EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS:

"OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL AJUSTE Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN MÁQUINAS BROWN & SHARPE BAJO LOS PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

PEDRO BONILLA CONTRERAS

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ANABEL PINEDA BRISEÑO

H. Matamoros, Tamaulipas, México. Junio de 2025.

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tecnología es progreso®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MATAMOROS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS:

“OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL AJUSTE Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN MÁQUINAS BROWN & SHARPE BAJO LOS PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

PEDRO BONILLA CONTRERAS

DIRECTORA:

DRA. ANABEL PINEDA BRISEÑO

ASESORES:

DR. DANIEL GONZALO GALVÁN RODRÍGUEZ

DR. ALBERTO ARTURO FLORES HERNÁNDEZ

H. Matamoros, Tamaulipas, México. Junio 2025.

Cesión de derechos

AUTORIZACIÓN DE USO DE DERECHOS DE AUTOR OTORGADO POR

Pedro Bonilla Contreras, mayor de edad, con domicilio ubicado en H. Matamoros, Tamaulipas, México, en mi calidad de titular y autor de la tesis denominada optimización y automatización del ajuste y control de producción en máquinas Brown & Sharpe bajo los principios de la industria 4.0, quien para todos los fines del presente documento se denominará EL AUTOR Y/O TITULAR, suscribo el presente documento de autorización de uso de derechos patrimoniales de autor a favor del Instituto Tecnológico de Matamoros el cual se regirá por clausulas siguientes:

PRIMERA – AUTORIZACIÓN: EL AUTOR Y/O TITULAR, mediante el presente documento autoriza la utilización de los derechos patrimoniales de autor al Instituto Tecnológico de Matamoros, de la tesis denominada optimización y automatización del ajuste y control de producción en máquinas Brown & Sharpe bajo los principios de la industria 4.0, a través del Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo TecNM) y en el Repositorio Nacional, que puede ser consultado en la liga electrónica: (https://www.repositorionacionalcti.mx/).

SEGUNDA - OBJETO: Por medio del presente escrito, EL AUTOR Y/O TITULAR Autoriza al Instituto Tecnológico de Matamoros, a través del Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo TecNM) y en el Repositorio Nacional para que de conformidad con la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, use los derechos del documento antes referido, con fines exclusivamente académicos.

TERCERA - TERRITORIO: Los derechos aquí Autorizados se dan sin limitación geográfica o territorial alguna.

CUARTA – ALCANCE: La presente autorización se da tanto para formato o soporte material, y se extiende a la utilización en medio óptico, magnético, electrónico, en red,

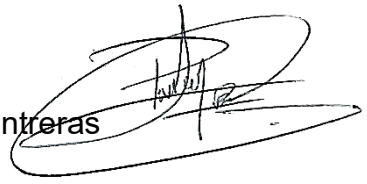
mensajes de datos o similar conocido o por conocer, del ejemplar o número respectivo de la publicación.

QUINTA – EXCLUSIVIDAD: La autorización de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Matamoros. Por lo tanto, EL AUTOR Y/O TITULAR en su carácter de autor de la obra objeto del presente documento se reserva el derecho de publicar directamente, u otorgar a cualquier tercero, autorizaciones de uso similares o en los mismos términos aquí acordados.

SEXTA - DERECHOS MORALES (Créditos y mención): La Autorización de los derechos antes mencionados no implica la cesión de los derechos morales sobre los mismos por cuanto en conformidad con lo establecido en los artículos 18, 19, 20, 21, 22 y 23 de la Ley Federal de Derechos de Autor, dada la cuenta que estos derechos son inalienables, imprescriptibles, irrenunciables e inembargables. Por lo tanto, los mencionados derechos seguirán radicados en cabeza de EL AUTOR Y/O TITULAR, y siempre deberá mencionarse su nombre cuando se utilice la obra.

SÉPTIMA - AUTORIA: EL AUTOR Y/O TITULAR, declara y ratifica que el material objeto de la presente y fue realizada por él sin violar o usurpar derechos de Propiedad Intelectual de terceros.

H. Matamoros, Tamaulipas. a 10 del mes de junio de 2025.



Autor de la Tesis

Pedro Bonilla Contreras

CVU: 1109791

Asesor de la Tesis

Dra. Anabel Pineda Briseño

CURP: PIBA780530MTSNRN07

Carta de No Plagio

Declaración de originalidad y no plagio

El que suscribe y firma la presente carta de originalidad, Pedro Bonilla Contreras, autor de la Tesis: “Optimización y automatización del ajuste y control de producción en máquinas Brown & Sharpe bajo los principios de la industria 4.0” para obtener el Título de Maestro en Administración Industrial, declara que la tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual.

El trabajo terminado fue sometido al Software Turnitín, el cual mostró un porcentaje del 20.0% plagio, cumpliendo con el límite permitido por la institución.

Del mismo modo, asumo frente al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Matamoros cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la falta de originalidad de su contenido.

Atentamente:

Pedro Bonilla Contreras



H. Matamoros, Tamaulipas a 10 de junio de 2025

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Heroica Matamoros, Tamaulipas, 25/junio/2025
Oficio No.: 135/2025 D.E.P.I.

M.C. CLAUDIO ALEJANDRO ALCALÁ SALINAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
PRESENTE

Por este conducto, le comunicamos que una vez efectuada la revisión individual del trabajo de tesis del **C. PEDRO BONILLA CONTRERAS,** cuyo título es: **"OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL AJUSTE Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN MÁQUINAS BROWN & SHARPE BAJO LOS PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0",** y habiendo realizado las observaciones pertinentes nos reunimos en la Sala de Juntas de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), para emitir **DICTAMEN,** el cual es **APROBADO.** Por lo cual nos permitimos autorizarla para que proceda a la impresión de la misma y pueda continuar con los trámites correspondientes, para la obtención del grado de Maestro en Administración Industrial.

A T E N T A M E N T E

DRA. ANABEL PINEDA BRISEÑO
DIRECTORA DE TESIS

DR. DANIEL GONZALO GALVÁN RODRÍGUEZ
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

DR. ALBERTO ARTURO FLORES HERNÁNDEZ
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

c.c.p. Interesado(a).
c.c.p Servicios Escolares
c.c.p. Comité Revisor
c.c.p. Div. Est. de Posgrado/ Coordinación

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por darme vida y salud, por ser mi sustento y siempre acompañarme en cada proceso de mi vida.

Agradezco a mi madre Elia Contreras Castañeda, por todo su apoyo y cariño, por motivarme a luchar por cumplir mis sueños y en específico esta meta, reconozco su valor y esfuerzo por luchar en salir adelante en medio de cualquier circunstancia y siempre superando cada obstáculo. Gracias a ella como ejemplo en perseverancia puedo impulsarme para dar lo mejor de mí.

A mi esposa Ivette Hernández Méndez, por su apoyo y comprensión en estos años de dedicación y siempre dar palabras de motivación, ver de manera positiva y siempre acompañarme en mis decisiones.

Por supuesto a mis hijos, Jair Alfredo Bonilla Hernández y Kaori Bonilla Hernández, los cuales son mi motor y motivación para siempre dar lo mejor de mí y destacarme en cualquier rubro, a enseñarme a ser un excelente padre que siempre está aprendiendo y mejorando, en general por todos los momentos de su compañía los cuales alientan mi vida y me incentivan a ser mejor y siempre a desarrollarme y alcanzar nuevas metas.

Agradezco a la Dra. Anabel Pineda Briseño, no tan solo por ser soporte y apoyo en este trayecto, sino además por ser una persona dedicada y con una gran trayectoria profesional, por demostrar que si se quiere, se puede lograr cumplir todos tus sueños, sin duda en un modelo a seguir.

A mis compañeros y amigos de trabajo, por los buenos deseos, el apoyo y motivación, por permitir aportar algo en sus vidas, así como en yo recibir de parte de ellos. Por comprender que es una carrera que demanda tiempo, pero en tiempos de convivencia siempre se ven las buenas intenciones que motivan y alientan a seguir.

A mis maestros por las grandes enseñanzas y por ser comprensibles, siempre aportando conocimiento y buenos consejos. También a mis compañeros de clases por esa buena relación y trabajo en equipo.

Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Matamoros por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo en el marco de los estudios de posgrado, así como por el respaldo académico durante el desarrollo de la investigación.

Por ultimo y no menos importante, quiero extender mi gratitud a todas las personas que directa e indirectamente, me apoyaron y alentaron en esta trayectoria.

¡GRACIAS!

Resumen

Una de las principales razones de la operación y el sustento de una empresa es su productividad, por lo cual, es de suma importancia identificar todos los aspectos que se relacionan a ella, desde los factores que están involucrados en el proceso, hasta las mejoras que se puedan implementar para mejorar su eficiencia y eficacia.

El sector industrial ha traído muchos beneficios tanto económicos, como en desarrollo, generando oportunidades de empleo y la incorporación de empresas nacionales e internacionales. Enfocado en la franja fronteriza, este sector juega un papel muy importante y es benéfico para todos el implementar y explorar nuevas herramientas, así como nuevas tecnologías.

Actualmente la industria 4.0 juega un papel muy importante en la incorporación a empresas a nivel mundial, el papel que juega es fundamental, ofreciendo diversas tecnologías emergente y herramientas,

El propósito de este trabajo es precisamente realizar mejoras en el proceso de fabricación de pizas, aplicando la implementación de dispositivos electrónicos en las máquinas fresadoras Brown & Sharpe, las cuales son máquinas convencionales sin tecnología alguna.

Abstract

One of the main reasons for the operation and sustenance of a company is its productivity, which is why it is of utmost importance to identify all the aspects that are related to it, from the factors that are involved in the process, to the improvements that are made. can implement to improve their efficiency and effectiveness.

The industrial sector has brought many benefits, both economic and development, generating employment opportunities and the incorporation of national and international companies. Focused on the border strip, this sector plays a very important role, and it is beneficial for everyone to implement and explore new tools, as well as new technologies.

Currently, industry 4.0 plays a very important role in incorporating companies worldwide, the role it plays is fundamental, offering various emerging technologies and tools.

The purpose of this work is precisely to make improvements in the pieza manufacturing process, applying the implementation of electronic devices in the Bronw & Sharpe milling machines, which are conventional machines without any technology.

Introducción

La industria en la zona fronteriza juega un papel muy importante en temas económicos, generación de empleo y desarrollo. Dentro de los diferentes rubros de este sector, existe un tema que comparten en general las empresas manufactureras y es la mejora en optimización de procesos, ya que toda compañía tiene como finalidad ser rentable, ser competitivo y ser reconocido a nivel mundial para realizar comercio y extenderse.

La transformación digital en el sector manufacturero ha impulsado la integración de tecnologías inteligentes como los sistemas ciberfísicos (CPS), sensores industriales, controladores y redes interconectadas que permiten monitorear y optimizar procesos sin necesidad de sustituir completamente el equipo existente (Aracil et al., 2021; Lyu et al., 2023; Zhang and Hu, 2024). Estas tecnologías forman la base de la llamada Industria 4.0 (I4.0), cuyo objetivo es incrementar la eficiencia operativa, la adaptabilidad y la competitividad en entornos industriales (Ghobakhloo et al., 2022).

Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) enfrentan barreras críticas para adoptar estas tecnologías, debido a limitaciones presupuestales, escasez de personal calificado y la complejidad técnica de integración con maquinaria convencional (Xu et al., 2023; Sayem et al., 2022). Frente a este reto, han surgido múltiples propuestas orientadas a adaptar líneas de producción tradicionales con soluciones de bajo costo y alto impacto, permitiendo avanzar hacia fabricas

inteligentes de manera gradual y sostenible (Averyanov et al., 2022; Al-Ahmad et al., 2023).

Además del reto técnico que implica integrar tecnologías inteligentes en maquinaria convencional, la falta de modernización en equipos legacy genera un impacto económico significativo para las empresas. Por ejemplo, estudios recientes reportan que la obsolescencia tecnológica y las fallas recurrentes en maquinaria antigua pueden representar hasta un 15-25 % de pérdida en productividad anual en pequeñas y medianas empresas manufactureras (Ghobakhloo, 2018). Este impacto económico no solo se traduce en menores ingresos y reducción de competitividad frente a industrias con equipos modernos, sino también en un aumento de los costos operativos por mantenimiento correctivo y paros no programados (Soori et al., 2024).

Actualmente las empresas e industria se enfrentan a diversos retos, especialmente con una población demandante en temas como; política, calidad, logística, cadena de suministros, expectativas, etc., debido a esto actualmente muchas empresas han recurrido a tecnologías y herramientas más sofisticadas con el objetivo de aplicar mejora continua dentro de su organización, dando como resultado la optimización de procesos y por consiguiente el mejoramiento y aprovechamiento de infraestructura dentro de la organización.

Hemos pasado la llamada tercera revolución industrial y damos paso a la cuarta revolución industrial, mejor conocida como industria 4.0, si bien algunos países ya están implementando las tecnologías emergentes en su totalidad y han adoptado estas herramientas en sus procesos para la facilitación y grande productividad, aún hay países que no han entrado y se mantienen con su modelo tradicional.

Hay muchos factores que implican la adaptación e incorporación de estas tecnologías, por lo que es recomendable hacer un análisis para ver los beneficios y desventajas que estos proporcionan dentro de la compañía.

El presente trabajo consiste en implementar algunos dispositivos tecnológicos, dentro de una empresa manufacturera dedicada a la producción tornillos; la fabricación se lleva mediante maquinaria semi automática, donde predomina más lo mecanizado. Al realizar esta implementación basándonos en automatización, se optimizan procesos y se logra ver ventajas que, si bien es cierto, aun no detona es la totalidad de la industria 4.0, si se encamina bajo su principio, que es la incorporación de nuevas tecnologías.

En México, especialmente entre las décadas de 1960 y 1990, la industria metalmecánica y maquiladora adoptó maquinaria industrial estadounidense robusta, como los equipos Brown & Sharpe, que debido a su durabilidad y facilidad de operación continúan en operación como parte del parque legacy en muchas PYMES, representando un reto para su productividad actual (Iacovone et al., 2022). Incluso en la actualidad, un número significativo de PYMES mexicanas continua operando maquinaria convencional y legacy en sus líneas de producción, como es el caso de equipos Brown & Sharpe, destacando su durabilidad y confiabilidad mecánica (Buenrostro Mercado, 2022; Martínez et al., 2020; Maldonado-Gómez et al., 2025). Sin embargo, estas máquinas carecen de sistemas digitales de monitoreo y control, lo que limita su integración con tecnologías de Industria 4.0 y su aprovechamiento dentro de procesos de manufactura inteligente.

Índice

Contenido

Cesión de derechos 3

Carta de No Plagio 5

Oficio de liberación 6

Agradecimientos 7

Resumen 9

Abstract 10

Introducción 11

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA 21

1.1 Descripción del problema 21

1.2 Planteamiento del problema 22

1.3 Objetivos 22

1.3.1 Objetivo general 22

1.3.2. Objetivos específicos 22

1.4 Hipótesis 23

1.4.1. Hipótesis general 23

1.4.2. Hipótesis secundarias 23

1.5. Justificación 24

1.6 Variables e indicadores. 25

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS 26

2.1. Industria manufacturera 26

2.1.1 Impacto de la industria en México 27

2.2. Procesos de manufactura 28
2.2.1 Optimización de procesos industriales.....29
2.2.2 Beneficios clave de la optimización 31
2.3 Mejora continua 34
2.4 Factor humano dentro de las operaciones de manufactura.....35
2.4.1 Ergonomía.....37
2.4.2 Estrés 38
2.5 Industria 4.0 (cuarta revolución industrial).....38
2.5.1 ¿Cómo impactara la industria 4.0 a la industria mexicana? 43
2.6 Innovación tecnológica.....44
2.7 Mantenimiento industrial 46
2.7.1 Mantenimiento preventivo.....49
2.7.2 Mantenimiento correctivo.....51
2.7.3 Mantenimiento autónomo 52
2.7.4 Mantenimiento productivo total (TPM) 53
2.8 Sensores industriales.....54
2.8.1 Sensores capacitivos.....55
2.8.2 Sensores inductivos 57
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 62
3.1. Población o muestra 62
3.2. Tipo de estudio.....62
3.3 Instrumento de medición.....63
3.4 Procedimiento de implementación del prototipo.....64
3.5 Método de análisis de datos.....64

3.6 Proceso de manufactura en producción de tornillos 64
3.7 Máquinas Brown & Sharpe.....66
3.7.1 Proceso 1: ajuste de herramienta fullcrum-collet 68
3.7.2 Proceso 2: conteo de piezas totales 73
3.8 Diseño del prototipo 75
3.8.1 Lista de materiales o componentes 76
3.8.2 Presupuesto 84
3.9. Construcción del prototipo.....86
3.9.1 Primera implementación - dinamómetro digital 86
3.9.2 Segunda implementación - contador automático 87
3.9.3 Diagrama final de implementaciones 89
3.10 Prueba del prototipo.....90
3.10.1 Prueba de prototipo: primera implementación - dinamómetro digital.....90
3.10.2 Prueba de prototipo: segunda implementación - contador automático.....92
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....96
4.1 Resultado de la hipótesis general.....96
4.1.1 Incremento en la productividad mensual.....96
4.1.2 Reducción del tiempo requerido en procesos críticos.....97
4.1.3 Reducción de tiempos muertos 99
4.1.4 Evolución del indicador OEE 102
4.1.5 Disminución de costos por refacciones.....105
4.1.6 Precisión en conteo de sensor vs bascula 108
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 110
5.1 Conclusiones.....110

5.2. Recomendaciones 113

FUENTES DE INFORMACIÓN..... 114

ANEXOS 119

Índice de tablas

Tabla 1 Refacciones de piezas dañadas y gasto generado en compra por mal ajuste 2022-2023 73

Tabla 2 Proceso de pesado y conteo de material y modos de falla posible 74

Tabla 3 Listado de dispositivos a implementar 76

Tabla 4 Presupuesto individual vs total en implementación de dispositivos en máquinas Brown & Sharpe 84

Tabla 5 Prueba de conteo 1 conteo automático vs conteo manual 94

Tabla 6 Prueba de conteo 2 conteo automático vs conteo 95

Tabla 7 Prueba de conteo 3 conteo automático vs conteo manual 96

Tabla 8 Comparativa de piezas dañadas por año y gastos totales 107

Índice de figuras

Figura 1 Aumento en volumen de producción manufacturera, noviembre 2024 277
Figura 2 Serie desestacionalizada del volumen físico de la producción 288
Figura 3 Criterios con finalidad de efectividad productiva 299
Figura 4 Esquema kaizen.....35
Figura 5 Evolución de revolución industrial. 40
Figura 6 Proceso de innovación.....45
Figura 7 Fases para la aplicación de un mantenimiento preventivo.....51
Figura 8 Esquema interno de sensor de proximidad capacitivo. 56
Figura 9 Funcionamiento de una pantalla táctil capacitiva 56
Figura 10 Estructura de un acelerómetro capacitivo 57
Figura 11 Representación de sensor inductivo 58
Figura 12 Funcionamiento campo magnético sensor inductivo.....59
Figura 13 Diferencia conexión en sensor PNP Y NPN 60
Figura 14 Sensor tipo NPN y forma de conexión 60
Figura 15 Sensor tipo PNP y forma de conexión.....61
Figura 16 Sensor tipo ON-OFF y forma de conexión 62
Figura 17 Diagrama de proceso manufactura de tonillos 65
Figura 18 Máquinas Brown & Sharpe.....66
Figura 19 Tiempo muerto en proceso de producción 67
Figura 20 Selección de las mayores actividades generadoras de tiempo muerto.....67
Figura 21 Flecha completa de alimentación y empuje máquina Brown & Sharpe.....69
Figura 22 Casting base máquina Brown & Sharpe 70
Figura 23. Kit de piezas complementarias de fullcrum.....71
Figura 24 Piezas collet dañadas por mal ajuste y presión ejercida.....71
Figura 25 Piezas dañadas ocasionadas por mal ajuste (fractura en flecha, fullcrum)72
Figura 26 Conteo manual de piezas producidas en turno.....74

Figura 27 Gantt de agenda de actividades.....76
Figura 28 Modo de trabajo de dinamómetro 78
Figura 29 Cotización de dinamómetro digital 78
Figura 30 TH-105 cabezal de sensor de pasaje de metal 80
Figura 31 Características y especificaciones de TH-105 cabezal de sensor 80
Figura 32 Controlador-amplificador para TH-340 81
Figura 33 Características y especificaciones de controlador-amplificador TA-340.....82
Figura 34 Contador industrial digital c2s 120v compatible bostitch 83
Figura 35 Características y especificaciones de display industrial 84
Figura 36 Orden de compra de dinamómetro digital 85
Figura 37 Orden de compra de dispositivos contador automatizado 85
Figura 38 Implementación de dinamómetro y fijación de base en casting ……..87
Figura 39 Implementación y fijación de Sensor TH-105 y panel de control……88
Figura 40 Diagrama de implementaciones realizadas... ……..…..89
Figura 41 Estandarización de aplicación de fuerza adecuada para el ajuste …….…92
Figura 42 Pruebas de conteo automática por turno en producción……...94
Figura 43 Incremento del 111 % en la producción mensual promedio ..... …97
Figura 44 Comparación del tiempo requerido en procesos críticos …….. …...99
Figura 45 Comparativa de tiempo muerto antes y después ……. ..... …...100
Figura 46 Evolución mensual del OEE antes y después…… 102
Figura 47 Resultado mensual de Calidad en maquina piloto …… ..... …...104
Figura 48 Resultado mensual de Disponibilidad en maquina piloto …….. …...104
Figura 49 Resultado mensual de Rendimiento en maquina piloto …… ….....105
Figura 50 Reducción de costos anuales por refacciones ……..……...106
Figura 51 Grafica comparativa de gasto en piezas dañadas a año 2024 …….. …...108
Figura 52 Precisión horaria entre piezas censadas y piezas en bascula …..... …...109
Figura 53 Constancia de No plagio mediante software Turnitin……119

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La empresa maquiladora en la que se centra este trabajo pertenece al sector industrial, dicha empresa realiza componentes eléctricos, su proceso de manufactura es mediante máquinas conocidas como fresadoras semiautomatizadas Brown & Sharpe en las cuales se producen tornillos de diferentes modelos.

Las máquinas mencionadas son exclusivas y con poca información, lo cual compleja el mejoramiento de adaptaciones para su mejora continua, por lo que se procede a su procesamiento tradicional, dentro de los diferentes factores involucrados se contemplan los siguientes:

Maquinaria:

Las máquinas Brown & Sharpe utilizadas tienen un tiempo de vida en uso de 50 años en promedio, lo que implica presentaciones de fallas recurrentes, limitación de remplazo en piezas por su stock en el mercado y que en su gran mayoría trabaje se forma mecanizada, por lo que no cuenta con adaptaciones más actualizadas.

Factor humano:

Al ser una máquina no tan comercial en el mercado, la experiencia de personal suele ser escaza, esto debido a que dentro de los procesos se necesitan realizar ajustes de alta precisión, que en general es en base a conocimiento del operador, lo que resulta muy comprometedor ya que un mal ajuste ocasiona perdidas de herramentales de alto valor.

Al analizar factores que influyen directamente en el proceso, se detectan dos condiciones que ocasionan el mayor tiempo muerto registrado, daños en herramientas y, por consiguiente, pérdidas económicas considerablemente altas, las cuales son:

- Ajuste en herramentales
- Conteo de piezas producidas

1.2 Planteamiento del problema

Baja productividad, poca eficiencia y altos costos de refacciones por la falta de dispositivos electrónicos con tecnología moderna.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Optimizar los procesos de manufactura en máquinas Brown & Sharpe mediante la implementación de dispositivos electrónicos modernos para el ajuste preciso de herramientas y el conteo automatizado de piezas, con el fin de mejorar la eficiencia, reducir tiempos de operación y minimizar costos por refacciones.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un dinamómetro digital para estandarizar el ajuste de herramientas Fullcrum-Collet en máquinas Brown & Sharpe, reduciendo el desgaste prematuro de componentes y mejorando la precisión del proceso.

- Integrar un sistema de conteo automático de piezas mediante sensores industriales y amplificadores, con el objetivo de eliminar errores en el registro de producción y maximizar la eficiencia operativa.
- Analizar la reducción de costos y tiempos de producción antes y después de la implementación de las soluciones tecnológicas, evaluando el impacto en productividad y rentabilidad.
- Capacitar a los operadores en el uso y mantenimiento de los dispositivos implementados, asegurando una correcta adopción de la automatización y evitando errores en su ejecución.

1.4 Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La implementación de dispositivos electrónicos en las máquinas Brown & Sharpe permitirá reducir el tiempo de operación un 20% en el ajuste de herramientas y en el conteo de piezas producidas, comparado con el método manual actual, mejorando la eficiencia operativa del proceso de manufactura.

1.4.2. Hipótesis secundarias

Hipótesis Secundaria 1

La implementación de dispositivos con rangos estandarizados y calibrados permitirá ajustes precisos y repetibles, reduciendo los errores humanos en la operación y disminuyendo costos de refacciones con ahorro de un 50% y tiempos de mantenimiento.

Hipótesis Secundaria 2

El uso de un sistema automatizado de conteo de piezas optimizará el tiempo de producción, reduciendo el margen de error y estar por debajo del 5%, y mejorando la productividad siempre que se implemente un plan de capacitación adecuado para el personal. Además, con esto lograr incrementar la métrica OEE por arriba del 50%.

1.5. Justificación

El presente trabajo se enfoca en la implementación de dispositivos tecnológicos basados en los principios de la industria 4.0, con el objetivo de optimizar procesos, reduciendo tiempos de operación y aumentando la producción.

Esta empresa manufacturera, ha pasado por diversos retos, desde que se incorporó este departamento de fabricación de tornillos por los factores ya mencionados, las pérdidas económicas con sumas muy grandes en refacciones, debido a la inexperiencia de personal realizando ajustes de mala precisión.

Otro punto muy importante por el que se está enfrentando este departamento, es el tiempo enfocado en realizar los ajustes y en contar piezas finales, lo cual impacta directamente en la producción final.

Adicional, este trabajo no solo impacta indicadores en tiempo, producción, gasto, sino también en reducción de estrés en personal, creando un mejor ambiente de trabajo, facilitando las operaciones de personal.

1.6 Variables e indicadores.

Para evaluar el impacto de la implementación de dispositivos electrónicos modernos en los procesos de manufactura de las máquinas Brown & Sharpe, se identificaron las siguientes variables e indicadores:

- La variable independiente corresponde a la implementación de un dinamómetro digital y un sistema de conteo automático de piezas.
- Las variables dependientes están relacionadas con la eficiencia operativa, tiempos de ajuste, costos de refacciones, precisión del proceso y reducción de errores en el conteo de producción.

A continuación, se presentan las variables y sus respectivos indicadores:

Variable	Tipo	Indicador	Unidad de medida
Implementación de dispositivos electrónicos	Independiente	Instalación y configuración de dinamómetro y sensores	Dispositivos instalados (Sí/No)
Eficiencia del proceso	Dependiente	Aumento del número de piezas producidas por hora	Piezas/hora
Tiempos de operación	Dependiente	Reducción del tiempo promedio por ajuste de herramienta	Minutos por ajuste
Costos por refacciones	Dependiente	Disminución del gasto mensual en refacciones	Pesos ($)
Precisión del ajuste	Dependiente	Variación promedio en torque aplicado	Newton-metro (Nm)
Errores en conteo de piezas	Dependiente	Disminución de registros incorrectos	Porcentaje de error (%)
Capacitación de operadores	Independiente	Número de operadores capacitados	Personas
Adopción tecnológica	Dependiente	Uso correcto de dispositivos sin fallos	% de uso adecuado

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Industria manufacturera

La industria de manufactura incluye la transformación física o química de materiales, de sustancias, o de componentes en productos nuevos, aunque esto no se puede utilizar como el solo criterio universal para definir la industria manufacturera donde intervienen varios factores como humano, maquinas, procesos. Los materiales, los elementos o los componentes modificados son parte de materia prima que terminan como producto en sectores como agricultura, industrial, de la pesca, de la explotación minera o de canteras, siderúrgica, eléctrica, al igual que otros productos de diversas actividades que pertenecen a la industria manufacturera. La alteración, la transformación o la reconstrucción parcial o total de productos se consideran parte de la industria manufacturera.

Los edificios o instalaciones comprometidos en la industria manufacturera se describen comúnmente como las plantas, las fábricas o naves y característicamente utilizan maquinarias mecánicas, automatizadas o de forma manual la operación. Sin embargo, locales que transforman los materiales o los elementos en productos nuevos a mano o en el hogar del trabajador y aquellos involucrados en la venta al público en general de los productos hechos en los mismos locales de los cuales se venden.

“El resultado de un proceso de fabricación se puede finalizar en el sentido que es lista para la utilización o el consumo, o puede ser semielaborada en el sentido de convertirse en un insumo para fabricación adicional (Astuti et al., 2015)”.

2.1.1 Impacto de la industria en México

La Figura 1 muestra la encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM), la cual informa sobre la coyuntura de las principales variables de la producción y el empleo en el sector manufacturero, en torno a 206 clases de actividad en México, aumentó 1.1% el volumen de la producción manufacturera, en noviembre de 2024, a tasa mensual (INEGI).

Producción		Personal ocupado		Horas trabajadas		Remuneraciones medias reales	
Variación noviembre		Variación noviembre		Variación noviembre		Variación noviembre	
mensual	anual	mensual	anual	mensual	anual	mensual	anual
▲ 1.1 %	▲ 2.0 %	▼ -0.3 %	▼ -1.9 %	▲ 0.4 %	▼ -1.3 %	▲ 0.5 %	▲ 4.3 %

Figura 1 *Aumento en volumen de producción manufacturera, noviembre 2024 (Fuente: INEGI, 2025)*

Según datos del INEGI en noviembre de 2024 y con cifras desestacionalizadas, el volumen físico de la producción de la industria manufacturera presentó un alza de 1.1 % en su comparación mensual y de 2.0 %, a tasa anual. Esto hace una perspectiva de la importancia que existe en aplicar mejora continua en producción manufacturera para seguir incrementado el volumen de producción, que esa es la finalidad de toda empresa como se muestra en la Figura 2.

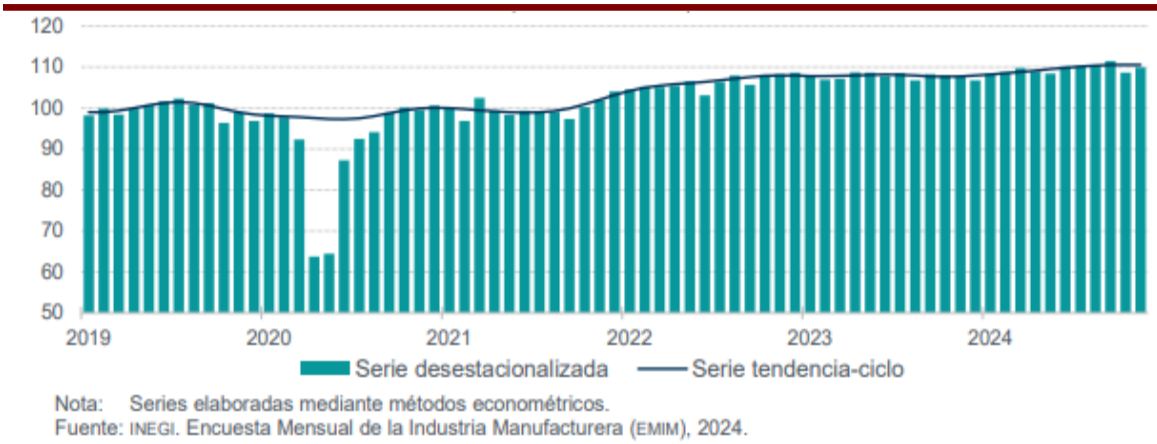


Figura 2 *Serie desestacionalizada y de tendencia-ciclo del volumen físico de la producción (INEGI, 2025)*

2.2. Procesos de manufactura

"Proceso es el conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado. En la ingeniería industrial el concepto de proceso adquiere gran importancia, debido la práctica se requiere: planear, integrar, organizar, dirigir y controlar (Eraso guerrero, 2008, p.3)".

Estos puntos permiten al responsable de ejecutar mejoras en procesos lograr sus objetivos mediante actividades. Se deben considerar todos los aspectos involucrados dentro de un proceso de producción como una herramienta para: el diseño, la definición y planes mediante cronogramas y fechas estipuladas, programas, proyectos, el diseño, integración, organización del equipo involucrado, dirección y control de sistemas relacionados, la optimización del proceso o tarea, la evaluación de resultados, aplicación de normas de calidad, el aumento y control de la eficiencia y efectividad.

La Figura 3 muestra los criterios y las definiciones de proyecto, materiales y procesos de manufactura en este contexto son precisas; los criterios referentes al factor humano realzan la necesidad de mantener motivado al personal, estableciendo el mejor de los tratamientos, creando condiciones apropiadas a facilitar la vida de trabajo, promoviendo socialmente a las personas apoyando su formación en el trabajo, a la vez que se proporcionan todas las condiciones que garanticen la seguridad industrial de empresa; y los criterios vinculados al proceso administrativo, conforman un conjunto de manejo universal (Eraso Guerrero, 2008).

Proyecto	Diseños funcionales que permitan la manufactura calculada y controlada.
Materiales	Selección de los materiales adecuados y económicamente aceptables.
Procesos de manufactura	Sistemas para la transformación de los materiales con la calidad adecuada, considerando las necesidades del cliente, de manera eficiente y económica.
Factor humano	• Motivación • Trato • Facilidad • Capacitación • Seguridad
Proceso administrativo	1 Planeación 2 Integración 3 Organización 4 Dirección 5 Control

Figura 3 *Criterios con finalidad de efectividad productiva (Fuente: Eraso Guerrero, 2008)*

2.2.1 Optimización de procesos industriales

David Gómez (2022) señala que en la actualidad y ante el inmutable crecimiento de la población y el progreso tecnológico, las organizaciones deben buscar ser

competitivas y experimentar nuevas y mejores metodologías y métodos de optimización de sus procesos.

La optimización de un proceso industrial está conformada por un conjunto de estrategias y herramientas que tienen como objetivo el mejorar el flujo o rendimiento en una compañía. Su objetivo general es hacer que cada tarea o proceso sea más eficiente, reduciendo tiempos, costos y desperdicios, mientras incrementa la productividad.

En el sector industrial estos puntos son clave para la competitividad dentro del mercado, especialmente con incremento de las tecnologías y la automatización, así como tecnologías emergentes apoyados por la cuarta revolución industrial. Al dominar estos conceptos, se podrá tener resultados satisfactorios dentro de una organización.

La optimización de procesos industriales es una herramienta necesaria para cualquier empresa que necesite o tenga como objetivo ser competitiva en el panorama actual. Adoptar tecnologías sofisticadas con apoyo de la industria 4.0, mejorar la eficiencia y reducir costos son solo algunas de las ventajas que aporta un buen plan y estrategia de optimización. Además, contemplar como parte fundamental la seguridad, el bienestar de los empleados que ejecutan alguna operación y la sostenibilidad garantiza mejor participación que beneficia a la compañía, así como a la sociedad.

2.2.2 Beneficios clave de la optimización

Josef Jablonsky (2017) menciona que la optimización del proceso de producción es una tarea importante que debe resolverse en la planificación estratégica y/u operativa de cada empresa industrial.

Optimizar los procesos industriales trae consigo una serie de beneficios que impactan directamente en el desempeño de la empresa entre los cuales se presentan los siguientes:

Eficiencia, eficacia y efectividad

La eficiencia es el corazón que permite que una empresa o compañía funcione y se mantenga ante el mercado como una buena alternativa. Al optimizar los procesos, se eliminan cuellos de botella, se reducen tiempos de espera o tiempos muertos y se aprovechan mejor los recursos.

Hoy en día las organizaciones, se enfocan en su capacidad productiva y nivel competitivo, mismos desafíos que obligan a las organizaciones públicas y privadas a utilizar sus recursos estratégicamente y aprovecharlos, teniendo como premisa el desempeño (Caraballo et al., 2016; García y Baltazar, 2007).

La eficiencia, la eficacia y la efectividad en las empresas, son herramientas que se han reforzado durante distritos periodos de tiempo, desde diferentes perspectivas, hoy se consideran ejes en las organizaciones, la eficiencia, permitiendo el uso correcto de los recursos utilizados para lograr resultados, por su parte, la eficacia midiendo los

resultados, sin considerar los recursos ni los medios con que se lograron. El trabajo en conjunto, de la eficiencia y la eficacia, determina la productividad como la habilidad gerencial de lograr un equilibro en ambas con respecto a los recursos y objetivos (Hernández, 2011).

Rojas et al., (2018) afirma que la eficacia como la capacidad de una organización para cumplir sus objetivos, integrando a la eficiencia y los factores del entorno. La eficacia en las organizaciones se refiere a cumplir los objetivos y metas y la eficiencia involucra el uso de los insumos para conseguir los resultados esperados, es decir, la primera desde una perspectiva del logro de objetivos, la segunda, como el logro de esos mismos objetivos con la menor cantidad de recursos o cumplirlos con los recursos disponibles, así lo establecen (Koontz et al., 2012).

Indicadores Clave para Medir la Eficiencia:

- OEE (Overall Equipment Efficiency): mide la eficiencia total de una máquina considerando calidad, productividad y disponibilidad.
- MTBF (Mean Time Between Failure): indica el tiempo medio entre fallos, lo que ayuda a prever y prevenir averías.
- MTTR (Mean Time To Repair): tiempo promedio para reparar una máquina tras una avería.

Reducción de costos

Utilizando actividades o mejoras podremos tener optimización, lo que resulta con eliminación o reducción de desperdicios, lo que reduce considerablemente los costos

de producción, y también tener una mejor gestión del tiempo en proceso con los mismos recursos, en otras palabras, un flujo más rápido, lo que también contribuye al ahorro.

“las organizaciones evolucionan y se transforman aceleradamente, adaptándose a los cambios del entorno, involucrando nuevas estrategias que les permita aumentar su rentabilidad y de igual forma propiciar una gestión adecuada de sus recursos (Lopez et al.2006)”.

Mejora en la productividad

Una empresa más eficiente y con menos costos aumenta la productividad. Esto se traduce en un mayor volumen de producción sin necesidad de ampliar la infraestructura o contratar más personal, maximizando los resultados con lo que ya se tiene.

Se puede definir la productividad como la forma de utilizar los factores de producción en la creación de bienes y servicios para ofertar en un mercado, tiene el objetivo de optimizar los recursos utilizados, como recursos humanos, materiales, capital y financieros en el proceso de producción. Es parte de los objetivos organizacionales para alcanzar la competitividad en el mercado (Medina, 2010).

$$\text{Productividad} = \frac{cantidad\ producida}{recursos\ empleados} = \frac{cantidad\ producida}{tarea\ con\ valor\ agregado + tarea\ \text{sin}\ valor\ agregado}$$

Calidad

“La calidad consiste en la estandarización de los procesos de manufactura, el establecimiento de controles en las operaciones y la mejora continua, a su vez el conocimiento promueve la innovación en los procesos, por lo que el constante aprendizaje en las empresas les permite mantenerse competitivas en el mercado (Mendoza-Arvizo and Solís-Rodríguez, 2022, p.83)”.

2.3 Mejora continua

Conocida como kaizen es una metodología que se aplica a los procesos productivos de la compañía, en la que, a través de pequeños cambios, pequeñas mejoras, de manera constante y sostenida en el tiempo se acumulan grandes beneficios en el largo plazo. modelo que afecten el adecuado desempeño y la calidad de un proceso, proponiendo ideas y alternativas (Luz et al., 2020).

Kaizen es una palabra japonesa que significa mejoramiento constante. Es llevar adelante pequeños cambios que mejorarán nuestro trabajo cotidiano. Como filosofía de vida, implica tener presente que cada día, al menos algo mínimo puede modificarse para mejorar, tanto las condiciones de trabajo como las de producción. En la práctica Kaizen serán las propuestas de todos los integrantes de la organización desde operarios hasta la alta dirección que se transformen en acciones concretas que tengan por objetivo mejorar la forma de trabajo y el uso de los recursos implementados para llevarlo a cabo como se muestra en la Figura 4. La clave para iniciar Kaizen es reconocer que existen necesidades y problemas en los procesos, e identificarlos hará que se conviertan en oportunidades de mejora. Kaizen está orientado al proceso de

trabajo, mejorando éstos es como se conseguirán resultados mejorados (Agustina Parenti, 2019, p.8).

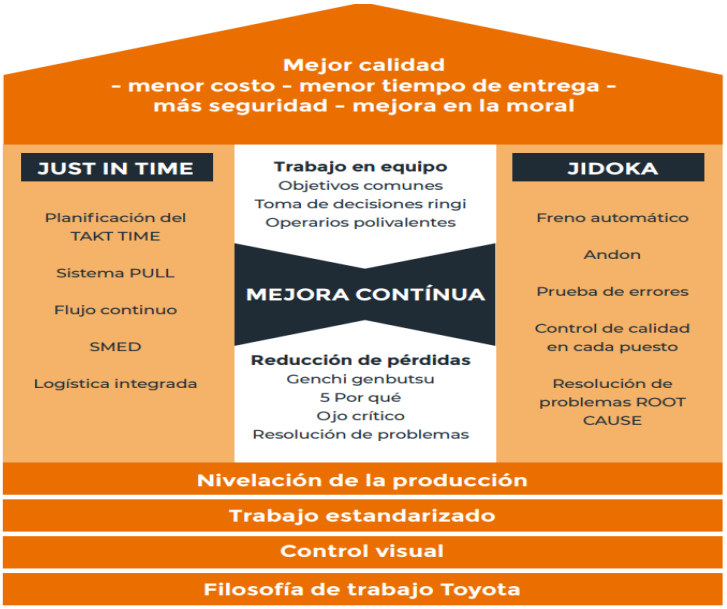


Figura 4 *Esquema kaizen (Fuente: Agustina Parenti, 2019)*

2.4 Factor humano dentro de las operaciones de manufactura

El Análisis de confiabilidad humana involucra el uso de métodos cuantitativos y cualitativos para determinar el efecto del riesgo humano. Actualmente, se han efectuado estudios en los cuales se ha reconocido que el error humano tiene gran impacto en la fiabilidad de sistemas complejos. se entiende como factor humano las capacidades físicas y psicológicas, el entrenamiento y experiencia y las condiciones bajo las que la persona debe operar en un sistema de gestión de mantenimiento para alcanzar el propósito al que está destinado.

El modelado de relación hombre-máquina centrado en el factor humano aplicado al proceso de manufactura moderna busca incrementar la productividad de sus operaciones. Durante los últimos cincuenta años, el aumento del rendimiento y fiabilidad de los sistemas de automatización han contribuido a evitar tareas peligrosas, tediosas o repetitivas a los operarios. Sin embargo, estas renovaciones no excluyen al ser humano; al contrario, lo integran al sistema de producción.(Salas-Arias et al., 2017).

Un sistema automatizado puede estar programado para efectuar una serie de tareas sin intervención humana; sin embargo, en caso de que ocurra algún problema con la máquina el sistema operativo no puede repararlo por sí mismo, para ello requiere la intervención del hombre. El ser humano es capaz de solventar posibles soluciones a factores de riesgo presentes en un sistema productivo. Esta integración del ser humano en un proceso industrial hace que muchos factores de conocimiento y tecnología puedan trabajar de forma conjunta para solventar un buen progreso en todo lo que respecta a los sistemas modernos de manufactura de hoy en día (Karla Melissa, 2016).

En el proceso de labor, la relación hombre máquina registra un orden cronológico entre las actividades que ocurren entre el operario y la máquina. Los operarios en este tipo de sistemas de manufactura moderna trasladan su experiencia y conocimiento de lo manual a lo cognitivo; ya que un operador puede supervisar el sistema, pero sin necesidad de intervenir constantemente (J. Núñez, S. Rivera, 2013).

La adaptación de las máquinas a las necesidades del hombre, le permite que sus actividades y acciones se desarrollen en forma óptima. Desde el punto organizativo y

tecnológico, un sistema de trabajo integra la organización, los resultados en términos de calidad y cantidad de la producción, los efectos tanto positivos como negativos de las personas y sus adaptaciones (M. Méndez, 2007).

La fiabilidad de un sistema dependerá de la capacidad de un sistema de producción para evitar los fallos técnicos u organizativos. El estudio de los errores, el diagnóstico de su origen y su tratamiento por el propio trabajador es una fase importante del análisis del trabajo, que pone en juego el conocimiento de la persona sobre la tarea que está realizando. Ese análisis puede realizarse mediante recuento, descripción y condiciones en las que se producen los errores. El objetivo es la eliminación de las fuentes de error y la disminución de sus consecuencias.

El error humano, está presente cuando la persona o su relación con el sistema, sobrepasa el límite de aceptabilidad. Un factor importante para medir el error humano es relacionar la fatiga física y mental; aunque es muy importante considerar que el error humano es muy difícil de controlar.

Algunos tipos de errores que se presentan son equivocaciones (acciones erróneas producto de una planificación incorrecta), lapsus (omisiones u olvidos) y slips o deslices (fallas en la ejecución motora de la acción) (Salas-Arias et al., 2017, p.60).

2.4.1 Ergonomía

La ergonomía se encarga del estudio del trabajador y el trabajo, es el conjunto de conocimientos científicos relativos al hombre, que son necesarios para el uso correcto de máquinas y dispositivos. Esto, con el fin de obtener una máxima eficiencia,

seguridad y conformidad de ellos. La relación que existe entre la ergonomía con la capacitación y el adiestramiento se debe a que uno de los objetivos de la ergonomía es cuidar el bienestar del personal, a través de Identificar, analizar y reducir los riesgos laborales es ahí donde entra la capacitación y el adiestramiento. Para saber si cualquier persona es apta o inepta para el trabajo que se propone realizar, es conveniente que el personal conozca previamente en qué consiste dicho trabajo y si se trata de un puesto a desempeñar, saber cuáles son las funciones que se le han asignado a dicho puesto, por tal motivo es de suma importancia que dentro de las organizaciones exista una adecuada capacitación que garantice no solo la productividad de la organización, sino también el desarrollo del recurso humano con un ambiente de trabajo adecuado que garantice dicho estabilidad del personal ,evitando inconvenientes ya sean actos inseguros como consecuencia de una falta o inadecuada capacitación del trabajador (Uriel and Rosas, 2019).

2.4.2 Estrés

El estrés laboral se ha definido como el resultado de la aparición de factores psicosociales de riesgo, o como riesgo psicosocial que por sí mismo tiene “alta probabilidad de afectar de forma importante a la salud de los trabajadores y al funcionamiento empresarial a medio y largo plazo (Osorio, 2019).

2.5 Industria 4.0 (cuarta revolución industrial)

En esta nueva etapa, los sensores, las máquinas, los componentes y los sistemas informáticos estarían conectados a lo largo de la cadena de valor, más allá de los límites de las empresas individuales. Estos sistemas conectados podrían interactuar

entre ellos usando protocolos estándar basados en Internet y analizar los datos para prever errores, configurarse ellos mismos y adaptarse a posibles cambios. Dicho de otro modo, las tecnologías digitales permiten la vinculación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas). Esta conexión habilita que dispositivos y sistemas colaboren entre ellos y con otros sistemas para crear una industria inteligente, con producción descentralizada y que se adapta a los cambios en tiempo real. En este entorno, las barreras entre las personas y las máquinas se difuminan (Blanco et al., 2017).

La cuarta revolución industrial, también conocida como industra 4.0, es la que logra la interconexión de los sistemas productivos industriales con la sociedad digital para satisfacer las demandas de consumo de las personas, a un nivel acelerado de extracción y procesamiento de las materias primas de la tierra. La cuata revolución industrial utiliza tecnologías como big data, comunicación de la nube, robótica avanzada, inteligencia artificial, blockchain, internet de las cosas, internet del todo, computación cuántica y en la nube, impresión 3D, sistemas ciberfísicos, ciberseguridad, automatización industrial, redes industriales, redes cognitivas, virtualización de redes, 6G, comunicación molecular, comunicaciones verdes, realidad aumentada, nanotecnología, TICs, entre otras., todo esto mediante estrategias innovadoras, creativas y eficientes que logren minimizar el impacto ambiental en beneficio de la sostenibilidad económica y ambiental del planeta (Barona López and Velasteguí, 2021).

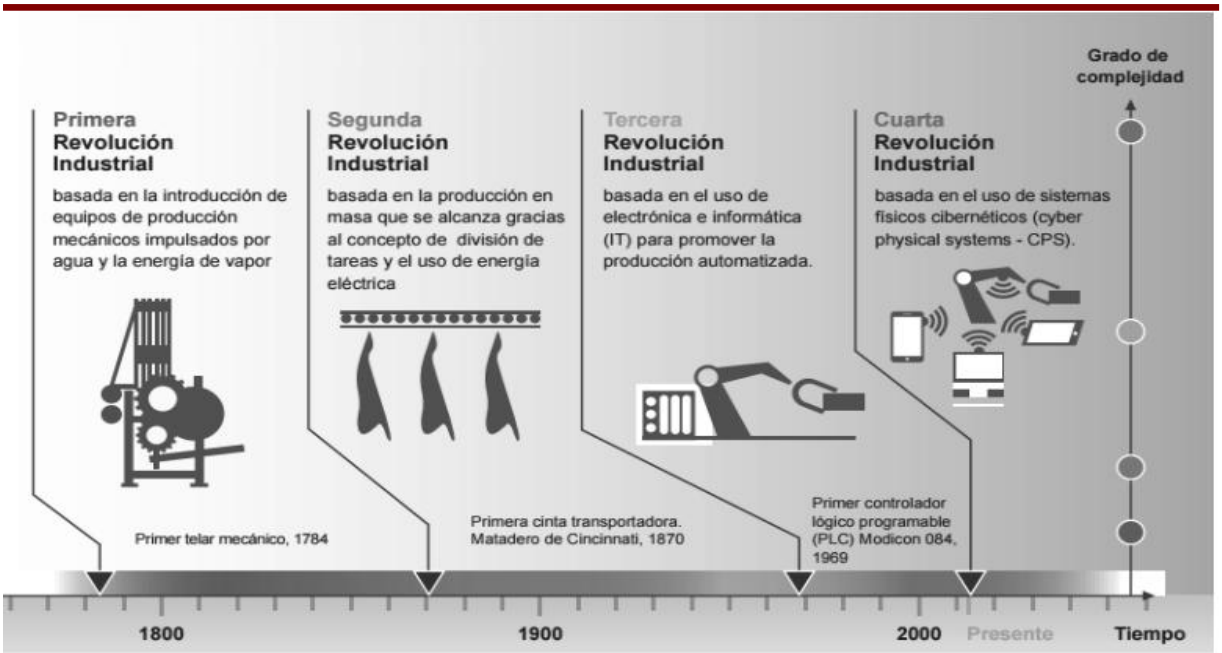


Figura 5 *Evolución de revolución industrial (Fuente: Barona López and Velasteguí, 2021).*

La Figura 5 muestra una representación de línea del tiempo sobre el cambio y evolución que han sufrido las revoluciones industriales, así como cuales han sido sus principales bases. Actualmente estamos posicionados en la cuarta revolución, también llamada Industria 4.0 compuesta por una serie de tecnologías emergentes.

Luis Joyanes Aguilar (2018) enlista y define las tecnologías emergentes las cuales son las siguientes:

Big data y analítica: consiste en el análisis de conjuntos de datos que, por su volumen, su naturaleza y la velocidad a que tienen que ser pro- cesadas, ultrapasan la capacidad de los sistemas informáticos habituales. En el contexto de la Industria 4.0, los análisis de datos masivos (sistemas y equipos de producción, sistemas de gestión de proveedores, etc.) se convertirán en estándares para apoyar a la toma de decisiones en tiempo real.

Robots autónomos: se están volviendo cada vez más autónomos, flexibles y cooperativos, de forma que podrán interactuar entre ellos y trabajar de forma segura junto a los humanos y aprender de ellos. Esto implica que haya muchas más tareas en las que la sustitución de mano de obra por robots sea rentable, de forma que los autores prevén que el crecimiento anual del número de robots pase del 2-3% actual al 10% durante la próxima década.

Simulación: las simulaciones en 3D, que actualmente están extendidos en la fase de ingeniería, se utilizarán también en algunas operaciones en las plantas de producción. Permitirán además reproducir el mundo físico en un modelo virtual que puede incluir máquinas, productos y personas y permite a los operadores hacer pruebas y optimizar la programación de una máquina en el mundo virtual antes de ponerla en práctica.

Integración horizontal y vertical de sistemas: los fabricantes, los proveedores y los clientes estarán estrechamente enlazados por los sistemas informáticos, facilitando cadenas de valor verdaderamente automatizadas. Y lo mismo pasará entre los departamentos de una empresa, como ingenie- ría, producción y servicios.

Internet de las cosas industrial (Internet of things, IoT): cada vez más dispositivos tecnológicos estarán enriquecidos con informática incrustada y conectados por medio de tecnologías estándar. Esto permite a los dispositivos de comunicarse e interactuar entre ellos y con los controladores centrales.

Ciberseguridad: el aumento de la conectividad que representa la Industria 4.0 incrementa dramáticamente la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos

y las líneas de producción contra las amenazas informáticas. También se tiene que mejorar la protección de la propiedad intelectual, los datos personales y la privacidad.

La nube: cada vez más, las tareas relacionadas con la producción requerirán más intercambio de datos entre sí. Al mismo tiempo, las tecnologías en la nube mejorarán y conseguirán tiempo de re- acción de apenas algunos milisegundos. Como resultado, se irán traspasando trabajos informáticos a la nube y se facilitarán que más servicios informáticos se dediquen a la producción. Incluso los sistemas que controlan los procesos podrán estar basados en la nube (Blanco et al., 2017).

La nube puede ser infraestructura software o plataforma; es decir, puede ser una aplicación a la que se accede a través del escritorio y se ejecuta inmediatamente tras su descarga, o bien un servidor al que se invocará cuando se necesite. En la nube no se instala nada en su escritorio y no se paga por tecnología cuando no se utiliza, solo se paga (o puede ser gratuita) cuando se utiliza o ejecuta la aplicación. En la práctica, la computación en la nube proporciona un servicio de software o hardware. Un ejemplo práctico es el caso de los usuarios que se conectan a internet desde una computadora personal, teléfono móvil inteligente o una tableta, y utiliza diferentes servicios como su correo, Gmail, ver en un mapa digital en Google maps, escribir un documento en Google docs, consultar sus archivos, canciones o fotografías en Dropbox, one drive, Spotify, Netflix o la plataforma iCloud de Apple. Todos estos servicios están basados en la nube (Luis Joyanes Aguilar, 2015).

Fabricación aditiva: la impresión en tres dimensiones, además de hacer prototipos y componentes individuales como actualmente, se extenderá en producir

pequeños lotes de productos personalizados y esto permitirá reducir las materias primas, los stocks y las distancias de transporte.

Realidad aumentada: un operario equipado con gafas de realidad aumentada puede, por ejemplo, recibir instrucciones de reparación de una máquina en el propio puesto de trabajo (Blanco et al., 2017).

2.5.1 ¿Cómo impactara la industria 4.0 a la industria mexicana?

Esta cuarta revolución nace de la revolución tecnológica impulsada por el desarrollo de los sistemas, su conectividad y la convergencia del mundo virtual y físico. Está enfocada en la automatización industrial y se basa en la recolección de datos de todos los procesos relevantes en tiempo real, mediante la utilización de herramientas inteligentes (sensores, software de recolección de datos) y sistemas de identificación que se encargan de captar, transportar e interpretar esos datos (Lee et al., 2014; Pereira y Romero, 2017).Para México, integrarse a esta nueva corriente tecnológica es posible a partir de la industria automotriz, farmacéutica y electrónica, pero uno de los problemas para la integración es contar con capital humano calificado en las áreas de robótica e informática.

Este capital deberá poner en marcha la infraestructura necesaria para integrarse a la transformación 4.0. Mediante el desarrollo de la industria 4.0 México tendrá una mayor productividad y competitividad en el ámbito laboral. Especialistas financieros indican que las tecnologías 4.0 permitirán a las empresas ahorrar hasta un 30% en sus costos de fabricación y logísticos, y para costos de gestión de calidad, entre 10% y 20% (Celis, 2016; Rojko, 2017).

El concepto de industria 4.0 no es una realidad ya consolidada y experimentada, sino un nuevo hito en el desarrollo industrial que podría traer importantes cambios sociales en los próximos años, con un uso intensivo de internet y de las tecnologías de punta. Esto tiene el propósito de desarrollar plantas industriales y generadores de energía más inteligentes y respetuosas con el medio ambiente, con cadenas de producción mucho mejor comunicadas entre sí, incluyendo los mercados de oferta y demanda (Peralta-abarca et al., 2020).

2.6 Innovación tecnológica

La innovación es un término que se incorpora cada vez más al lenguaje cotidiano y en general las personas lo perciben como símbolo de modernidad y bienestar potencial. Para los decisores de políticas, a nivel macro, es un concepto estratégico que debe incorporarse a la cultura de la sociedad y, a nivel micro, para los directivos de organizaciones y los profesionales la innovación es una de las llaves maestras que permite generar valor con mayor efectividad.

Según un estudio de González & Martínez (2014), “la innovación y las capacidades de innovación empresarial deben encontrarse en el proceso de la gerencia estratégica y deben ser reconocidos como herramientas clave para el logro competitivo”.

El fenómeno de la innovación, obviamente, ha sido objeto de estudios desde diferentes perspectivas. Estamos en presencia de un proceso cada vez más acelerado de actualización tecnológica. Esta rapidez tiene como consecuencia que en los nuevos procesos de aprendizaje no sea suficiente adquirir, asimilar y almacenar nuevos

conocimientos. Los cambios son frecuentemente tan radicales, tan cualitativamente diferentes, que aparece una nueva concepción del aprendizaje: aprender a aprender.

Toda innovación es un proceso de aprendizaje, en el cual nuevos conocimientos son generados, otros son transferidos y otros ya existen en las instituciones participantes. Ese conjunto de nuevos y existentes conocimientos es asimilado e interconectado para introducir en la sociedad una nueva tecnología (Bejerano, 2005).

La innovación es un proceso sistémico, interactivo, multidisciplinario y de múltiples y diferentes actores como se muestra en la Figura 6.

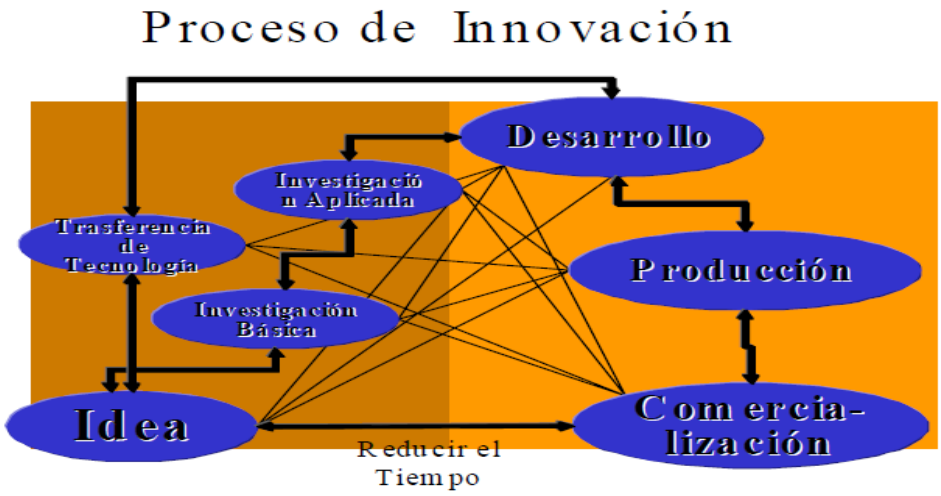


Figura 6 *Proceso de innovación (Fuente: Bejerano, 2005)*

Evidentemente las empresas buscan reducir el tiempo al máximo entre la concepción de sus ideas de productos y su lanzamiento al mercado como se muestra en la Figura 5. Para ello solamente les queda la vía de la cooperación, pues el dominio de todas las tecnologías y conocimientos por una sola organización se piensa

realmente una misión imposible. Por ello las empresas deben ocuparse de lograr las condiciones necesarias para que se consigan productos y procesos:

- Del modo más rápido.
- En el momento oportuno.
- Con la mayor calidad.
- Al menor coste
- En colaboración

2.7 Mantenimiento industrial

Toda una serie de acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado y puesto en operación (Felix Antonio, 2021).

Esta serie de actividades incluyen toda una combinación de conocimiento, experiencia, habilidad y trabajo en equipo, junto con las otras dependencias de la organización, para que exista una buena labor administrativa y operativa, cumpliendo así con los indicadores de desempeño o de gestión que cada organización aplica y para que sus metas se alcancen.

Félix Antonio Pérez Rondón (2021) define los diferentes términos básicos del mantenimiento usados en la industria:

Accesorio: Se puede decir que es todo elemento que forma parte de una máquina o sistema, y es un complemento de la máquina o sistema, y una vez definido es un producto o subproducto básico. Los accesorios pueden ser: arandelas, tuercas, tornillos, fusibles, resistencias, integrados, u otros.

Ciclo de vida: tiempo durante el cual un bien o activo conserva su capacidad de operación, y se tiene en cuenta desde el inicio cuando se adquiere el activo, hasta el final al momento de sustituirlo.

Componente o pieza: es un dispositivo que puede formar parte de un circuito eléctrico, electrónico, mecánico. Ejemplos de componentes o piezas: engranaje, polea, rodamiento, correa, rotor eléctrico, amplificador, acoplador electrónico, batería, cables, correas, bandas y otros.

Confiabilidad: se puede definir, como la capacidad de una máquina, equipo o sistema para cumplir funciones específicas o requeridas, bajo condiciones de operación dadas, en un tiempo o período determinado.

Disponibilidad: es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo en el cual una máquina o equipo está disponible para cumplir la función para la cual fue diseñado y construido. Esto no implica necesariamente que esté operando o funcionando, sino que se encuentra en óptimas condiciones de operar.

Equipo: se puede definir como el conjunto total de máquinas que son necesarias para cumplir un objetivo. Ejemplo: equipo de transporte de cereal; está compuesto por elevadores de cangilones, roscas transportadoras y tuberías.

Evento de falla: aquella situación que se puede presentar anómala de carácter técnico detectada en un equipo.

Falla: situación dada, afectando la capacidad de un equipo, de cumplir su función.

Función: Es todo aquello que la empresa, espera que el equipo cumpla con sus estándares de diseño y de desempeño.

Inspección: actividades que se realizan en el mantenimiento preventivo, usando rutas definidas con cierta periodicidad y corta duración en el momento de revisar el equipo, máquina, donde normalmente se utilizan instrumentos de medición o los sentidos del ser humano, para verificar el buen funcionamiento del equipo, sin provocar que esto genere pararlo.

Lubricación: actividades de mantenimiento preventivo, donde se adiciona un lubricante, con el objetivo de minimizar el contacto entre dos superficies, evitando así su desgaste.

Mantenibilidad: es la facilidad de realizar tareas de mantenimiento en un equipo o máquina, para así devolver a sus condiciones de operación en el menor tiempo posible, utilizando procedimientos definidos.

Mantenimiento en parada: acciones que se realizan solamente cuando el equipo o máquina está detenido o está en reposo.

Máquina: es una combinación de piezas de materiales resistentes que tienen movimientos definidos y son capaces de transmitir o transformar energía.

Mecanismos: es una combinación de piezas de materiales resistentes, cuyas partes tienen movimientos relativos restringidos.

Parámetro: se considera como la variable por medir o cuantificar.

Pronóstico: es el análisis de los síntomas de daños, para predecir la condición futura del equipo y su vida útil restante.

Parada general: situación en la que, a un conjunto de activos, se les realiza periódicamente una serie de revisiones, reparaciones, mejoras, cambios, etc., y donde estas actividades están concertadas con los departamentos interesados y, por supuesto, están también programadas por un tiempo definido.

2.7.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo comprende todas las actividades involucradas en la conservación en buen estado de los equipos tecnológicos de cualquier empresa. En la actualidad, la implementación del mantenimiento preventivo dentro de la industria es fundamental para minimizar las averías en la maquinaria. Este estudio muestra el sistema de mantenimiento preventivo como un elemento clave del proceso general de las organizaciones (Pillado, 2022).

El mantenimiento preventivo busca las causas raíz de los problemas de las máquinas, identifica e implementa soluciones de causa raíz. A través del análisis de fallas como soporte, la administración del mantenimiento preventivo se convierte en un punto clave para lograr el mínimo tiempo de inactividad no programado de la máquina (Jain, Singh, & Bhatti, 2018).

No obstante, a estas alturas de la modernización, todavía hay gran cantidad de empresas que parecen ignorar las ganancias potenciales que se generan al seguir correctamente las recomendaciones del mantenimiento preventivo, tal y como un buen inventario, base de datos actualizada, preventivos adecuados para las máquinas, carga de trabajo equilibrada, costo mínimo de mantenimiento preventivo y más (García, Romero González, & Noriega Morales, 2012).

En los últimos años la industria ha cambiado de manera excepcional. La cantidad de cambios y el corto tiempo entre uno y otro han sostenido un crecimiento exponencial, pudiera decirse, involucrando a diferentes empresas, lugares, tipos de administración, productos, tecnologías, expectativas de los clientes, actitudes de los proveedores y afectando el flujo completo de la cadena de suministros (Kanti Agustiady & Cudney, 2018).

El mantenimiento preventivo es un camino que dirige a las empresas hacia la excelencia, puesto que promueve que los procesos se acerquen más al flujo continuo, a un ritmo definido y con metas fijadas (Drożyner, 2020).



Figura 7 *Fases para la aplicación de un mantenimiento preventivo (Fuente: elaboración propia)*

2.7.2 Mantenimiento correctivo

Al mantenimiento correctivo también se le denomina mantenimiento reactivo que, a nivel industrial en nuestro país, Latinoamérica y muchos países es utilizado en un alto porcentaje. Este mantenimiento correctivo se aplica cuando la máquina deja de operar, porque se presenta la falla o avería y su objetivo es poner en marcha su funcionamiento, afectando lo menos posible la productividad; generalmente se repara o se reemplaza el componente del equipo o de la máquina, haciéndolo en el menor tiempo posible.

Algunas empresas donde sus estrategias de mantenimiento son enfocadas al correctivo, ya que no tienen los conocimientos, herramientas, personal calificado, presupuestos asignados, y tecnologías modernas para aplicar otros tipos de mantenimiento. La gestión del mantenimiento correctivo se activa por el fracaso de no poder diagnosticar justo a tiempo la posible falla que puede ocurrir en una máquina. Es

muy importante determinar qué causó la falla y así tomar las medidas adecuadas. Se pueden encontrar dos clases o tipos de mantenimiento correctivo:

- El mantenimiento correctivo no programado: se activa, cuando aparece la falla en el equipo o máquina, generando la respectiva parada, de manera que se debe quitar lo averiado y reponer el componente, ya sea nuevo o usado (*Félix Antonio Pérez Rondón*, 2021).

- El mantenimiento correctivo programado o planificado: se realiza cuando se detecta que algún componente de una máquina está próximo a fallar, por lo tanto, se programa el mantenimiento para corregir esta posible falla (*Félix Antonio Pérez Rondón*, 2021).

2.7.3 Mantenimiento autónomo

El Mantenimiento autónomo tiene su principal soporte en los operadores a través del desarrollo de capacidades básicas técnicas en los mismos, dado que son ellos quienes están todo el turno de trabajo conviviendo con los activos de producción y, por consiguiente, los primeros en sufrir la pérdida de la capacidad de producción por las fallas que se presentan principalmente en las máquinas.

En el mantenimiento autónomo los operadores son los primeros que pueden tomar acciones desde el simple reporte de anormalidades en la maquinaria, así como tomar participación en actividades básicas de mantenimiento, “el mantenimiento autónomo está compuesto por un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores”.

Al integrar al operador a los procesos de mantenimiento se busca lograr el adueñamiento del cuidado de las máquinas y de los procesos por parte de los operadores y supervisores. La esencia del TPM (Mantenimiento Productivo Total) es que los operarios de los equipos de producción participen en el mantenimiento preventivo y ayuden a los técnicos de mantenimiento en las reparaciones, creando un sentido de propiedad en los operarios y supervisores (Mora, 2009).

2.7.4 Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total es una herramienta ampliamente usada en las áreas productivas, la cual está encaminada a incrementar la disponibilidad de la maquinaria y equipo de producción, así como los beneficios económicos de las empresas. Sin embargo, no se conocen los factores administrativos que aseguren su éxito de implantación (Jorge Luis Garcia, 2010).

Según Sandrine Santiago (2024), estos son Beneficios de SMED (Intercambio de matriz en un minuto):

- Reducción de tiempos de preparación: Más tiempo de producción activa.
- Mayor capacidad disponible: Las máquinas están listas para trabajar más tiempo.
- Mejora en la ergonomía: Los cambios se hacen más rápidos y con menos esfuerzo.
- Producción Just in Time: Solo se produce lo necesario, evitando el exceso de stock.

2.8 Sensores industriales

Un sensor es un elemento o dispositivo capaz de reaccionar ante cambios en una determinada variable, usualmente transformándolos en cambios sobre una segunda variable, la cual es más fácil de ser interpretada como un valor de medida.

Si bien hay una gran cantidad de sensores en la industria y para todo tipo de procesos, en este trabajo nos enfocaremos en sensores inductivos y capacitivos.

Un sensor es un dispositivo que detecta y mide diferentes tipos de variables físicas o químicas, como la temperatura, la luz, la distancia, la presión, el sonido etc. Las transformaciones en señales eléctricas que pueden ser procesadas y analizadas por otro dispositivo. En esta infografía se abordar el tema de sensores y tipos de sensores, en la cual el principal objetivo es dar a conocer y comprender los principios de funcionamiento y aplicaciones de sensores, así como identificar y analizar diferentes tipos de sensores los cuales pueden ser analógicos o digitales, según el tipo de señal que generen. Los sensores se pueden combinar con otros dispositivos, como actuadores, microcontroladores, comunicaciones inalámbricas, etc., para crear sistemas inteligentes y autónomos, siendo estos utilizados en diversas industrias y otras áreas como: medicina, robótica, transporte, medio ambiente, etc. Los sensores son elementos fundamentales para el desarrollo tecnológico y científico, ya que permiten obtener información sobre el entorno y controlar diferentes procesos y sistemas (Ramírez-estrada et al., 2024).

2.8.1 Sensores capacitivos

Son aquellos en los que la variable a medir y ver reflejada en un cambio en la capacitancia de un elemento ya sea por una alteración de la constante dieléctrica o en la estructura del elemento. Hay muchas variables que pueden ser medidas por este tipo de sensores, como movimiento, campos eléctricos y composiciones químicas, pero algunos de los que tienen una utilización más amplia son los sensores de proximidad, los sensores táctiles y los acelerómetros, por lo cual hablaremos brevemente de ellos.

- **Sensores capacitivos de proximidad:** Este tipo de sensores no está diseñado para medir un valor específico de distancia, sino que simplemente se activan ante la presencia cercana de un objeto. Esto se logra mediante un capacitor cuya capacitancia se ve afectada cuando un material penetra el campo magnético que este genera. Esto es posible cuando el objeto que se acerca tiene una constante dieléctrica superior a la del aire; sí la magnitud del cambio generado en la capacitancia está en función de las características dieléctricas del material y de su volumen, densidad y más compacto. Estos sensores pueden detectar tanto materiales metálicos como no metálicos (a diferencia de los sensores de proximidad inductivos que sólo pueden detectar elementos metálicos).

  El capacitor que forma el elemento sensor está conectado en un circuito resonante de forma que, al aumentar la capacitancia, el circuito entra en resonancia. Después del circuito resonante se encuentra una etapa de acondicionamiento para definir el nivel de trigger en el que la señal cambia de nivel para indicar la presencia del objeto como se puede observar en la figura 8.

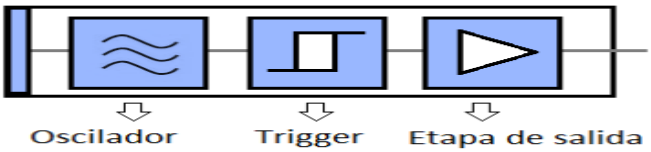


Figura 8 *Esquema interno de sensor de proximidad capacitivo.*

- **Sensores capacitivos táctiles** Esta forma de medición se utiliza en los sensores “touch” y las pantallas táctiles de dispositivos móviles como celulares y tabletas digitales. Hay varios tipos y formas de construcción, muchas pantallas táctiles constan de un material tal como el vidrio cubierto de una película de algún material conductor (tal como óxido de indio y estaño) y es polarizado en las esquinas de la pantalla. Cuando algún elemento conductor (tal como el dedo humano) entra en contacto con la pantalla altera el campo eléctrico, lo cual se refleja en un cambio en la capacitancia. La figura 9 muestra el funcionamiento de una pantalla táctil, puede imaginarse como que el dedo está formando una especie de capacitor y el cuerpo humano está actuando como una especie de tierra virtual.

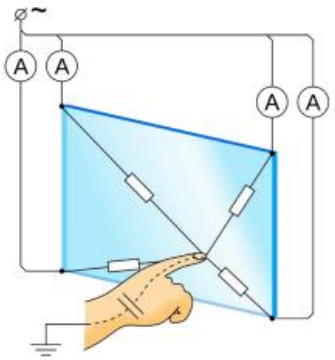


Figura 9 *Funcionamiento de una pantalla táctil capacitiva.*

- **Acelerómetros capacitivos.** Si bien hay muchas formas de construir elementos para sensado de la aceleración, una de ellas es el uso de elementos capacitivos. En estos sensores se tiene placas metálicas que varían su posición relativa en respuesta a una aceleración aplicada.

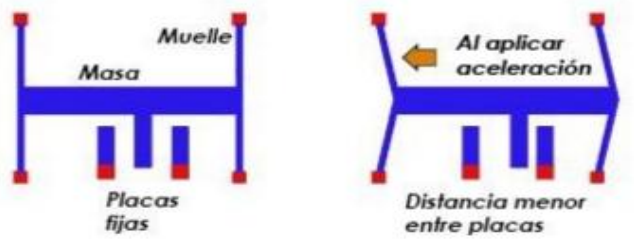


Figura 1-15 Estructura de un acelerómetro capacitivo. (imagen de referencia)

Figura 10 *Estructura de un acelerómetro capacitivo*

Un acelerómetro capacitivo utiliza el desplazamiento de una masa de prueba con respecto a su carcasa para determinar la aceleración que experimenta el sensor. En un acelerómetro capacitivo, los movimientos de la masa de prueba son relativamente pequeños (menos de 20 μm), por lo que esta suele estar suspendida entre dos placas, una superior y otra inferior. Los dos condensadores formados entre la masa y las placas superior e inferior se utilizan en modo diferencial para compensar pequeñas desviaciones e interferencias en la medición (Fraden, 2010).

2.8.2 Sensores inductivos

Son aquellos en los que un cambio que la variable a medir produce un cambio sobre la inductancia del sensor (que básicamente es una bobina). Principalmente se usan como sensores de proximidad para objetos metálicos.



Figura 11 *Representación de sensor inductivo*

Su funcionamiento se basa en el principio de inducción electromagnética. La bobina asociada a este sensor hace parte de un circuito resonante; cuando un objeto metálico entra en contacto con el campo magnético alterno generado por la bobina se inducen corrientes de Foucault en el objeto.

La figura 12 muestra la intensidad de las corrientes de pérdida depende del material metálico. Por ejemplo, para el mismo campo magnético y a la misma distancia del sensor, en el hierro se producen corrientes de pérdida mucho mayores que las producidas en el aluminio. Eso se debe a que el aluminio es un material mucho más conductor que el hierro. Por eso para detectar aluminio se requiere acercar más el objeto, y así generar corrientes de pérdidas más grandes, para que se absorba más energía, y por lo tanto que la amplitud del oscilador baje lo suficiente como para ser detectado.

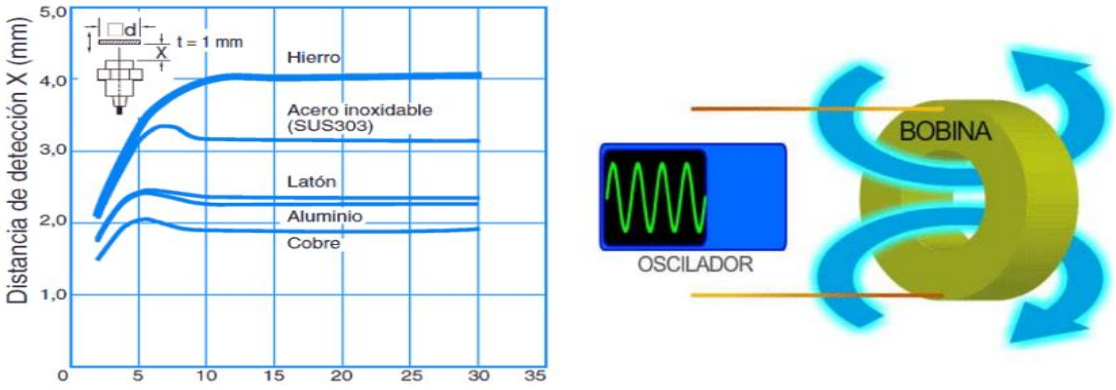


Figura 12 *Funcionamiento campo magnético sensor inductivo (Fuente: OMRON)*

Estas, a su vez, generan un campo electromagnético que produce un decremento en la inductancia de la bobina y en la amplitud de las oscilaciones del circuito resonante. Así, cuando un objeto metálico se acerca al sensor, las oscilaciones se reducen y el sensor cambia de estado. Al igual que en los sensores de proximidad capacitivos, el esquema interno de funcionamiento es similar al ilustrado en la Figura 9, es decir, además del circuito resonante hay un acondicionamiento para determinar el estado de la oscilación y proveer una salida con sólo dos nicles (alto y bajo, ausencia o presencia de un objeto metálico). Según la configuración exacta de la etapa de salida del circuito de acondicionamiento, e encuentran varios tipos de sensores, que se conectan de forma diferente.



Figura 13 *Diferencia conexión en sensor PNP Y NPN (Fuente: Tecnical Automatizacion)*

- **Sensor tipo NPN.** El sensor tiene tres terminales (polarización, tierra y salida). En este caso la etapa de salida se da a través de un transistor tipo NPN. La carga se conecta entre la terminal de salida y la de polarización como se muestra en la figura 13.

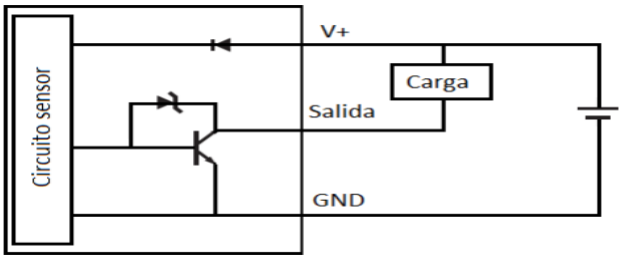


Figura 14 *Sensor tipo NPN y forma de conexión*

- **Sensor tipo PNP.** El sensor tiene tres terminales (polarización, tierra y salida). La etapa de salida se da a través de un transistor tipo PNP. La carga se conecta entre la terminal de salida y la de tierra.

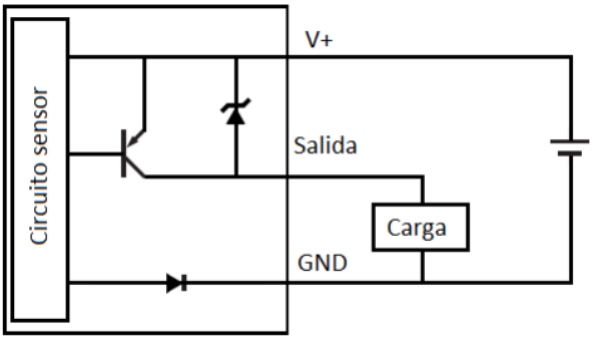


Figura 15 *Sensor tipo PNP y forma de conexión*

Sensor tipo ON-OFF. El sensor tiene dos terminales (tierra y salida). La etapa de salida se da a través de un transistor tipo PNP. La carga se conecta en serie con el sensor y la fuente de polarización.

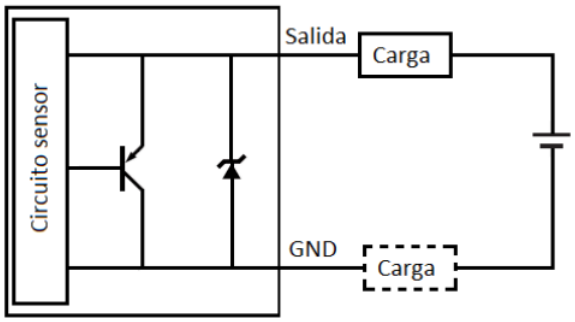


Figura 16 *Sensor tipo ON-OFF y forma de conexión*

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

En este capítulo se detallan los procesos realizados y las etapas de las metodologías empleadas, así como los procedimientos con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos.

En estos puntos se mencionan los procesos de manufactura los cuales se optimizarán mediante los principios de la industria 4.0, la cual una de sus ramas es la automatización y facilitación de aprovechamiento, atacando fallas con iniciativas tecnológicas.

3.1. Población o muestra

Este proceso se aplicó en una máquina Brown & Sharpe identificada como #31 de las 48 máquinas que conforman su totalidad en la planta del mismo modelo.

En personal operativo, se cuenta con un operador asignado exclusivamente para la ejecución y monitoreo de esta implementación, dicho operador cuenta con capacitación y nivel líder para poder sobrellevar las actividades.

3.2. Tipo de estudio.

Los tipos de estudio que se realizan son los siguientes:

- Este estudio es de carácter documental debido a la recopilación y análisis de información previa que sustenta el marco teórico. Las fuentes consultadas incluyen libros especializados, artículos científicos, normas técnicas, y recursos

electrónicos confiables, que proporcionaron los fundamentos sobre automatización, control y optimización de procesos industriales.

- La investigación es de tipo aplicada, ya que se orienta a la implementación práctica de conocimientos en automatización, control y herramientas de lean manufacturing, con el propósito de resolver una problemática específica en el entorno de manufactura, optimizando procesos mediante el uso de dispositivos electrónicos modernos.
- El enfoque transversal se determina porque la recolección y análisis de datos se realizó en un periodo específico, permitiendo evaluar el impacto de las soluciones tecnológicas en un momento determinado, sin un seguimiento longitudinal.
- Este estudio es cuantitativo, dado que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos de la operación de las máquinas Brown & Sharpe. Se implementaron sensores automáticos para el conteo de piezas y se registraron métricas relacionadas con tiempos de operación, eficiencia y costos, permitiendo un análisis objetivo y medible de los resultados.

3.3 Instrumento de medición

Los dispositivos implementados dinamómetro digital y contador automático fueron integrados en la máquina #31 y probados en tres fases: ajuste, operación y validación de datos.

3.4 Procedimiento de implementación del prototipo

1. Diagnóstico inicial del problema en la máquina.
2. Selección y adquisición de los dispositivos electrónicos.
3. Diseño e integración del sistema automatizado.
4. Pruebas de ajuste y calibración.
5. Medición del impacto en productividad.

3.5 Método de análisis de datos

Se compararon tiempos de producción antes y después de la implementación utilizando la métrica OEE (Efectividad General del Equipo) para verificar diferencias significativas, enfocado en mayor productividad y reducción de retrabajos.

3.6 Proceso de manufactura en producción de tornillos

Para entender la problemática a resolver, primero es necesario realizar un análisis del proceso y ver las áreas de oportunidad para poder implementar una mejora.

A continuación, en la Figura 17 se describe a detalle las actividades por las cuales es procesado el material, desde el inicio de proceso como materia prima, hasta producto final listo para ser exportado, es aquí donde se centra el análisis, únicamente en el proceso que involucra la manufactura del tornillo en las máquinas (operación 30-operación 46) y de ese modo poder detectar áreas de oportunidad para mejorar bajo los principios de industria 4.0.

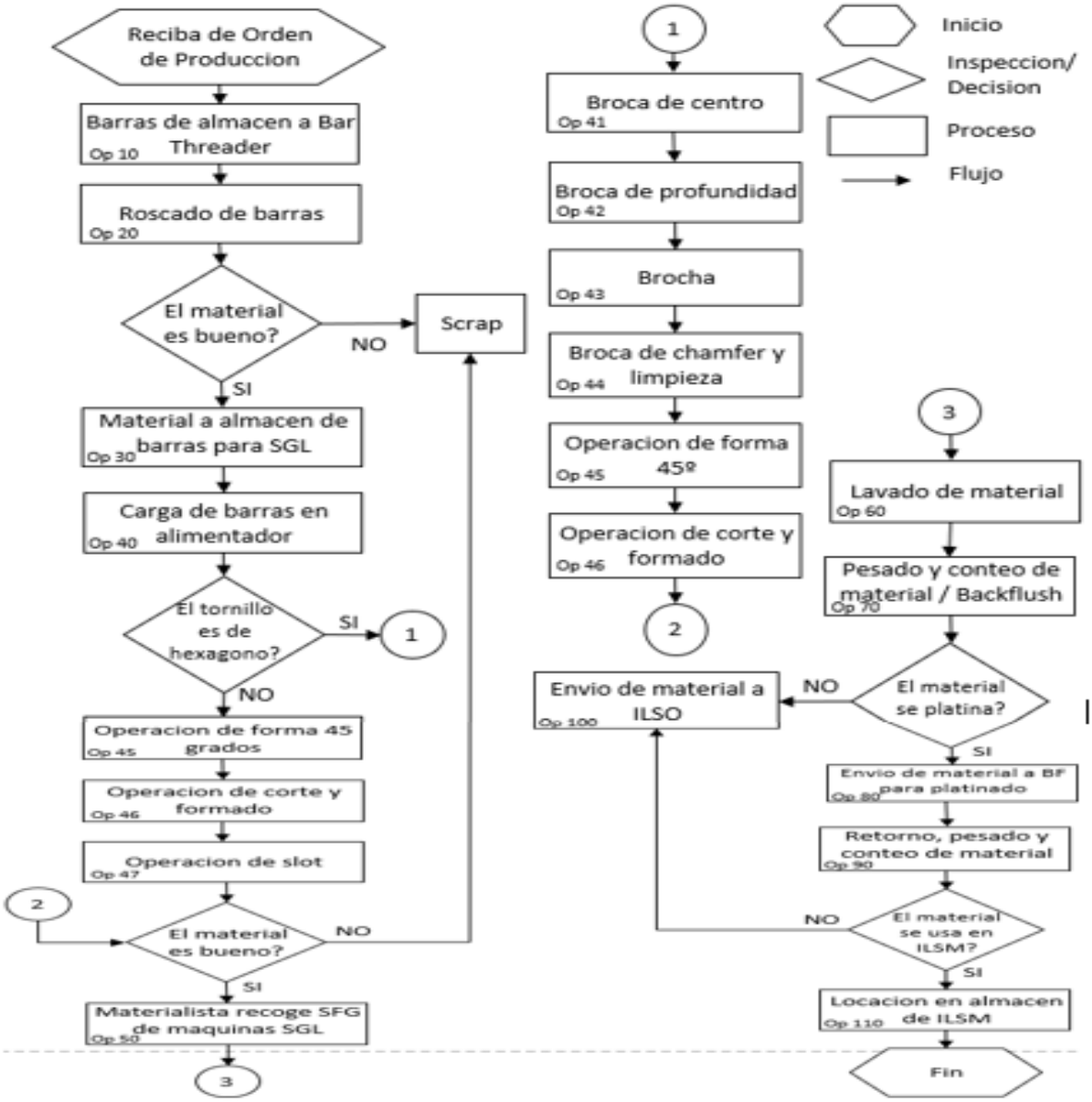


Figura 17 *Diagrama de proceso manufactura de tonillos (Fuente: elaboración propia)*

Visto el diagrama de la figura 17 sobre el proceso de producción general de un tornillo, la problemática y soluciones se centran únicamente en el punto donde involucra a la máquina Brown & Sharpe.

3.7 Máquinas Brown & Sharpe

Las máquinas con las que se trabajan en el área de manufactura de tornillos son fresadoras semiautomatizadas, que la mayor parte de su proceso es mecanizado.



Figura 18 *Máquinas Brown & Sharpe*

Durante el proceso de manufactura de los distintos tipos de tornillos, se presentan diversas problemáticas o fallas, las cuales ocasionan tiempos muertos que se reflejan en menos producción. Al analizar los indicadores que influyen en el proceso de manufactura en la máquina, se detecta las principales y de mayor tiempo muerto como se muestra en la Figura 19.

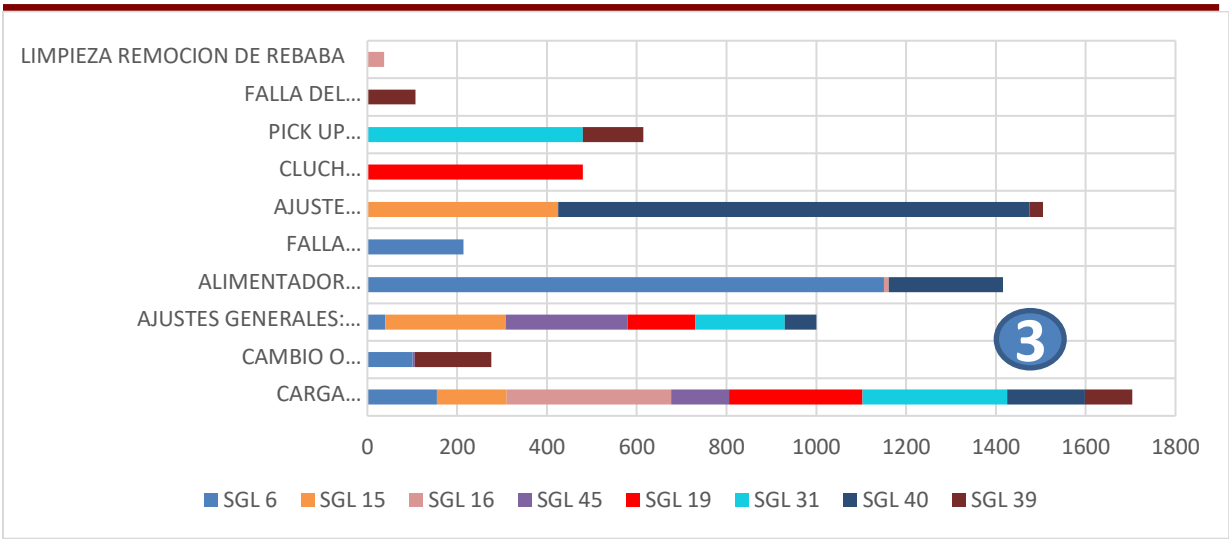


Figura 19 *Tiempo muerto en proceso de producción (Fuente: Elaboración propia)*

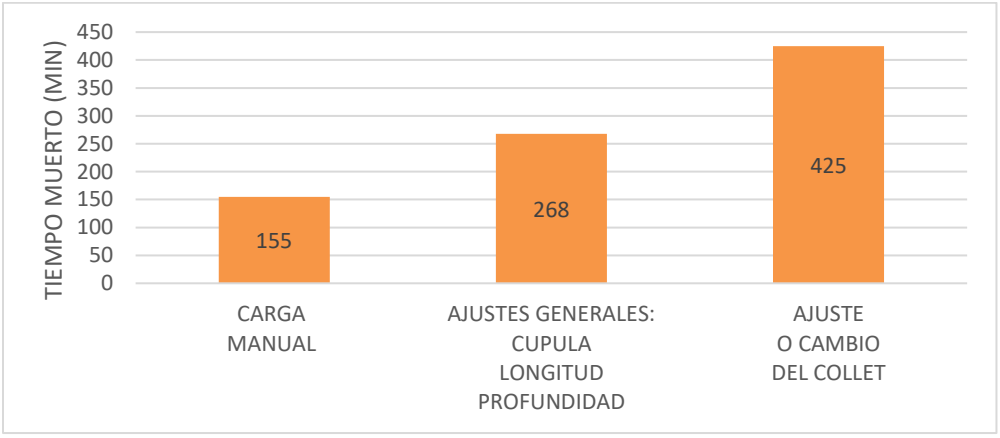


Figura 20 *Selección de las mayores actividades generadoras de tiempo muerto (Fuente: elaboración propia).*

La figura 20 muestra tiempos muertos de la máquina y métodos de falla, al analizar los registros se detectan los de mayor impacto ocasionado por ajustes realizados con mala precisión y además carga manual, esto no solo provoca un retraso en producción sino también daños en herramentales por mal ajuste y como respuestas perdidas de capital.

Filtrando y seleccionando cuales son las actividades que generan mayor tiempo muerto, se caracterizan en dos procesos a solucionar, mediante la implementación de tecnologías compatibles actuales, los procesos son los siguientes:

1. Ajuste de herramienta Fullcrum-collet
2. Conteo manual de piezas

3.7.1 Proceso 1: ajuste de herramienta fullcrum-collet

Dentro de los ajustes que realizan los operadores, el más crítico es el ajuste de fullcrum-collet, ya que se debe hacer con una precisión y exactitud, debido a la fuerza que ejerce el mecanismo al realizar el ciclo.

Los operadores realizan el ajuste de manera individual, en base a sus conocimientos y una medida tentativa, ya que no se tiene un limitador o una base para ajuste del Fullcrum-Collet (Se realiza en base a la experiencia que obtienen).

Esto implica que constantemente al realizar mal el ajuste se dañen o fracturen las piezas y herramientas de la máquina.

3.7.1.1 Piezas involucradas en daño por mal ajuste

Hay una serie de piezas involucradas en este proceso, las cuales se pueden dañar, unas de las principales son:

- Flecha completa (Spindle): La flecha es la encargada de la introducción de barra, cuando se realiza mal ajuste es la principal en presentar desgaste, debido a la fuerza a la que es sometida. Esta pieza está compuesta por varias piezas clave (Fullcrum, collet, baleros, fingers, engranes, vaso, ajustadores, etc.).

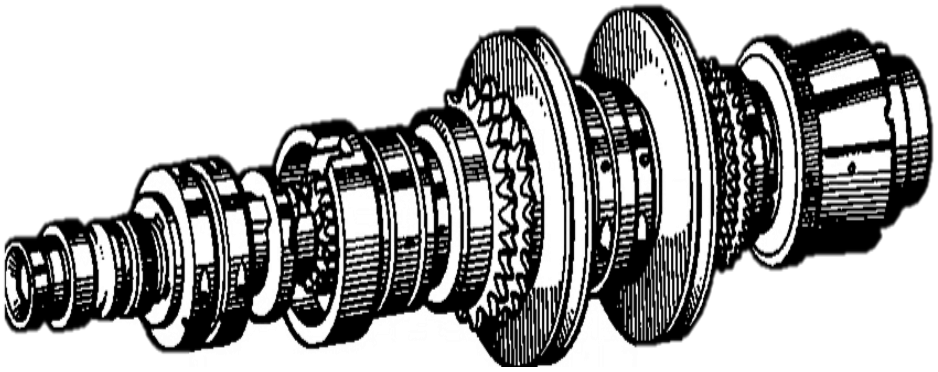


Figura 21 *Flecha completa de alimentación y empuje máquina Brown & Sharpe*

- Casting: esta pieza es la base donde se sostienen todos los elementos involucrados en el proceso de alimentación, es donde se sujetan mecanismos que aplican fuerza ejercida por levas accionadas por un motor trifásico 480 volt.

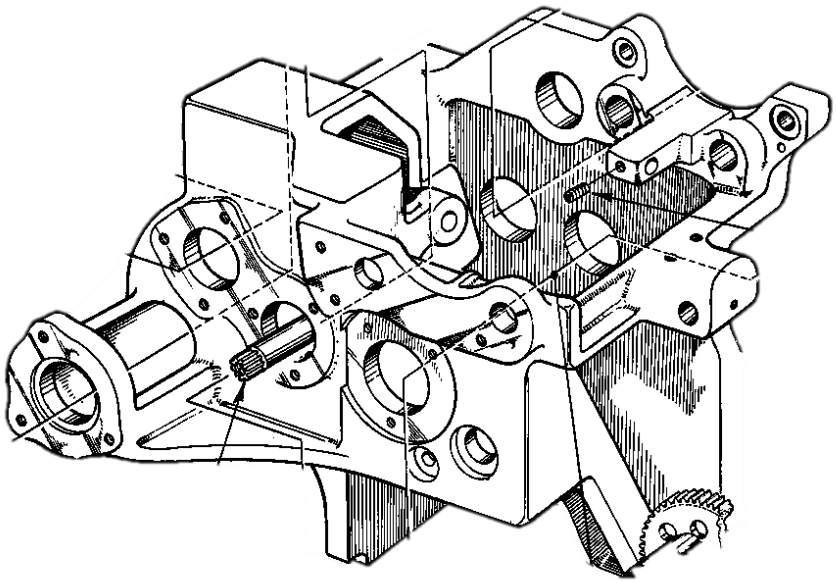


Figura 22 *Casting base máquina Brown & Sharpe*

- Kit de fullcrum: Es un componente que forma parte de la flecha de alimentación y empuje de barra, su propósito es presionar la barra en el momento de cierre impidiendo que la barra avance por la fuerza neumática ejercida, y que el tornillo producido cumpla con las especificaciones. El ajuste se hace mediante apalancamiento, en base a experiencia según el operador, ya que no se cuenta con alguna estandarización o método. Al determinar el esfuerzo indicado se procede a apretar la contratuerca de ajuste (pieza 68, Figura 23)

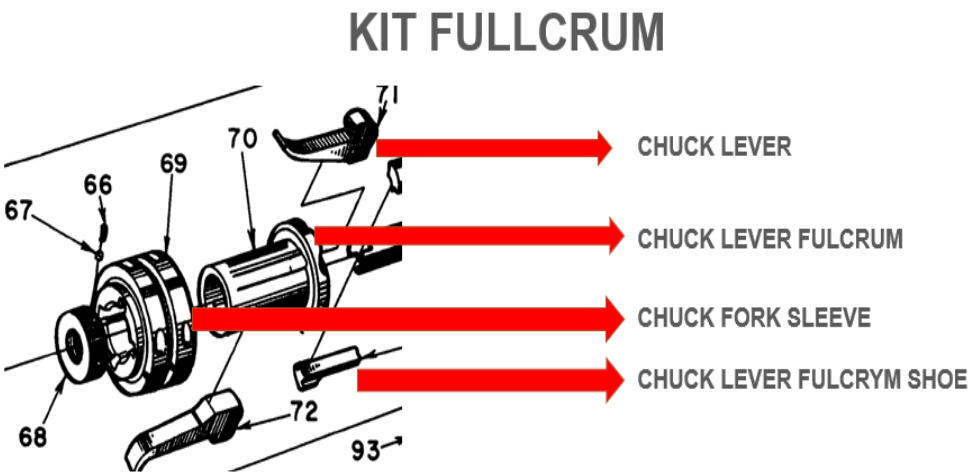


Figura 23. *Kit de piezas complementarias de fullcrum*

Al realizar un mal ajuste y ejercer mucha presión las piezas se dañan y desgastan como se observa en las Figuras 24 y 25, ocasionando un tiempo muerto por mantenimiento correctivo, menos producción y costos excesivos en la compra de refacciones.



Figura 24 *Piezas collet dañadas por mal ajuste y presión ejercida*

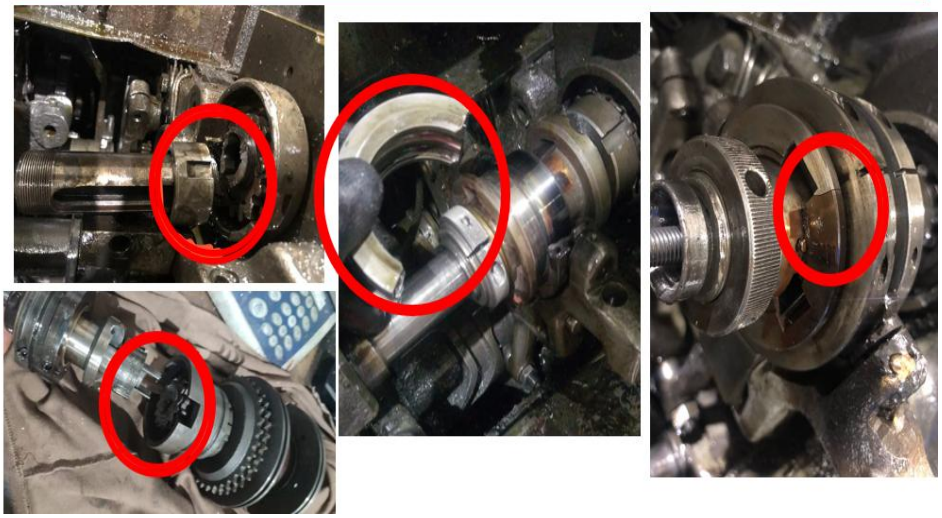


Figura 25 *Piezas dañadas ocasionadas por mal ajuste (fractura en flecha, fullcrum)*

3.7.1.2 Análisis de partes dañadas y gasto generado

La llegada de los equipos a la planta y el comienzo de procesos fue a finales del 2022 por lo que en ese periodo se generaron pocos daños y en 2023 se aprecia un número significativo de piezas dañadas que a su vez se refleja en costos por compra de refacciones. Los montos reflejados en la tabla 1 son en dólares y se lee por número de parte.

Tabla 1

Refacciones de piezas dañadas y gasto generado en compra por mal ajuste 2022-2023 (Fuente: Elaboración propia)

NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	QTY 2022	$	QTY 2023	$
42-12525		41	$ 820.00	444	$ 8,880.00
42-12544-5				17	$ 5,015.00
42-13382	CHUCK FORK SLEEVE				
42-13382-1-99	CHUCK FORK SLEEVE			7	$ 10,847.20
42-15076	CHUCK LEVER FULCRUM				
42-15198-99	CHUCK LEVER	5	$ 232.50	644	$ 29,946.00
42-15216	CHUCK LEVER				
42-15600-1-99				16	$ 12,400.00
42-15604	CHUCK FORK SLEEVE				
42-16321				7	$ 4,765.25
42-16409-5-99	SPINDLE 1/2 IN			3	$ 11,250.00
42-16427	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE				
42-16427-99	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE			77	$ 6,437.20
42-16523-1				8	$ 4,943.60
42-16572-2	CHUCK FORK SLEEVE			11	$ 6,325.00
42-18636	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE				
42-19650					
42-19669				2	$ 3,987.00
42-7465-99	CHUCK LEVER FULCRUM			8	$ 6,119.52
#10 1/4	COLLETS			192	$ 16,704.00
#10 5/16	COLLETS			249	$ 21,663.00
1 3/4 X 5/8 X .062 48 ATC		9	$ 630.00	44	$ 3,080.00
92-5010-832		5	$ 1,205.00	27	$ 6,642.00
BFI-1922		2	$ 514.76	23	$ 5,919.74
H01270A		7	$ 362.25	109	$ 5,640.75
BFI-2029		2	$ 514.00	17	$ 4,369.00
H01900A		56	$ 3,670.80	111	$ 7,276.05
			$ 7,949.31		$ 182,210.31

3.7.2 Proceso 2: conteo de piezas totales

El segundo proceso donde se implementaron los dispositivos para optimización es el conteo de piezas totales; el método que se utiliza es el conteo manual, el cual consta en cada cierto periodo de tiempo el operador detiene la máquina, se dirige con el bote de piezas a una báscula que hace un cálculo aproximado con un margen de error del 5%. Después llena en su bitácora las piezas contadas, este proceso lo repite hasta acabar el turno, lo que implica una pérdida considerable de tiempo que se ve reflejada en menor producción.



Figura 26 *Conteo manual de piezas producidas en turno*

Tabla 2

Proceso de pesado y conteo de material y modos de falla posible (Fuente: elaboración propia)

Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S E V	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure
Op 70 Pesado y conteo de material	Tara incorrecta	Discrepancia en inventarios		Omision de la carta proceso
	Material mezclado	Insatisfaccion del cliente		Omision de la carta proceso
	Mal etiquetedo en el contenedor	Discrepancia en inventarios		Omision de la carta proceso
	Escaneo con orden incorrecta	Discrepancia en inventarios		Omision de la carta proceso

La tabla 2 muestra posibles modos de fallas al seguir utilizando este método tradicional de conteo, entre las cuales están las siguientes:

- Tara incorrecta: en este punto es muy usual encontrar problemáticas de un mal conteo, esto no tan solo debido a la calibración y rango de tolerancia en conteo, sino también a la confusión que pueden tener los operadores al realizar el

conteo, debido a que son escasas las básculas y tienen que pesar distintos números de partes a la vez.

- Material mezclado: los números de parte que se corren y producen en las máquinas son demasiados, por lo que los operadores tienen que estar contando cuidadosamente las cantidades y es común que se revuelva o confunda material porque las tolerancias son mínimas y el producto es parecido.
- Mal etiquetado en el contenedor: cuando se tiene el producto final y terminación del turno, el operador debe contar nuevamente el total de piezas finales “cabe mencionar que el operador tiene cuatro máquinas a su cargo” y distintos números de parte, por lo que tiene que llevar varios contenedores al área de conteo y ahí suele ocurrir la confusión de etiquetado.
- Escaneo con orden incorrecta: al ocasionar una confusión de mal etiquetado viene como consecuencia que en el sistema tengamos un mal inventario, ya que en físico se tiene distintas cantidades a lo registrado.

3.8 Diseño del prototipo

Una vez identificando los procesos que presentaron mayor impacto y tienen área de oportunidad en mejora, Se realizó un Gantt de enfoque conforme a la agenda y cumplir en tiempo los puntos estipulados como se ve en la figura 27.



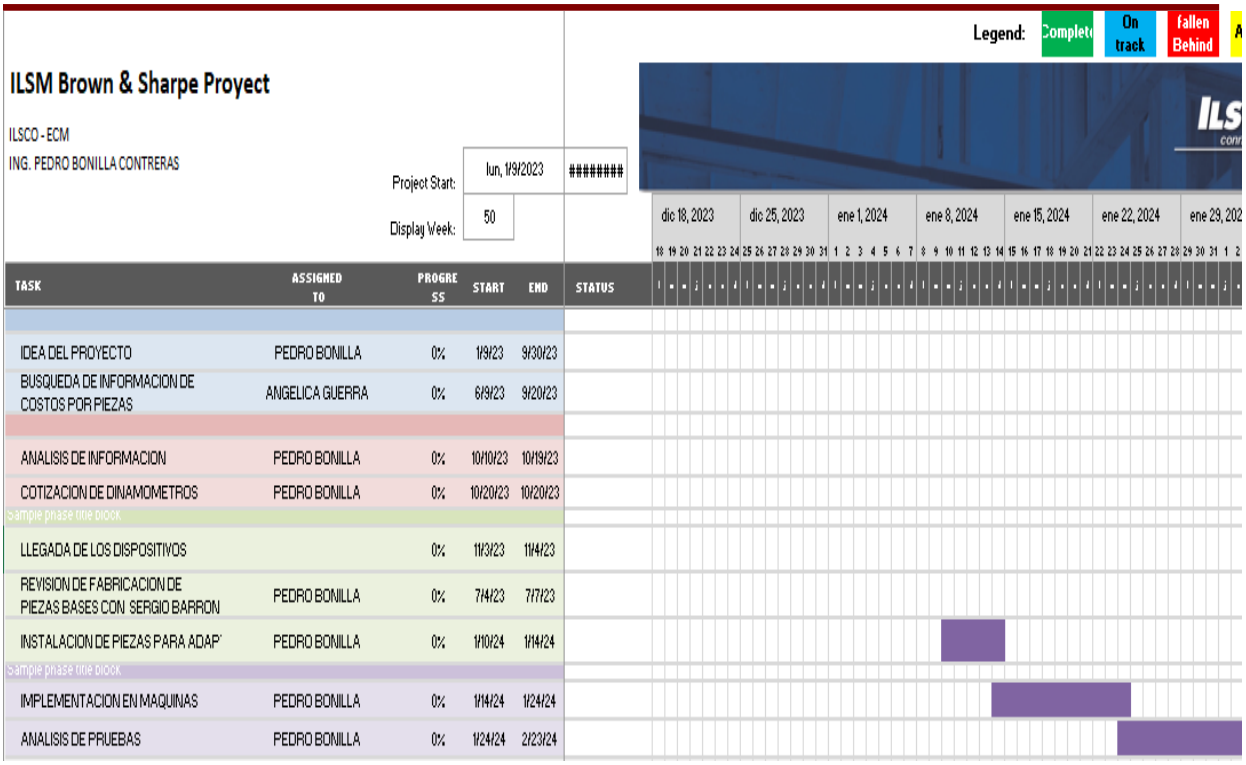


Figura 27 *Gantt de agenda de actividades (Fuente: elaboración propia)*

3.8.1 Lista de materiales o componentes

En la tabla 3 se muestra la lista de componentes necesarios para la ejecución de las implementaciones en prototipos para los procesos antes mencionados y así comenzar las pruebas en ejecución.

Tabla 3
Listado de dispositivos a implementar (Fuente: elaboración propia)

Lista de materiales o componentes
1. Dinamómetro digital 300kg 600 lb
2. TH-105 cabezal de sensor de pasaje de metal
3. TA-340 (105) sensor de pasaje de metal
4. Controlador-amplificador para TH-105
5. Contador industrial digital c2s 120v compatible bostitch

3.8.1.1 Dinamómetro digital 300kg 600 lb

El dinamómetro fue diseñado para desempeñar diversas funciones como se muestra en la Figura 28, donde se destacan:

- Pesar, para medir el peso de algo y por equivalencia determinar su masa.
- Medir las probetas o la deformación de estas en ensayos de tracción o la penetración de la dureza aplicada más que todo en máquinas de ensayo de laboratorios.
- Medir fuerzas aplicadas o aplicables durante tratamientos especializados y reconocer el límite máximo de estos mismos, como sucede en la odontología en el área de ortodoncia y cirugía.

Cada una de estas funciones se cumple a cabalidad, especialmente, el de pesar con la finalidad de medir y determinar la equivalencia de la masa. Por otro lado, puede medir las probetas, y medir fuerzas (Joselynne, 2024).

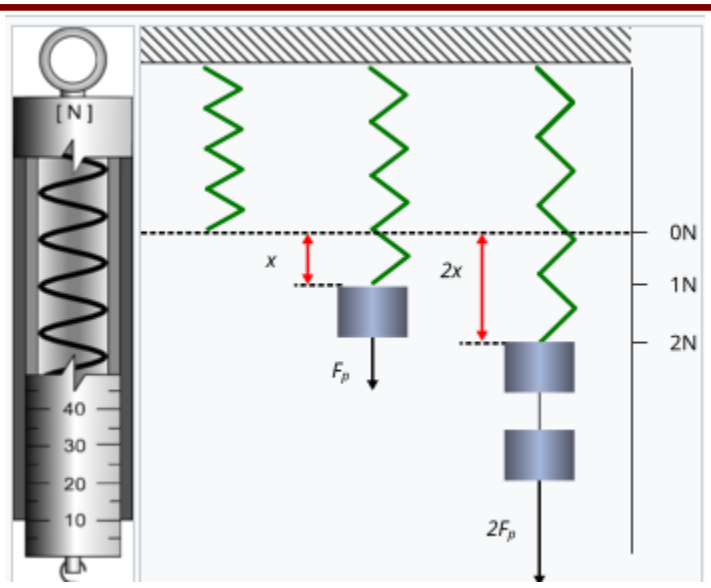


Figura 28 *Modo de trabajo de Dinamómetro (Fuente: Joselynne, 2024)*

Cotización de dinamómetro digital

La Figura 29 muestra una cotización, se hizo un requerimiento por 5 dinamómetros para empezar el proyecto y hacer pruebas.

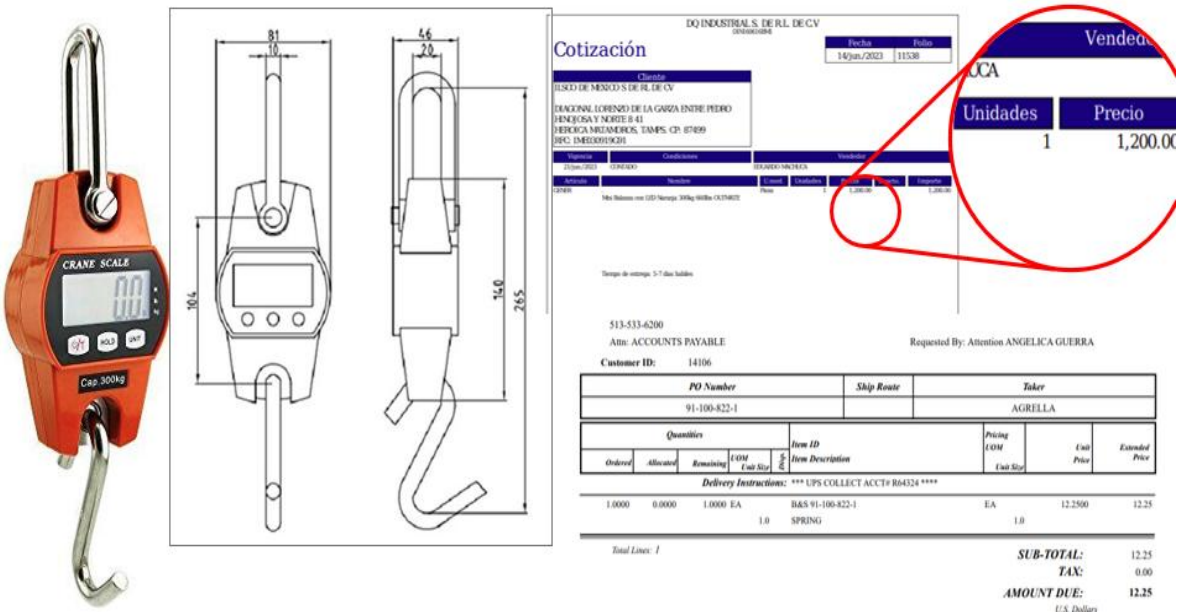


Figura 29 *Cotización de dinamómetro digital (Fuente: elaboración propia)*

3.8.1.2 TH-105 cabezal de sensor de pasaje de metal

Los sensores TH-105 tienen el mismo principio básico que cualquier sensor inductivo, detectan portaobjetos u objetos metálicos similares de manera sencilla y accesible, lo que se hace especial en este modelo es su diseño y dimensiones que se acoplan perfectamente. Además de esto, este modelo tiene la característica de ser expuesto a líquidos y aceite, por lo que es esencial que el modelo cumpla con esta condición debido a que el proceso de la manufactura de estos tornillos tiene flujo de aceite para el proceso de corte y perforación. Esto le permitirá mover sus productos eficientemente a través de la línea de ensamble a través del sistema de transporte. De esta manera se detectará claramente cualquier falla en el transporte o la falta de objetos. En las Figuras 30 y 31 se puede ver la estructura, diseño y características de este modelo.



Figura 30 *TH-105 cabezal de sensor de pasaje de metal*

Modelo		TH-105
Tipo		Detección de objetos metálicos pequeños
Objeto mínimo detectable		2.0 mm 0.08" diá. bola de acero*1
Área de detección		50 mm 1.97" diá.
Resistencia ambiental	Grado de protección	IP67
	Temperatura ambiente	De -10 a +60 °C 14 a 140 °F (Sin congelación)
	Humedad relativa	35 a 85 % HR (Sin condensación)
	Resistencia a la vibración	10 a 55 Hz, Amplitud doble 1.5 mm 0.06", 2 horas en cada una de las direcciones X, Y y Z
Peso		Aprox. 450 g

Figura 31 *Características y especificaciones de TH-105 cabezal de sensor de pasaje de metal*

3.8.1.3 Controlador-amplificador TA-340

Un controlador amplificador de sensor amplifica las señales de salida de los sensores para que puedan ser analizadas e interpretadas.

Las señales que los sensores obtienen del entorno suelen tener amplitudes pequeñas y es necesario amplificarlas para analizarlas e interpretarlas mejor. Esta tarea la realizan los amplificadores, que son circuitos basados en transistores. (Amir Fathi, 2017).



Figura 32 *Controlador-amplificador para TH-340*

Uno de los puntos importantes al seleccionar el modelo es conocer las características de este dispositivo para que sea compatible no tan solo con el modelo del sensor, sino también, con las dimensiones de los tornillos fabricados ya que dependiendo del número de parte que se esté corriendo, varía mucho la dimensión y tamaño. Cabe mencionar que en la máquina se corren distintos números de parte dependiendo la orden asignada, por lo que el controlador debe ser ajustable a su amplitud para una mejor recepción de señal. El amplificador TA-340 cumple con las características anteriormente mencionadas, las cuales se muestra en la figura 33.

Modelo			TA-340
Ajuste de sensibilidad			Regulador de sensibilidad y potenciómetro de ajuste preciso
Salida	Salida de control (salida de un pulso)	Estado sólido (NPN)	100 mA (40 V máx.)*1
		Contacto de relevador	Bipolar en una sola dirección, 250 VCA, 2 A*2
	Salida de control		1 ms
			10 ms
Temporizador de retardo de activación			65 ms (salida de contacto únicamente)
Valor nominal	Voltaje de alimentación		De 100/200 VCA ±10 %, 50/60 Hz
Clasificación	Consumo de energía		5 VA máx.
Resistencia ambiental	Temperatura ambiente		De 0 a +50 °C 32 a 122 °F
	Humedad relativa		35 a 85 % HR (Sin condensación)
	Resistencia a la vibración		10 a 55 Hz, Amplitud doble 1.5 mm 0.06", 2 horas en cada una de las direcciones X, Y y Z
Peso			Aprox. 330 g

Figura 33 *Características y especificaciones de controlador-amplificador TA-340*

3.8.1.4 Contador industrial digital c2s 120v compatible bostitch

El display es un dispositivo de apoyo visual que se utiliza para medir, contar, comparar, etc., dentro de la automatización es muy importante su tarea, ya que es el resultado final del trabajo sincronizado con los demás dispositivos.

En este punto es importante saber seleccionar cuál display es compatible con nuestros dispositivos anteriores y, además, que cumpla con las necesidades en los procesos como los siguientes:

- Fuente de alimentación sea mayor o iguala 110v.
- Se pueda ajustar dependiendo del número de parte corrido y por tiempo de proceso.
- Tenga opción de poner límite de cantidad de piezas, así al llegar a la cantidad requerida la máquina se detenga y mande una señal de stop, con esto se reduciría la sobre producción y el scrap.

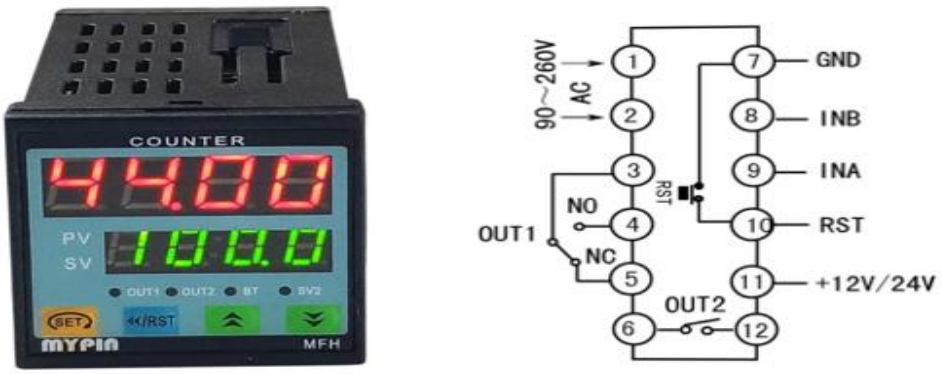
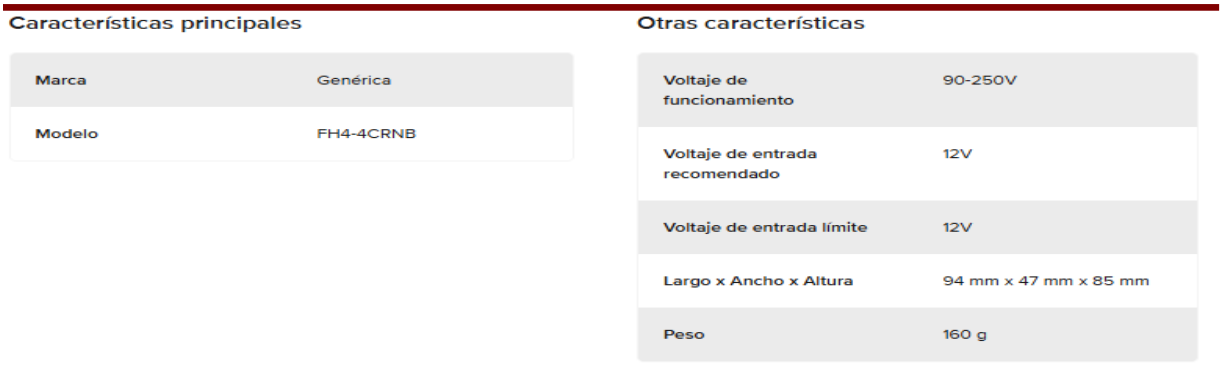


Figura 34 *Contador industrial digital c2s 120v compatible bostitch*



Características principales

Marca	Genérica
Modelo	FH4-4CRNB

Otras características

Voltaje de funcionamiento	90-250V
Voltaje de entrada recomendado	12V
Voltaje de entrada límite	12V
Largo x Ancho x Altura	94 mm x 47 mm x 85 mm
Peso	160 g

Figura 35 *Características y especificaciones de display industrial*

3.8.2 Presupuesto

En la tabla 4 se desglosa el presupuesto considerado en la implementación de los dispositivos en una máquina como prueba piloto. Sin embargo, se contempla incorporar en todas las máquinas a corto plazo, por lo que se consideran 48 máquinas que componen el departamento en general, como se ver en la tabla 4.

Tabla 4

Presupuesto individual vs total en implementación de dispositivos en máquinas Brown & Sharpe (Fuente: elaboración propia)

INVERSION DE DISPOSITIVOS IMPLEMENTADOS BRONW AND SHARPE		
DESCRIPCION DE DISPOSITIVO	**COSTO C/U**	**COSTO TOTAL (48 MAQUINAS)**
TH-105 CABEZAL DE SENSOR DE PASAJE DE METAL	$ 5,500.00	$ 264,000.00
TA-340 (105) SENSOR DE PSAJE DE METAL CONTROLADOR PARA TH-105	$ 7,900.00	$ 379,200.00
DINAMOMETRO DIGITAL 300KG 600 LB	$ 1,200.00	$ 57,600.00
CONTADOR INDUSTRIAL DIGITAL C2s 120V COMATIBLE BOSTITCH	$ 1,310.00	$ 62,880.00
TOTALES	$ 15,910.00	$ 763,680.00

Como se muestra en las figuras 36 y 37, se realizó una requisición para la implementación en una sola máquina, para la creación del prototipo y la realización de pruebas.

ORDEN DE COMPRA

FECHA: 6/22/2023 10:46:52 AM

PROVEEDOR: DQ INDUSTRIAL S. DE R.L. DE C.V

TELÉFONO:

CORREO: **CONTACTO:**

CENTRO DE COSTO: 696 GASTOS GENERALES **PROYECTO:**
FORMA DE PAGO: 03 - Transferencia electrónica de fondos
METODO DE PAGO: PUE - Pago en una sola exhibición
USO CFDI: G03 - Gastos en general.

PART.	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	IMPORTE
1	5		DINAMOMETRO MINI BALANZA CON LED NARANJA 300 KG 660 LBS	$1,200.00	$6,000.00

SUBTOTAL	$6,000.00
I. V. A.	$960.00
Ret. I. V. A.	$0.00
TOTAL	$6,960.00

Figura 36 *Orden de compra de dinamómetro digital (Fuente: elaboración propia)*

Fecha de Orden	Cliente No.	Orden del Cliente	Vía de Embarque	Fecha de Envío	Términos
6/12/2023	191107	9682	UPS EXPRESS	6/12/2023	30 DIAS*

No. De Parte	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Cantidad	Precio Extendido
Comentarios					
TH-105	Cabezal de sensor de pasaje de metal	PZA	5,500.00	1	$ 5,500.00
TA-340(105)	Sensor de pasaje de metal Controlador para th-105	PZA	7,900.00	1	$ 7,900.00
COSTO DE ENVIO	COSTO DE ENVIO	ACT	200.00	1	$ 200.00

Sub Total	13,600.00
(16.00%)IVA	2,176.00
Total (MXN)	15,776.00
Total a Pagar (MXN)	15,776.00

Figura 37 *Orden de compra de dispositivos contador automatizado (Fuente: elaboración propia)*

3.9. Construcción del prototipo

La construcción del prototipo de cada implementación es con la unión de los dispositivos mencionado y aplicados en la máquina piloto, se realizó mediante 2 implementaciones.

3.9.1 Primera implementación - dinamómetro digital

La implementación del dinamómetro se basa en colocar una base de sujeción, incorporada en el casting como se ve en la figura 38, ya que el ajuste se realiza con aplicación de esfuerzo.

Se pretende que el dinamómetro se pueda montar y desmontar fácilmente, haciéndolo práctico de utilizar.

Se consideran los siguientes puntos para la instalación:

- La base donde se sostiene el dinamómetro es de materia aluminio, esto por su practicidad y rápida elaboración.
- La distancia adecuada de horquilla hacia el dinamómetro debe ser igual en todas las máquinas, esto para que la distancia corresponda a la del resorte y aplique la fuerza exacta.
- Se realizan pruebas para determinar la fuerza adecuada en ajuste.
- La fuerza del dinamómetro se estandariza en Newtons

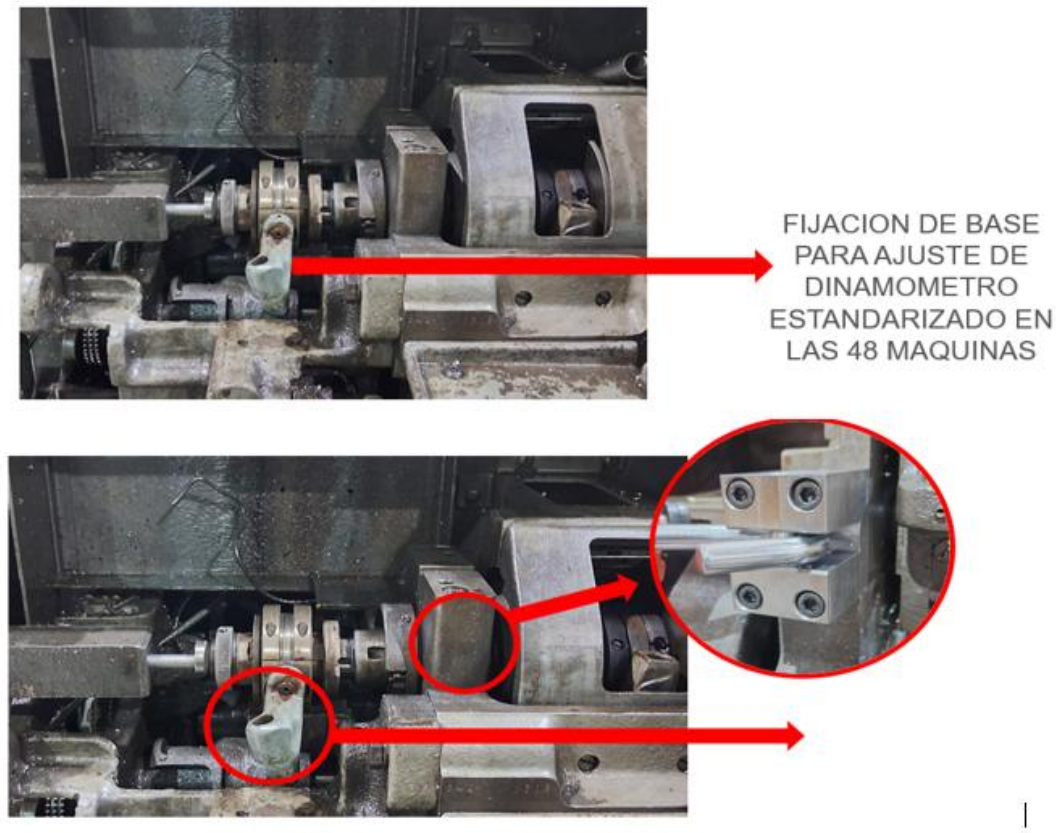


Figura 38 *Implementación de dinamómetro y fijación de base en casting*

3.9.2 Segunda implementación - contador automático

La segunda implementación, es el contador automático, que se basa en integrar y unir los siguientes dispositivos electrónicos.

- Controlador-amplificador TH-105
- Display digital
- Sensor TH 105
- Push botón (para restablecer e iniciar conteo)
- Caja industria, resistente a penetración de fluidos
- Tubo para caída de tornillos

La ubicación de fijación es importante, y se consideran los siguientes aspectos:

- Que este cerca de una fuente de alimentación para no tener cableado expuesto
- Que tanto el display como el sensor TH-105 estén cerca para su fácil conexión eléctrica y de señal
- Que el sensor TH-105 este fijado y no obstruya el paso, además, aunque es resistente al aceite, no exponerlo tanto.
- Que sea visible para el operador e involucrados.
- Una posición estándar para poder monitorear.
- Los dispositivos se encuentran sellados en la caja, a excepción del push botón, de esta manera podemos evitar desajustes o inconvenientes ya que solo personal de mantenimiento y líder pueden realizar ajustes.
- Que se encuentre cerca del depósito de tornillos, con el fin de tener un mejor control



Figura 39 *Implementación y fijación de sensor TH-105 y panel de control*

3.9.3 Diagrama final de implementaciones

La figura 40 muestra el diagrama de las implementaciones realizadas al integrar los dispositivos antes mencionados en la máquina piloto.

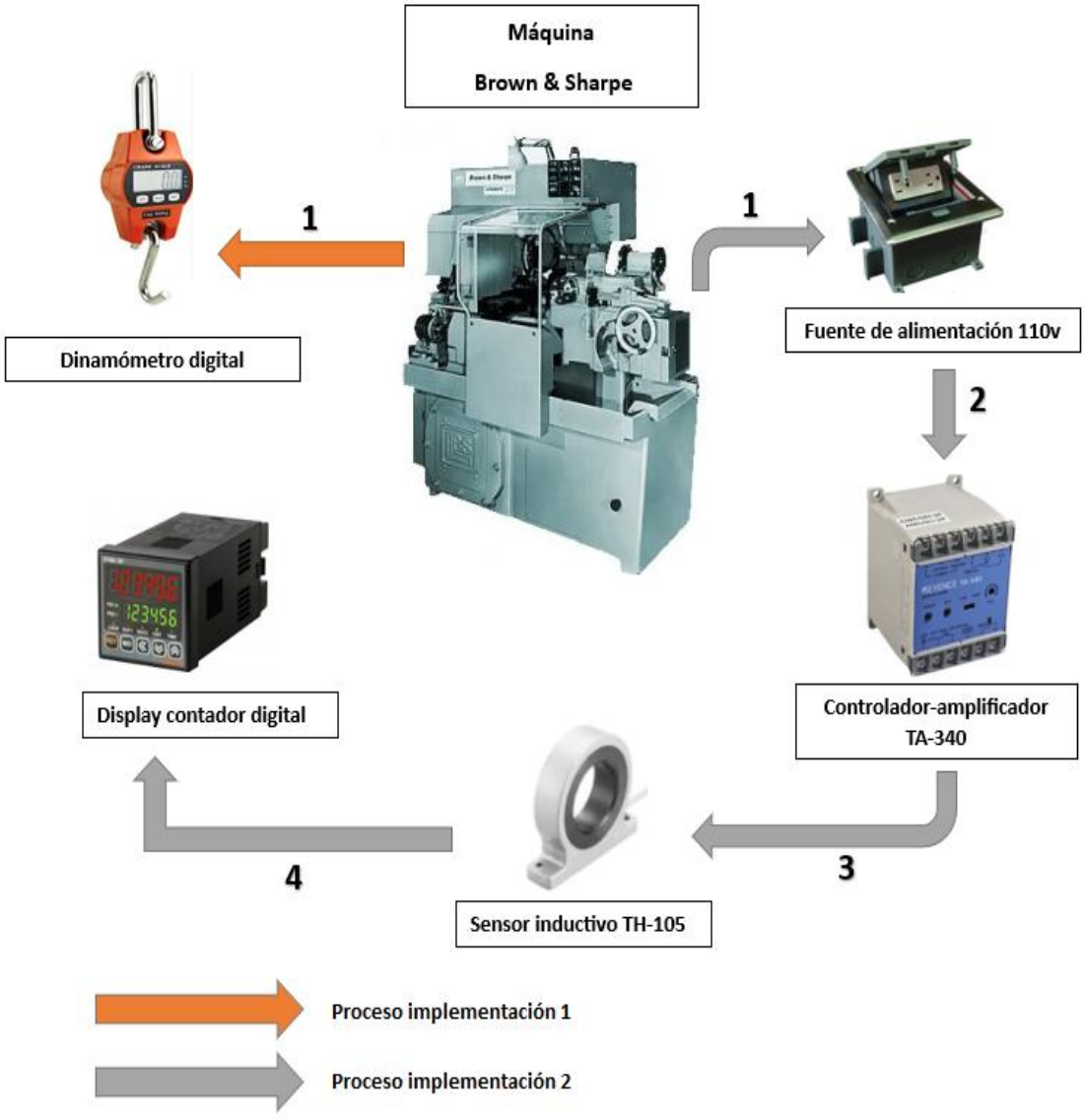


Figura 40 *Diagrama de implementaciones realizadas ((Fuente: elaboración propia)*

3.10 Prueba del prototipo

3.10.1 Prueba de prototipo: primera implementación - dinamómetro digital

En esta etapa el ajuste se realizó a prueba y error por repetidas ocasiones hasta llegar con el ajuste más adecuado, cabe mencionar que en este ajuste intervienen algunos factores como;

- Presión de empuje neumática de 80 psi, mediante un pistón doble efecto (el cual da empuje a la barra).
- Fuerza mecánica de clouth, un motor 480 volt, 1 HP emite una fuerza mediante engranajes y guías brazo para apertura y cierre de boquilla (la cual retiene la barra)
- Herramientas de ajuste; Fullcrum, collet, spindle, baleros, engranes.

Este subsistema, cuya configuración se muestra en la Figura 41, fue desarrollado con el objetivo de eliminar la variabilidad en el proceso de ajuste de herramientas, proporcionando una medición precisa y repetible. Se implementó un dinamómetro digital de 300 kg montado sobre una base de aluminio prefabricada, elegido por su alta resistencia mecánica y ligereza, lo que permitió su instalación sin modificar la estructura original de la máquina. El dinamómetro cuenta con una pantalla LCD retroiluminada y una interfaz digital que facilita la lectura rápida durante las operaciones de ajuste, incluso en condiciones de baja iluminación características de muchas plantas metalmecánicas.

El dispositivo se integró al mecanismo de ajuste neumático de la máquina (80 psi), conectado a un sistema de cierre por motor trifásico (1 HP, 480 V). Las pruebas de calibración se realizaron en ciclos repetidos para definir un valor de ajuste óptimo de 1.96N con una tolerancia de ±5 %, garantizando la integridad de la pieza y la estabilidad del proceso. Además, se verifico´ la repetibilidad de la medición mediante 20 ciclos consecutivos, obteniendo una desviación máxima de 0.3 N, lo que evidencio´ su confiabilidad técnica para aplicaciones industriales.

Este sistema permite reducir significativamente la variabilidad introducida por el operador en el proceso de ajuste de herramientas, facilitando un control más preciso y repetible, compatible con enfoques de manufactura esbelta y estándares de calidad industrial. Su portabilidad y bajo costo en comparación con sistemas de ajuste automatizados comerciales fortalecen su potencial como solución replicable para otras máquinas convencionales que requieran estandarización de torque o fuerza de ajuste.

Como se muestra en la Figura 41, el resultado de las pruebas quedo basado en el promedio de ajustes con mejor desempeño sin aplicar demasiada presión y no variar las dimensiones del producto terminado.

Ajuste aceptado: 1,96 Newton (+-5% tolerancia).

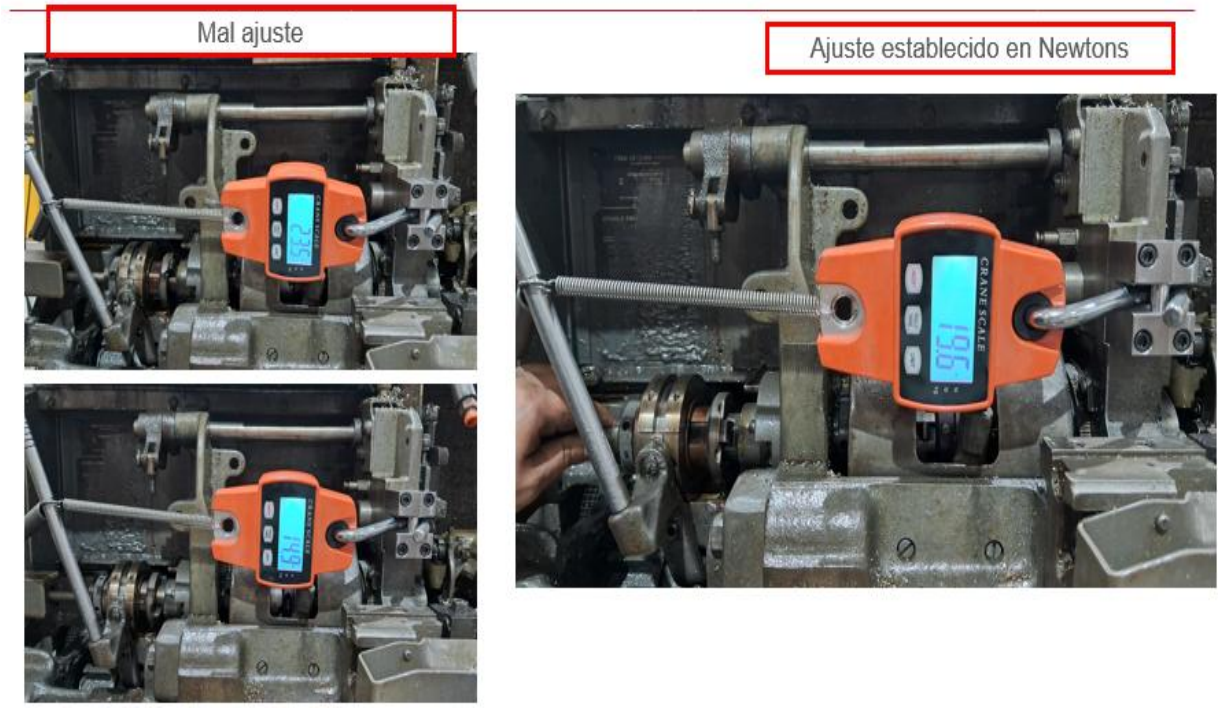


Figura 41 *Estandarización de aplicación de fuerza adecuada para el ajuste*

3.10.2 Prueba de prototipo: segunda implementación - contador automático

En las pruebas de la segunda implementación se comenzó con el ajuste y calibración del amplificador para su precisión de detección, después de esto se trabajó en medir por turno y comparamos los conteos.

Es importante mencionar los siguientes aspectos:

- Las muestras procesadas fueron contadas por el contador automático por hora
- Se realizó un conteo manual con bascula estándar
- La bascula tiene un margen de error del 5%
- Se realiza la comparación entre contador automático vs conteo manual

Este subsistema, ilustrado en la Figura 42, fue diseñado para registrar automáticamente cada pieza producida en la máquina Brown & Sharpe, eliminando errores humanos frecuentes en el conteo manual y garantizando una trazabilidad confiable del proceso. El sistema está compuesto por un sensor inductivo modelo TH-105, un amplificador TA-340 que convierte la señal en salida digital estable, y un contador digital C2S de 120V que muestra en tiempo real la producción acumulada.

La calibración se efectuó para detectar con precisión el paso de piezas metálicas en movimiento, y su alimentación se realizó´ mediante una fuente de 120V con protección integrada, asegurando operación continua y segura en entornos industriales adversos.

Para validar su precisión, se realizaron comparaciones directas entre los conteos automáticos y los registros del método tradicional mediante báscula industrial durante tres días consecutivos (16, 17 y 18 de febrero de 2024), considerando intervalos horarios de una hora. Los resultados, presentados en la Tabla 5, mostraron un margen de error promedio global de solo 0.68 %, muy por debajo del error estimado para el conteo humano (5%), evidenciando su confiabilidad estadística. Complementariamente.



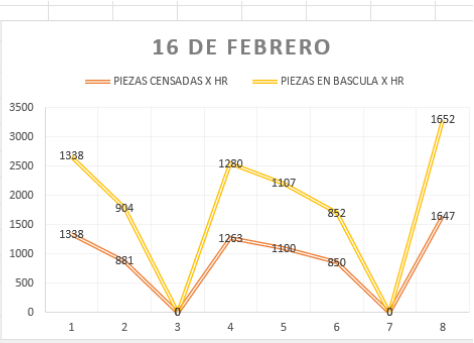
Figura 42 *Pruebas de conteo automática por turno en producción*

La primera prueba se realizó en un turno completo, comparando piezas sensadas vs. conteo manual teniendo como resultado una diferencia de 54 piezas. Es decir, un margen de diferencia de aproximado del 0.7%, como se puede apreciar en la tabla 5

Tabla 5

Prueba de conteo 1 conteo automático vs conteo manual (Fuente: elaboración propia)

16 DE FEBRERO					
HORA		PIEZAS REQ	N. PARTE	PIEZAS CENSADAS X HR	PIEZAS EN BASCULA X HR
07:00	08:00	1724	4882078	1338	1338
08:00	09:00	1724	4882078	881	904
09:00	10:00	1724	4882078	0	0
10:00	11:00	1724	4882078	1263	1280
11:00	12:00	1724	4882078	1100	1107
12:00	01:00	1724	4882078	850	852
01:00	02:00	1724	4882078	0	0
02:00	03:00	1724	4882078	1647	1652
TOTALES				7079	7133
					54

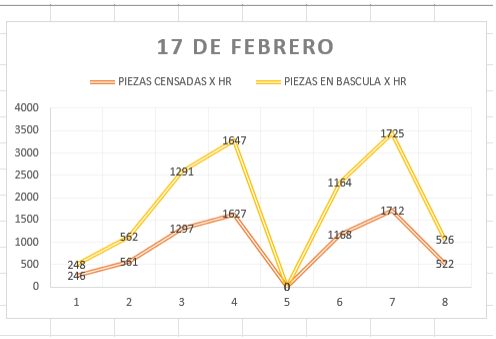


La segunda prueba se realizó en un turno completo, comparando piezas censadas vs. conteo manual teniendo como resultado una diferencia de 30 piezas. Es decir, un margen de diferencia de aproximado del 0.42%, como se puede apreciar en la tabla 6.

Tabla 6

Prueba de conteo 2 conteo automático vs conteo manual (Fuente: elaboración propia)

17 DE FEBRERO					
HORA		PIEZAS REQ	N. PARTE	PIEZAS CENSADAS X HR	PIEZAS EN BASCULA X HR
07:00	08:00	1724	4882078	246	248
08:00	09:00	1724	4882078	561	562
09:00	10:00	1724	4882078	1297	1291
10:00	11:00	1724	4882078	1627	1647
11:00	12:00	1724	4882078	0	0
12:00	01:00	1724	4882078	1168	1164
01:00	02:00	1724	4882078	1712	1725
02:00	03:00	1724	4882078	522	526
TOTALES				7133	7163
					30

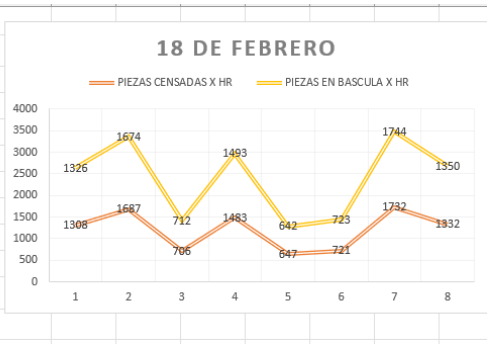


La tercera prueba se realizó en un turno completo, comparando piezas censadas vs. conteo manual teniendo como resultado una diferencia de 48 piezas. Es decir, un margen de diferencia de aproximado del 0.49%, como se puede apreciar en la tabla 7.

Tabla 7

Prueba de conteo 3 conteo automático vs conteo manual (Fuente: elaboración propia)

18 DE FEBRERO					
HORA		PIEZAS REQ	N. PARTE	PIEZAS CENSADAS X HR	PIEZAS EN BASCULA X HR
07:00	08:00	1724	4882078	1308	1326
08:00	09:00	1724	4882078	1687	1674
09:00	10:00	1724	4882078	706	712
10:00	11:00	1724	4882078	1483	1493
11:00	12:00	1724	4882078	647	642
12:00	01:00	1724	4882078	721	723
01:00	02:00	1724	4882078	1732	1744
02:00	03:00	1724	4882078	1332	1350
TOTALES				9616	9664
					48



CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1 Resultado de la hipótesis general

4.1.1 Incremento en la productividad mensual

Como primer resultado, se observó un incremento promedio mensual del 111 % en la producción tras la implementación, pasando de un promedio de 3,923 piezas mensuales antes de la intervención a 8,297 piezas posteriormente (Figura 43). Este aumento significativo refleja la eliminación de errores manuales en el conteo y la reducción de paros operativos. Además, este nivel de incremento implica que la capacidad productiva de la máquina prácticamente se duplico, acercándose al máximo rendimiento técnico estimado para este modelo de máquina Brown & Sharpe en las condiciones operativas de la planta. Este resultado no solo mejora la productividad mensual, sino que también incrementa la disponibilidad de producto para cumplir con la demanda del cliente, reduciendo potenciales cuellos de botella en etapas posteriores de manufactura.

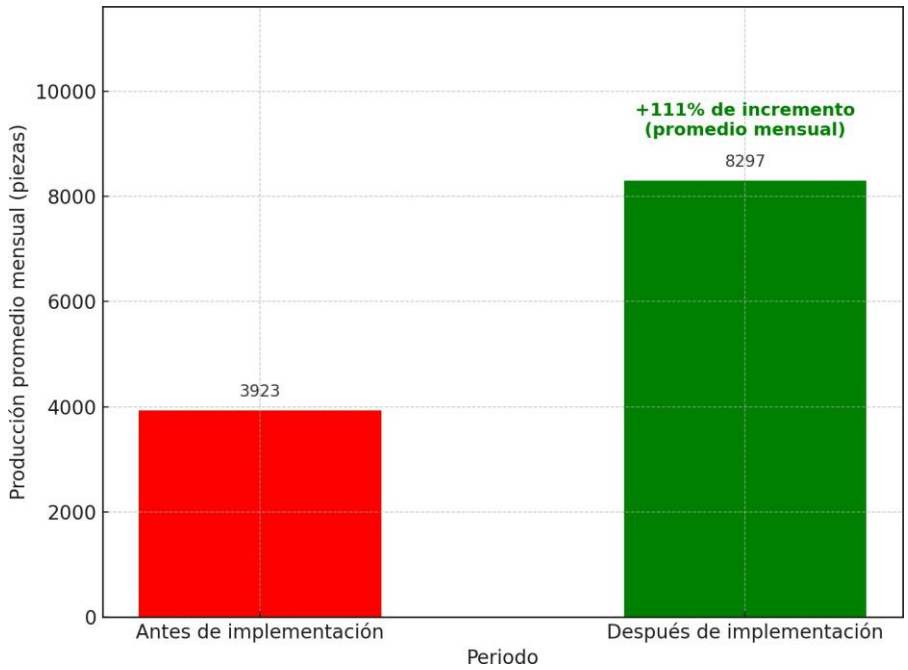


Figura 43 *Incremento del 111 % en la producción mensual promedio tras la implementación.*

4.1.2 Reducción del tiempo requerido en procesos críticos

La automatización implementada permitió reducir de manera significativa los tiempos requeridos en dos procesos clave de la máquina Brown & Sharpe: el ajuste manual de herramientas y el conteo de piezas. Antes de la intervención, ambos procesos consumían un total de 120 minutos por turno, distribuidos equitativamente en 60 minutos para el ajuste y 60 minutos para el conteo de producción. Tras la implementación, el conteo de piezas se eliminó completamente gracias al sistema de censado automático, mientras que el tiempo requerido para el ajuste de herramientas se redujo drásticamente a solo 10 minutos por turno.

Este resultado representa un ahorro neto de 110 minutos por turno, equivalente a una reducción del 91.7 % en los tiempos no productivos asociados a estas actividades. Considerando un esquema operativo de dos turnos diarios, la automatización genera un

ahorro acumulado de aproximadamente 3.7 horas por día, liberando un volumen significativo de tiempo que puede ser reorientado a la producción directa o a otras actividades de valor agregado, tales como mantenimiento preventivo, inspecciones de calidad o entrenamiento del personal.

Desde una perspectiva operativa, esta reducción de tiempo no solo incrementa la disponibilidad efectiva de la máquina, sino que también minimiza la variabilidad generada por la intervención manual en los ajustes, contribuyendo a una mayor estabilidad y estandarización de los procesos. Asimismo, al eliminar el conteo manual de piezas, se reduce la exposición del personal a tareas repetitivas y potencialmente tediosas, mejorando las condiciones ergonómicas y permitiendo un enfoque en actividades de supervisión y control de calidad.

En términos estratégicos, estos resultados fortalecen la competitividad de la planta al incrementar la capacidad de producción diaria sin necesidad de inversiones en maquinaria adicional, alineándose con los principios de manufactura esbelta e Industria 4.0 orientados a la optimización de recursos existentes y la eliminación de desperdicios.

La Figura 44 presenta una comparación visual de los tiempos requeridos antes y después de la implementación, evidenciando la magnitud de la reducción lograda.

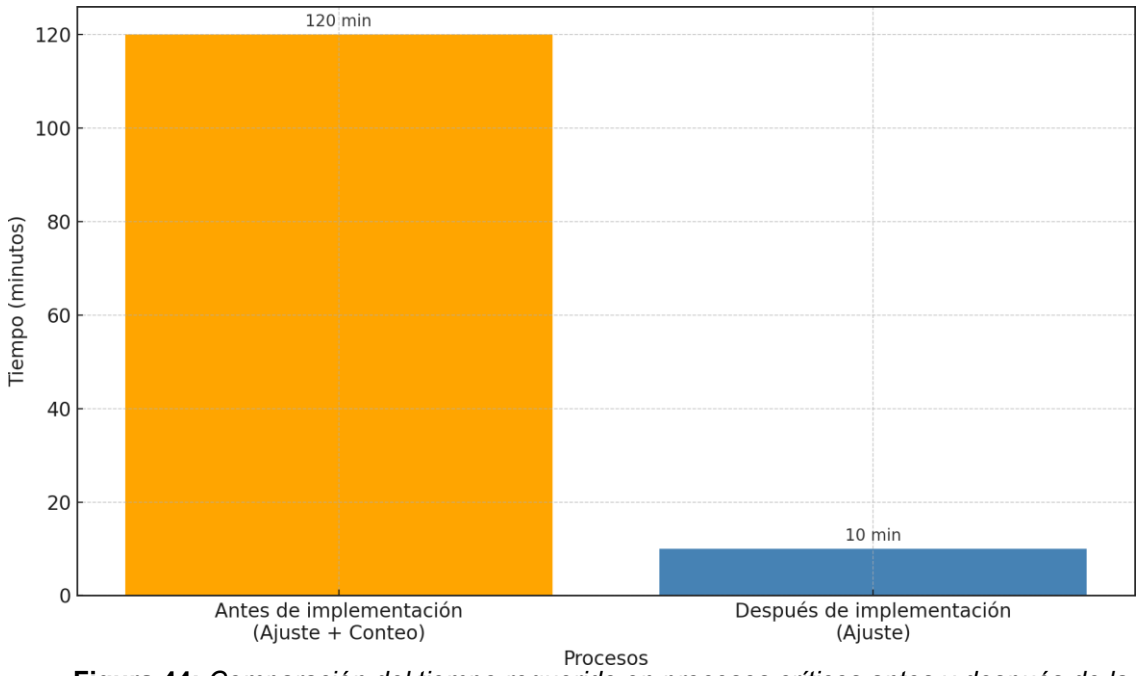


Figura 44: *Comparación del tiempo requerido en procesos críticos antes y después de la implementación.*

4.1.3 Reducción de tiempos muertos

De manera complementaria, la automatización implementada contribuyo´ a una reducción considerable en los tiempos muertos de la máquina Brown & Sharpe. Antes de la intervención, los tiempos muertos alcanzaban hasta 310 minutos por turno, reflejando ineficiencias operativas significativas derivadas de procesos manuales de ajuste, errores en conteo y paros correctivos no programados. Tras la implementación, estos tiempos se mantuvieron consistentemente por debajo de 140 minutos por turno, evidenciando una mejora sustancial en la disponibilidad operativa del equipo.

La Figura 45 muestra la comparación detallada de los tiempos muertos antes y después de la intervención, destacando la magnitud de la disminución lograda y su estabilidad a lo largo de los registros.

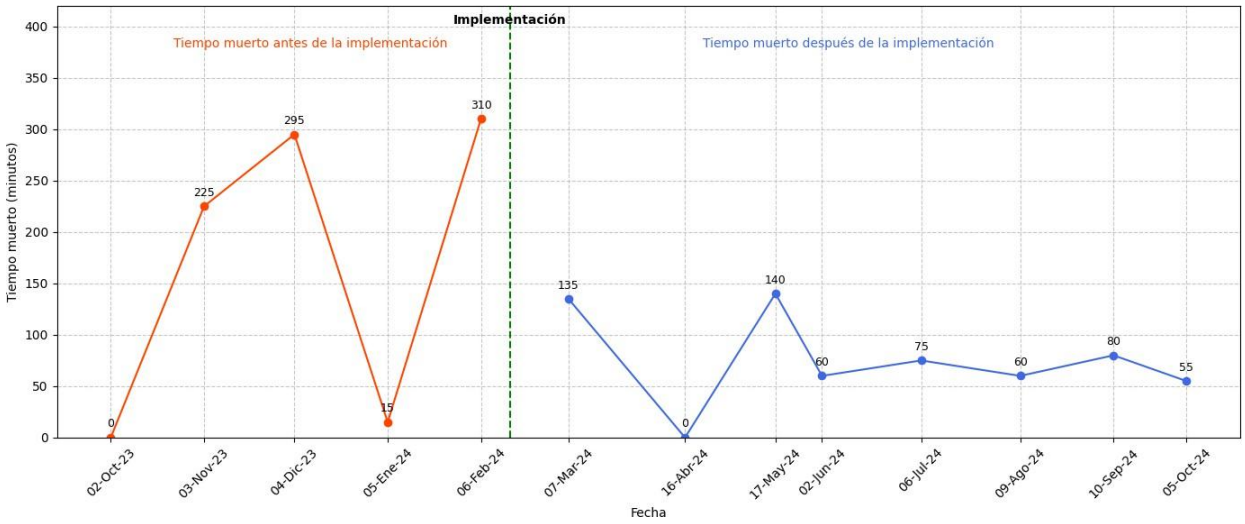


Figura 45: *Comparativa de tiempo muerto antes y después de la implementación.*

Este resultado representa una reducción absoluta de 170 minutos por turno, equivalente a una disminución del 54.8 % en los tiempos improductivos. Considerando el esquema operativo de dos turnos diarios, esta disminución representa un ahorro acumulado de 340 minutos por día, es decir, aproximadamente 5.7 horas diarias de tiempo previamente perdido que ahora se encuentra disponible para actividades productivas.

Operativamente, esto implica que más de la mitad de los paros o detenciones que limitaban la productividad fueron eliminados, permitiendo una mayor utilización efectiva de la máquina dentro de cada turno laboral. Además, la liberación de casi seis horas diarias contribuye directamente a incrementar la capacidad de

producción de la planta sin necesidad de aumentar turnos, personal o inversiones en nueva maquinaria, optimizando los recursos humanos y físicos ya existentes.

Desde un enfoque estratégico, la disminución de tiempos muertos se traduce en una mayor capacidad productiva diaria y mensual, optimizando la utilización de la máquina sin requerir inversiones adicionales en infraestructura o recursos humanos. Este cambio también aporta flexibilidad en la programación de operaciones, permitiendo atender pedidos con menor riesgo de incumplimiento y reduciendo cuellos de botella en procesos subsecuentes. Además, al minimizar detenciones imprevistas, se fortalece la confiabilidad operativa, pues la estandarización de los ajustes y la automatización del conteo eliminaron fallas recurrentes y paros correctivos derivados de configuraciones manuales inadecuadas o errores en el registro de producción.

Por otra parte, la estabilidad mantenida en los tiempos muertos tras la implementación demuestra que la solución no genero únicamente un beneficio puntual, sino que instauro´ un nuevo nivel de desempeño en las operaciones diarias. Este resultado refleja una integración efectiva con los principios de manufactura esbelta y mantenimiento productivo total (TPM), al consolidar prácticas que reducen desperdicios, maximizan la disponibilidad de los equipos y favorecen la eficiencia integral de la planta.

4.1.4 Evolución del indicador OEE

El indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) presento un incremento sostenido a lo largo de los meses posteriores a la implementación, alcanzando niveles de hasta 79 % en octubre de 2024, como se muestra en la Figura 46. Este indicador integra tres factores clave de desempeño: disponibilidad, rendimiento y calidad, ofreciendo una visión holística de la eficiencia global del proceso productivo.

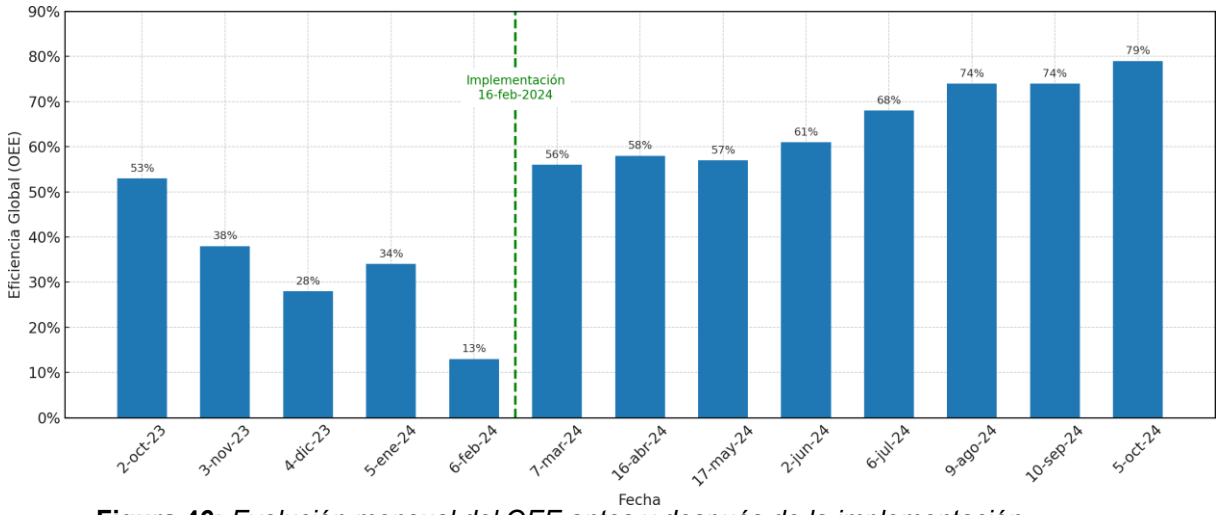


Figura 46: *Evolución mensual del OEE antes y después de la implementación.*

Antes de la implementación, los valores de OEE en la máquina Brown & Sharpe evaluada se mantenían en niveles inferiores al 50 %, reflejando importantes áreas de oportunidad en su desempeño. El aumento hasta un 79 % posterior a la intervención representa un incremento relativo superior al 58 % respecto a su valor base, evidenciando mejoras significativas en cada uno de los componentes que integran este indicador.

Analizando sus causas, se observa que la mejora en disponibilidad fue resultado directo de la reducción de tiempos muertos por paros no programados y de los

ajustes manuales imprecisos que anteriormente generaban interrupciones frecuentes. Por otro lado, el rendimiento se incrementó´ debido a la eliminación de tiempos improductivos asociados al conteo manual y a la estandarización de los ajustes, lo que disminuyó defectos y retrabajos en el proceso. Finalmente, la calidad se mantuvo cercana al 100 %, confirmando que los aumentos en productividad y eficiencia no comprometieron la integridad ni las especificaciones de las piezas producidas.

Desde un enfoque de benchmarking industrial, se considera que un OEE de 85 % o superior corresponde a estándares de clase mundial en eficiencia operativa. Con el valor alcanzado del 79 %, la máquina se encuentra ahora dentro de un rango competitivo elevado, reduciendo la brecha con empresas de manufactura avanzadas y demostrando el impacto positivo de la intervención. Aunque aún existen oportunidades de optimización para alcanzar el estándar internacional, la solución implementada permitió un avance sustancial con una inversión mínima y sin la necesidad de sustituir la maquinaria existente.

Desde una perspectiva estratégica, el aumento en OEE fortalece la confiabilidad de la máquina como activo productivo, facilita la planeación de la capacidad instalada y permite incrementar el volumen de producción sin recurrir a inversiones en nueva maquinaria. Además, este resultado refuerza el alineamiento de la planta con los principios de Industria 4.0, al demostrar que la modernización modular y la integración de tecnologías accesibles pueden generar impactos cuantificables en indicadores clave de desempeño reconocidos internacionalmente.

Los resultados obtenidos mediante el indicador OEE (Efectividad General de Equipos) los cuales son un concentrado promedio de calidad, disponibilidad y rendimiento que se ven en las Figuras 47, 48 y 49, hay un impacto positivo dando resultados por arriba del 70%, considerando que antes de la implementación los resultados estaban por debajo de 50% y su crecimiento se presenta gradualmente.

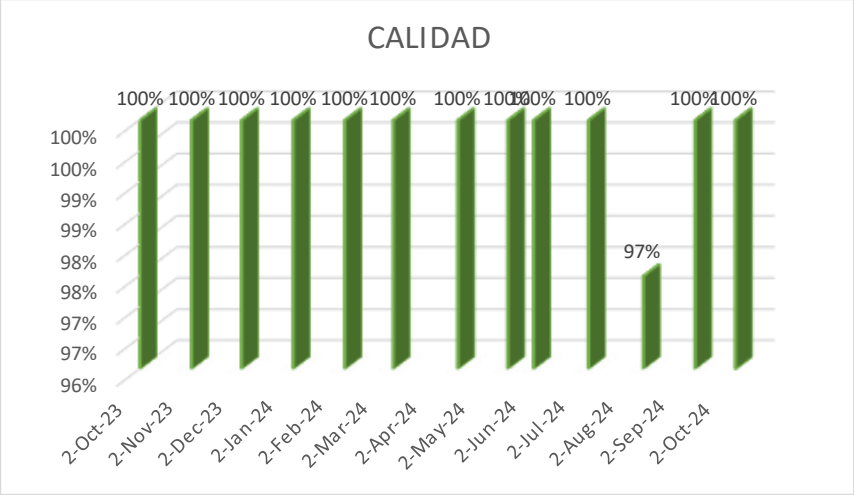


Figura 47 *Resultado mensual de Calidad en maquina piloto (Fuente: elaboración propia)*

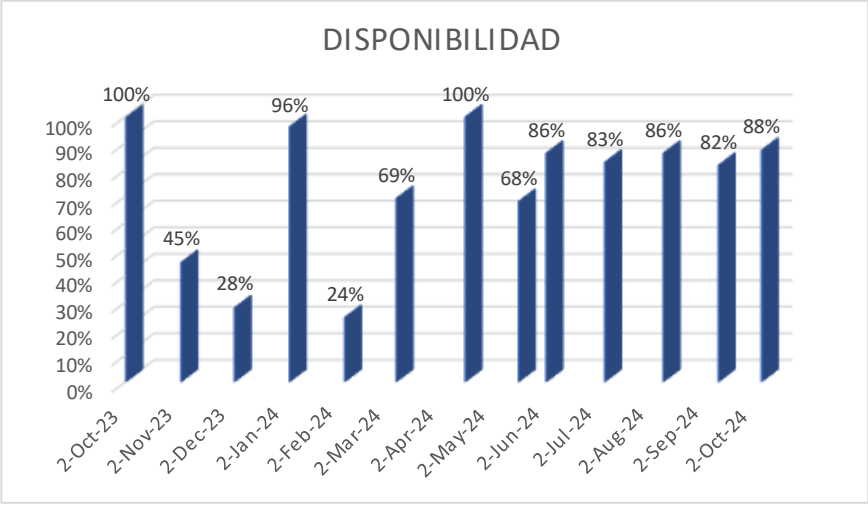


Figura 48 *Resultado mensual de Disponibilidad en maquina piloto (Fuente: elaboración propia)*

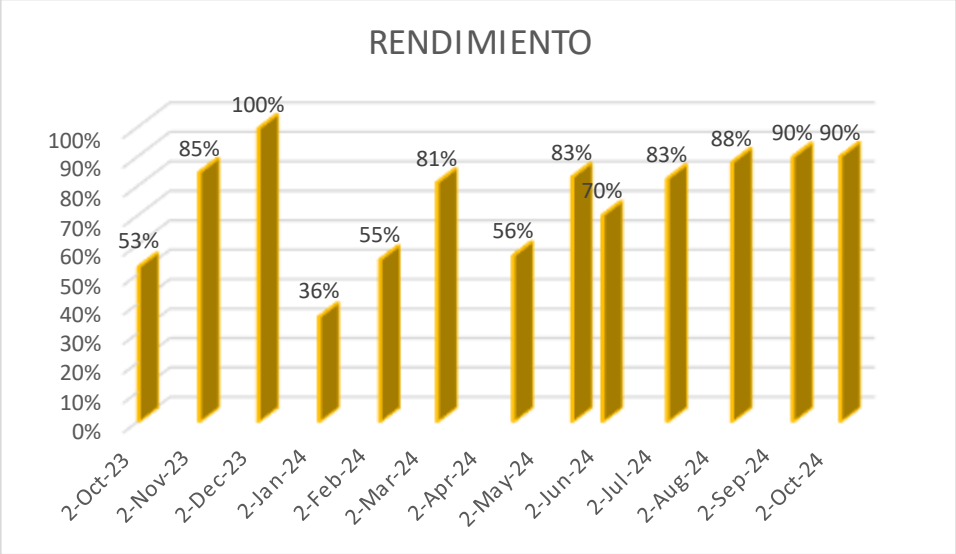


Figura 49 *Resultado mensual de Rendimiento en maquina piloto (Fuente: elaboración propia)*

4.1.5 Disminución de costos por refacciones

Finalmente, la estandarización de procesos y la automatización implementada generaron un impacto económico notable en los costos anuales por refacciones de la máquina Brown & Sharpe. Como se muestra en la Figura 50 y 51 y se desglosa por número de parte en la Tabla 9, los costos disminuyeron de $182,210.31 USD registrados en 2023 a solo $17,182.52 USD en 2024, lo que representa una reducción absoluta de $165,027.79 USD y un ahorro porcentual del 90.6 %. Este resultado evidencia no solo la rentabilidad de la implementación, sino también su contribución directa a la sostenibilidad financiera de la operación. El ahorro generado se explica principalmente por la disminución de daños recurrentes en componentes clave, los cuales previamente eran afectados por errores de ajuste manual o procedimientos no estandarizados que generaban desgaste prematuro, averías o fallas críticas. Con la estandarización del proceso de ajuste mediante el dinamómetro digital y la eliminación de conteos manuales imprecisos, se redujeron

significativamente los errores humanos y los esfuerzos mecánicos incorrectos que comprometían la vida útil de los componentes.

Este ahorro económico tiene implicaciones estratégicas relevantes. Por un lado, libera recursos financieros que pueden ser reinvertidos en programas de mantenimiento preventivo, adquisición de refacciones de mayor calidad, capacitación técnica del personal o en la propia modernización de otros equipos. Por otro lado, fortalece la competitividad de la planta al disminuir sus costos operativos totales, mejorando su margen de rentabilidad sin necesidad de aumentar precios de venta o reducir la calidad de los productos.

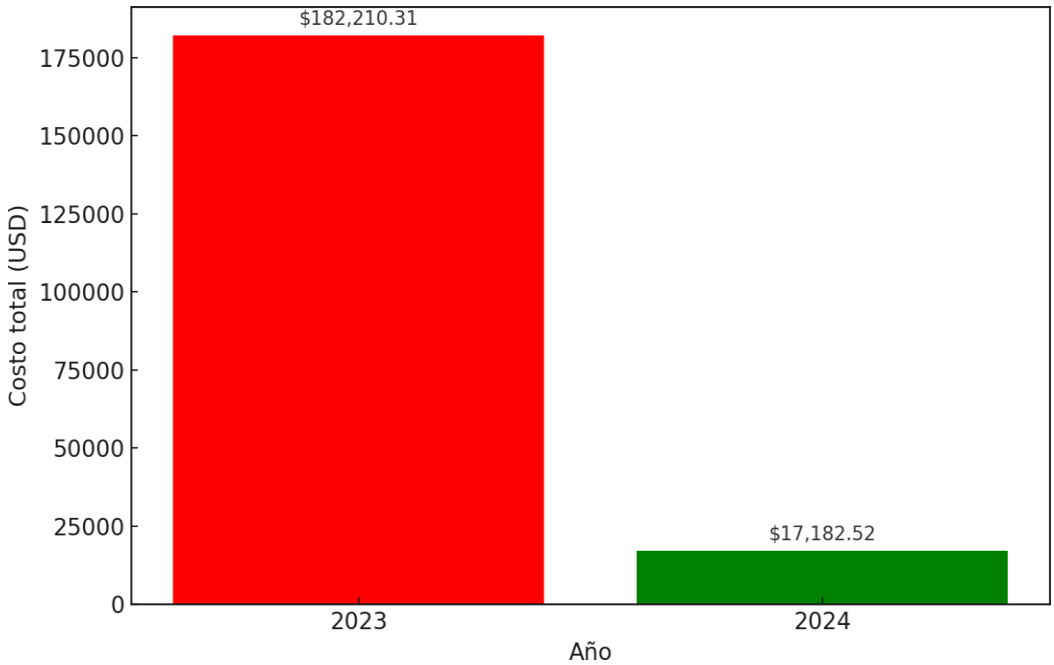


Figura 50: *Reducción de costos anuales por refacciones tras la implementación.*

Tabla 8

Comparativa de piezas dañadas por año y gastos totales (Fuente: elaboración propia)

NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	QTY 2022	$	QTY 2023	$	QTY 2024	$	TOTALES
42-12525		41	$ 820.00	444	$ 8,880.00			485
42-12544-5				17	$ 5,015.00			17
42-13382	CHUCK FORK SLEEVE							0
42-13382-1-99	CHUCK FORK SLEEVE			7	$ 10,847.20	1	$ 1,742.92	8
42-15076	CHUCK LEVER FULCRUM							0
42-15198-99	CHUCK LEVER	5	$ 232.50	644	$ 29,946.00	15	$ 899.25	664
42-15216	CHUCK LEVER							0
42-15600-1-99				16	$ 12,400.00			16
42-15604	CHUCK FORK SLEEVE							0
42-16321				7	$ 4,765.25			7
42-16409-5-99	SPINDLE 1/2 IN			3	$ 11,250.00	3	$ 12,455.85	6
42-16427	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE							0
42-16427-99	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE			77	$ 6,437.20	10	$ 914.50	87
42-16523-1				8	$ 4,943.60			8
42-16572-2	CHUCK FORK SLEEVE			11	$ 6,325.00	2	$ 1,170.00	13
42-18636	CHUCK LEVER FULCRUM SHOE							0
42-19650								0
42-19669				2	$ 3,987.00			2
42-7465-99	CHUCK LEVER FULCRUM			8	$ 6,119.52			8
#10 1/4	COLLETS			192	$ 16,704.00			192
#10 5/16	COLLETS			249	$ 21,663.00			249
1 3/4 X 5/8 X .062 48 ATC		9	$ 630.00	44	$ 3,080.00			53
92-5010-832		5	$ 1,205.00	27	$ 6,642.00			32
BFI-1922		2	$ 514.76	23	$ 5,919.74			25
H01270A		7	$ 362.25	109	$ 5,640.75			116
BFI-2029		2	$ 514.00	17	$ 4,369.00			19
H01900A		56	$ 3,670.80	111	$ 7,276.05			167
			$ 7,949.31		$ 182,210.31		$ 17,182.52	
					$		207,342.14	

TOTAL EN DOLARES	$	207,342.14
TOTAL EN PESOS MEXICANOS	$	4,146,842.80

PROYECCION GASTOS 2024		
$182,210.31	$ 95,900.16	$ 1,726,202.94
38	20	

Además, la magnitud del ahorro evidencia la efectividad de intervenciones de bajo costo y alta ingeniería, como la aquí presentada, para resolver problemas operativos históricos en maquinaria legacy. Este resultado demuestra que la modernización modular con soluciones accesibles no solo genera beneficios en productividad y eficiencia, sino también en la sostenibilidad financiera y en la extensión de la vida útil de los activos, contribuyendo al logro de objetivos

estratégicos de rentabilidad, sostenibilidad y competitividad en entornos industriales altamente demandantes.

$$Porcentaje\ reducido = 100 - \left(\frac{100}{182210.31} * 17182.52\right) = 90.6\%$$

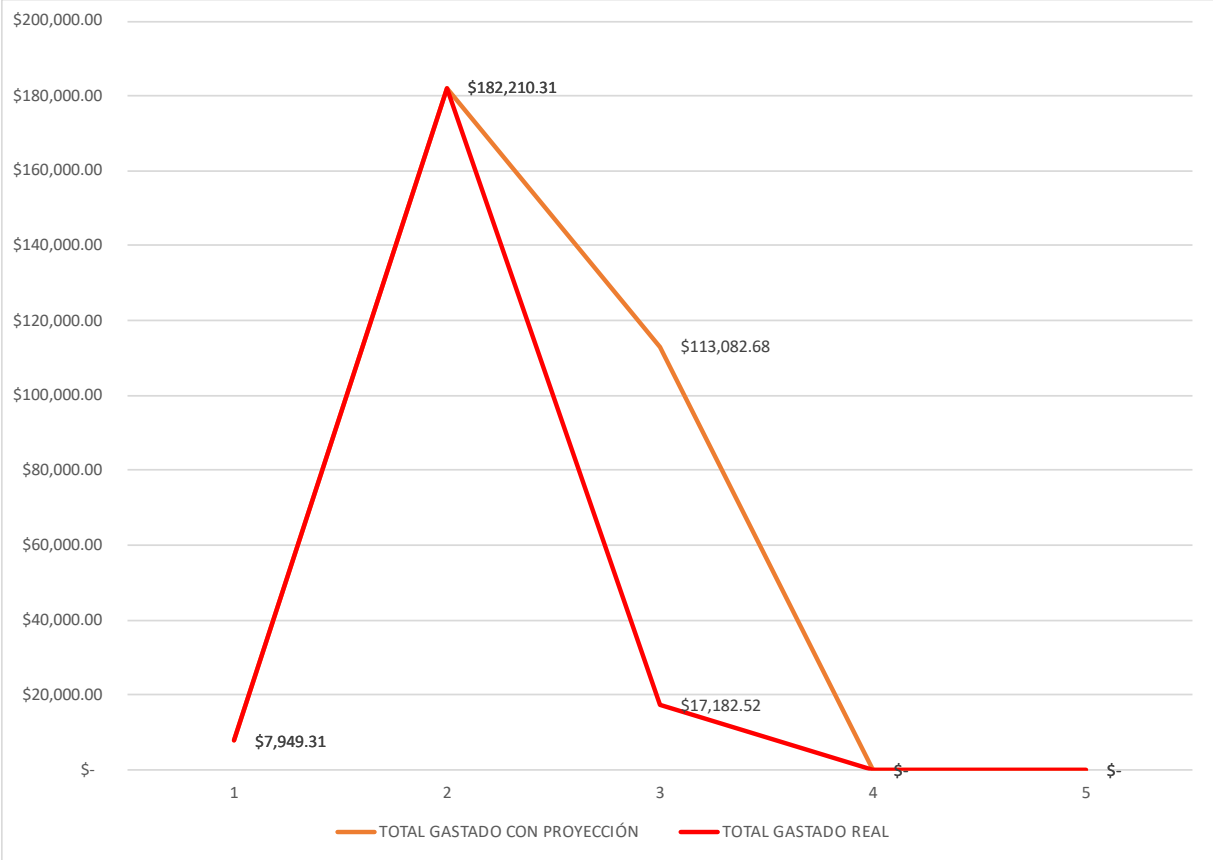


Figura 51 *Grafica comparativa de gasto en piezas dañadas a año 2024 (Fuente: elaboración propia)*

4.1.6 Precisión en conteo de sensor vs bascula

Se obtiene además resultados de las pruebas de conteo un margen de error menor al 1%, comparando con la báscula tradicional que tiene un margen del 5%, lo que se explica como una reducción en margen de error mayor al 80%, tal como se aprecia en la Figura 52.

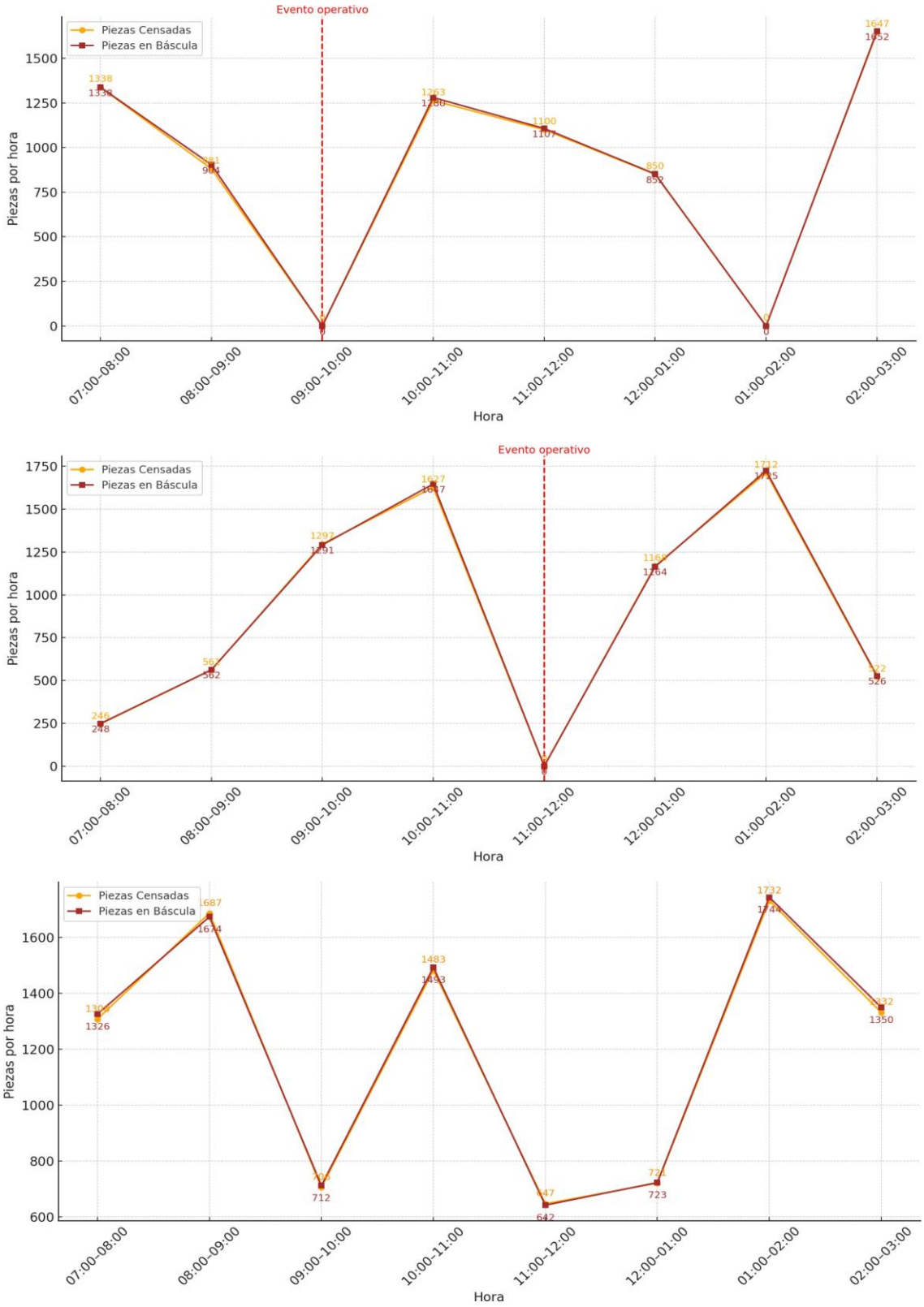


Figura 52: *Precisión horaria entre piezas censadas y piezas en bascula del 16 al 18 de febrero de 2024*

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La tecnología en la industria juega un papel muy importante y el implementarla para mejorar y optimizar los procesos es unos de los propósitos de toda compañía, como es de esperar toda empresa se encuentra con retos y constantes actualizaciones para poder ser compatible y cumplir con las expectativas y estándares de la fuerte demanda.

La Industria 4.0 juega un papel muy importante en estos sectores y gracias a esta revolución industrial es que las empresas se ven interesadas y necesitan implementar tecnología y actualización en todos sus procesos, ya que, al optimizar tiempo, tenemos como respuesta mayor aprovechamiento de los recursos y esto se refleja en productividad y eficiencia.

Bajo los principios de la industria 4.0 y de sus tecnologías emergentes, al mejorar las herramientas con las que contamos y modernizar nuestra operación en base a automatización surge una transformación y un paso hacia el desarrollo.

Estas máquinas como se ha mencionado anteriormente cuentan con aproximadamente 50 años trabajando y muy pocas en la república mexicana pero requeridas para los trabajos específicos que se pueden realizar, por lo que esta implementación es muy favorable y benéfico para modernizar este tipo de maquinaria que en su defecto son manuales y procesos automatizados.

Con la implementación del dispositivo contador automático y el dispositivo de apoyo para ajustes manuales, se tienen los resultados esperados, teniendo un ahorro significativo en tiempo (reducción de tiempo de procesos) y esto a su vez el mayor producción y menores gastos.

Aun se tiene mucha área de oportunidad en implementaciones futuras para seguir el enfoque de los principios tecnológicos aterrizados en este trabajo por lo que la evidencia obtenida será primordial para continuar con el flujo de proyecciones y recomendaciones.

Los resultados de este estudio confirman que la modernización de maquinaria convencional mediante soluciones tecnológicas accesibles no solo es factible, sino altamente efectiva en contextos industriales con recursos limitados. La propuesta desarrollada destaca por su originalidad, al demostrar que equipos Brown & Sharpe con más de cinco décadas de antigüedad pueden integrarse gradualmente a esquemas de Industria 4.0 sin necesidad de reemplazo completo de infraestructura. Desde una perspectiva metodológica, la investigación aporta un modelo estructurado de intervención que abarca diagnóstico técnico, selección de tecnologías, integración modular y validación cuantitativa, ofreciendo un marco replicable para futuras implementaciones en maquinaria legacy Prácticamente, la automatización de procesos críticos como el ajuste de herramientas y el conteo de piezas generó mejoras sustanciales, incluyendo un incremento promedio mensual del 111 % en la producción, reducción significativa de tiempos muertos a menos de

140 minutos por turno y disminución superior al 90 % en costos anuales por refacciones.

Asimismo, la solución propuesta promueve la sostenibilidad operativa, extendiendo la vida útil de la maquinaria y reduciendo el desperdicio asociado a fallas recurrentes, lo cual contribuye a los objetivos de producción responsable y consumo eficiente. Su escalabilidad se evidencia en la proyección de impacto económico al replicarse en las 48 máquinas similares de la planta, generando un ahorro potencial superior a los $7.9 millones USD anuales. Además, el enfoque modular facilita la transferencia tecnológica, pues puede ser adaptado con mínimas modificaciones a otros sectores industriales como textil, alimentario o plásticos, promoviendo la democratización de la automatización industrial en PYMES.

En conjunto, este trabajo valida un camino realista, rentable y replicable para avanzar hacia la Industria 4.0, fortaleciendo la competitividad y sostenibilidad del sector manufacturero mexicano y latinoamericano mediante la innovación tecnológica accesible y la integración progresiva de sistemas ciber físicos.

5.2. Recomendaciones

Para ampliar la investigación y trabajos realizados en el desarrollo de esta tesis, y, con base en las pruebas, resultados y conclusiones obtenidas, se sugieren las siguientes recomendaciones a realizar en el futuro.

- Replicar esto en las 48 máquinas restantes
- Que todo el personal de nuevo ingreso cuente con la capacitación adecuada para poder operar.
- Mantenimiento y revisiones periódicas a los dispositivos
- Los ajustes de calibración los realice personal de mantenimiento o personal operativo capacitado y especializado.
- Seguir aplicando tecnología compatible a lo implementado.
- Documentar todos los resultados obtenidos para seguir teniendo antecedentes.
- Implementar IoT.
- Continuar con mejoras de procesos relacionados.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Al-Ahmad, M., Yang, S., Tian, Y., Christoforidis, G., Gao, J., and Qin, Y. (2023). *Upgrading conventional production lines through implementing an industry 4.0 strategy*. In Advances in Manufacturing Technology XXXVI, pages 126–131. IOS Press.

Aracil, C., Sziebig, G., Korondi, P., Oh, S., Tan, Z., Ruderman, M., He, W., Ding, L., Luo, H., Yin, S., et al. (2021). *Toward smart systems: Their sensing and control in industrial electronics and applications*. IEEE Industrial Electronics Magazine, 15(1):104–114.

Averyanov, A., Aheleroff, S., Polzer, J., and Xu, X. (2022). *Digitising a machine tool for smart factories. Machines*, 10(11):1093.

Balta, E. C., Mamduhi, M. H., Lygeros, J., and Rupenyan, A. (2022). *Controller-aware dynamic network management for industry 4.0.* In IECON 2022–48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pages 1–6. IEEE.

Biswal, D. K., Mohamed, A., Muduli, K., and Moharana, B. R. (2023). *An observational investiga- tion of the link between oee measures in a manufacturing industry*. In International Conference on Recent Advances in Mechanical Engineering Research and Development, pages 313–320. Springer.

Buenrostro Mercado, E. (2022*). Propuesta de adopción de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en las pymes mexicanas.* Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento, 10(24).

De Lucas Ancillo, A., Gavrila, S., Fernández del Castillo Díez, J. R., and Corro Beseler, J. (2022). *Latam and spanish sme barriers to industry 4.0*. Academia Revista Latinoamericana de Administración, 35(2):204–222.

Del Pizzo, F., Quaciari, C., Giannuzzi, G. M., Colangeli, F., Pecoraro, G., Aluisio, B., Calderaro, V., Galdi, V., and Graber, G. (2024). *Overall equipment effectiveness (oee) methodology applied to the tso: State-of-the-art and prospects*. In 2024 AEIT International Annual Conference (AEIT), pages 01–06. IEEE.

Denisa, M., Ude, A., Simonič, M., Kaarlela, T., Pitkäaho, T., Pieskä, S., Arents, J., Judvaitis, J., Ozols, K., Raj, L., et al. (2023). *Technology modules providing solutions for agile manufacturing. Machines*, 11(9):877.

Ghobakhloo, M. (2018). *The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0*. Journal of manufacturing technology management, 29(6):910–936.

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., and Amran, A. (2022). *Drivers and barriers of industry 4.0 technology adoption among manufacturing smes: a systematic review and transformation roadmap. Journal of Manufacturing Technology* Management, 33(6):1029– 1058.

Huang, G., Chen, J., and Khojasteh, Y. (2021). *A cyber-physical system deployment based on pull strategies for one-of-a-kind production with limited resources. Journal of intelligent manufacturing*, 32:579–596.

Iacovone, L., Munoz Moreno, R., Olaberria, E., and Pereira Lopez, M. (2022). *Productivity growth in mexico*. World Bank, Washington DC.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., and Suman, R. (2021*). Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. Sensors International*, 2:100110.

Ji, Z., Pons, D., Su, Z., Lyu, Z., and Pearse, J. (2022). *Integrating occupational health and safety risk and production economics for sustainable sme growth. Sustainability*, 14(21):14565.

Lyu, L., Guan, X., Cheng, N., and Shen, X. S. (2023). *Sensing and control oriented transmission for industrial network systems. In Advanced Wireless Technologies for Industrial* Network Systems, pages 73–111. Springer.

Maldonado-Gómez, G., Tomás-Miquel, J. V., and Vicedo, J. C. (2025*). Adopción de la industria 4.0 en el contexto latinoamericano: análisis de barreras en méxico*. CIENCIA ergo-sum, 32.

Masmoudi, E., Piétrac, L., and Durieux, S. (2023*). A literature review on the contribution of industry 4.0 technologies in oee improvement. In International Conference on Decision Support System Technology*, pages 69–79. Springer.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to tpm: total productive maintenance*. (translation). Productivity Press, Inc., 1988,, page 129.

Adolph, R., and Joyanes, L. (2016). *Industria 4.0 La cuarta revolución industrial.*

Aguilar, L. J. (2015). *La nube (cloud computing)*.

Astuti, S. I., Arso, S. P., and Wigati, P. A. (2015). *Industrias manufactureras*. Analisis Standar Pelayanan Minimal Pada Instalasi Rawat Jalan Di RSUD Kota Semarang, 3, 103–111.

Barona López, G., and Velasteguí, L. E. (2021). *Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 84–101. https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80

Bejerano, R. F. (2005). *Gestión de la innovación.*

Blanco, R., Fontodrona, J., and Poveda, C. (2017). *La industria 4.0: El estado de la cuestión. Economía Industrial*, 406, 151–164.

Dolors, E. (2011). *Diferencias entre PNP y NPN Apuntes Técnicos Tecnical Manresa Igualada.* 0–1. https://www.tecnical.cat/apunts-tecnics/cas-diferencias-entre-pnp-y-npn-apuntes-tecnicos-tecnical-manresa-igualada.pdf

Eduardo, D., and López, A. (2024). *Propuesta de mejora continua en el área de producción de la purificadora “yaató” con la estrategia kaizen.*

Eraso Guerrero, O. (2008). *Procesos De Manufactura En Ingenieria Industrial*. 1–173.

Rondón, F. A. P. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.* https://repository.usta.edu.com/

García Alcaraz, J. L., Romero González, J., and Noriega Morales, S. A. (2012). *El éxito del mantenimiento productivo total y su relación con los factores*

administrativos.Contaduría y Administración, 57(4), 173–196. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2012.168

Jablonsky, J., and Skocdopolova, V. (2017). *Análisis y Optimización del Proceso de Producción en una Empresa Procesadora de Leche*. Informacion Tecnologica, 28(4), 39–46. https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400006

Jorge Dagnino, S. (2014). *Análisis de varianza. Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), 306–310. https://doi.org/10.2307/j.ctvvn8k0.7

Luz, Z., González, M., and León, V. C. De. (2020). *Mejora Continua en una empresa en México : estudio desde el ciclo Deming.* 92.

Mendoza-Arvizo U., y Solís-Rodríguez, F. Th. (2022). *Calidad, conocimiento e innovación de procesos de manufactura en Ciudad Juárez, México*. Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 12(23), pp. 83-109. https://doi.org/10.17163/ret.n23.2022.05

Omron. (n.d.). *SENSORES INDUSTRIALES BÁSICOS Sensores de Proximidad Inductivos Principio de Funcionamiento.*

Osorio, J. E. (2019). *Work stress : a review study Resumen Introducción.* 13(1), 81–90.

Peralta-abarca, J. C., Martínez-bahena, B., and Enríquez-urbano, J. (2020). *Industria 4.0*. 1760.

Pillado, M. (2022). *Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas.* 12. https://doi.org/https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218

Ramírez-estrada, R. C., Hernández-sánchez, A. L., Hernández-sánchez, A. L., Aguilar-díaz, D. A., and Pérez-sánchez, J. M. (2024). *Sensores y tipos de sensores Sensors and types of sensors.* 11(21), 50–52.

Ramírez Méndez, G. G., Magaña Medina, D. E., and Ojeda López, R. N. (2022). *Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la*

producción científica. Trascender, Contabilidad Y Gestión, 8(20), 189–208. https://doi.org/10.36791/tcg.v8i20.166

Ray, I., Gómez, D., and Mg, C. (2022). *Optimización de los procesos operativos de la empresa Promacero de la ciudad de Pelileo, mediante la aplicación de la metodología 5's*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(2), 1241–1251. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1949

Salas-Arias, K. M., Madriz-Quirós, C. E., Sánchez-Brenes, O., Sánchez-Brenes, M., and Hernández-Granados, J. B. (2017). *Modelos de Cuantificación de Error Humano aplicados en la Industria de Manufactura Moderna (Revisión literaria)*. Revista Tecnología En Marcha, 30(2), 66. https://doi.org/10.18845/tm.v30i2.3197

Tello Condor, Á. M., Ulloa Enríquez, M., and Allayca Guambo, F. E. (2023). *Metodología Deming (PHVA) en el mejoramiento de procesos productivos en la Empresa ¨Inoxidables Élite¨ de la ciudad de Riobamba* – Ecuador. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4(3), 943–953. https://doi.org/10.56712/latam.v4i3.1124

Ummah, M. S. (2019). *Aprendiendo kaizen.* In Sustainability (Switzerland) (Vol. 11, Issue 1). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf.

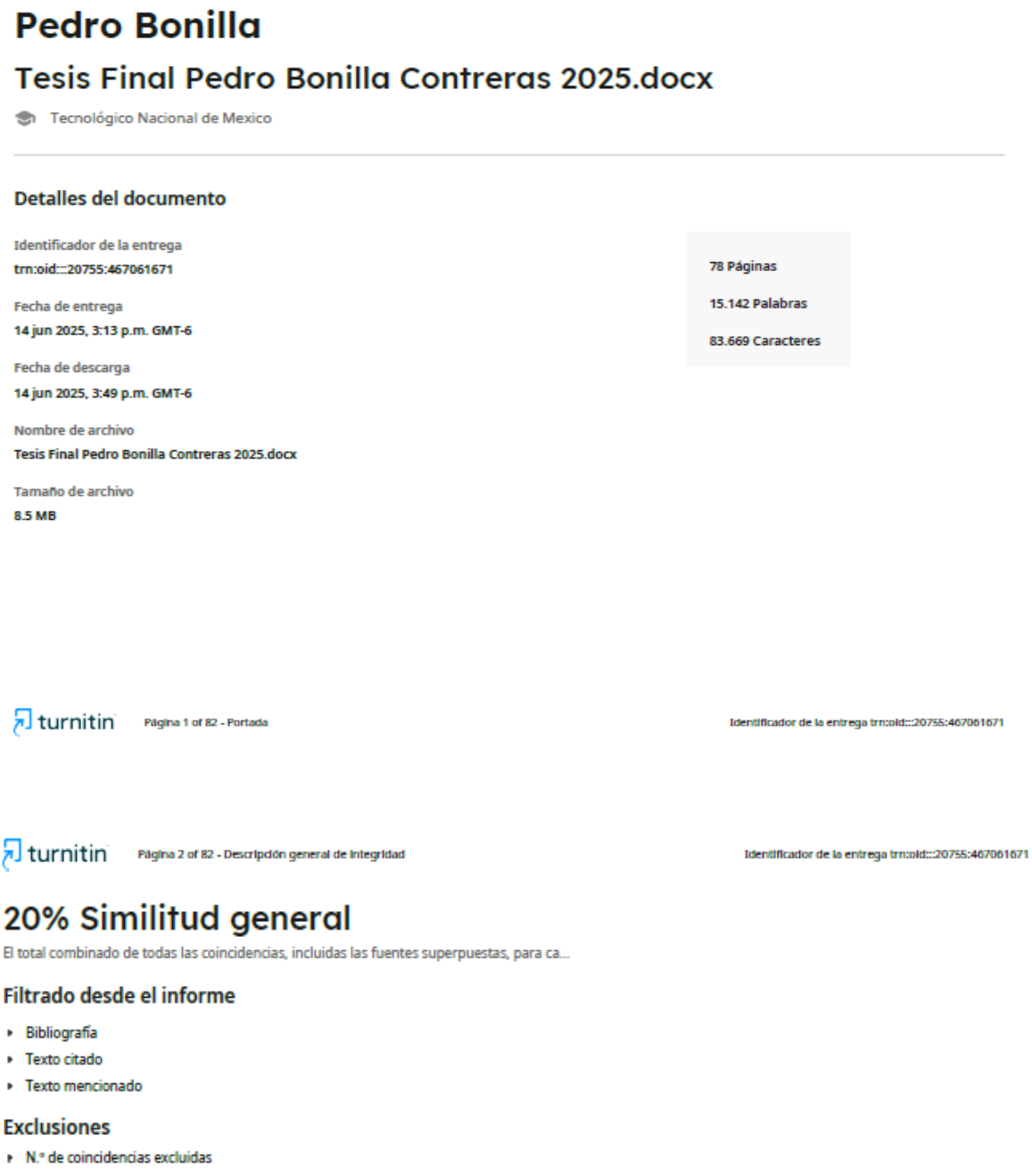
Uriel, C., and Rosas, R. (2019). *Capacitación y adiestramiento Development and Training*. 11(11), 64–69.

Yaret, D., Vargas, R., Contreras, E. R., Mitre, D. R., and Hern, J. (2019). *Beneficios de la reestructuración u optimización de proceso*. 11(6), 2163–2169.

Yenque D., J., García P., M., and Raez G., L. (2014). *Kaizen 0 La Mejora Continua. In Industrial Data* (Vol. 5, Issue 1, p. 62). https://doi.org/10.15381/idata.v5i1.6694

Fathi, A., Azizian, S., & Sharifan, N. (2016). *Sensors and amplifiers. In Advances in computer and electrical engineering book series* (pp. 423–504). https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0736-9.ch016

ANEXOS



Pedro Bonilla

Tesis Final Pedro Bonilla Contreras 2025.docx

Tecnológico Nacional de Mexico

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::20755:467061671

Fecha de entrega
14 jun 2025, 3:13 p.m. GMT-6

Fecha de descarga
14 jun 2025, 3:49 p.m. GMT-6

Nombre de archivo
Tesis Final Pedro Bonilla Contreras 2025.docx

Tamaño de archivo
8.5 MB

78 Páginas

15.142 Palabras

83.669 Caracteres

turnitin Página 1 of 82 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::20755:467061671

turnitin Página 2 of 82 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::20755:467061671

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Figura 53 *Constancia de No plagio mediante software Turnitin*