



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL
DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE
DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS NO
CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**

Luis Carlos Peña García

Asesorado por el Mtro. Ing. Marco Vinicio Contreras Zeissig

Guatemala, julio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL
DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE
DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS
NO CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS CARLOS PEÑA GARCÍA

ASESORADO POR MTRO. ING. MARCO VINICIO CONTRERAS ZEISSIG

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO A.I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. 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. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Inga. Ana Gloria Montes Peña
EXAMINADOR	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
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 DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS NO CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de octubre de 2022.



Luis Carlos Peña García



EEPFI-PP-1997-2022
Guatemala, 12 de noviembre de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

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 UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS NO CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Calidad**, presentado por el estudiante **Luis Carlos Peña García** carné número **201602741**, 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"

Marco Vinicio Contreras Zeissig
Ingeniero Industrial
Col. 11306

Mtro. Marco Vinicio Contreras Zeissig
Asesor(a)



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

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





EEP.EIQ.1642.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica 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 UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS NO CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**, presentado por el estudiante universitario **Luis Carlos Peña García**, 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. Williams G. Álvarez Mejía; Mg.I.Q., M.U.I.E.
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, noviembre de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.34.2023

El Decano 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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE EQUIPOS NO CONFORMES Y EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**, presentado por: **Luis Carlos Peña García** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 17/07/2023 11:23:32
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, julio de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 34 CUI: 3040824570111

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por acompañarme en todo este proceso, ser la fortaleza que siempre necesité para seguir adelante y permitirme alcanzar esta meta.
- Mis padres** Douglas Peña y Lorena García, por haberme dado su amor y apoyo incondicional toda mi vida, así como confiar mí y haber estado presentes en cada momento importante.
- Mis hermanos** Juan Miguel y Ana Claudia Peña García, por celebrar conmigo mis logros y luchar a mi lado en los momentos difíciles, así como haberme acompañado durante mi vida.
- Mis abuelos** Julia Pineda (q. d. e. p.), Juan García (q. d. e. p.) y Ana Adilia Peláez, por la importancia de su amor, cuidado, consejos y compartir mi alegría al cumplir mis metas.
- Mis tías y primos** Marcela, Nury y Sebastián Peña, y Liza Klee, por sus ánimos y compañía.

Mis amigos

María Tórtola, Karla González, Sofía Recinos, Sara Boche, Fernando Solórzano, Steve Prado y demás que me han dado su amistad sincera, por haber estado siempre presentes para ayudarme cada vez que lo necesité y haber hecho de los últimos ocho años la mejor etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de formarme como profesional y brindarme las herramientas necesarias para crecer como persona.
Facultad de Ingeniería	Por cada cátedra que aportó a mi formación profesional.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por permitirme complementar mi formación profesional.
Mi asesor	Msc. Ing. Marco Contreras, por su tiempo y apoyo en el desarrollo de esta investigación.
Mis amigos	Demsey Santos, Maryory Rossell, Alejandra De León, Ana Escobar, Gabriela López, William López, Carlos Cruz, Gustavo González, Rodrigo Vera, Karla Ramírez (q. d. e. p.), Alejandra Ramírez, Luis Gómez, Kevin Silvestre y Paulo Solórzano, por estar a mi lado, darme su cariño sincero y ayudarme a ser un mejor ser humano.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	10
3.4. Delimitación del problema	11
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.....	25

7.1.	Productividad	25
7.1.1.	Control de la productividad.....	26
7.1.1.1.	Información para el control de la productividad	28
7.1.1.2.	Estructura de un registro de trabajo	29
7.1.1.3.	Seguimiento y análisis de la productividad	30
7.2.	Control de la eficiencia global (OEE).....	31
7.2.1.	Disponibilidad	32
7.2.2.	Paros no planificados	33
7.2.3.	Tiempo disponible	34
7.2.4.	Rendimiento	34
7.2.5.	Tiempo de ciclo ideal.....	35
7.2.5.1.	Calidad	36
7.2.6.	Calidad a la primera	36
7.2.7.	Cálculo y validación de un OEE	37
7.3.	Adaptación de mecanismos para el control de la productividad.....	38
7.3.1.	Aspectos contractuales y legales	39
7.3.2.	Modelo de implementación del control de la productividad.....	40
7.3.3.	Información básica para el control de la productividad.....	40
7.3.4.	Simulación.....	41
7.3.5.	Implementación	41
7.3.6.	Guía para el control de la productividad	43
7.3.7.	Efectos del control de la productividad	44
7.4.	Manufactura de equipos de refrigeración industrial.....	45
7.5.	Análisis de calidad en líneas de manufactura	47

7.5.1.	El error humano	48
7.6.	Gestión de indicadores en modelos de calidad	48
7.6.1.	Análisis de causa raíz.....	49
7.6.1.1.	Diagrama de Ishikawa	49
7.6.1.2.	Diagrama de Pareto.....	50
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	51
9.	METODOLOGÍA.....	55
9.1.	Características de estudio	55
9.2.	Unidades de análisis	57
9.3.	Variables.....	58
9.4.	Fases del estudio	65
9.4.1.	Fase uno: revisión de documentación y antecedentes.....	65
9.4.2.	Fase dos: recolección de información.	65
9.4.3.	Fase tres: análisis de información.	66
9.4.4.	Fase cuatro: análisis e identificación de mejoras....	67
9.4.5.	Fase cinco: interpretación de la información.	68
9.4.6.	Fase seis: elaboración del informe final.....	68
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	71
10.1.	Recolección de la información.....	71
10.2.	Análisis de la información.....	72
11.	CRONOGRAMA.....	75
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	77
12.1.	Recursos Necesarios.....	77

REFERENCIAS81
APÉNDICES.....87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación general de un esquema de control de la productividad.....	27
2.	Proceso y estructura de un OEE, según Nakajima	32
3.	Etapas de la implementación del control de la productividad	42
4.	Diagrama del funcionamiento de las operaciones unitarias en un sistema de refrigeración	46

TABLAS

I.	Fase uno: identificación de puntos críticos en cada etapa de la línea de ensamble.....	19
II.	Fase dos: definición e implementación de un <i>dashboard</i> de indicadores de productividad.....	20
III.	Fase tres: análisis de la información	22
IV.	Fase cuatro: implementación de planes de acción.....	22
V.	Descripción de las variables del estudio.	58
VI.	Presupuesto.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Calidad en la producción
D	Disponibilidad en la producción
F	Eficacia de producción total
OEE	Eficiencia global de la línea
E_c	Equipo conforme
E_i	Equipo incompleto
E_{NC}	Equipo no conforme
h	Horas
min	Minutos
%	Porcentaje
P	Producción real total de los equipos
P_P	Producción programada
E	Productividad
Q	Quetzal (moneda)
R	Rendimiento en la producción
s	Segundos
T_{CI}	Tiempo de ciclo ideal
t_p	Tiempo de paros planificados
t_e	Tiempo de un solo equipo por etapa
t_n	Tiempo individual por etapa de trabajo en la línea
T_P	Tiempo planificado de producción
T_D	Tiempo total disponible
O_D	Total de paros no planificados

GLOSARIO

Calidad	Propiedad o característica de valoración sobre la satisfacción de un producto.
CFC	Gases clorofluorocarbonados dañinos a la capa de ozono.
Ciclo Ideal	Periodo de tiempo mínimo para cumplir con una tarea o sistema de procesos.
Disponibilidad	Tiempo en que un proceso productivo ha estado produciendo.
Eficacia	Capacidad de consecución de una meta u objetivo planteado para un proceso.
Eficiencia Global	Indicador de la eficiencia de un sistema en función de los componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad de un proceso.
Equipo conforme	Estado de revisión y aprobación de un equipo con base en los estándares de calidad de la empresa.
FTT	<i>First Time Through</i> (Bien a la Primera Vez). Es un indicador de calidad con producción conforme a la primera.

HCFC	Gases hidrofluorocarbonados dañinos a la atmósfera y capa de ozono.
Manufactura esbelta	Metodología de optimización de la producción bajo la filosofía de reducción de pérdidas y desperdicios.
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiencia Global de los Equipos). Es un indicador de la eficiencia operativa de los equipos de trabajo.
Power BI	<i>Software</i> de análisis de datos con interfaz interactiva para la gestión de elementos operativos.
Productividad	Medida de cuantificación de la producción respecto a los recursos utilizados.
Rendimiento	Consecución de resultados productivos en un tiempo de operación estipulado.
Tiempos de paro	Rango de espera que existe desde que se detiene el equipo de trabajo, por causa programada o incidencia, hasta que se ha reparado y vuelve a funcionar.

1. INTRODUCCIÓN

En una empresa dedicada a la fabricación y distribución de equipos de refrigeración comercial e industrial; actualmente se supervisan los tiempos de producción para los procesos de manufactura y ensamble, así como los métodos operativos aplicados en los procesos. Sin embargo, no se analizan efectivamente los puntos deficientes en la operación, que últimamente han causado un aumento en la cantidad de equipos no conformes o incompletos, lo cual ha generado una baja considerable de la productividad en el proceso de ensamble.

Por tal razón, esta investigación se enfoca en la propuesta de un sistema de control de procesos, que brinde una metodología para la identificación de causas raíz de los problemas. Que sea una herramienta para la gestión de soluciones que busquen mejorar la productividad en el área de producción de la empresa.

Para el desarrollo de la propuesta se requiere de un sistema de control de procesos que inicie con la identificación de puntos críticos, fuentes de pérdidas y desperdicios. Posteriormente, se deberá medir y llevar control de los tiempos de producción en cada etapa de ensamble, para luego estructurar un *dashboard* de indicadores que lleve el seguimiento de los parámetros de calidad, disponibilidad, rendimiento, calidad a la primera y eficiencia global de la línea de ensamble.

Con el sistema de control de la productividad propuesto se busca obtener una metodología eficiente, para que los líderes del proceso de producción propongan soluciones inmediatas a las problemáticas presentadas durante las etapas de ensamble, para mejorar los tiempos promedio de producción y reducir los desperdicios de la operación.

2. ANTECEDENTES

La única empresa que actualmente se dedica a la producción y distribución de equipo de refrigeración comercial e industrial en Guatemala, requiere mejorar sus herramientas para el control y el análisis de la productividad de sus operaciones. En la actualidad, las industrias que cuentan con procesos de manufactura formalmente establecidos, si bien existen estándares generales en cuanto a las metodologías utilizadas para el análisis y la medición de la productividad, son pocas las industrias que toman un enfoque realmente objetivo sobre la identificación de las principales causas de pérdidas y desperdicios que ocurren en la operación, y que afectan los resultados de la productividad al momento de analizarla a fondo. (Manay et al., 2019; Koonts, Weihrich y Cannice, 2012)

Muchas industrias dedicadas a la manufactura, a partir de líneas de ensamblaje de su producto insignia, utilizan sistemas de indicadores o los KPI como metodologías cuantitativas para medir la productividad general, ya sea de un solo equipo o máquina, una etapa o bien la integración total de todo el sistema de ensamble. (Janahi, Wan, Lee y Zarreh, 2020)

La mayoría de las empresas opera con niveles de eficiencia en sus líneas de manufactura que ofrecen niveles de productividad por debajo del 70 %; esto, sin darse cuenta lo que supone una importante pérdida de dinero, y un gran margen para la mejora, donde el seguimiento a los KPI de productividad se considera como una de las mejores métricas conocidas a nivel mundial, para optimizar los procesos de fabricación. (Ginste, Aghezzaf y Cotty, 2022)

Según estudios recientes realizados en Navarra, España, el 43 % de las pymes industriales encuestadas no mide indicadores de eficiencia global de sus líneas productivas. Sólo un 24 % utiliza algún sistema de captura automático de datos de producción, mientras que, en empresas de gran tamaño, aunque el dato es más favorable, el 10 % reconoce que no tienen establecido la toma de datos para estos sistemas de control de productividad. Un 20 % lo hace de forma manual o con pocos estándares, lo cual no permite un análisis profundo por parte de la dirección estratégica. (Asociación Industrial de Navarra [AIN], 2020; Villazán, Durán, Planas y Yagüe, 2019)

Las metodologías relacionadas con una gestión de manufactura esbelta han sido la respuesta a la mayoría de los problemas que se presentan con frecuencia en los resultados de la productividad de las empresas. Frecuentemente se observan industrias que, como parte de la gestión de su sistema de manufactura esbelta, han implementado metodologías de producción basadas en las 5S, las cuales pueden funcionar en sinergia con sistemas de control de la productividad. (Ginste et al., 2022; Sahu, Patidar y Soni, 2015)

Existen algunos departamentos de manufactura esbelta que han implementado los métodos de las 5S y el control de la productividad en simultáneo, en ciertas líneas de producción y ensamble. El beneficio que se observa en estas empresas consiste en una mejor comprensión del modelo, sobre la relación de las dos técnicas y sus beneficios en el orden y el tiempo de producción. En el paso a paso se denota la mejora en la productividad de manufactura. (Chaurasia, Garg y Agarwal, 2019; Martínez, Rincón y Fuentes, 2015)

Se han hecho estudios recientes que han puesto a prueba distintos escenarios para modelar y realizar simulaciones de sistemas de manufactura en líneas de ensamble. Estas simulaciones logran concentrar la relación entre la productividad, calidad, consumo energético y confiabilidad de los equipos finalizados. Estos factores son parámetros indispensables para determinar íntegramente la productividad de las líneas de ensamble. (Saez, Barton, Maturana y Tibury, 2022)

Estos son conocidos como modelos híbridos (combinación de los factores antes mencionados, de sistemas de control productivo y métodos de calidad por pasos) y sus resultados han demostrado un alto potencial de impacto positivo para los sistemas operacionales, que ya se comprobaron mediante registros de reducción de costos y menor generación de desperdicios. (Saez et al., 2022)

Cada estudio publicado recientemente, que se encuentra relacionado con el seguimiento y la solución planteada para los problemas de la productividad en distintos ámbitos industriales, así como los métodos de mejora continua para líneas de producción y ensamble, se pueden adoptar como un recurso valioso, que aportará fundamentos en cuanto a las mejoras y correcciones que sean necesarias de aplicar antes y durante la etapa experimental de esta investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Para la presente investigación se tomará como objeto de estudio una sola línea de producción de una empresa dedicada a la fabricación de equipos de refrigeración, los cuales son distribuidos tanto nacional como internacionalmente, llegando a más de 30 países en el mundo. Esta industria produce aproximadamente 180 mil equipos al año y se cuenta con más de 300 modelos, por lo que esta organización se encuentra comprometida con la producción de refrigeración comercial eficiente, que se adapte a los requerimientos de sus clientes, implementando mecanismos operacionales de calidad y amigables con el medio ambiente.

Actualmente, la empresa cuenta con las certificaciones internacionales ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015; también obtuvo la denominación de empresa carbono neutral, igualmente otorgado por un organismo internacional. Esto demuestra el compromiso que la empresa tiene, tanto con la calidad de sus operaciones como la preservación del medio ambiente, mediante prácticas sostenibles. Para el año 2023, la empresa espera contar oficialmente con la certificación ISO 45001:2018, que la acreditará como una empresa comprometida con la salud y la seguridad de sus trabajadores, además de tener proyectos de sostenibilidad, tales como la implementación de un sistema fotovoltaico que suministre la energía que usa la empresa.

El ciclo de vida de los equipos producidos inicia desde el Departamento de cadena de suministros y el Departamento de materiales, que se encargan de obtener y colocar todas las materias primas necesarias, para la producción de cada equipo, según el modelo solicitado por el cliente. Posteriormente, los materiales ingresan al proceso de manufactura en una línea de subensambles, que modifica y adapta la materia prima según las especificaciones requeridas. Finalmente, las unidades de subensamble pasan directamente a las líneas de ensamble, donde cada línea está seccionada en nueve etapas subsecuentes. Parte de estas etapas incluye un proceso de pruebas de calidad, que se realizan a los equipos que ya se encuentran completamente ensamblados; es en este punto donde se han detectado la mayoría de los problemas e inconformidades de los equipos.

La gestión del Departamento de producción se lleva a cabo bajo el seguimiento y control de un sistema de *Lean Manufacturing*, que establece como método de control operacional las 5S. Sin embargo, durante la temporada de alta producción, se tiene una alta cantidad de equipos destinados a reproceso, retención o rechazo por no conformidades identificadas por el Departamento de calidad. Estas retenciones y reprocesos repercuten en la disponibilidad de espacio físico en algunos sectores dentro de la planta de producción, puesto que se utilizan como almacenes temporales para los equipos no conformes. Con esto, los tiempos de producción y productividad general de las líneas de ensamble se han visto afectados, por lo que es preciso aplicar una metodología para la identificación de desperdicios y retrasos en la línea de producción, para aumentar la productividad.

3.2. Descripción del problema

Actualmente, las líneas de producción de la empresa se encuentran enfocadas únicamente en lograr una eficacia del 100 %, en cuanto a la producción programada, pero en los últimos meses se ha evidenciado un déficit en la calidad de los equipos. Al momento en que los equipos son evaluados en la etapa de pruebas de calidad, es decir cuando ya se han reportado como terminados, se identifica que un porcentaje considerable de estos equipos no cumplen con los estándares de calidad de imagen o de rendimiento establecidos en la empresa.

Estos equipos que no cumplen con los estándares de calidad son apartados de la línea de producción y se denominan equipo no conforme.

Este análisis y criterio de no conformidades es manejado exclusivamente por personal del Departamento de calidad total, que al determinar que el producto es equipo no conforme, indican al personal de producción que dicho equipo debe pasar por un reproceso o un procedimiento de corrección de incompleto. Cada uno de estos procedimientos extra requiere de un paro no programado en las líneas de producción, o bien de un déficit de personal, por aquellos trabajadores que deben salir de sus labores cotidianas sobre la línea para atender y solucionar el equipo no conforme.

Desde la perspectiva gerencial aún no se cuenta con una metodología establecida, para identificar si se tiene alza en los desperfectos que ocurren en el proceso de producción; tampoco se han definido, con efectividad, procedimientos para contrarrestar los puntos que sean identificado como cuellos de botella o etapas con malas prácticas de manufactura. Todos estos

problemas se reflejan en el decrecimiento de los últimos índices de productividad de la empresa.

3.3. Formulación del problema

Es la etapa donde se estructuran formalmente las ideas del diseño de la investigación, utilizando como herramientas la pregunta central y preguntas auxiliares.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo reducir la cantidad de no conformidades identificadas en el producto final, para aumentar la productividad de la línea de ensamble?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el estado actual de los indicadores de productividad en las líneas y qué causa principalmente las no conformidades asignadas a los productos?
- ¿Cuáles son las principales fuentes de desperdicios y pérdidas de tiempo en la línea de producción?
- ¿Cómo implementar un sistema que lleve un control de la productividad y la eficiencia de las líneas de producción?
- ¿Cómo puede impactar la variación de los índices de calidad y eficiencia en la productividad de la empresa?

3.4. Delimitación del problema

La investigación se llevará a cabo en una sola línea de ensamble de una empresa de manufactura de equipos de refrigeración comercial e industrial. Se estudiarán las principales fuentes de no conformidades en las primeras cinco etapas de ensamble sobre la línea analizada, durante las primeras cinco semanas, donde se requerirá la participación del gerente de producción, el supervisor de la línea y de por lo menos cuatro colaboradores de cada etapa de ensamble. Posteriormente se analizará la adaptación del sistema propuesto durante los próximos siete meses, y evaluar la efectividad de este sobre la productividad de la línea.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se hará bajo la línea de investigación de metodologías de producción, enfocada a la productividad total, ya que se necesita proponer la incorporación de un sistema de control de la productividad sobre las unidades producidas, en una línea de ensamble de una empresa dedicada a la manufactura de equipos de refrigeración comercial e industrial.

La incorporación de un sistema de control de la productividad a las estrategias gerenciales de un proceso de manufactura, suponen un impacto significativo, tanto en la mejora e incremento de la productividad del proceso como en los parámetros de calidad de los equipos terminados y listos para ser comercializados. Esto influye en una correcta gestión de los recursos disponibles y reduce las fuentes de desperdicios.

Actualmente, con el aumento de la demanda de equipos, se ha observado en la producción un incremento de equipos no conformes e incompletos, por lo que se requiere de un sistema que ayude a identificar las principales fuentes de desperdicio de tiempo, para corregir las causas raíz de errores en la manufactura de los equipos. Esto se puede lograr mediante el seguimiento de los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y eficiencia global de la línea de ensamble.

Con la interpretación de los resultados de los indicadores de productividad, se podrán tomar acciones sobre la cantidad de equipos que

necesitan un complemento de piezas, reparaciones o reprocesos, disminuyan significativamente y aumente la productividad de la línea de ensamble.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un sistema de control de productividad en una línea de ensamble de equipos de refrigeración, determinar las principales causas de desperfectos en los equipos y calcular los indicadores de productividad para cada etapa de ensamble, para aumentar la productividad de la línea.

5.2. Específicos

- Calcular los indicadores de calidad actuales, analizarlos con relación a datos históricos y definir un procedimiento para la identificación y solución de la causa-raíz de los problemas de calidad en la línea de producción.
- Identificar los puntos críticos de la operación donde se originan los desperdicios y las pérdidas de tiempo en la línea de producción.
- Establecer un procedimiento para implementar el sistema de control de la productividad en una línea de ensamble.
- Calcular la relación que existe entre la variación de los índices de calidad y productividad de la línea estudiada, respecto a la productividad total del Departamento de producción, así como verificar si existe variación

significativa respecto de la productividad de las líneas donde no se haya aplicado el sistema.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Actualmente, las líneas de ensamble de la empresa donde se efectuará la investigación presentan niveles de productividad significativamente bajos. Tras haber definido el sistema de control de la productividad propuesto para una de las líneas de ensamble, se podrá identificar si el origen de las no conformidades se debe a un resultado negativo en uno o más de los parámetros involucrados con la eficiencia global de la línea. Puede ser la disponibilidad, el rendimiento o la calidad en los equipos producidos durante una jornada de producción.

Para llevar a cabo este análisis se medirán los tiempos de paro de cada una de las etapas y maquinarias de la línea, para identificar las causas principales de estos tiempos de paro. Además, se identificará qué etapa de la línea ha operado a una capacidad menor de su capacidad teórica (capacidad definida por los estudios de tiempo; originales de la producción). También se cuantificará la cantidad de equipos que son producidos y aprobados en primera instancia del ciclo de pruebas; es decir, aquellos equipos que son aprobados sin requerir reprocesos ni reparaciones previo a ser empacados para su despacho.

Durante las primeras fases del estudio se hará una inspección personalizada y detallada de los procesos en cada etapa de la línea de ensamble, para definir de forma preliminar cuáles son los puntos críticos de la operación, dónde ocurren más frecuentemente los paros no programados de producción o bien se cometen errores en la manufactura, lo cual afecta la calidad del equipo.

Se espera que, con la identificación de los puntos críticos y el sistema de control de indicadores ya implementado, el supervisor la línea de ensamble pueda agilizar los procedimientos, para definir la causa-raíz de cualquier problema que pueda surgir dentro de la línea de ensamble, así como implementar oportunamente las acciones correctivas que evitarán disminución en los parámetros de productividad. Estas acciones permiten reducir los desperdicios de materiales utilizados para los retrabajos y reparaciones. Además, se tendrá mayor disponibilidad de personal que no se estará dedicando a estos trabajos secundarios.

Uno de los principales objetivos de la implementación del sistema propuesto en esta investigación, es la reducción significativa de la cantidad de equipos no conformes que produce la línea, ya que estos equipos no conformes son ubicados en otras áreas externas a la línea de ensamble, para eventualmente ser reparados o completados. Con la reducción de estos equipos en cuestión, se espera liberar los espacios físicos ocupados para realizar las tareas de reproceso, lo cual mejorará el ordenamiento de equipos y unidades dentro área del trabajo.

Una vez finalizadas las pruebas del sistema implementado en la línea de ensamble seleccionada, se obtendrán los reportes de los indicadores de eficiencia y los reportes de la productividad total de la línea. Se hará un estudio comparativo entre los resultados de los meses en los que se realizó la fase experimental de la investigación y los resultados obtenidos durante los tres meses previos al inicio del proceso experimental. El estudio comparativo deberá presentar una mejora significativa en los niveles de productividad, así como la gestión de los tiempos de trabajo desde que se implementó el sistema de control de la productividad.

A partir de una evaluación satisfactoria, generada por un impacto positivo en el Departamento de producción de la empresa, se debe evaluar el seguimiento de este sistema en el resto de las líneas de ensamble, con lo cual se podrá obtener un aumento significativo en la productividad global del Departamento de producción.

Para llevar a cabo el proceso de establecer el sistema de control de la productividad propuesta en la línea de ensamble de equipos de refrigeración, el proyecto se dividirá en las siguientes cuatro fases:

Tabla I. **Fase uno: identificación de puntos críticos en cada etapa de la línea de ensamble**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Análisis de causa-raíz	Revisar los reportes realizados en los últimos dos meses sobre no conformidades en los equipos e investigar la causa-raíz de los problemas más frecuentes.	Humano, computadora, reportes de producción, impresora, análisis de Ishikawa	1 mes
Obtención de puntos etapas no conformes	Reportar diariamente la incidencia que tienen las fallas y no conformidades de los equipos e identificar las etapas donde se originan.	Humano, computadora, reportes de producción, impresora, análisis de Pareto	1 mes

Continuación de tabla I.

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Identificación de los puntos críticos	Analizar la causa-raíz de las no conformidades recurrentes y definir un procedimiento que indique cuáles son los puntos principales del proceso de ensamblaje.	Humano, computadora, reportes de producción, impresora	1 mes

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

Tabla II. **Fase dos: definición e implementación de un *dashboard* de indicadores de productividad**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Obtención del FTT	Cuantificar la cantidad de equipos que son aceptados y categorizados como conformes, sin que hayan pasado por un reproceso, y determinar el coeficiente de la diferencia del total de equipos producidos menos los equipos reprocesados respecto al cálculo de equipos conformes.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes.	3 meses

Continuación de tabla II.

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Obtención del rendimiento	Calcular el tiempo disponible a partir del cálculo de jornada, menos los paros no programados y obtener el coeficiente del producto del total de equipos producidos por el tiempo de ciclo ideal (datos de la empresa) respecto al cálculo realizado previamente.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes.	3 meses
Obtención de la disponibilidad	A partir del tiempo disponible, se debe calcular el coeficiente de este parámetro respecto al tiempo planificado para la producción de una jornada.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes.	3 meses
Obtención del OEE	Calcular la productividad global de la línea de producción a partir del producto de los tres parámetros previos (calidad, disponibilidad y rendimiento).	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes.	3 meses

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

Tabla III. **Fase tres: análisis de la información**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Análisis de indicadores de productividad	Determinar cuál de los tres parámetros de productividad (calidad, disponibilidad o rendimiento) es el que afecta en cualquiera de los puntos críticos identificados. A partir del análisis cualitativo de los resultados.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes, análisis estadístico de Excel, tablas dinámicas de Excel.	1 mes
Análisis de la productividad de la línea	Calcular la productividad general de la línea de ensamble estudiada, discriminando los equipos no conformes y determinar estadísticamente la dependencia que tiene el OEE sobre este parámetro.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes, análisis estadístico de Excel, tablas dinámicas de Excel.	1 mes

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

Tabla IV. **Fase cuatro: implementación de planes de acción**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Corrección de procedimientos de las etapas deficientes	Definir un plan inmediato de acciones correctivas en los puntos críticos donde se han observado deficiencias en los indicadores y aplicarlos. Analizar si se tienen cambios significativos en los resultados de la productividad de la línea.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes, reportes de producción.	1 mes

Continuación de tabla IV.

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Comparación de los resultados	Calcular estadísticamente la dependencia de la variación de los indicadores del <i>dashboard</i> implementado, respecto a la productividad de la línea. Determinar si existe variación significativa en la productividad dados los cambios aplicados.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes, reportes de producción, análisis estadístico de Excel.	1 mes
Análisis de mejoras	Determinar si existe diferencia significativa entre la productividad de la línea que cuenta con el sistema de control de productividad y el resto de las líneas de la empresa.	Humano, computadora, impresora, hojas para imprimir reportes, reportes de producción.	1 mes

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

Una vez se haya realizado todo el proceso experimental de la investigación, se podrá hacer una comparación de los resultados de la línea estudiada, respecto de la productividad de las otras dos líneas de ensamble, de capacidad similar, instaladas en la empresa, pero que no se les habrá aplicado aún el sistema de control de la productividad. Se espera una diferencia significativa en cuanto a los niveles de productividad de las líneas, para demostrar la efectividad del sistema y proponerlo para el resto de las líneas de ensamble.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Productividad

Algunas fuentes indican que el término que hoy en día se ha adoptado en el amplio aspecto de la palabra como productividad se observa por primera vez en 1766, en un artículo de Quesnay, donde se afirma que la regla de conducta productiva fundamental se basa en conseguir la mayor satisfacción, con el menor gasto o fatiga. (Sumanth, 1999)

Sería hasta 1950, cuando la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) ofrecería una definición más formal de productividad, donde se desarrolla un modelo en el cual la productividad se obtiene como el cociente de la producción entre cualquiera de los factores de la producción. (Palacio, 2011)

Recientemente, el concepto de productividad se ha empezado a divulgar principalmente como la razón que existe entre los insumos y sus resultados obtenidos en un periodo efectivo. En este periodo y en el rendimiento de esos resultados obtenidos se pueden observar factores de calidad, que influyen fuertemente en cómo plantear un modelo que defina la productividad de un proceso. (Aranberri, 2014)

Desde el instante en que la productividad se identificó como un término importante en los resultados financieros de una institución, fueron creados modelos que implican la mejora del proceso productivo, lo cual significa una

comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos. (Koonts et al., 2012)

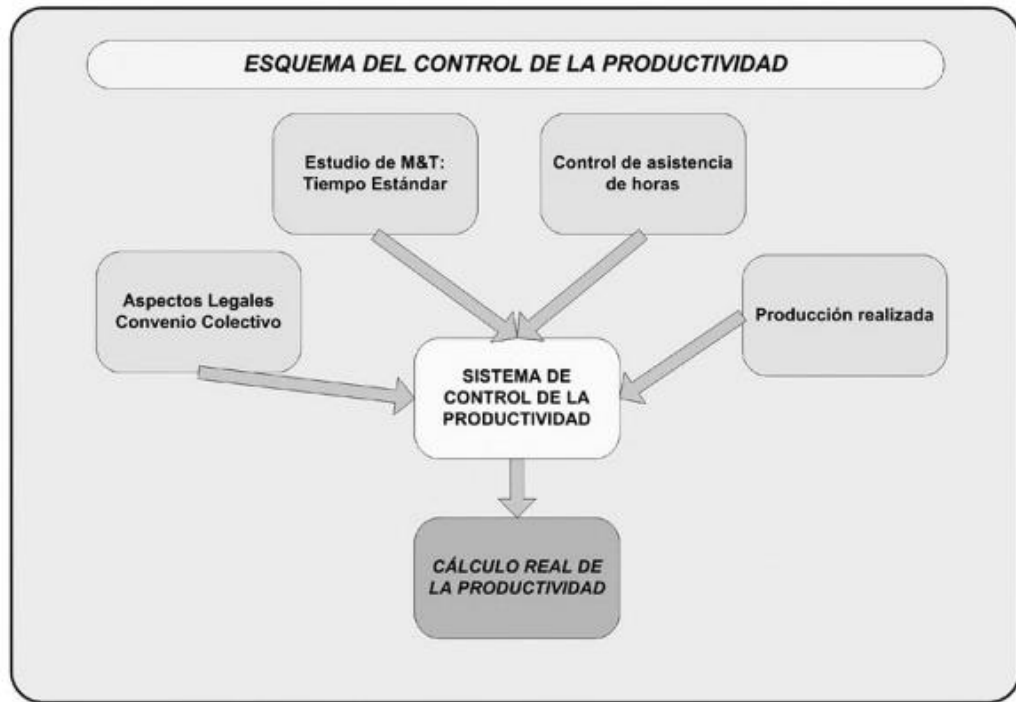
7.1.1. Control de la productividad

La productividad es posible medirla desde diferentes perspectivas que se relacionan con el impacto económico de la entidad que la analiza; puede medirse de forma general en un país, en una perspectiva menor de una actividad de tipo económica y específicamente para una empresa donde se gestionará el plan de seguimiento y medición, dependiendo de los objetivos planteados por la empresa. Estos objetivos pueden analizarse desde un nivel macro de la empresa, así como pueden ser planteados para ciertos procesos productivos puntuales. (Palacio, 2011)

Entonces, un sistema de control de la productividad pretende ser algo mucho más amplio que un simple reporte de la situación actual de una línea, frente a lo idealizado de la producción de esta.

Es mucho más que un simple modelo gráfico que indique el buen o mal desempeño, en el que se trata de identificar a cada uno de los causantes de retrasos en la ejecución de un trabajo y con eso cuantificarlo. El control de la productividad inicia desde la identificación y el conocer a fondo el problema principal que se ha trazado como un objetivo. (Cruelles, 2012)

Figura 1. **Representación general de un esquema de control de la productividad**



Fuente: Cruelles (2012). *Productividad e incentivos. ¿Cómo hacer que los tiempos de fabricación se cumplan?*

Para comprender cómo un modelo de control de la productividad debe funcionar y ser exitoso, se puede mencionar a Sumanth (1999), quien explica en su texto que “un programa formal de productividad en una empresa debe estar basado en el concepto del ciclo de productividad” (p. 47). Este ciclo es un modelo de la administración que busca mejorar continuamente la productividad mediante la medición de parámetros, la evaluación de los resultados obtenidos y la planeación de las estrategias, que al final buscarán la mejora de la productividad. Una vez realizado esto, será necesario repetir el ciclo de forma permanente. (Sumanth, 1999)

La productividad puede verse afectada por distintos factores: en su origen interno pueden ser el tipo de edificio o terreno donde se ubique el lugar de trabajo, los materiales utilizados para realizar las tareas, los instrumentos, equipos y maquinaria disponibles para realizar las actividades, así como el recurso humano en general. (Palacio, 2011). También pueden afectar factores como el acceso a herramientas y materias primas en el área, la disponibilidad de fuerza laboral competente, los estatutos gubernamentales y regulaciones políticas del área, el acceso a fuentes de capitalización y manejo de intereses, entre otros. (Kazaz, Ulubeyli, Acikara y Er, 2016)

7.1.1.1. Información para el control de la productividad

Según Cruelles (2012):

Los datos que son indispensables obtener al momento de realizar el control de la productividad en una industria o línea de manufactura son los siguientes:

- Producción total en dimensiones de trabajo hecho por la fuerza laboral.
- Cantidad de tiempo utilizado para llevar a cabo la producción total
- Tiempo promedio o estandarizado que se toma para realizar la tarea.
- Datos de los acuerdos y contratos que ligan mediante obligaciones al patrono con los empleados.

Con los datos obtenidos de la composición de la jornada laboral, se le podrá denominar a todos los tiempos como:

- Tiempo no controlado: es una medida de tiempo en el que el trabajador lleva a cabo una actividad que no se ha monitoreado, por lo que no se puede determinar el rendimiento de este.
- Tiempo controlado: es una medida de tiempo que el trabajador lleva a cabo, una actividad que sí se ha monitoreado, por lo que es posible determinar el rendimiento de este.
- Tiempos no planificados: es una medida en la que el trabajador no puede continuar realizando su proceso laboral por motivos ajenos a sí mismo.
- Tiempo laborado: es una medida de tiempo en dimensionales de horas, que monitorea la estadía de un trabajador en su puesto de trabajo.

El rendimiento es recomendable analizarlo por el tiempo controlado, mientras que el tiempo no controlado será preferible desestimarlos del cálculo del tiempo total laborado al momento de analizar el rendimiento de la operación. (p. 51)

7.1.1.2. Estructura de un registro de trabajo

Este tipo de documentos tiene como objetivo realizar un control del tiempo invertido en una tarea o actividad delegada, para el cumplimiento de un

objetivo, así como el control de la producción hecha mediante la cuantificación de paros no planificados. (Aguilar, 2014)

Los parámetros de eficiencia y la productividad de un proceso laboral comúnmente se analizan a través de indicadores de cumplimiento de aspectos específicos, que se plantean para el seguimiento del proceso productivo y se calculan a partir de la información almacenada o recabada en registros de trabajo; por esta razón, es necesario que estos documentos sean medibles y confiables. (Cappiello, Comuzzi, Plebani y Fim, 2022)

Cruelles (2012) especifica que como mínimo se debe contar con la siguiente información de las jornadas laborales del área:

- Tiempo de estadía en el punto de trabajo.
- Análisis de causas de paro y tiempo de paro no planificado.
- Tiempo no controlado.
- Cantidad total de la producción.
- Análisis de afectados por el paro no planificado o emergencia suscitada.
- Información del líder o supervisor del área.

Con esta información contenida en los registros de trabajo, se podrá llevar la gestión del control de la productividad. (p. 53)

7.1.1.3. Seguimiento y análisis de la productividad

La información real del proceso productivo de la empresa se podrá analizar mediante la alimentación periódica de los registros de trabajo; será así

como se podrán identificar las primeras variaciones entre los tiempos estandarizados para ejecutar una tarea, así como el tiempo real que utiliza el equipo de trabajo para finalizar la actividad. Todos estos factores y el desempeño que se logren en el proceso de análisis de la información dependerán, nuevamente, de cómo se relacionen y se hayan manejado los aspectos internos y externos del área de trabajo. (Patrón y Vargas, 2019)

Los cálculos principales para hacer el análisis de la productividad se realizarán con base en las modelizaciones matemáticas, que sirven para obtener índices basados en los tiempos monitoreados de los registros, en los cuales se deben tomar en cuenta las causas raíz de los desperdicios en el proceso. (Favela, Escobedo, Romero y Hernández, 2019)

7.2. Control de la eficiencia global (OEE)

OEE son las siglas de *Overall Equipment Effectiveness*, que se traduce como Eficiencia Global de los Equipos. Este es un sistema que ha tomado relevancia en los últimos años para hacer el cálculo de la productividad, específicamente en líneas de trabajo donde se pueden obtener datos precisos, así como una perspectiva amplia al momento de identificar los problemas existentes. (Cruelles, 2012)

A pesar de que esta herramienta aún se desconoce en muchas industrias, últimamente se ha convertido en un estándar internacional y, en ocasiones, hasta requisito de la gestión de la productividad en muchas industrias a nivel global, ya que los enfoques de mejora de la calidad y el rendimiento se gestionan a partir del manejo de los tiempos de producción y el análisis de desperdicios, para optimizar recursos de una producción hecha en un tiempo ideal. (Singh, Khamba y Singh, 2021)

Figura 2. **Proceso y estructura de un OEE, según Nakajima**



Fuente: Arzate (2015), *Desarrollo de un estándar de comunicación electrónico para la supervisión y control del desempeño dentro del sistema de producción SISAMEX*.

7.2.1. Disponibilidad

Este parámetro permite conocer la medida de tiempo de un sistema, para efectuar un trabajo o actividad programada respecto al tiempo previamente planificado, para que este pudiera completar su tarea. (Ginste et al., 2022)

$$D = \frac{T_D}{T_P} \quad (\text{EC. 1})$$

Donde:

D = indicador de disponibilidad

T_D = tiempo total disponible de producción

T_P = tiempo planificado de producción

Es necesario considerar que, en el tiempo planificado de producción, se deben tomar en cuenta aquellos paros necesarios para los mantenimientos preventivos y predictivos de los equipos y maquinarias involucradas en el proceso. (Cruelles, 2012)

$$T_p = \sum_{n=1}^{\infty} t_n - t_p \quad (\text{EC. 2})$$

Donde:

T_p = tiempo planificado de producción

t_n = tiempo individual por proceso estudiado

t_p = tiempo de paros por mantenimientos planificados

7.2.2. Paros no planificados

En ocasiones, los paros no planificados también son conocidos como incidencias, las cuales son situaciones que retrasan el flujo normal de un proceso de trabajo, sin ser la causa de un factor que el operador del sistema pueda controlar. El tiempo consumido en este tipo de paros se refleja directamente en la cantidad total que se dedicará la operación en realizar netamente la tarea. (Sumanth, 1999)

$$O_D = \sum_{n=1}^{\infty} t_d \quad (\text{EC. 3})$$

Donde:

O_D = total de paros no planificados

t_d = tiempo individual de paro en una etapa o fase del proceso

7.2.3. Tiempo disponible

Se define como tiempo disponible a la diferencia que existe entre el tiempo que se ha definido para el funcionamiento o la operación de un sistema, respecto al tiempo que este sistema se detuvo por causas ajenas al personal y a la propia integridad del equipo o maquinaria, conocidos como paros no planificados. (Andersson y Bellgran, 2015)

$$T_D = T_P - O_D \quad (\text{EC. 4})$$

Donde:

T_D = tiempo total disponible de producción

T_P = tiempo planificado de producción

O_D = total de paros no planificados

7.2.4. Rendimiento

El rendimiento es un parámetro de control en las operaciones, que brinda una perspectiva de la cantidad de equipos o piezas producidas, sin importar si son conformes o no conformes, y de cómo se verán reflejados los tiempos de paros no planificados, por muy pequeños que sean, en la reducción de la velocidad de producción. (Cruelles, 2012). Para el cálculo del rendimiento de un sistema que se estará controlando por el OEE, es necesario conocer el funcionamiento y la gestión del tiempo de ciclo ideal de un proceso. (Andersson y Bellgran, 2015)

$$R = \frac{P * T_{CI}}{T_D} \quad (\text{EC. 5})$$

Donde:

R = indicador de rendimiento.

T_{CI} = tiempo de ciclo ideal

T_D = tiempo disponible de producción

7.2.5. Tiempo de ciclo ideal

Este parámetro se toma como el estándar de la velocidad máxima o el tiempo mínimo que un proceso puede tomarse para completar un ciclo de operación, tomando las mejores condiciones ideales de máxima optimización. (Chakravarthy, Keller, Wheeler y Van Oss, 2007)

El tiempo de ciclo ideal está relacionado directamente con la capacidad que tiene un sistema para producir, en las condiciones más favorables para su operación, cierta cantidad de unidades; así que en su forma simplificada se podrá determinar el tiempo estándar que tardará en trabajarse una unidad (o equipo), ya sea en una etapa o en el ciclo completo del sistema. (Chakravarthy et al., 2007; Cruelles, 2012)

$$T_{CI} = \frac{t_e}{Pieza\ o\ unidad} \quad (EC. 6)$$

Donde:

T_{CI} = tiempo de ciclo ideal

T_e = tiempo estándar de una unidad

7.2.5.1. Calidad

El control del parámetro de calidad ayuda a la gestión de una línea de producción en reducir los tiempos de paro no planificado y, con esto, la disminución de la velocidad de producción. El cálculo de este indicador se basa fundamentalmente en la relación que existe entre el cociente de las unidades no conformes respecto a la producción total del sistema. (Cruelles, 2012)

$$Q = \frac{\sum E_C}{P} \quad (\text{EC. 7})$$

Donde:

Q = indicador de la calidad en la producción

P = producción total de unidades

7.2.6. Calidad a la primera

Una metodología para hacer el cálculo y el seguimiento del parámetro de la conformidad en la producción de un sistema de manufactura es la calidad a la primera, también conocida como *First Time Through*, que muestra la relación porcentual de unidades que son fabricadas correctamente a la primera, es decir, sin requerir un reproceso o descarte de una unidad defectuosa, considerando por completo la totalidad de recursos y materias primas que ingresan al proceso de manufactura. (Arzate, 2015)

$$FTT = \frac{P - \sum E_{NC} - \sum E_i}{P} \quad (\text{EC. 8})$$

Donde:

FTT = indicador de calidad a la primera

P = producción total de unidades

E_{NC} = total de unidades no conformes

E_i = total de unidades incompletos

7.2.7. Cálculo y validación de un OEE

Con la gestión y control de los indicadores de un sistema de eficiencia global, con el objetivo de establecer el control de la productividad de un proceso productivo, se requiere analizar el valor del resultado del indicador, ya que dependiendo del porcentaje que se obtenga por el producto de los indicadores de calidad, disponibilidad y rendimiento, se podrá medir el nivel de satisfacción de la productividad en este sistema de trabajo. (Cruelles, 2012)

$$OEE = Q * D * R \quad (EC. 9)$$

Donde:

OEE = eficiencia global de los equipos

Q = indicador de calidad en la producción

D = indicador de disponibilidad

R = indicador de rendimiento

Según lo explica Cruelles (2012), se puede establecer una clasificación de la gestión de una empresa según su OEE a partir de los siguientes rangos:

- OEE < 65 % no es aceptable. La productividad se verá seriamente afectada y esto se reflejará como un déficit financiero.
- 65 % < OEE < 75 % requiere de seguimiento y mejoras, ya que el estado actual provoca un déficit financiero y reducción de productividad.
- 75 % < 85 % conforme a pesar de que aún se tienen pequeños déficits financieros, pero se busca superar el 85 % para mejorar en productividad.
- 85 % < OEE < 95 % competitiva. Se observan mejoras en la productividad.
- OEE > 95 % excelente. Productividad sobresaliente reflejada en un incremento de ingresos considerable.

Mediante una gestión adecuada del OEE, se pueden clasificar por excelencia a las organizaciones si estas han obtenido resultados sobresalientes en el porcentaje de este parámetro. (p. 75)

7.3. Adaptación de mecanismos para el control de la productividad

Serán descritos los principales aspectos que se deben tomar en cuenta durante una etapa de implementación de un sistema de control de la productividad.

7.3.1. Aspectos contractuales y legales

Según Cruelles (2012):

En cuanto a las cuestiones legales, de forma generalizada se pueden asumir los siguientes cinco puntos como un estándar:

- Las actividades de cambio o favorables al cambio deberán ser notificadas anticipadamente a los trabajadores.
- Previo a realizar las pruebas del cambio, el equipo de trabajo deberá contar con toda la documentación del proyecto.
- Previo a definir un sistema de control, el cual tendrá consecuencias en términos de productividad y gestión operativa, se tendrá que realizar pruebas durante un lapso.
- Al finalizar las pruebas en el lapso definido, los colaboradores que participaron en las pruebas podrán calificar la efectividad sistema de control de la productividad y los métodos propuestos para la implementación de este, para ello, contarán con 10 días hábiles una vez finalizadas las pruebas.
- Se debe definir concretamente y comunicar a los involucrados los criterios que se aplicarán, para hacer que el control sea analizado minuciosamente.

La empresa debe considerar que si gracias a la gestión adecuada del control de la productividad, los aspectos financieros se ven beneficiados, y tendrán que hacerse planes de implementación de incentivos. (p. 110)

7.3.2. Modelo de implementación del control de la productividad

La implementación de un sistema de control de la productividad, paso por paso, se puede segmentar en tres grupos, los cuales darán como resultado un sistema confiable y satisfactorio para aquellos involucrados en esta nueva tarea de gestión de la productividad. (Cruelles, 2012)

7.3.3. Información básica para el control de la productividad

Es necesario contar con un sistema de análisis de las metodologías aplicadas en la actualidad del proceso a controlar, así como una actualización constante de sus tiempos, tanto los tiempos estandarizados como aquellos tiempos que fluctúan constantemente. (Cruelles, 2012; Palacio, 2011)

En el grupo de la información básica también puede mencionarse nuevamente los convenios establecidos con los implicados en los cambios a realizar, para la implementación del sistema de control de la productividad. Además, se tendrán que estructurar y autorizar los registros y herramientas que se utilizarán para la recolección y almacenamiento de información. (Cruelles, 2012)

Se necesita de un instructivo que muestre las limitaciones y las regulaciones necesarias del sistema que se implementará. También es

necesario incluir una minuta de cálculo, para aquellos que sea necesario verificar el desempeño y la productividad de sus actividades. (Cruelles, 2012)

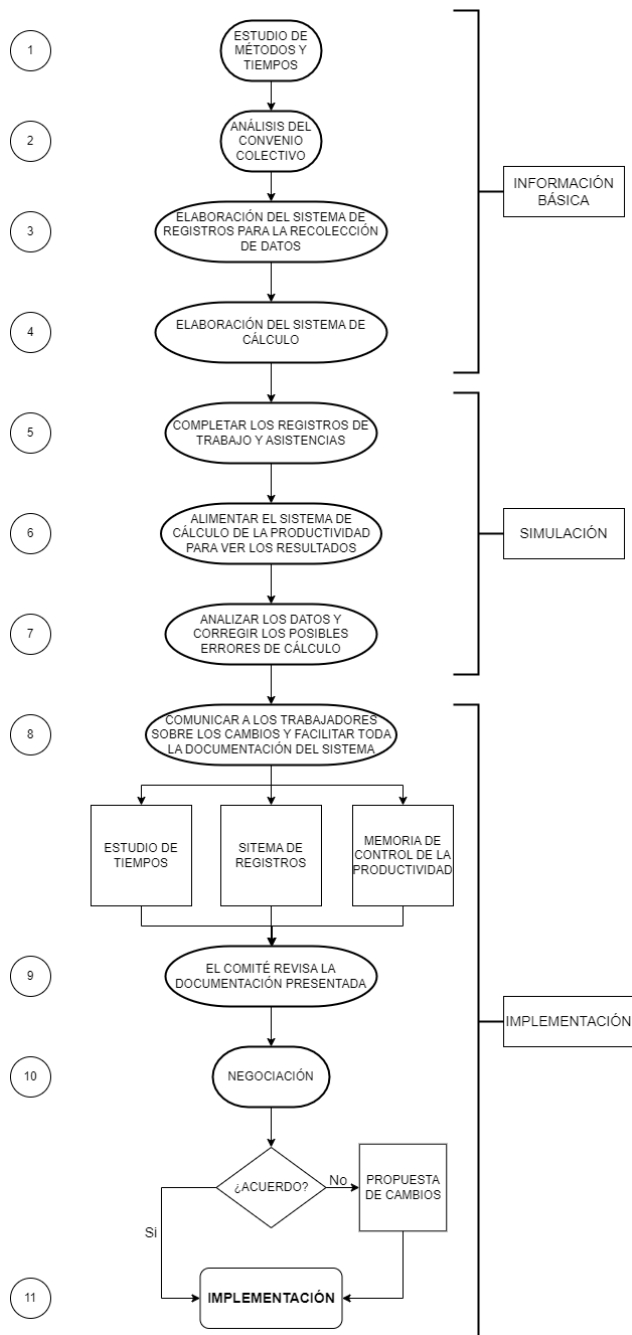
7.3.4. Simulación

Esta etapa incluye la gestión y seguimiento de los registros de trabajo, con la información de los tiempos tomados durante un periodo de inspección en el punto de trabajo. Con los registros completados, se podrán utilizar los datos recolectados para hacer las primeras pruebas en los modelos matemáticos utilizados, para el seguimiento de indicadores y así corregir cualquier error de estudio antes de implementar formalmente el sistema. (Cruelles, 2012)

7.3.5. Implementación

Con los posibles defectos detectados y trabajados previamente, se debe presentar un reporte con todos los pormenores ocurridos durante los primeros dos grupos. Este reporte se debe presentar a un comité que evaluará tanto la viabilidad como la factibilidad de la implementación del sistema, porque puede ser que nuevamente propongan más cambios y se soliciten más pruebas. Cuando el reporte ha sido leído por todos los integrantes del comité, estos deben deliberar si se procede con la implementación. (Cruelles, 2012)

Figura 3. **Etapas de la implementación del control de la productividad**



Fuente: Cruelles (2012), *Productividad e incentivos. ¿Cómo hacer que los tiempos de fabricación se cumplan?*

7.3.6. Guía para el control de la productividad

Parte importante de la gestión, desde la implementación de un control de la productividad, es proporcionar al equipo de trabajo todas las herramientas y accesos necesarios, para conocer la estructura y seguimiento de un control de productividad. Para ello, es necesario crear una guía que especifique el contenido de este sistema de control. (Cruelles, 2012, 2016)

Como se menciona en el apartado 7.3.2., es preciso crear un comité de productividad, que tenga claros los procedimientos y normativas que se involucran con la implementación de este nuevo sistema de control. Los integrantes de este comité serán quienes den a conocer la guía de control de la productividad, con la finalidad de solventar cualquier duda que pueda surgir entre los trabajadores. (Cruelles, 2012, 2014)

Según Cruelles (2012), esta es la información que debe compartirse, como mínimo, a los colaboradores que se verán implicados en este nuevo sistema:

- Introducción y contexto.
- Análisis de las metodologías y los tiempos.
- Registros de trabajo y las especificaciones de su seguimiento.
- Minuta de cálculo para la productividad de la empresa.
- Interpretaciones y comentarios de los resultados.
- Retroalimentación del sistema.
- Diagramas de procesos, características legales y cualquier anexo relevante.

Es necesario que cada apartado pueda ser comprendido con claridad por las personas a quienes irá dirigida la información, para así reducir el tiempo durante la aclaración de dudas. (p. 113-114)

7.3.7. Efectos del control de la productividad

Como se ha mencionado en apartados anteriores, una parte fundamental del control de la productividad es que esta sea comprendida por los trabajadores que involucrados, para reducir el parámetro de rechazo por resistencia al cambio, que generalmente se presenta en estas situaciones. (Cruelles, 2014)

Posterior a la implementación de un sistema de control de la productividad, según Cruelles (2012), se podrían observar los siguientes impactos relevantes:

- Con la reducción de paros no programados y tiempo no controlado, el tiempo disponible para la producción se eleva a tal nivel que los colaboradores ven muy improbable alcanzar la meta de productividad, que también ha incrementado como consecuencia de la implementación del sistema.
- Deberá aclararse que ahora la productividad de los colaboradores se verá medida únicamente en los tiempos controlados, despreciando los paros no controlados.
- Los colaboradores empiezan a autogestionar y participan en la identificación de ineficiencias.

- Serán comunicados a la alta dirección algunos datos que antes no se presentaban hasta esta línea de mando.
- La productividad se incrementará progresivamente.

Con esto se demuestra que, un factor importante en este tipo de sistemas es verificar el nivel de motivación del personal para alcanzar una implementación exitosa. (p. 119)

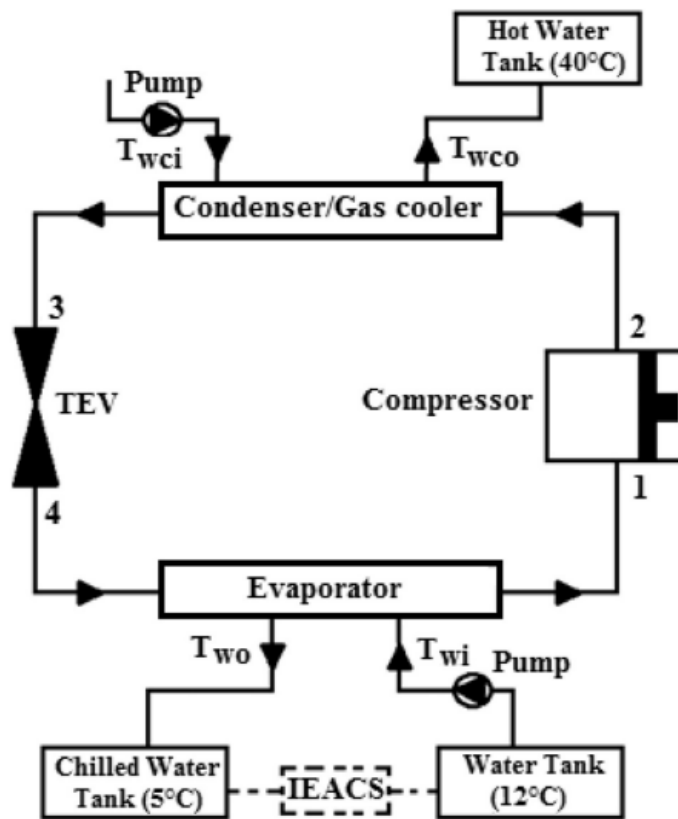
7.4. Manufactura de equipos de refrigeración industrial

La industria de manufactura de equipos de refrigeración también ha sido parte importante del cambio en la gestión de procesos y diseño de equipos, desde que a mediados de la década de 1980 iniciaran a prohibirse los refrigerantes halogenados, que representaban un riesgo latente para la capa de ozono y a la salud pública. La revolución de estas industrias inició con los cambios de refrigerantes (CFC y HCFC como R22 y R11) por otros que fuesen más amigables al medio ambiente (R290, CO₂). (De Paula, Duarte, Rocha, De Olivera y Maia, 2020)

La industria de la manufactura de equipos de refrigeración se ha dividido por los estándares tecnológicos y de modernización que ha impactado en la industria de refrigeración doméstica, por lo que los sistemas tendrán distinciones específicas que irán variando, dependiendo de si el uso será de tipo industrial o doméstico, así como las capacidades que deberá tener este sistema. (Puebla, 2005)

Como cualquier equipo que involucra procesos termodinámicos en su funcionamiento, los sistemas de refrigeración cuentan con operaciones unitarias, diseñadas para controlar parámetros específicos en el sistema como puede ser la temperatura, presión, prevención de escarcha, condensaciones no deseadas y eficiencia de gasto energético, entre otros. (Puebla, 2005)

Figura 4. Diagrama del funcionamiento de las operaciones unitarias en un sistema de refrigeración



Fuente: De Paula et.al (2020), *Optimal design and environmental, energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system using R290, R1234yf, and R744 as alternatives to replace R134a.*

Para el correcto funcionamiento de cada una de estas operaciones, es necesario que las líneas de manufactura de estos equipos sigan paso a paso el ensamblaje de cada pieza, iniciando desde el exterior del equipo hasta la instalación de los componentes que hacen funcionar el sistema. (Puebla, 2005)

Se puede considerar que no existen diferencias significativas entre el funcionamiento de un equipo de refrigeración industrial respecto a un congelador horizontal por lo que sus métodos de manufactura también coincidirán. (Puebla, 2005)

7.5. Análisis de calidad en líneas de manufactura

En las líneas de manufactura, específicamente en aquellos modelos operacionales que funcionan por métodos de ensamble semiautomatizado y manual, se necesitan controles y filtros de calidad más exhaustivos que en aquellos modelos completamente automatizados, ya que el trabajo manual hace que los procesos sean susceptibles de fallos por el error humano. (Torres, 2020)

Según Torres (2020):

Los errores que son reportados con mayor frecuencia en una línea de manufactura con sistemas manuales:

- Errores en el ensamble de alguna conexión
- Equipos o piezas incompletas al final de la línea
- Desperfectos originados por una mala manipulación
- Fallas y no conformidades en las instalaciones

- Daños o suciedad provocada por una mala manipulación

Financieramente las empresas que recaen en estos errores se ven considerablemente afectadas y esto se puede observar en los niveles deficientes de calidad. (p. 5)

7.5.1. El error humano

En las industrias de manufactura con un modelo operacional, mayoritariamente manual, es necesario analizar qué tan probable o susceptible es el sistema de incurrir en errores.

El análisis de errores para un sistema de manufactura es necesario realizarlo desde la perspectiva de los aspectos cognitivos de cada trabajador, ya que estos agentes se encuentran vinculados a los funcionamientos neuronales, que determinarán la capacidad de razonar y procesar información importante por parte del individuo. Estos análisis de error son convenientes cuando se desea tener un espacio laboral con motivaciones personales por parte de los trabajadores. (Torres, 2020)

7.6. Gestión de indicadores en modelos de calidad

La evaluación y seguimiento de los parámetros de calidad bajo estándares de confiabilidad y precisión, en una industria manufacturera, serán factores significativos en el rendimiento financiero. (Tambare, Meshram, Lee, Ramteke y Imoize, 2021)

Es mediante el seguimiento de indicadores de calidad y desempeño que la producción de una empresa puede mostrar su evolución en tiempo real. Con esto, los encargados de gestionar, tanto los parámetros de producción como los

estándares de calidad, podrán identificar puntos deficientes y oportunidades de mejora que cada vez impulse más al sistema de manufactura hasta un estado de alta efectividad y productividad. (Tambare et al., 2021)

Con los métodos tecnológicos recientes es más sencillo realizar seguimientos de los puntos deficientes de una operación de manufactura, por lo que el análisis de causas se vuelve un punto fundamental en la gestión de indicadores de calidad. (Tambare et al., 2021)

7.6.1. Análisis de causa raíz

Para definir con certeza en qué puntos o etapas es necesario aplicar acciones correctivas, para mejorar el proceso y la productividad del sistema, en seguida se definen las herramientas.

7.6.1.1. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es un método comúnmente utilizado para hacer el análisis de los factores, por etapas de proceso o puntos críticos de control en donde pudo originarse una incidencia. Estos diagramas pueden estructurarse a partir de cinco ramificaciones principales: materia prima, maquinaria, mano de obra, metodología y medio ambiente. (Varzakas, 2016)

Es común encontrar denominaciones para estos modelos gráficos como Diagrama de causa y efecto, ya que se utiliza principalmente como una herramienta de investigación de causas que crean o contribuyen al origen de efectos. (Varzakas, 2016)

7.6.1.2. Diagrama de Pareto

Una metodología, útil para realizar el seguimiento de acciones correctivas vinculadas a un análisis de causa raíz, es utilizar los diagramas de Pareto. Se busca que la interpretación gráfica de barras sea un sistema descendiente, donde serán ordenados los factores según su prioridad en cuanto a un plan de acción requerido. Para esto debe considerarse el fundamento básico que busca un diagrama de Pareto, en donde únicamente un 20 % de los factores requieran acciones para corregir al menos el 80 % de los problemas identificados en el análisis. (Varzakas, 2016)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

INDRODUCCIÓN

1. MARCO DE REFERENCIA

- 1.1. Contexto de la organización
- 1.2. Reseñas históricas
- 1.3. Estructura de la organización
- 1.4. Gestión del proceso productivo
- 1.5. Gestión de la calidad total

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Productividad
 - 2.1.1. Control de la productividad
 - 2.1.2. Información para el control de la productividad
 - 2.1.2.1. Estructura de un registro de trabajo
 - 2.1.3. Seguimiento y análisis de la productividad
- 2.2. Control de la eficiencia global (OEE)

- 2.2.1. Disponibilidad
- 2.2.2. Tiempo disponible
- 2.2.3. Rendimiento
 - 2.2.3.1. Tiempo de ciclo ideal
- 2.2.4. Calidad
 - 2.2.4.1. Calidad a la primera
- 2.3. Adaptación de mecanismos para el control de la productividad
 - 2.3.1. Aspectos contractuales y legales
 - 2.3.2. Modelo de implementación del control de la productividad
 - 2.3.2.1. Información básica para el control de la productividad
 - 2.3.2.2. Simulación
 - 2.3.2.3. Implementación
 - 2.3.3. Guía para el control de la productividad
 - 2.3.4. Efectos del control de la productividad
- 2.4. Manufactura de equipos de refrigeración industrial
- 2.5. Análisis de calidad en líneas de manufactura
 - 2.5.1. El error humano
 - 2.5.2. Gestión de indicadores en modelos de calidad
 - 2.5.3. Análisis de causa raíz
 - 2.5.3.1. Diagrama de Ishikawa
 - 2.5.3.2. Diagrama de Pareto

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Estado actual de la productividad de la línea de ensamble y del Departamento de producción

- 3.2. Análisis de puntos críticos en el diagrama del proceso de manufactura
 - 3.2.1. Análisis de causa-raíz
 - 3.2.2. Árbol de decisiones
 - 3.2.3. Análisis de puntos críticos
 - 3.3. Control de la productividad y *dashboard* de indicadores
 - 3.3.1. Control de disponibilidad
 - 3.3.1.1. Control de tiempo *takt*
 - 3.3.1.2. Control de paros programados
 - 3.3.1.3. Control de paros no programados
 - 3.3.2. Control de rendimiento
 - 3.3.2.1. Control de tiempo de ciclo
 - 3.3.3. Control de calidad
 - 3.3.3.1. Registro de equipos conformes
 - 3.3.3.2. Registro de equipos no conformes
 - 3.3.3.3. Registro de equipos incompletos
 - 3.3.4. Propuestas de correcciones y mejoras
 - 3.3.5. Comprensión del sistema por parte de los líderes de área
 - 3.4. Comparación de índices de productividad
 - 3.4.1. Propuesta de implementación y seguimiento
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 4.1. Estado actual de la productividad de la línea de ensamble y del Departamento de producción
 - 4.2. Análisis de puntos críticos en el diagrama del proceso de manufactura
 - 4.3. Control de la productividad y *dashboard* de indicadores
 - 4.4. Comparación de índices de productividad

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La presente investigación, enfocada en la propuesta de la incorporación de un sistema de control de la productividad en una línea de ensamble, se plantea con un enfoque mixto de alcance descriptivo. El estudio tendrá 36 unidades de análisis y se llevará a cabo con un diseño cuasiexperimental, donde algunos de los resultados serán evaluados con un enfoque correlacional.

9.1. Características de estudio

Para el presente estudio se propone un enfoque de investigación de tipo mixto, ya que como parte de los objetivos planteados se requiere integrar el proceso cualitativo de identificación de los puntos críticos, con la finalidad de implementar acciones que reduzcan las deficiencias y no conformidades en los equipos, las cuales se originan en las etapas de la línea de ensamble que serán estudiadas.

El estudio cuantitativo se espera efectuar a través la gestión de indicadores (calidad, disponibilidad, rendimiento y eficiencia global), que se basará en la producción programada respecto del resultado de producción real, tomando en cuenta, principalmente, si los equipos producidos son conformes o tienen algún desperfecto que resulte significativo en la productividad de la línea.

Inicialmente, el alcance de la investigación será descriptivo y se tomarán en cuenta todas las etapas de la línea de ensamble hasta llegar al área de pruebas de calidad, donde serán evaluados los puntos críticos que pueden

originar las causas de las no conformidades en los equipos. Es por esto que se define un alcance inicial descriptivo, ya que en estas etapas únicamente se espera recolectar información de forma individual por etapa y proceso, con base en las variables del estudio (producción de equipos, equipos no conformes, tiempos de paro, tiempos de producción), para analizar y medir los indicadores que formarán parte de los resultados esperados de este estudio. Será en análisis posteriores a esta recolección de información que se estudie una relación entre cada variable. (Hernández, Fernández, y Baptista, 2018)

Se espera que el alcance de la investigación se desarrolle hasta un enfoque de tipo correlacional, ya que después de la recolección de información y obtención de los indicadores de productividad, se determinarán los indicadores de eficiencia global para fundamentar los criterios y definir acciones que reduzcan los problemas de producción. Se define este segundo enfoque del alcance de la investigación como correlacional, porque este tipo de alcance identifica la relación o impacto que existirá entre dos o más variables de un estudio. (Hernández et al., 2018). Tal como se llevará a cabo con los indicadores de productividad, evaluando su impacto sobre la variabilidad de la productividad total de la línea de ensamble estudiada.

La investigación se llevará a cabo con diseño cuasiexperimental. En estos diseños, al igual que en los experimentos puros, se manipula deliberadamente una variable independiente para observar su efecto sobre alguna o varias variables dependientes, pero los puntos de análisis y elementos de muestreo no se asignan al azar, si no que se toman muestras ya conformadas. (Hernández et al., 2018). Esto se espera efectuar durante el desarrollo de la fase experimental, ya que se propondrán cambios en las metodologías de manufactura establecidas en la línea de ensamble que se verá reflejado en las variables independientes (tiempo disponible, equipos

conformes, eficacia), para verificar si existen variaciones significativas de estos cambios con relación a los resultados de los indicadores de productividad que se estarán controlando (variable dependiente).

9.2. Unidades de análisis

El estudio abarcará una sola línea de ensamble que cuenta con las siguientes etapas: Ensamble-1, Espuma, Ensamble-2, Ensamble-3, Refrigeración. La unidad de análisis contiene 36 elementos: trece pasos integrados en Ensamble-1, dos pasos integrados en Espuma, ocho pasos integrados en Ensamble-2, siete pasos integrados en Ensamble 3 y seis pasos en el área de Refrigeración.

En cada unidad se analizarán parámetros como los tiempos de producción, los equipos programados, los equipos producidos, equipos rechazados por reproceso y equipos rechazados por incompletos. A partir de los datos obtenidos, se plantearán los resultados de los indicadores de eficiencia global y también la productividad del área.

9.3. Variables

Tabla V. Descripción de las variables del estudio

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Equipo incompleto	Producto que ha finalizado su proceso de manufactura y ensamble, pero no cuenta con todos los componentes necesarios para seguir sobre la línea de despachos. (Herrera y Fontalvo, 2000)	Se contabilizarán como equipos incompletos aquellos que, al momento de pasar por una etapa de ensamble sin todos sus componentes, deba ser retirado de la línea de ensamble para un retrabajo posterior. Donde: E_i = equipo incompleto
Equipo no conforme	Producto que ha finalizado su proceso de manufactura y ensamble, pero se ha identificado una falla de funcionamiento o de estética que le impide continuar sobre la línea de despachos. (Herrera y Fontalvo, 2000)	Se contabilizarán como equipos no conformes aquellos que son retirados de la línea por un error de funcionamiento o estético que se haya identificado o por considerarse equipo incompleto. Donde: E_{NC} = equipo no conforme

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Producción total de equipos	<p>Proceso de fabricación y manufactura de un producto o conjunto de elementos que representan la finalidad económica de un proceso. (Favela et al., 2019)</p>	<p>La producción se medirá con base en la cantidad de equipos producidos por la línea de ensamble en una jornada de trabajo, tomando en cuenta toda la producción, incluso los equipos no conformes.</p> $P = \sum E_c + \sum E_{NC} + \sum E_i$ <p>Donde:</p> <p>P = producción total de equipos E_c = total de equipos conformes E_{NC} = total de equipos no conformes E_i = total de equipos incompletos</p>
Eficacia de producción total	<p>Resultados o nivel de cumplimiento de un objetivo establecido para una actividad específica. (Gil, Rico y Sánchez, 2008)</p>	<p>La eficacia será medida a partir de la producción real respecto de la producción programada para la línea de producción.</p> $F = \frac{P_R}{P}$ <p>Donde:</p> <p>F = eficacia de producción total P_R = producción real P = producción total de equipos</p>

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
<p>Calidad de producción a la primera</p>	<p>Indicador básico para conocer la calidad de un proceso a través del porcentaje de equipos correctamente fabricados a la primera. (Sumanth, 1999)</p>	<p>Se determinará este indicador mediante la relación entre la diferencia la producción total y los equipos no conformes respecto a la misma producción total.</p> <p>Este indicador será evaluado individualmente por etapas y de forma general, abarcando toda la línea.</p> $FTT = \frac{P - \sum E_{NC} - \sum E_i}{P}$ <p>Donde:</p> <p>FTT = indicador de calidad a la primera P = producción total de equipos E_{NC} = total de equipos no conformes E_i = total de equipos incompletos</p>
<p>Calidad en la producción</p>	<p>Representa la cantidad de productos producidos de acuerdo a los estándares con respecto al total de productos producidos. (Arzate, 2015)</p>	<p>Se determina mediante el cociente de la producción conforme, respecto de la producción total de la línea.</p> $Q = \frac{\sum E_C}{P}$ <p>Donde:</p> <p>Q = indicador de la calidad en la producción P = producción total de equipos</p>

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
<p>Tiempo planificado de producción</p>	<p>Tiempo total establecido y estandarizado para llevar a cabo el cumplimiento de un proceso sin interrupciones. (Cruelles, 2012)</p>	<p>En base al tipo de equipo que se produce por etapa de ensamble, se medirá el tiempo disponible para realizar cada tarea sobre la línea de ensamble. En este cálculo se consideran los paros planificados.</p> $T_P = \sum_{n=1}^{\infty} t_n - t_p$ <p>Donde:</p> <p>T_p = tiempo planificado de producción t_n = tiempo individual por etapa de trabajo en la línea t_p = tiempo de paros planificados</p>
<p>Paros no planificados</p>	<p>Demora en un proceso productivo que se origina por una eventualidad no considerada en el flujo de trabajo proyectado. (Sumanth, 1999)</p>	<p>Se cuantificará el total del tiempo perdido en los paros no programados de cada etapa de la línea de ensamble.</p> $O_D = \sum_{n=1}^{\infty} t_d$ <p>Donde:</p> <p>O_D = total de paros no planificados t_d = tiempo de paro por estación o etapa individual</p>

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
<p>Tiempo disponible de producción</p>	<p>Tiempo real que se toma un proceso para cumplir con su trabajo o actividades. (Cruelles, 2012)</p>	<p>Se medirá la diferencia entre el tiempo planificado y los paros no programados.</p> $T_D = T_P - O_D$ <p>Donde:</p> <p>T_D = tiempo total disponible de producción T_P = tiempo planificado de producción O_D = total de paros no planificados</p>
<p>Disponibilidad</p>	<p>Indicador que describe el tiempo en que un proceso productivo ha estado produciendo sin paros no programados. (Cruelles, 2012)</p>	<p>Se medirá la relación el tiempo disponible respecto al tiempo planificado para la operación.</p> $D = \frac{T_D}{T_P}$ <p>Donde:</p> <p>D = disponibilidad T_D = tiempo total disponible de producción T_P = tiempo planificado de producción</p>

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Tiempo de ciclo ideal	Periodo de tiempo en el que se debería llevarse a cabo un proceso productivo en condiciones ideales. (Cruelles, 2012)	Se medirá y estandarizará el menor tiempo posible que tarda un equipo en pasar por cada etapa de ensamble, así como el menor tiempo posible en completar todo el proceso general de ensamble.
		$T_{CI} = \frac{t_e}{1 \text{ equipo}}$
Donde:		
T_{CI} = tiempo de ciclo ideal t_e = tiempo de un solo equipo por cada etapa		
Rendimiento	Indicador que presenta la eficacia de un proceso, tomando en cuenta las pérdidas de tiempo no programadas, mostrando un resultado a velocidad reducida. (Cruelles, 2012)	Se determinará mediante la relación de la producción total obtenida respecto de la producción programada en el tiempo disponible.
		$R = \frac{P * T_{CI}}{T_D}$
Donde:		
R = indicador de rendimiento T_{CI} = tiempo de ciclo ideal T_D = tiempo disponible de producción		

Continuación de tabla V

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Eficiencia global		<p>Se medirá el porcentaje de eficiencia global de la línea de ensamble mediante el producto de los indicadores de disponibilidad, calidad y rendimiento.</p> $OEE = Q * D * R$ <p>Donde:</p> <p>Q = indicador de calidad en la producción D = indicador de disponibilidad R = indicador de rendimiento</p>
Productividad	<p>Indicador de producción que determina el porcentaje de equipos producidos bajo los estándares de calidad establecidos respecto de los insumos (tiempo) utilizados para su fabricación. (Koonts et al., 2012)</p>	<p>Se medirá la productividad de cada etapa y la productividad total de la línea de ensamble mediante la relación de la producción total de equipos conformes respecto del rendimiento total de la línea.</p> $E = \frac{E_c * T_{CI}}{T_D}$ <p>Donde:</p> <p>E = productividad E_c = total de equipos conformes. T_{CI} = tiempo de ciclo ideal. T_D = tiempo disponible de producción.</p>

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

9.4. Fases del estudio

Se describen las etapas en las cuales se estará desarrollando la investigación.

9.4.1. Fase uno: revisión de documentación y antecedentes

Recabar información que fundamente los procedimientos y procesos que serán aplicados, para el análisis e identificación de puntos críticos y propuesta de mejoras en un proceso de manufactura a través del análisis de indicadores de eficiencia y productividad.

- Análisis de puntos críticos: metodologías de identificación de causas raíz e identificación de oportunidades de mejora en líneas de manufactura.
- Control de eficiencias: gestión de indicadores de eficiencia global
- Indicadores de productividad: mecanismos de análisis de tiempos de manufactura y reducción de no conformidades.
- Mejora continua: metodologías y planes de acción para la mejora de los procesos de manufactura.

9.4.2. Fase dos: recolección de información

Se supervisará el proceso normal de cada etapa de la línea de ensamble, para recabar información necesaria para la identificación de puntos de control e identificación de oportunidades de mejora.

- Estado actual de las etapas de ensamble: se llevarán a cabo etapas de supervisión de cada proceso involucrado en las cinco etapas que se analizarán de la línea de ensamble. Por métodos cualitativos se observará en qué puntos el proceso evidencia alguna deficiencia o se detiene por periodos prolongados, atrasando así el flujo de las líneas.
- Procesos de validación de calidad: se verificarán todos los procesos análisis ya estandarizados, por el Departamento de calidad, para la inspección y revisión de equipos en cada etapa de la línea de ensamble, tomando en cuenta los criterios aplicados en la selección e identificación de equipos no conformes.
- Productividad actual: se medirán los tiempos de producción y se cuantificarán los equipos (tanto conformes como no conformes) que se producen en una jornada laboral durante una semana, para analizar el estado actual de la productividad de la línea y evaluar en qué parámetros pueda presentar deficiencias.

9.4.3. Fase tres: análisis de información

- Puntos críticos: los análisis de tiempos serán tabulados para definir los tiempos de ciclo ideal. Se utilizará la metodología de los 5 por qué, así como la herramienta del análisis de Ishikawa, para la identificación de causas raíz en los hallazgos identificados en las áreas que se proponen como puntos críticos.

- Productividad: se obtendrá el cálculo de la eficiencia global de la línea de ensamble, utilizando los datos de tiempos de producción recabados en los formatos de supervisión. La información será tabulada y se estructurarán indicadores con *software* Power BI. Con los indicadores ya establecidos y la base de datos obtenida durante la segunda fase, se utilizará la información recabada y con esto se podrá calcular la productividad total de la línea, la cual también podrá ser analizada y correlacionada por medio de tablas de Excel y modelizaciones de los KPI, utilizando Power BI.
- Identificación de no conformidades: se obtendrán reportes de auditorías e inspecciones de calidad para definir los hallazgos significativos y recurrentes al momento de la verificación de equipos. Los reportes con el detalle de la identificación de los hallazgos encontrados por los operarios e inspectores de calidad serán extraídos del *software* utilizado en el proceso de producción (el *software* pertenece y es administrado por el Departamento de sistemas de información de la empresa).
- Retrabajos: se analizarán los estudios de tiempo que toma el proceso de reparación y retrabajo de equipos no conformes; se analizará si existe un impacto significativo en la gestión de la productividad de las líneas. Estos reportes también podrán extraerse del *software* de control de producción.

9.4.4. Fase cuatro: análisis e identificación de mejoras

A partir de la información analizada, se podrán proponer mejoras en el proceso y se iniciará con la implementación de la gestión de indicadores de productividad diaria.

Con los indicadores, proporcionando información diariamente, se deberá programar en las actividades de supervisión de producción el análisis e interpretación de los indicadores, para realizar acciones correctivas oportunas en aquellos puntos que presenten resultados anómalos o deficientes.

Si las propuestas de acciones correctivas son aceptadas y aplicadas por el supervisor del proceso, los resultados de los indicadores serán analizados nuevamente, dos jornadas después de haberse realizado los cambios para validar la efectividad de estos.

9.4.5. Fase cinco: interpretación de la información

Con base en la productividad que muestra la línea y sus etapas desde que se implementa el cálculo y seguimiento de indicadores, se realizará una correlación de este parámetro de productividad con la eficiencia global de la línea de ensamble, para identificar si existe una relación significativa entre ambas variables.

Se analizará con base en los resultados de productividad si es factible replicar el modelo de análisis de indicadores de productividad en el resto de las líneas de ensamble.

9.4.6. Fase seis: elaboración del informe final

Se analizarán los datos obtenidos del periodo de ejecución e investigación en el área de trabajo planteada; será redactado el informe final con el *software* Word. Toda la información recabada que sea relevante hay que presentarla en el informe, será adjuntada y se exportarán directamente de la herramienta utilizada durante la investigación (Excel, Power BI, Word).

Los resultados finales serán presentados al catedrático de Seminario III, al Mtro. asesor del presente estudio y al área correspondiente de la Escuela de Estudios de Postgrado, para la revisión respectiva y análisis final. Además, se entregará una copia a los dueños del proceso de producción de la empresa en cuestión donde se estará realizando el estudio, para que internamente puedan decidir si es factible continuar con una fase de implementación de la propuesta.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos de producción en tiempo real (tiempos de producción, equipos producidos, equipos no conformes, paros no programados, entre otros) se obtendrán directamente y de forma presencial en las etapas de la línea de ensamble durante el proceso experimental. Los datos serán procesados por los modelos matemáticos necesarios, para obtener la información relevante de la investigación. También se analizará la información de periodos de producción anteriores a esta investigación, para conocer el estado actual del proceso en cuanto a los parámetros de productividad.

10.1. Recolección de la información

Los datos obtenidos durante la etapa experimental serán tabulados y manuscritos en los formatos que utilizan los departamentos de manufactura y de calidad total. Todos los datos serán digitalizados y almacenados en tablas del *software* Excel, para eventualmente obtener en esas mismas tablas los datos y variables necesarios para el cálculo de los indicadores e índices de productividad.

Las herramientas necesarias para efectuar esta recopilación de datos serán:

- Observación: estará guiada por un analista de calidad y un analista de manufactura esbelta, ya que conocen el proceso y podrán identificar cualquier variante significativa que pueda afectar la obtención de la

información. A partir de este procedimiento se formarán los criterios para estructurar el árbol de decisiones, que podrá definir los puntos críticos y las causas raíz de los problemas identificados como hallazgos.

- Registros: en los que se almacenarán los datos de forma temporal antes de ser digitalizados. Los registros que se utilizarán durante el proceso experimental serán los formatos usados para el análisis, así como la medición de tiempos que realiza el equipo de manufactura esbelta, además de los formatos de identificación de hallazgos sobre la línea de ensamble que utiliza el Departamento de calidad total. De los registros obtenidos durante los tres meses anteriores al inicio de la investigación, se obtendrán los datos históricos para definir la situación actual de la productividad de la línea de ensamble que es el objeto de estudio.

10.2. Análisis de la información

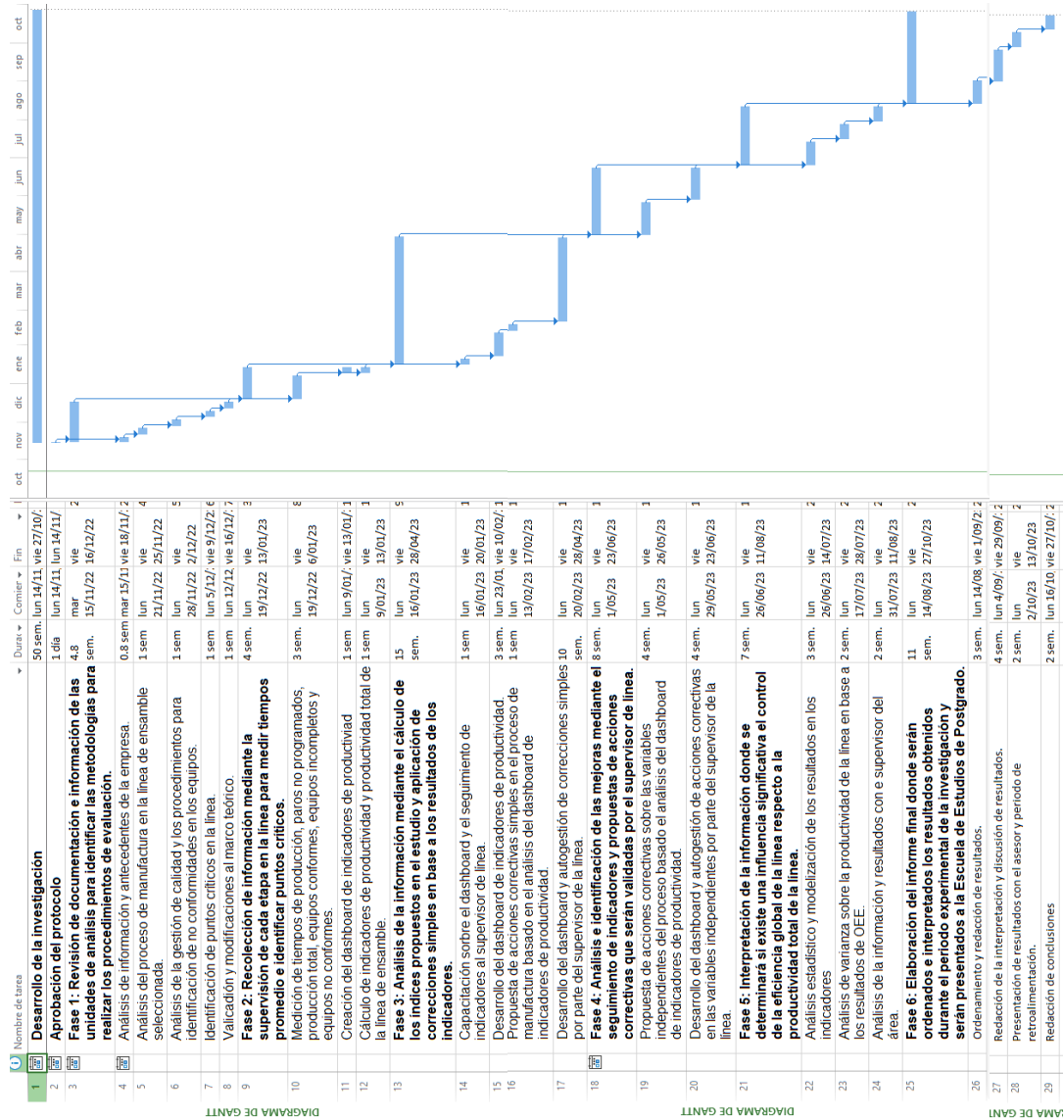
Para llevar a cabo el análisis y la interpretación de los resultados que se puedan obtener, a partir de la recolección de datos, se utilizarán estas herramientas:

- Power BI: las tablas con los resultados de los indicadores serán exportadas a este *software*, donde serán analizados mediante gráficos (lineales, combinados y circulares) que mostrarán la evolución diaria de los datos, lo cual permitirá una interpretación inmediata al momento de ser ingresados al programa. Los métodos gráficos individualmente serán utilizados de esta manera:

- Diagrama de líneas: es una representación gráfica del comportamiento que tendrán los datos (indicadores) respecto de un parámetro continuo y uniforme (días, semanas y meses), del cual se pueden obtener correlaciones lineales, tendencias y variaciones que podrán ayudar con los criterios de propuesta de mejoras en el proceso.
- Diagrama combinado: este diagrama cuenta con los elementos gráficos lineales y de barras integrados en un mismo modelo, en el cual puede analizarse no solamente la dispersión o la frecuencia de los datos obtenidos, sino que se podrá mostrar la tendencia y correlación de estos en un mismo elemento gráfico. Nota: tanto para los diagramas de líneas como los diagramas combinados, el *software* permite colocar filtros que favorecen el dinamismo y la navegación por los datos que se almacenen en estas gráficas; es decir, que si una gráfica contiene la información de una sola etapa de la línea de ensamble, se podrán aplicar filtros para que en el mismo gráfico se muestren únicamente los resultados por unidad de análisis.
- Diagrama semicircular: es un tipo de diagrama que ofrece una visualización resumida y fácil de interpretar respecto de indicadores, ya que puede mostrar el estado en tiempo real del proceso y su desarrollo para alcanzar el objetivo o meta trazada.
- Diagrama circular: al igual que el diagrama semicircular, ofrece información en tiempo real del desarrollo del proceso, pero este podrá comparar otros parámetros de forma más simple y agilizada como es el desempeño de los indicadores. Esto ayudará al

intérprete a identificar si está ocurriendo una deficiencia en alguno de los parámetros a analizar (calidad, disponibilidad, rendimiento), para tomar acciones inmediatas.

11. CRONOGRAMA



Fuente: elaboración propia, hecho con Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio propuesto es factible porque se cuenta con los principales recursos, necesarios para ejecutar cada una de las fases planteadas para el cumplimiento de los objetivos de la investigación; además, la empresa brindará algunos de los recursos descritos en los siguientes párrafos.

12.1. Recursos necesarios

El investigador, en conjunto con el Departamento de producción de la empresa donde se llevará a cabo el proceso experimental, con los respectivos permisos y autorizaciones de las autoridades, gestionará los siguientes recursos:

- Humanos:
 - Personal administrativo y operativo disponible para reunir y compartir la información necesaria, para llevar a cabo las actividades descritas en la metodología de la presente investigación.
- Tecnológicos:
 - Equipo de cómputo y teléfonos celulares *smartphone*, para la toma de evidencias y comunicación interna del equipo de trabajo de la empresa.

- Herramientas digitales y *software* para almacenamiento y análisis de datos, así como sus respectivas licencias.
- Acceso a red de internet

- Informativos:
 - Acceso a la información requerida para el desarrollo de la investigación, considerando los acuerdos de confidencialidad acordados con el gestor de los permisos en la empresa.

- Infraestructura y equipo:
 - Autorización para el uso de instalaciones, mobiliario y equipo necesario, para reunir información o llevar a cabo los procedimientos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

El investigador será el único responsable de la gestión financiera de la investigación, puesto que se encargará de cubrir cada uno de los gastos necesarios para el desarrollo de la investigación, los cuales se detallan a continuación:

Tabla VI. Presupuesto

NO.	TIPO DE RECURSO	DESCRIPCIÓN DEL GASTO	COSTO	PORCENTAJE
1	Humano	Inversión de tiempo laboral del investigador	Q 7,950.00	58.2%
2	Humano	Tiempo invertido por el asesor del trabajo de investigación	Q 0.00	0.0%
3	Humano	Tiempo invertido por el personal de manufactura esbelta	Q 0.00	0.0%
4	Material	Papelería y útiles	Q 700.00	5.1%
5	Tecnología	Acceso a internet	Q 1,400.00	10.2%
6	Tecnología	Licencia de Power BI	Q 420.00	3.1%
7	Transporte	Consumo de combustible	Q 1,300.00	9.5%
8	Alimentación	Alimentación	Q 1,000.00	7.3%
9	Varios	Margen de holgura (7%)	Q 864.50	6.5%
TOTAL			Q 13,214.50	100.0%

Fuente: elaboración propia, hecho con Excel.

REFERENCIAS

1. Aguilar, O. (2014). *Diseño de investigación en la administración de la productividad total como herramienta de evaluación para el cumplimiento del plano operativo de una empresa farmacéutica*. (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
2. Andersson, C., y Bellgran, M. (Abril, 2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35(1), 144–154. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
3. Aranberri, N. (Diciembre, 2014). Postediting, productivity and quality. *Tradumàtica: Tecnologies de La Traducció*, 12(1), 471. Recuperado de <https://doi.org/10.5565/rev/tradumatica.62>
4. Arzate, P. (2015). *Desarrollo de un Estándar de Comunicación Electrónico para la Supervisión y Control de Desempeño Dentro del Sistema de Producción SISAMEX* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
5. Capiello, C., Comuzzi, M., Plebani, P. y Fim, M. (Enero, 2022). Assessing and improving measurability of process performance indicators based on quality of logs. *Information Systems*, 103(1), 1–17.

Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101874>

6. Chakravarthy, G. R., Keller, P. N., Wheeler, B. R. y Van Oss, S. (Junio, 2007). A Methodology for Measuring, Reporting, Navigating, and Analyzing Overall Equipment Productivity (OEP). *2007 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)*, Italia.
7. Chaurasia, B., Garg, D. y Agarwal, A. (Enero, 2019). Lean Six Sigma approach: a strategy to enhance performance of first through time and scrap reduction in an automotive industry. *International Journal of Business Excellence*, 17(1), 42. Recuperado de <https://doi.org/10.1504/IJBEX.2019.096903>
8. Cruelles, J. (2012). *Productividad e incentivos. ¿Cómo hacer que los tiempos de fabricación se cumplan?* Zaragoza, España: Zadegon.
9. Cruelles, J. (2014). *Soluciones para la mejora de la productividad industrial*. Zaragoza, España: Zadegon.
10. Cruelles, J. (2016). *Beneficios y necesidad del mantenimiento del sistema de productividad*. Zaragoza, España: Zadegon.
11. De Paula, C. H., Duarte, W. M., Rocha, T. T. M., de Oliveira, R. N. y Maia, A. A. T. (Mayo, 2020). Optimal design and environmental, energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system using R290, R1234yf, and R744 as alternatives to replace R134a. *International Journal of Refrigeration*, 113(1), 10–20. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.01.012>

12. Favela, M. K. I., Escobedo, M. T., Romero, R. y Hernández, J. A. (Octubre, 2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1). Recuperado de <https://doi.org/10.22507/rli.v16n1a6>
13. Gil, F., Rico, R. y Sánchez, M. (2008). Eficacia de equipos de trabajo. *Papeles Del Psicólogo*, 29(1), 25–26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77829104>
14. Ginste, L., Aghezzaf, E.H. y Cottyn, J. (Enero, 2022). The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement. *Procedia CIRP*, 107(1), 289–294. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.047>
15. Gobierno de Navarra (2020). *Diagnóstico de Industria 4.0 en Navarra 2020* (No. 1). España: Asociación Industrial de Navarra (AIN).
16. HACCP and ISO22000: Risk Assessment in Conjunction with Other Food Safety Tools Such as FMEA, Ishikawa Diagrams and Pareto. (2016). *Encyclopedia of Food and Health*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00320-2>
17. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2018). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México, México: McGrawHill.
18. Herrera, R. y Fontalvo, T. (2000). *Seis Sigma Métodos Estadísticos y sus Aplicaciones*. Málaga, España: B-EUMED.

19. Janahi, R. Al, Wan, H., Lee, Y. y Zarreh, A. (Diciembre, 2020). Effectiveness and fitness of production line to meet customers' demand. *Procedia Manufacturing*, 51(1), 1348–1354. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.188>
20. Kazaz, A., Ulubeyli, S., Acikara, T. y Er, B. (Junio, 2016). Factors Affecting Labor Productivity: Perspectives of Craft Workers. *Procedia Engineering*, 164 (1), 28–34. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.588>
21. Koonts, H., Weihrich, H. y Cannice, M. (2012). *Productividad, administración de operaciones y gestión de la calidad*. In L. Cabrera y L. Villarreal (Eds.), *Administración. una perspectiva global y empresarial*. Ciudad de México, México: McGrawHill.
22. Manay, A., Milagros, V., Nuñez, R., Cribillero, Y., Gutiérrez, I. y Pesantes, E. (Diciembre, 2019). Aplicación de ciclo Deming para la mejora de la productividad en una empresa de transportes. *Revista Científica EPigmalión*, 1(2). Recuperado de <https://doi.org/10.51431/epigmalion.v1i2.538>
23. Martínez, P., Rincón, N. y Fuentes, D. (2015). *Impact of 5S on Productivity, Quality, Organizational Climate and IS at Tecniaguas S.A.S*. Colombia: Springer International Publishing Switzerland. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-14078-0_28
24. Palacio, L. J. (2011). *Propuesta del modelo de Productividad Total Compensada (CTPM) para el control de la gestión de abastecimiento interno de materias primas a planta de una*

organización farmacéutica (tesis de maestría). Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

25. Patrón, O. E. y Vargas, J. G. (Septiembre, 2019). Factores internos y externos a la empresa que propician entornos de productividad en el sector privado. *Libre Empresa*, 16(1), 64–78. Recuperado de <https://doi.org/10.18041/1657-2815/libreempresa.2019v16n1.5910>
26. Puebla, J. (2005). *Manual de Buenas Prácticas de Refrigeración*. Caracas, Venezuela: FONDOIN.
27. Saez, M., Barton, K., Maturana, F. y Tilbury, D. M. (Enero, 2022). Modeling framework to support decision making and control of manufacturing systems considering the relationship between productivity, reliability, quality, and energy consumption. *Journal of Manufacturing Systems*, 62(1), 925–938. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.011>
28. Sahu, S., Patidar, L. y Soni, P. K. (Octubre, 2015). 5S Transfusion to overall equipment effectiveness (OEE) for enhancing manufacturing productivity. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(7), 1211–1216.
29. Singh, S., Khamba, J. S. y Singh, D. (Abril, 2021). Analysis and directions of OEE and its integration with different strategic tools. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 235(2), 594–605. Recuperado de <https://doi.org/10.1177/0954408920952624>

30. Sumanth, D. (1999). *Ingeniería y Administración de la Productividad*. Ciudad de México, México: McGrawHill.
31. Tambare, P., Meshram, C., Lee, C.-C., Ramteke, R. J. y Imoize, A. L. (Diciembre, 2021). Performance Measurement System and Quality Management in Data-Driven Industry 4.0: A Review. *Sensors*, 22(1), 224. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/s22010224>
32. Torres, Y. (Junio, 2020). El análisis del error humano en la manufactura: un elemento clave para mejorar la calidad de la producción. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 53–62. Recuperado de <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020005>
33. Villazán, B., Durán, A., Planas, A. y Yagüe, M. (Diciembre, 2019). Estudio Del Digital Manufacturing. *Estudio Smart Industry 4.0*, 2(1), 26–28.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

	Elementos del problema	Preguntas de investigación	Objetivos
General	Al momento en que los equipos terminados son evaluados, la etapa de pruebas se identifica que un alto porcentaje de equipos que no cumplen con los estándares de calidad y son denominados no conformes lo cual afecta la productividad de la línea.	¿Cómo puede reducirse la cantidad de no conformidades identificadas en el producto final y con esto aumentar la productividad de la línea de ensamble?	Proponer un sistema de control de la productividad en una línea de ensamble de equipos de refrigeración, determinando las principales causas de desperfectos en los equipos y calculando los indicadores de productividad para cada etapa de ensamble, para aumentar la productividad de la línea.
Específicos	Actualmente la línea mide la producción solamente en términos de eficacia, por lo que los problemas se identifican hasta el momento ll momento de llagar a la etapa de pruebas,	1. ¿Cuál es el estado actual de los indicadores de productividad actual en las líneas y qué causa principalmente las no conformidades asignadas a los productos?	Calcular los indicadores de calidad actuales y analizarlos respecto a datos históricos y definir un procedimiento para la identificación de

Continuación de apéndice 1

Elementos del problema	Preguntas de investigación	Objetivos
donde el equipo ya se ha reportado como terminado.		la causa-raíz del sistema de calidad.
Los equipos que son retirados de línea por ser no conformes ocupan tiempo extra de los trabajadores al no estar dentro de su plan de trabajo original.	2. ¿Cuáles son las principales fuentes de desperdicios y pérdidas de tiempo en la línea de producción?	Identificar los puntos críticos de la operación donde se originan los desperdicios y las pérdidas de tiempo en la línea de producción.
Desde la perspectiva gerencial aún no se cuenta con una metodología establecida para identificar si se tiene alza en los desperfectos que ocurren en el proceso de producción.	3. ¿Cómo se puede implementar un sistema que lleve un control de la productividad y la eficiencia de las líneas de producción?	Establecer un procedimiento para implementar el sistema de control de la productividad en una línea de ensamble.
El conjunto de las problemáticas de equipos no conformes y retrasos en los tiempos de producción se han visto reflejados en el decrecimiento de los últimos índices de productividad en la empresa.	4. ¿Cómo puede impactar la variación de los índices de calidad y eficiencia en la productividad de la empresa?	Calcular la relación que existe entre la variación de los índices de calidad y productividad de la línea estudiada respecto a la productividad total del

Continuación de apéndice 1

Elementos del problema	Preguntas de investigación	Objetivos
		Departamento de producción y si existe variación significativa respecto a la productividad de las líneas donde no se haya aplicado el sistema.

Fuente: elaboración propia, hecho con Word.

