

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR LOS INDICADORES DE EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS (OEE) DE UNA CABINA DE PINTADO DE ENVASES DE VIDRIO, LIMA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Miguel Angel Diaz Acuña
Juan Jose Levano Leonardo

Asesor:

Mg. José Augusto Estrada Palacios

Lima - Perú

2021



ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Mg. José Augusto Estrada Palacios, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Diaz Acuña Miguel Angel
- Levano Leonardo Juan Jose

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: para aspirar al título profesional de: Ingeniero Industrial por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

Mg. José Augusto Estrada Palacios
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Miguel Angel Diaz Acuña y Juan Jose Levano Leonardo para aspirar al título profesional de Ingeniero Industrial con la tesis denominada: IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA OPTIMIZAR LOS INDICADORES DE EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS (OEE) DE UNA CABINA DE PINTADO DE ENVASES DE VIDRIO, LIMA 2021.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a nuestros padres por su constancia para con nosotros, sus enseñanzas y por habernos formado como unas personas de bien, ya que esto nos motivó a seguir esforzándonos y dar todo de nosotros para ser excelentes profesionales.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra universidad por ayudarnos con las modalidades de estudios que brinda (tanto presencial como virtual) y que nos permite gran accesibilidad a una educación de calidad.

Del mismo modo a nuestros profesores por la calidad de su enseñanza y compromiso con el fin de brindarnos los conocimientos necesarios para nuestro desarrollo personal y profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática.....	12
Antecedentes	20
Antecedentes Internacionales	20
Antecedentes Nacionales	21
Definiciones conceptuales.....	23
Automatización	23
OEE (Efectividad global de equipos).....	23
Disponibilidad	23
Rendimiento	24
Calidad.....	24
HMI	24
PLC	25
Jidoka.....	25
1.2. Formulación del problema	26
1.3. Objetivos	26
1.3.1. Objetivo General	26
1.4. Hipótesis	27
1.4.1. Hipótesis general	27
1.4.2. Hipótesis específicas	27
1.5. Justificación	28
1.5.1. Justificación teórica.....	28
1.5.2. Justificación metodológica.....	29
1.5.3. Justificación práctica	29
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	30
2.1. Metodología de la investigación	30

2.1.1. Tipo de investigación.....	30
2.1.2. Diseño de la investigación	30
2.1.3. Matriz de consistencia.....	30
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	32
2.2.1. Población.....	32
2.2.2. Muestra	32
2.3. Técnicas, instrumentos y recolección de datos	33
2.4. Procedimiento	35
2.5. Desarrollo.....	38
2.5.1. Diagnóstico de la situación actual de cabina de pintado	38
2.5.2. Implementación de una nueva interfase grafica	54
2.5.3. Implementación un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema.....	60
2.5.3.1.Programación del PLC.....	60
2.5.4. Aplicación de la metodología Jidoka	65
2.6. Aspectos éticos	67
CAPÍTULO III. RESULTADOS	68
3.1. Mejora del sistema automatizado para optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.	68
3.2. Diseño y configuración de una nueva interfaz gráfica de monitoreo y control para mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio	70
3.3. Implementación del nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema, para mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio.....	73
3.4. Mejora del sistema automatizado para optimizar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio implementando la metodología Jidoka.	75
3.5. Beneficios económicos de la mejora.....	77
3.5.1. Beneficio económico por utilizar los recursos de la empresa para la implementación.....	77
3.5.2. Beneficio económico por mejora de la disponibilidad	77
3.5.3. Beneficio económico por mejora del rendimiento.....	78
3.5.4. Beneficio económico por mejora de la calidad	79
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	80
4.1. Discusión	80
4.2. Conclusiones	85
REFERENCIAS	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de correlación.....	15
Tabla 2. Matriz de consistencia	31
Tabla 3. Población de personas	32
Tabla 4. Tecnicas e instrumentos	33
Tabla 5. Valoración de la confiabilidad.....	35
Tabla 6. Confiabilidad del cuestionario - Alfa de Cronbach	35
Tabla 7. Propuesta económica de terceros.....	36
Tabla 8. Costos de propuesta interna.....	36
Tabla 9. Disponibilidad de enero a diciembre 2020.....	38
Tabla 10. Rendimiento de enero a diciembre 2020	40
Tabla 11. Calidad de enero a diciembre 2020	42
Tabla 12. Eficiencia global de equipos de enero a diciembre 2020	43
Tabla 13. Resultados de guía de observación directa – Proceso de pintado, operación y mantenimiento	44
Tabla 14. Encuesta – El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de botellas de vidrio	45
Tabla 15. Encuesta – Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas	46
Tabla 16. Encuesta – La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub-sistemas.....	47
Tabla 17. Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado	48
Tabla 18. Encuesta – Se cuenta con formatos de toma de tiempos perdidos	49
Tabla 19. Encuesta – El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad.....	49
Tabla 20. Encuesta – El equipo de producción domina la operación de la cabina de pintado	50
Tabla 21. Encuesta – El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado.....	51
Tabla 22. Encuesta – El equipo de mantenimiento reconoce rápidamente donde se generan las fallas	52
Tabla 23. Encuesta – El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la corrección de fallas.....	53
Tabla 24. Resultado de lluvia de ideas de defectos en calidad de botellas pintadas	65
Tabla 25. OEE después de la mejora.....	67
Tabla 26. Prueba t de Student de los indicadores de la OEE antes y después de la implementación de la mejora del sistema automatizado	68
Tabla 27. Tiempos de seteos de proceso	69
Tabla 28. Disponibilidad después de la mejora	71
Tabla 29. Prueba t de Student de la optimización de la disponibilidad antes y después de la implementación de la mejora del sistema automatizado	71
Tabla 30. Rendimiento después de la mejora	73
Tabla 31. Prueba t de Student de la optimización de la funcionalidad antes y después de la implementación de la mejora del sistema automatizado	73
Tabla 32. Calidad después de la mejora	74
Tabla 33. Prueba t de Student de la optimización de la calidad antes y después de la implementación de la mejora del sistema automatizado	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de causas y efectos.....	13
Figura 2. Diagrama de Pareto.....	16
Figura 3. Coeficiente de Cronbach.....	34
Figura 4. Disponibilidad de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020	38
Figura 5. Total de paradas de maquina.....	39
Figura 6. Rendimiento de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020	40
Figura 7. Calidad de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020.....	41
Figura 8. Eficiencia global de equipos de cabina de pintado de enero a diciembre 2020..	42
Figura 9. Guía de observación directa – Proceso de pintado, operación y mantenimiento	43
Figura 10. Encuesta - El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de botellas de vidrio.....	44
Figura 11. Encuesta – Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas.....	45
Figura 12. Encuesta – La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub- sistemas.....	46
Figura 13. Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado	47
Figura 14. Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado	48
Figura 15. Encuesta – El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad.....	49
Figura 16. Encuesta – El equipo de producción domina la operación de la cabina de pintado	50
Figura 17. Encuesta – El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado	51
Figura 18. Encuesta – El equipo de mantenimiento reconoce rápidamente donde se generan las fallas	52
Figura 19. Encuesta – El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la corrección de fallas	53
Figura 20. Equipo C7-613 de Siemens.....	54
Figura 21. Pantalla principal	55
Figura 22. Pantalla de seteo de velocidades.....	55
Figura 23. Pantalla de seteo de pistolas de estación 1.....	56
Figura 24. Pantalla de seteo de pistolas de estación 2.....	56
Figura 25. Pantalla de seteo de flameador.....	57
Figura 26. Pantalla de visualización de fallas y alarmas del proceso.....	57
Figura 27. Pantalla de visualización de comportamiento de entradas y salidas del PLC...	58
Figura 28. Pantalla de visualización de contador de frascos y velocidad de cadena.	58
Figura 29. Partes del PLC siemens S7-1200	59
Figura 30. Bloques de programación Tia Portal V15.....	60
Figura 31. Diagrama de flujo para encendido de motores	61
Figura 32. Diagrama de flujo para encendido de motores	63
Figura 33. Condición de parada de producción.....	65
Figura 34. Diagrama de ubicación	66
Figura 35. Comparación de resultados años 2020 versus 2021.	68
Figura 36. Tiempos de seteo por operador.....	70
Figura 37. Comparación de costos de producción	76
Figura 38. Comparación de costos de producción	77
Figura 39. Comparación de costos de producción	77
Figura 40. Comparación de costos de producción	78

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad optimizar los indicadores de eficiencia global de equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio. La metodología de la investigación es de tipo cuantitativa y de diseño cuasi-experimental.

Se encontró múltiples falencias en la cabina de pintado de envases de vidrio como demoras en cambios de referencias debido a una interfase poco intuitiva y en idioma alemán, paradas imprevistas por fallas eléctricas, y mermas ocasionadas por el mal funcionamiento de la cabina, además de la carencia de alarmas y fallas en el sistema automatizado.

En respuesta a esta problemática se presenta una propuesta de mejora del sistema automatizado que se dividió en 2 etapas, la etapa 1 inicia con el diagnóstico de la situación actual de la cabina de pintado donde se obtuvo un OEE inicial de 63.2% en el año 2020, en la etapa 2 se propone la mejora del sistema automatizado, iniciando con el diseño y configuración de una nueva interfase gráfica para mejorar la disponibilidad, seguido por la implementación de un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema para mejorar el rendimiento y finalizando por la implementación de herramientas Lean para mejorar la calidad. Asimismo, durante el trabajo se encontraron limitaciones como: Poco acceso a imágenes del proceso, limitante de tiempo por la pandemia del Covid-19, pocas investigaciones con ambas variables de estudio, etc.

Al aplicar la propuesta se obtuvo como resultado un aumento en el OEE del 24,8% con respecto al año 2020, pasando de un nivel malo y con baja competitividad con 63.2% a obtener un nivel muy bueno y con buena competitividad con un 88% de OEE. Por tal razón se concluye que los resultados arrojados después de la propuesta de mejora fueron satisfactorios.

Palabras clave: Automatización, OEE, disponibilidad, rendimiento, calidad, Jidoka.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to optimize the overall equipment efficiency indicators (OEE) of a glass container spray booth. Likewise, the methodology of this research is quantitative and quasi-experimental in design.

Multiple shortcomings were found in the glass container spray booth, such as delays in reference changes due to an unintuitive interface and in German language, unexpected stops due to electrical failures and losses caused by the malfunction of the booth, also the lack of alarms and failures in the automated system.

In response to this problem, a proposal for improvement of the automated system is presented, which was divided into 2 stages, stage 1 begins with the diagnosis of the current situation of the spray booth where an initial OEE of 63.2% was obtained in 2020, in stage 2 the improvement of the automated system is proposed, starting with the design and configuration of a new graphical interface to improve availability, followed by the implementation of a new control system through PLC maintaining the functionality of the system to improve performance and ending with the implementation of the Jidoka methodology to improve quality. Likewise, during the work, limitations were found such as: Little Access to images of the process, time limitation due to the Covid-19 pandemic, few investigations with both study variables, etc.

the implementation of the proposals resulted in an increase in OEE of 24,8% respect to 2020, going from a bad level and with low competitiveness with 63.2% to a very good level and with good competitiveness with 88% OEE. For this reason, it is concluded that the results obtained after the improvement proposal were satisfactory.

Keywords: Automation, OEE, availability, performance, quality, Lean manufacturing.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial, en los últimos 2 años ha aumentado el nivel de exportación de envases y embalajes de vidrio, sin embargo, es otra realidad la que se vive actualmente en Perú, por tal motivo y bajo la alta competencia que existe por la globalización es necesario conocer el mercado de envases de vidrio.

El último informe del Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales (2021), con respecto al panorama del Sector Envases y Embalajes, donde menciona lo siguiente:

En el año 2019, a nivel mundial, el mercado de envases y embalajes se situó en US\$ 472.6 mil millones, compuesto por productos elaborados en base a plástico (50.4% del total), papel (24.3% del total), aluminio (14.4 % del total), **vidrio** (9.1% del total) y metal (1.8% del total).

Se muestra que EEUU fue el principal comprador mundial, concentrando el 10.3% del total (US\$ 48.7 mil millones), seguido por Alemania (7.1%) y China (6.5%) (**Ver Anexo 1**).

Por otro lado, las importaciones mundiales de envases y embalajes de papel, aluminio, metal y plástico disminuyeron en 6.6%, 6,2%, 1.8%, y 1.5% respectivamente en comparación al año anterior.

Un panorama diferente para los envases y embalajes de **vidrio que presentó un crecimiento del 1.1%**, alcanzando los US\$ 452.4 millones.

La participación porcentual de cada país a nivel mundial en el año 2019, donde se destaca **el sector vidrio** que exportó US\$ 39.8 mil millones, encabezado por China (17%) (**Ver Anexo 2**).

A nivel nacional (Perú) las exportaciones de envases y embalajes de vidrio decayeron del año 2019 al 2020 en aproximadamente US\$ 19.4 millones, una variación porcentual de -28.9 %. (**Ver Anexo 3**).

A nivel de la presente investigación, se estudia una problemática que esta enlazada directamente con el funcionamiento de una línea de producción. Esta realidad se ha suscitado en una empresa de la industria del vidrio, específicamente en la línea de producción de la cabina de pintado de envases de vidrio. Los defectos que serán mencionados y estudiados en los siguientes capítulos, hacen que **la operación del pintado de envases de vidrio no sea continua**.

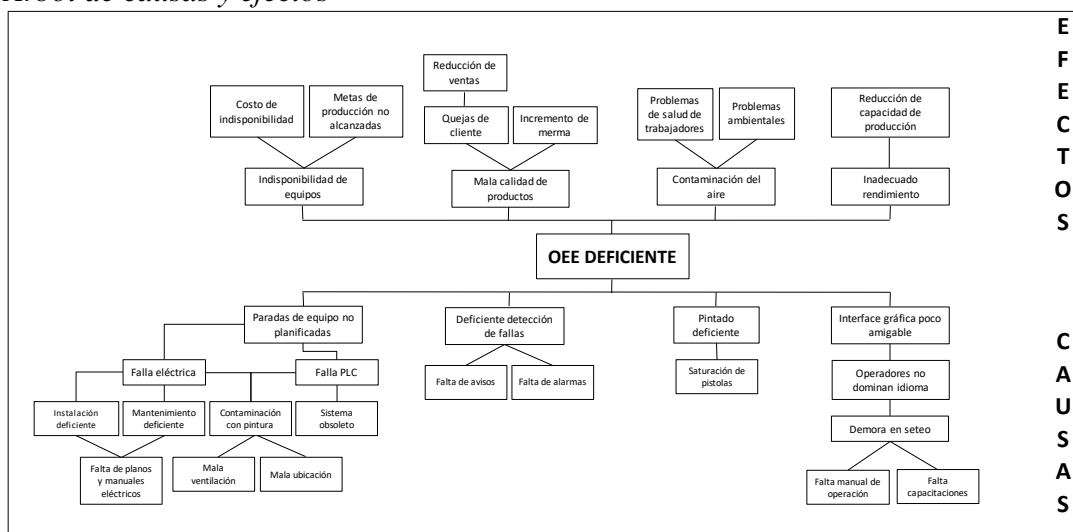
La cabina de pintado de envases de vidrio cuenta con 19 operaciones, iniciando con el desempaque de frascos limpios y culminando en el empaque de frascos pintados tal y como se muestra en el diagrama de procesos (**Ver Anexo 4**). Asimismo, tiene una producción promedio de 7000 botellas por turno de 8 horas y una merma promedio del 5%.

Dentro de la línea de producción en mención se han generado múltiples defectos en el proceso productivo. Estos defectos se han generado a partir de la obsolescencia del equipo, incorrecta ubicación y la desactualización en la automatización, hacen que bajo la actual competencia que se vive a nivel mundial se genere que múltiples indicadores de la línea de producción se vean afectados.

Por tal motivo, se realiza un estudio que inicia con el proceso de observación y levantamiento de información con el que se logró identificar las causas que perjudican el proceso de pintado de botellas. En donde se utilizó como primera medida de estudio la herramienta estadística (Árbol de causas y efectos), con el fin de poder identificar las causas que llevan a que la línea de producción presente distintos efectos.

Como se observa en **el Árbol de causas y efectos** (figura 1); el objeto principal de estudio es **la deficiencia en el OEE** (Efectividad global de equipos) y de este se desprenden sus indicadores, que se irán enlazando con las siguientes causas: falta de planos eléctricos y manuales de operación, los cuales son importantes y necesarios no solo para obtener la ubicación de manera más eficiente de cada componente del equipo sino también para poder mejorarlo en algún momento en específico; fallas en PLC y sistema eléctrico, que generan tiempos improductivos y paradas innecesarias afectando directamente **la disponibilidad del equipo**; falta manual de operación y falta de capacitaciones, quienes generan demora en seteo y reducción de capacidad de producción, es decir un **bajo rendimiento del equipo**; Falta de avisos y alarmas, que generan una deficiente detección de fallas y por ende una **mala calidad del producto final**.

Figura 1.
Árbol de causas y efectos



Fuente: Elaboración propia.

Se visualiza en la tabla 1; 9 defectos que ocasionan un OEE deficiente en la cabina de pintado de envases de vidrio, donde se observa que los **defectos de mayor peso son:** P1 (Fallas en PLC) con un 17% del total, P2 (Interface poco amigable) con un 17%, P3 (Falta de avisos y alarmas) con un 17%; todos estos porcentajes del total de defectos.

Tabla 1.
Matriz de correlación

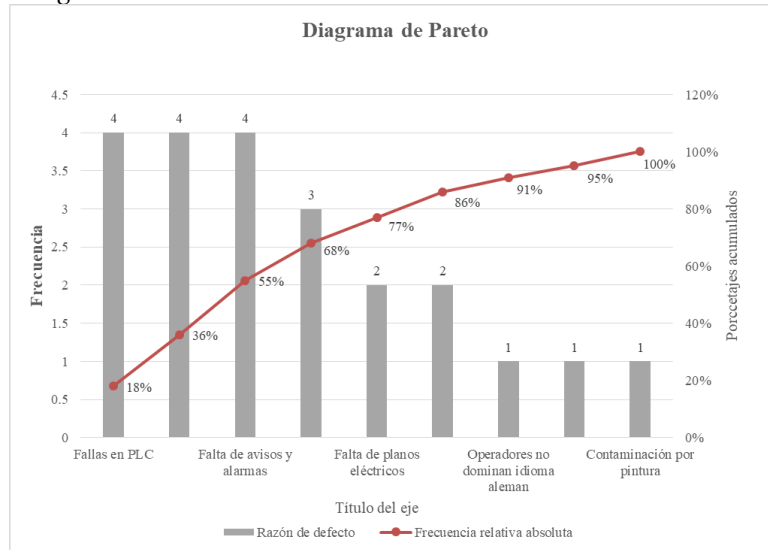
MATRIZ DE CORRELACIÓN												
N° Defectos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Puntaje	Porcentaje	
P1 Fallas en PLC	P1	0	1	1	1	0	0	0	1	4	18%	
P2 Interface poco amigable	P2	0	1	0	1	0	1	1	0	4	18%	
P3 Falta de avisos y alarmas	P3	1	1	1	0	1	0	0	0	4	18%	
P4 Fallas eléctricas	P4	1	0	1	1	0	0	0	0	3	14%	
P5 Falta de planos eléctricos	P5	1	1	0	0	0	0	0	0	2	9%	
P6 Falta de capacitación	P6	0	0	1	1	0	0	0	0	2	9%	
P7 Operadores no dominan idioma alemán	P7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5%	
P8 Falta de manuales de operación	P8	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5%	
P9 Contaminación por pintura	P9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5%	
										22	100%	

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de correlación (**Tabla 1**) y la distribución de frecuencias (**Ver Anexo 5**) sirven para poder elaborar el diagrama de Pareto (figura 2), que nos indica que los

defectos de mayor importancia, es decir los que generan el 80% de la deficiencia del OEE en la cabina de pintado son: fallas en PLC, interface poco amigable, falta de avisos y alarmas, fallas eléctricas, y falta de planos eléctricos.

Figura 2.
Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia.

En el presente estudio se relacionan los defectos de la cabina de pintado con citas extraídas de anteriores trabajos de investigación con el fin de conocer los antecedentes a nivel nacional e internacional.

Carrillo (2011) menciona,

En las últimas décadas la sociedad industrializada hace un uso extenso de los sistemas automatizados. Tanto en la vida cotidiana como en la industria se destacan sistemas de control que regulan magnitudes de temperatura, presión, flujo, seguridad, electrónica y la robótica en lo concerniente al desarrollo de microcontroladores y los sistemas inalámbricos; hoy en día todo es controlado, con el objeto de optimizar y mejorar el desempeño de los procesos dentro de los sistemas automatizados manteniéndolos dentro de parámetros

preestablecidos en los requerimientos del cliente. Por ello es necesario un adecuado estudio de los sistemas a controlar, así como también un buen nivel de conocimientos referente al análisis y diseño de los Sistemas de Control (p. 15).

De igual forma, López (2014) alude,

El entorno actual está caracterizado por la globalización y un entorno altamente competitivo para las empresas. Estas se encuentran cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar un sólido desempeño operacional mediante las herramientas a su disposición, entre las que se encuentran el control y la gestión de los procesos. Para obtener beneficios y lograr la mayor productividad y rentabilidad posibles deben entender claramente cómo satisfacer al cliente interno y externo.

Asimismo, Pérez (2015) sostuvo, “La parte más visible de la automatización actual puede ser la robótica industrial. Algunas ventajas son repetitividad, control de calidad más estrecho, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad y reducción de trabajo” (p. 2).

De acuerdo con Pardo (2012) citado en Pérez (2015) mencionó,

En el campo de la producción industrial, la automatización se ha convertido en una herramienta de trabajo necesaria e indispensable para optimizar los procesos productivos y aumentar la competitividad. Por tanto, la automatización no tiene otra misión que la de lograr un valor añadido en los productos manufacturados, variando sus características y llevando a cabo una transformación de materias o bienes hasta llegar a un producto acabado. La

Automatización Industrial fue un término acuñado por un ingeniero de la Ford Motor Company, que se utiliza para describir una amplia variedad de sistemas en los que existe una sustitución en un proceso del operador humano, su esfuerzo e inteligencia, por dispositivos eléctricos, mecánicos, neumáticos, informáticos, etc. En términos generales, la automatización se puede definir como una tecnología referida a procesos controlados por medio de instrucciones programadas, junto a sistemas de control retroalimentados capaces de realizar ciclos más o menos complejos de operaciones que se repiten para garantizar la correcta ejecución de dichos procesos; que se sintetiza en la expresión: “the sulting system is capable of operating without human intervention” – el sistema resultante es capaz de funcionar sin intervención humana (p. 3).

Manyika et al. (2017) mencionaron,

La automatización de las actividades posibilita que las empresas mejoren su desempeño al reducir los errores y mejorar la calidad y la velocidad; en algunos casos puede llevar a lograr resultados que vayan más allá de la capacidad humana. Como ya lo ha hecho a lo largo de la historia, la automatización también contribuye a mejorar la productividad.

García y Venegas (2016) como se citó en Peña y Martínez (2017) dijeron, “Los procesos industriales que no están automatizados, son de baja eficiencia, no tienen la continuidad, ocasionan horas de paradas, y reducen las utilidades” (p.4).

De igual forma, Dunn (2014), como se citó en Velásquez (2018), mencionó, “entre algunos de los puntos comunes que reducen la disponibilidad, se encuentran las fallas mecánicas o eléctricas, set ups, limpieza de área de trabajo entre cambios de órdenes, espera de material, entre otros”.

Prinz, Kreimeier, & Kuhlenkotter (2017) como se citó en Velasquez (2018), dijeron, Hay líneas de investigación las cuales indican que la idea de automatizar e instalar dispositivos inteligentes para el funcionamiento o mejora de máquinas, es llegar al punto en donde la información recabada ya sea de fallas, reparaciones, manejo del equipo, entre otros; podrán ser extraídas de PLC's, sensores, programas, etc. para ponerlas a disposición del personal mediante un software amigable y bases de datos para comenzar a convertir los procesos cada vez más autónomos, evitando intervenciones del personal experto, aumentando la disponibilidad de los equipos y mejorando métricos de mantenimiento.

Velásquez (2018), menciona,

El uso de nuevas tecnologías ayuda a mejorar métricos de desempeño, y, sobre todo, a identificar las áreas de mejora para poder atacarlas eficientemente. Los softwares para interpretación y recolección de información son cada vez más sofisticados y ofrecen más y mejores herramientas para poder realizar análisis más profundos. Es importante tener en cuenta que la tecnología no resolverá los problemas si no se aplican estas técnicas correctamente, la interpretación y correcta recolección de datos.

Quintana (2010), expone lo siguiente,

Jidoka, Calidad en la fuente, el entrenamiento de esta herramienta debe ir de la mano con el entrenamiento en los estándares del producto, las tolerancias permitidas y las diferentes referencias de productos que hay. Al tener claro lo que se debe entregar al cliente es más fácil detectar cuando se da una situación que hará que estos requisitos no sean cumplidos. Hay que hacer que los trabajadores si sientan autónomos y con el suficiente poder para detener la línea y corregir la falla en la fuente.

De igual forma Fuentes et al (2018), mencionan lo siguiente,

JIDOKA: Permite que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, por ejemplo, si existe una anomalía durante el proceso, éste se detendrá ya sea automática o manualmente impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso. Jidoka mejora la calidad en el proceso ya que solo se producirán piezas con cero defectos, sin errores.

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Según Forte y Valenzuela (2011), en su tesis “Desarrollo de un prototipo de sistema automatizado “clean in place (CIP)” basado en controladores lógicos programables para simulación de la limpieza de silos en la industria de bebidas”; para que la automatización sea efectiva, se requiere el completo entendimiento de la interrelación hombre-máquina. Si no se obtiene un completo entendimiento del proceso u operación, manual o semiautomática, los sistemas automatizados probablemente fallarán o al

menos generarán resultados decepcionantes. Debe ser prioritaria la atención de la integración del personal con el sistema.

Asimismo, Moreno (2012), en su tesis “Diseño e implementación de un sistema automatizado para control remoto de iluminación en conformidad de la tecnología Insteon y optimización del sistema de seguridad cctv en el edificio Gimpromed”; los sistemas automatizados se definen como la integración de dispositivos o subsistemas que pueden interactuar entre sí o independientemente, para crear aplicaciones que brinden confort, seguridad, ahorro energético y aumenten la productividad. Los beneficios que conlleva la automatización son múltiples, entre ellos y como el más importante se puede mencionar que se incrementa la eficiencia y eficacia en el control de los equipos electrónicos instalados.

Por otro lado, Velásquez (2018), en su tesis “mejoramiento en la efectividad total del equipo en prensas con la implementación de controlador lógico programable”; es importante realizar una mejora a la lógica de programación y erradicar obsolescencia de equipos para acrecentar métricos de OEE en base al aumento de la disponibilidad de la prensa y equipos periféricos; al lograr que los conteos siempre estén correctamente correlacionados, serán evitados muchos quiebres de tooling al detectarse atoramiento de material dentro del troquel, facilitando así la reparación del mismo sin tanto tiempo muerto por ajustes del dado.

Antecedentes Nacionales

Según Huamán et al. (2019), en su tesis “Automatización en la división de carbón para la mejora de indicadores OEE en una fábrica de cemento-Lima, 2019”; **Con la**

implementación de la automatización en la división de carbón nuestros procesos se transformarán en mejoras donde los errores humanos se minimizaran y con ello con llevarán un **aumento de producción para nuestro productos terminados** que es el cemento de buena calidad y precisión en cuanto a los resultados de satisfacer las necesidades de nuestros consumidores, los aportes de la automatización a nivel de conocimiento y mejoras en cada proceso serán prácticos y metodológicos y con ello con lleva a los resultados de las estadísticas de OEE según los cuadros que son analizados en los resultados de nuestro proyecto.

Asimismo, Pérez y Robles (2019), en su tesis “diseño de sistema de control automático y su relación con la efectividad global del proceso de retrolavado de filtros en la planta de tratamiento de agua potable “el milagro” – eps sedacaj S.A”; A través de técnicas de recolección de datos se determinó el diagnóstico actual del proceso de retrolavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” – EPS SEDACAJ S.A., el cual tiene un procedimiento manual, lo que se considera ineficiente evaluando su calidad, rendimiento y disponibilidad. Por ende, el objetivo planteado es determinar la relación que existe entre la efectividad global del proceso de retrolavado de filtros y el diseño de un sistema de control automático aplicado a este.

Por otro lado, Peña y Martínez (2017), en su tesis “Diseño Y Construcción De Una Cabina Automatizada Para El Pintado De Cilindros De Glp De 10 Kg Con Capacidad De 600 Cilindros Por Hora”; El sistema de envasado convencional genera pérdidas. Se propone innovar la 4ta etapa del proceso de envasado. Se propuso un sistema automático de pintado de cilindros de GLP, para reducir el desperdicio de pintura, evitar la contaminación, optimizar la producción, evitar pérdida económica a la

empresa y entregar un producto de calidad en la acción de pintar los cilindros de GLP.

Se propone cambiar el sistema de pintado convencional, por un sistema de pintado automático por faja transportadora.

Definiciones conceptuales

Automatización

La palabra automatización, proviene del griego antiguo auto: guiado por uno mismo.

La automatización como una disciplina de la ingeniería, es más amplia que un mero sistema de control abarca la instrumentación industrial que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales (Villada et al, 2017).

OEE (Efectividad global de equipos)

El Overall Equipment Effectiveness, cuyas siglas son **OEE** (en ocasiones se traduce como Eficiencia General de los Equipos, aunque siempre suele usarse su término en inglés) **es un indicador en forma porcentual que mide la eficiencia global productiva** con la que trabaja determinada máquina, planta industrial o proceso. **Su medición, control y seguimiento puede servir para la mejora continua del proceso productivo** (Rodríguez, 2019).

Disponibilidad

La disponibilidad mide cuánto tiempo se encuentra la maquinaria trabajando. Las paradas afectan directamente a la disponibilidad (Rodríguez, 2019).

Rendimiento

El rendimiento mide lo que produce la máquina con respecto a lo que produciría trabajando a su capacidad total (es decir, tiene en cuenta el tiempo en el que la máquina no está produciendo a su máxima capacidad), (Rodríguez, 2019).

Calidad

La calidad se puede definir como el conjunto de propiedades y características de un servicio que le confiere la aptitud para satisfacer las necesidades implícitas o explícitas, o que sería lo mismo expresado en terminología adaptada a lo cotidiano, la presentación de los mejores servicios posibles con un presupuesto determinado, entendiendo que no se trata de trabajar más o de gastar más, se trataría de hacerlo de una forma más racional. (Arrascue et al, 2016).

HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir, es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Los sistemas HMI se pueden pensar como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un computador. Los sistemas HMI en computadores se les conoce como software HMI (en adelante HMI) o de monitorización y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el computador, PLC’s (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE’s (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI (Salichs, 2012).

PLC

El controlador lógico se llama así porque la programación está relacionada con la ejecución de operaciones lógicas y de computación. Los PLC sustituyen a las conexiones físicas por relevadores de los sistemas de control lógico y de sincronización. Los PLC tienen la ventaja de que permiten modificar los sistemas de control sin tener que alambrar las conexiones de los dispositivos de entrada y de salida. Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido. La interfaz para las entradas y las salidas se aloja dentro del controlador. (Martínez, 2015).

Jidoka

Jidoka es un término japonés, que significa automatización con un toque humano o autonomación. Esta palabra, que no debe confundirse con automatización, define el sistema de control autónomo propuesto por el Lean Manufacturing. Bajo la perspectiva Lean, el objetivo radica en que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de forma que, si existe una anomalía durante el proceso, este se detendrá, ya sea automática o manualmente por el operario, impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso. Dado que sólo se producirán piezas con cero defectos, se minimiza el número de piezas defectuosas a reparar y la posibilidad de que éstas pasen a etapas posteriores del proceso (Hernández y Vizán, 2013).

Poka-Yoke

El término Poka-Yoke fue aplicado por Shigeo Shingo en 1986, dentro de los procesos industriales diseñados para prevenir errores humanos en los productos, llamándola a

prueba de errores, dado por las palabras japonesas Poka que es evitar y Yokeru que significa error inadvertido. Rediseñó un proceso en el cual los trabajadores, mientras ensamblaban un pequeño interruptor, muy a menudo olvidaban insertar los cables requeridos por debajo de uno de los botones del mismo. En el proceso rediseñado, el trabajador podía realizar esta tarea en solo dos pasos (Tapia et al, 2017).

Andon

Esta herramienta se basa en señales visuales, las cuales proporcionan información al operario en tiempo real sobre el proceso. Su empleo permite indicar la presencia de un problema mediante señales. Estas señales visuales y de audio son fácilmente identificables, permitiendo al operario visualizar si todo está funcionando de una forma correcta (Vinjoy, 2020)

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la implementación de mejora del sistema automatizado podría optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio?

1.2.1. Problemas específicos

¿Cómo mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?

¿Cómo mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio?

¿Cómo mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Mejorar el sistema automatizado para optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.

1.3.2. Objetivos específicos

Diseñar y configurar una nueva interfaz gráfica de monitoreo y control para mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Implementar el nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema, para mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Aplicar la metodología Jidoka para mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Si se mejora el sistema automatizado, entonces se optimizará los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.

1.4.2. Hipótesis específicas

Si se diseña y configura una nueva interfaz gráfica, entonces se mejorará la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio

Si se implementa el nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema entonces se mejorará el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio

Si se aplica la metodología Jidoka entonces se mejorará la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

1.5. Justificación

La presente investigación se justifica porque ayudará a esclarecer la situación del problema identificado (mediante investigaciones de años anteriores y actuales), consiguiendo de manera efectiva a solidificar y enriquecer los conocimientos del investigador de modo que se puedan resolver los principales problemas generados (paradas no planificadas, bajo rendimiento, mermas, productos de baja calidad, etc.) de modo tal que se busque alcanzar una mayor disponibilidad de la línea de producción; obtener un mejor rendimiento y asimismo tener mejores resultados en cuanto a calidad del producto final entregado a los clientes externos. Todo ello se justifica obteniendo mejores resultados en cuanto al indicador OEE por la actualización del sistema automatizado y la implementación de la herramienta Jidoka (Lean Manufacturing), que garantizará que tanto clientes internos como externos se beneficien consiguiendo que la línea de producción sea más eficiente, de igual forma ayudará como una guía para otros tesis y también empresas industriales que quieran implementar o mejorar sus áreas de producción.

1.5.1. Justificación teórica

Se justifica el proyecto de investigación teóricamente porque hace que el investigador recabe información de artículos, tesis, libros, etc. que ayuden a que se pueda tener un mayor conocimiento, mejor enfoque y que pueda profundizar y afianzar sus conocimientos frente a la problemática que se trata, y con esto a su vez pueda dar solución al problema identificado. Asimismo, ayudará a

contrastar resultados que al final servirán como recomendación para los futuros tesis.

1.5.2. Justificación metodológica

Se justifica el proyecto de investigación metodológicamente porque al realizar la investigación de la presente tesis, se utilizará información que permitirá conocer no solo la importancia del tema investigado sino también para obtener hallazgos que ayuden a poder resolverlo de manera efectiva, esto mediante metodologías que ayuden a encontrar un resultado teóricamente válido.

1.5.3. Justificación práctica

Se justifica el proyecto de investigación prácticamente porque existe la necesidad que el investigador obtenga resultados sólidos, y que estos puedan cambiar el ámbito del presente estudio, ayudando a resolver de manera práctica problemas similares suscitados en otras empresas del rubro industrial mediante el avance tecnológico.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de la investigación

2.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa porque busca medir la realidad actual de la cabina usando la recolección de datos; antes y después de la implementación de la mejora para poder hacer una comparación y por consiguiente probar la hipótesis.

2.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es cuasi-experimental ya que se manipulará la variable independiente (Sistema automatizado) con la finalidad de mejorar la variable dependiente (OEE), el grupo de estudio está conformado por las áreas de producción y mantenimiento quienes están ligados directamente con la operatividad de la cabina de pintado de envases de vidrio.

G: O1-----X-----O2

Donde:

G: Cabina de pintado de envases de vidrio

O1: Efectividad global de equipos inicial

X: Mejora del sistema automatizado

O2: Efectividad global de equipos después de aplicar la propuesta de mejora

2.1.3. Matriz de consistencia

En la tabla 2 se muestra la matriz de consistencia que contiene la descripción de las variables dependientes e independientes, así como los problemas e hipótesis principales y específicos.

Tabla 2.
Matriz de consistencia

Problemas Principal	Objetivos General	Hipótesis Principal	Variable Independiente	Indicador VI	Variable Dependiente	Indicador VD
¿De qué manera la implementación de mejora del sistema automatizado podría optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio?	Mejorar el sistema automatizado para optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio	Si se mejora el sistema automatizado, entonces se optimizará los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Sistema automatizado		Efectividad Global de Equipos (OEE)	OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad
Secundarios	Específicos	Secundarias o subsidiarias				
¿Cómo mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?	Diseñar y configurar una nueva interfaz gráfica de monitoreo y control para mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Si se diseña y configura una nueva interfaz gráfica, entonces se optimizará la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Interfaz gráfica	Si/No	Disponibilidad	(Tiempo produciendo) / (Tiempo programado para producir)
¿Cómo mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio?	Implementar el nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema, para mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Si se implementa el nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema entonces se mejorará el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Sistema de control	Si/No	Rendimiento	(Producción real) / (Producción Teórica)
¿Cómo mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?	Aplicar la metodología Jidoka para mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Si se aplica la metodología Jidoka entonces se mejorará la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.	Jidoka	Si/No	Calidad	(Cantidad de productos buenos) / (Cantidad total producida)

Fuente: Elaboración propia

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La operación de la cabina de pintado se divide en 3 turnos por día, cada turno cuenta por 4 operarios y un líder de producción, 1 operario de calidad y 1 matizador, sumado a este grupo el jefe del área. Por mantenimiento se cuenta con el jefe de mantenimiento, 2 técnicos encargados del mantenimiento eléctrico y mecánico y 1 técnico instrumentista por turno que atienden solo emergencias. Haciendo un total de 28 personas involucradas directamente en la productividad de la cabina de pintado como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.
Población de personas

	Producción	Mantenimiento
Jefatura	1	1
Encargados	0	2
1er turno	7	1
2do turno	7	1
3er turno	7	1
Total		28

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de la siguiente investigación se ha tomado como referencia los reportes de producción del año 2020 antes de la mejora, que se agrupan en 12 consolidados, 1 por cada mes, pero debido a la pandemia que afectó el sector industrial a nivel mundial se cuenta con 10 consolidados obviando los meses de marzo y abril. Asimismo, se cuenta con los consolidados de producción después de la mejora correspondientes al primer semestre del año 2021. Siendo un total de 16 consolidados.

2.2.2. Muestra

En esta investigación el tipo de muestreo será no probabilístico por conveniencia, el cual será conformado por los 28 trabajadores que se encuentran involucrados directamente con la productividad de la cabina de pintado, así

como con los 16 consolidados, data de los reportes de producción antes y después de la implementación de la mejora.

2.3. Técnicas, instrumentos y recolección de datos

La selección de técnicas e instrumentos de la presente investigación se dan de acuerdo al tipo de investigación que es este caso es cuantitativa, en la recolección de datos se hará el uso de las técnicas e instrumentos que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Técnicas e instrumentos

Técnica	Instrumento	Fuente
Análisis de documentos	Ficha de registro de datos	Informe de producción Parte de mantenimiento
observación directa	Guía de observación	Proceso de producción de cabina de pintado
Encuesta	Cuestionario	Personal de producción y mantenimiento

Fuente: elaboración propia

Análisis de documentos: La utilización de esta técnica nos ayuda a analizar la información recolectada de los reportes de producción correspondientes al año 2020 y primer semestre del año 2021, con las cuales podremos hacer los cálculos respectivos de los indicadores de OEE antes y después de la implementación de la mejora, estos documentos se encuentran validados por la Gerencia de producción.

Observación directa: Este instrumento fue validado por la jefatura de producción y la gerencia de mantenimiento, asimismo se utilizó el programa SPSS V26, con el fin de generar estadísticos que ayuden a enfocar las preguntas que contiene la encuesta. La utilización de esta técnica nos permite conocer directamente los tiempos promedios de seteo y observar las falencias y obstáculos que se presenta tanto por el área de operación y/o mantenimiento, así como también nos permite corroborar la velocidad real y seteada de la máquina (**Ver Anexo 6**).

Encuesta: Este instrumento fue validado por juicio de expertos donde participaron ingenieros especialistas de diversas áreas entre ellos la jefatura de producción y la gerencia de mantenimiento. Asimismo, se utilizó el programa SPSS V26 para medir la validez del instrumento mediante el coeficiente de Alfa de Cronbach. La utilización de esta técnica que consta de preguntas se utilizará con el objeto de responder de cómo se lleva a cabo el proceso de pintado de botellas de vidrio, por tal motivo se entrevistó a la jefatura de mantenimiento y producción (2), encargados de mantenimiento (2), técnicos de turno (3) y operarios (21); todo ello a modo de auditoría (**Ver Anexo 7**).

En la presente investigación se valida utilizando el coeficiente Alfa de Cronbach.

Figura 3.

Coeficiente de Cronbach

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

k: El número de ítems

$\sum S_i^2$: Sumatoria de varianza de los ítems

S_T^2 : Varianza de la suma de los ítems

α : Coeficiente de Alfa de Cronbach

Los resultados obtenidos en cuanto a confiabilidad de nuestro instrumento, utilizando el software SPSS statistics V26, fueron de $\alpha:0.907$, analizando 10 elementos, tal y

como figura en la tabla 6. Asimismo, la ubicación de acuerdo con su valoración es Excelente (**Ver tabla 5**).

Tabla 5.

Valoración de la confiabilidad

Valores α	Nivel de validez
0 - 0.5	Inaceptable
0.5 - 0.6	Pobre
0.6 - 0.7	Débil
0.7 - 0.8	Aceptable
0.8 - 0.9	Bueno
0.9 - 1	Excelente

Fuente: Chaves y Rodríguez (2018)

Tabla 6.

Confiabilidad del cuestionario - Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	Nº de elementos
0.907	10

Fuente: Software SPSS V. 26

2.4. Procedimiento

La siguiente investigación consta de 2 etapas las cuales serán detalladas a continuación:

Etapla 1. Se realiza un diagnóstico de la situación actual de la cabina de pintado, para esto será necesario el análisis de documentos para determinar datos de frecuencia de fallas en la cabina, tiempos y causas de paradas de máquina, eficiencias y porcentajes de merma. Luego se analizará la guía de observación en conjunto con la encuesta donde se determinará las demoras de los tiempos de seteo y mantenimientos correctivos, así como sus causas. Con todos los datos obtenidos se calculará el OEE actual de la cabina con el fin de buscar la mejora de dicho indicador.

Etapla 2. En base a los datos obtenidos en la etapa 1 se propondrá mejorar el sistema automatizado de la cabina de pintado en 3 fases, las cuales se enfocarán en resolver nuestros problemas específicos. Es preciso mencionar que a nivel gerencial se decidió

en primera instancia tercerizar la migración con un costo de 36,914.77 soles (Ver tabla 7) que solo contemplaba reemplazar y programar los equipos de automatización como se detalla en la cotización que se muestra en el **ANEXO 13**. Por lo que se propuso la mejora de todo el sistema eléctrico reemplazando los equipos de automatización, así como toda la instalación eléctrica incluyendo el armado de un nuevo gabinete eléctrico, la reubicación y mejoramiento de la ventilación de este para evitar la contaminación de los equipos en su interior y alargar la vida de mencionados equipos. En la **tabla 8** se muestra los precios de los equipos seleccionados para la propuesta, la cual fue aprobada por gerencia cuyos tiempos programados de implantación se pueden observar en el **ANEXO 16**.

Tabla 7
Propuesta económica de tercero

Ítem	Descripción	Marca	Cantidad	Precio
1	Plc 1511 IPN	Siemens	1	S/ 4,810.00
2	Plc 1512C IPN	Siemens	1	S/ 7,468.50
3	Simatic s7 1500 soporte perfil	Siemens	2	S/ 197.80
4	Simatic s7 1500 frontconnector screww-type	Siemens	5	S/ 906.75
5	Simatic memory card	Siemens	2	S/ 520.00
6	Simatic PM 1507 24V / 8A	Siemens	2	S/ 1,625.00
7	Simatic hmi ktp 300 basic mono pn	Siemens	1	S/ 907.40
8	Simatic hmi ktp 400 basic color pn	Siemens	1	S/ 1,767.35
9	Simatic net, ind ethernet tp cord rj45	Siemens	2	S/ 214.50
10	Servicio de ingeniería y desarrollo de planos electricos y programacion de plc-hmi, pruebas y puesta en marcha	Siemens	2	S/ 15,700.00
	Subtotal			S/ 34,117.30
	Descuento			S/ 2,833.40
	IGV			S/ 5,631.07
	Total			S/ 36,914.97

Fuente: elaboración propia

Tabla 8
Costos de propuesta interna

Ítem	Descripción	Marca	Cantidad	Precio
1	Plc 1214 dc/dc/dc	Siemens	1	S/ 1,288.77
2	Modulo de entradas y salidad digitales	Siemens	2	S/ 1,877.82
3	Modulo de salidas analogicas	Siemens	2	S/ 2,577.54
4	Simatic memory card	Siemens	1	S/ 210.12
5	Fuente de 24V / 4A	Siemens	1	S/ 375.49
6	Hmi ktp 700	Siemens	1	S/ 2,541.84
	Total			S/ 8,871.58

Fuente: elaboración propia

Fase 1. Diseño y configuración de una nueva interfaz gráfica.

Debido a las demoras prolongadas de los seteos para cambios de producción relacionados directamente con el panel HMI, ya que se cuenta con una interfase poco amigable por las características del panel y por el idioma alemán en el que se encuentra configurado, a esto sumado la falta de manuales de operación y la falta de capacitación de los líderes encargados de la operación de la cabina. Se optó por proponer reemplazar el panel HMI por uno de mejores características gráficas realizando un diseño y configuración más amigable que permita reducir los tiempos de cambios de producción.

Fase 2. Implementación de un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema.

La antigüedad del PLC, la mala ubicación de tableros, la contaminación excesiva del ambiente y la mala ubicación de los tableros de control ocasionaron la contaminación de tarjetas electrónicas del PLC con pintura, causando fallas en el mismo ocasionando paradas imprevistas de producción, para lo cual se propone reemplazar el PLC realizando la programación total manteniendo la funcionalidad de sistema actual. También se propondrá la reubicación e instalación de un nuevo tablero eléctrico y el mejoramiento de su ventilación. Buscando reducir las paradas imprevistas y mantenimientos correctivos por fallas eléctricas.

Fase 3. Aplicación de la metodología Jidoka

Luego de determinar las causas de las mermas por calidad se propondrá aplicar la metodología Jidoka con ayuda del PLC programando alarmas y paradas de máquina por algún funcionamiento inadecuado que pueda comprometer la calidad de producción en esta fase también se propondrá la capacitación del personal operativo

para tomar acciones rápidas evitando de esa manera pérdidas de capacidad y de producción.

2.5. Desarrollo

2.5.1. Diagnóstico de la situación actual de cabina de pintado

Se realiza un diagnóstico inicial de la cabina de pintado de envases de vidrio y en base al resultado inicial se hará una propuesta de mejora. Para esto se hará el cálculo del indicador de eficiencia global de equipos (OEE) procesando la información obtenida de los instrumentos de recolección de datos. De igual forma se desarrolla la información obtenida de los instrumentos de observación directa y encuesta.

Iniciamos calculando la disponibilidad de la cabina, para esto se procesa la data obtenida de los meses de enero a diciembre del año 2020, en la tabla 9 se observa que para un tiempo programado y representado por el 100%, se obtiene una disponibilidad promedio de 71.2% durante el año 2020, donde el mayor porcentaje de paradas se genera por los largos tiempos de cambio de referencia, que representan en promedio el 21.4%, asimismo las paradas por averías y las paradas por operación como conjunto representan en promedio el 7.4% haciendo un total de 28.8% la reducción en la capacidad de producción.

Tabla 9.
Disponibilidad de enero a diciembre 2020

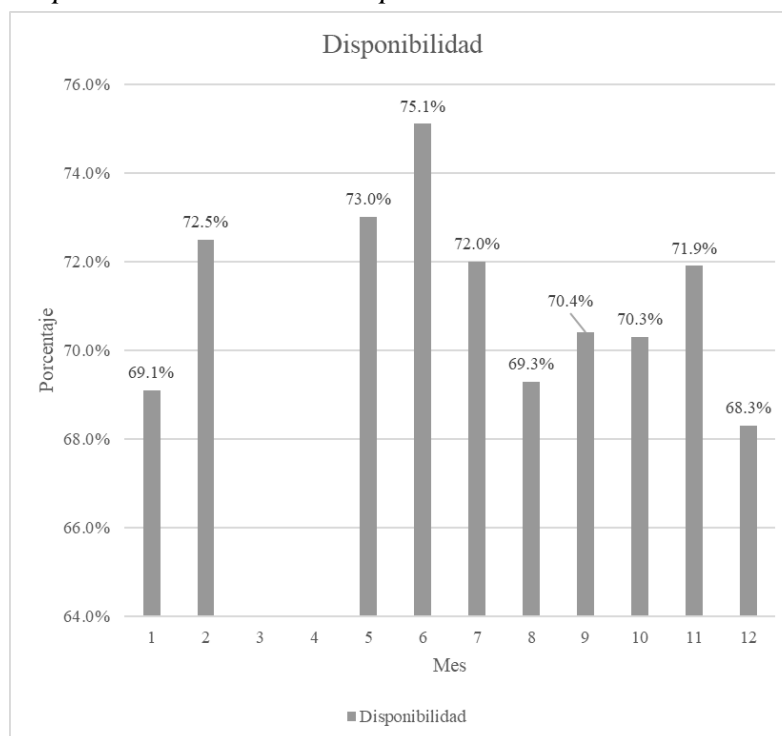
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom
T. Programado para producir	100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.0%
Paradas por avería	5.4%	3.6%			6.0%	3.2%	5.1%	5.5%	4.7%	6.0%	5.9%	5.4%	5.1%
Cambios de referencia	23.0%	22.0%			20.3%	19.9%	19.2%	21.0%	23.0%	21.5%	20.6%	23.5%	21.4%
Paradas por operación	2.5%	1.9%			0.7%	1.8%	3.7%	4.2%	1.9%	2.2%	1.6%	2.8%	2.3%
Disponibilidad	69.1%	72.5%			73.0%	75.1%	72.0%	69.3%	70.4%	70.3%	71.9%	68.3%	71.2%

Fuente: elaboración propia

En la figura 4 se muestra los porcentajes de disponibilidad de enero a diciembre del año 2020, donde se observa disponibilidades por debajo del 73%, siendo los meses de enero, agosto y diciembre los meses donde se obtuvo las disponibilidades más bajas. También se observa que a partir del mes de julio la disponibilidad tiene tendencia negativa.

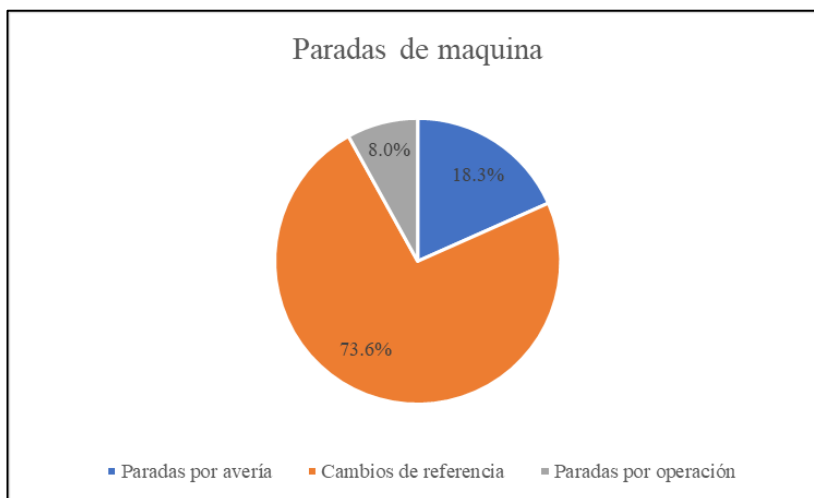
Figura 4.

Disponibilidad de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se muestra el total de paradas de maquina donde se observa que los cambios de referencia en promedio del año 2020 representan el 73.6% del total de paradas.

Figura 5.
Total de paradas de maquina


Fuente: Elaboración propia

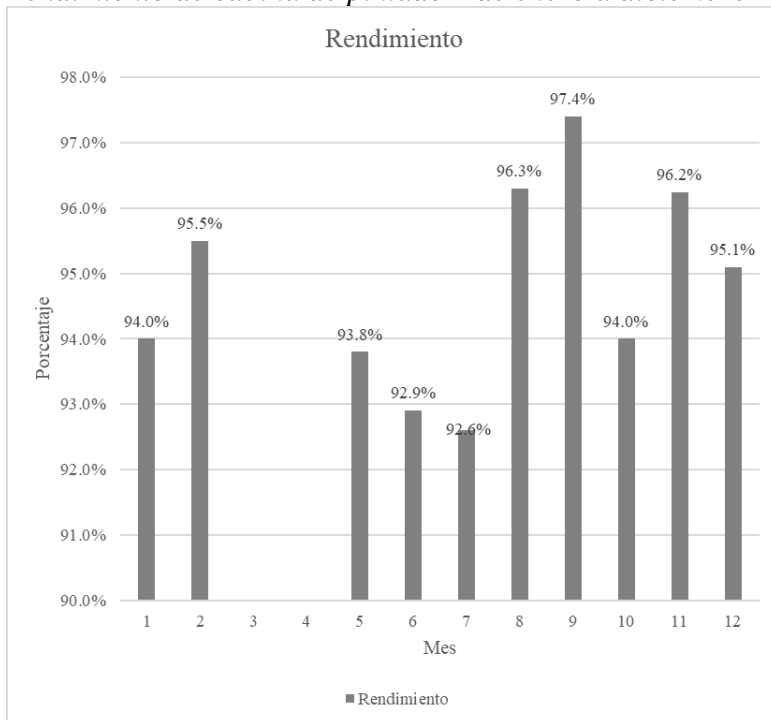
En la tabla 10 se muestra los porcentajes de rendimiento de enero a diciembre del año 2020 para una producción teórica representado como el 100%, obteniendo como resultado un rendimiento promedio de 94.8%, donde se puede observar una reducción de rendimiento promedio por descalibración del proceso de 3.7%, debido a problemas en la lógica por programación del PLC y por fallas tanto de hardware como software por la antigüedad y deterioro del mismo y que las otras demoras que están representadas por llenado de pintura o ajustes en el proceso representan en promedio el 1.5% de la reducción del rendimiento.

Tabla 10.
Rendimiento de enero a diciembre 2020

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom
Producción teórica	100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.0%
Descalibracion del proceso	4.8%	3.6%			4.0%	5.7%	4.3%	2.1%	1.1%	5.3%	3.6%	2.5%	3.7%
Otras demoras	1.2%	0.9%			2.2%	1.4%	3.1%	1.6%	1.5%	0.7%	0.2%	2.4%	1.5%
Rendimiento	94.0%	95.5%			93.8%	92.9%	92.6%	96.3%	97.4%	94.0%	96.2%	95.1%	94.8%

Fuente: elaboración propia

En la figura 6 se representa gráficamente el rendimiento de enero a diciembre en el año 2020 siendo los meses de junio y julio los meses con rendimiento por debajo del 93%

Figura 6.
Rendimiento de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020


Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la calidad se procesó la data obtenida de los informes de producción de la cual se obtiene porcentajes de merma promedio por encima de 3% que es el máximo permitido. En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos en el año 2020, obteniendo una calidad promedio de 93.7% y en donde se observa que los defectos por descalibración de maquina representan el 2.9% y que las paradas de rotación de parantes por atoros en su gran mayoría representan el 2.2%, esto debido a que no se cuenta con una lógica que detenga el proceso y mande en falla y/o alarma a la cabina para su pronta intervención, asimismo el 1.2% representa los defectos por contaminación por aperturas de cabina para inspección del proceso.

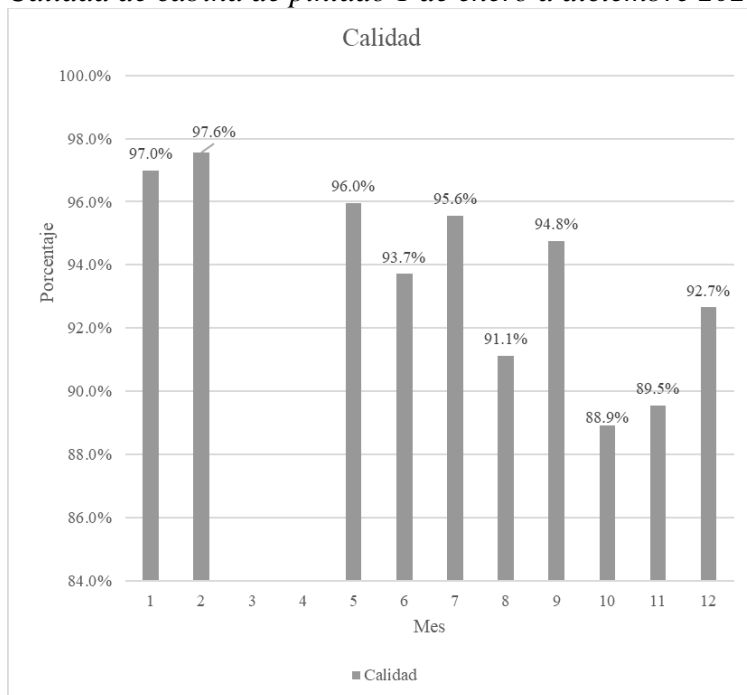
Tabla 11.
Calidad de enero a diciembre 2020

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom
Cantidad total producida	100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.0%
Contaminación	1.2%	1.2%			1.1%	1.3%	1.3%	1.2%	1.2%	1.3%	1.2%	1.4%	1.2%
Descalibración	1.3%	0.5%			2.3%	4.3%	1.6%	4.5%	1.5%	3.3%	5.8%	4.1%	2.9%
Paradas de rotación	0.5%	0.7%			0.6%	0.7%	1.5%	3.2%	2.5%	6.5%	3.5%	1.9%	2.2%
Calidad	97.0%	97.6%			96.0%	93.7%	95.6%	91.1%	94.8%	88.9%	89.5%	92.7%	93.7%

Fuente: elaboración propia

En la figura 7 se representa gráficamente los porcentajes de calidad de enero a diciembre del año 2020 donde se puede observar que a partir de mes de mayo se tiene una tendencia negativa a excepción de los meses de julio, noviembre y diciembre. Siendo el mes de octubre el mes con mayor porcentaje de defectos.

Figura 7.
Calidad de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020



Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de las tablas 9, 10 y 11 se realiza el cálculo de la eficiencia global de equipos de enero a diciembre del año 2020 como se muestra

en la tabla 12, obteniendo un valor promedio de 63.2% que genera un nivel regular y una competitividad baja de la cabina de pintado.

Tabla 12.

Eficiencia global de equipos de enero a diciembre 2020

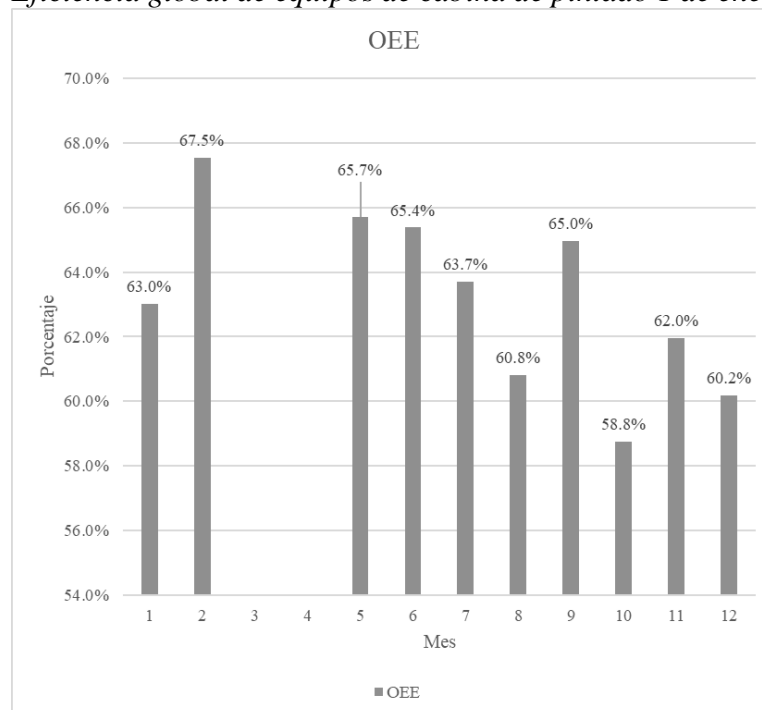
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prom
Disponibilidad	69.1%	72.5%			73.0%	75.1%	72.0%	69.3%	70.4%	70.3%	71.9%	68.3%	71.2%
Rendimiento	94.0%	95.5%			93.8%	92.9%	92.6%	96.3%	97.4%	94.0%	96.2%	95.1%	94.8%
Calidad	97.0%	97.6%			96.0%	93.7%	95.6%	91.1%	94.8%	88.9%	89.5%	92.7%	93.7%
OEE	63.0%	67.5%			65.7%	65.4%	63.7%	60.8%	65.0%	58.8%	62.0%	60.2%	63.2%

Fuente: elaboración propia

En la figura 8 se muestra gráficamente los porcentajes de eficiencia global de equipos de enero a diciembre, donde se observa que todos los meses se obtiene niveles regulares con competitividad baja debido a que dichos porcentajes están por debajo del 75%, siendo los meses de enero, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre los meses con niveles muy bajos de OEE por debajo del 65%.

Figura 8.

Eficiencia global de equipos de cabina de pintado 1 de enero a diciembre 2020



Fuente: Elaboración propia.

Finalizamos esta primera etapa presentando los resultados de la realidad actual de la cabina de pintado; utilizando los instrumentos: Guía de observación y encuesta, realizados mediante el programa estadístico SPSS V26.

Tabla 13.

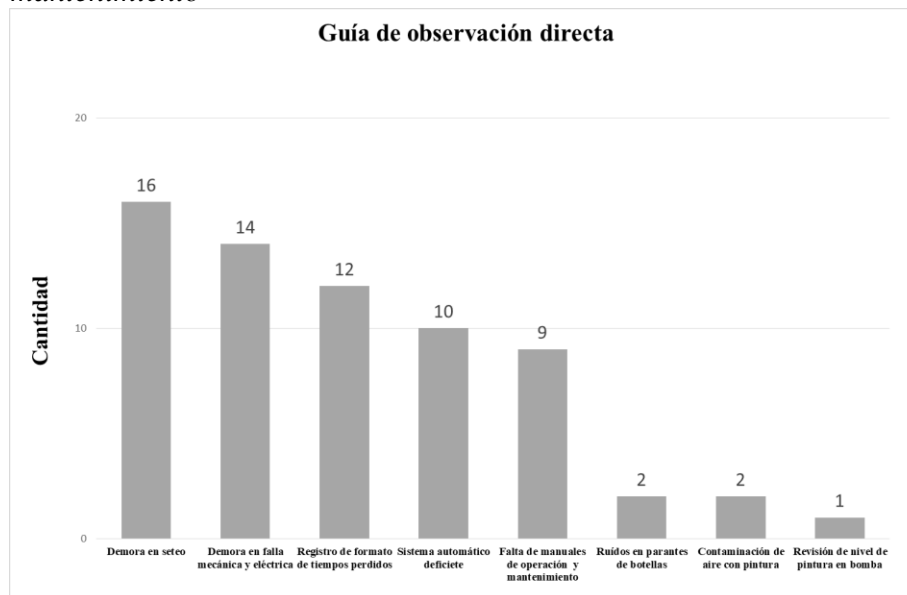
Resultados de guía de observación directa – Proceso de pintado, operación y mantenimiento

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Demora en seteo	16
2	Demora en falla mecánica y eléctrica	14
3	Registro de formato de tiempos perdidos	12
4	Sistema automático deficiente	10
5	Falta de manuales de operación y mantenimiento	9
6	Ruidos en parantes de botellas	2
7	Contaminación de aire con pintura	2
8	Revisión de nivel de pintura en bomba	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 9.

Guía de observación directa – Proceso de pintado, operación y mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

A partir de las guías de observación realizadas 4 veces por día, durante un periodo de 5 días consecutivos, dando como resultado 20 guías de observación recolectadas. De la Tabla 13 y figura 9, se puede determinar que se encontró

mayor participación de observación de demora en seteo (16 veces), Demora en atención de falla mecánica y eléctrica (14 veces), Registro de formato de tiempos perdidos (12 veces), sistema automático deficiente (10 veces) y Falta de manuales de operación y mantenimiento (9 veces), distantes de las otras 3 observaciones restantes. Es por ello que con estos resultados se elabora la encuesta dirigida a los equipos de producción y mantenimiento con fines de investigación.

Tabla 14.

Encuesta – El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de botellas de vidrio

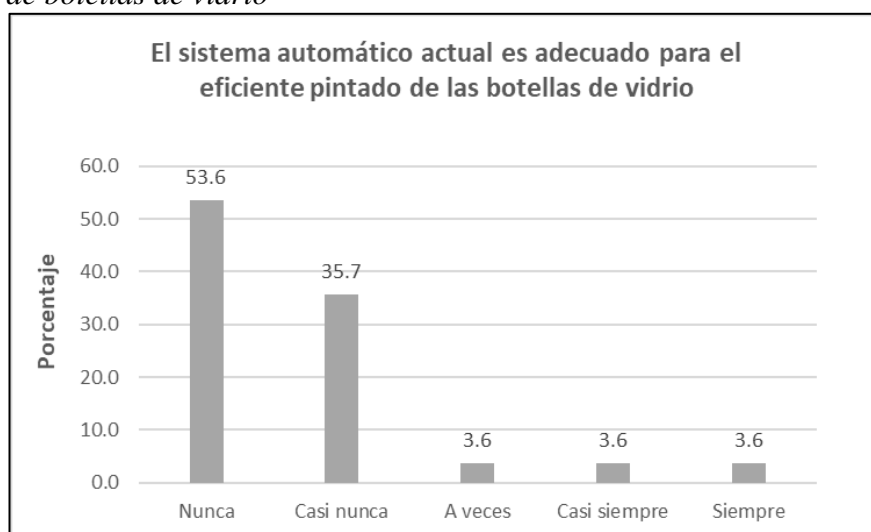
El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de las botellas de vidrio

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	15	53.6	53.6
2	Casi nunca	10	35.7	89.3
3	A veces	1	3.6	92.9
4	Casi siempre	1	3.6	96.4
5	Siempre	1	3.6	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 10.

Encuesta - El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de botellas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

La tabla 14 y Figura 10 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que las categorías con mayor porcentaje son las escalas 1 y 2, Nunca (53,6%) y Casi nunca (35,7%), respectivamente. Asimismo, las categorías de menor porcentaje (3,6%) son las escalas 3,4 y 5.

Tabla 15.

Encuesta – Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas

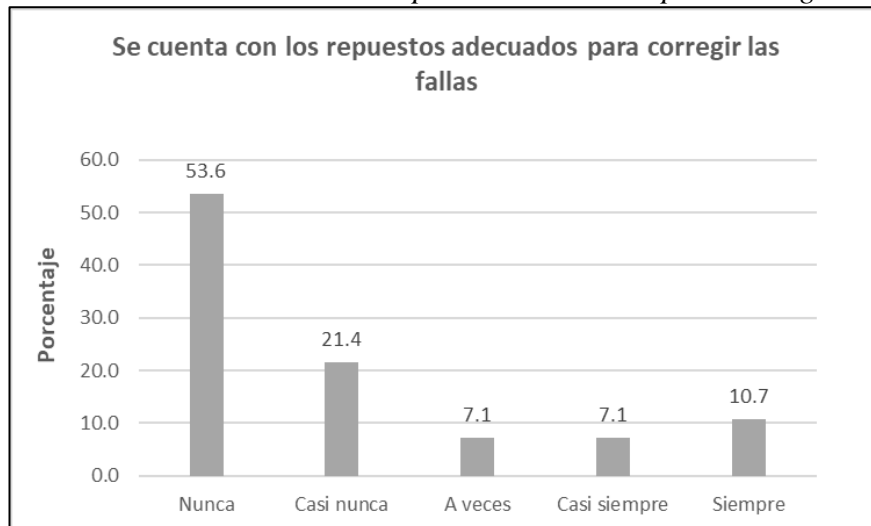
Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	15	53.6	53.6
2	Casi nunca	6	21.4	75.0
3	A veces	2	7.1	82.1
4	Casi siempre	2	7.1	89.2
5	Siempre	3	10.7	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 11.

Encuesta – Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas



Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 y Figura 11 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que las categorías con mayor porcentaje son las escalas 1 y 2, Nunca (53,6%) y Casi nunca (21,4%) respectivamente. Asimismo, las categorías de menor porcentaje (7,1%) son las escalas 3 y 5.

Tabla 16.

Encuesta – La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub-sistemas

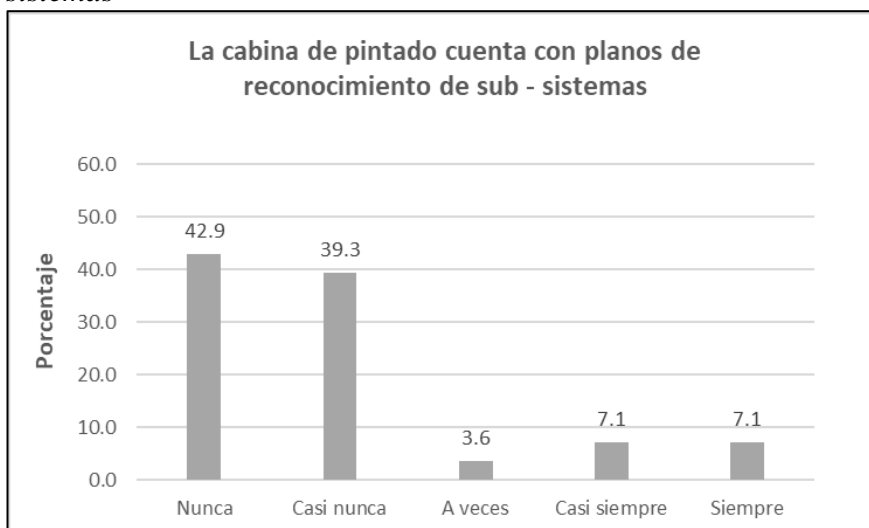
La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub - sistemas

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	12	42.9	42.9
2	Casi nunca	11	39.3	82.1
3	A veces	1	3.6	85.7
4	Casi siempre	2	7.1	92.9
5	Siempre	2	7.1	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 12.

Encuesta – La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub-sistemas



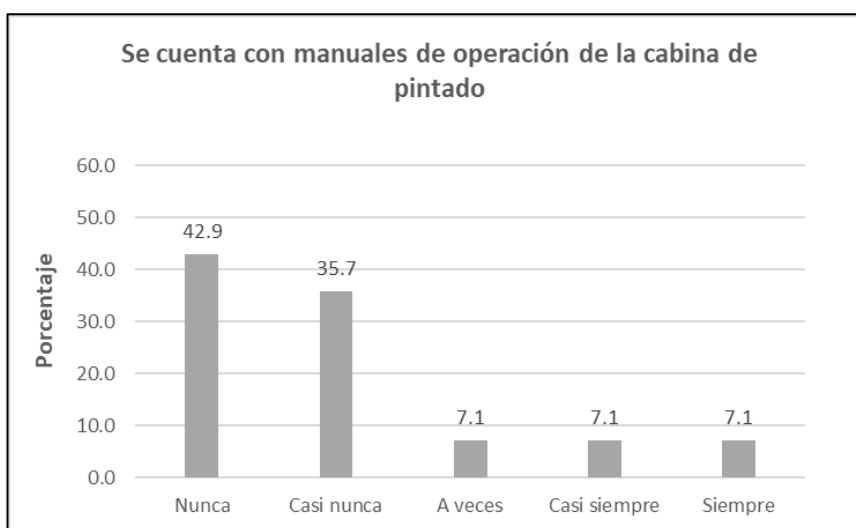
Fuente: Elaboración propia

La tabla 16 y Figura 11 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que las categorías con mayor porcentaje son las escalas 1 y 2, Nunca (42,9%) y Casi nunca (39,3%) respectivamente. Asimismo, la categoría de menor porcentaje (3,6%) es la escala 3.

Tabla 17.
Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado
Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	12	42.9	42.9
2	Casi nunca	10	35.7	78.6
3	A veces	2	7.1	85.7
4	Casi siempre	2	7.1	92.8
5	Siempre	2	7.1	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 13.
Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado


Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 y Figura 13 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que las categorías con mayor porcentaje son las escalas 1 y 2, Nunca (42,9%) y Casi nunca (35,7%) respectivamente. Asimismo, las categorías de menor porcentaje (7,1%) son las escalas 3,4 y 5.

Tabla 18.

Encuesta – Se cuenta con formatos de toma de tiempos perdidos

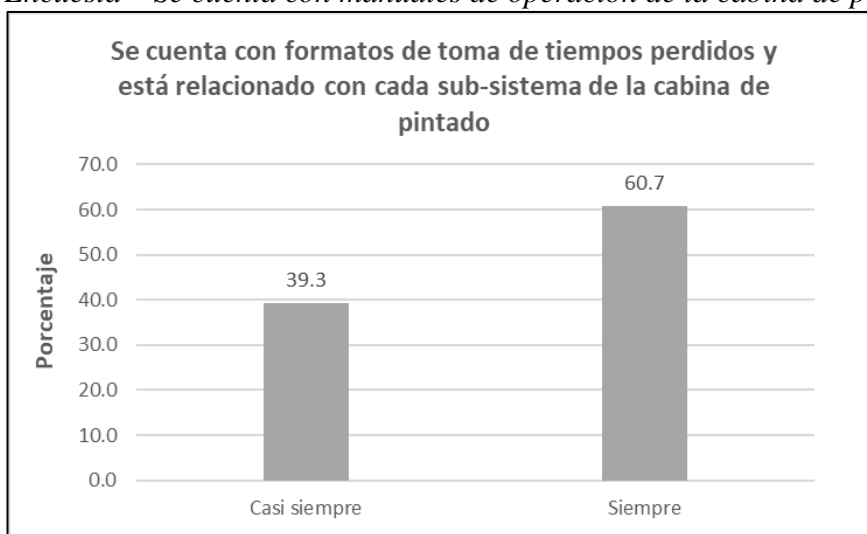
Se cuenta con formatos de toma de tiempos perdidos y está relacionado con cada sub-sistema de la cabina de pintado

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
4	Casi siempre	11	39.3	39.3
5	Siempre	17	60.7	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 14.

Encuesta – Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado



Fuente: Elaboración propia

La tabla 18 y Figura 14 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje es la escala 2, Casi nunca (60,7%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (39,3%) es de la escala 1.

Tabla 19.

Encuesta – El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad

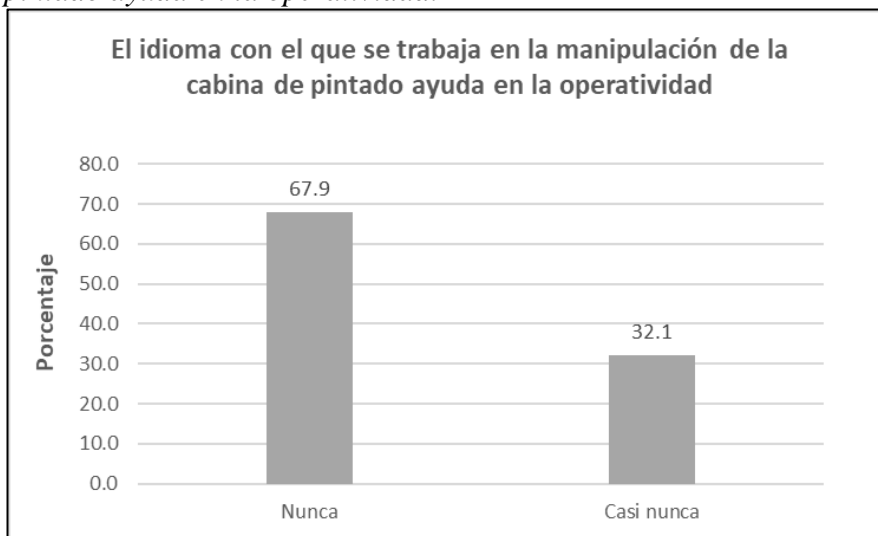
El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
4	Nunca	19	67.9	67.9
5	Casi nunca	9	32.1	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 15.

Encuesta – El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad.



Fuente: Elaboración propia

La tabla 19 y Figura 15 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje es la escala 1, Nunca (67,9%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (32,1%) es de la escala 2.

Tabla 20.

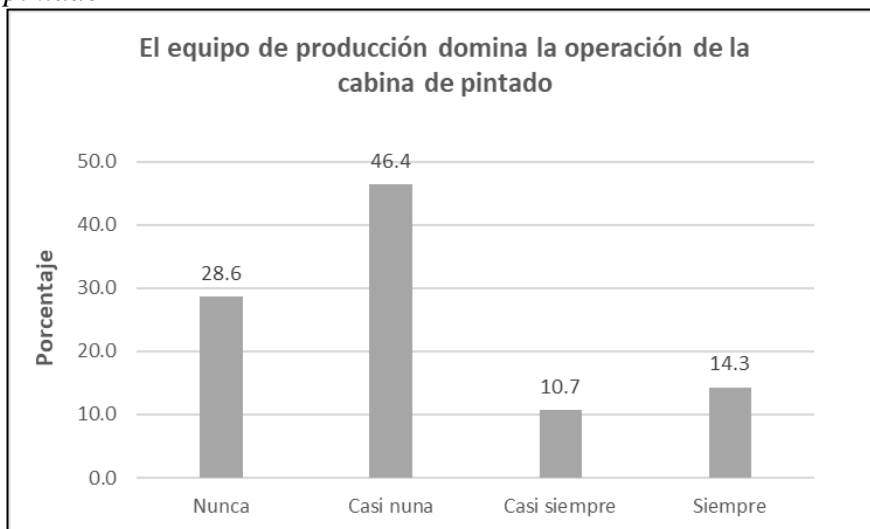
Encuesta – El equipo de producción domina la operación de la cabina de pintado

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	8	28.6	28.6
2	Casi nunca	13	46.4	75.0
4	Casi siempre	3	10.7	85.7
5	Siempre	4	14.3	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 16.

Encuesta – El equipo de producción domina la operación de la cabina de pintado



Fuente: Elaboración propia

La tabla 20 y Figura 16 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje es la escala 2, Casi nunca (46,4%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (28,6%) es de la escala 1.

Tabla 21.

Encuesta – El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado

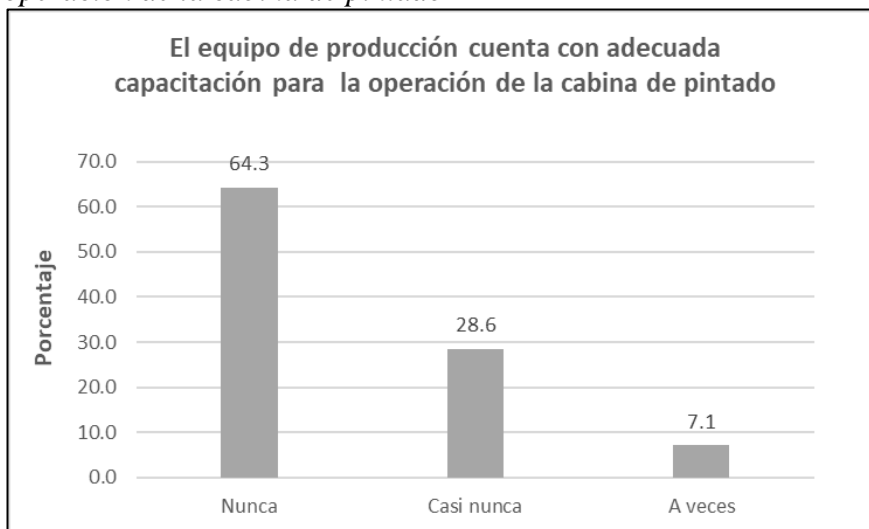
El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	18	64.3	64.3
2	Casi nunca	8	28.6	92.9
3	A veces	2	7.1	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 17.

Encuesta – El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado



Fuente: Elaboración propia

La tabla 21 y Figura 17 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje es la escala 1, Nunca (64,3%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (7,1%) es de la escala 3.

Tabla 22.

Encuesta – El equipo de mantenimiento reconoce rápidamente donde se generan las fallas

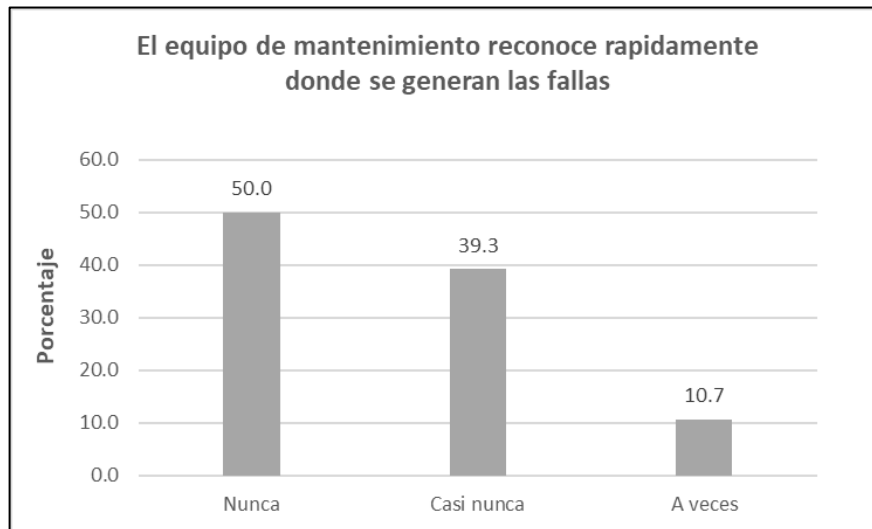
El equipo de mantenimiento reconoce rápidamente donde se generan las fallas

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	14	50.0	50.0
2	Casi nunca	11	39.3	89.3
3	A veces	3	10.7	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 18.

Encuesta – El equipo de mantenimiento reconoce rápidamente donde se generan las fallas



Fuente: Elaboración propia

La tabla 22 y Figura 18 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje es la escala 1, Nunca (50%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (10,7%) es de la escala 3.

Tabla 23.

Encuesta – El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la corrección de fallas

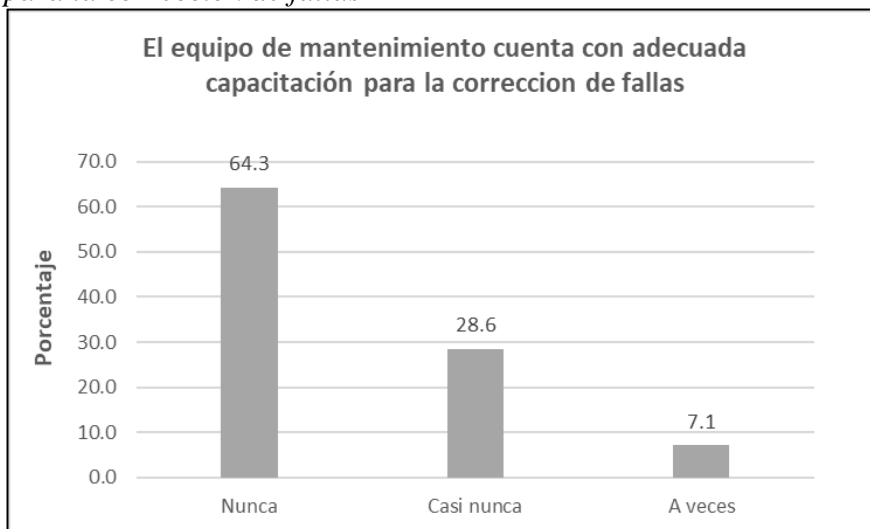
El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la corrección de fallas

Escala	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Nunca	18	64.3	64.3
2	Casi nunca	8	28.6	92.9
3	A veces	2	7.1	100.0
	Total	28	100.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 19.

Encuesta – El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la corrección de fallas



Fuente: Elaboración propia

La tabla 23 y Figura 19 de los resultados de las variables del cuestionario, podemos decir, que la categoría con mayor porcentaje, es la escala 1, Nunca (64,3%). Asimismo, la categoría de menor porcentaje (7,1%) es de la escala 3.

2.5.2. Implementación de una nueva interfase grafica

Actualmente se cuenta con 2 equipos completos de automatización modelo Simatic C7 de la marca Siemens como se muestra en la figura 20, este equipo está conformado por modulo HMI integrado con teclado y display de cuatro líneas con espacio para 20 caracteres o 10 caracteres de imagen en cada línea. Las pantallas se encuentran diseñados en idioma alemán generando una interfase poco amigable para su operación, asimismo no cuenta con avisos de alarmas y fallas los que ocasiona demoras al momento de intervenir el sistema para mantenimientos correctivos, sumado todos estos factores nos genera demoras en los cambios de referencia debido a que el personal de operación no

se encuentra capacitado en su totalidad y por otro lado no se cuenta con manuales de operación.

Figura 20.
Equipo C7-613 de Siemens



Fuente: manual C7-613 Siemens

En reemplazo al actual HMI se selecciona una interfase de 7 pulgadas con pantalla táctil y a color. Con ayuda del software TIA PORTAL versión 15 se procedió a diseñar y configurar las pantallas de la interface HMI, en este caso se diseñaron 8 pantallas donde el operador puede navegar y modificar valores de seteo del proceso según las características del envase. **(Ver anexo 17).**

En la primera pantalla, figura 21 se muestra información básica de proyecto como el número de la cabina, el área de ubicación y datos como fecha y la hora.

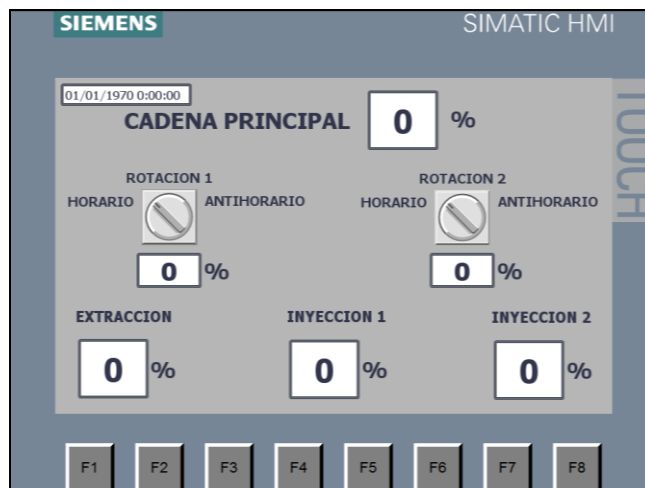
Figura 21.
Pantalla principal



Fuente: Elaboración propia.

En la segunda pantalla, figura 22 se puede modificar valores de velocidad en porcentaje de la cadena, los motores de rotación por cada estación y la potencia del extractor de pintura e inyectores de aire, los valores a modificar se encuentran en porcentaje en un rango de 0 a 100%.

Figura 22.
Pantalla de seteo de velocidades.



Fuente: Elaboración propia.

En la tercera pantalla, figura 23 y cuarta pantalla, figura 24, se puede modificar el estado de las pistolas entre apagado, manual o automática, en modo manual las electroválvulas se activan de manera constante y el accionamiento de las

pistolas son controladas mediante una válvula con accionamiento por palanca, en modo automático las pistolas son activadas por la lógica del PLC y la detección de los sensores, cada pistola tiene una posición la cual es seteada por el operador en la opción parantes según el número de parantes tomando como punto de partida los sensores y en tiempo se ingresa el tiempo de activación de las pistolas para el pintado.

Figura 23.

Pantalla de seteo de pistolas de estación 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24.

Pantalla de seteo de pistolas de estación 2.



Fuente: Elaboración propia.

En la quinta pantalla, figura 25, se puede modificar la velocidad y el sentido de rotación el flameado de envases que es una etapa del proceso para aumentar la tensión superficial del mismo.

Figura 25.

Pantalla de seteo de flameador.

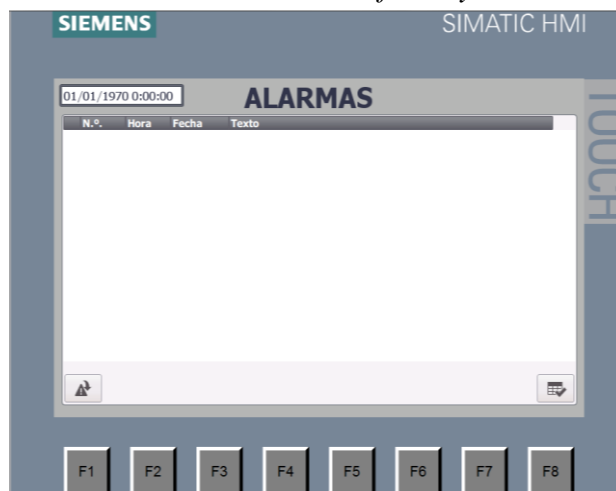


Fuente: Elaboración propia.

En la sexta pantalla, figura 26, se puede visualizar las alarmas y fallos que se pudieran presentar en cualquier parte del proceso. Estas fallas y/o alarmas pueden ser por accionamiento de paradas de emergencia, atoros en cadena, fallas en los variadores de velocidad, por sobretensión o sobrecalentamiento, etc.

Figura 26.

Pantalla de visualización de fallas y alarmas del proceso.



Fuente: Elaboración propia.

En la séptima pantalla, figura 27, se puede visualizar el comportamiento de entradas y salidas del PLC, esta pantalla sirve como ayuda para la detección de fallas a los técnicos instrumentistas.

Figura 27.

Pantalla de visualización de comportamiento de entradas y salidas del PLC.

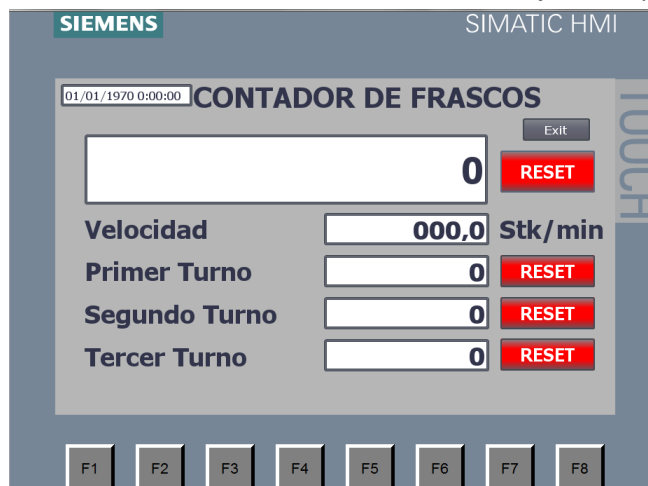


Fuente: Elaboración propia.

En la octava pantalla, figura 28, se visualiza un contador de frascos pintados por turno y la velocidad de la cadena en parantes por minuto.

Figura 28.

Pantalla de visualización de contador de frascos y velocidad de cadena.



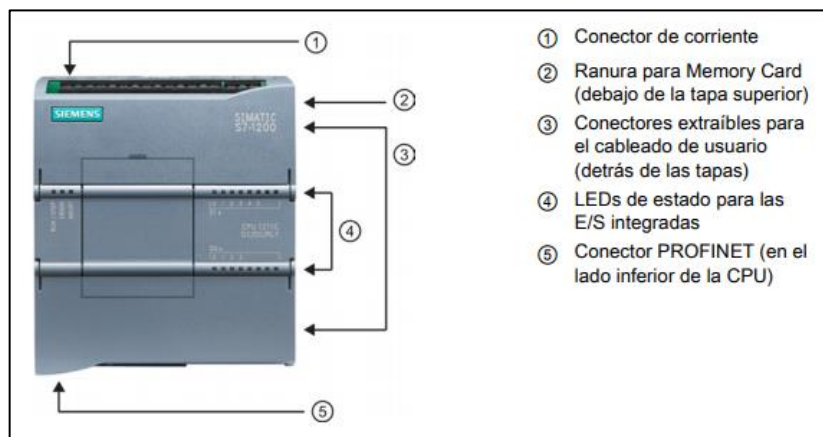
Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Implementación un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema.

Actualmente se cuenta con un equipo de automatización C7-613 de la marca Siemens como se muestra en la figura 20, que también cuenta con un CPU Simatic S7-313c. En su reemplazo se selecciona un PLC de la gama S7-1200 de marca Siemens con un CPU 1214 cuya estructura se muestra en la figura 29.

Figura 29.

Partes del PLC siemens S7-1200



Fuente: Manual S7- 1200 Siemens.

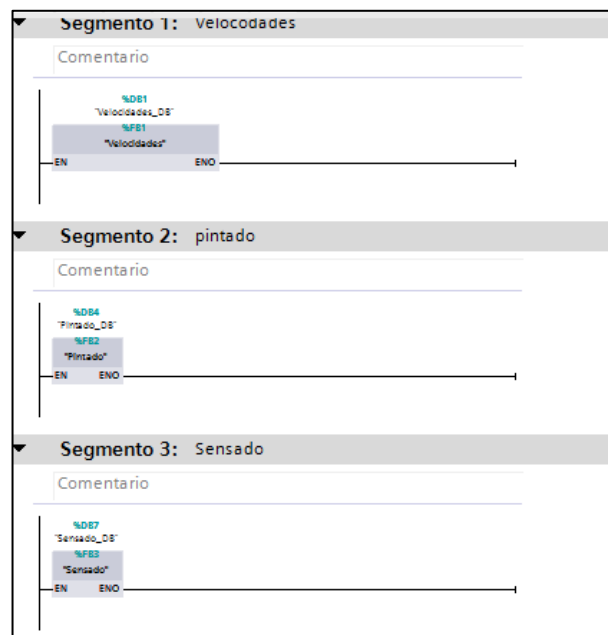
2.5.3.1. Programación del PLC

Para la programación se usó el lenguaje Ladder, más conocido como lenguaje de escalera, y se tomó como referencia la funcionalidad actual del sistema, la cabina de pintado se encarga de pintar las botellas de vidrio en distintas presentaciones y formas de manera continua, el sistema inicia en la colocación de frascos en los parantes de la cadena de arrastre, dichos pines, son detectados en su recorrido por un sensor inductivo que está alineado en forma vertical con el sensor fotoeléctrico quien confirma la presencia de frasco en dicho parante, según programa de PLC realiza un conteo de pines hasta llegar a la ubicación de la pistola seteadas y este se active para pintar el frasco de vidrio. La

programación se separó en los siguientes bloques (Figura 30): velocidades, donde se encuentra el control de los motores; sensado, donde se realiza toda la lógica de sensores; y el bloque pintado, donde se realiza toda la lógica para activación y desactivación de las pistolas para el pintado para los modos manual y automático.

Figura 30.

Bloques de programación Tia Portal V15.

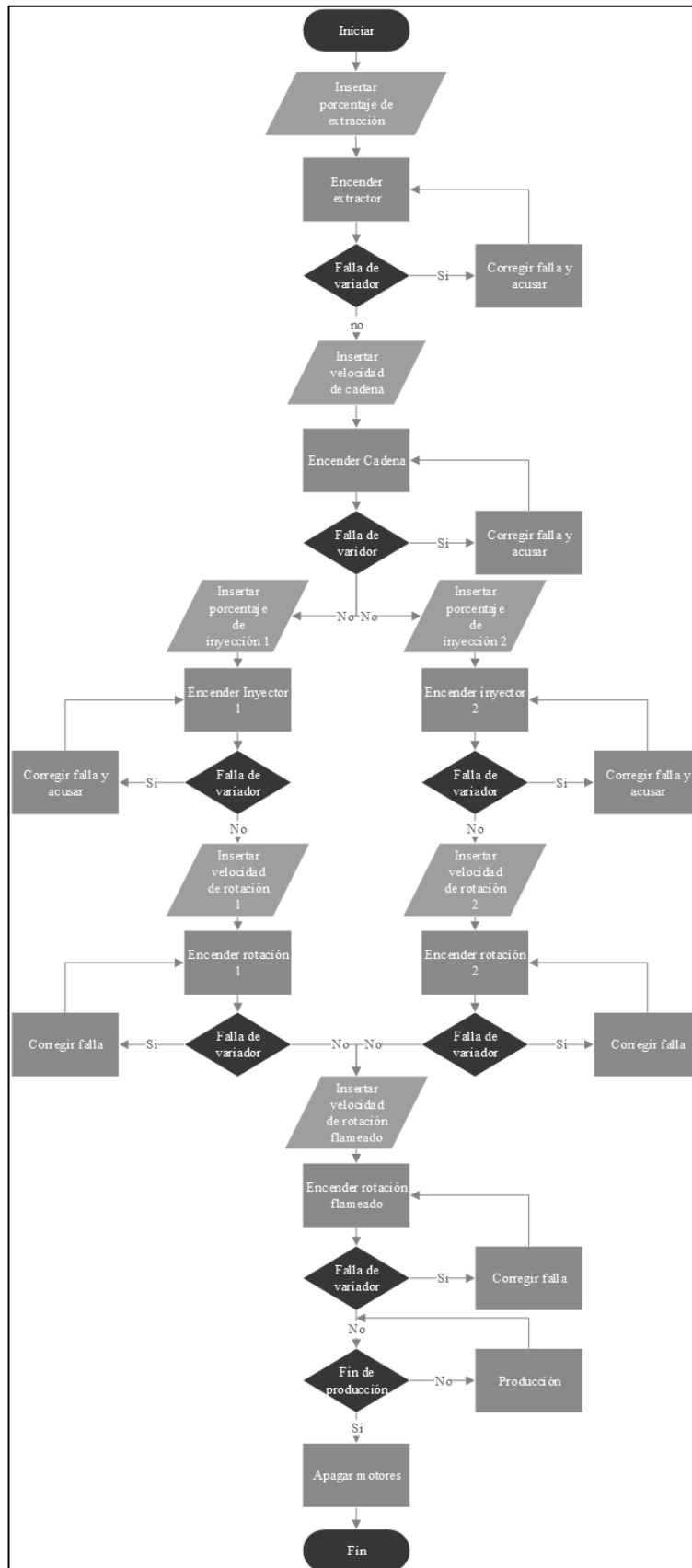


Fuente: Elaboración propia.

La lógica del bloque de velocidades se encuentra representada por el diagrama de flujo de encendido de motores como se muestra en la figura 31, iniciando el proceso con la extracción de pintura e inyectores de aire que ayuden a direccionar la pintura hacia el los frascos y el extractor, para luego encender la cadena de avance donde se encuentran los parantes donde se insertan los frascos que posteriormente serán pintados, en cada estación se cuenta con motores de rotación que hacen girar los parantes y de esa manera tener un pintado uniforme, por último se cuenta con un motor de rotación en la zona de flameado para que este sea uniforme y ayude a aumentar la tensión superficial con la finalidad que la pintura no se desprenda con facilidad.

Figura 31.

Diagrama de flujo para encendido de motores



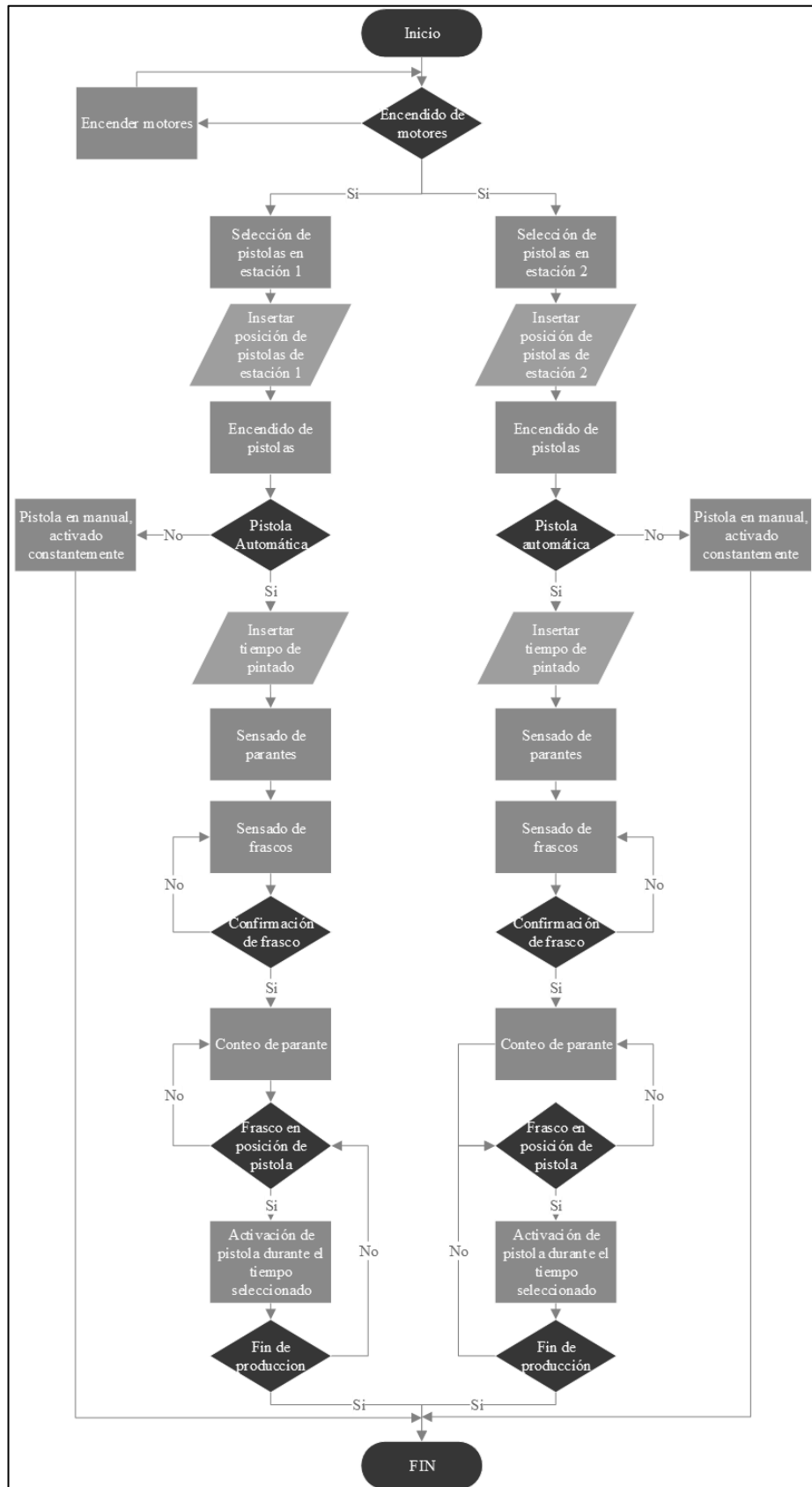
Fuente: Elaboración propia

La lógica del bloque de pintado se encuentra representado por el diagrama de flujo para pintado de envases de vidrio mostrado en la figura 32, iniciando el proceso con la confirmación de encendido de motores, las 2 estaciones de pintado son independientes; sin embargo, ambas pueden pintar a las vez, dependiendo del diseño de pintado donde se usan más de 6 pistolas que son el número máximo por estación, la secuencia inicia con la elección de las pistolas según el diseño a pintar, continuando con el ingreso de datos para la posición de pistolas y encendidos de estas en modo automático para producción y en modo manual para pruebas de estado de pistolas y lavado de las mismas, luego se inserta el tiempo de pintado por cada pistola en escala de segundos; con la cadena en movimiento y frascos insertados en cada parante se confirma la presencia de estos con ayuda de los sensores inductivos que detectan los parantes y los sensores fotoeléctricos que detectan la presencia de frascos en parantes e iniciar la cuenta para activar las pistolas según la posición indicada inicialmente, durante el tiempo indicado al momento del seteo. De esta manera se puede garantizar que las pistolas solo se activen cuando sea necesario.

Todo el sistema de control, así como la ubicación del PLC y HMI se instalarán en un nuevo tablero para los cual inicialmente se dibuja el plano eléctrico del proyecto como se muestra en el **Anexo 9**, para luego armar e instalar el nuevo tablero de control haciendo uso de la lista de materiales que se muestra en el **Anexo 10**. Y para la ventilación se utilizará un inyector de aire externo para evitar contaminación por pintura de los equipos eléctricos y electrónicos.

Figura 32.

Diagrama de flujo para encendido de motores



Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Aplicación de la metodología Jidoka

Actualmente durante el proceso de pintado no se cuenta con un método o herramienta que evalúe la calidad durante el paso al paso del proceso. En el **Anexo 4** se verifica que la inspección de las botellas pintadas se realiza en una primera etapa en la actividad N°12, en donde se retira los frascos de parantes de máquina y en paralelo se realiza la **inspección de las botellas** (actividad mixta) y después de este hasta la actividad N°17 en una etapa final, en donde se verifica el **control de calidad** (actividad de inspección), las botellas defectuosas son reportadas y separadas al momento de la inspección final, pero al ser actividades tan alejadas del inicio de proceso se genera merma bastante elevada (**Ver tabla 11**). Por tal motivo, mediante Jidoka se busca reducir la cantidad de merma mediante la instalación de paradas de emergencia por tirón de cable, lo que les permitirá a los operarios de la cabina de pintado tener total libertad de parar el equipo cuando sea necesario y cuando este ubicado en cualquier lugar de la línea de producción, generando así que se pueda solucionar el defecto en el momento adecuado. Asimismo, se colocarán alarmas durante el proceso de pintado de tal forma que las botellas con defecto no sigan avanzando en el proceso y se dé solución en el mismo instante.

Se realizó una capacitación a todo el personal involucrado en el proceso de pintado de botellas (Mantenimiento y operación) con el fin de que conozcan más a fondo esta herramienta de Lean Manufacturing (**Ver Anexo 8**). Asimismo, se aprovechó la capacitación para consultar a cada uno de los integrantes mediante formato de lluvia de ideas cuales son las causas de defectos que se observan con respecto a la mala calidad de las botellas en la

línea de producción de pintado. Los resultados arrojados se encuentran en la tabla 24, de donde se verifica que las causas más recurrentes según juicio de expertos son des calibración de máquina con 36%, atoros en parantes con 32% y contaminación con 21%, asimismo se revisaron los reportes de producción, en donde se verificó la similitud de las causas. **(ver tabla 11).**

Tabla 24.

Resultado de lluvia de ideas de causas de defectos en calidad

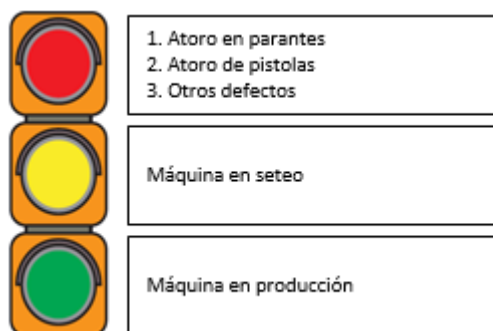
Ítem	Descripción	Elección	Porcentaje
1	Descalibración	10	36%
2	Atoros en parantes	9	32%
3	Contaminación	6	21%
4	Atoro de pistolas	2	7%
5	Falta de pintura	1	4%

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de la herramienta Jidoka nos apoyamos en 2 herramientas: Poka Yoke y Andon. Con la herramienta Poka Yoke consideramos 1 aparato para realizar el paro de producción, manteniendo el toque humano. Se estableció colocar parada de emergencia por tirón de cable, con el fin de que el operador al verificar un error durante el proceso (atoros en parantes u otros), pueda parar la producción inmediatamente, en la figura 33 se puede observar las condiciones o defectos más recurrentes que se presentan para realizar este paro.

Figura 33.

Condición de parada de producción



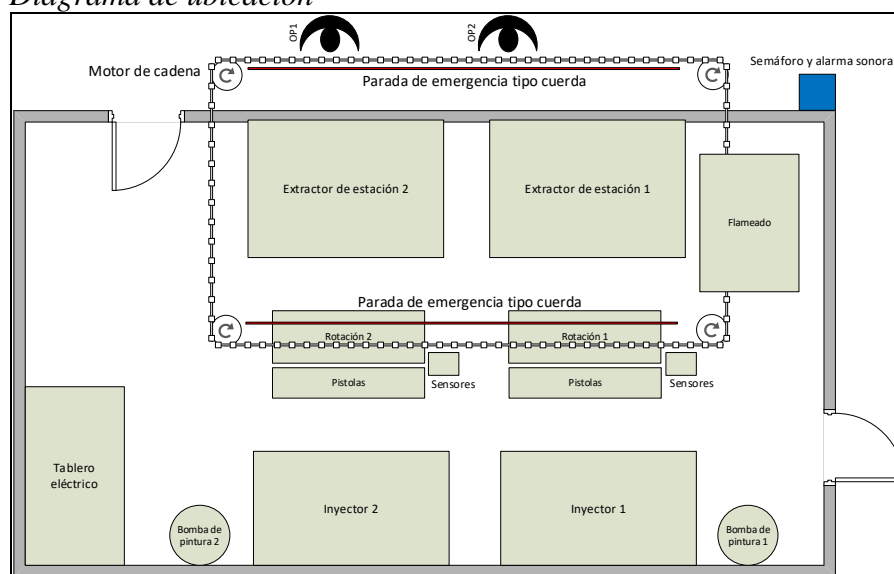
Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con la herramienta Andon se consideró una alarma que detecte inmediatamente el defecto de detención de motor de extracción de vapor y partículas de pintura lo cual ocasionaría contaminación en el proceso de pintado, esta alarma se visualiza en el panel HMI y el sistema da la señal de alarma con una circulina que emite un sonido y una luz led color rojo con el fin de que los responsables pueden corregir el error de manera inmediata, ejecutando las medidas necesarias, evitar que vuelva a repetirse.

En la figura 34 se representa de manera esquemática la ubicación de los componentes de la cabina de pintado, así como también la ubicación de las paradas de emergencia, el semáforo y la alarma sonora. Por otro lado, se observa la nueva ubicación del tablero eléctrico de control. Ver ANEXO 15.

Figura 34.

Diagrama de ubicación



Fuente: Elaboración propia

2.6. Aspectos éticos

La presente investigación fue elaborada con datos auténticos, para ello se solicitó el permiso de autorización para el uso de información de la empresa. Asimismo, se citó según el manual APA a todas las referencias de los autores que aportaron en la realización de la investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Mejora del sistema automatizado para optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Como respuesta al problema principal; ¿De qué manera la implementación de mejora del sistema automatizado podría optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio?

En resultado de la propuesta de mejora al sistema automatizado se puede observar en la tabla 25 que los porcentajes de disponibilidad, rendimiento y calidad en el primer semestre han variado favorablemente, logrando de esta manera poder optimizar dichos indicadores; por lo tanto, se logró mejorar el OEE en un 24,8% con respecto al año 2020, pasando de un nivel malo y con muy baja competitividad con 63.2% (ver Anexo12) a obtener un nivel bueno y buena competitividad con 88.0% en el 2021 como se muestra en la figura 35.

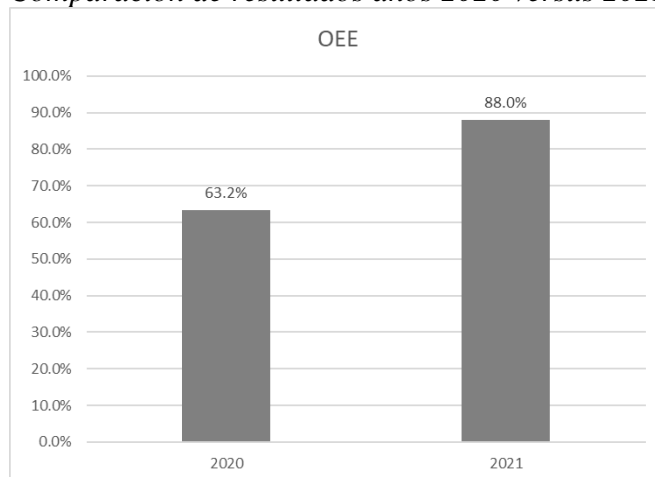
Para la obtención del indicador OEE se hizo el uso de la siguiente formula:

$$Oee = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Tabla 25.
OEE después de la mejora

Mes	1	2	3	4	5	6	Prom
Disponibilidad	90.2%	91.4%	90.3%	91.2%	91.8%	92.2%	91.2%
Rendimiento	98.3%	98.7%	98.1%	97.8%	97.4%	98.0%	98.1%
Calidad	98.6%	98.6%	98.4%	98.5%	98.5%	98.2%	98.5%
OEE	87.4%	88.9%	87.2%	87.9%	88.1%	88.7%	88.0%

Fuente: Elaboración propia

Figura 35.
Comparación de resultados años 2020 versus 2021


Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis general

H₀: No existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la optimización de los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.

H_A: Existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la optimización de los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Reglas: (Nivel de significancia = 0.05)

P valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula.

P valor es menor a 0.05, se acepta la hipótesis alterna del investigador.

Tabla 26.

Prueba t de Student de los indicadores de la OEE antes y después de la implementación

	2020	2021
Media	0.6320165	0.8803122
Varianza	0.000772	4.734E-05
Observaciones	10	6
Varianza agrupada	0.0005132	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-21.22435	
P(T<=t) una cola	2.399E-12	
Valor crítico de t (una cola)	1.7613101	
P(T<=t) dos colas	4.80E-12	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1447867	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 26 evidencia que existe una diferencia de -24.82 entre el promedio de la OEE antes de la implementación de la mejora del sistema automatizado y el promedio de la OEE después de la implementación de la mejora del sistema automatizado, lo cual indica que existe una diferencia significativa entre ambos promedios. Asimismo, se obtuvo un P valor = 0.000, el cual, al ser menor que el nivel de significancia establecido (0.05), evidencia que se debe aceptar la hipótesis alterna del investigador, la cual indica que la variable independiente “mejora del sistema automatizado” sí incide en la optimización de la variable dependiente “indicadores de Efectividad Global de los Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio”.

3.2. Diseño y configuración de una nueva interfaz gráfica de monitoreo y control para mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio

Con la implementación de una nueva interfase grafica se reduce el tiempo de cambios de referencia en un 70%, para esto se realizó una simulación en el programa Tia portal, para lo cual se capacitó a los operarios para el uso de la nueva interfaz gráfica cuyos resultados obtenidos se muestran en la tabla 27, donde se compara el tiempo que demoran los operadores con la interfase grafica antigua y el tiempo que demoraron con la nueva interfaz gráfica.

Tabla 27.
Tiempos de seteos de proceso

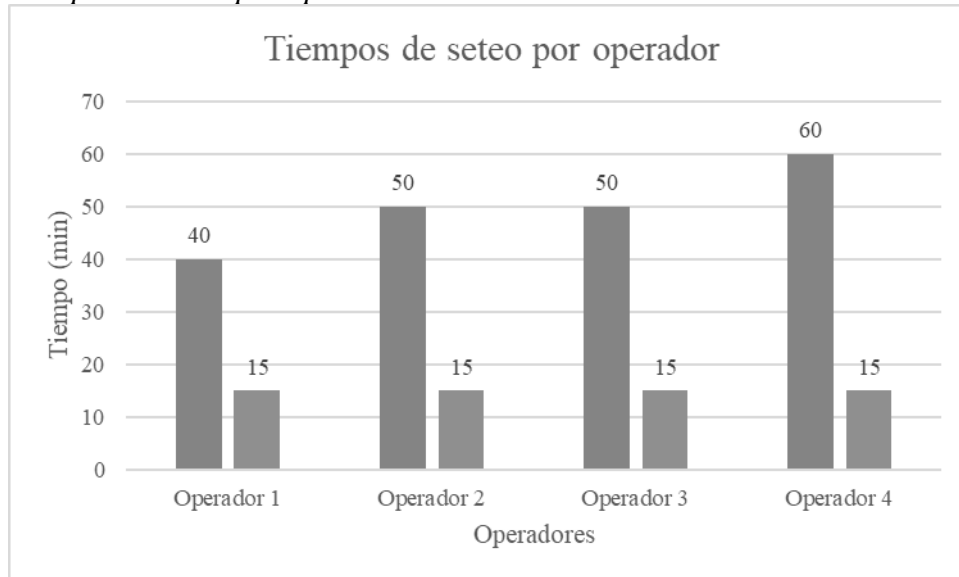
Operador	Tiempo de seteo anterior (min)	Tiempo de seteo actual (min)	Porcentaje reducción de tiempo
Operador 1	40	15	63%
Operador 2	50	15	70%
Operador 3	50	15	70%
Operador 4	60	15	75%
Promedio	50	15	70%

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la facilidad de interacción con la interfaz gráfica se obtuvo resultados favorables como la reducción de tiempos de seteo de todos los operadores a 15 minutos, como se muestra en la figura 36.

Figura 36.

Tiempos de seteo por operador.



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se muestra que debido a la implementación de la nueva interfaz también se proyecta reducir en un 50% las paradas por operación debido a la facilidad de adaptación que los operarios mostraron, a estos resultados se suma la reducción de un 70% de paradas por averías con un nuevo y mejorado sistema eléctrico y la nueva lógica de programación.

Para la obtención del indicador Disponibilidad se hizo el uso de la siguiente fórmula:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ produciendo}{Tiempo\ programado\ para\ producir}$$

Tabla 28.
Disponibilidad después de la mejora

Mes	1	2	3	4	5	6	Prom
T. Programado para producir	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Paradas por avería	1.6%	1.1%	1.4%	2.4%	1.8%	1.0%	1.6%
Cambios de referencia	6.9%	6.6%	6.8%	5.6%	6.1%	6.0%	6.3%
Paradas por operación	1.3%	1.0%	1.6%	0.8%	0.4%	0.9%	1.0%
Disponibilidad	90.2%	91.4%	90.3%	91.2%	91.8%	92.2%	91.2%

Fuente: Elaboración propia

Se responde favorablemente al primer problema secundario. ¿Cómo mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?, obteniendo como resultado de la implementación de una nueva interfase gráfica, aumentar un 19.8% con referencia al año 2020 llegando a 90.9% la disponibilidad de la cabina de pintado.

Prueba de hipótesis específica 1

H₀: No existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

H_A: Existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Reglas: (Nivel de significancia = 0.05)

P valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula.

P valor es menor a 0.05, se acepta la hipótesis alterna del investigador.

Tabla 29.
Prueba t de Student de la optimización de la disponibilidad

	2020	2021
Media	0.7119	0.9117167
Varianza	0.000435	6.209E-05
Observaciones	10	6
Varianza agrupada	0.0003018	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-22.27302	
P(T<=t) una cola	1.244E-12	
Valor crítico de t (una cola)	1.7613101	
P(T<=t) dos colas	2.488E-12	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1447867	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 29 evidencia que existe una diferencia de -19.98 entre el promedio de la disponibilidad antes de la implementación de la mejora del sistema automatizado y el promedio de la disponibilidad después de la implementación de la mejora del sistema automatizado, lo cual indica que existe una diferencia significativa entre ambos promedios. Asimismo, se obtuvo un P valor = 0.000, el cual, al ser menor que el nivel de significancia establecido (0.05), evidencia que se debe aceptar la hipótesis alterna del investigador, la cual indica que la variable independiente “mejora del sistema automatizado” sí incide en la variable dependiente “optimización de la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio”.

3.3. Implementación del nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema, para mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Con la implementación de un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema se reduce en un 90% las paradas por descalibración del proceso ligados directamente a la lógica antigua del proceso, por este motivo como resultado de reemplazar y programar un nuevo PLC y reemplazar el sistema eléctrico para lo cual se dibujó los planos eléctricos como se muestra en el anexo 9, en la tabla 30 se puede observar los resultados obtenidos, logrando aumentar a 98.1% el rendimiento de la cabina de pintado, respondiendo así favorablemente al segundo problema secundario. ¿Cómo mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio?

Para la obtención del indicador Rendimiento se hizo el uso de la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}}$$

Tabla 30.
Rendimiento después de la mejora

Mes	1	2	3	4	5	6	Prom
Producción teórica	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Descalibración del proceso	0.5%	0.4%	0.6%	0.4%	0.4%	0.6%	0.5%
Otras demoras	1.2%	0.9%	1.3%	1.8%	2.2%	1.4%	1.5%
Rendimiento	98.3%	98.7%	98.1%	97.8%	97.4%	98.0%	98.1%

Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis específica 2

H₀: No existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la funcionalidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

H_A: Existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la funcionalidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Reglas: (Nivel de significancia = 0.05)

P valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula.

P valor es menor a 0.05, se acepta la hipótesis alterna del investigador.

Tabla 31.
Prueba t de Student de la optimización del rendimiento

	2020	2021
Media	0.94784	0.9807667
Varianza	0.0002488	2.036E-05
Observaciones	10	6
Varianza agrupada	0.0001672	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-4.930993	
P(T<=t) una cola	0.0001106	
Valor crítico de t (una cola)	1.7613101	
P(T<=t) dos colas	0.0002211	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1447867	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 31 evidencia que existe una diferencia de -3.39 entre el promedio de la funcionalidad antes de la implementación de la mejora del sistema automatizado y el promedio de la funcionalidad después de la implementación de la mejora del sistema automatizado, lo cual indica que existe una diferencia significativa entre ambos

promedios. Asimismo, se obtuvo un P valor = 0.000, el cual, al ser menor que el nivel de significancia establecido (0.05), evidencia que se debe aceptar la hipótesis alterna del investigador, la cual indica que la variable independiente “mejora del sistema automatizado” sí incide en la variable dependiente “optimización de la funcionalidad de una cabina de pintado de envases de vidrio”.

3.4. Mejora del sistema automatizado para optimizar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio implementando la metodología Jidoka.

Con la implementación de la metodología Jidoka se reduce las mermas por descalibración en un 90% y por paradas de rotación en un 80% como se muestra en la tabla 32, obteniendo como resultado un aumento del indicador de calidad a 98.5%. Respondiendo de esa manera el tercer problema secundario. ¿Cómo mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?

Para la obtención del indicador Disponibilidad se hizo el uso de la siguiente formula:

$$Calidad = \frac{Cantidad\ de\ productos\ buenos}{Cantidad\ total\ producida}$$

Tabla 32.

Calidad después de la mejora

Mes	1	2	3	4	5	6	Prom
Cantidad total producida	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Contaminación	1.2%	1.2%	1.3%	1.3%	1.1%	1.3%	1.2%
Descalibración	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.4%	0.2%
Paradas de rotación	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Calidad	98.6%	98.6%	98.4%	98.5%	98.5%	98.2%	98.5%

Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis específica 3

H0: No existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

HA: Existe relación significativa entre la mejora del sistema automatizado y la mejora de la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio.

Reglas: (Nivel de significancia = 0.05)

P valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula.

P valor es menor a 0.05, se acepta la hipótesis alterna del investigador.

Tabla 33.

Prueba t de Student de la optimización de la calidad

	2020	2021
Media	0.93675	0.984505
Varianza	0.0009262	2.5E-06
Observaciones	10	6
Varianza agrupada	0.0005963	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-3.787067	
P(T<=t) una cola	0.0010006	
Valor crítico de t (una cola)	1.7613101	
P(T<=t) dos colas	0.0020013	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1447867	

Fuente: Elaboración propia

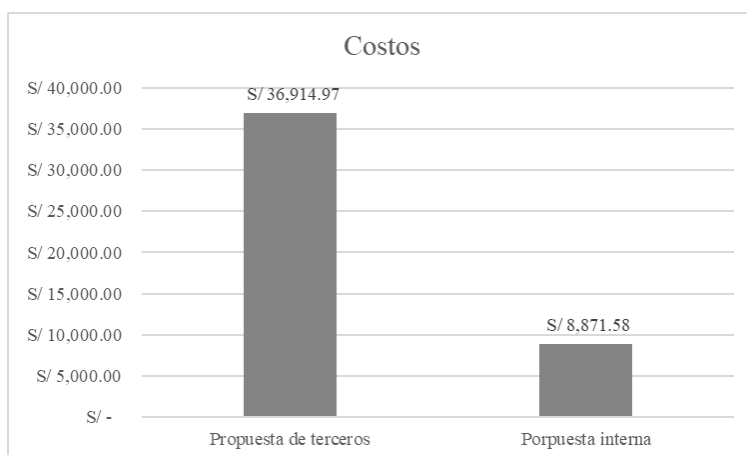
La tabla 33 evidencia que existe una diferencia de -4.76 entre el promedio de la calidad antes de la implementación de la mejora del sistema automatizado y el promedio de la calidad después de la implementación de la mejora del sistema automatizado, lo cual indica que existe una diferencia significativa entre ambos promedios. Asimismo, se obtuvo un P valor = 0.000, el cual, al ser menor que el nivel de significancia establecido (0.05), evidencia que se debe aceptar la hipótesis alterna del investigador, la cual indica que la variable independiente “mejora del sistema automatizado” sí incide en la variable dependiente “optimización de la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio”.

3.5. Beneficios económicos de la mejora.

3.5.1. Beneficio económico por utilizar los recursos de la empresa para la implementación.

Al realizar una comparación de costos de implementación entre una empresa tercera o emplear los recursos de la empresa en mano de obra e ingeniería para la elección y programación del PLC-HMI, elaboración de planos eléctricos, se obtuvo un ahorro de 28,043.39 soles como se muestra en la **figura 37** que es el resultado de comparar las **tablas 7 y 8**.

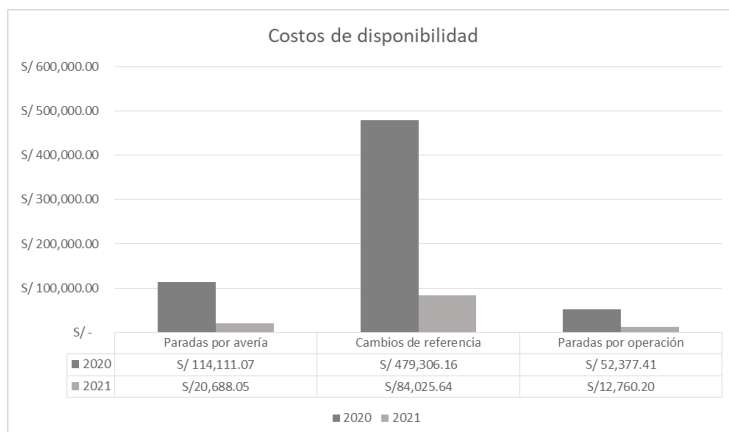
Figura 37.
Comparación de costos de implementación



Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Beneficio económico por mejora de la disponibilidad

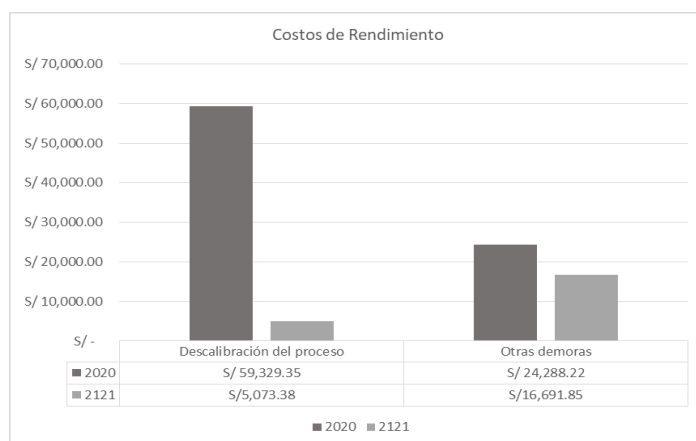
En la Figura 38 se muestra un gráfico comparativo de los costos generados por paradas de máquina, donde se mencionan: parada por avería u operación y cambios de referencia en los años 2020 comparados con el primer semestre del año 2021. Proyectando un escenario similar para el segundo semestre del año 2021 se tendría un costo total de 234,947.78 soles que es mucho menor al costo total del año 2020 que asciende a 645,794.64 soles, obteniendo un ahorro en costos de 410,846.86 soles como beneficio de mejorar la disponibilidad de la cabina de pintado de envases de vidrio.

Figura 38.
Comparación de costos de disponibilidad años 2020 y 2021.


Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Beneficio económico por mejora del rendimiento

En la Figura 39 se muestra un gráfico comparativo de los costos generados por descalibración del proceso y otras demoras entre los años 2020 y primer semestre del año 2021, proyectando un escenario similar para el segundo semestre del año 2021 se tendría un costo total de 43,530.45 soles que es mucho menor al costo total del año 2020 que asciende a 83,617.57 soles, obteniendo un ahorro en costos de 40,087.12 soles como beneficio de mejorar el rendimiento de la cabina de pintado de envases de vidrio.

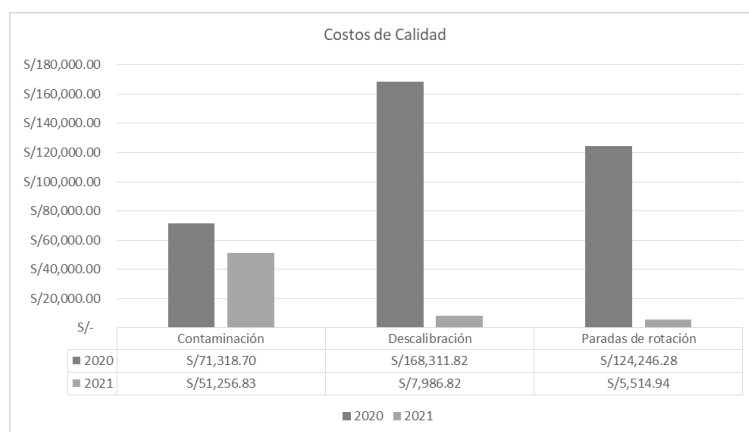
Figura 39.
Comparación de costos de Rendimiento años 2020 y 2021.


Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Beneficio económico por mejora de la calidad

En la Figura 40 se muestra un gráfico comparativo de los costos generados por las mermas del proceso entre los años 2020 y primer semestre del año 2021, proyectando un escenario similar para el segundo semestre del año 2021 se tendría un costo total de 129,517.18 soles que es mucho menor al costo total del año 2020 que asciende a 363,876.81 soles, obteniendo un ahorro en costos de 234,359.62 soles como beneficio de mejorar el rendimiento de la cabina de pintado.

Figura 40.
Comparación de costos de calidad años 2020 y 2021.



Fuente: Elaboración propia

La consolidación de los costos de las figuras 38, 39 y 40 son extraídos del **ANEXO 14**. Asimismo se concluye que, la suma del beneficio económico para disponibilidad, rendimiento y calidad fue de 685,293.6 soles.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En respuesta al objetivo central de la investigación, en el presente estudio se probó que en la propuesta de mejora para optimizar los indicadores de efectividad global de equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio, se logró alcanzar el objetivo propuesto a través de la actualización de la tecnología mediante la mejora del sistema automático en el proceso de pintado de envases de vidrio logrando mejorar el OEE en 24%. Este alcance se logró, apoyado en un nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del equipo. Por otro lado, se hizo más accesible el control del equipo mediante una nueva interfaz gráfica, en donde también se resalta el cambio de idioma de alemán a español. Y, por último, la implementación de la herramienta de lean manufacturing, Jidoka, que ayudó a no perder el toque humano, con ellos se lograron mejorar de forma significativa los indicadores de OEE, trayendo un incremento en cuando a estándares de disponibilidad, rendimiento y calidad, obteniendo una mejora en el proceso productivo de pintado de envases de vidrio.

Interpretación comparativa con los antecedentes de investigación

Con respecto al Objetivo General, “Mejorar el sistema automatizado para optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio”. Se logró mejorar el OEE en un 24%, pasando de 63.4% a 87.4%, del 2020 al 2021. De esta manera, nuestro estudio concuerda con Velásquez (2018) en su tesis “Mejoramiento en la efectividad total del equipo en prensas con la implementación de controlador lógico programable”, en donde el objetivo general de esta investigación es probar que, mediante la mejora y actualización del proceso interno de la prensa, serán muchos los beneficios en diversos rubros dentro de la

empresa. El autor indica en cuanto a esto que el aumento registrado de OEE, fue del 5%, lo cual indica una mejora considerable tomando en cuenta los valores históricos de este métrico. **De acuerdo al análisis comparativo de nuestra investigación con el trabajo de Velásquez (2018) podemos observar resultados positivos después de la mejora realizada en ambos estudios, por su parte Velásquez logró un aumento de 5% y en nuestro estudio se logró mejorar un 24% el indicador OEE, dando así respuesta a nuestro problema principal, ¿De qué manera la propuesta de mejora del sistema automatizado podría optimizar los indicadores de Efectividad Global de Equipos (OEE) de una cabina de pintado de envases de vidrio?**

Con respecto al Objetivo Específico 1, “Diseñar y configurar una nueva interfaz gráfica de monitoreo y control para mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio”. Con la implementación de una nueva interfase grafica se obtiene como resultado aumentar un 19.8% en referencia entre el año 2020 al 2021, pasando de 71.1% a 90.9% de disponibilidad de la cabina de pintado. Realizando un contraste con Huamán et al. (2019) en su tesis automatización en la división de carbón para la mejora de indicadores OEE en una fábrica de cemento, en donde el primer objetivo específico fue automatizar en la división de carbón para la mejora de disponibilidad en una fábrica de cemento se concluye que si se aplicaría la Automatización en la división de carbón para la mejora de indicadores de eficiencia general de los equipos en una fábrica de cemento se incrementaría la disponibilidad de los equipos, en donde reflejó mediante los resultados proyectados en el análisis descriptivo de productividad del 56 % a 80 %, los resultados proyectados luego de aplicar la automatización incrementaron en 24 %. **De acuerdo al análisis comparativo de nuestra investigación con el trabajo de Huamán et al (2019) podemos observar resultados**

positivos después de la mejora realizada en ambos estudios, por su parte Huamán et al logró un aumento de 24% y en nuestro trabajo se logró mejorar en un 19.8% del indicador de disponibilidad, generando así dar respuesta a nuestro primer problema secundario. ¿Cómo mejorar la disponibilidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?

Con respecto al Objetivo Específico 2, “Implementar el nuevo sistema de control mediante PLC manteniendo la funcionalidad del sistema, para mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio”. Con la implementación del nuevo sistema de control mediante PLC se obtiene como resultado aumentar un 3.5% en referencia entre el año 2020 al 2021, pasando de 94.6% a 98.1% de rendimiento de la cabina de pintado. De igual forma, teniendo como referencia a Huamán et al. (2019) en su tesis automatización en la división de carbón para la mejora de indicadores OEE en una fábrica de cemento el indicador de rendimiento proyectado pasó del 60, 3% a un 84,8% demostrando una similitud con nuestro trabajo de investigación. De acuerdo al análisis comparativo de nuestra investigación con el trabajo de Huamán et al (2019) podemos observar resultados positivos después de la mejora realizada en ambos estudios, por su parte Huamán et al logró una mejora de 24.5 % y en nuestro trabajo se logró aumentar 3.5% generando así dar respuesta a nuestro segundo problema secundario. ¿Cómo mejorar el rendimiento de una cabina de pintado de envases de vidrio?

Con respecto al Objetivo Específico 3, “Aplicar la metodología Jidoka para mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio”. Con la implementación de la metodología Jidoka se obtuvo como resultado un aumento del indicador de calidad

en 3.9%, pasando de 94.2% a 98.1% tomando como referencia los años 2020 al 2021.

El incremento mencionado queda reforzado por lo mencionado por Pérez y Robles en su tesis diseño de sistema de control automático y su relación con la efectividad global del proceso de retrolavado de filtros en la planta de tratamiento de agua potable “el milagro”, el indicador de calidad crecerá en 5% pasando de 91% a 96%. **De acuerdo al análisis comparativo de nuestra investigación con el trabajo de Pérez y Robles (2019) podemos observar resultados positivos después de la mejora realizada en ambos estudios, por su parte Pérez y Robles lograron una mejora de 5% y en nuestro trabajo se logró aumentar 3.9% generando así dar respuesta a nuestro tercer problema secundario. ¿Cómo mejorar la calidad de una cabina de pintado de envases de vidrio?**

Entonces finalmente haciendo una similitud con los antecedentes y el presente informe de investigación, se puede afirmar que los resultados en todas las tesis y en el informe de investigación trajo consigo la obtención en buena pro de los objetivos de los estudios presentados.

Limitaciones

- La presente investigación se limita al área de pintado, en donde se tiene acceso a la información, sin embargo, no está libre de obtención de imágenes del proceso.
- La presente investigación se limita en no tener información en tiempo requerido, por temas de la pandemia por el virus Covid-19, puesto que parte del trabajo se volvió remoto.

- La presente investigación se limita a que no existe un software donde se recopile los datos de mantenimiento y operación, todo se recaba día con día de forma manual.
- La presente investigación se limita a pocas investigaciones como estudios previos que coincidan nuestras 2 variables, muchos de los estudios coinciden solo con una variable.

Implicancias teóricas, metodológicas, prácticas y sociales de los resultados

La presente investigación ayudará a esclarecer la situación del problema identificado (mediante investigaciones de años anteriores y actuales), consiguiendo de manera efectiva a solidificar y enriquecer los conocimientos del investigador de modo que se puedan resolver los principales problemas generados (paradas no planificadas, bajo rendimiento, mermas, productos de baja calidad, etc.) de modo tal que se busque alcanzar una mayor disponibilidad de la línea de producción; obtener un mejor rendimiento y asimismo tener mejores resultados en cuanto a calidad del producto final entregado a los clientes externos. Todo ello se justifica obteniendo mejores resultados en cuanto al indicador OEE por la actualización del sistema automatizado, que garantizará que tanto clientes internos como externos se beneficien consiguiendo que la línea de producción sea más eficiente, de igual forma ayudará como una guía para otros tesis y también empresas industriales que quieran implementar o mejorar sus áreas de producción.

Teórica

Hace que el investigador recabe información de artículos, tesis, libros, etc. que ayuden a que se pueda tener un mayor conocimiento, mejor enfoque y que pueda profundizar y afianzar sus conocimientos frente a la problemática que se trata, y con esto a su vez

pueda dar solución al problema identificado. Asimismo, ayudará a contrastar resultados que al final servirán como recomendación para los futuros tesis.

Metodológica

Al realizar la investigación de la presente tesis, se utilizará información que permitirá conocer no solo la importancia del tema investigado sino también para obtener hallazgos que ayuden a poder resolverlo de manera efectiva, esto mediante metodologías que ayuden a encontrar un resultado teóricamente válido.

Práctica

Existe la necesidad que el investigador obtenga resultados sólidos, y que estos puedan cambiar el ámbito del presente estudio, ayudando a resolver de manera práctica problemas similares suscitados en otras empresas del rubro industrial mediante el avance tecnológico.

Sociales

A nivel social la presente investigación generará beneficio a la empresa y a los colaboradores de ella, puesto que la manipulación del equipo, corrección de fallas serán más accesibles y amigables, el fin de todo ello generará mejores valores en los indicadores de la línea de producción de pintado de botellas.

4.2. Conclusiones

- **Se concluye con respecto a nuestro objetivo general** que los resultados después de mejorar el sistema automatizado, los resultados fueron positivos, ya que el indicador OEE aumentó en un 24%. Ya que antes de la propuesta de mejora, la cabina de pintado contaba con el indicador OEE igual a 63.4%, y luego de la propuesta de la mejora, la empresa obtuvo un 87.4%. Alcanzando

así el objetivo general, el de incrementar el indicador OEE de la cabina de pintado de envases de vidrio.

- Después de diseñar y configurar una nueva interfaz gráfica, **se consiguió con respecto a nuestro primer objetivo secundario** como resultado el incremento de la disponibilidad de la cabina de pintado, ya que antes del diseño y configuración de la interfaz gráfica la disponibilidad era de 71.1%, y después de aplicar la mejora, se obtuvo una eficiencia de 90.9%, finalizando que hubo un incremento de 19.8%. Se logró alcanzar uno de los objetivos específicos, que era el de incrementar la disponibilidad de la cabina de pintado de envases de vidrio.
- Después de Implementar el nuevo sistema de control mediante PLC, se consiguió **con respecto a nuestro segundo objetivo secundario** como resultado el incremento del rendimiento de la cabina de pintado, ya que antes de su aplicación el rendimiento era de 94.6%, y después de aplicar la mejora, se obtuvo un rendimiento de 98.1%, finalizando que hubo un incremento de 3.5%. Se logró alcanzar uno de los objetivos específicos, que era el de incrementar el rendimiento de la cabina de pintado de envases de vidrio.
- Finalmente, luego de aplicar la metodología Jidoka, se logró **con respecto a nuestro tercer objetivo secundario** incrementar la calidad en la cabina de pintado, ya que antes de su aplicación la calidad era de 94.2% y después de aplicar la metodología se obtuvo una calidad de 98.1%, logrando así alcanzar un aumento total del 3.9%. Teniendo como resultado final el cumplimiento de uno de los objetivos específicos, que era el de incrementar la calidad de la cabina de pintado de envases de vidrio.

REFERENCIAS

Villada Molina, O. F., Hincapié Marín, O. A., & Henao Castañeda, F. J. (2017). Diseño, construcción y simulación de la automatización de una máquina selectora de tuercas según su tamaño. 137–144. Recuperado de <file:///C:/Users/jorge/Downloads/14001-Texto%20del%20art%C3%ADculo-36921-1-10-20171005.pdf>

Pérez López E. (2015). PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO EN INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE HIGIENE PERSONAL EN COSTA RICA. *InterSedes*, 16(34). <https://doi.org/10.15517/isucr.v16i34.22571>

Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad. McKinsey Global Institute, 7. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/digital%20disruption/harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/a-future-that-works-executive-summary-spanish-mgi-march-24-2017.ashx>

Forte, C., Valenzuela, L. (2011). Desarrollo de un prototipo de sistema automatizado “clean in place (cip)” basado en controladores lógicos programables para simulación de la limpieza de silos en la industria de bebidas (Ingeniera electrónica). <https://docplayer.es/142570248-Universidad-nueva-esparta-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-electronica.html>

Arrascue, J., & Segura, E. (2016). Gestión de calidad y su influencia en la satisfacción del cliente en la Clínica de Fertilidad del Norte CLINIFER, Chiclayo – 2015. [Tesis de licenciatura], Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2283>

Moreno Tomala, R. M. (2012). Diseño e implementación de un sistema automatizado para control remoto de iluminación en conformidad de la tecnología insteon y optimización del sistema de seguridad cctv en el edificio Gimpromed (Ingeniero electrónico). <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5263/1/T-ESPE-033202.pdf>

Carrillo, A. (2011). Sistemas Automáticos de Control. Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado. (2da ed.). UNERMB. Disponible en: http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf

López Supelano, K. (2015). Modelo de automatización de procesos para un sistema de gestión a partir de un esquema de documentación basado en Business Process Management (bpm). Universidad & Empresa, 17(29), 131-155. [Doi: dx.doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.06](https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.06)

Peña, M., Martínez, M. (2017). Diseño Y Construcción De Una Cabina Automatizada Para El Pintado De Cilindros De Glp De 10 Kg Con Capacidad De 600 Cilindros Por Hora. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36537>

Velasquez, G. (2018). MEJORAMIENTO EN LA EFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO EN PRENSAS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE. Recuperado de: <http://docplayer.es/195885813-Mejoramiento-en-la-efectividad-total-del-equipo-en-prensas-con-la-implementacion-de-controlador-logico-programable-t-e-s-i-s.html>

Quintana, P. (2010). PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCION, BASADO EN TÉCNICAS DE LEAN MANUFACTURING, QUE CONTRIBUYA AL CONTROL DEL INVENTARIO EN PROCESO, PARA LA SECCION DE CONFECCION DE COLCHONES EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ESPUMA. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/7356>

Huaman, C., Jara, F., Peña, B., Trinidad, L., (2019). Automatización en la división de carbón para la mejora de indicadores OEE en una fábrica de cemento-Lima, 2019. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60840>

Perez, C., Robles, A., (2019). DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL PROCESO DE RETROLAVADO DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL MILAGRO” – EPS SEDACAJ S.A” Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22410>

Salichs, E. (2012). Desarrollo de un sistema HMI para un almacén automatizado. Recuperado de: https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16073/Proyecto_ESTHER_SALICHS.pdf

Rodriguez, J. (2019). Nuevo sistema de Gestio_n de E_ciencia Global (OEE) en tiempo real para industria. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/127853>

Hernandez, J., Vizán, A. (2013). Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. Fundación EOI. Recuperado de: <http://www.eoi.es/savia/documento/eoi-80094/lean-manufacturing-conceptotecnica-e-implantacion>

Martinez, H. (2013). MODULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.

Recuperado de: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/250633>

Cruelles, J. (2010). La Teoría de la Medición del Despilfarro. Segunda Edición. Toledo: Artef S.L.

Coronado, J., Portillo, T., López, E., Moreno, G., Ortega, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/cyt/v19n60/0718-2449-cyt-19-60-00171.pdf>




Vinjoy, P. (2020). Mejora continua de procesos en Thyssenkrupp norte: estandarización de útiles y equipos de trabajo e implantación 6S. Recuperado de: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56287/TFM_PabloVinjoyRodriguez.pdf;jsessionid=B20A2D6AD7609FA1ADF09D4B2090D52E?sequence=3

Fuentes, Y., Lopez, E., Dominguez, R., Romero G. (2018). Herramienta de optimización aplicada a la cadena de suministro en el Sector industrial automotriz. Recuperado de: https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Tecnologias en Procesos Industriales/vol2num3/Revista de Tecnologías en Procesos Industriales V2 N3 2.pdf

ANEXOS

ANEXO 1.

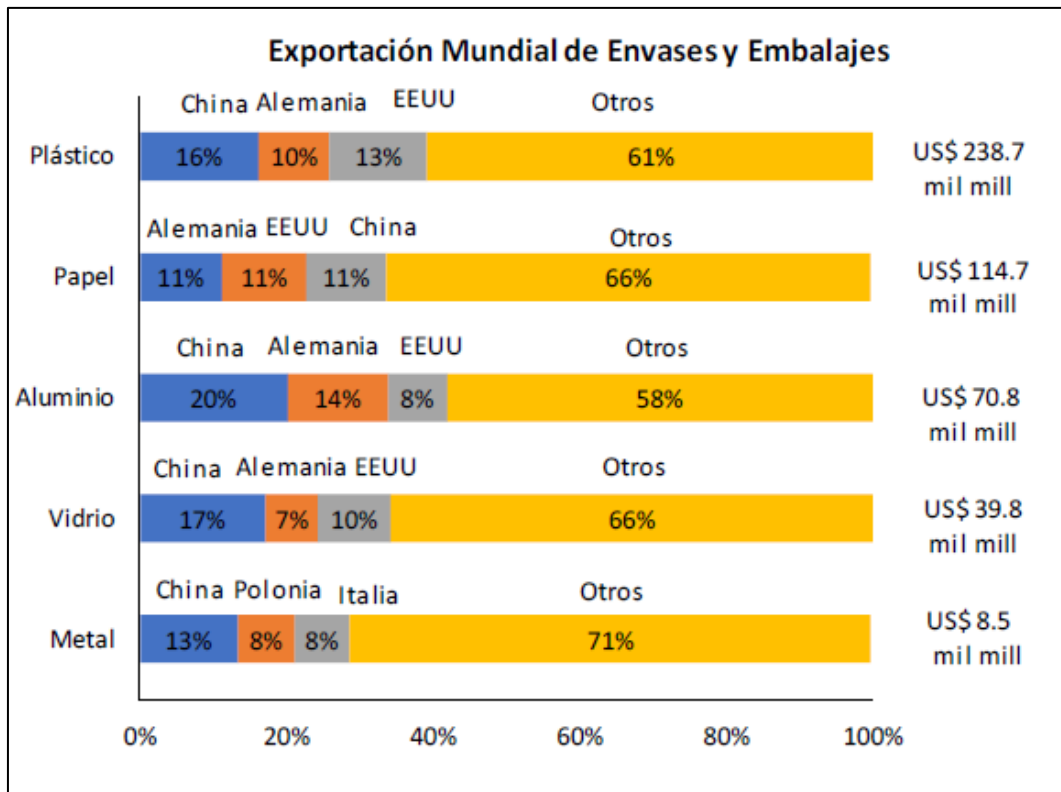
Importaciones Mundiales de Envases y Embalajes 2019

Importaciones Mundiales de Envases y Embalajes 2019			
1 EEUU 	Mill. US\$	Var. %	Part. %
	48,667.5	-1.0%	10.3%
	Miles TM	Var. %	Part. %
No hay cantidades	No hay cantidades	No hay cantidades	
2 Alemania 	Mill. US\$	Var. %	Part. %
	33,496.5	-7.3%	7.1%
	Miles TM	Var. %	Part. %
8,260.1	-1.7%	4.7%	
3 China 	Mill. US\$	Var. %	Part. %
	30,750.5	-9.4%	6.5%
	Miles TM	Var. %	Part. %
18,444.3	-24.3%	10.6%	

Fuente: CIEN-ADEX

ANEXO 2.

Exportación Mundial de Envases y Embalajes



Fuente: CIEN-ADEX

ANEXO 3.

Perú: Exportación de Envases y Embalajes

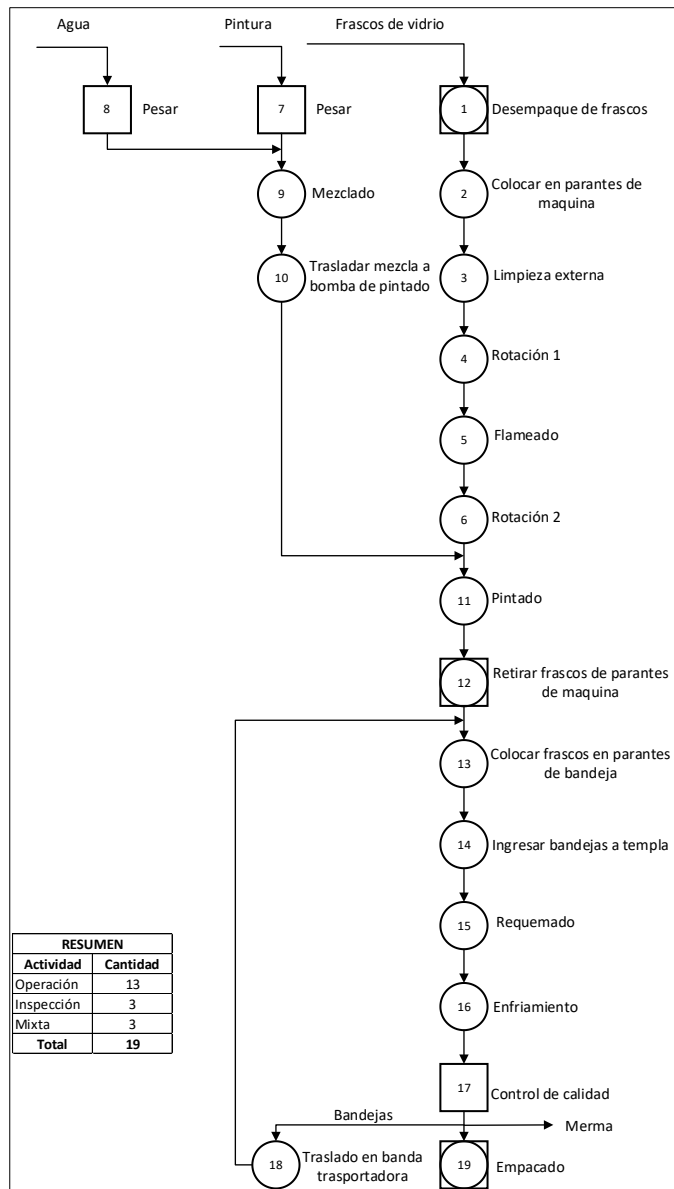
Perú: Exportación de Envases y Embalajes

	2016	2017	2018	2019	2020	Part.% 2020	Variación % 2020/2019	Crecimiento Promedio 2016/2020
Envases y embalajes	466.5	471.0	544.1	569.9	562.9	100.0%	-1.2%	20.7%
Plástico	340.9	336.7	399.7	428.9	437.9	77.8%	2.1%	28.5%
Vidrio	53.2	44.8	54.4	66.9	47.5	8.4%	-28.9%	-10.6%
Papel	53.2	64.1	63.7	46.6	44.4	7.9%	-4.7%	-16.5%
Metal	8.2	12.6	13.5	13.9	20.0	3.6%	44.5%	144.0%
Aluminio	11.0	12.8	12.7	13.7	13.0	2.3%	-4.9%	17.8%

Fuente: CIEN-ADEX

ANEXO 4.

Diagrama de operaciones de la cabina de pintado de envases de vidrio



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

Análisis de Pareto

Defecto	Razón de defecto	Frecuencia relativa absoluta
Fallas en PLC	4	18%
Interface poco amigable	4	36%
Falta de avisos y alarmas	4	55%
Fallas eléctricas	3	68%
Falta de planos eléctricos	2	77%
Falta de capacitación	2	86%
Operadores no dominan idioma aleman	1	91%
Falta de manuales de operación	1	95%
Contaminación por pintura	1	100%
	22	

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6.

Instrumento de recolección de datos – Guía de observación directa – proceso de pintado, operación y mantenimiento

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		VERSIÓN 01
GUÍA DE OBSERVACIÓN DIRECTA - PROCESO DE PINTADO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
Área de aplicación: Pintado		Fecha:
Este instrumento de recolección de datos está destinado únicamente a fines de investigación. Se requiere total concentración al realizar el llenado del mismo. Asimismo su enfoque está destinado a conocer el proceso de producción de pintado de botellas, la operación de la cabina de pintado y su mantenimiento durante las paradas de emergencia.		
OBSERVACIONES OPERARIO 1		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD OBSERVADA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
CONCLUSIONES DE LA OBSERVACIÓN:		

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7.
Instrumento de recolección de datos – Encuesta de operación, mantenimiento y automatización de cabina de pintado

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ENCUESTA DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE CABINA DE PINTADO					VERSIÓN 01
Área de aplicación: Pintado		Fecha:					
<p>Esta encuesta está destinada unicamente a fines de investigación. Se requiere total sinceridad al llenarla. Marque con un aspa (X), la respuesta que usted considere la mas adecuada en su área de trabajo, de acuerdo a las alternativas mostradas a continuación:</p>							
EDAD	<input type="text"/>	GÉNERO	<input type="text"/>				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PREGUNTAS	Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre	
		1	2	3	4	5	
1	¿El sistema automático actual es adecuado para el eficiente pintado de las botellas de vidrio?						
2	¿Se cuenta con los repuestos adecuados para corregir las fallas?						
3	¿La cabina de pintado cuenta con planos de reconocimiento de sub - sistemas?						
4	¿Se cuenta con manuales de operación de la cabina de pintado?						
5	¿Se cuenta con formatos de toma de tiempos perdidos y está relacionado con cada sub-sistema de la cabina de pintado?						
6	¿El idioma con el que se trabaja en la manipulación de la cabina de pintado ayuda en la operatividad?						
7	¿El equipo de producción domina la operación de la cabina de pintado?						
8	¿El equipo de producción cuenta con adecuada capacitación para la operación de la cabina de pintado?						
9	¿El equipo de mantenimiento reconoce rapidamente donde se generan las fallas ?						
10	¿El equipo de mantenimiento cuenta con adecuada capacitación para la correccion de fallas?						

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8.

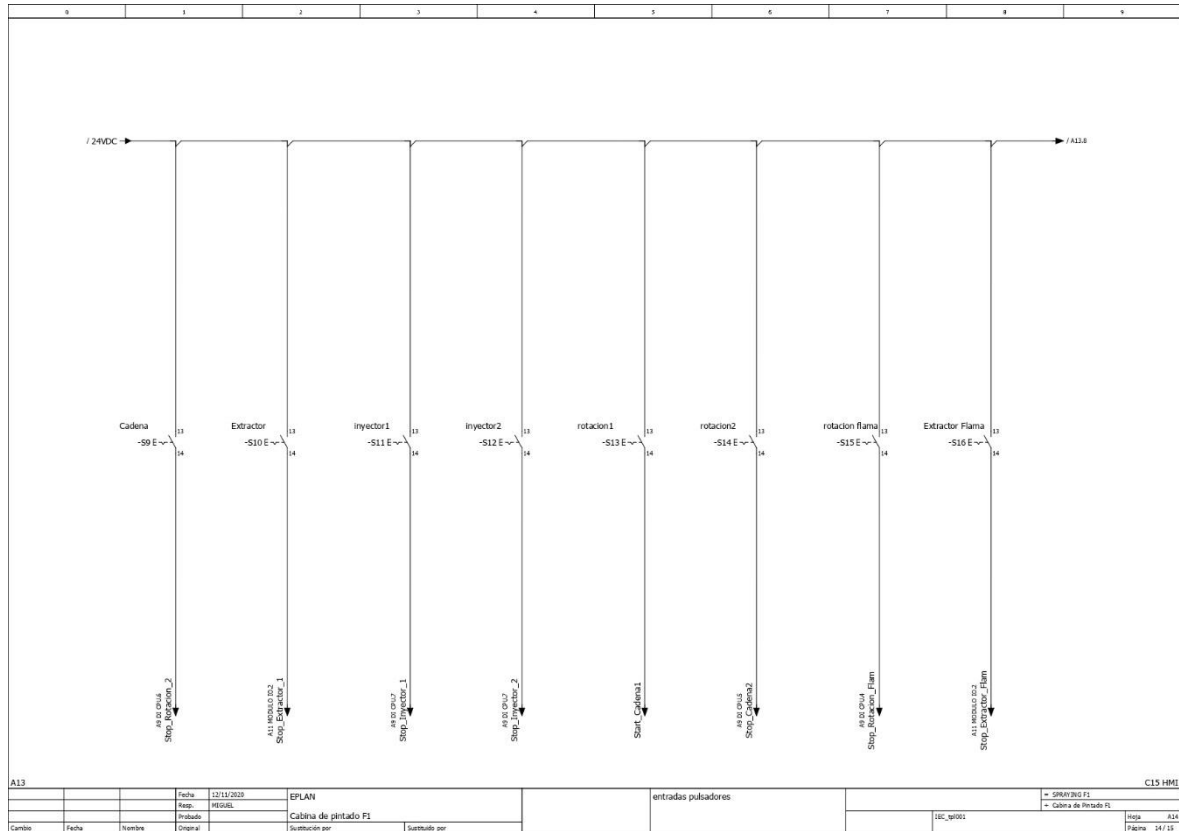
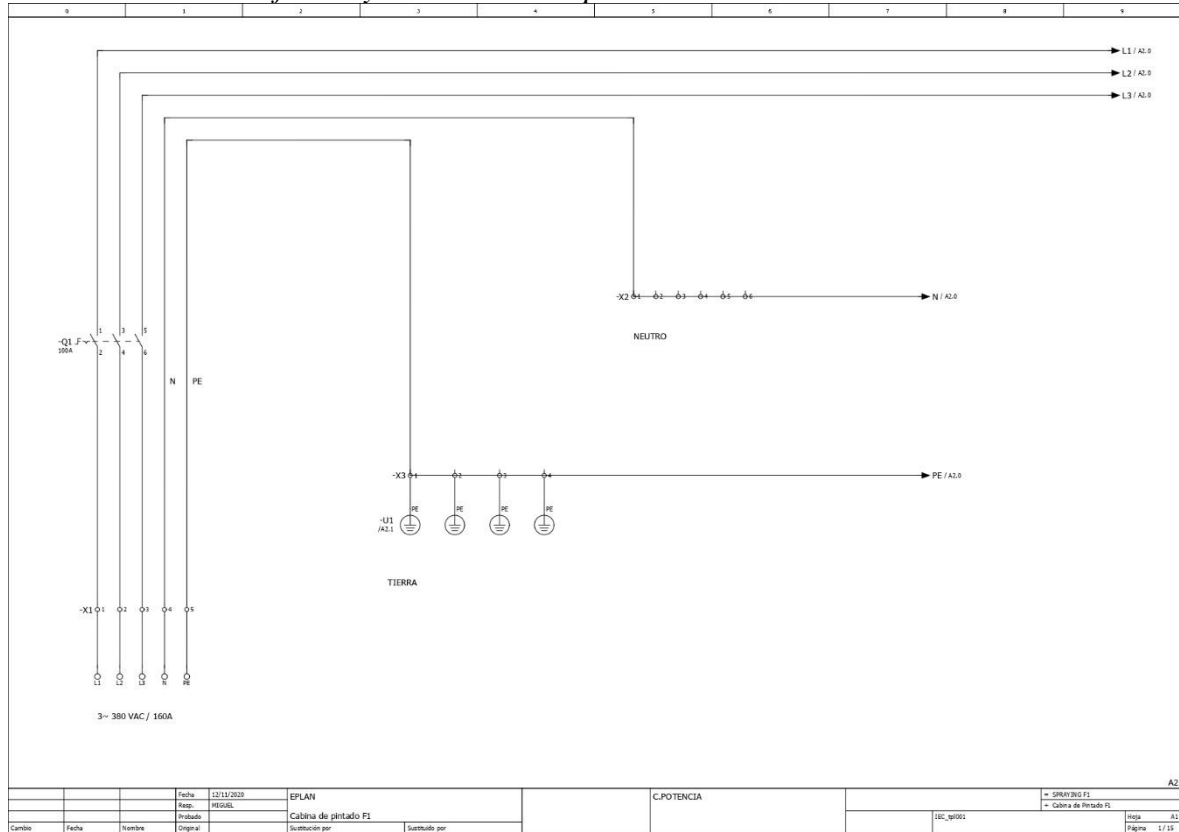
Capacitación Jidoka

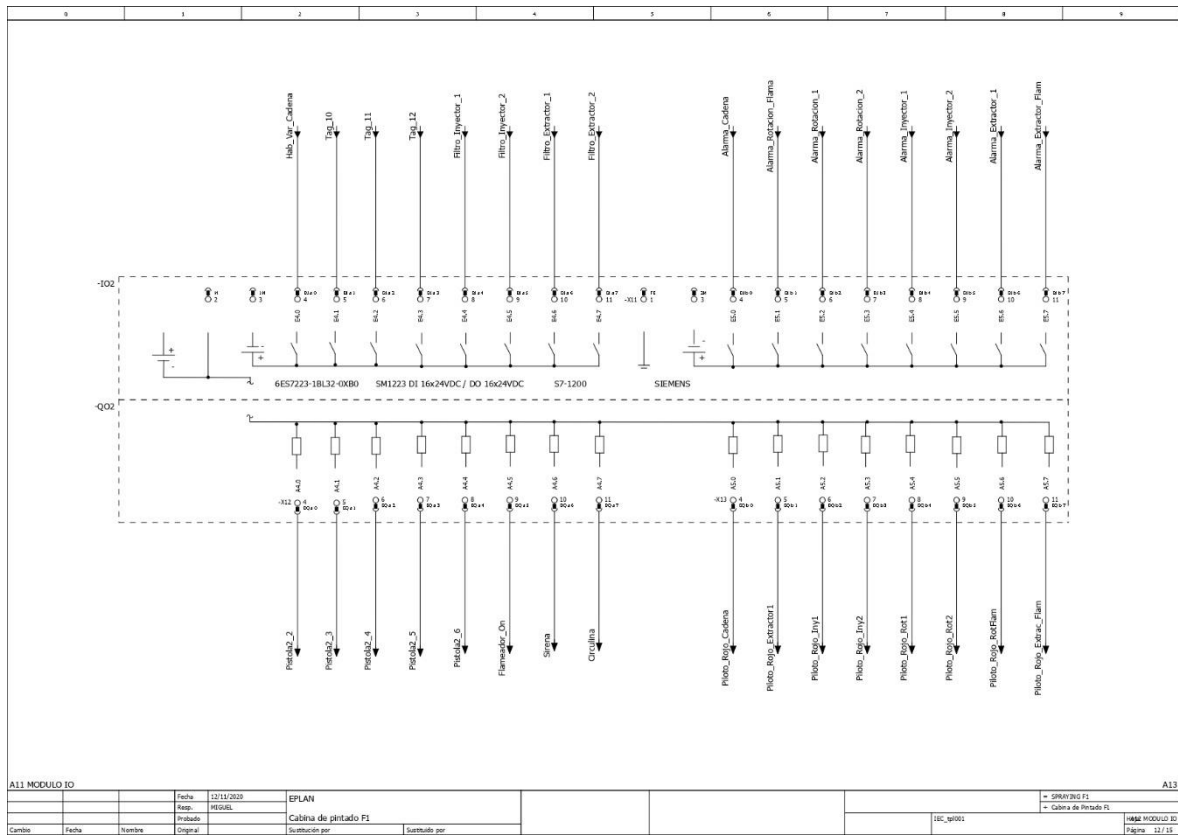
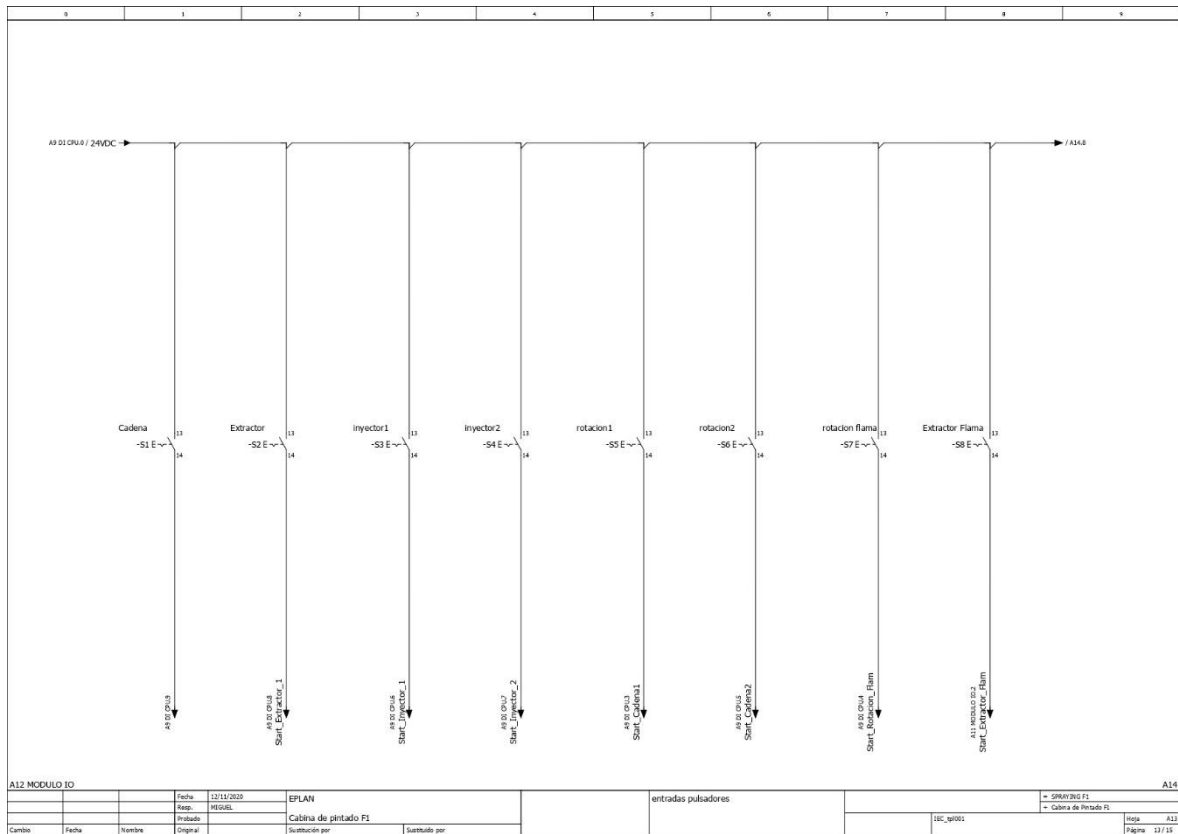
PERSONAL	CANTIDAD	JIDOKA
Jefatura	2	
Encargados	2	4 h
Equipo	24	

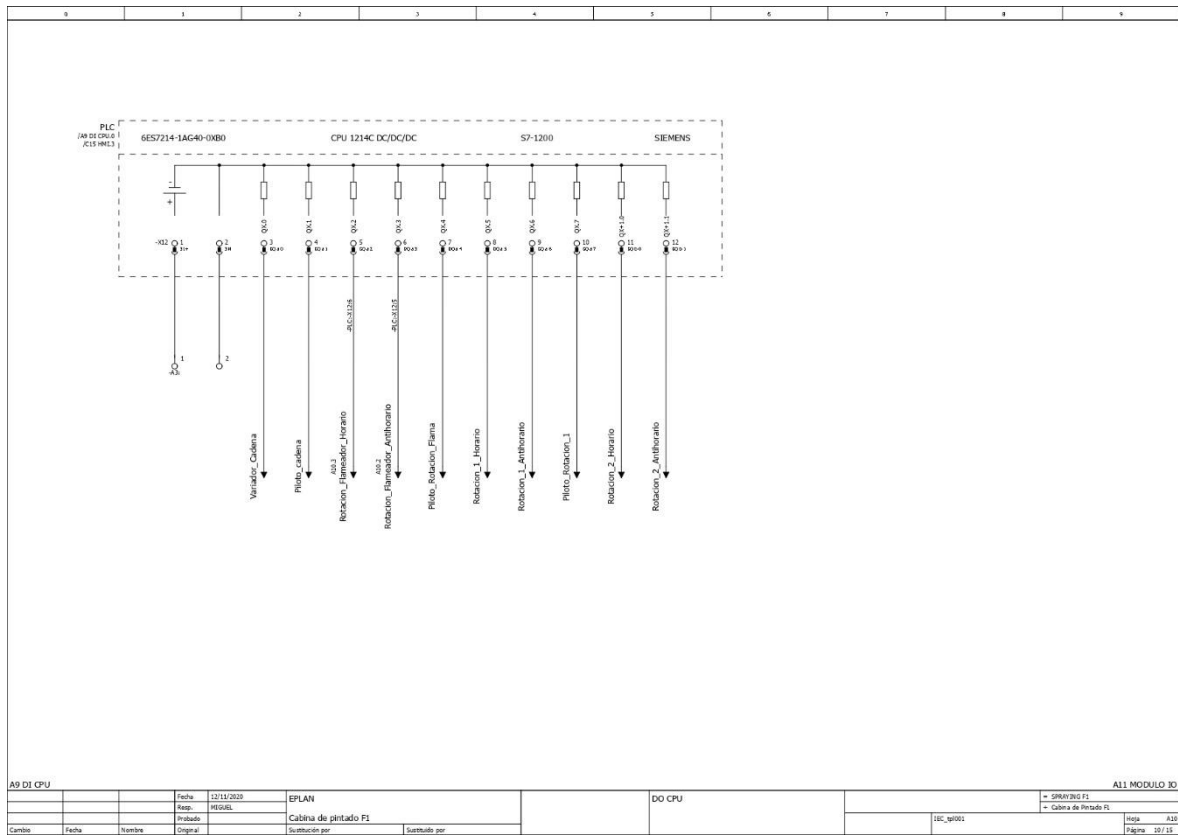
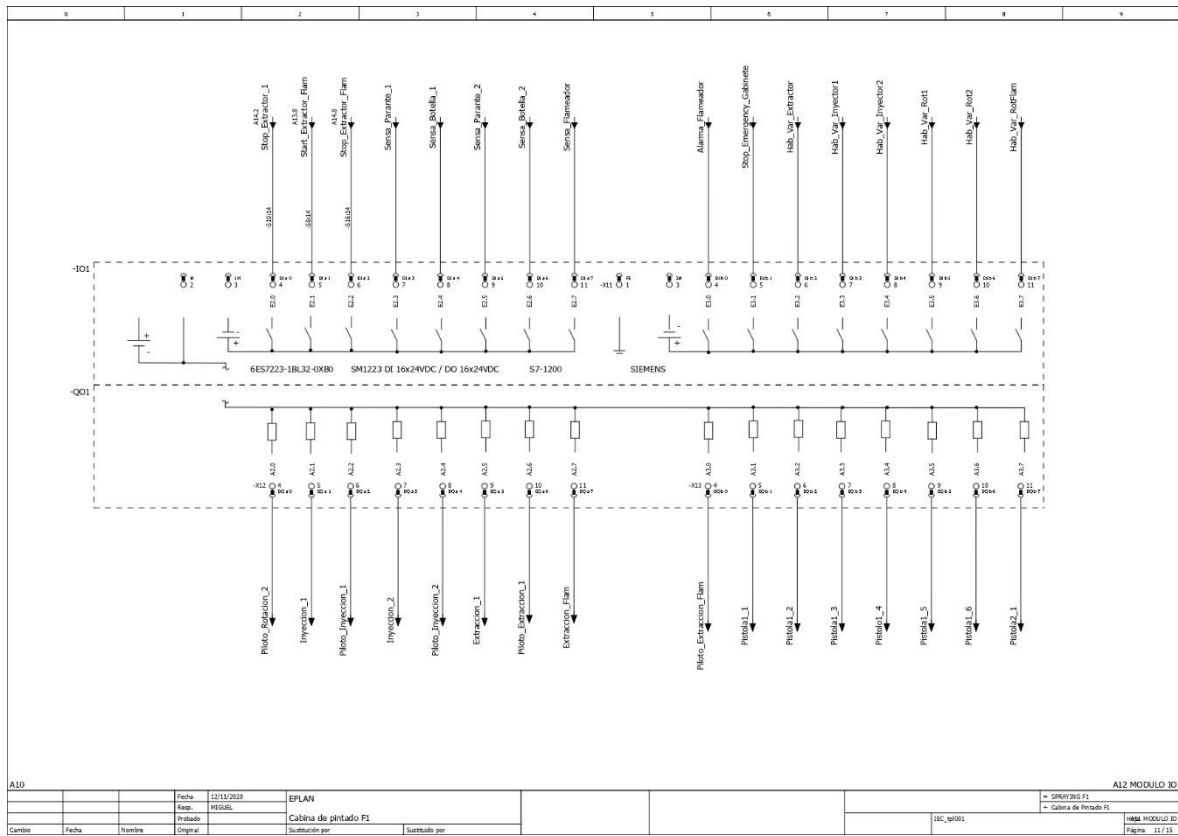
Fuente: Elaboración propia.

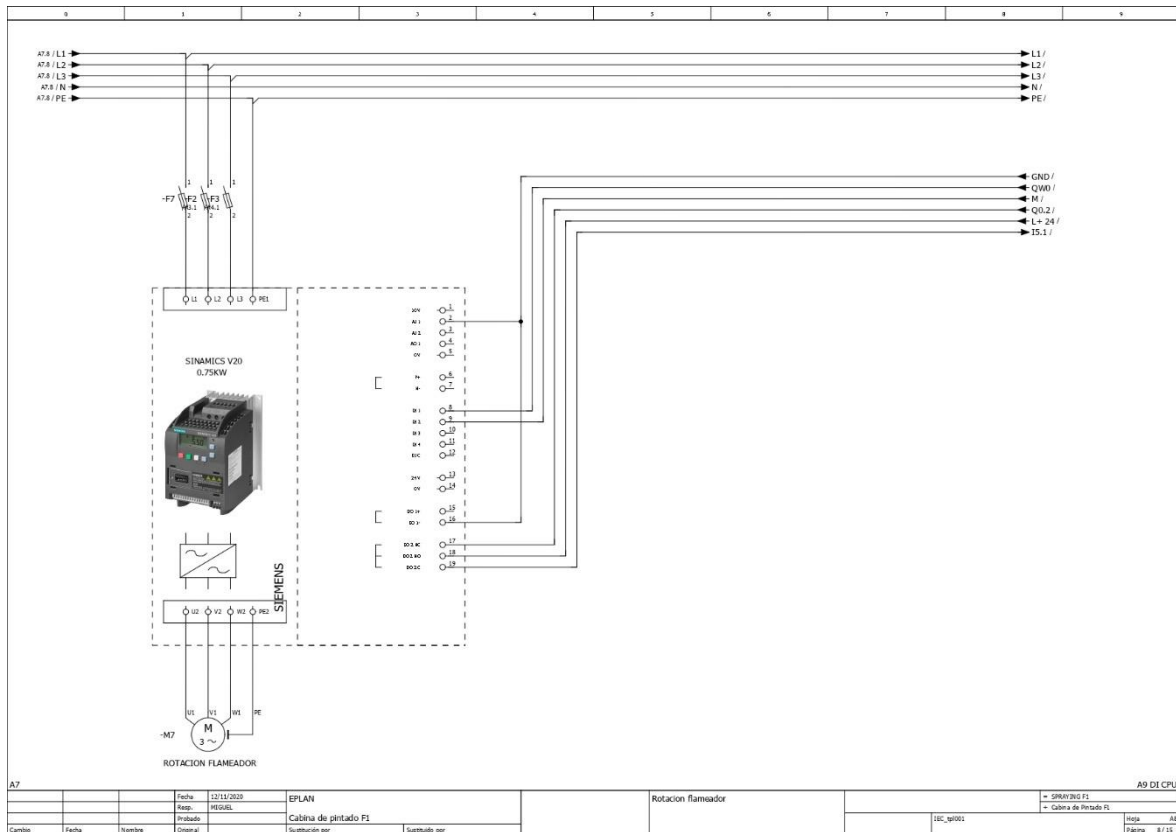
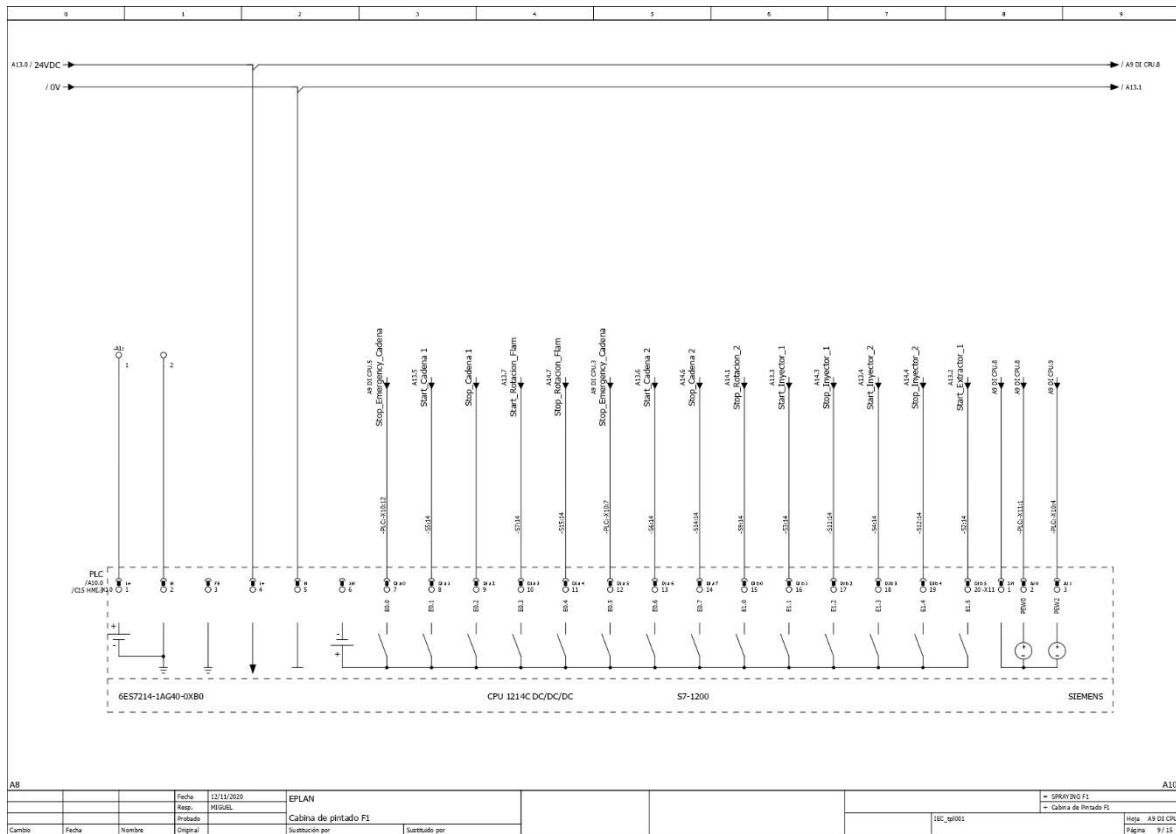
ANEXO 9.

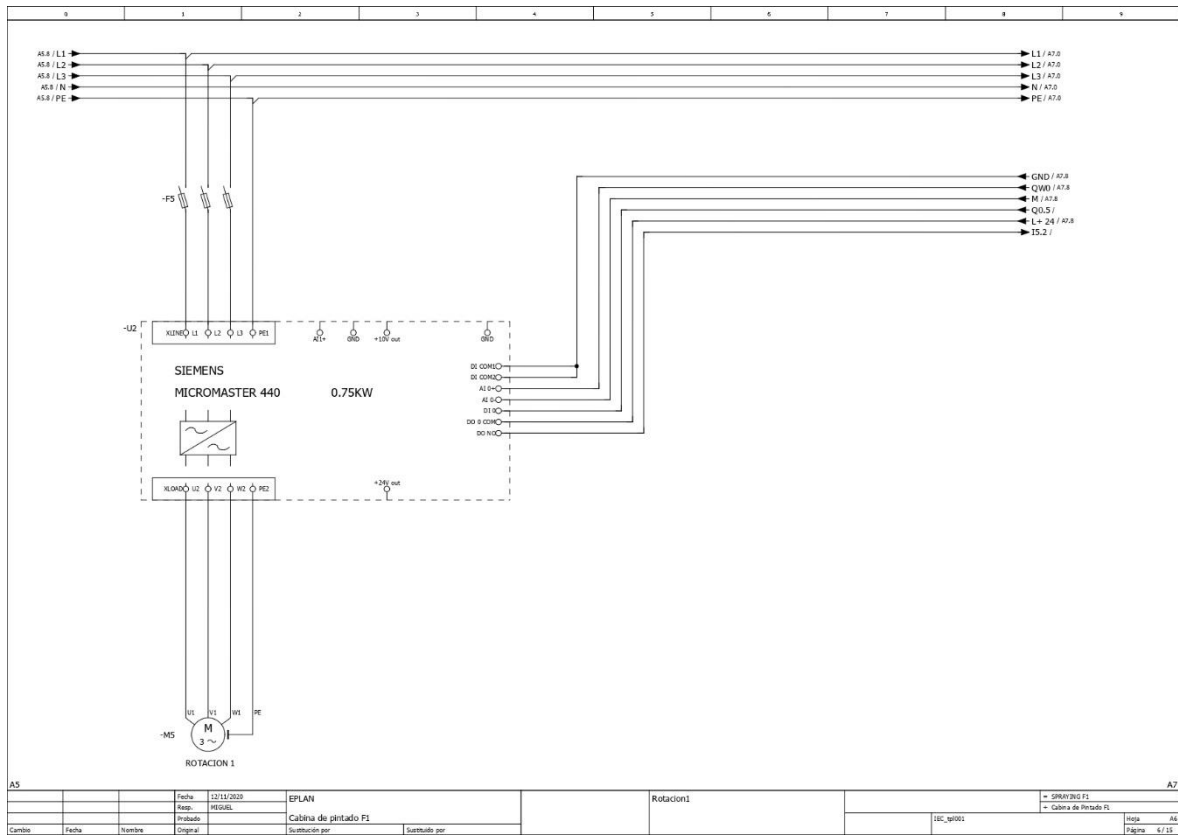
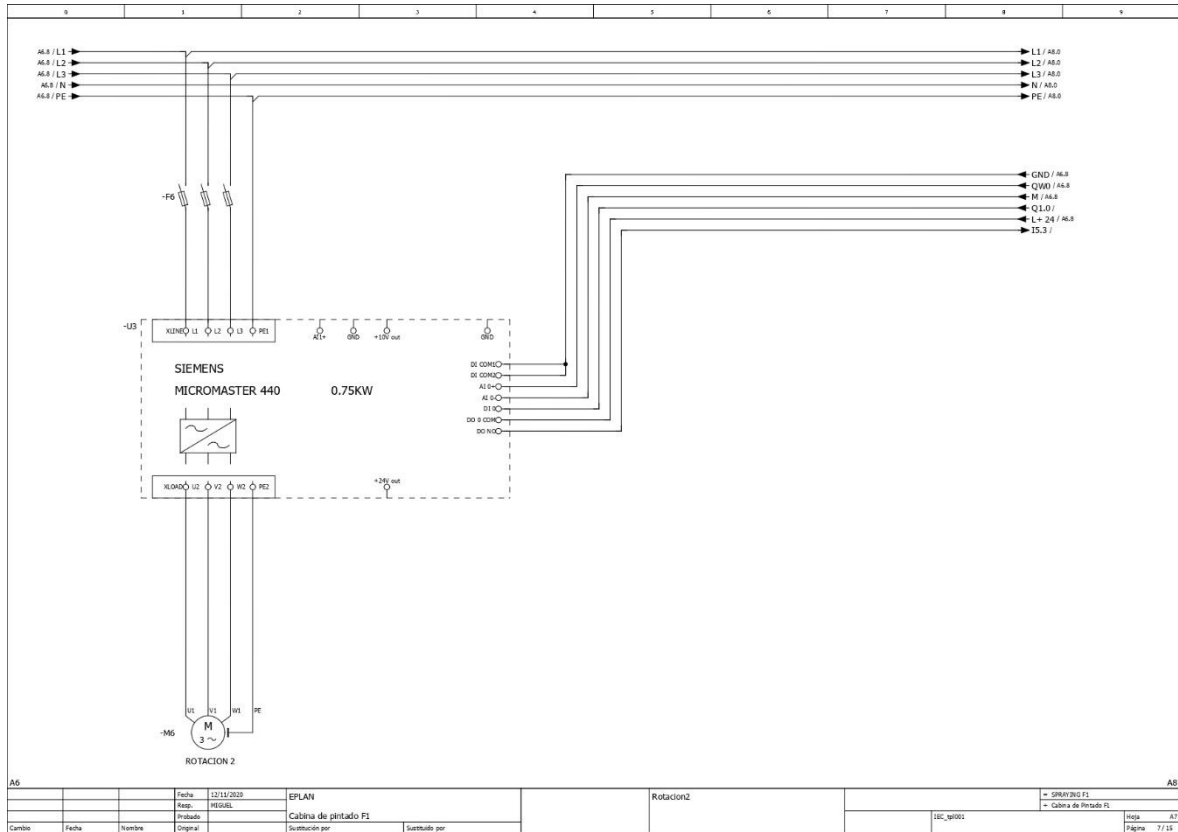
Planos eléctricos de fuerza y mando de la implementación

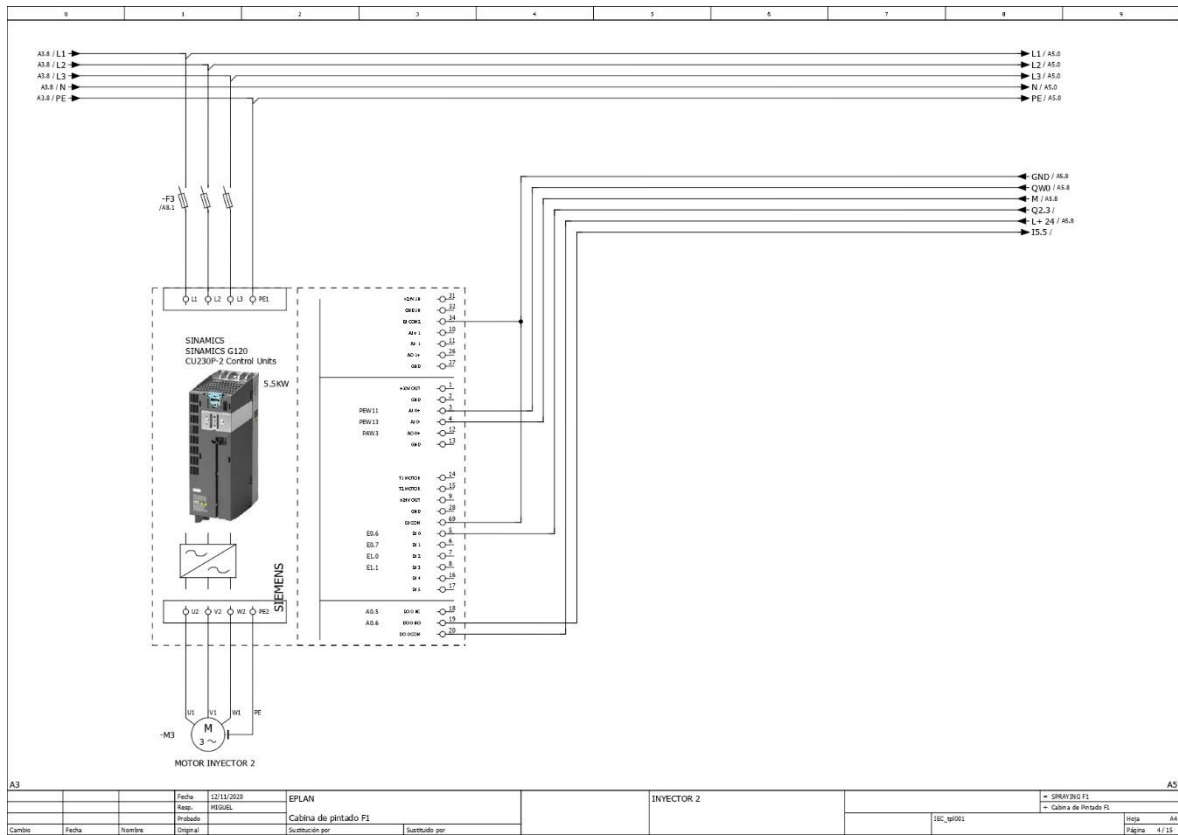
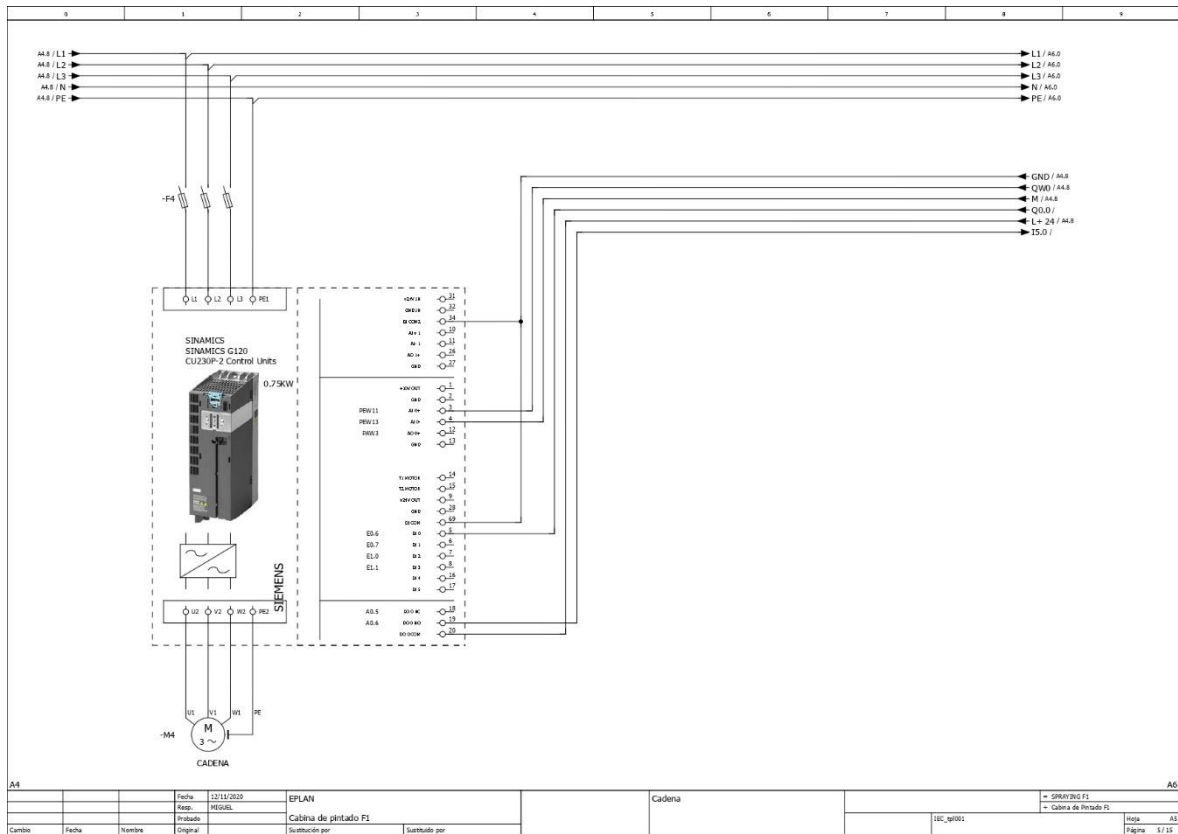


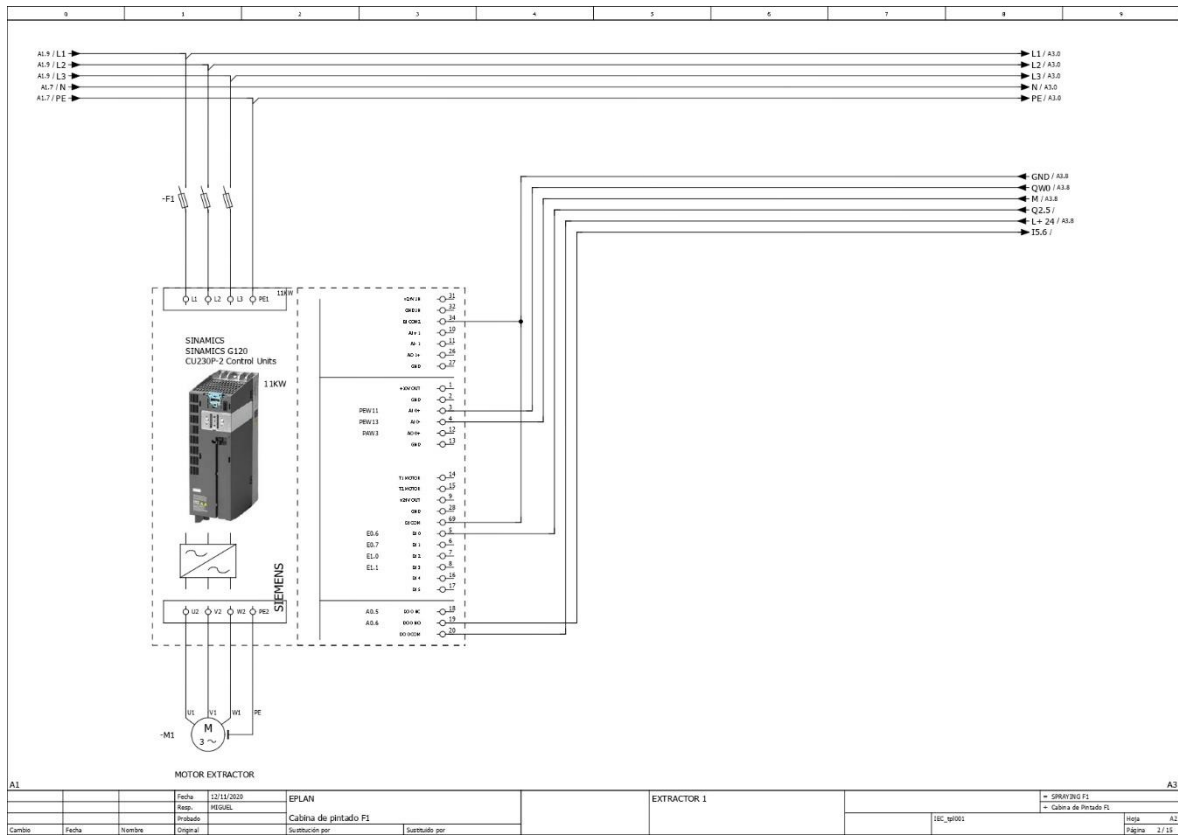
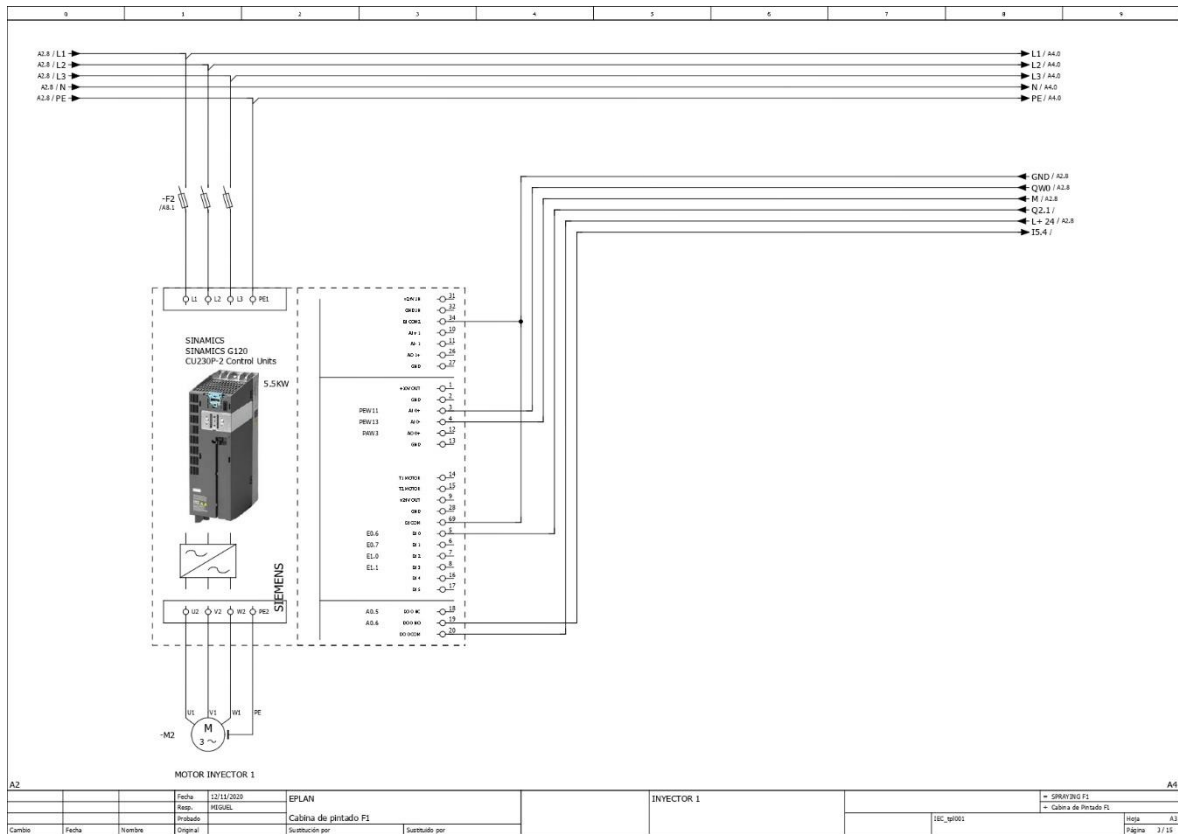


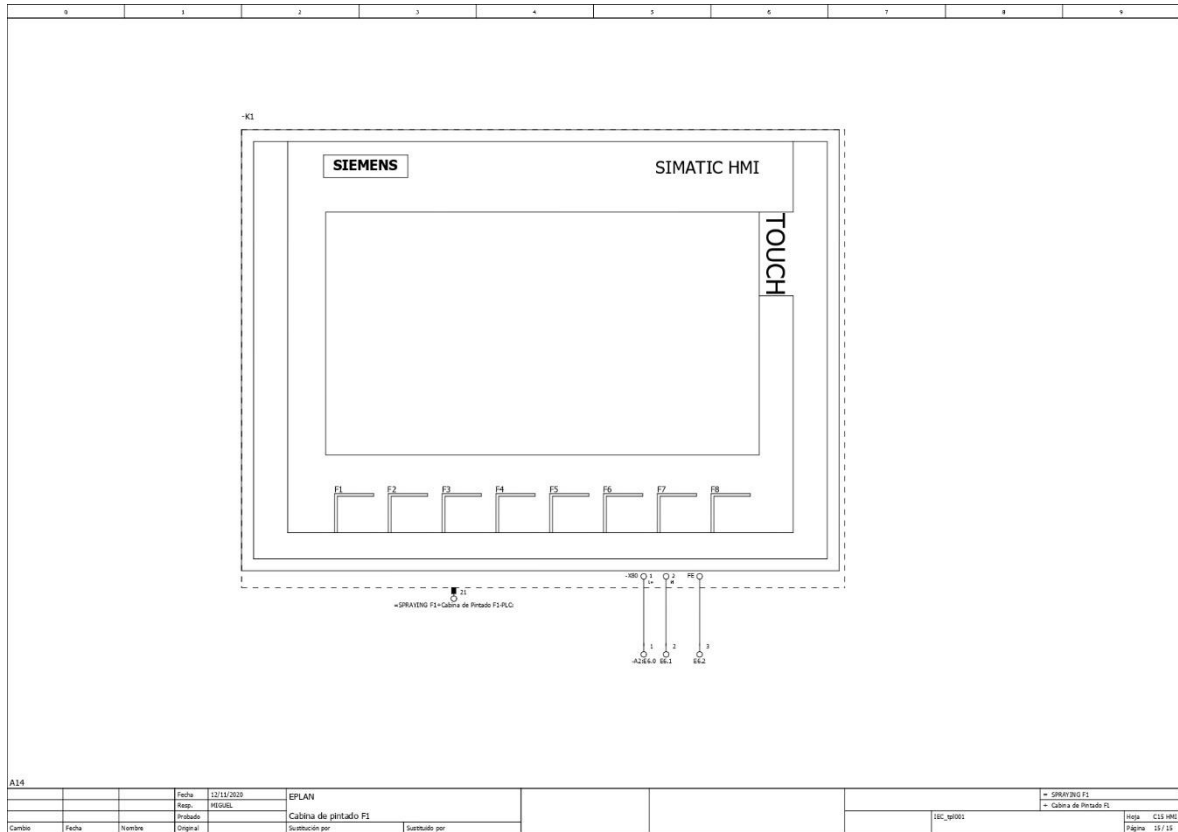












Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10.
Lista de materiales utilizados en la implementación.

Item	Descripción	Marca	Cantidad	Precio
1	Tablero tipo gabinete de 2 puertas	Rital	1	Reutilizado
2	Plc 1214 dc/dc/dc	Siemens	1	S/ 1,288.77
3	Modulo de entradas y salida digitales	Siemens	2	S/ 1,877.82
4	Modulo de salidas analogicas	Siemens	2	S/ 2,577.54
5	Simatic memory card	Siemens	1	S/ 210.12
6	Fuente de 24V / 4A	Siemens	1	S/ 375.49
7	Hmi ktp 700	Siemens	1	S/ 2,541.84
8	Fusible ultrarapido 10A	siemens	6	S/ 64.80
9	Fusible ultrarapido 25A	Siemens	12	S/ 129.60
10	Fusible ultrarapido 32A	Siemens	2	S/ 40.00
11	Llave termomagnetica 10A	Siemens	1	S/ 40.00
12	Variador de frecuencia SINAMIC G120 - 380V / 11 Kw	Siemens	1	S/ 2,200.14
13	Variador de frecuencia SINAMIC G120 - 380V / 5,5 Kw	Siemens	2	S/ 3,773.12
14	Variador de frecuencia SINAMIC G120 - 380V / 0.75 Kw	Siemens	1	S/ 723.32
15	Variador de frecuencia Micromaster 420 - 380V / 1 Kw	Siemens	2	Reutilizado
16	Unidad de control Sinamics G120 CU2	Siemens	4	S/ 2,254.00
17	BOP-2 Panel de operador basico	Siemens	4	S/ 367.20
18	Variador de frecuencia V20 -380V / 0.75 Kw	Siemens	1	S/ 693.68
19	Rele de seguridad 2 canales 24V	Siemens	1	Reutilizado
20	Borneras 4 mm2	Legrand	4	Reutilizado
21	Borneras 4mm2 tierra	Legrand	1	Reutilizado
22	Bornera 2.5mm2	Legrand	40	Reutilizado
23	Bornera 2.5mm2 tierra	Legrand	10	Reutilizado
24	Sensor inductivo NPN 24V	Sick	2	S/ 160.00
25	Sensor fotoelectronico NPN 24V	Sick	2	S/ 400.28
26	Pulsador con led verde con led 24vdc con contacto NA 24vdc	Schneider	8	S/ 517.04
27	Pulsador con led Rojo con led 24vdc con contacto NC 24vdc	Schneider	8	S/ 517.04
28	Pulsador con led azul con led 24vdc con contacto NA 24vdc	Schneider	1	S/ 64.63
Total				S/ 20,816.43

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 11.
Reportes procesados em el año 2020

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Nº de reportes	43	43	44	43	43	44	43	43	44	43	43	44

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 12.
Valoración cuantitativa del OEE

OEE	Valoración	Descripción
0% – 64%	Deficiente (Inaceptable).	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
65% – 74%	Regular.	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% – 84%	Aceptable.	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% – 94%	Buena.	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95% – 100%	Excelente.	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Fuente: Cruelles 2010

ANEXO 13.
Cotización de proyecto de terceros


Soluciones Integrales en Automatización y Control Industrial

COTIZACIÓN – COT 0380.01

Lima, 19 de Junio del 2017

Señores:
HEINZ GLAS PERÚ S.A.C.
Atención:

César Martínez Vásquez

REF:

De acuerdo a su solicitud, nos es grato cotizarle lo siguiente:

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	U.M	CANT.	P.U	V.VENTA	DIAS ENTREGA
SPRAY CABINA 1: REEMPLAZO CONTROLADOR SIMATIC C7-621							
1	6EP1333-4BA00	SIMATIC PM 1507 24 V/8 A stabilized power supply for SIMATIC S7-1500 Input: 120/230 V AC output: 24 V DC/8 A	UND	1	812.50	812.50	4 SEMANAS
2	6ES7511-1CK00-0A80	SIMATIC S7-1500 COMPACT CPU CPU 1511C-1PN, CENTRAL PROCESSING UNIT WITH WORKING MEMORY 175 KB FOR PROGRAM AND 1 MB FOR DATA, 16 DIGITAL INPUTS, 16 DIGITAL OUTPUTS, 4 ANALOG INPUTS, 2 ANALOG OUTPUTS, 6 HIGH SPEED COUNTERS, 4 HIGH SPEED COUNTERS FOR PTO/PWM/FREQUENCY OUTPUT 1. INTERFACE: PROFINET IRT WITH 2 PORT SWITCH, 60 NS BIT-PERFORMANCE, INCL. FRONT CONNECTOR PUSH-IN, SIMATIC MEMORY CARD NECESSARY	UND	1	4,810.00	4,810.00	4 SEMANAS
3	6ES7590-1AB60-0AA0	SIMATIC S7-1500, PERFIL SOPORTE 160 MM (CA. 6,3 INCH); INCL. TORXILLO DE TIERRA	UND	1	98.80	98.80	4 SEMANAS
4	6ES7954-8LC02-0AA0	SIMATIC S7, MEMORY CARD FOR S7-1X00 CPU/SINAMICS, 3,3 V FLASH, 4 MBYTE	UND	1	260.00	260.00	4 SEMANAS
5	6ES7592-1AM00-0X80	SIMATIC S7-1500, FRONTCONNECTOR SCREW-TYPE, 40PIN, FOR 95MM WIDE MODULES, INCL. 4 JUMPERS, AND CABLE STRAP	UND	2	181.35	362.70	4 SEMANAS
6	6XV1870-3QH20	SIMATIC NET, IND. ETHERNET TP CORD RJ45/RJ45, CAT 6A, CABLE TP 4X2, CONECTORIZADO CON 2 RJ45, LONGITUD 2M	UND	1	107.25	107.25	4 SEMANAS
7	6AV6647-0AH11-3AX0	SIMATIC HMI KP300 BASIC MONO PN, BASIC PANEL, OPERACION TECLA, DISPLAY 3" FSTN LCD, NEGRO BLANCO, INTERFAZ PROFINET, CONFIGURABLE DESDE WINCC BASIC V11.0, STEP7 BASIC V11	UND	1	907.40	907.40	4 SEMANAS
8		SERVICIOS DE INGENIERÍA: DESARROLLO DE PLANOS ELÉCTRICOS, PROGRAMACIÓN PLC – HMI, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA.	UND	1	7,850.00	7,850.00	3 SEMANAS
SPRAY CABINA 1: REEMPLAZO CONTROLADOR SIMATIC C7							
1	6EP1333-4BA00	SIMATIC PM 1507 24 V/8 A stabilized power supply for SIMATIC S7-1500 Input: 120/230 V AC output: 24 V DC/8 A	UND	1	812.50	812.50	4 SEMANAS
2	6ES7511-1CK00-0A80	SIMATIC S7-1500 COMPACT CPU CPU 1512C-1 PN, CENTRAL PROCESSING UNIT WITH WORKING MEMORY 250 KB FOR PROGRAM AND 1 MB FOR DATA, 32 DIGITAL INPUTS, 32 DIGITAL OUTPUTS, 5 ANALOG INPUTS, 2 ANALOG OUTPUTS, 6 HIGH SPEED COUNTERS, 4 HIGH SPEED COUNTERS FOR PTO/PWM/FREQUENCY OUTPUT 1. INTERFACE: PROFINET IRT WITH 2 PORT SWITCH, 48 NS BIT-PERFORMANCE, INCL. FRONT CONNECTOR PUSH-IN, SIMATIC MEMORY CARD NECESSARY	UND	1	7,468.50	7,468.50	4 SEMANAS
3	6ES7590-1AB60-0AA0	SIMATIC S7-1500, PERFIL SOPORTE 160 MM (CA. 6,3 INCH); INCL. TORXILLO DE TIERRA	UND	1	98.80	98.80	4 SEMANAS
4	6ES7954-8LC02-0AA0	SIMATIC S7, MEMORY CARD FOR S7-1X00 CPU/SINAMICS, 3,3 V FLASH, 4 MBYTE	UND	1	260.00	260.00	4 SEMANAS
5	6ES7592-1AM00-0X80	SIMATIC S7-1500, FRONTCONNECTOR SCREW-TYPE, 40PIN, FOR 95MM WIDE MODULES, INCL. 4 JUMPERS, AND CABLE STRAP	UND	3	181.35	544.05	4 SEMANAS
6	6XV1870-3QH20	SIMATIC NET, IND. ETHERNET TP CORD RJ45/RJ45, CAT 6A, CABLE TP 4X2, CONECTORIZADO CON 2 RJ45, LONGITUD 2M	UND	1	107.25	107.25	4 SEMANAS
7	6AV6647-0AJ11-3AX0	SIMATIC HMI KP400 BASIC COLOR PN, BASIC PANEL, OPERACION TECLA DISPLAY TFT WIDESCREEN DE 4", 256 COLORES, INTERFAZ PROFINET, CONFIGURABLE DESDE WINCC BASIC V11 SP2/STEP 7 BASIC V11 SP2	UND	1	1,767.35	1,767.35	4 SEMANAS
8		SERVICIOS DE INGENIERÍA: DESARROLLO DE PLANOS ELÉCTRICOS, PROGRAMACIÓN PLC – HMI, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA.	UND	1	7,850.00	7,850.00	3 SEMANAS
						VALOR DE VENTA S/.	34,117.10
						DESCUENTO S/.	-2,833.40
						VALOR DE VENTA S/.	31,283.70
						I.G.V. 18%	5,631.07
						PRECIO DE VENTA S/.	36,914.77

ANEXO 14.
Costos de paradas, calidad y merma

Disponibilidad	1	2	5	6	7	8	9	10	11	12	2020
Paradas por avería	S/ 12,293.86	S/ 7,667.14	S/ 13,659.84	S/ 7,050.24	S/ 11,610.86	S/ 12,521.52	S/ 10,355.04	S/ 13,659.84	S/ 12,998.88	S/ 12,293.86	S/ 114,111.07
Cambios de referencia	S/ 52,362.72	S/ 46,854.72	S/ 46,215.79	S/ 43,843.68	S/ 43,711.49	S/ 47,809.44	S/ 50,673.60	S/ 48,947.76	S/ 45,385.92	S/ 53,501.04	S/ 479,306.16
Paradas por operación	S/ 5,691.60	S/ 4,046.54	S/ 1,593.65	S/ 3,965.76	S/ 8,423.57	S/ 9,561.89	S/ 4,186.08	S/ 5,008.61	S/ 3,525.12	S/ 6,374.59	S/ 52,377.41
TOTAL	S/ 70,348.18	S/ 58,568.40	S/ 61,469.28	S/ 54,859.68	S/ 63,745.92	S/ 69,892.85	S/ 65,214.72	S/ 67,616.21	S/ 61,909.92	S/ 72,169.49	S/ 645,794.64

Rendimiento	1	2	5	6	7	8	9	10	11	12	2020
Descalibración del proceso	S/ 7,551.16	S/ 5,558.67	S/ 6,647.79	S/ 9,431.24	S/ 7,048.48	S/ 3,313.19	S/ 1,706.16	S/ 8,482.53	S/ 5,702.76	S/ 3,887.36	S/ 59,329.35
Otras demoras	S/ 1,887.79	S/ 1,389.67	S/ 3,656.28	S/ 2,316.44	S/ 5,081.46	S/ 2,524.34	S/ 2,326.58	S/ 1,120.33	S/ 253.46	S/ 3,731.87	S/ 24,288.22
TOTAL	S/ 9,438.95	S/ 6,948.34	S/ 10,304.07	S/ 11,747.68	S/ 12,129.94	S/ 5,837.53	S/ 4,032.74	S/ 9,602.87	S/ 5,956.22	S/ 7,619.23	S/ 83,617.57

Calidad	1	2	5	6	7	8	9	10	11	12	2020
Contaminación	S/ 6,748.69	S/ 6,953.96	S/ 6,640.13	S/ 7,424.23	S/ 7,619.91	S/ 6,876.05	S/ 7,124.35	S/ 7,323.62	S/ 7,015.56	S/ 7,592.20	S/ 71,318.70
Descalibración	S/ 7,311.09	S/ 2,804.01	S/ 13,635.97	S/ 25,137.17	S/ 9,236.26	S/ 26,001.87	S/ 8,618.17	S/ 18,881.21	S/ 33,628.28	S/ 23,057.79	S/ 168,311.82
Paradas de rotación	S/ 2,811.96	S/ 3,925.62	S/ 3,735.07	S/ 4,209.01	S/ 8,832.17	S/ 18,490.22	S/ 14,363.62	S/ 37,190.26	S/ 20,003.03	S/ 10,685.32	S/ 124,246.28
TOTAL	S/ 16,871.74	S/ 13,683.59	S/ 24,011.17	S/ 36,770.41	S/ 25,688.34	S/ 51,368.15	S/ 30,106.14	S/ 63,395.08	S/ 60,646.87	S/ 41,335.31	S/ 363,876.81

2021	1	2	3	4	5	6	2021
Paradas por avería	S/ 3,688.16	S/ 2,220.83	S/ 3,278.36	S/ 5,287.68	S/ 4,097.95	S/ 2,115.07	S/ 20,688.05
Cambios de referencia	S/ 15,708.82	S/ 13,571.71	S/ 15,367.32	S/ 12,359.95	S/ 13,864.74	S/ 13,153.10	S/ 84,025.64
Paradas por operación	S/ 2,845.80	S/ 1,953.50	S/ 3,528.79	S/ 1,652.40	S/ 796.82	S/ 1,982.88	S/ 12,760.20
TOTAL	S/ 22,242.77	S/ 17,746.04	S/ 22,174.47	S/ 19,300.03	S/ 18,759.51	S/ 17,251.06	S/ 117,473.89

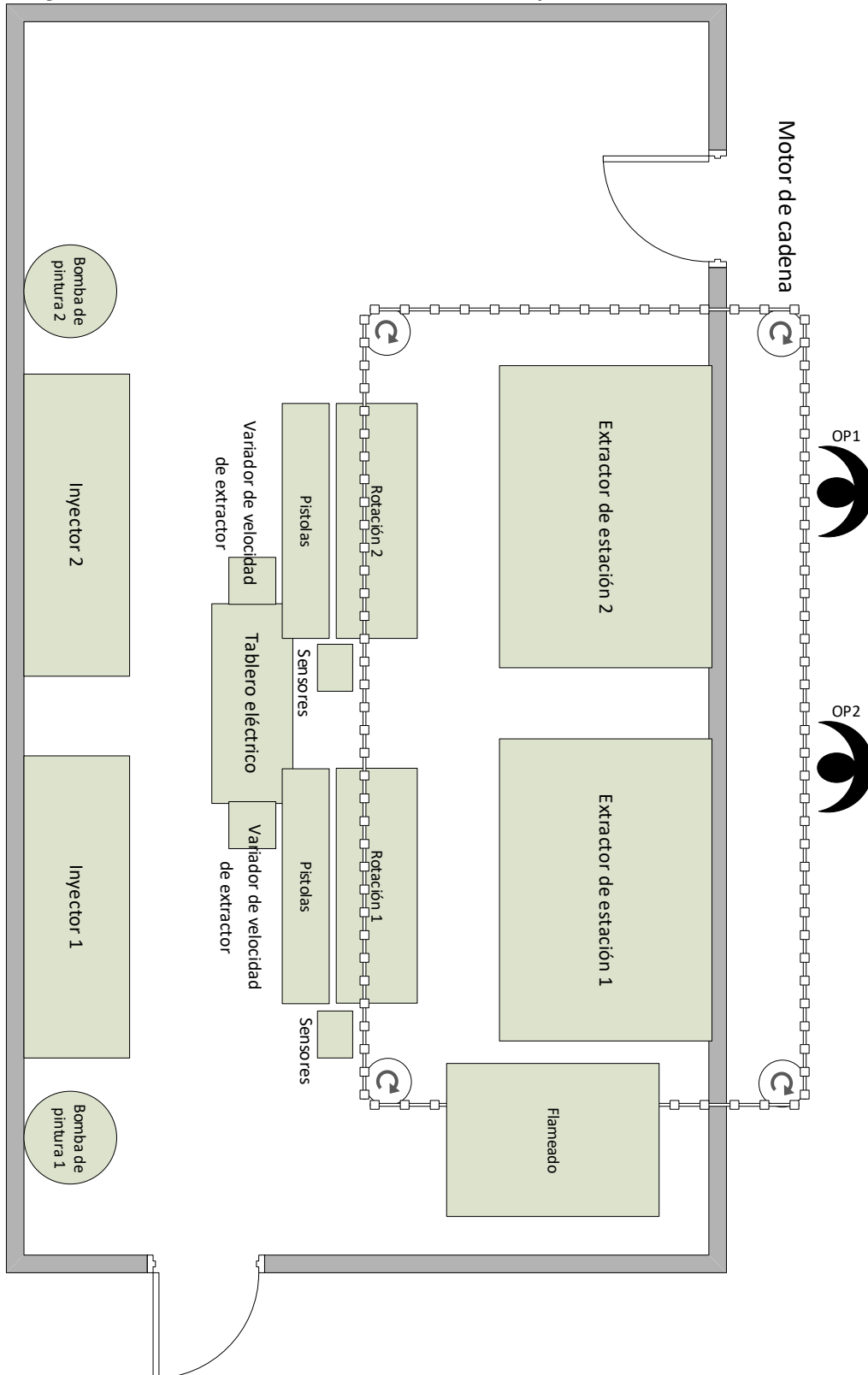
2021	1	2	3	4	5	6	2121
Descalibración del proceso	S/ 508.91	S/ 676.39	S/ 1,171.29	S/ 723.67	S/ 835.62	S/ 1,157.49	S/ 5,073.38
Otras demoras	S/ 1,272.29	S/ 1,690.97	S/ 2,671.36	S/ 3,618.36	S/ 4,595.90	S/ 2,842.97	S/ 16,691.85
TOTAL	S/ 1,781.20	S/ 2,367.36	S/ 3,842.65	S/ 4,342.03	S/ 5,431.52	S/ 4,000.46	S/ 21,765.22

2021	1	2	3	4	5	6	2021
Contaminación	S/ 4,757.35	S/ 8,748.78	S/ 9,969.49	S/ 9,499.43	S/ 8,666.88	S/ 9,614.89	S/ 51,256.83
Descalibración	S/ 515.38	S/ 352.77	S/ 1,073.64	S/ 1,009.78	S/ 1,779.81	S/ 3,255.44	S/ 7,986.82
Paradas de rotación	S/ 396.45	S/ 987.77	S/ 1,257.69	S/ 807.83	S/ 975.02	S/ 1,090.19	S/ 5,514.94
TOTAL	S/ 5,669.17	S/ 10,089.32	S/ 12,300.82	S/ 11,317.04	S/ 11,421.72	S/ 13,960.52	S/ 64,758.59

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 15

Diagrama de ubicación de cabina antes de la mejora



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 16

Diagrama de Gantt

Id.	Nombre de tarea	Inicio	Finalizar	Duración	05 Dic. 2019					07 Dic. 2019					09 Dic. 2019					05 Ene. 2020						
					16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6
1	Armado de tablero	16/12/2019	21/12/2019	6d	█																					
2	Programación de PLC	23/12/2019	26/12/2019	4d						█																
3	Diseño y programación de HMI	27/12/2019	31/12/2019	4d											█											
4	Instalación de tablero	2/01/2020	3/01/2020	2d															█							
5	Instalaciones eléctricas	4/01/2020	6/01/2020	2d															█							
6	Puesta en marcha	7/01/2020	8/01/2020	2d																		█				

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 17

Imágenes antes de la mejora



Imágenes después de la mejora

