen referencia a todos los recursos aplicados en el proceso de producción.

$$\text{Productividad total} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos totales}} \quad (7.1)$$

- Productividad parcial

Es la productividad que relaciona el nivel de producción con una clasificación específica de recursos utilizados para alcanzar dicha producción. La ecuación (7.2) presenta el cálculo de la producción parcial.

$$\text{Productividad parcial} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumo}} \quad (7.2)$$

7.2.1.1.2. Productividad financiera

El control y optimización de la productividad de un proceso no tendría sentido si no proporcionará beneficios financieros, ya que todos los esfuerzos por aprovechar de mejor manera los recursos y reducir tiempos muertos tienen el fin de reducir costos de producción, para así mejorar el margen de ganancias de la producción.

La productividad financiera se determina mediante el beneficio monetario obtenido de un proceso productivo. El costo de transformación es el principal indicador de la productividad financiera. Este costo es una razón del beneficio obtenido al comparar los precios de venta de una producción con los costos directos e indirectos de la producción, esta razón debe ser igual o menor a uno

para generar rentabilidad (López, 2012). En la ecuación (7.3) se presenta el cálculo del costo de transformación.

$$C. \text{ transformación} = \frac{C. \text{ directos/indirectos}}{\text{Valor de producción}} \quad (7.3)$$

7.2.1.2. Medición de la productividad en función de la calidad-eficiencia

La calidad se considera como la eficiencia encargada del control de variables en un proceso productivo para asegurar que los productos y/o servicios resultantes cumplan con las características y especificaciones que mantengan su competitividad en el mercado (López, 2012). El nivel de productividad de un proceso se verá afectado directamente por el cumplimiento en los parámetros de calidad, ya que al no cumplirse estos parámetros resultará en productos o servicios rechazados por incumplimiento en sus características. Por lo anterior es necesario medir la productividad en función de la calidad, esto se logra mediante la aplicación de distintos indicadores de productividad, entre los cuales destaca la eficiencia global de equipos OEE.

7.2.1.2.1. Eficiencia global de equipos (OEE)

La eficiencia global de equipos, OEE por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), es un indicador porcentual que determina la eficiencia global productiva de una máquina, un proceso o una planta industrial, la ventaja que presenta el OEE sobre otros indicadores de productividad es que relaciona los tres aspectos fundamentales de la producción industrial, siendo estos la disponibilidad, eficiencia y calidad (García y Carrillo, 2016). La ecuación

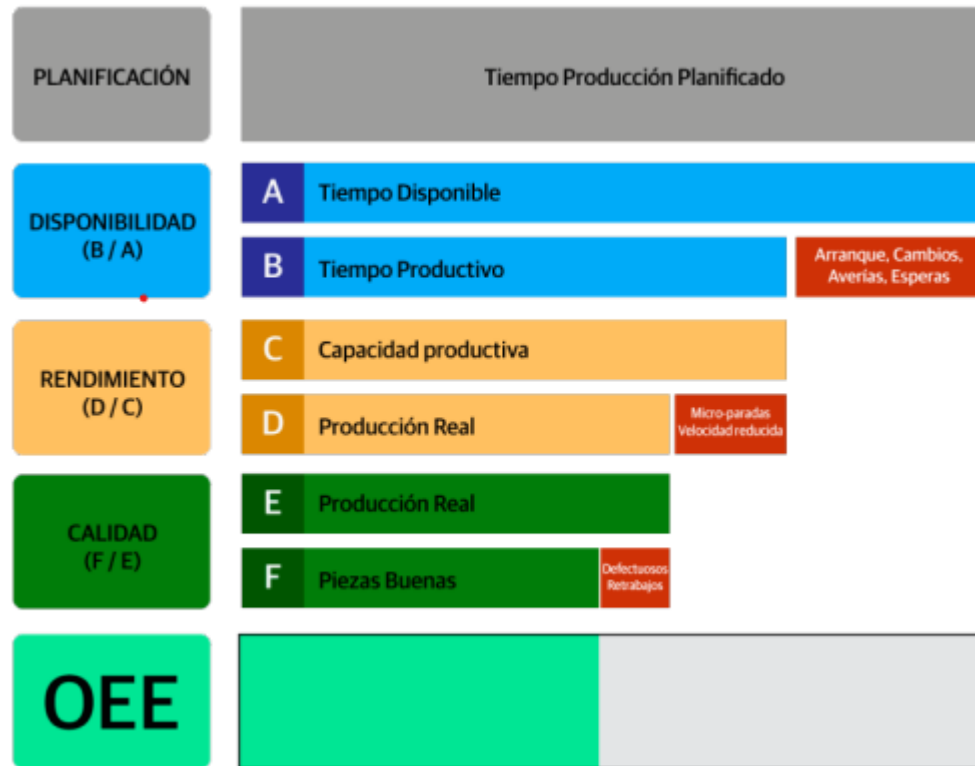
(7.4) representa la definición anterior, con la cual se determina el porcentaje de eficiencia global.

$$OEE = A * P * Q \quad (7.4)$$

Si analizamos la ecuación anterior el porcentaje de eficiencia global es el resultado de operar los porcentajes de disponibilidad, rendimiento y calidad de un proceso productivo. Es indispensable para el cálculo del OEE comprender el concepto de cada uno de estos factores y como determinarlos. Sin embargo, el desarrollo de estos factores se realizará más adelante.

Desde una perspectiva industrial, el OEE es un estándar del control de la productividad reconocido a nivel mundial debido a que permite reducir tiempos de paro, aumenta la calidad minimizando los productos rechazados e identifica las causas de la ineficiencia en función del rendimiento. (Rodríguez, 2019) En la figura 4 se presenta los factores que tienen incidencia en el OEE, además, de mostrar un factor externo a la eficiencia global que también tendrá incidencia en la productividad, este factor es la planificación.

Figura 4. Factores del OEE y su incidencia en la productividad



Fuente: Rodríguez. (2019). *Sistema de Gestión de Eficiencia Global (Overall Equipment Effectiveness, OEE) en tiempo real para industria*. Consultado el 20 de octubre de 2022.

Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/127853>

Como ya fue mencionado el OEE es el resultado de la medición porcentual de disponibilidad, rendimiento y calidad, sin embargo, no se ha definido a que hace referencia cada uno de estos factores y como se determinan.

- Disponibilidad

Es la medición del tiempo en que una máquina esta en funcionamiento dentro de un proceso productivo. (Vásquez, 2013) El elemento que tiene mayor incidencia en la disponibilidad son las paradas, las cuales pueden ser

planificadas y no planificadas. Como sus nombres lo dicen, las paradas planificadas son aquellas que fueron previstas en un plan de producción, mientras que las no planificadas se dan por factores que no fueron previstos, como una falla mecánica (Rodríguez, 2019). En la ecuación (7.5) se presenta el cálculo de la disponibilidad, la cual se obtiene de operar el tiempo disponible dentro del tiempo de producción.

$$A = \frac{PT}{AT} \quad (7.5)$$

- Rendimiento

Se mide mediante la comparación de la producción real con la máxima capacidad de producción. (Vásquez, 2013) El rendimiento se ve afectado por la reducción de la velocidad y las microparadas. Las microparadas son periodos de tiempo en que no se está produciendo, lo cuales al ser tan cortos no se consideran dentro de la disponibilidad, sin embargo, suelen presentarse con alta frecuencia (Rodríguez, 2019). La reducción de la velocidad hace referencia a realizar un proceso a un valor menor que el de la velocidad nominal de trabajo. En la ecuación (7.6) se expone el cálculo del rendimiento, el cual se obtiene de operar el total de unidades producidas dentro de la capacidad nominal de producción de la máquina y el tiempo productivo.

$$P = \frac{\text{total de unidad}}{PT * \text{Capacidad Nominal}} \quad (7.6)$$

- Calidad

Se basa en la medición de unidades defectuosas con respecto al total de unidades producidas. (Vásquez, 2013) En la ecuación (7.7) se presenta el cálculo de la calidad en función de la definición anterior.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Unidades no conformes}}{\text{Total de unidades}} \quad (7.7)$$

A diferencia de los dos factores anteriores, la pérdida en la calidad no se debe a aspectos generales y específicos, sino se tiene un amplio listado de razones distintas, las cuales son altamente dependientes de cada empresa y cada proceso específico. (Rodríguez, 2019)

Ya se ha definido la eficiencia global y los factores para su determinación, sin embargo, no se ha expuesto como se analiza el resultado obtenido del cálculo del OEE. El porcentaje de OEE bajo el que se medirá la productividad de una máquina, proceso o industria debe ser definida por la misma empresa, sin embargo, se han establecido rangos generales para clasificar e interpretar el nivel de productividad en función del OEE.

Tabla V. Clasificación del OEE

VALOR DE OEE	NIVEL	SITUACIÓN	SIGNIFICADO	COMPETITIVIDAD
OEE < 65%	Malo	Inaceptable	Grandes pérdidas económicas.	Muy Baja
65% ≤ OEE < 75%	Regular	Aceptable solo si está en proceso de mejora	Grandes pérdidas económicas	Baja
VALOR DE OEE	NIVEL	SITUACIÓN	SIGNIFICADO	COMPETITIVIDAD
75% ≤ OEE < 85%	Buena	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas.	Ligeramente Baja o media
85% ≤ OEE < 95%	Muy buena	Aceptable	Se acerca a la excelencia. Liderazgo en el Mercado	Buena
OEE ≥ 95%	Excelente	Excelente	Objetivo general de todas las empresas manufactureras	Excelente

Fuente: Vásquez, (2013). *Indicadores de evaluación de la implementación del Lean Manufacturing en la Industria*. Consultado el 20 de octubre de 2022. Recuperado de: <https://1library.co/document/oy8j88rz-indicadores-evaluacion-implementacion-lean-manufacturing-industria.html>

Sí se analiza la tabla anterior y se aplica al desarrollo industrial de una empresa, se puede afirmar lo siguiente:

- Un OEE menor al 65 % corresponde a empresas que están iniciando sus labores en el mercado industrial al que pertenecen.
- Un OEE que se encuentra entre el 65 % al 75 % corresponde a empresas que han pasado de una etapa de fundación a una etapa de desarrollo.

- Un OEE entre un 75 % a 85 % corresponde a empresas que han logrado una regularidad en el mercado industrial, posicionándose en los puestos bajos e intermedios.
- Un OEE entre el 85 % y 95 % corresponde a empresas que se han posicionado en puestos intermedios altos de un mercado industrial. Sí se desea aumentar este porcentaje se debe evaluar primero si es rentable.
- Un OEE superior al 95 % se puede encontrar en muy pocas y selectas empresas, las cuales están en constante desarrollo de nuevos productos.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Metrología

2.1.1. Clasificación de la metrología

2.1.1.1. Metrología legal

2.1.1.2. Metrología industrial

2.1.1.3. Metrología científica

2.1.2. Medición, verificación y calibración

2.1.3. Exactitud, precisión, sensibilidad y tolerancia

2.1.4. Errores de medición

2.1.5. Documentación y trazabilidad

2.1.6. Importancia de las calibraciones en la industria farmacéutica.

2.2. Productividad

2.2.1. Gestión de la productividad

2.2.1.1. Medición de la productividad en función de la eficiencia

2.2.1.1.1. Productividad basada en los recursos

2.2.1.1.2. Productividad financiera

2.2.1.2. Medición de la productividad en función de la calidad-eficiencia

2.2.1.1.1. Eficiencia global de equipos

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de situación actual

3.1.1. Análisis del procedimiento de calibración de equipos

3.1.1.1. Descripción del procedimiento y sus componentes.

3.1.2. Análisis de costos de los procesos de calibración

3.1.2.1. Costos directos

3.1.2.2. Costos indirectos

3.1.3. Determinación del OEE y costo de transformación actual.

3.2. Matriz de justificación de calibración

3.2.1. Criterios de calibración

3.2.2. Información de equipos

3.2.3. Análisis de respuestas

3.3. Depuración y análisis de información

3.3.1. Propuesta de depuración de equipos de medición a calibrar

- 3.3.2. Comparación y depuración de Información de los equipos de medición.
- 3.4. Redistribución y análisis de propuesta final
 - 3.4.1. Propuesta de redistribución de calibraciones
 - 3.4.2. Cálculo del OEE propuesta y comparación con OEE actual
 - 3.4.3. Cálculo del costo de transformación propuesta y comparación con costo de transformación actual
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 4.1. Objetivo 1: establecer la productividad actual del procedimiento de calibración de equipos de medición con base en su incidencia en el OEE y costo de transformación
 - 4.2. Objetivo 2: justificar la criticidad de cada equipo de medición con base en los resultados obtenidos de una matriz de evaluación de equipos para calibración
 - 4.3. Objetivo 3: comparar la información de cada equipo que requiera calibración con base en la retroalimentación obtenida mediante la matriz de evaluación de equipos para calibración
 - 4.4. Objetivo 4: organizar las calibraciones agendadas por mes con base en su clasificación según variable de medición y áreas en las cuales se encuentran los equipos de medición, en busca de la optimización de la productividad, reducción costos y balanceo del cronograma de calibraciones.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Con la finalidad de llevar a cabo el estudio en la industria farmacéutica se plantea la siguiente metodología.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto, ya que analizará las cualidades del proceso de calibración de equipos de medición con la finalidad de reducir tiempos muertos y costos. El análisis cualitativo del estudio comprende la descripción del procedimiento de calibración de equipos, comparación de la información de los equipos dentro del programa de calibraciones con la información proporcionada por los usuarios, ubicación de los equipos de medición para propuesta de redistribución, análisis de los parámetros del proceso de calibración y documentación de calibraciones.

El análisis cuantitativo del estudio se realizará definiendo los costos directos e indirectos del proceso de calibración de equipos, y los tiempos del proceso de calibración. También se determinará el cambio en el OEE que se podrá obtener al depurar equipos según su criticidad en el proceso productivo, y redistribuir las calibraciones por ubicación. Además, se definirá la influencia que estas actividades propuestas tendrán en el costo de transformación.

El alcance del estudio es descriptivo debido a que evaluará todas las características, proceso de calibración y componentes del procedimiento de calibración de equipos para determinar y proponer modificaciones a implementar para optimizar la productividad del procedimiento.

El diseño adoptado es no experimental, ya que la información financiera y de ejecución del proceso de calibraciones para rediseñar el procedimiento de calibración de equipos no se variará, las proyecciones de reducción del OEE y costo de transformación se realizarán sin modificar aún el procedimiento.

9.2. Unidades de análisis

La población de estudio son los equipos de medición pertenecientes a la zona técnica del área de fabricación, lo que corresponde a una muestra de 94 equipos de medición, de los 573 contemplados en el procedimiento de calibración de equipos. Esta muestra se conforma por los siguientes equipos de medición: 1 sensor de conductividad, 4 convertidores de corriente a presión, 4 convertidores de temperatura a corriente, 9 transmisores de presión, 38 manómetros, 19 manómetros de diferencial de presión, 3 vacúmetros, 6 medidores de temperatura y 10 medidores de temperatura y humedad. La unidad de análisis es el procedimiento de calibración de equipos de medición, específicamente la evaluación de los equipos considerados para calibración, veracidad de la información de los equipos y la distribución de las calibraciones.

9.3. Variables

A continuación, se presentan las variables de estudio.

Tabla VI. Variables de estudio

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Costos indirectos	“son los costos que, por su naturaleza o posibilidad de identificación no es posible asignarlo a un solo proceso, producto o departamento.” (Marulando Castaño, 2009, p. 13).	Será la suma de los costos que no son propios del proceso de calibración, pero que son generados al realizar una calibración. Costos indirectos = Σ (costos generados por calibrar)

Continuación tabla V.

Costos directos	“Son los costos que se identifican plenamente con una actividad, proceso o producto” (Marulando Castaño, 2009, p. 13).	Suma de los costos para llevar a cabo un proceso de calibración. Costos directos = Σ (costos generados por calibrar)
OEE	“es un indicador en forma porcentual que mide la eficiencia global productiva con la que trabaja determinada máquina, planta industrial o proceso” (Rodríguez Sierra, 2019, p. 12).	El OEE se mide tomando en cuenta el tiempo en que los equipos están disponibles, los reprocesos realizados y el cumplimiento con el plan fabricación. %OEE = Disponibilidad*Calidad*Rendimiento
Costo de transformación	aquellos costos que emanan de la actividad de transformación de una materia prima con un estado origen o virgen a un producto ya elaborado.” (Llamas, 2020, párr. 1).	El costo de transformación se mide tomando en cuenta los costos directos e indirectos de la producción, este valor obtenido se divide dentro de los ingresos generados de dicha producción. Costo de transformación = (costos directos e indirectos de producción) /ingresos.

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases

El presente estudio se realizará en cuatro fases a continuación descritas.

9.4.1. Fase 1: análisis de situación actual

Se analizará el procedimiento de calibración de equipos para determinar su nivel de productividad actual.

- Análisis del procedimiento de calibración de equipos: se revisará y evaluará este procedimiento para determinar procesos innecesarios u obsoletos, además, de determinar puntos de mejora.

- Medición de tiempo promedio de ejecución de los procesos de calibración: Se determinará el tiempo promedio de ejecución de los distintos procesos de calibración, mediante el acompañamiento del proveedor en los procesos de calibración.
- Análisis de costos de los procesos de calibración: se determinarán los costos directos e indirectos que se generan en un proceso de calibración. Los costos directos son el valor de servicio de calibración. Los costos indirectos son los generados debido a la planificación de la calibración, también se incluyen los costos debido a información incompleta o errónea de los equipos a calibrar.
- Determinación del OEE y costo de transformación: con el apoyo del área de fabricación se determinará el OEE actual y costo de transformación promedio de los últimos 12 meses.

9.4.2. Fase 2: recolección y análisis de información

Se recolectará información brindada por entes reguladores de calibraciones y datos sobre los equipos de medición.

- Determinación de criterios de calibración: se seleccionarán los criterios definidos por entes reguladores de calibraciones que determinarán la necesidad de un equipo de ser calibrado.
- Desarrollo y envío de matriz de justificación de calibración: se desarrollará una matriz que cuantifique cualidades de los equipos de medición para definir si estos justifican la ejecución de un proceso de calibración. La matriz también funcionará como un cuestionario para recolectar información clave de los equipos para los procesos de calibración (rango de operación, tolerancia, ubicación y fecha de próxima

calibración). Una vez desarrollada se enviará la matriz a los usuarios a cargo de los equipos de medición a muestrear.

- Recolección de información de equipos de medición: mediante la matriz de justificación de calibración, se recolectará información clave sobre los equipos de medición, dicha información será tabulada en una hoja de Excel.

9.4.3. Fase 3: propuesta de depuración de equipos e información

Con base en los análisis de información se realizará la siguiente propuesta de depuración:

- Depuración de equipos: definidos los equipos que justifican calibración se desarrollará una propuesta del cronograma de calibración de equipos de medición en el cual se descartará los equipos que no justifican un proceso de calibración.
- Comparación y corrección de información: con base en la información recaudada de los equipos, se comparará con la información que se maneja en el cronograma de calibración de equipos de medición y, de ser necesario, se actualiza o corrige esta información, todo esto presentado en forma de propuesta.
- Propuesta de redistribución de calibraciones: se redistribuirá las calibraciones de equipos anuales según su ubicación física.

9.4.4. Fase 4: presentación de resultados

Una vez realizada la propuesta de depuración de equipos e información, se procederá con lo siguiente:

- Análisis costo beneficio de la propuesta de depuración y redistribución: con base en la propuesta planteada se hará una proyección de los costos, esta proyección se comparará con los costos determinados del procedimiento actual de calibración, mediante un análisis costo beneficio.
- Determinación del cambio en el OEE y costo de transformación: con base en la propuesta de procedimiento de calibración de equipos de medición desarrollada, se calculará el OEE y costo de transformación que se obtendrían al implementar dicho procedimiento, para su posterior comparación con los valores obtenidos en la fase 1.
- Presentación de informe final: una vez desarrolladas las fases previas se presentará mediante un informe como fueron desarrolladas estas fases y los resultados obtenidos de estos, así como los resultados finales obtenidos del estudio, los cuales serán analizados para determinar si se cumplió con los objetivos planteados y concluir sobre los mismos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Se llevará a cabo una recolección de información y datos, posteriormente se procede a analizar la información obtenida para finalmente desarrollarse una propuesta de mejora de productividad del procedimiento de calibración de equipos de medición.

10.1. Técnicas cualitativas

- Investigación documental: obtención de información teórica a ser utilizada como fundamentos para el desarrollo del estudio. Se consulta temas relacionados con procesos de calibración, principalmente normas de calibración para definir criterios bajo los cuales se justifique una calibración.
- Observación en campo: se dará acompañamiento a los proveedores encargados de los distintos procesos de calibración, para observar y comprender los procesos de calibración.

10.2. Técnicas cuantitativas

- Medición de tiempos: se da acompañamiento a los procesos de calibración para medir el tiempo de ejecución de los distintos procesos de calibración.

10.3. Técnicas de recolección de información y datos

Para la recolección de datos se utilizarán las siguientes herramientas:

- Registros: consulta y comparación de la base de datos de los equipos manejada por el Departamento de Control de Calidad, ya que dicho departamento es el encargado de dar de alta y baja a los equipos de medición.
- Encuesta: preguntas directas que se adjuntan en la matriz de justificación de calibración, presentadas a los usuarios de los equipos, con la finalidad de obtener información clave de los equipos, como lo es la ubicación, rango de uso, tolerancia y fecha de próxima calibración.

10.4. Técnicas de análisis de información

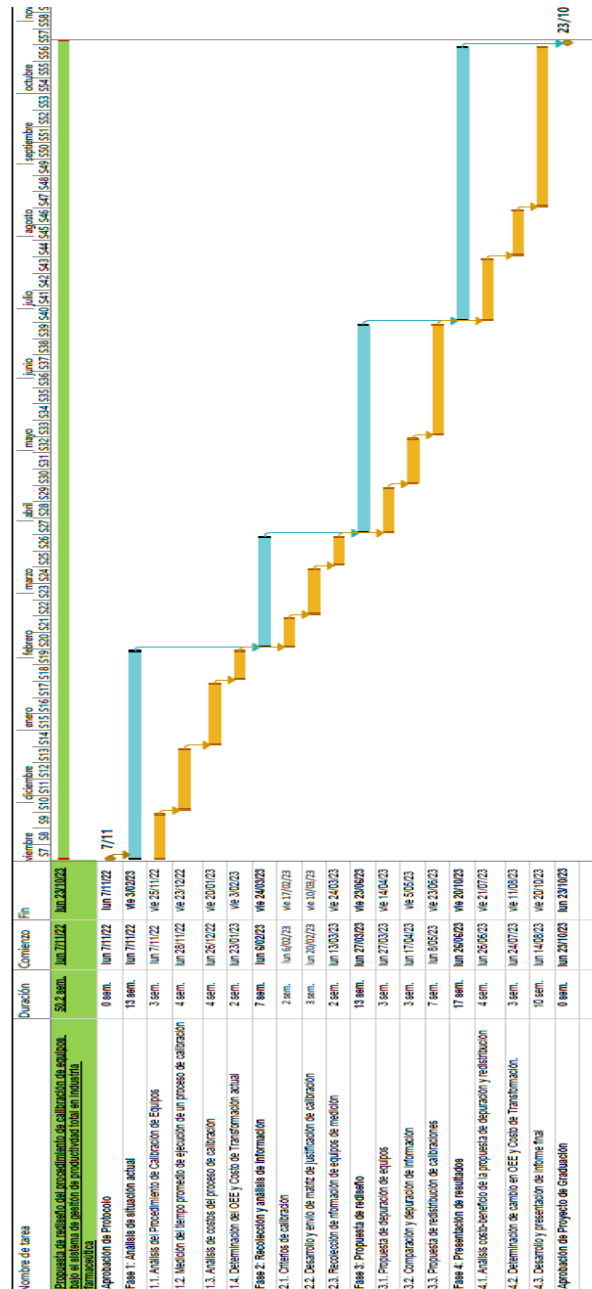
Para el análisis de datos se cuenta con las siguientes herramientas:

- Media y desviación estándar: método estadístico por utilizar para determinar el tiempo de ejecución de calibración según el tipo de instrumento de medición.
- Diagrama causa-raíz: se utilizará para definir las causas de los principales problemas que presenta el procedimiento de calibración de equipos.
- Tablas comparativas: tablas por utilizar para tabular y comparar datos e información sobre los equipos de medición.
- Matriz de justificación de calibración: matriz que contabiliza cualidades de un equipo de medición, bajo la cual se definirá si un equipo cumple con las características necesarias para requerir calibración.

- Gráfico de barras y circulares: gráfico a utilizar para comparación de indicadores de productividad actuales versus los obtenidos para la propuesta, específicamente el OEE y costo de transformación.
- Análisis costo-beneficio: análisis en el cual se evaluará los costos directos e indirectos de una calibración anual versus el costo de reemplazar un instrumento de medición por uno nuevo, dentro de un periodo no menor a un año.

11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente estudio es factible ya que se cuenta con la autorización de la industria farmacéutica para realizar el mismo, está proporciona los recursos necesarios para poder realizarlo.

12.1. Recursos necesarios

Para que el estudio sea desarrollado, en primer lugar, se gestiona la autorización de la empresa, gerencias de operaciones y control de calidad los cuales proporcionan los siguientes recursos:

- Humano: disposición del personal de las áreas de producción, empaque, mantenimiento, control de calidad, validaciones y logística para compartir la información necesaria para el desarrollo del estudio.
- Informativos: acceso a la información que se maneja en la empresa, entre la cual se incluye documentación almacenada en físico y en el servidor en línea, todo esto bajo las condiciones de confidencialidad establecidas.
- Tecnológico: acceso a internet, correo electrónico, herramientas informáticas de Microsoft Office y base de datos en línea.
- Infraestructura y equipo: se permite y facilita la utilización de los equipos e instalaciones de la empresa para poder desarrollar el estudio, entre estos se encuentran ordenadores y archivos.

Los recursos financieros necesarios para la investigación serán absorbidos por el investigador y son los siguientes:

Tabla VII. Presupuesto

No	Recursos	Descripción de costos	Q	%
1	Humano	Tiempo Propio de inversión	Q 4,000.00	38.46 %
2	Humano	Tiempo de Asesor	Q 0.00	0 %
3	Material	Papelería, útiles y materiales varios	Q 500.00	4.81 %
4	Transporte	Combustible y depreciación de vehículo	Q 4,000.00	38.46 %
5	Alimentación	Alimentación	Q 1,400.00	13.46 %
6	Tecnológico	Internet, ordenador, correo y servidor	Q 0.00	0 %
7	Varios	Imprevistos	Q 500.00	4.81 %
TOTAL			Q 10,400.00	100 %

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Andía Valencia, W. (abril 2001). *Gestión de la productividad en la pequeña empresa del sector de confecciones*. Gestión En El Tercer Milenio, 4(7), 60–65. Recuperado de: <https://doi.org/10.15381/gtm.v4i7.9994>
2. Diaz-Bautista, A., y Sáenz Castro, J. E. (enero 2002). Productividad total factorial y el crecimiento económico de México. *Revista Economía y Desarrollo*. 1(1), 105-178. Recuperado de: <http://uac1.fuac.edu.co/revista/M/ocho.pdf>
3. Escalante Lago, A., y Domingo González, J. F. (2015). *Ingeniería Industrial. Métodos y tiempos de manufactura ágil*. México D.F., México: Alfaomega. Recuperado de: <https://es.scribd.com/read/465777409/INGENIERIA-INDUSTRIAL-Metodos-y-tiempos-con-manufactura-agil>
4. Fontalvo-Herrera, T. J., De la Hoz-Granadillo, E., y Morelos-Gomez, J. (enero 2018). La productividad y sus factores: Incidencia en el mejoramiento organizacional. *Revista Dimensión Empresarial Universidad Autónoma del Caribe*. 16(1), 47-60. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6233008>
5. García Cediel, G., y Carrillo Bautista, Myriam. (2016). *Indicadores de gestión, manual básico de aplicación para MIPYMES*. Bogotá, Colombia: Edición de la U. Recuperado de:

<https://es.scribd.com/read/493366467/Indicadores-de-gestion-Manual-basico-de-aplicacion-para-MIPYMES#>

6. Idrovo-Aguirre, B. J., y Serey, V. D. (marzo 2018). Productividad Total de Factores del Sector Construcción en Chile (1986-2015). *Revista de análisis económico*. 33(1), 29-54. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-88702018000100029>
7. Jiménez Rojas, A. H., Delgado, E. E., y Gaona Villate, G. (febrero 2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. *Revista Ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. 6(2), 81-87. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797261>
8. Llamas, J. (3 de octubre 2020). *Costos de conversión*. Economipedia. Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/costos-de-conversion.html>
9. López Herrera, J. (2012). *Productividad*. Indiana, Estados Unidos de América: Palibrio. Recuperado de: <https://es.scribd.com/read/387258092/Productividad>
10. Marulanda Castaño, O. J. (julio 2009). Módulo Curso: Costos y Presupuestos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. *Docplayer*. (2)1, 13. Recuperado de: <https://docplayer.es/1559633-Modulo-curso-costos-y-presupuestos-oscar-j-marulanda-castano-1.html>

11. Manrique, E., y Casanova, A. (1994) *Metrología Básica*. Barcelona, España: Edebé. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/307178117/METROLOGIA-BASICA-COLOR-EDEBE-pdf>
12. Medina Fernández de Soto, J. E. (agosto 2010). *Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación*. *Revista Escuela de Administración De Negocios*, (69), 110–119. Recuperado de: <https://doi.org/10.21158/01208160.n69.2010.519>
13. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS]. (2022). *Productos Farmacéuticos. Medicamentos de Uso Humano. Buenas Prácticas de Manufactura Para la Industria Farmacéutica*. Guatemala: Autor. Recuperado de: <https://medicamentos.mspas.gob.gt/index.php/legislacion-vigente/resoluciones-comieco?download=245%3A11034207>
14. Muñoz Yévenes, M. B. (2021). *Metodología para la medición y análisis de la productividad en operaciones mineras: productividad total de factores* (Tesis de maestría). Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181566>
15. Naváez, J. L. (mayo 2020). Los cisnes negros de la teoría administrativa: la optimización estratégica de la productividad total. *Revista Técnica Administrativa*, 19(3). Recuperado de: <http://www.cyta.com.ar/ta/article.php?id=190305>

16. Quirós Jiménez, E. S. (septiembre 2007). ¿Qué tan importante es desarrollar una gestión total de productividad en las empresas? *Productividad Total* 1-16. Recuperado de: <https://xdoc.mx/documents/1-productividad-total-6041bd31e1706>

17. Ramírez, C. (2019). *Metrología*. Honduras: Universidad Tecnológica de Honduras. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/466840597/Metrologia-2-pdf>

18. Restrepo Díaz, J. (2007). *Metrología II*. Medellín, Colombia: ITM. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/391739364/Libro-Metrologia-Aseguramiento-Metrologico-Industrial-Tomo-II-Autor-Jaime-Restrepo-Diaz-pdf>

19. Rodríguez Sierra, J. M. (2019). *Sistema de Gestión de Eficiencia Global (Overall Equipment Effectiveness, OEE) en tiempo real para industria*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/127853>

20. Sánchez Salinas, S., y Gómez Galán, M. (2019). *Metrología dimensional: Resumen de teoría y problemas resueltos*. Almería, España: EDUAL. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/431500460/Libro-Metrologia>

21. Vázquez, J. M. (2013). *Indicadores de evaluación de la implementación de Lean Manufacturing en la Industria*. (Tesis de maestría). Universidad de Valladolid. España. Recuperado de:

<https://1library.co/document/oy8j88rz-indicadores-evaluacion-implementacion-lean-manufacturing-industria.html>

22. Villalobos Valencia, Á. D., Molero Olivo, L. E., y Castellano, A. G. (marzo 2021). Análisis de la productividad total de los factores en América del Sur en el período 1950-2014. *Lecturas De Economía*, (94), 127–163. Recuperado de: <https://doi.org/10.17533/udea.le.n94a341253>
23. Villamizar, R. (2004). *Metrología*. Bolivia: Unexpo.. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/380676207/307283432-Libro-de-Metrologia-pdf>

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de Coherencia

MATRIZ DE COHERENCIA		
	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS
GENERAL	¿Cómo gestionar el procedimiento de calibración de equipos para que sea productivo?	Evaluar y gestionar el procedimiento de calibración de equipos de medición bajo el sistema de gestión de productividad total para optimizar costos y minimizar tiempos de paro.
ESPECÍFICOS	1. ¿Cuál es el nivel de productividad actual del procedimiento de calibración de equipos?	Establecer la productividad actual del procedimiento de calibración de equipos de medición con base en su incidencia en el OEE y costo de transformación
	2. ¿De qué manera realizar una depuración de equipos a calibrar para optimizar el aprovechamiento de recursos, asegurando la calidad del proceso productivo?	Justificar la criticidad de cada equipo de medición con base en los resultados obtenidos de una matriz de evaluación de equipo para calibración.
	3. ¿Cómo verificar y corregir la información que se maneja de los equipos a calibrar para eliminar errores en calibraciones que resulten en reprocesos?	Comparar la información de cada equipo que requiera calibración con base en la retroalimentación obtenida mediante la matriz de evaluación de equipo para calibración.
	4. ¿De qué forma eliminar la desorganización y desbalanceo en la distribución de calibraciones anuales para optimizar la productividad del proceso de calibraciones?	Organizar las calibraciones agendadas por mes con base en su clasificación según variable de medición y las áreas en las cuales se encuentran los equipos de medición, en busca de la optimización de la productividad, reducción costos, y balanceo del cronograma de calibraciones.

Fuente: elaboración propia.

