

***“IMPLANTACIÓN DE METRICO OEE EN EL  
AREA DE PRENSAS EN EZAIR INTERIOR”***

***TESIS***

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

***MAESTRO EN SISTEMAS DE MANUFACTURA***

**PRESENTA:**

***ERIC DAVID ESQUIVEL AGUIRRE***

**DIRECTOR DE TESIS:**

***DR. LUIS ARNULFO GUERRERO CHAVEZ***



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**CHIHUAHUA, CHIH., MAYO 2025**



**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chihuahua, Chih., 11 de junio de 2025

**MTRO. LEONCIO OCHOA CERVANTES**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**PRESENTE**

Por medio de la presente notificamos a usted que, en cumplimiento de los requerimientos para la obtención del grado de Maestría en Sistemas de Manufactura, el documento de tesis del C. ERIC DAVID ESQUIVEL AGUIRRE, ha sido aprobado y aceptado para su impresión. El título de la tesis es:

**"IMPLANTACIÓN DE MÉTRICO OEE EN EL ÁREA DE PRENSAS EN EZAIR INTERIOR"**

Por lo que proponemos, le sea concedida la autorización de impresión correspondiente.

Agradeciendo la atención a la presente, quedamos de usted:

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica  
La Técnica por el engrandecimiento de México*

  
**DR. LUIS ARNULFO GUERRERO CHÁVEZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

  
**MAESTRO PEDRO ZAMBRANO BOJÓRQUEZ**  
**MIEMBRO DEL JURADO DE EXAMEN**

  
**MAESTRO FRANCISCO TERÁN AREVALO**  
**MIEMBRO DEL JURADO DE EXAMEN**

  
**MAESTRO ALFREDO BURCIAGA GARCÍA**  
**MIEMBRO DEL JURADO DE EXAMEN**



EDUCACIÓN  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN

Av. Tecnológico #2909 Col. 10 de Mayo

C.P. 31100, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA TEL: (664) 6642000 ext. 2157

e-mail: [dir\\_chihuahua@tecnm.mx](mailto:dir_chihuahua@tecnm.mx) <http://itichihuahua.mx>



**2025**  
**Año de**  
**La Mujer**  
**Indígena**



Instituto Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chihuahua, Chih., 11 de junio del 2025

C. ERIC DAVID ESQUIVEL AGUIRRE  
PRESENTE

Por este conducto le comunico que, a propuesta del jurado de Examen, la División de Estudios Posgrado e Investigación le ha concedido la autorización de la impresión de tesis para obtener el grado de Maestro en Sistemas de Manufactura, cuyo título es:

**"IMPLANTACIÓN DE METRICO OEE EN EL AREA DE PRENSAS EN EZAIR INTERIOR"**

Con el siguiente contenido de capítulos:

- I. Resumen
- II. Definición de conceptos
- III. Variables
- IV. Procedimiento para el cálculo del OEE
- V. Conclusiones

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica.*  
*La Técnica por el engrandecimiento de México.*

*Lochoal*

M.C. LEONCIO OCHOA CERVANTES  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

LOC/lbb



2025  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Av. Tecnológica #2909 Col. 18 de Mayo  
C.P. 31206, Chihuahua, Chihuahua. Tel. (614) 2612000 ext. 2157  
e-mail: [dir\\_chihuahua@tecnm.mx](mailto:dir_chihuahua@tecnm.mx) [tecnm.mx](http://tecnm.mx) <http://itichihuahua.mx>



## Tesis David Esquivel. 2025.pdf

Tecnológico Nacional de México

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::20755-467820304

Fecha de entrega

17 jun 2025, 1:16 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

17 jun 2025, 1:19 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

Tesis David Esquivel. 2025.pdf

Tamaño de archivo

2.8 MB

83 Páginas

16,172 Palabras

94,107 Caracteres



Instituto Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Chihuahua, Chih., 17 de Junio del 2025

### CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Chihuahua el día 17 de Junio de 2025, el que suscribe **C. ERIC DAVID ESQUIVEL AGUIRRE**, con número de control **G23061057**, del Programa de **Maestría en Sistemas de Manufactura**, adscrito a la **DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN** del Instituto Tecnológico de Chihuahua, manifiesta que es **autor** intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Luis Arnulfo Guerrero Chávez. Y cede los derechos del trabajo intitulado "**Implantación de métrico OEE en el área de prensas en EZAir interior**", al Tecnológico Nacional de México y/o Instituto Tecnológico de Chihuahua para su difusión, divulgación, transmisión, reproducción, así como su digitalización con fines académicos y de investigación.

C. ERIC DAVID ESQUIVEL AGUIRRE



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Av. Tecnológico #2909 Col. 10 de Mayo  
C.P. 31200, Chihuahua, Chihuahua. Tel. (614) 2012000 ext. 2157  
e-mail: [dir\\_chihuahua@tecnm.mx](mailto:dir_chihuahua@tecnm.mx) [tecnm.mx](http://itcchihuahua.mx/) <http://itcchihuahua.mx/>



## INDICE

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Resumen.....                                      | 12 |
| 1.1. Antecedentes.....                            | 13 |
| 1.2. Planteamiento del problema.....              | 15 |
| 1.3. Preguntas de investigación.....              | 18 |
| 1.4. Objetivo.....                                | 18 |
| 1.5. Meta.....                                    | 18 |
| 1.6. Justificación.....                           | 19 |
| 2.1. Definición de conceptos.....                 | 20 |
| 2.1.1. OEE.....                                   | 20 |
| 2.1.2. Disponibilidad.....                        | 20 |
| 2.1.3. Eficiencia.....                            | 20 |
| 2.1.4. Calidad.....                               | 20 |
| 2.1.5. TPM.....                                   | 20 |
| 2.1.6. SMED.....                                  | 20 |
| 2.1.7. Poka Yoke.....                             | 21 |
| 2.1.8. Tiempos de Ciclo.....                      | 21 |
| 2.1.9. Rate.....                                  | 21 |
| 2.1.10. Scrap.....                                | 21 |
| 2.2. Variables a manejar.....                     | 21 |
| 2.2.1. OEE.....                                   | 21 |
| 2.2.2. Disponibilidad.....                        | 21 |
| 2.2.3. Eficiencia.....                            | 21 |
| 2.2.4. Calidad.....                               | 21 |
| 2.3. Modelos Encontrados.....                     | 21 |
| 2.3.1. OEE (Overall Equipment Effectiveness)..... | 21 |
| 2.3.2. TPM (Mantenimiento Productivo Total).....  | 22 |
| 2.3.3. TPS (Toyota Production System).....        | 23 |
| 2.3.4. SMED (Quick Changeover).....               | 24 |
| 2.3.5. Poka Yoke (Error proofing).....            | 25 |
| 2.3.6. Kanban.....                                | 26 |

|          |                                                                   |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.7.   | Takt time. ....                                                   | 27 |
| 2.3.8.   | Genchi Genbutsu. ....                                             | 28 |
| 2.3.9.   | Eliminación de desperdicios.....                                  | 28 |
| 2.4.     | Factores o causas que influyen en el comportamiento del OEE. .... | 29 |
| 2.4.1.   | Tiempo muerto (Disponibilidad). ....                              | 29 |
| 2.4.1.1. | Condiciones del equipo antes de iniciar operación. ....           | 29 |
| 2.4.1.2. | Como se opera el equipo. ....                                     | 30 |
| 2.4.1.3. | Fallas en la maquina: averías y fallas mecánicas. ....            | 31 |
| 2.4.1.4. | Cambio de modelo. ....                                            | 31 |
| 2.4.1.5. | Mantenimiento Insuficiente e inadecuado. ....                     | 31 |
| 2.4.1.6. | Método para cargar materia prima. ....                            | 33 |
| 2.4.1.7. | Condiciones ambientales. ....                                     | 36 |
| 2.4.1.8. | Programación de las piezas. ....                                  | 36 |
| 2.4.2.   | Velocidad del equipo (Eficiencia). ....                           | 36 |
| 2.4.2.1. | Programación de las piezas. ....                                  | 36 |
| 2.4.2.2. | Manual de operación y programación de máquina.....                | 37 |
| 2.4.2.3. | Diseño y fabricación de moldes adecuados para la máquina.....     | 39 |
| 2.4.2.4. | Mala transferencia del equipo. ....                               | 40 |
| 2.4.2.5. | Mala aceptación del equipo.....                                   | 40 |
| 2.4.3.   | Mala calidad.....                                                 | 41 |
| 2.4.3.1. | Maquina descalibrada. ....                                        | 41 |
| 2.4.3.2. | Maquina desalineada. ....                                         | 42 |
| 2.4.3.3. | Falta de mantenimiento.....                                       | 42 |
| 2.4.3.4. | Defectos del proceso.....                                         | 42 |
| 2.4.3.5. | Moldes malas condiciones. ....                                    | 43 |
| 2.4.3.6. | Materia prima defectuosa. ....                                    | 43 |
| 2.4.3.7. | Medio ambiente inadecuado de las prensas. ....                    | 45 |
| 2.4.3.8. | Medio ambiente inadecuado de la materia prima.....                | 45 |
| 2.4.3.9. | Mala operación por parte del operador.....                        | 45 |
| 2.5.     | Formatos de Medición. ....                                        | 46 |
| 2.6.     | Software de medición de OEE.....                                  | 47 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Variables.....                                                                        | 48 |
| 3.1.1. Disponibilidad.....                                                                 | 48 |
| 3.1.2. Eficiencia.....                                                                     | 49 |
| 3.1.3. Calidad.....                                                                        | 50 |
| 3.2. Hipótesis.....                                                                        | 53 |
| 3.2.1. Hipótesis Nula.....                                                                 | 53 |
| 3.2.2. Hipótesis Alternativa o de Investigación. ....                                      | 53 |
| 3.3. Sujeto de Investigación. ....                                                         | 53 |
| 3.4. Tamaño de Muestra. ....                                                               | 53 |
| 3.5. Material y Equipo Utilizado. ....                                                     | 54 |
| 3.6. Tipo y Nivel de la Investigación. ....                                                | 54 |
| 3.7. Procedimiento.....                                                                    | 54 |
| 3.8. Modelos Propuestos.....                                                               | 55 |
| 3.9. Formatos Propuestos. ....                                                             | 55 |
| 4.1. Procedimiento para el cálculo del OEE. ....                                           | 56 |
| 4.1.1. Disponibilidad.....                                                                 | 56 |
| 4.1.2. Eficiencia.....                                                                     | 56 |
| 4.1.2.1. Eficiencia de la máquina.....                                                     | 57 |
| 4.1.3. Calidad.....                                                                        | 58 |
| 4.2. Formatos. ....                                                                        | 59 |
| 4.2.1. Formato para recolección de datos histórico. ....                                   | 59 |
| 4.2.2. Formato para recolección de datos.....                                              | 61 |
| 4.3. Visualización de resultados. ....                                                     | 62 |
| 4.3.1. Gráficos de tendencia. ....                                                         | 63 |
| 4.3.2. Gráfico de barras para principales contribuyentes.....                              | 64 |
| 4.4. Mejora en disponibilidad.....                                                         | 65 |
| 4.4.1. Reducción de tiempos muertos en Set up primer pieza.....                            | 65 |
| 4.5. Mejora en Calidad. ....                                                               | 66 |
| 4.5.1. Mejora en Delaminación. ....                                                        | 66 |
| 4.6. Mejora en recolección de datos de Disponibilidad.....                                 | 69 |
| 4.6.1. Utilización de recolección digital (Andon) para recolección de tiempo<br>muerto. 69 |    |
| 4.6.2. Modificación de sistema Andon .....                                                 | 71 |

|         |                                                                          |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.7.    | Procedimientos.....                                                      | 72 |
| 4.7.1.  | Definir Variables.....                                                   | 72 |
| 4.7.2.  | Creación de Bases de datos. ....                                         | 72 |
| 4.7.3.  | Los procesos tienen que estar bien definidos. ....                       | 73 |
| 4.7.4.  | Comenzar con la captura de datos manual.....                             | 73 |
| 4.7.5.  | Creación de formatos digitales.....                                      | 73 |
| 4.7.6.  | Visualización de datos. ....                                             | 74 |
| 4.7.7.  | Automatizar la captura de datos y visualización de resultados. ....      | 74 |
| 4.7.8.  | Entrenamiento al personal. ....                                          | 76 |
| 5.1.    | Conclusiones.....                                                        | 77 |
| 5.1.1.  | Disponibilidad.....                                                      | 77 |
| 5.1.2.  | Eficiencia.....                                                          | 78 |
| 5.1.3.  | Calidad.....                                                             | 78 |
| 5.1.4.  | Cálculo del OEE.....                                                     | 78 |
| 5.1.5.  | Visualización de resultados.....                                         | 78 |
| 5.1.6.  | Visualización de mayores contribuyentes. ....                            | 79 |
| 5.1.7.  | Mejora para el principal contribuyente de disponibilidad.....            | 79 |
| 5.1.8.  | Mejora para el principal contribuyente de calidad. ....                  | 79 |
| 5.1.9.  | Mejora en recolección de datos de Disponibilidad. ....                   | 79 |
| 5.1.10. | Redacción de procedimiento. ....                                         | 79 |
| 5.2.    | Recomendaciones.....                                                     | 80 |
| 5.2.1.  | Automatización del Proceso de Recolección de Datos.....                  | 80 |
| 5.2.2.  | Optimización de la Visualización de Resultados.....                      | 80 |
| 5.2.3.  | Mejoras en los principales contribuyentes mediante automatizaciones..... | 80 |
| 5.2.4.  | Estrategia de Implementación automatizada. ....                          | 80 |
| 5.2.5.  | Documentar mediante procedimientos. ....                                 | 81 |
| 5.2.6.  | Recomendaciones finales. ....                                            | 81 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1</b> Tabla de Clasificación OEE (Bach. Grados Robles, 2020).....                                                                         | 14 |
| <b>Figura 1.2</b> Mejora de OEE en proceso (Valenzuela, 2021). ....                                                                                   | 15 |
| <b>Figura 1.3</b> Áreas asociadas a Prensas de manufactura en EZAir. ....                                                                             | 16 |
| <b>Figura 1.4</b> Grafico de inicio en tiempo de Prensas de EZAir. ....                                                                               | 16 |
| <b>Figura 1.5</b> Grafico de cumplimiento del plan de producción de Prensas de EZAir.<br>.....                                                        | 17 |
| <b>Figura 1.6</b> Gráficos de avance del plan de producción de Prensas de EZAir.....                                                                  | 17 |
| <b>Figura 2.1</b> Modelo del OEE basado en el sistema del TPM. (Suzuki, 1993). ....                                                                   | 22 |
| <b>Figura 2.2</b> Valores de OEE mundial vs planta estándar. (7 Tips comprobados para<br>alcanzar una productividad de clase mundial, 2017).....      | 22 |
| <b>Figura 2.3</b> Pilares del TPM (8 pilares del TPM que necesita el área de producción<br>empresarial, 2022). ....                                   | 23 |
| <b>Figura 2.4</b> Pilares del TPS (McBride, 2022). ....                                                                                               | 24 |
| <b>Figura 2.5</b> Pasos para hacer un SMED. (Single minute Exchange of die, 2024)..                                                                   | 25 |
| <b>Figura 2.6</b> Modelo del Poka Yoke.....                                                                                                           | 26 |
| <b>Figura 2.7</b> Principios del Poka Yoke. (Trokanowska et al., 2023).....                                                                           | 26 |
| <b>Figura 2.8</b> Secuencia del Kanban. (Manufactus, 2023).....                                                                                       | 27 |
| <b>Figura 2.9</b> Sistema Push vs Sistema Pull. (Vilda, 2020).....                                                                                    | 27 |
| <b>Figura 2.10</b> Formula del Takt Time. (Borja, 2019).....                                                                                          | 28 |
| <b>Figura 2.11</b> Genchi Genbutsi. (Vaal, 2020). ....                                                                                                | 28 |
| <b>Figura 2.12</b> Modelo de eliminación de desperdicios. (Jeffrey, 2004).....                                                                        | 29 |
| <b>Figura 2.13</b> Cambio de modelo EZAir en el área de prensas. ....                                                                                 | 31 |
| <b>Figura 2.14</b> Cuarto Frio de EZAir.....                                                                                                          | 34 |
| <b>Figura 2.15</b> Corte de materiales en EZAir. ....                                                                                                 | 34 |
| <b>Figura 2.16</b> Horno de secado de Core en EZAir.....                                                                                              | 34 |
| <b>Figura 2.17</b> Colocacion de capas de materiales en EZAir. ....                                                                                   | 35 |
| <b>Figura 2.18</b> Colocación de pieza en fixtura de enfriamiento en EZAir. ....                                                                      | 35 |
| <b>Figura 2.19</b> Colocación de material terminado en EZAir. ....                                                                                    | 36 |
| <b>Figura 2.20</b> Diseño de molde de EZAir para prensa.....                                                                                          | 40 |
| <b>Figura 2.21</b> Prensa Wabash utilizada en EZAir. ....                                                                                             | 40 |
| <b>Figura 2.22</b> Menú principal de prensa Wabash. ....                                                                                              | 41 |
| <b>Figura 2.23</b> Prensa Beckwood faltante de operaciones necesarias para el<br>producto. ....                                                       | 41 |
| <b>Figura 2.24</b> Molde en mala condicion EZAir. ....                                                                                                | 43 |
| <b>Figura 2.25</b> Materia prima defectuosa (How to Identify the Defects and Damage in<br>Composites Materials and Structures?, s.f.).....            | 44 |
| <b>Figura 2.26</b> Materia prima composite defectuosa. (How to Identify the Defects and<br>Damage in Composites Materials and Structures?, s.f.) .... | 44 |
| <b>Figura 2.27</b> Formato de medición de la producción en EZAir, desarrollo propio. .                                                                | 46 |
| <b>Figura 2.28</b> Formato recoleccion de datos de Carlos Grados. (Grados, 2020). ...                                                                 | 47 |
| <b>Figura 2.29</b> Tablet utilizada para obtencion de OEE. ....                                                                                       | 47 |
| <b>Figura 3.1</b> Tiempo total.....                                                                                                                   | 48 |
| <b>Figura 3.2</b> Cumplimiento del plan de producción de EZair .....                                                                                  | 49 |

|                    |                                                                                                         |    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 3.3</b>  | Inicio en tiempo del plan de producción de EZair.....                                                   | 50 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Medición de piezas CD Notes en EZAir .....                                                              | 51 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Medición de DPU's en EZAir.....                                                                         | 51 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Medición de Calidad en EZAir .....                                                                      | 52 |
| <b>Figura 3.7</b>  | Medición de FPYD en EZAir.....                                                                          | 52 |
| <b>Figura 3.8</b>  | Puntuación Z para cálculo de tamaño de muestra (Calculadora del tamaño de la muestra, s.f.).....        | 53 |
| <b>Figura 4.1</b>  | Tiempo de producción de pieza (Desarrollo propio) .....                                                 | 57 |
| <b>Figura 4.2</b>  | Pantalla de prensa Wabash. ....                                                                         | 57 |
| <b>Figura 4.3</b>  | Prensa para material composite Beckwood. ....                                                           | 58 |
| <b>Figura 4.4</b>  | Compilado de piezas scrap de EZAir. ....                                                                | 58 |
| <b>Figura 4.5</b>  | Formato para recolección de datos disponibilidad, calidad y eficiencia (Desarrollo propio).....         | 59 |
| <b>Figura 4.6</b>  | Formato para recolección de datos por parte de operador (Desarrollo propio). ....                       | 61 |
| <b>Figura 4.7</b>  | Formato de Figura 4.5 con datos recopilados del mes de septiembre .....                                 | 62 |
| <b>Figura 4.8</b>  | Visualización de resultados en pantalla de área de producción. ....                                     | 63 |
| <b>Figura 4.9</b>  | Comportamiento del OEE prensa uno EZAir del mes de septiembre 2024. ....                                | 63 |
| <b>Figura 4.10</b> | Comportamiento del OEE prensa uno EZAir del mes de octubre 2024. ....                                   | 64 |
| <b>Figura 4.11</b> | Comportamiento gráfico de Calidad en prensa uno EZAir del mes de septiembre y octubre 2025. ....        | 64 |
| <b>Figura 4.12</b> | Comportamiento gráfico de Disponibilidad en prensa uno EZAir del mes de septiembre y octubre 2025. .... | 65 |
| <b>Figura 4.13</b> | Horno de curado industrial de EZAir.....                                                                | 65 |
| <b>Figura 4.14</b> | Resistencias para calentamiento de moldes de EZAir. ....                                                | 66 |
| <b>Figura 4.15</b> | Horno fabricado de materiales económicos para calentamiento de moldes en EZAir.....                     | 66 |
| <b>Figura 4.16</b> | Defecto delaminación en PFMEA de área de Prensas EZAir.....                                             | 67 |
| <b>Figura 4.17</b> | Defecto delaminación en PFMEA de área de Laminado EZAir. ....                                           | 67 |
| <b>Figura 4.18</b> | Deshumidificador AireColer para un área de 7000 pies cuadrados. .                                       | 68 |
| <b>Figura 4.19</b> | Sistema Andon de EZAir, líneas de la planta. ....                                                       | 70 |
| <b>Figura 4.20</b> | Sistema Andon de EZAir, Departamentos de la planta. ....                                                | 70 |
| <b>Figura 4.21</b> | Dashboard de sistema Andon. ....                                                                        | 71 |
| <b>Figura 4.22</b> | Tipos de tiempo muerto.....                                                                             | 72 |
| <b>Figura 4.23</b> | Programa creado por Power Apps para la captura de datos de manera digital.....                          | 75 |
| <b>Figura 4.24</b> | Programa creado por Power BI para la visualización de datos capturados de manera digital EZAir. ....    | 75 |
| <b>Figura 4.25</b> | Lista de asistencia de entrenamiento de personal.....                                                   | 76 |
| <b>Figura 5.1</b>  | OEE actual EZAir vs OEE clase mundial. ....                                                             | 78 |

## **Resumen.**

EZ Air Interior es una empresa líder en la industria aeroespacial, especializada en la manufactura de interiores para aeronaves comerciales de la marca Embraer. Con sede en la ciudad de Chihuahua, México, la compañía se distingue por su compromiso con la excelencia en calidad y enfoque en la generación de productos de valor para sus clientes. Con esa finalidad, la organización ha identificado la necesidad de optimizar sus procesos productivos mediante la implementación del métrico compuesto OEE (Overall Equipment Effectiveness) en sus operaciones clave.

El propósito principal de este proyecto es medir y evaluar la efectividad global de los equipos, con el fin de identificar oportunidades de mejora en los tres aspectos fundamentales que componen el OEE: la disponibilidad de los equipos, la eficiencia operativa y la calidad del producto. Como resultado, se espera lograr una reducción significativa del tiempo muerto, una disminución en los rechazos por calidad y un incremento en la productividad. Para ello, se ha seleccionado como área piloto el proceso de prensado de materiales composites.

El desarrollo de este trabajo incluirá la definición del proceso para el cálculo del OEE, desde la toma de datos hasta la elaboración de formatos estandarizados para su captura y posterior análisis. Además, se diseñarán reportes que permitan visualizar el desempeño de los equipos en términos de Disponibilidad, Eficiencia y Calidad, facilitando la toma de decisiones basada en los datos obtenidos.

Como parte de la estrategia de mejora continua, se propone la automatización de la recolección y visualización de datos mediante herramientas tecnológicas accesibles para la empresa, como Microsoft Power Apps para la creación de aplicaciones de captura de datos y Microsoft Power BI para la visualización de resultados. Estas soluciones permitirán una monitorización automática del OEE, promoviendo una cultura de mejora continua y facilitando la identificación de los mayores contribuyentes en cuanto a disponibilidad, eficiencia y calidad.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes.

En la actualidad las empresas necesitan ser más competitivas y eficientes para lograr su permanencia en el mercado, por lo que para una empresa es de suma importancia ser competitiva.

Con el pasar del tiempo se desarrollan nuevos y diferentes métodos para la mejora de procesos, para solventar problemas relacionados con disponibilidad, eficiencia y calidad, por lo que el métrico que se desea implementar es el del OEE (Overall Equipment Effectiveness) con la finalidad de obtener las mejoras de la aplicación de este métrico.

La industria siempre ha buscado la mejora de los procesos con la implementación de diferentes técnicas y métodos en los sistemas de producción.

Algunas de las empresas optan por la compra de nuevas máquinas para solventar los problemas de producción, cuando pueden abordarse con la implementación de algunos de los métodos y sistemas de producción. Tal es sistema de medición del métrico OEE, que involucra la eficiencia, disponibilidad y calidad.

El concepto del OEE forma parte del TPM (Total Productive Maintenance) y tiene su origen en los años 1960s en Japón por Seichi Nakalima. (Berganzo, s.f.)

El OEE en mantenimiento es un indicador que mide el rendimiento de un activo industrial. Sus siglas provienen del inglés "Overall Equipment Effectiveness" o "Eficacia Global de Equipos Productivos", nos dice qué tan bien está operando una máquina y se obtiene al multiplicar los tres factores del equipo a evaluar.

La disponibilidad es la frecuencia con la que el activo opera, y equivale a el tiempo de funcionamiento dentro de la producción planificada. Por ejemplo, se supone que una máquina debe funcionar durante 12 horas, pero sufre una falla y solo funcionó 11 horas. La disponibilidad será de 0,917 o 91,7%.

El rendimiento; Indica cuánto produce el activo y equivale a rendimiento real del sistema, rendimiento máximo posible. Continuando con el ejemplo de la máquina anterior: con una tasa de producción máxima de 1,000 unidades por hora.

El rendimiento máximo sería de 12,000, pero si el equipo solo produce 11,500 unidades, el puntaje de desempeño sería 0.958 o 95.8%.

Calidad. Indica cuántos elementos de calidad produce el activo y equivale a:

Unidades de calidad producidas. Unidades totales, si nuestra producción es de 11,500 unidades en un periodo de producción de 12 horas, pero 500 de ellas tienen defectos que las hacen inutilizables, entonces la cantidad de unidades utilizables es de 11,000.

Por lo tanto, la puntuación de calidad sería de 0.956 o 95.6%.

Al obtener estos tres valores, se puede calcular el OEE de la siguiente manera:

$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$ . (Mancuzo, 2020)

Muchas empresas que han optado por la implementación del sistema OEE se han beneficiado de la información que esta proporciona, en ocasiones su eficiencia global sube hasta valores aceptables según la tabla de clasificación OEE. (Figura 1.1)

| OEE       | Calificativo | Consecuencias                                                           |
|-----------|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <65%      | Inaceptable  | Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad                    |
| ≥65% <75% | Regular      | Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora     |
| ≥75% <85% | Aceptable    | Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja            |
| ≥85% <95% | Buena        | Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados 'World Class' |
| ≥95%      | Excelente    | Competitividad excelente                                                |

**Figura 1.1** Tabla de Clasificación OEE (Bach. Grados Robles, 2020).

En diferentes estudios que se ha implementado el métrico OEE, basando en los bajos indicadores, se realizaron tareas para mejorar este métrico dando un aumento en disponibilidad, eficiencia y calidad, como en la siguiente investigación de implementación de técnicas de manufactura:

La tabla de la figura 1.2 indica la mejora en disponibilidad, eficiencia y calidad en una investigación realizada en Implementación de técnicas de manufactura esbelta en el área de moldeo de una empresa aeroespacial. (Valenzuela, 2021)

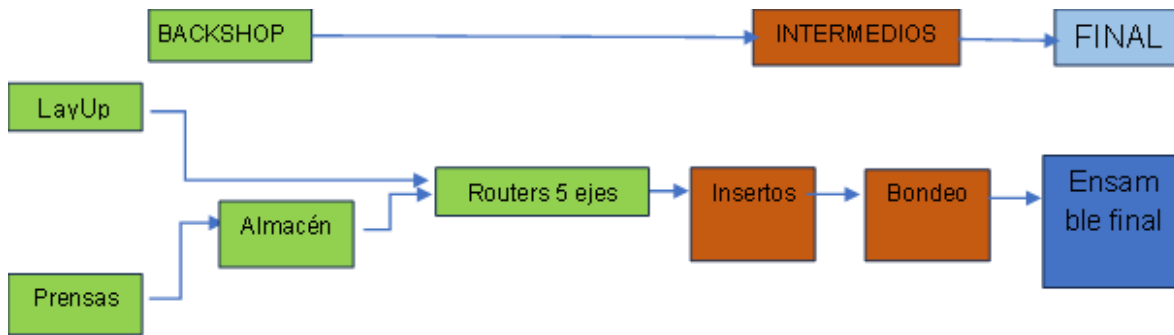
|                | Antes | Después |
|----------------|-------|---------|
| OEE            | 69%   | 78%     |
| Disponibilidad | 83%   | 89%     |
| Eficiencia     | 87%   | 91%     |
| Calidad        | 96%   | 96%     |

**Figura 2.2** Mejora de OEE en proceso (Valenzuela, 2021).

En una investigación realizada en una industria automotriz se mencionó el siguiente comentario: “A través de esta adaptación se puede conocer la efectividad de este tipo de equipos en una fábrica, además, el indicador ayuda a la toma de decisiones y reduce la pérdida de tiempo en la operación del AGV.” (Corrales, 2021).

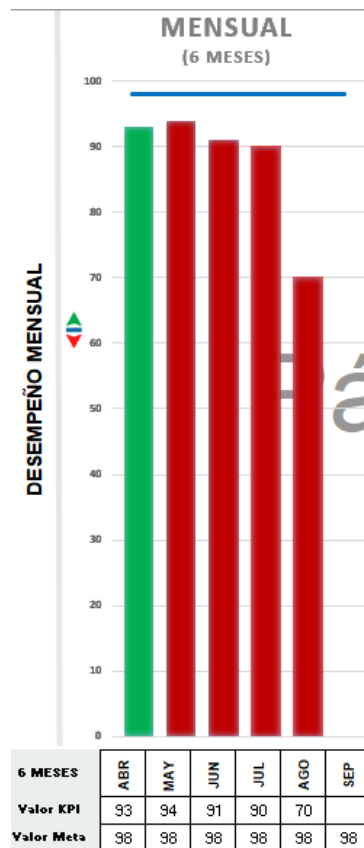
## 1.2. Planteamiento del problema.

En la empresa EZAir interior del mes de febrero-agosto 2023 se han estado presentando bajos niveles de ventas generales, debido a que no se cumple con la meta de empaque establecida, ya que el plan de producción nunca inicia en tiempo como se observa en la figura 1.4, por lo que no es posible poder planear lo que se requiere para la venta del mes (Figura 1.5), esto más el que no se terminen de fabricar las piezas que ya se planearon (Figura 1.6), provoca que el área no pueda fabricar las piezas necesarias en tiempo y forma que se requiere. Presentando problemas de eficiencia, disponibilidad & calidad principalmente en el área de BACKSHOP, lo que provoca retardos en la producción y pérdidas de hasta 500 000 USD mensuales para la empresa.

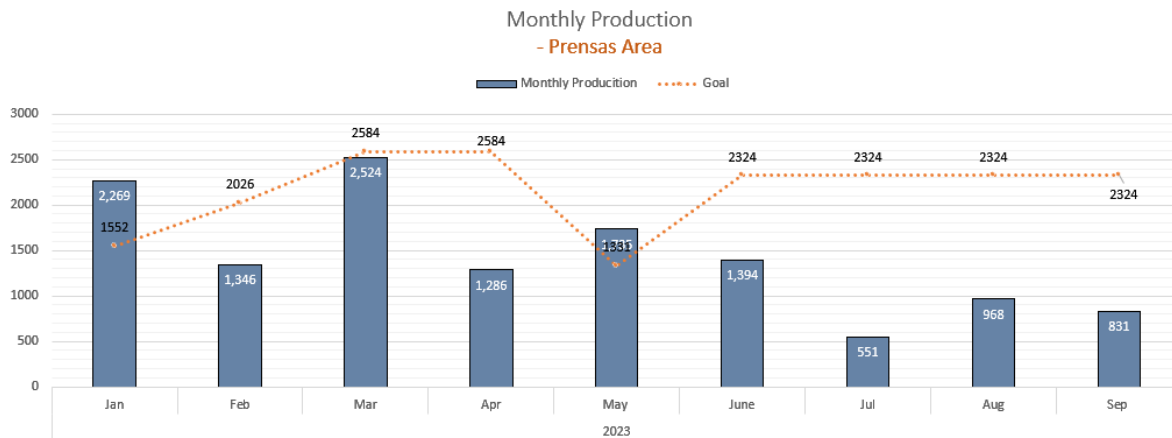


**Figura 3.3** Áreas asociadas a Prensas de manufactura en EZAir.

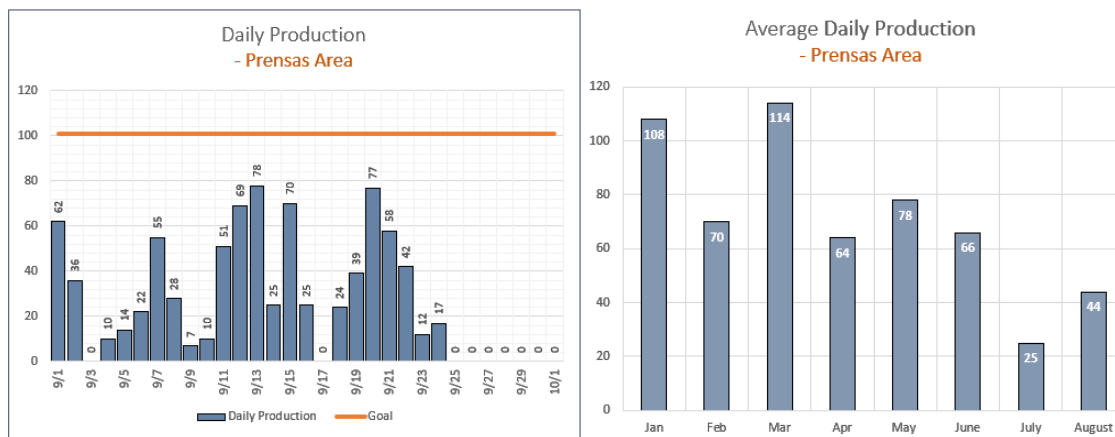
La empresa se divide en 3 áreas productivas (Figura 1.3), BACKSHOP, INTERMEDIOS & FINAL, y basado en la frase “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.” De William Thomson Kelvin, se busca implementar los métricos OEE en el área piloto de Prensas, para medir Disponibilidad, Eficiencia & Calidad de la forma correcta, de acuerdo a los beneficios obtenidos se buscaría aplicar a futuro en las demás áreas.



**Figura 4.4** Grafico de inicio en tiempo de Prensas de EZAir.



**Figura 5.5** Grafico de cumplimiento del plan de producción de Prensas de EZAir.



**Figura 6.6** Gráficos de avance del plan de producción de Prensas de EZAir.

A pesar de que es un objetivo de la empresa implantar el métrico compuesto OEE, con la finalidad de incrementar la visibilidad de los problemas que influyen en el programa de producción, aun no se ha podido lograr, por la falta del conocimiento en este métrico.

Actualmente el área de prensado de materiales composites carece de información acerca de la eficiencia de las prensas, el tiempo muerto para determinar la disponibilidad del equipo no es confiable ni completo, ya que no contempla todos los contribuyentes y no se lleva una medición para determinar la calidad del producto dentro del proceso productivo, por lo que no se tiene un procedimiento para la medición de estas tres variables que componen el OEE.

### **1.3. Preguntas de investigación.**

¿Qué es el OEE?

¿Cuáles son los principales beneficios de implementar el OEE en un proceso de manufactura de prensado?

¿Que se necesita para poder implementar el OEE?

¿Cuáles son los obstáculos al querer implementar el OEE en un proceso de manufactura de prensado?

¿Que compone el OEE?

¿Qué es la Eficiencia de la maquina?

¿Qué es la Disponibilidad de la maquina?

¿Qué es la Calidad del producto?

¿Como se calcula el OEE?

¿Como se implementa el OEE en procesos sin maquinas?

¿Porque el OEE no ha tenido tanta aplicación en la industria aeroespacial?

### **1.4. Objetivo.**

Ante la ausencia del métrico OEE implantado en la empresa, el objetivo será desarrollar un procedimiento orientado a la implantación del métrico de OEE en el área de Prensado de material composites, que contemple formatos para la recolección de datos de eficiencia de la máquina, tiempos muertos y calidad del producto, así como el procedimiento de cálculo del métrico OEE incluyendo de los elementos que lo componen (Eficiencia, Disponibilidad y Calidad), y la visualización de los resultados mediante gráficos de histórico, tendencia, y mayores contribuyentes, también se realizara una propuesta de mejora de acuerdo al análisis de Pareto para los principales contribuyentes.

### **1.5. Meta.**

Llevar a cabo la implementación del métrico del Overall Equipment Effectiveness (OEE). Con la intención de realizar un análisis para poder identificar los principales factores contribuyentes para cada elemento del OEE, que influyen directamente en el desempeño del área de prensas. Esta evaluación se basará en el principio del análisis de Pareto o regla 80/20, que permitirá priorizar y enfocarse solo en los mayores problemas.

Una vez identificados estos factores, se propondrá al menos una solución efectiva para los elementos que componen el OEE, que pueda ayudar a mejorar de manera significativa el rendimiento del área de prensas.

#### **1.6. Justificación.**

Mediante el análisis del OEE, se identificarán y priorizarán los principales factores que impactan negativamente en el desempeño del área, tales como paros no programados, cuellos de botella en el proceso o defectos de fabricación, los cuales limitan el cumplimiento de los niveles óptimos de eficiencia, disponibilidad y calidad. Esta identificación permitirá enfocar esfuerzos en las causas raíz, implementando acciones correctivas específicas para maximizar la productividad y reducir pérdidas operativas. La implementación del métrico OEE en las industrias ha demostrado una “Mejora el Retorno de inversión” (ROI), ya que ayuda a ser más competitivo, maximiza el rendimiento de las máquinas, incrementa la calidad de los procesos, perfecciona y facilita la capacidad de medir y decidir. Ayuda a descubrir los problemas y áreas de oportunidad del proceso llamados entre otras palabras ‘descubrir la fábrica oculta’, facilita el trabajo de los diferentes departamentos involucrados, reduce costos de reparación de maquinaria, está al alcance de cualquier proceso y es escalable. (OEE, S.F.)

## CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición de conceptos.

#### 2.1.1. OEE.

Overall Equipment Effectiveness (OEE), este indicador mide la eficiencia productiva de la maquinaria involucrando factores como: la disponibilidad, rendimiento y calidad. El OEE ayuda a orientar el tipo de acciones que se deben tomar dentro de las organizaciones en la aplicación. (Shirose, 1993)

$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Tasa de Rendimiento} * \text{Tasa de Calidad}$

#### 2.1.2. Disponibilidad.

La disponibilidad relaciona el tiempo total que hubo disponible con el que realmente se estuvo produciendo. Aquí aparecen dos tipos de tiempos improductivos: los programados (por mantenimiento, por ejemplo) y los no programados (por cuellos de botella en otra parte del sistema o por averías, por citar algunos casos). (Sejzer, s.f.)

#### 2.1.3. Eficiencia.

La eficiencia hace referencia al correcto aprovechamiento de la capacidad de la máquina en el tiempo que estuvo operativa. Las disminuciones del rendimiento son provocadas generalmente por pequeñas paradas o por variaciones de la velocidad, a valores menores que la nominal de la máquina. (Sejzer, s.f.)

#### 2.1.4. Calidad.

La calidad contempla el porcentaje de productos defectuosos sobre el total de productos fabricados. (Sejzer, s.f.)

#### 2.1.5. TPM.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), es una forma de mantenimiento productivo que involucra a todos los empleados. (Suzuki, 1993)

#### 2.1.6. SMED.

El Single Minute Exchange of Die (SMED), es una técnica de trabajo que permite reducir el tiempo de cambio y configuración de un producto o lote en una operación de un solo dígito; es decir, en menos de 10 minutos. (Giménez, 2021)

#### **2.1.7. Poka Yoke.**

El método Poka-Yoke es una técnica japonesa que se usa para evitar errores en las operaciones de una empresa. Su traducción significa «a prueba de errores» o «evitar errores inadvertidos». (González, 2023)

#### **2.1.8. Tiempos de Ciclo.**

El tiempo de ciclo es el tiempo que se tarda en completar una sola operación de fabricación en una unidad, o varias a la vez, desde el principio hasta el final, lo que significa que un producto pasa por una etapa de su producción. (Lauri, 2022)

#### **2.1.9. Rate.**

El Rate es la tasa de producción es el número de unidades normalizadas por minuto o por hora en que puede realizarse una tarea. (Infor, s.f.)

#### **2.1.10 Scrap.**

El scrap es el desperdicio o materia prima rechazada, es decir, la suma de recursos que no cumplen las especificaciones requeridas o estándares de calidad. (Chacón, 2020)

### **2.2. Variables a manejar.**

#### **2.2.1. OEE.**

#### **2.2.2. Disponibilidad.**

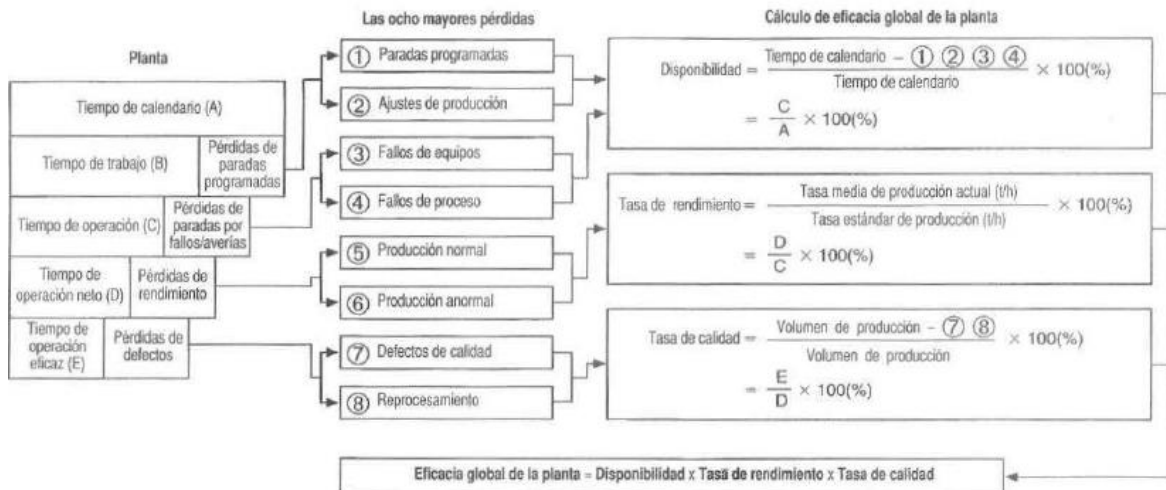
#### **2.2.3. Eficiencia.**

#### **2.2.4. Calidad.**

### **2.3. Modelos Encontrados.**

#### **2.3.1. OEE (Overall Equipment Effectiveness).**

El modelo del OEE mostrado en la figura 2.1 es explicado en el Total Productive Maintenance para determinar la efectividad global de la maquinaria y equipos con la finalidad de eliminar las pérdidas generadas por la velocidad de procesamiento, la disponibilidad de la maquina y la calidad que produce.



**Figura 7.1** Modelo del OEE basado en el sistema del TPM. (Suzuki, 1993).

En la figura 2.2 se muestra los valores de Disponibilidad, Calidad y Rendimiento de una planta estándar contra los valores de una planta de clase mundial.

|                      | Disponibilidad | Rendimiento | Calidad | OEE |
|----------------------|----------------|-------------|---------|-----|
| OEE Clase Mundial    | 90%            | 90%         | 99,9%   | 85% |
| Planta estándar      | 60%            | 75%         | 98%     | 44% |
| Diferencia en puntos | 30             | 15          | 1,9     | 41  |

**Figura 8.2** Valores de OEE mundial vs planta estándar. (7 Tips comprobados para alcanzar una productividad de clase mundial, 2017).

### 2.3.2. TPM (Mantenimiento Productivo Total).

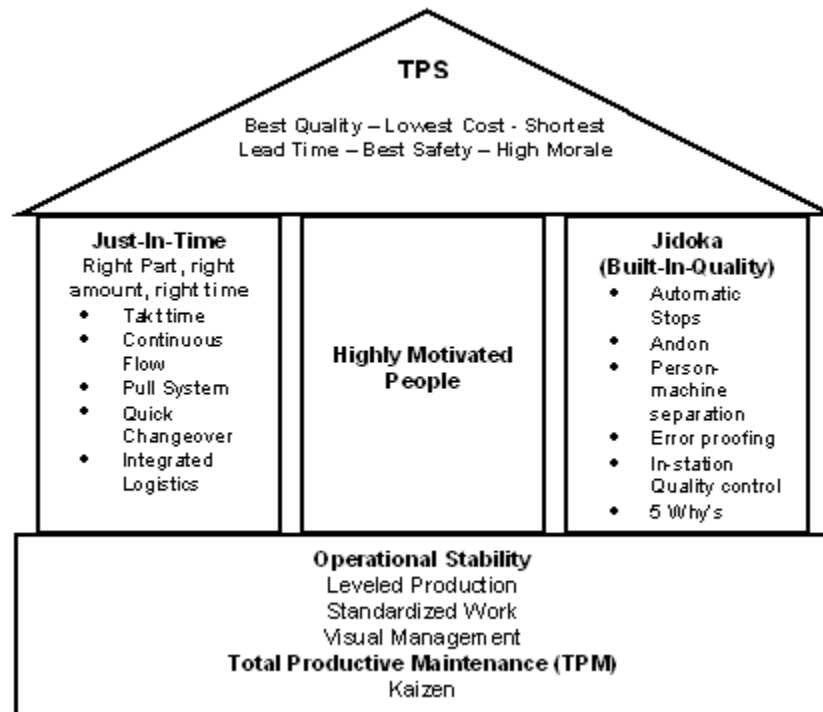
El TPM se sostiene bajo los pilares mostrados en la figura 2.3, los cuales son fundamentales de esta metodología de gestión industrial. Estos pilares son procesos de mejora que abarcan diferentes áreas.



**Figura 9.3** Pilares del TPM (8 pilares del TPM que necesita el área de producción empresarial, 2022).

### 2.3.3. TPS (Toyota Production System).

El TPS (Figura 2.4) es uno de los símbolos más reconocibles en la manufactura moderna. Este diagrama es una representación simple del Sistema de Producción Toyota (TPS), desarrollado por Toyota para enseñar a sus proveedores los principios del TPS. La base de la casa representa la estabilidad operativa y consta de varios componentes, uno de los cuales es el Mantenimiento Productivo Total.



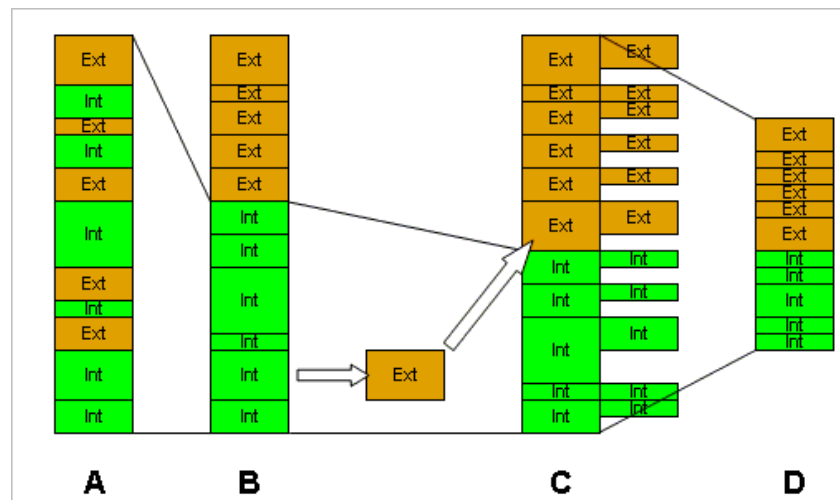
**Figura 10.4** Pilares del TPS (McBride, 2022).

#### 2.3.4. SMED (Quick Changeover).

El SMED se basa en la reducción de tiempos muertos para aumentar la disponibilidad del equipo, a continuación, se muestran los pasos para realizar un SMED:

1. Observar la metodología actual. (A)
2. Separar las actividades internas de las externas. Las internas son aquellas que solo pueden realizarse cuando el proceso está detenido, mientras que las externas pueden realizarse mientras se produce el último lote o una vez que se inicia el siguiente. (B)
3. Convertir (si es posible) las actividades internas en externas. (C)
4. Simplificar las actividades internas restantes. Céntrándose en las reparaciones: Shigeo Shingo observó que solo la última vuelta de un tornillo lo aprieta; el resto es solo movimiento. (D)
5. Simplificar las actividades externas para que tengan una escala similar a las internas (E).
6. Documentar el nuevo procedimiento y las acciones pendientes.

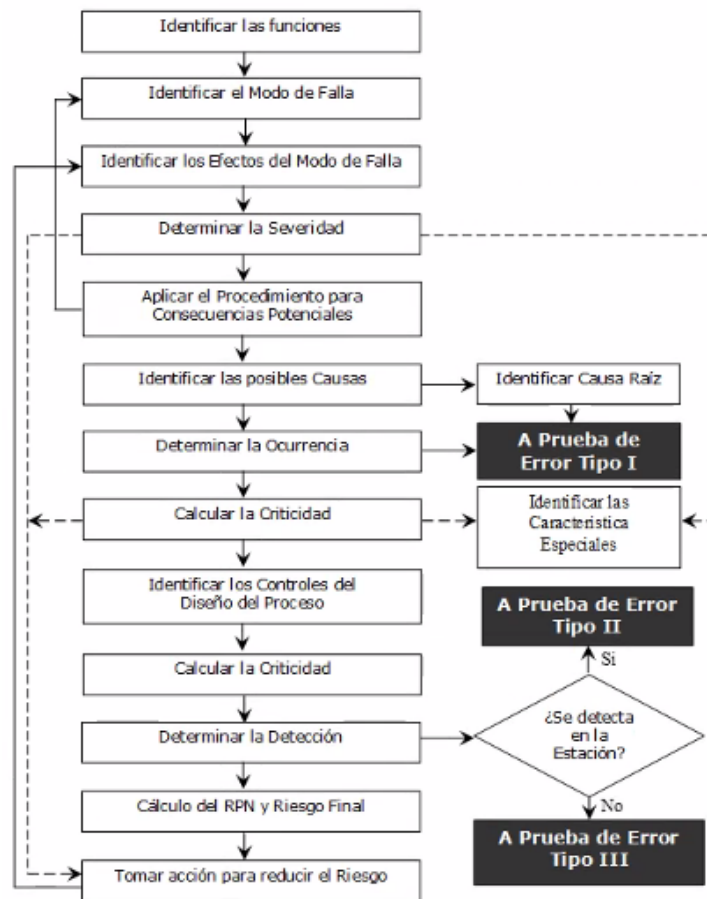
7. Reiniciar, al terminar hacer todo de nuevo: por cada iteración del proceso anterior, se debe esperar una mejora del 45 % en los tiempos de configuración, por lo que pueden ser necesarias varias iteraciones para reducir los tiempos en el proceso.



**Figura 11.5** Pasos para hacer un SMED. (Single minute Exchange of die, 2024)

### 2.3.5. Poka Yoke (Error proofing).

El Poka Yoke se basa en la disminución de los defectos para incrementar la calidad, el desarrollo de los Poka Yoke es importante ya que nos ayuda a hacer que una falla no aparezca o esta sea más complicada de aparecer, en la figura 2.6 se muestra el modelo de funcionamiento de un Poka Yoke, así como sus tipos de detección de acuerdo a criticidad.



**Figura 12.6** Modelo del Poka Yoke.

El principio del Poka Yoke es simple y se concentra en que el error sea difícil o nulo de aparecer, de acuerdo a la figura 2.7 podemos ver los 5 principios de este.

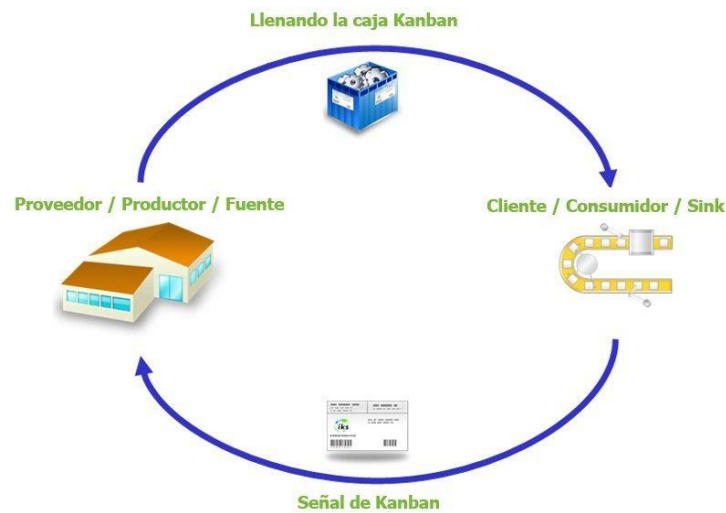


**Figura 13.7** Principios del Poka Yoke. (Trokanowska et al., 2023)

### 2.3.6. Kanban.

El Kanban (Figura 2.8) se basa en la reducción de los tiempos muertos por la falta de material, es un método visual para controlar la producción. Como parte de un

sistema Pull (Figura 9), controla qué se produce, en qué cantidad y cuándo. Su propósito es garantizar que solo se produzca lo que el cliente solicita y nada más. Es un sistema de señales que se utiliza a lo largo del flujo de valor para extraer el producto desde la demanda del cliente hasta la materia prima. (Kanban systems, 2016)



**Figura 14.8** Secuencia del Kanban. (Manufactus, 2023).

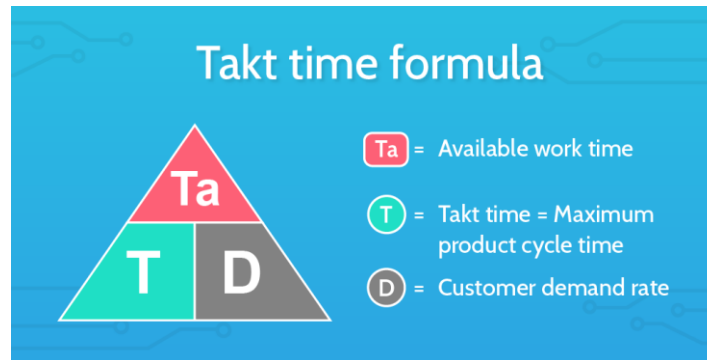


**Figura 15.9** Sistema Push vs Sistema Pull. (Vilda, 2020).

### 2.3.7. Takt time.

El Takt Time (TT) es el tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente, cuando el inicio es establecido para coincidir con la tasa de demanda del cliente, por ejemplo, si el cliente requiere 30 piezas mensuales, el TT diario es de 1 pieza diaria basándose en un tiempo

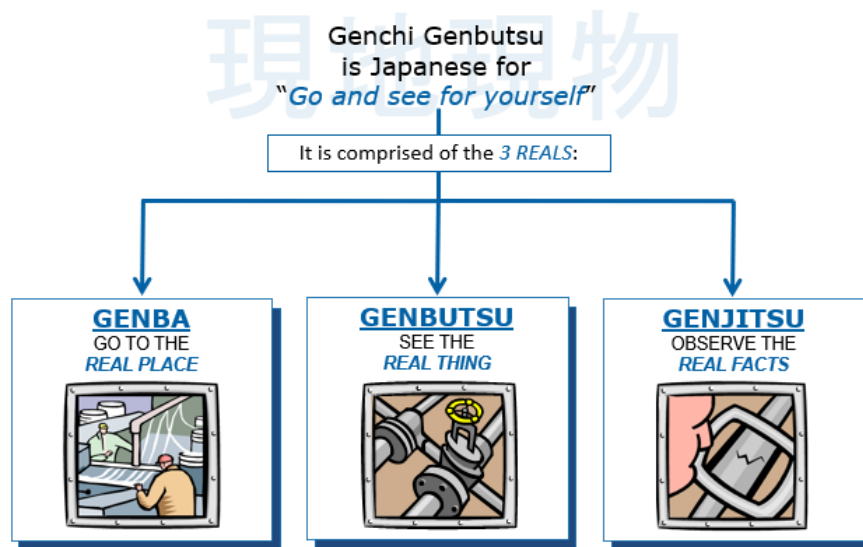
disponible de 30 días en un mes. Esta fórmula está de acuerdo a la mostrada en la figura 2.10.



**Figura 16.10** Formula del Takt Time. (Borja, 2019).

### 2.3.8. Genchi Genbutsu.

El Genchi genbutsu es un principio japonés que consiste en ir a observar un lugar para resolver problemas. Es un pilar del Sistema de Producción Toyota y de la filosofía kaizen. El término japonés Genchi significa lugar real, mientras que Genbutsu significa cosa real, y se estableció para capacitar a las personas para resolver el problema viendo la cuestión por sí mismas.

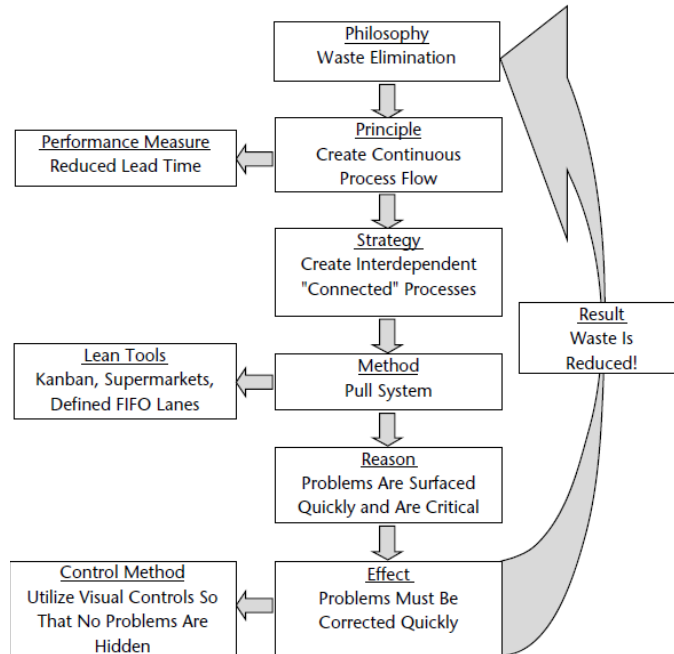


**Figura 17.11** Genchi Genbutsu. (Vaal, 2020).

### 2.3.9. Eliminación de desperdicios.

El éxito del Sistema de Producción Toyota (TPS) se basa en la eliminación de residuos, lo que se considera un sistema Lean. El TPS es una filosofía de

fabricación que busca la eficiencia y la optimización de la cadena productiva, su modelo se muestra en la figura 2.12.



**Figura 18.12** Modelo de eliminación de desperdicios. (Jeffrey, 2004)

#### **2.4. Factores o causas que influyen en el comportamiento del OEE.**

Uno de las mayores metas de los programas de OEE y es reducir y/o eliminar las grandes pérdidas. Estas son las causas más comunes de pérdida de eficiencia en manufactura. A continuación, se muestran algunas de las grandes pérdidas relacionadas con el OEE:

##### **2.4.1. Tiempo muerto (Disponibilidad).**

La eficiencia en la línea de producción no solo es vital para el funcionamiento operativo, sino que también tiene un impacto directo en la rentabilidad económica de una empresa. En este contexto, entender y reducir los tiempos muertos en producción se convierte en un aspecto clave para optimizar los recursos y garantizar la competitividad. (Pzarate, s.f.)

##### **2.4.2 Condiciones del equipo antes de iniciar operación.**

De acuerdo al manual de operación de la máquina, los pasos para revisar antes de iniciar la prensa hidráulica Wabash son los siguientes (Wabash, 2003):

1. Verificar que todos los equipos auxiliares (como la unidad de aceite caliente, el generador de vapor o enfriador) están listos para funcionar.

2. Verificar las conexiones eléctricas y mecánicas. Verifique que el suministro eléctrico sea el voltaje, fase y frecuencia correctos.
3. Verificar que todos los protectores de seguridad opcionales estén instalados y que las puertas estén cerradas.
4. Comprobar que no haya objetos en la zona del molde.
5. Verificar que el nivel de aceite del depósito sea correcto.

**2.4.1.1. Como se opera el equipo.**

A continuación, se muestra el funcionamiento de una prensa hidráulica Wabash (Wabash, 2003):

1. Nunca coloque las manos, dedos, brazos o cualquier parte de su cuerpo en el área de luz natural de la máquina mientras está en movimiento, o cerca de sistemas automáticos de carga y descarga.
2. Preste atención a las etiquetas de advertencia de la máquina. Están ahí para su beneficio.
3. No alcance las protecciones alrededor, debajo o por encima mientras la máquina esté en funcionamiento.
4. Nunca pase por alto, retire ni altere ninguna protección o dispositivo de seguridad de la máquina.
5. Nunca apile piezas u otros objetos sobre el soporte o los platos. Utilice contenedores de piezas y contenedores de chatarra de tamaño suficiente para acomodar el trabajo.
6. Utilice cuidado y criterio en el trabajo que realiza. Tómese el tiempo para evaluar la operación: ¿es segura? ¿Estás trabajando en un procedimiento seguro?
7. Mantente alerta en todo momento. No se confíe demasiado ni sea descuidado. Evite la falta de atención, las preocupaciones y las distracciones.
8. Si deja la máquina por un período de tiempo, siempre verifique que los parámetros de configuración estén como los dejó antes de reiniciar la máquina. Es posible que hayan sido modificados durante su ausencia.
9. Sepa a quién o dónde llamar para obtener ayuda inmediata en caso de cualquier emergencia o lesión.
10. Trate todas las lesiones, por pequeñas que sean.

#### **2.4.1.2. Fallas en la maquina: averías y fallas mecánicas.**

Abordar las fallas de las máquinas es fundamental para mejorar el OEE. Para la mayoría de las empresas, el tiempo de parada no planificada es la principal fuente de tiempo de producción perdido. (Metalmecánica, 2023)

#### **2.4.1.3. Cambio de modelo.**

Los cambios de producto (Set Up) y los ajustes son generalmente medidos como el tiempo entre la última unidad buena producida antes del cambio de producto hasta la primera pieza buena consistentemente producida que cumple con los requisitos y estándares de calidad determinados. Llevar a cabo la medición del tiempo de preparación para cambio de modelo es crítico para reducir esta pérdida. Junto a la medición debe de activarse un programa para reducir este tiempo (el más popular es el programa SMED: Single Minute Exchange of Dies). (Las Seis Grandes Pérdidas del OEE, 2023).



**Figura 19.13** Cambio de modelo EZAir en el área de prensas.

#### **2.4.1.4. Mantenimiento Insuficiente e inadecuado.**

Consejos para el mantenimiento de las prensas hidráulicas según Serbusa (Prensas hidráulicas: consejos para un correcto mantenimiento, 2023):

Mantener el líquido hidráulico limpio y en buen estado. El líquido hidráulico es esencial para el funcionamiento de la prensa hidráulica, por lo tanto, es importante asegurarse de que el nivel de líquido esté siempre en el punto adecuado, si el nivel de fluido es demasiado bajo, puede causar daños graves a la bomba y a otros componentes de la prensa.

Comprobar que la presión sea adecuada. Las prensas hidráulicas trabajan bajo una gran presión, esta debe ser correcta, ya que una presión superior o inferior puede significar un fallo en alguna de las partes de la máquina, si la presión no es la necesaria, puede que haya un problema con las válvulas o algún tipo de fuga.

Revisar la correcta lubricación de la máquina. La lubricación es fundamental en el funcionamiento de cualquier mecanismo, todas las piezas movibles deben estar bien aceitadas para evitar roces y fricciones innecesarias.

Inspeccionar los componentes de la prensa. Es importante realizar una inspección visual regularmente para detectar cualquier signo de desgaste o daño en los componentes de la máquina, un vistazo a nuestra prensa hidráulica puede ayudarnos a detectar piezas desgastadas, fugas y otros problemas, lo que permitirá ponerles solución rápidamente.

Confiar en el trabajo de profesionales. Los consejos anteriores son ideales para asegurarse de que la prensa funciona correctamente, pero también es importante contar con profesionales que realicen mantenimientos periódicos, los profesionales del mantenimiento industrial garantizan una inspección más profunda, corrigiendo y evitando posibles fallos que no se vean a simple vista.

El mantenimiento de prensa hidráulica Wabash según manual de operación debe contemplar lo siguiente:

- A. Mantenimiento del sistema hidráulico
- B. Síntomas de aceite hidráulico contaminado
- C. Paralelismo de los platos
- D. Tamaño del molde versus tabla de tonelaje
- E. Repuestos recomendados
- F. Mantenimiento preventivo recomendado

El mantenimiento preventivo diario recomendado de acorde al manual de operación es el siguiente:

- A. Limpiar las superficies de la platina de cualquier material extraño. Limpiar con un paño limpio y seco.
- B. Verificar que los pernos de montaje de la placa estén apretados (180 in/lbs).
- C. Verificar si hay fugas de líquido hidráulico o agua de refrigeración.
- D. Verificar la lubricación de la varilla de tensión. (No lubrique demasiado).
- E. Revisar los filtros de la línea de aire para detectar acumulación de agua y drene si hay agua presente durante el calentamiento de la platina, a aproximadamente 100-125°F.
- F. Utilizar un pirómetro de mano para comprobar si hay puntos calientes o fríos. Los puntos calientes o fríos podrían indicar un elemento calefactor defectuoso o una fuga de agua a través de las válvulas hacia la placa. (Si se detecta un punto caliente o frío, haga que el personal de mantenimiento lo revise para detectar un posible problema).

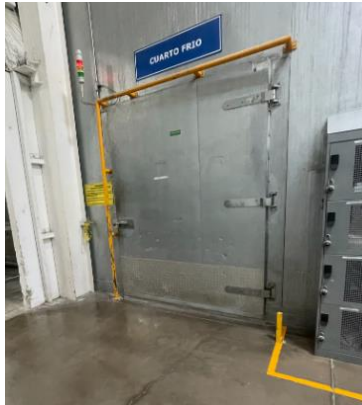
Inspecciones bianuales de los Platos:

- A. Verificar que los pernos de montaje de la placa estén apretados (180 in/lbs).
- B. Ejecutar una prueba de soldadura para verificar la planitud y el paralelismo. Limpiar todo material extraño de los platos antes de realizar la prueba de soldadura.
- C. Realizar los ajustes adecuados si los platos no cumplen con las especificaciones requeridas.
- D. Verificar si hay fugas en el sistema de enfriamiento de la platina. (Reemplace las mangueras de enfriamiento con reemplazo directo). (Wabash, 2003)

#### **2.4.1.5. Método para cargar materia prima.**

Según EZAir interior el método para cargar la materia prima es el siguiente:

Guardado de materias primas en cuarto frío (Figura 2.14) de acuerdo a especificaciones de producto.



**Figura 20.14** Cuarto Frio de EZAir.

Corte de materias primas en maquina Gerber o con navaja de acuerdo a la complejidad de la pieza como se muestra en la figura 2.15.



**Figura 21.15** Corte de materiales en EZAir.

Secado de material Core en horno (Figura 2.16) para remoción de humedad.



**Figura 22.16** Horno de secado de Core en EZAir.

Colocación de capas de material (Figura 2.17) de acuerdo a especificación dada por el producto.



**Figura 23.17** Colocación de capas de materiales en EZAir.

Colocación de pieza recién salida de prensa en fixtura de enfriamiento (Figura 2.18) para evitar torsión por el cambio de temperatura.



**Figura 24.18** Colocación de pieza en fixtura de enfriamiento en EZAir.

El acomodo del material una vez terminado no debe ser una encima de la otra como muestra Figura 2.19.



**Figura 25.19** Colocación de material terminado en EZAir.

#### **2.4.1.6. Condiciones ambientales.**

Las condiciones ambientales impactan directamente en la operación, lo mencionado a continuación se debe utilizar al determinar el medio de enfriamiento requerido para el proceso donde se utiliza la prensa. (Wabash, 2003)

Aire sólo cuando la temperatura de la platina sea superior a 650 ° F (343 ° C).

Mezcla de Aire/Agua cuando la temperatura de la platina esté entre 650° y 350° F. (343° y 177° C.)

Agua sólo cuando la temperatura de la platina sea inferior a 350° F. (177° C.)

#### **2.4.1.7. Programación de las piezas.**

La programación de las piezas de Temperatura/Tiempo está de acuerdo a las especificaciones dadas para el producto según proveedor.

#### **2.4.2. Velocidad del equipo (Eficiencia).**

Estos ocurren cuando el equipo funciona más lento que el tiempo de ciclo ideal (el tiempo teórico más rápido posible para fabricar una pieza. Los ejemplos incluyen equipo sucio o desgastado, mala lubricación, materiales deficientes, malas condiciones ambientales, inexperiencia del operador y puesta en marcha y parada. (Metalmecánica, 2023)

##### **2.4.2.1. Programación de las piezas.**

La programación de las piezas de Temperatura/Tiempo está de acuerdo a las especificaciones dadas para el producto según proveedor.

#### **2.4.2.2. Manual de operación y programación de máquina.**

A continuación, se muestra el manual de operación de una prensa hidráulica Wabash de acuerdo al manual de operación.

1. Presione el botón "CONTROL POWER ON" y se iluminará.
2. Presione el botón "MOTORS ENABLE" para energizar el sistema hidráulico y el transportador.
3. Seleccione la posición "MANUAL" del interruptor selector "MAN/AUTO".
4. Seleccione los niveles a cargar. En el menú principal de Panel View, presione F1 para ir a la pantalla de configuración de la máquina, luego presione F1 para ir a la pantalla de selección de nivel del cargador, seleccione las aberturas a cargar, tocando la celda táctil en la pantalla, asegúrese de haber seleccionado "ON" los niveles deseados y seleccionado "OFF" los niveles no deseados y presione el botón "Aceptar" para guardar los cambios.
5. Coloque la bandeja en la mesa de carga hasta que la fotocélula se bloquee y el transportador comience.  
Llevando la bandeja a la posición de carga sobre la mesa de carga. Si hay más de un nivel de cargador debe estar en "ON" y si no está cargado, es necesario colocar otra bandeja en la mesa de carga, empuje la segunda bandeja sobre la mesa de carga hasta que la fotocélula quede bloqueada.
6. Baje el cargador a la posición completamente bajada usando la posición "Abajo" del cargador.  
Mueva el interruptor selector arriba/abajo y luego levante el cargador hasta que esté listo para aceptar la bandeja.
7. Eleve la mesa de carga a la posición completamente elevada usando la posición "arriba" de la plataforma de carga.
8. Mueva la bandeja al cargador seleccionando la posición "EXT" de la mesa de carga.
9. Retraiga el empujador de bandeja seleccionando la posición "RET" de la mesa de carga "Ext/Ret".
10. Mueva la segunda bandeja al cargador seleccionando la posición "EXTEND" del "LOAD TABLE" Conmutador selector "EXTEND/RETRACT".

11. Repita los pasos del 6 al 10 según sea necesario hasta que todos los niveles activos del cargador estén cargados.
12. Eleve el cargador a la posición de carga seleccionando la posición "UP" del cargador.
13. Mueva las bandejas a "Hot Clamp" seleccionando la posición "EXT" del cargador.
14. Retire el empujador de "Hot Clamp" seleccionando la posición "RET" del cargador.
15. Cierre la abrazadera caliente presionando y manteniendo simultáneamente el botón doble "HOT".
16. Cuando se acciona el interruptor de proximidad "DESAceleración", la "ABRAZADERA CALIENTE", la luz "SELLADO" se ilumina, lo que indica que el operador puede liberar el "CALIENTE".  
Pulsadores "CLAMP CLOSE". Si la función "BAJA PRESIÓN" está activada, La luz de "BAJA PRESIÓN" se ilumina y la abrazadera continuará acumulándose.
17. Cuando desee alta presión, presione el botón "ALTA PRESIÓN" en la pantalla de configuración de abrazadera. La bomba entonces aumentará la presión hasta el ajuste de la válvula de alivio ajustable de "ALTA PRESIÓN".
18. Abra la abrazadera presionando y manteniendo presionada la tecla "HOT CLAMP OPEN", presionar el botón. La luz "HOT CLAMPED SEALED" se desactivará y la abrazadera se abrirá hasta que se suelte el botón o se active el botón "CYCLE RESET".
19. Mueva la bandeja a "Cool Clamp" seleccionando la posición "EXT" del cargador.
20. Retire el empujador de "Cool Clamp" seleccionando la posición "RET" del cargador.
21. Cierre la abrazadera "Cool" presionando y manteniendo simultáneamente el botón dual "COOL".  
Presione pulsadores "CLAMP CLOSE". La abrazadera se cerrará a gran velocidad hasta que se acciona el interruptor de proximidad "DESAceleración".

22. Cuando se acciona el interruptor de proximidad "DESAceleración", la luz "SEALED" se ilumina, lo que indica que el operador puede soltar el pulsador "CLAMP CLOSE".

23. Abra la abrazadera presionando y manteniendo presionada la tecla "COOL CLAMP OPEN".

presionar el botón. La luz "COOL CLAMPED SEALED" se desactivará y la abrazadera se abrirá hasta que se suelte el botón o se active el botón "CYCLE RESET".

24. Eleve el cargador al nivel que se va a descargar seleccionando la posición "ARRIBA", el interruptor selector hacia arriba/abajo del cargador apagado en la estación del botón pulsador de apagado.

25. Saque la bandeja de "Cool Clamp" seleccionando la posición "EXTENDER" de Apagado.

Cargador Tire del interruptor selector en "EXTENDER/RETIRAR" y luego seleccione la posición "RETRÁCTICA" del cargador fuera del cargador.

26. Mueva el cargador hacia abajo hasta el transportador seleccionando la posición "ABAJO" del interruptor selector "ARRIBA/ABAJO" del cargador apagado.

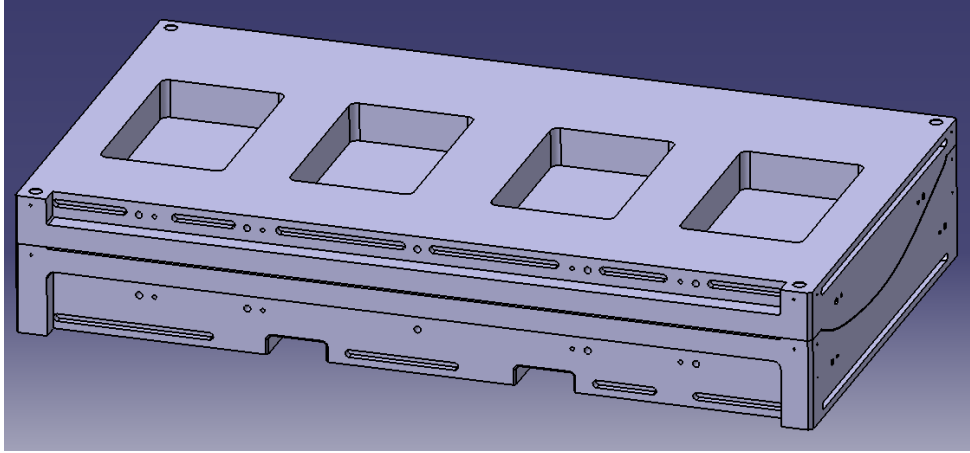
27. Empuje la bandeja hacia el transportador de carga libre seleccionando la posición "EXT" del transportador de carga libre.

Empuje el interruptor selector "EXTENDER/RETIRAR" del cargador.

28. Repita los pasos del 23 al 27 hasta que se haya descargado la "Cool Press".

#### **2.4.2.3. Diseño y fabricación de moldes adecuados para la máquina.**

Para la empresa EZAir los moldes son diseñados conforme a el diseño de la pieza a producirse y a especificaciones claves como material, y algunos componentes definidos por el departamento encargado de la fabricación y diseño de los herramentales.



**Figura 26.20** Diseño de molde de EZAir para prensa.

#### **2.4.2.4. Mala transferencia del equipo.**

El equipo originalmente tiene procedencia de otra planta lo que una mala transferencia del equipo puede impactar en la eficiencia del equipo.



Prensa "WABASH"

**Figura 27.21** Prensa Wabash utilizada en EZAir.

#### **2.4.2.5. Mala aceptación del equipo.**

El tener una prensa que no se adapte a las necesidades del producto puede contribuir en una baja eficiencia del proceso, elegir un equipo inadecuado que no realice las operaciones necesarias para el producto impacta directamente en la eficiencia del proceso.



**Figura 28.22** Menú principal de prensa Wabash.



**Figura 29.23** Prensa Beckwood faltante de operaciones necesarias para el producto.

### 2.4.3. Mala calidad.

Los defectos en el proceso provocan defectos en los productos, mientras que los retrabajos tienen en cuenta las piezas que todavía pueden ser aprovechadas y reprocesadas. Los productos defectuosos son pérdida del OEE y disminución de calidad.

#### 2.4.3.1. Maquina descalibrada.

La calibración regular de equipos industriales no es solo una necesidad técnica, sino un aspecto fundamental de la excelencia operativa. Garantiza la calidad del producto, mejora la seguridad, reduce los costes operativos, garantiza el

cumplimiento normativo y mantiene la confianza del cliente. Descuidar esta tarea crítica de mantenimiento puede tener consecuencias de gran alcance, que afectan a todos los aspectos de las operaciones industriales. Por lo tanto, implementar y adherirse a un programa de calibración riguroso es esencial para mantener la eficiencia, la confiabilidad y la competitividad en el sector industrial. (Support, 2024)

#### **2.4.3.2. Maquina desalineada.**

En la industria, el desalineamiento y el desbalance de las maquinas son causas frecuentes de falla en los sistemas y los activos físicos que componen estos; sin embargo, estas causas de fallo generan también un impacto negativo en el consumo de energía, generan pérdidas que pueden llegar a ser habituales ya que generalmente no suelen tomarse acciones correctivas de estas (mantenimiento de precisión), salvo que el efecto comprometa notoriamente el desempeño del sistema o del activo físico. La eficiencia energética, en el contexto industrial actual, hace que toda pérdida energética se torne importante y es necesario conocer cuan grandes o pequeñas podrían llegar a ser estas pérdidas. (Predictiva, n.d.)

#### **2.4.3.3. Falta de mantenimiento.**

El mantenimiento es una de las formas más efectivas de evitar inconvenientes inspirados, realizando mantenimientos preventivos podemos evitar averías o detectarlas antes de que estas tengan un daño irreparable, el plazo de este tipo de mantenimiento puede variar dependiendo la empresa o de la planeación del personal de seguridad industrial, el no realizar este protocolo puede traer severas consecuencias. (awp-xadomx, 2022)

#### **2.4.3.4. Defectos del proceso.**

Una de las contramedidas más efectivas para los problemas de calidad es reducir la variación (uno de los objetivos centrales de Six Sigma). La variación es una de las razones por las que a menudo hay una mayor tasa de defectos durante el inicio: hay más variación en el proceso. Una forma muy eficaz de reducir la variación es prestar mucha atención a la configuración y los materiales del equipo. Estas mismas contramedidas también suelen ser efectivas para la pérdida de rendimiento, por ejemplo, resultando en menos atascos. (Metalmecánica, 2023)

#### 2.4.3.5. Moldes malas condiciones.

Las malas condiciones de un molde como las vistas en la figura 2.24, provocan directamente defectos en la pieza, es común que marcas de suciedad en el molde creen marcas en las piezas, por lo que es importante cuidar la limpieza de este y sus debidos mantenimientos y ciclos de piezas antes de que la suciedad aparezca, también una mala condición como piezas dañadas impacta directamente en la pieza de manera negativa.



Figura 30.24 Molde en mala condicion EZAir.

#### 2.4.3.6. Materia prima defectuosa.

Se pueden formar defectos compuestos durante el proceso de fabricación e incluyen, entre otros (Composite defects, s.f.):

Defectos de unión.

Delaminación.

Defectos de fibra.

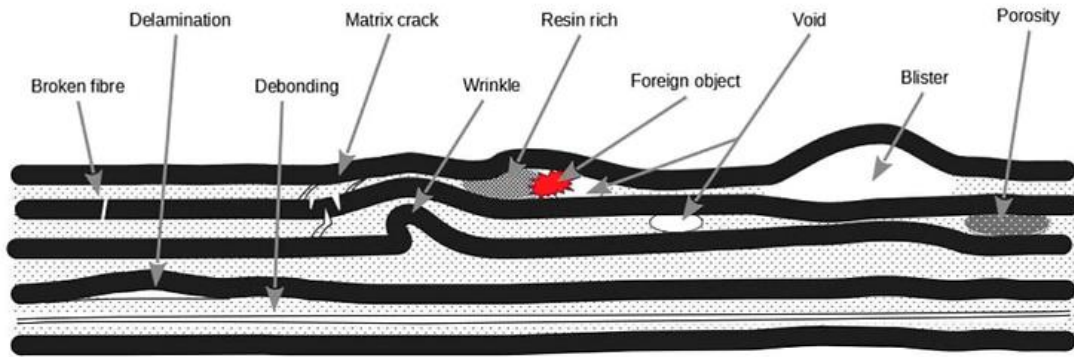
Desalineación de fibras.

Cuerpos extraños.

Agrietamiento de capas.

Porosidad o huecos en el material.

Los daños de fabricación incluyen anomalías, como porosidad, micro fisuras y delaminaciones resultantes de discrepancias en el procesamiento. También incluye elementos como cortes de bordes involuntarios, hendiduras en la superficie, rayones, orificios de sujetadores dañados y daños por impacto. Los defectos de fabricación incluyen:



**Figura 31.25** Materia prima defectuosa (How to Identify the Defects and Damage in Composites Materials and Structures? s.f.)

Delaminación:

Áreas carentes de resina.

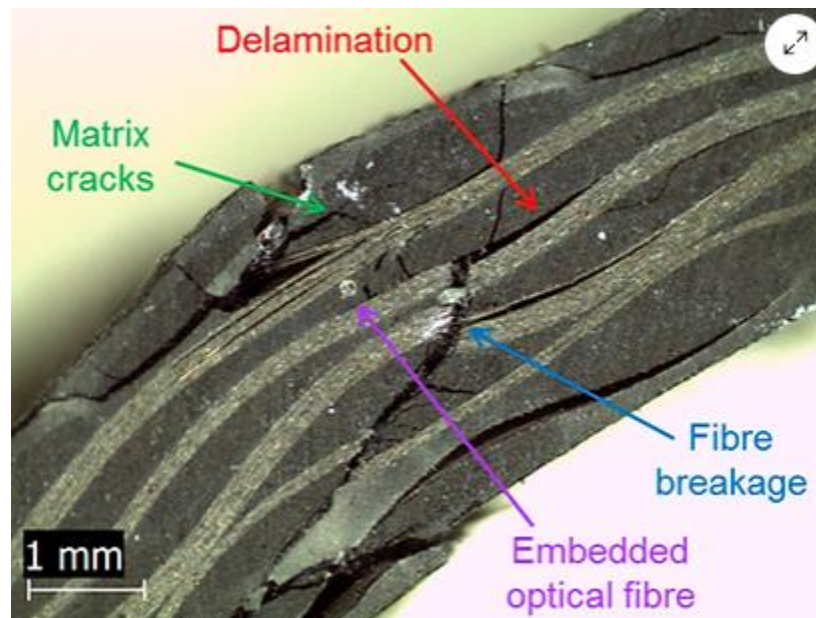
Zonas con exceso en resina.

Ampollas, burbujas de aire.

Arrugas.

Vacíos.

Descomposición térmica.



**Figura 32.26** Materia prima composite defectuosa. (How to Identify the Defects and Damage in Composites Materials and Structures? s.f.)

#### **2.4.3.7. Medio ambiente inadecuado de las prensas.**

Existen numerosos factores que producen cambios en las propiedades del material compuesto, por ejemplo, la combinación de humedad y temperatura crea un estado denominado hot-wet (H/W), que causa una absorción de agua por parte de la matriz gracias a la exposición al aire húmedo que combinado con las altas temperaturas reducen las propiedades mecánicas del laminado. Para estructuras aeronáuticas las condiciones ambientales que se estudian son:

Presión atmosférica.

Humedad.

Temperatura.

Radiación ultravioleta.

Condiciones de viento.

Shock térmico.

*(Efectos Ambientales en los Composites. Temperatura y Humedad, 2009)*

#### **2.4.3.8. Medio ambiente inadecuado de la materia prima.**

El medio ambiente es un gran contribuyente en la calidad de la materia prima, el que este no sea el adecuado para la materia prima impacta directamente en su calidad. Las condiciones ambientales que pueden llegar a sufrir los materiales compuestos son un importante aspecto necesario para su estudio y uso en estructuras aeronáuticas. Las propiedades mecánicas de un composite, en este caso de fibra de carbono, se degradan bajo las condiciones ambientales naturales de uso, particularmente bajo condiciones de alta temperatura y humedad. Es importante entender estos efectos para un correcto análisis y diseño de estos composites para su uso en las estructuras aeronáuticas.

*(Efectos Ambientales en los Composites. Temperatura y Humedad, 2009)*

#### **2.4.3.9. Mala operación por parte del operador.**

De acuerdo a la operación que realiza el operador al momento de fabricar una pieza, el no seguir los pasos correctos puede impactar directamente en la calidad de las piezas, por ejemplo, al colocar las piezas en un orden equivocado, o de una

manera diferente a la indicada en la operación, la pieza final puede salir con imperfectos que impactan directamente en la calidad del producto.

## 2.5. Formatos de Medición.

Es esencial utilizar formatos para la medición de la producción al momento de recabar información, estos pueden ser llenados manualmente o vía electrónicamente,

[illegible]

**Figura 33.27** Formato de medición de la producción en EZAir, desarrollo propio.

El formato de Grados Robles Carlos para una empresa maderera utilizado para registrar el OEE es el siguiente (Grados, 2020):

[illegible]

**Figura 34.28** Formato recolección de datos de Carlos Grados. (Grados, 2020).

## 2.6. Software de medición de OEE.

Kinnil es una compañía dedicada a la obtención de datos para así con su software calcular los datos necesarios para medir el OEE de la máquina. Este Software fue utilizado por EZAir para la medición del OEE, debido a su alto costo, bajo soporte y que no se adecua de manera correcta al proceso de la planta este contrato no fue renovado una vez terminado su periodo de compra.



**Figura 35.29** Tablet utilizada para obtencion de OEE.

## CAPÍTULO III. MÉTODO

La implementación del métrico OEE (Overall Equipment Effectiveness) en el área de prensado de material compuesto en EZAir permitirá medir y mejorar la eficiencia operativa en la fabricación de interiores para aviones. Este capítulo describe la metodología empleada, las herramientas de recolección de datos (registros de producción, tiempos de ciclo y defectos) y el análisis de las variables clave: disponibilidad, rendimiento y calidad.

### 3.1. Variables.

#### 3.1.1. Disponibilidad.

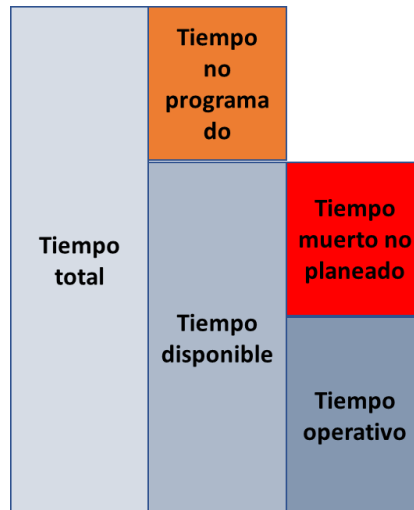
La disponibilidad tiene en cuenta las pérdidas por tiempo de inactividad no planificadas calculando el porcentaje de tiempo que el proceso está realmente operando durante el tiempo que está disponible para operar. La disponibilidad se puede calcular utilizando las siguientes fórmulas:

Disponibilidad =  $\text{Tiempo de funcionamiento} / \text{Tiempo disponible}$

Tiempo de funcionamiento:  $\text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo muerto no planeado}$

Tiempo disponible:  $\text{Tiempo total} - \text{Tiempo no programado}$

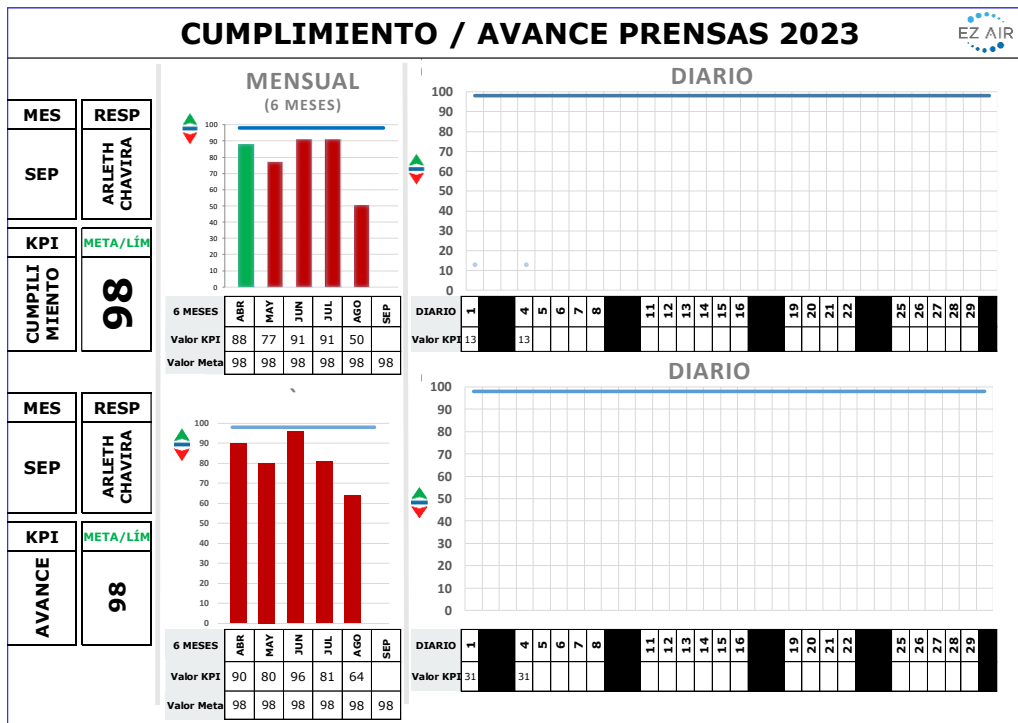
Disponibilidad =  $1 - (\text{Tiempo muerto no planeado} / \text{Tiempo total} - \text{Tiempo no programado})$



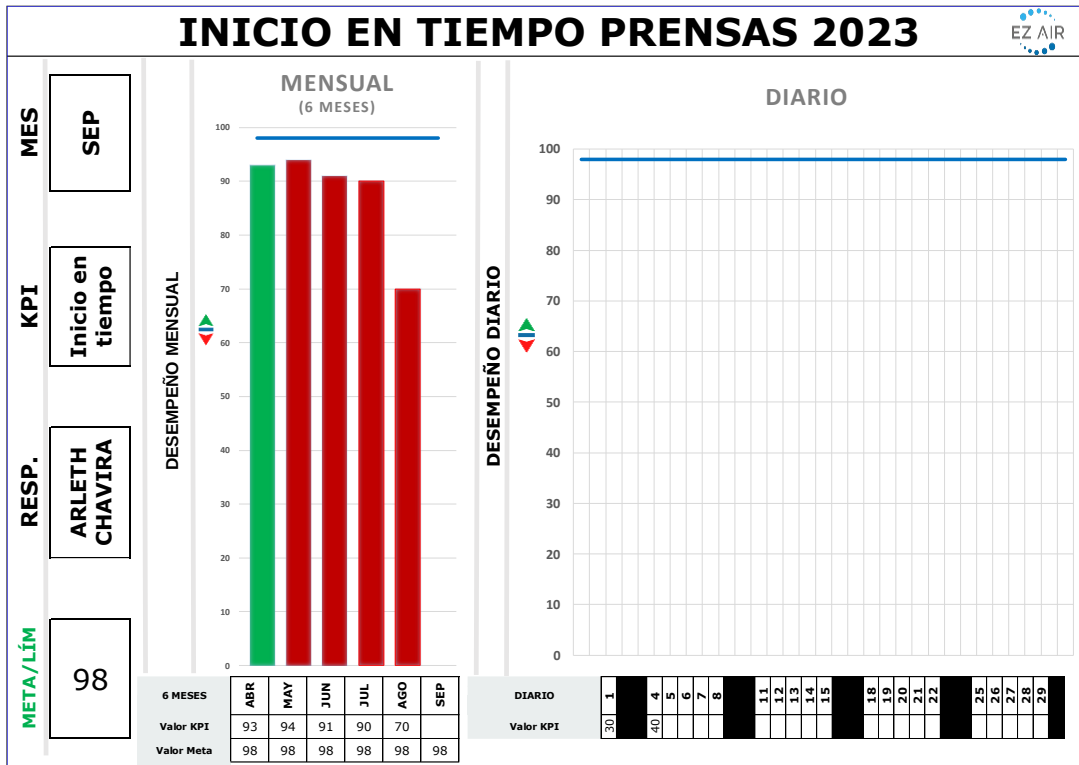
**Figura 36.1** Tiempo total.

### 3.1.2. 3.1.2. Eficiencia.

Para EZAir la eficiencia se mide con el cumplimiento en tiempo y forma del plan de producción, para los dos métricos utilizados el de Cumplimiento (Figura 3.2) se basa en cumplir con lo programado día a día en el plan de producción con una meta de fabricar todo lo programado en el día, el segundo métrico de Inicio en Tiempo (Figura 3.3) busca que en base a los tiempos, la disponibilidad de la maquina y lo producido en el día, el equipo de planeación logre planear lo necesario para cumplir con la meta de aviones programados mensualmente.



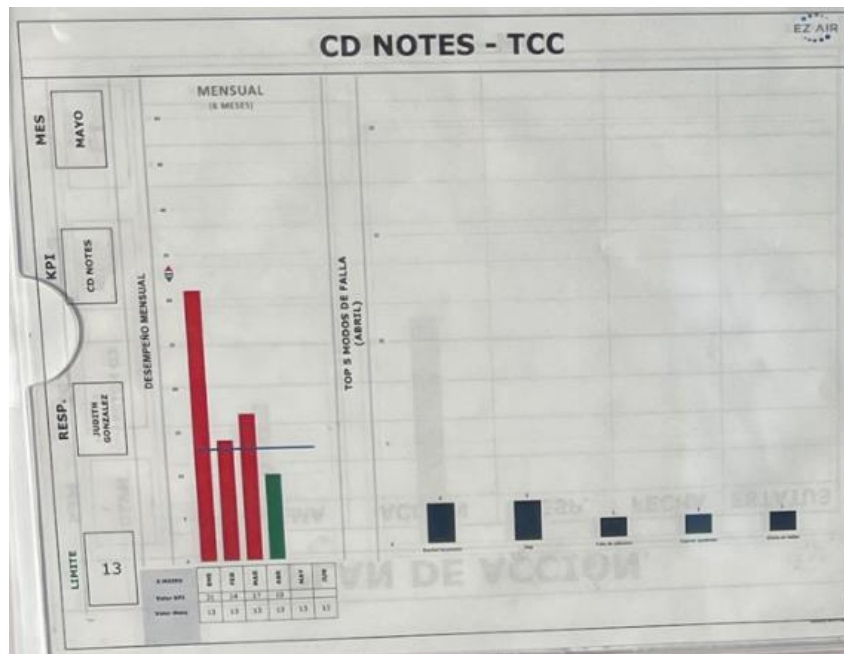
**Figura 37.2** Cumplimiento del plan de producción de EZair



**Figura 38.3** Inicio en tiempo del plan de producción de EZair.

### 3.1.3. Calidad.

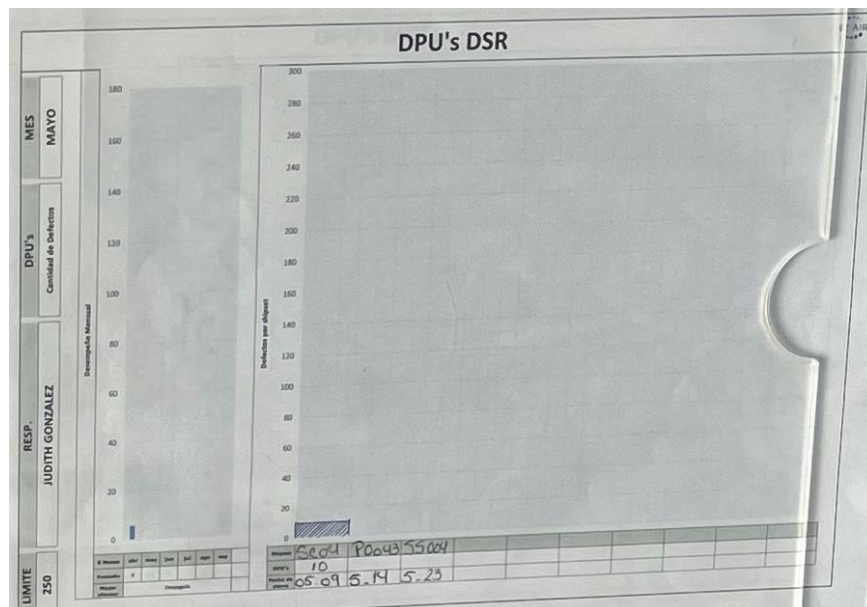
En EZAir interior, donde los estándares de calidad son críticos, el OEE (Overall Equipment Effectiveness) no solo mide la eficiencia operativa, sino que también integra la calidad como uno de sus pilares fundamentales. La medición de calidad dentro del OEE se enfoca en la proporción de piezas producidas sin defectos frente al total fabricado, identificando causas de retrabajos o scrap. Se emplean herramientas como inspección dimensional y registros de no conformidades, alineados con la normativa aeroespacial AS9100, buscando en futuro la aprobación de la normativa NADCAP. Los datos obtenidos permiten ajustar parámetros de producción, reducir desperdicios y garantizar que los componentes cumplan con los exigentes requerimientos de aviación comercial. En EZAir nos preocupamos por la calidad por lo que en el área de producción se mide la calidad en 4 métricos diferentes, en el primero llamado CD NOTES (Figura 3.4) se mide la cantidad de piezas malas que recibe cliente y hay que reponerse.



**Figura 39.4** Medición de piezas CD Notes en EZAir

El siguiente métrico llamado DPU's (Figura 3.5) mide la cantidad de defectos por unidad de pieza, de acuerdo a la siguiente formula:

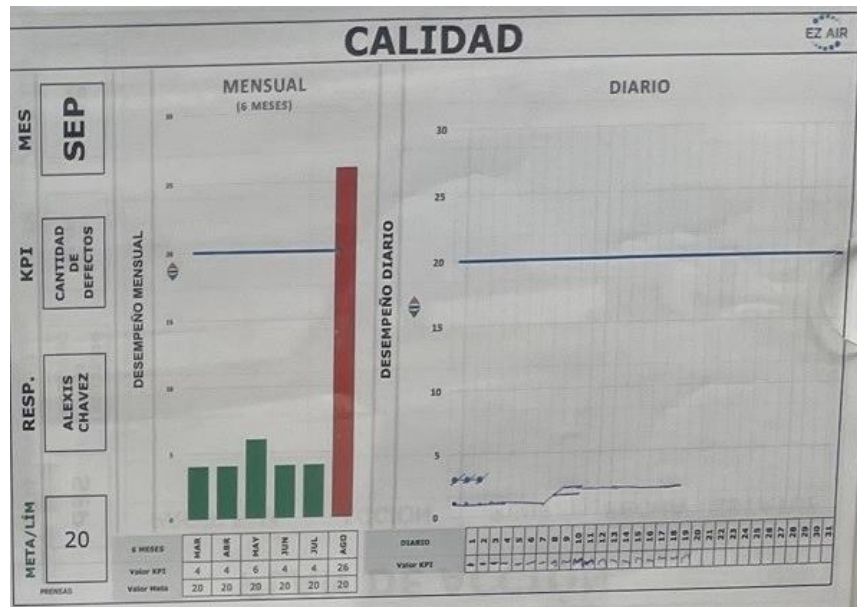
$$DPU's = \frac{(Cantidad\ de\ defectos\ en\ X1\ pieza) + \dots + (Cantidad\ de\ defectos\ en\ Xn\ pieza)}{n}$$



**Figura 40.5** Medición de DPU's en EZAir

El tercer métrico llamado Calidad (Figura 3.6) que mide la suma de todos los defectos encontrados en el área.

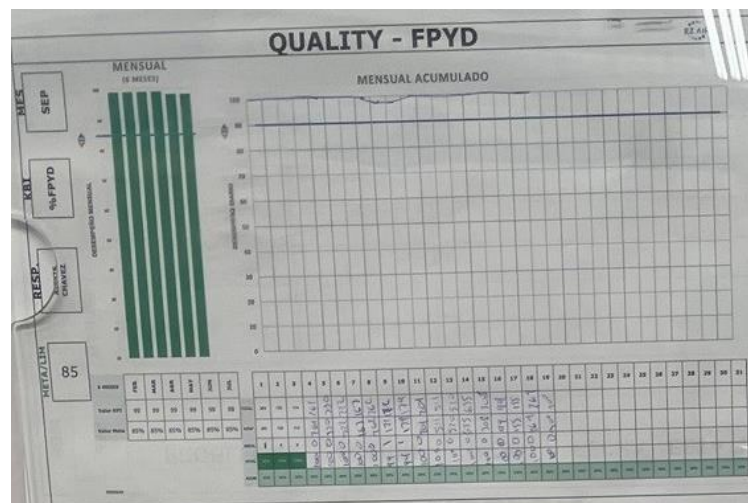
$$Calidad = \sum Defectos\ de\ pieza$$



**Figura 41.6** Medición de Calidad en EZAir

El cuarto y último métrico utilizado en áreas de producción para medir la calidad se llama Calidad FPYD (Figura 3.7) que esta dado por la siguiente formula:

$$FPYD = \frac{Piezas\ producidas\ totales - piezas\ scrap - piezas\ retrabajadas}{Piezas\ producidas\ totales} \times 100$$



**Figura 42.7** Medición de FPYD en EZAir

### 3.2. Hipótesis.

Al crear el procedimiento para la implementación del OEE se podrá medir y calcular de la manera correcta en el área, obteniendo así los beneficios de este métrico.

#### 3.2.1. Hipótesis Nula.

Existe la posibilidad de que por problemas de organización no se pueda implementar el métrico de OEE de una manera correcta.

#### 3.2.2. Hipótesis Alternativa o de Investigación.

Si se puede implementar el métrico compuesto de OEE (Overall Equipment Effectiveness) ya que existen las condiciones necesarias en el área para su implementación.

### 3.3. Sujeto de Investigación.

Las Prensas hidráulicas Wabash de EZAir.

### 3.4. Tamaño de Muestra.

Para el cálculo del tamaño de muestra se realizará de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{Z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left( \frac{Z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

N = tamaño de la población = 4 Prensas

e= margen de error (porcentaje expresado con decimales) =5%

z = puntuación z = 1.96

p= probabilidad de que ocurra el evento

1-p= probabilidad de que no ocurra el evento

| Nivel de confianza deseado | Puntuación z |
|----------------------------|--------------|
| 80 %                       | 1.28         |
| 85 %                       | 1.44         |
| 90 %                       | 1.65         |
| 95 %                       | 1.96         |
| 99 %                       | 2.58         |

**Figura 43.8** Puntuación Z para cálculo de tamaño de muestra (Calculadora del tamaño de la muestra, s.f.)

$$Tamaño\ de\ la\ muestra = \frac{\frac{1.96^2 \times .5(.5)}{.05^2}}{1 + \left(\frac{1.96^2 \times .5(.5)}{.05^2}\right)} = 4$$

Para una confiabilidad de un 95% se necesita realizar la muestra en las 4 prensas, por disponibilidad y alcance del proyecto solo podrá ser realizado en una prensa.

### **3.5. Material y Equipo Utilizado.**

Para llevar a cabo esta investigación se utilizará el siguiente material y equipo:

Para la recolección de información se utilizará la proporcionada por la empresa, así como libros e información digital encontrada en bibliotecas digitales como academia.edu, y el centro de información ITCH para consulta de libros.

El equipo utilizado será una computadora personal y teléfono celular con cámara para la toma de fotografías, aparte del equipo utilizado en la empresa para la recolección de información como memorias USB, Tablettes digitales y computadoras.

### **3.6. Tipo y Nivel de la Investigación.**

El alcance de esta tesis será de tipo descriptivo ya que solo analizaremos el problema y limitantes para la implementación del OEE en la empresa y describiremos el procedimiento propuesto y equipo necesario para la implementación del sistema OEE, esto por motivo de que una causa fuera de mi alcance impida la implementación de este métrico.

### **3.7. Procedimiento.**

El procedimiento para la implementación del métrico del OEE será de acuerdo a lo siguiente:

1. Selección del tema de investigación en EZAir.
2. Definición de variables de Disponibilidad.
3. Definición de variables de Eficiencia.
4. Definición de variables de Calidad.
5. Creación de formatos.
6. Recolección de datos.
7. Visualización de resultados.

8. Propuesta para mejora en recolección de datos.
9. Propuesta para mejora variable Disponibilidad.
10. Propuesta para mejora variable Eficiencia.
11. Propuesta para mejora variable Calidad.

### **3.8. Modelos Propuestos.**

El modelo a utilizar será desarrollado para adecuarse a las necesidades de la empresa, contemplando los requisitos contemplados, tomando como base el modelo de TPM de Suzuki T. (1996). TPM en industrias de proceso. Japan Institute of Plant Maintenance.

### **3.9. Formatos Propuestos.**

Debido a que los formatos encontrados en diferentes documentos antes mencionados, no cumplen completamente con los parámetros a medir, se decide elaborar un formato propio que se valla actualizando de acuerdo a las necesidades del proceso, que contemple las variables manejadas Disponibilidad, Eficiencia y Calidad, de una manera clara y eficiente, partiendo del siguiente formato elaborado en el área.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados de esta investigación centrada en la implementación del métrico del OEE permitiendo evaluar los principales contribuyentes de este identificando oportunidades de mejora en disponibilidad, rendimiento y calidad. Los resultados obtenidos servirán como referencia para la implementación automatizada de este métrico.

### 4.1. Procedimiento para el cálculo del OEE.

El procedimiento para el cálculo del OEE será desarrollado para adecuarse a las necesidades y recursos de la planta.

#### 4.1.1. Disponibilidad.

Para medir la disponibilidad de las maquinas se utilizará el formato implementado (Figura 4.6) con el que se recopilará la información por parte del área de producción, con el fin de recabar el tiempo muerto, esto permitirá obtener la disponibilidad de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo muerto}}{\text{Tiempo disponible}}$$

#### 4.1.2. Eficiencia.

Para obtener la eficiencia de la maquina se obtuvo mediante la capacidad de la máquina de fabricar un numero de parte (Figura 4.1) el cual mediante el tiempo programado en la maquina debería sacar 66 piezas en un día, evaluado de acuerdo a la formula “Eficiencia” mostrada a continuación.

$$\text{Capacidad comprada} = \frac{\text{Tiempo disponible (Hrs)} \times 60 \text{ min/hr}}{\text{Tiempo de ciclo } (\frac{\text{min}}{\text{pz}})}$$

$$\text{Capacidad comprada} = \frac{22 \times 60 \text{ min/hr}}{20 (\frac{\text{min}}{\text{pz}})} = 66 \text{ piezas por día}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Piezas producidas}}{\text{Capacidad comprada (Piezas)}}$$

$$Eficiencia = \frac{30 \text{ Piezas}}{66 \text{ Piezas}} = 0.45$$

RECETA

26

TIEMPO

20 MIN

CENTROS

H263202-903

TEMPERATURA PLATE 1

| ZONA 1 | ZONA 2 | ZONA 3 | ZONA 4 | ZONA 5  |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F  |
| ZONA 6 | ZONA 7 | ZONA 8 | ZONA 9 | ZONA 10 |
| 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F  |

TEMPERATURA PLATE 2

| ZONA 1 | ZONA 2 | ZONA 3 | ZONA 4 | ZONA 5  |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F  |
| ZONA 6 | ZONA 7 | ZONA 8 | ZONA 9 | ZONA 10 |
| 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F | 300 °F  |

198 Ton

OK

PRESION

|                  |
|------------------|
| 20 MIN - 215 TON |
|                  |
|                  |
|                  |
|                  |
|                  |
|                  |
|                  |

BUMP

4

T BUMPS

4 SEG

PRE-BUMP

10 SEG

BUMP 1

10 SEG

BUMP 2

15 SEG

BUMP 3

15 SEG

BUMP 4

20 SEG

BUMP 5

--

BUMP 6

--

BUMP 7

--

**Figura 44.1** Tiempo de producción de pieza (Desarrollo propio)

#### 4.1.2.1. Eficiencia de la máquina.

El tener una prensa que no se adapte a las necesidades del producto puede contribuir en una baja eficiencia del proceso.

Las características clave que debe tener la prensa para el proceso son las siguientes: presión escalonada, zonas de temperatura variadas, habilitada para bumps.



**Figura 45.2** Pantalla de prensa Wabash.



**Figura 46.3** Prensa para material composite Beckwood.

#### 4.1.3. Calidad.

Para medir la calidad de las piezas será mediante la cantidad de piezas que salen mal del área de prensas, estas son medidas por el departamento de ingeniería y capturadas en una base de datos, la cantidad de piezas malas registrada será  $\frac{1}{4}$  del total de piezas scrap debido a que son 4 prensas en el área y este compilado nos arroja el total de piezas malas sin indicar de que prensa salió la pieza defectuosa.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas buenas}}{\text{Piezas producidas}}$$

| CAPTURA DE MT'S |                    |          |              |           |                |              |     |                                        |               |                |       |    |    |             |
|-----------------|--------------------|----------|--------------|-----------|----------------|--------------|-----|----------------------------------------|---------------|----------------|-------|----|----|-------------|
| COMPILADO 2024  |                    |          |              |           |                |              |     |                                        |               |                |       |    |    |             |
| Fecha           | Item Number        | Lote     | Plan type    | NET       | Reference      | Area         | Cod | Defecto                                | Area Detecte  | Area Generador | NCM   | Mo | Wg | STES        |
| 02/09/2024      | H011161-7          | BS-3X    | 11705075     | \$ 1.16   | Ensamble - Mar | Galley 1     | 6   | Ensamble - Manejo de material - Materi | Galley 1      | Galley 1       | 50312 | 9  | 36 | Final       |
| 03/09/2024      | 15-SPH-A-0625      | RAWM     | CH24076911-1 | \$ 10.12  | Machine Shop   | Machine shop | 4   | Herramienta en mal estado              | Maquinado     | Maquinado      | 50410 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | 170-41064-001      | MACH-MEZ | 11713362     | \$ 3.51   | Ensamble - Rem | Sparas       | 6   | Daño durante operacion                 | Sparas        | Sparas         | 50342 | 9  | 36 | Final       |
| 03/09/2024      | 170-41066-001      | MACH-MEZ | 11603271     | \$ 3.53   | Ensamble - Rem | Sparas       | 6   | Daño durante operacion                 | Sparas        | Sparas         | 50342 | 9  | 36 | Final       |
| 03/09/2024      | 170-47401-901      | BS-PS    | 11613454     | \$ 175.29 | Router 5X - Se | CNC 5X       | 4   | Molde fuera de posicion                | Line Bondeo   | Router 5 Ejes  | 50304 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | 606176511-1500EXI  | RAWM     | CH24083270-1 | \$ 166.95 | Machine Shop   | Machine shop | 4   | FAI                                    | Maquinado     | Maquinado      | 50383 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | 606176511-1500EXI  | RAWM     | CH24074945-1 | \$ 19.67  | Machine Shop   | Machine shop | 4   | FAI                                    | Maquinado     | Maquinado      | 50383 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | APF1180-7781-E-60  | PREPREG  | CH24060311-1 | \$ 19.32  | Router 5X - Da | CNC 5X       | 4   | Daño en transporte                     | Router 5 Ejes | Router 5 Ejes  | 50308 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | APH 1/8-3.0 48x96x | CRSCORE  | CH24072439-1 | \$ 1.37   | Router 5X - Da | CNC 5X       | 4   | Daño en transporte                     | Router 5 Ejes | Router 5 Ejes  | 50308 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | APH 1/8-3.0 54X12  | CRSCORE  | CH24032255-1 | \$ 8.13   | Router 5X - Da | CNC 5X       | 4   | Daño en transporte                     | Router 5 Ejes | Router 5 Ejes  | 50308 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | CDEX0448           | RAWM     | CH23010586-2 | \$ 5.71   | Machine Shop   | Machine shop | 4   | Herramienta incorrecta                 | Maquinado     | Maquinado      | 50367 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | CDEX0499           | RAWM     | CH24052380-1 | \$ 3.95   | Machine Shop   | Machine shop | 4   | error al colocar la pieza en fi        | Maquinado     | Maquinado      | 50417 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | CDEX0624-1         | RAWM     | CH23060460-1 | \$ 5.03   | Machine Shop   | Machine shop | 4   | Error de codigo                        | Maquinado     | Maquinado      | 50370 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | CDEX0854           | RAWM     | CH23110780-6 | \$ 2.75   | Machine Shop   | Machine shop | 4   | error al colocar la pieza en fi        | Maquinado     | Maquinado      | 50418 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | CDEX1513J          | RAWM     | CH24076281-1 | \$ 36.53  | Machine Shop   | Machine shop | 4   | error al colocar la pieza en fi        | Maquinado     | Maquinado      | 50302 | 9  | 36 | Backshop    |
| 03/09/2024      | H164025-1          | bs-3x    | 11630006     | \$ 158.07 | Insertos y edg | Insertos     | 5   | Instalacion de Edgefill en lac         | Insertos      | Insertos       | 50423 | 9  | 36 | Intermedios |
| 03/09/2024      | H312469-506        | PURCH    | CH24052625-1 | \$ 23.80  | Ensamble - Mar | OHB E2       | 6   | Material Golpeado                      | OHB E2        | OHB E2         | 50282 | 9  | 36 | Final       |

**Figura 47.4** Compilado de piezas scrap de EZAir.

## 4.2. Formatos.

### 4.2.1. Formato para recolección de datos histórico.

El formato elaborado para la recolección de datos, mostrado en la figura 4.5, debe incluir los contribuyentes de cada factor: disponibilidad, eficiencia y calidad, para facilitar su llenado.

| Prensa 1       |                                         | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------------|-----------------------------------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Disponibilidad | TIEMPO DISPONIBLE (Hrs)                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Set up molde                            |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Defectos en piezas al producir          |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falta de material gerber                |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falta de material almacen               |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Personal excede tiempo en comedor       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Liberacion de primer pieza              |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falla en montacargas                    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Sin operador montacargas                |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falla de prensa                         |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falta de material secado de core        |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | elaboracion de 3 espaciadores           |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Retrabajos                              |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Problemas de ingenieria                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Problemas de planeacion                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Set up primer pieza                     |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falta de material corte de core         |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Otros                                   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | TOTAL TIEMPO MUERTO (Hrs)               |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | TIEMPO PRODUCTIVO (Hrs)                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | DISPONIBILIDAD                          |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Eficiencia     | CAPACIDAD COMPRADA (PIEZAS PROGRAMADAS) | 66  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | PIEZAS PRODUCIDAS                       | 30  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | EFICIENCIA                              | 0.5 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | PRODUCCION TOTAL (Piezas)               |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Calidad        | Delaminacion                            |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Thickness Mayor/Menor                   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Material torcido                        |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Refuerzos desalineados                  |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Falta de capas                          |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Mala colocacion de carga                |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Mal colocado en molde                   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Error de proceso                        |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Incorrecto material usado               |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Material dañado                         |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Arrugas en tedlar                       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Arrugas en Closeout Seal                |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Ondulacion en superficie                |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Mala colocacion de plantilla            |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | No se uso tooling de enfriamiento       |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | Otros                                   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | TOTAL PIEZAS MALAS                      |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | PIEZAS BUENAS                           |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                | CALIDAD                                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

**Figura 48.5** Formato para recolección de datos disponibilidad, calidad y eficiencia (Desarrollo propio).

Para la sección de disponibilidad los siguientes eventos son los que con mayor frecuencia se presentan relacionados con tiempo muerto, impactando directamente a la disponibilidad:

Set up molde.

Defectos en piezas al producir.

Falta de material de maquina Gerber.

Falta de material almacén.

Personal excede tiempo en comedor.

Liberación de primera pieza.

Falla en montacargas.

Sin operador montacargas.

Falla de prensa.

Falta de material secado de Core.

Elaboración de 3 espaciadores.

Retrabajos.

Problemas de ingeniería.

Problemas de planeación.

Set up primer pieza.

Falta de material corte de Core.

Otros.

Para la sección de eficiencia de la máquina, esta será fija y estará dada por el valor de 45% calculado anteriormente en la sección 4.1.2.

Para la sección de calidad se tomarán los siguientes eventos son los que con mayor frecuencia se presentan relacionados con la conformidad de las piezas:

Delaminación.

Espesor Mayor/Menor.

Material torcido.

Refuerzos desalineados.

Falta de capas.

Mala colocación de carga.

Mal colocado en molde.

Error de proceso.

Incorrecto material usado.

Material dañado.

Arrugas en forro tedlar.

Ondulación en superficie.

Mala colocación de plantilla.

No se usó tooling de enfriamiento.

Otros.

#### 4.2.2. Formato para recolección de datos.

La utilización del formato fue eficiente para la recolección de datos y el cálculo del OEE, más sin embargo requiere un alto compromiso y disciplina de parte de todo el personal, principalmente del operativo.

[illegible]

**Figura 49.6** Formato para recolección de datos por parte de operador (Desarrollo propio).

| PRENSA 1       |                                         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
|----------------|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Disponibilidad | TIEMPO DISPONIBLE (Hrs)                 | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   | 11   |
|                | Set up primer pieza                     |      |      | 4.5  | 3.1  | 3    |      |      | 5.5  | 2.5  |      | 1    | 3    | 2    |      |      | 4    |      |      |
|                | Defectos en piezas al producir          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falta de material                       |      |      |      |      | 1    | 0.5  |      |      | 0.5  |      |      |      | 0.5  | 1    | 0.6  |      |      |      |
|                | Personal excede tiempo en comedor       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Liberacion de primer pieza              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falla en montacargas                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falla de prensa                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falta de material secado de core        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | elaboracion de 3 espaciadores           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Retrabajos                              |      |      |      |      |      | 0.5  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Problemas de ingenieria                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Problemas de planeacion                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falta de personal                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Detalle en molde                        |      |      |      |      |      |      | 0.75 |      | 5.5  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Otros                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.75 |      |      |      |      |      |
|                | TOTAL TIEMPO MUERTO (Hrs)               | 0.0  | 0.0  | 4.5  | 3.1  | 4.0  | 1.0  | 0.8  | 5.5  | 8.5  | 0.0  | 1.0  | 3.0  | 3.3  | 1.0  | 0.6  | 4.0  | 0.0  | 0.0  |
|                | TIEMPO PRODUCTIVO (Hrs)                 | 11.0 | 11.0 | 6.5  | 7.9  | 7.0  | 10.0 | 10.3 | 5.5  | 2.5  | 11.0 | 10.0 | 8.0  | 7.8  | 10.0 | 10.4 | 7.0  | 11.0 | 11.0 |
|                | DISPONIBILIDAD                          | 1.0  | 1.0  | 0.6  | 0.7  | 0.6  | 0.9  | 0.9  | 0.5  | 0.2  | 1.0  | 0.9  | 0.7  | 0.7  | 0.9  | 0.9  | 0.6  | 1.0  | 1.0  |
| Eficiencia     | CAPACIDAD COMPRADA (PIEZAS PROGRAMADAS) | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   |
|                | PIEZAS PRODUCIDAS                       | 20   | 16   | 14   | 44   | 9    | 8    | 8    | 10   | 2    | 12   | 40   | 23   | 14   | 13   | 14   | 4    | 16   | 14   |
| Calidad        | EFICIENCIA                              | 0.61 | 0.48 | 0.42 | 1.33 | 0.27 | 0.24 | 0.24 | 0.3  | 0.06 | 0.36 | 1.21 | 0.7  | 0.42 | 0.39 | 0.42 | 0.12 | 0.48 | 0.42 |
|                | PRODUCCION TOTAL (Piezas)               | 20   | 16   | 14   | 44   | 9    | 8    | 8    | 10   | 2    | 12   | 40   | 23   | 14   | 13   | 14   | 4    | 16   | 14   |
| Calidad        | Delaminacion                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 2    |      |      |      |      |      | 1    |
|                | Thickness Mayor/Menor                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Material torcido                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Refuerzos desalineados                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Falta de capas                          |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Mala colocacion de carga                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Mal colocado en molde                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Error de proceso                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |
|                | Incorrecto material usado               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Material dañado                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Arrugas en tedlar                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Arrugas en Closeout Seal                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Ondulacion en superficie                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Mala colocacion de plantilla            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | No se uso tooling de enfriamiento       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | Otros                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Calidad        | TOTAL PIEZAS MALAS                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 2    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    |
|                | PIEZAS BUENAS                           | 20   | 16   | 14   | 44   | 9    | 8    | 8    | 9    | 2    | 12   | 40   | 21   | 14   | 12   | 14   | 4    | 16   | 13   |
| Calidad        | CALIDAD                                 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.9  | 1    | 1    | 1    | 0.91 | 1    | 0.92 | 1    | 1    | 1    | 0.93 |
|                | OEE Actual                              | 0.61 | 0.48 | 0.25 | 0.96 | 0.17 | 0.22 | 0.23 | 0.14 | 0.01 | 0.36 | 1.10 | 0.46 | 0.30 | 0.33 | 0.40 | 0.08 | 0.48 | 0.39 |
| Calidad        | OEE Clase Mundial                       | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |

Figura 50.7 Formato de Figura 4.5 con datos recopilados del mes de septiembre

#### 4.3. Visualización de resultados.

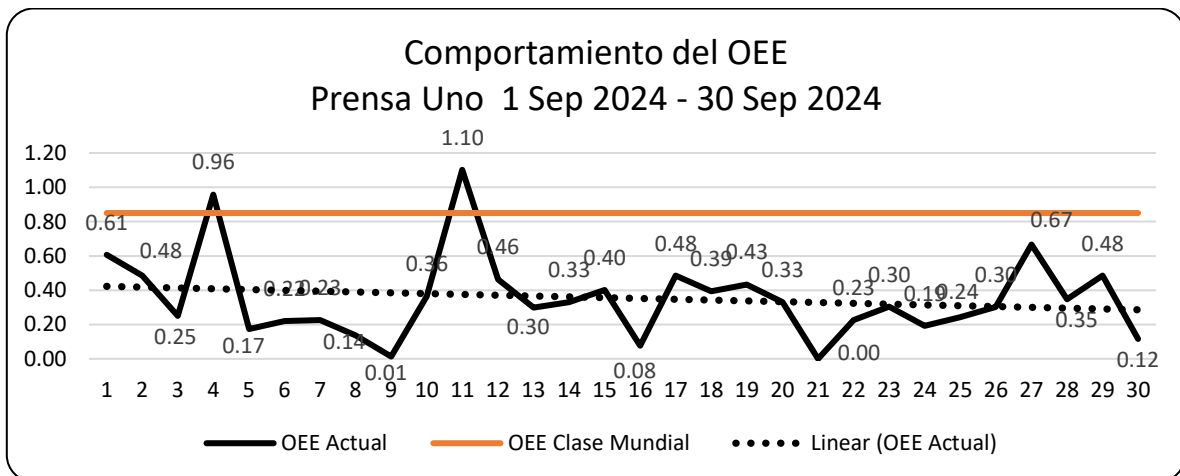
Utilización de Microsoft PBI para computadoras y cualquier dispositivo con acceso a internet. En el área se encuentran pantallas disponibles, una propuesta es la colocación de una pantalla que muestre los resultados (Figura 4.8).



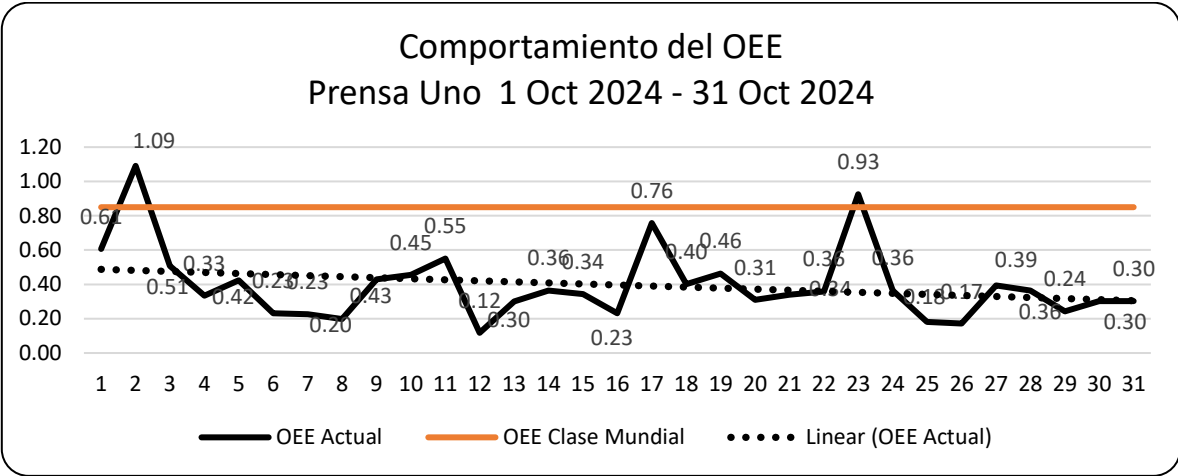
**Figura 51.8** Visualización de resultados en pantalla de área de producción.

#### 4.3.1. Gráficos de tendencia.

A continuación, se muestran los gráficos de tendencia del OEE del mes de septiembre y octubre.



**Figura 52.9** Comportamiento del OEE prensa uno EZAir del mes de septiembre 2024.



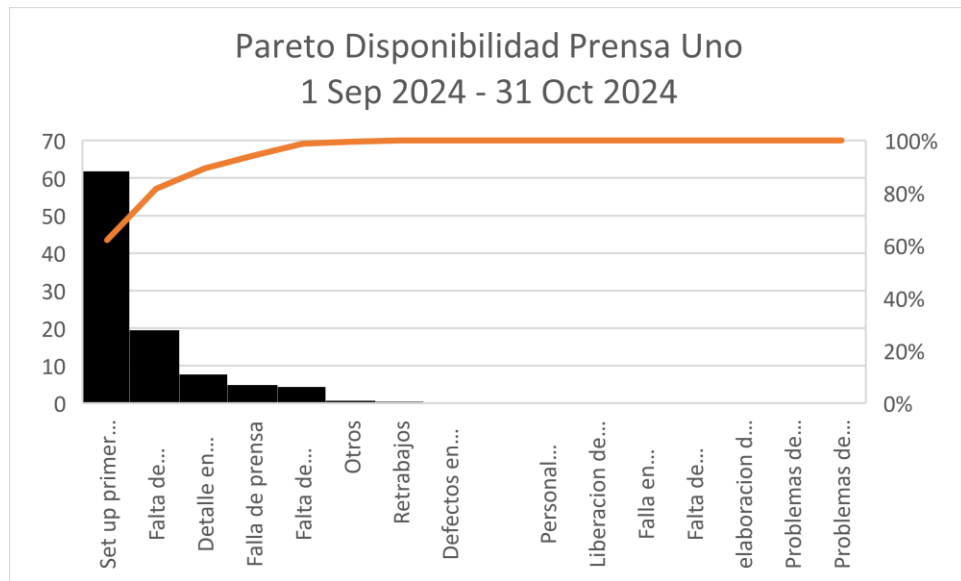
**4.3.2. Gráfico de barras para principales contribuyentes.**

**Figura 53.10** Comportamiento del OEE prensa uno EZAir del mes de octubre 2024.

A continuación, se muestran mediante un gráfico de Pareto los principales contribuyentes para el métrico de Calidad y Disponibilidad del mes de septiembre y octubre.



**Figura 54.11** Comportamiento gráfico de Calidad en prensa uno EZAir del mes de septiembre y octubre 2025.



**Figura 55.12** Comportamiento gráfico de Disponibilidad en prensa uno EZAir del mes de septiembre y octubre 2025.

#### 4.4. Mejora en disponibilidad.

##### 4.4.1. Reducción de tiempos muertos en Set up primer pieza.

Para la reducción del mayor contribuyente que es el “Set up primer pieza” se propone la utilización de un horno para el calentado de los moldes fuera de la máquina, ya sea un horno de curado industrial como el mostrado en la figura 4.13 o uno casero con calentones en base a resistencias eléctricas como las de la figura 4.14 y cubiertas en su exterior de un material aislante como el de la figura 4.15.



**Figura 56.13** Horno de curado industrial de EZAir.



**Figura 57.14** Resistencias para calentamiento de moldes de EZAir.



**Figura 58.15** Horno fabricado de materiales económicos para calentamiento de moldes en EZAir.

#### **4.5. Mejora en Calidad.**

##### **4.5.1. Mejora en Delaminación.**

La delaminación del material composite es el principal contribuyente en el métrico de Calidad, por lo que el primer paso es consultar el PFMEA del área de Prensas (Figura 4.16) y el del área de Laminado (Figura 4.17) ya que ambas áreas fabrican materiales compuestos, para identificar las causas potenciales de falla.

| Potential Failure Mode (Defects) | Potential Effect(s) of Failure | S<br>e<br>v | Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure     | O<br>c<br>c | Current Design or Process Controls   | D<br>e<br>t | R<br>P<br>N |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|-------------|
| Delamination                     | Scrap / Rework                 | 5           | Wrong cure recipe                                | 4           | Visual inspection                    | 6           | 120         |
|                                  |                                | 5           | Expired material                                 | 2           | EUR validation and visual aid follow | 6           | 60          |
|                                  |                                | 5           | Operator doesn't know how to prepare the charges | 2           | Training to operator and visual aid  | 6           | 60          |
|                                  |                                | 5           | Pressure out of specification                    | 2           | Visual aid<br>Visual inspection      | 7           | 70          |

**Figura 59.16** Defecto delaminación en PFMEA de área de Prensas EZAir.

| Potential Failure Mode (Defects) | Potential Effect(s) of Failure | S<br>e<br>v | Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure | O<br>c<br>c | Current Design or Process Controls          | D<br>e<br>t | R<br>P<br>N |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-------------|
| Delamination of part             | Scrap / Material waste         | 5           | Material variation                           | 2           | Measuring equipment                         | 6           | 60          |
|                                  |                                | 5           | Operator does not follow the procedure       | 2           | Visual inspection<br>Training certification | 6           | 60          |
|                                  |                                | 5           | Wrong set up                                 | 2           | Checklist de setup                          | 6           | 60          |
|                                  |                                | 5           | Humid core                                   | 2           | Visual inspection                           | 7           | 70          |

**Figura 60.17** Defecto delaminación en PFMEA de área de Laminado EZAir.

Con base en los hallazgos del PFMEA y las causas identificadas (humedad en el honeycomb, errores de set up del operador, programa incorrecto en la prensa, material expirado y presión fuera de especificación), se propone el siguiente plan de acción correctiva y preventiva:

1. Control de Humedad en el Honeycomb.

Mejora: Implementar un sistema de almacenamiento controlado con monitoreo de humedad ambiental (usando deshumidificadores y sensores), ya que el área no cuenta con temperatura y humedad controlada.

Verificación: Realizar pruebas de humedad (Prueba de contenido de humedad) antes del proceso de prensado.

Documentación: Incluir en la hoja de ruta del material un check list de verificación de humedad.



**Figura 61.18** Deshumidificador AireColer para un área de 7000 pies cuadrados.

Para realizar la prueba de contenido de humedad, será de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(\text{Peso de material humedo} - \text{Peso de material seco}) \times 100}{\text{Peso de material muestra}}$$

2. Reducción de errores en el set up del operador.

Mejora: Implementar poka-yokes (a prueba de errores) en el proceso de carga de materiales (guías físicas, sensores de posición).

Capacitación periódica al operador.

Verificación: Lista de verificación (check list) digital firmada por el operador antes de iniciar la prensa.

Auditorías aleatorias mediante supervisores de proceso.

3. Validación del programa de la prensa.

Mejora: Bloqueo de parámetros mediante software (solo el ingeniero de proceso puede modificar ciclos de presión, temperatura y tiempos).

4. Control de materiales caducados.

Mejora: Sistema de gestión de inventario FIFO (First In, First Out) con etiquetas para rastrear fechas de caducidad.

Alertas automáticas al almacén cuando un material está próximo a expirar.

Verificación: Escáner de código de barras obligatorio antes del uso del material.

5. Monitoreo de presión de la prensa.

Mejora: La prensa ya incluye sensores de presión, se propone la instalación de un sistema Andon que avise cuando la presión de esta esté fuera del rango permitido.

Verificación: Análisis estadístico (CPK) semanal para garantizar estabilidad del proceso.

Estas propuestas integran automatización, capacitación y controles preventivos, alineándose con metodologías como Lean Manufacturing y Six Sigma para garantizar robustez en el proceso.

#### **4.6. Mejora en recolección de datos de Disponibilidad.**

##### **4.6.1. Utilización de recolección digital (Andon) para recolección de tiempo muerto.**

El sistema de Andon de EZAir es una plataforma web donde cualquier empleado puede crear un ticket en el sistema pidiendo soporte a los diferentes departamentos, en cada área de producción se encuentra una pantalla con el dashboard de Andon (Figura 4.21) y esta parpadea en rojo cuando existe un paro de línea de un departamento, este sistema puede generar un reporte de cuánto tiempo se tardó en atender el ticket y el tiempo de atendimento de este.

Este sistema de Andon es conocido por toda la planta, fácil de usar y el cual todo personal está familiarizado con su uso, se propone la utilización del sistema de Andon de la planta para la recolección del tiempo muerto, pero para esto, este tiene que modificarse, el cual tiene un costo extra ya que proveedor externo hace esta programación.

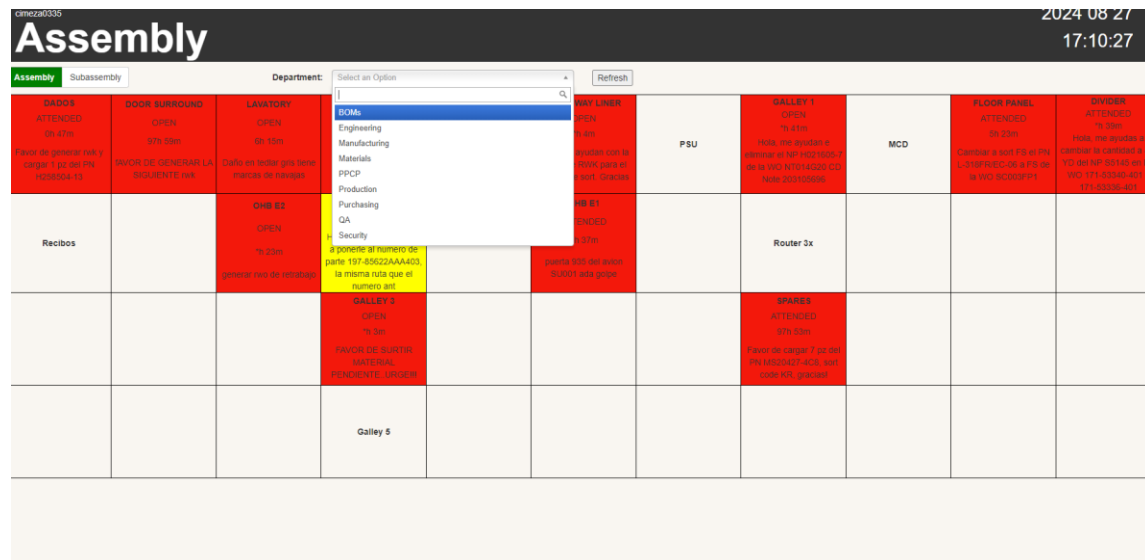
En la figura 4.19 y figura 4.20 muestran la pantalla para creación de un ticket de Andon, así como sus apartados a llenar.

The screenshot shows the 'New ticket' form in the EZAir system. The form includes fields for 'Employee who reports:', 'Line:', 'Line stop:' (YES/NO), 'Department:', 'Work order number:', and 'Problem:'. The 'Line:' dropdown menu is open, displaying a list of options: 'Air Supply', 'Almacén', 'BOM's', 'CARGO', 'Cargo Liner', 'CEILING'S', 'CLIENTES', and 'CURTAINS'. The 'Department:' dropdown menu is also open, showing a list of departments: 'BOM's', 'Engineering', 'Manufacturing', 'Materials', 'PPCP', 'Production', 'Purchasing', and 'QA'. The form has a green 'CREATE' button at the bottom. The footer of the page contains the text: 'Chihuahua, Chih, MX Phone: +52 (914) 5 43-4343 Copyright © 2017 Comelit Corporation All rights reserved'.

Figura 62.19 Sistema Andon de EZAir, líneas de la planta.

The screenshot shows the 'New ticket' form in the EZAir system. The form includes fields for 'Employee who reports:', 'Line:', 'Line stop:' (YES/NO), 'Department:', 'Work order number:', and 'Problem:'. The 'Department:' dropdown menu is open, displaying a list of departments: 'BOM's', 'Engineering', 'Manufacturing', 'Materials', 'PPCP', 'Production', 'Purchasing', and 'QA'. The form has a green 'CREATE' button at the bottom. The footer of the page contains the text: 'Chihuahua, Chih, MX Phone: +52 (914) 5 43-4343 Copyright © 2017 Comelit Corporation All rights reserved'.

Figura 63.20 Sistema Andon de EZAir, Departamentos de la planta.



**Figura 64.21** Dashboard de sistema Andon.

#### 4.6.2. Modificación de sistema Andon

La modificación propuesta consiste en asignar cada defecto de tiempo muerto a un departamento (Figura 4.22), al seleccionar un departamento se desplegará el tipo de tiempo muerto a elegir.

| Medible de tiempo muerto          | Departamento  |
|-----------------------------------|---------------|
| Set up molde                      | Producción    |
| Defectos en piezas al producir    | Producción    |
| Falta de material maquina Gerber  | Materiales    |
| Falta de material almacén         | Materiales    |
| Personal excede tiempo en comedor | Producción    |
| Liberación de primera pieza       | Calidad       |
| Falla en montacargas              | Mantenimiento |
| Sin operador montacargas          | Producción    |
| Falla de prensa                   | Mantenimiento |
| Falta de material secado de Core  | Materiales    |
| Elaboración de 3 espaciadores     | Producción    |
| Retrabajos                        | Producción    |
| Problemas de ingeniería           | Ingeniería    |
| Problemas de planeación           | Planeación    |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Set up primer pieza             | Producción |
| Falta de material corte de Core | Materiales |
| Otros                           |            |

**Figura 65.22** Tipos de tiempo muerto.**4.7. Procedimientos.**

En EZAir el procedimiento para la implementación del OEE será el siguiente:

**4.7.1. Definir Variables.**

Para la variable Disponibilidad se medirá de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Productivo (Hrs)}}{\text{Tiempo disponibles (Hrs)}}$$

Para la variable Eficiencia se medirá de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Piezas producidas}}{\text{Capacidad comprada (Piezas programadas)}}$$

Para la variable Calidad se medirá de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas Buenas}}{\text{Produccion total}}$$

**4.7.2. Creación de Bases de datos.**

Se necesitará una creación de base de datos con los siguientes conceptos de cada pieza:

Numero de parte.

Materia prima.

Molde a utilizar.

Programa necesario que se cargara en la prensa.

Tiempo de Set up.

Tiempo de producción de pieza.

Se tienen que definir cuáles son los tiempos muertos implicados en la operación, y agruparse en categorías para su fácil identificación al momento de captura.

Para la parte de Calidad se deben identificar los mayores contribuyentes y agruparse en categorías para su fácil identificación al momento de la captura y de acuerdo al modo de falla.

#### **4.7.3. Los procesos tienen que estar bien definidos.**

Se necesitará definir de proceso de SET UP para cambio de modelo para indicar cuando inicia y cuando termina este, siempre tomando en cuenta que este debe ser un trabajo estándar, este debe indicar lo siguiente:

Orden correcto para realizar el cambio de modelo.

Instrucciones para colocación de pieza.

Instrucciones para revisión de que la herramienta este en buen estado.

Ajustes necesarios.

Herramienta necesaria con su número de parte en almacén para ser reemplazada en caso de daño.

Materiales utilizados.

#### **4.7.4. Comenzar con la captura de datos manual.**

En un inicio la captura de datos se puede realizar de forma manual utilizando un formato como el de la figura 4.6, para ello se necesitará la creación de formatos para el registro de producción y recolección del tiempo muerto, el cual debe contener lo siguiente:

Nombre del operador.

Maquina.

Fecha.

Numero de orden de trabajo.

Numero de parte procesado.

Hora de inicio y fin.

Cantidad de piezas procesadas.

Hora de inicio y fin de tiempo muerto con su motivo de acuerdo a las categorías anteriormente agrupadas.

#### **4.7.5. Creación de formatos digitales.**

Creación de formato mediante Excel como el de la figura 4.5 para la captura de datos que deberá contener lo siguiente:

Factores de Disponibilidad agrupados.

En eficiencia deberá contener la cantidad de piezas programadas de acuerdo a la capacidad de maquina y tiempos determinados por cada número de parte.

Para Calidad deberá contener los principales factores que impactan la calidad anteriormente descritos.

Días del 1 al 31 indicados para su llenado correspondiente.

#### **4.7.6. Visualización de datos.**

Para la visualización de datos se deberán mostrar en Excel mediante gráficos y deben indicar tendencia, y valor meta a llegar, como los mostrados en las gráficas figura 4.9, figura 4.10, figura 4.11 y figura 4.11, los datos a mostrar son los siguientes:

Tendencia mensual.

Tendencia diaria.

Factores Disponibilidad, Eficiencia, Calidad.

OEE actual vs OEE meta.

Principales factores para Disponibilidad.

Principales factores para Eficiencia.

Principales factores para Calidad.

#### **4.7.7. Automatizar la captura de datos y visualización de resultados.**

Para la automatización de la captura de datos y visualización de datos el procedimiento será el siguiente:

Creación de aplicación mediante Microsoft Power Apps (Figura 4.23), ya que todo personal administrativo al tener una cuenta Microsoft cuenta con esta aplicación, para recolección de tiempo muerto, esta aplicación deberá medir el tiempo que tarda en producción una pieza y lo comparar contra el tiempo estándar que definió ingeniería de acuerdo a los tiempos que se programan en la prensa, debe contemplar al menos con lo siguiente:

Registro de tiempo muerto.

Debe contemplar el cambio de turno ya sea con un botón o automático.

Debe contemplar las horas de comidas ya sea con un botón o automático, para que este tiempo no se cargue a la pieza ya que impactara en la eficiencia.

Debe contemplar la corrida de más de una pieza al mismo tiempo.

00:00:03 **Produccion de: GR10** EZ A

162520 GR10 Terminar Tiempo Muerto Cambio de Turno

**WORK ORDER #1**

123456 1 190-87026-001

No Programa O00956 Numero de Parte 190-87026-001

**Figura 66.23** Programa creado por Power Apps para la captura de datos de manera digital.

La visualización de resultados será mediante el software Microsoft Power BI (Figura 4.24), ya que todos los empleados administrativos tienen una cuenta activa Microsoft y tienen acceso por parte de la empresa a esta aplicación, sin comprometer un costo extra para la empresa, esta visualización debe contener lo siguiente:

Histórico mensual para Disponibilidad, Eficiencia y Calidad.

Histórico diario para Disponibilidad, Eficiencia y Calidad.

Principales contribuyentes para cada componente del OEE.

Visualización de registros de la aplicación de Power Apps anteriormente creada por: fecha, operador, maquina, numero de parte, numero de orden de retrabajo, que muestre tiempos productivos y tiempos muertos.

Una actualización automática de hora por hora.



**Figura 67.24** Programa creado por Power BI para la visualización de datos capturados de manera digital EZAir.

#### 4.7.8. Entrenamiento al personal.

Entrenamiento al personal de producción para uso de aplicación es esencial, el compromiso del equipo de producción es esencial en esta parte del proceso ya que es esencial que el personal reporte en la aplicación a cada momento las actividades que realiza, este debe estar documentado (Figura 4.25).

| BZ AIR              |                     | COMUNICACIÓN DE CAMBIO / ALTA / BAJA DE DOCUMENTO |            | Página/Página       |            |
|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------|------------|---------------------|------------|
| Número de Documento |                     | Número de Documento                               |            | Número de Documento |            |
| Fecha               |                     | Fecha                                             |            | Fecha               |            |
| Nombre              |                     | Nombre                                            |            | Nombre              |            |
| 1                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 2                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 3                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 4                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 5                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 6                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 7                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 8                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 9                   | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 10                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 11                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 12                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 13                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 14                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 15                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 16                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 17                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 18                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 19                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 20                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 21                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 22                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 23                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 24                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 25                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 26                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 27                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 28                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 29                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |
| 30                  | Bosque, Gabriela C. | 170000                                            | 10/01/2016 | 170000              | 10/01/2016 |

Figura 68.25 Lista de asistencia de entrenamiento de personal.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en EZ Air Interior, empresa líder en la manufactura de interiores aeronáuticos para la marca Embraer en la ciudad de Chihuahua, México, con el objetivo de incrementar la eficiencia operativa mediante la implementación del OEE (Overall Equipment Effectiveness) en el proceso de prensado de materiales composites. A lo largo de este estudio, se estableció un procedimiento para medir el OEE incluyendo sus componentes que son disponibilidad, eficiencia y calidad, así como la identificación de sus principales contribuyentes y proponiendo una solución efectiva para disminuirlos, basadas en metodologías descritas y datos obtenidos para optimizar el proceso.

La implementación de herramientas digitales como Microsoft Power Apps y Power BI permitirá automatizar la recolección y visualización de datos, facilitando la toma de decisiones y fomentando una cultura de mejora continua. Este capítulo muestra los hallazgos más relevantes, y establece recomendaciones para futuras investigaciones.

### **5.1. Conclusiones.**

#### **5.1.1. Disponibilidad.**

El formato que se implementó (Figura 4.6) para el cálculo de la disponibilidad, se tuvo que desarrollar de acuerdo a las opiniones del usuario para que se le facilitara el llenado; a partir de ese formato se recolectaron los datos de tiempo muerto y producción y fue posible calcular la disponibilidad del equipo sin errores. Para el llenado de este formato en primera instancia se propuso hacerse en una hoja de Excel en la computadora, debido a que era complicado esto para el operador se optó por ser llenado de manera manual en hojas impresas ya que es la manera en que están acostumbrados a registrar sus actividades de producción, y de esta manera se logro hacer que el personal de producción registre lo indicado en el formato.

### 5.1.2. Eficiencia.

Debido a que en la empresa no cuenta con la información relativa a la eficiencia de la maquina por parte del fabricante, se tuvo que calcular por medio de fórmulas descritas en el capítulo 4.1.2 obteniendo una eficiencia de 0.45.

### 5.1.3. Calidad.

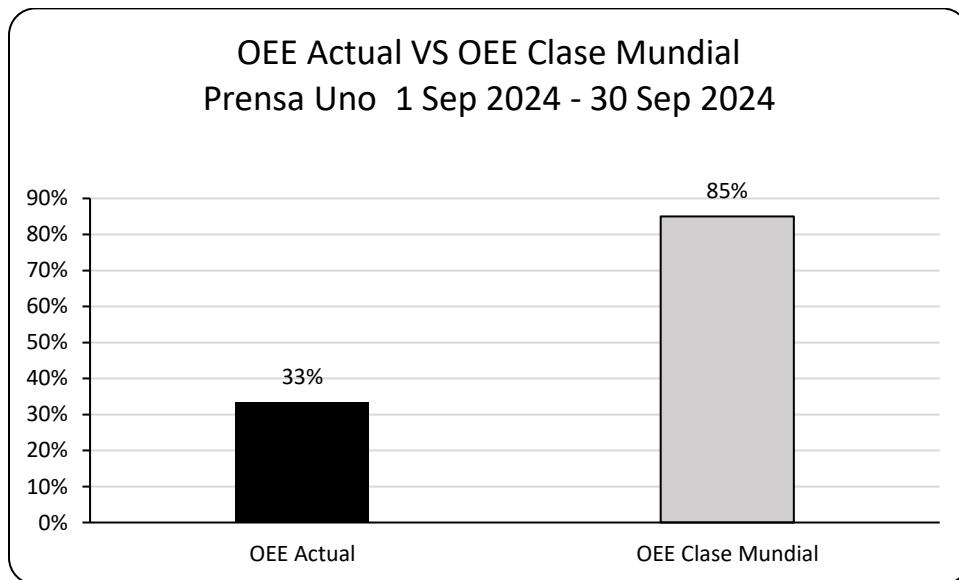
Para el cálculo de la calidad se utilizaron las fórmulas descritas en el capítulo 4.1.3 y los datos se obtuvieron de manera automática mediante el reporte de las piezas scrap obtenido de la plataforma web de la empresa mediante Excel. Como primera opción se optó por utilizar los defectos de las piezas, pero debido a la falta de información por parte del departamento de calidad, se decidió utilizar las piezas scrap como medible.

### 5.1.4. Cálculo del OEE.

Para el Cálculo del OEE, se vacían los datos manualmente en el formato (Figura 4.5) en una hoja de trabajo de Excel, para mediante fórmulas realizar el cálculo del OEE.

### 5.1.5. Visualización de resultados.

Para la visualización de resultados se realizó mediante fórmulas y graficas de Excel, obteniendo el valor del OEE actual (Figura 5.1), obteniendo un valor de 33% en el mes de septiembre, comparado contra un 85% que es el valor de clase mundial.



**Figura 69.1** OEE actual EZAir vs OEE clase mundial.

#### **5.1.6. Visualización de mayores contribuyentes.**

Con los resultados obtenidos de estas visualizaciones y mediante el grafico de Pareto, se logró identificar los mayores contribuyentes para disponibilidad y calidad.

#### **5.1.7. Mejora para el principal contribuyente de disponibilidad.**

Con los datos obtenidos de la variable de disponibilidad, se propuso disminuir el tiempo muerto en el set up, utilizando el SMED, que, mediante el principio de convertir actividades internas a externas, se busca calentar los moldes fuera de la prensa, para que esta pueda seguir fabricando piezas.

#### **5.1.8. Mejora para el principal contribuyente de calidad.**

Con los datos obtenidos de la variable de calidad, delaminaciones fue el mayor contribuyente, se propusieron varias sugerencias alineadas con sistemas de manufactura para la mejora en este tipo de defecto.

#### **5.1.9. Mejora en recolección de datos de Disponibilidad.**

Medir la disponibilidad fue la variable más complicada, ya que, si no se cuenta con un sistema de recolección automatizada de datos, es muy complicado que el personal proporcione los datos de manera efectiva y concisa. Por lo que se propuso la automatización para la recolección de datos mediante una plataforma web de la empresa llamada Andon, en un inicio se realizó el requerimiento con los parámetros proporcionados por ingeniería, más sin embargo al presentar la propuesta a la alta gerencia, esta fue aplazada debido a que se necesitaba hacer una inversión monetaria para poder realizar estos cambios en la plataforma.

#### **5.1.10. Redacción de procedimiento.**

Con la información obtenida, se realizó el procedimiento de manera satisfactoria con los pasos a seguir para la implementación correcta del métrico del OEE en el área de prensado de material composite, acompañado de soluciones basadas en sistemas de manufactura con el fin de aumentar el valor del OEE en el área.

## **5.2. Recomendaciones.**

### **5.2.1. Automatización del Proceso de Recolección de Datos.**

La recolección manual de datos requiere un alto compromiso por parte del personal operativo, ya que, si el personal operativo no captura los datos de la manera correcta, la información dada no será precisa ni eficiente, por lo que se recomienda: Implementar sistemas de captura automatizada mediante softwares como Microsoft Power apps ya que este software viene incluido en las cuentas de cada usuario, y este les permite la creación de aplicaciones sencillas y eficientes para que el personal operativo se le facilite la recolección de datos de manera digital y en tiempo real.

Integración de datos de calidad directamente desde los sistemas web de la empresa a una base de datos centralizada, eliminando la necesidad de ingresos manuales.

### **5.2.2. Optimización de la Visualización de Resultados.**

Para agilizar el análisis y la toma de decisiones; Desarrollar dashboards interactivos con herramientas como Microsoft Power BI, ya que este software viene incluido en las cuentas de los usuarios, y permite una creación fácil de estos, que muestren el OEE y sus componentes que son disponibilidad, eficiencia y calidad en tiempo real, con gráficos dinámicos y filtros por turnos, fechas, histórico, tendencia, máquinas y mayores contribuyentes.

Automatizar mediante Microsoft Power BI reportes periódicos con alertas cuando el OEE caiga por debajo de valores críticos, priorizando acciones correctivas y creando acciones automatizadas mediante Microsoft Power Automate.

Incluir análisis de Pareto automatizado mediante Microsoft Power BI para identificar contribuyentes clave a pérdidas, actualizado con cada nuevo registro de datos.

### **5.2.3. Mejoras en los principales contribuyentes mediante automatizaciones.**

Automatizar el monitoreo de tiempos de set-up con cronómetros digitales y alertas para actividades externas como calentamiento de moldes, vinculando estos datos al cálculo de disponibilidad.

### **5.2.4. Estrategia de Implementación automatizada.**

Dada la resistencia inicial a inversiones en automatización, se recomienda realizar primero una fase piloto, como lo es implementar soluciones de bajo costo como lo

mostrado, fabricación de formularios manuales mediante softwares incluidos como Excel, y recolección de información por parte del personal operativo de manera escrita, para validar beneficios antes de escalar.

Entrenamiento al personal en el llenado de los formatos y concientizando la importancia que tiene esto para la mejora del área.

Creación de una propuesta de retorno de inversión demostrable, presentando ante gerencia casos de éxito con los métricos mejorados como por ejemplo puede ser la reducción de tiempo muerto tras aplicación de SMED, para justificar inversiones en plataformas digitales y automatizadas.

#### **5.2.5. Documentar mediante procedimientos.**

Documentar mediante procedimientos las responsabilidades, la descripción del proceso, los recursos necesarios, los registros y documentación necesaria, los métricos y formatos a utiliza, y un control de cambios para llevar a cabo la implementación del OEE.

#### **5.2.6. Recomendaciones finales.**

La automatización integral del proceso de recolección y visualización de datos no solo incrementará la precisión del OEE, sino que liberará recursos para que el personal pueda enfocarse en acciones de mejora continua. Existen varios softwares al alcance del personal administrativo como Microsoft Power Apps, Microsoft Power Bi y Microsoft Power Automate, ya que vienen incluidos en las licencias de microsoft. La transición debe ser colaborativa, priorizando herramientas accesibles y alineadas con la el sistema operativo actual, mientras se construye un camino hacia la automatización.

Se recomienda para futuras investigaciones la automatización en la recolección de datos y visualización de resultados mediante softwares al alcance del personal administrativo.

## REFERENCIAS

7 Tips comprobados para alcanzar una productividad de clase mundial. (15 de agosto de 2017). 7 Tips comprobados para alcanzar una productividad de clase mundial. Obtenido de Proalnet: <https://proalnet.com/blog/49-7-tips-comprobados-para-alcanzar-una-productividad-de-clase-mundial/>.

8 pilares del TPM que necesita el área de producción empresarial. (2 de febrero de 2022). 8 pilares del TPM que necesita el área de producción empresarial. Obtenido de Structuralia: <https://blog.structuralia.com/pilares-del-tpm>.

awp-xadomx. (20 de septiembre de 2022). Consecuencias de no realizar un mantenimiento preventivo. Obtenido de XADO MEXICO: <https://xado.mx/consecuencias-de-no-realizar-un-mantenimiento-preventivo/>.

Bach. Grados Robles, C. G. (2020). Implementación del Sistema OEE en una línea de producción de pisos de una empresa maderera. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN PLANEAMIENTO Y GESTIÓN EMPRESARIAL.

Berganzo, Justo (s.f.). OEE: La guía completa y definitiva sobre el indicador industrial por excelencia. OEE Technology to improve. [https://www.sistemasoe.com/oe-guia-completa/#:text=proceso%20de%20fabricaci%C3%B3n.-.Origen%20e%20historia%20de1%20OEE,Total%20Produktive%20Maintenance%20\(TPM\).](https://www.sistemasoe.com/oe-guia-completa/#:text=proceso%20de%20fabricaci%C3%B3n.-.Origen%20e%20historia%20de1%20OEE,Total%20Produktive%20Maintenance%20(TPM).)

Borja. (22 de febrero de 2019). Indicadores lean: Takt time, Lead time y Cycle time. Obtenido de Arrizabalaguriarte: <https://arrizabalaguriarte.com/en/indicadores-lean-takt-time-lead-time-y-cycle-time/>.

Calculadora del tamaño de la muestra. (s.f.). Calculadora del tamaño de la muestra. Obtenido de SurveyMonkey: <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>.

Chacón. M. (30 de septiembre de 2020). Manejo de scrap para cumplimiento de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación. Obtenido de Periódica:

[http://reaxion.utleon.edu.mx/Art Impr\\_Manejo\\_de\\_scrap\\_para\\_cumplimiento\\_de\\_la\\_Industria\\_Manufacturera\\_Maquiladora\\_y\\_de\\_Servicios\\_de\\_Exportación.html#:~:text=En%20el%20contexto%20industrial%2C%20scrap,residuos%20derivados%20del%20proceso%20industrial.&text=El%20scrap%20es%20el%20desperdicio,requeridas%20o%20est%C3%A1ndares%20de%20calidad.](http://reaxion.utleon.edu.mx/Art Impr_Manejo_de_scrap_para_cumplimiento_de_la_Industria_Manufacturera_Maquiladora_y_de_Servicios_de_Exportación.html#:~:text=En%20el%20contexto%20industrial%2C%20scrap,residuos%20derivados%20del%20proceso%20industrial.&text=El%20scrap%20es%20el%20desperdicio,requeridas%20o%20est%C3%A1ndares%20de%20calidad.)

Composite defects. (s.f.). Composite defects. Obtenido de Eddyfi: <https://www.eddyfi.com/en/application/composite-defects>.

Corrales. (2021). Productivity tool for automated guided vehicles. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Giménez J, L. (1 de junio de 2021). Técnica SMED: ¿cómo ayuda a incrementar la productividad? Obtenido de Conexionesan: [https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/tecnica-smed-como-ayuda-a-incrementar-la-productividad#:~:text=SMED%20\(acr%C3%B3nimo%20de%20Single%20Minute,e n%20menos%20de%2010%20minutos.](https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/tecnica-smed-como-ayuda-a-incrementar-la-productividad#:~:text=SMED%20(acr%C3%B3nimo%20de%20Single%20Minute,e n%20menos%20de%2010%20minutos.)

González J. (15 de noviembre de 2023). Qué es el método poka-yoke y cómo emplearlo. Obtenido de Hubpot: <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-poka-yoke#que-es>.

Grados. (2020). Implementación del Sistema OEE en una línea de producción de pisos de una empresa maderera. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.

OEE. (s.f.). 10 ventajas del OEE que harán de tu fábrica un centro de alto rendimiento. Obtenido de Sistemas OEE: <https://www.sistemasoe.com/10-ventajas-del-oe/>.

How to Identify the Defects and Damage in Composites Materials and Structures? (s.f.). How to Identify the Defects and Damage in Composites Materials and Structures? Obtenido de Addcomposites: <https://www.addcomposites.com/post/defects-and-damage-in-composite-materials-and-structures>.

Infor. (s/f). Cálculo de tasa de producción y tiempo de ciclo de una tabla de tiempos normalizados. Obtenido de Infor: <https://docs.infor.com/ln/10.4/es-es/lnolh/help/ti/onlinemanual/000162>.

Jeffrey K. Meier D. (2004) The Toyota Way. McGraw-Hill.

Las Seis Grandes Pérdidas del OEE. (23 de agosto de 2023). Las Seis Grandes Pérdidas del OEE. Obtenido de Prodasis: <https://prodasis.com/6-grandes-perdias-en-manufactura/>.

Lauri K. H. (16 de noviembre de 2022). ¿Qué es el tiempo de ciclo en el proceso de fabricación? Obtenido de Mrpeasy: <https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/tiempo-de-ciclo/#:~:text=El%20tiempo%20de%20ciclo%20es,una%20etapa%20de%20su%20producci%C3%B3n>.

Mancuzo. G. (26 de septiembre de 2020). OEE en Mantenimiento | Overall Equipment Effectiveness Mantenimiento. <https://blog.comparasoftware.com/oe-en-mantenimiento/#:~:text=E1%20OEE%20en%20mantenimiento%20es,bien%20est%C3%A1%20operando%20una%20m%C3%A1quina>.

Efectos Ambientales en los Composites, Temperatura y Humedad. (18 de julio de 2009). Efectos Ambientales en los Composites, Temperatura y Humedad. Obtenido de Ingeniería de Materiales: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/07/18/efectos-ambientales-en-composites-temperatura-y-humedad/>.

Manufactus. (22 de marzo de 2023). KANBAN – ¿Qué es Kanban? Obtenido de Kanban System: <https://www.kanban-system.com/es/sistema-kanban-y-control-de-inventario-pull/>.

McBride D. (julio de 2022). Toyota and Total Productive Maintenance. Obtenido de Reliableplant: <https://www.reliableplant.com/Read/8417/toyota-total-productive-maintenance>.

Metalmecánica. (14 de agosto de 2023). ¿Cómo impactan las pérdidas de tiempo en la productividad de su taller? Obtenido de Metalmecánica: <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/como-impactan-las-perdidas-de-tiempo-en-la-productividad-de-su-taller>.

Predictiva. (s.f.). Desalineamiento y desbalance en maquinaria. Obtenido de Predictiva21: <https://predictiva21.com/eficiencia-energetica-desbalance-desalineamiento>.

Prensas hidráulicas: consejos para un correcto mantenimiento. (19 de mayo de 2023). Prensas hidráulicas: consejos para un correcto mantenimiento. Obtenido de Serbusa: <https://www.serbusa.net/2023/05/19/prensas-hidraulicas-5-consejos-para-un-correcto-mantenimiento/>.

Pzarate. (s.f.). Aprende a identificar y reducir los tiempos muertos en producción. Obtenido de Automatica technologies: <https://automaticatech.com/tiempos-muertos-en-produccion/>.

Sejzer R. (s.f.). ¿Qué es el OEE y cómo se calcula? Obtenido de Calidad Total: <https://ctcalidad.blogspot.com/2016/07/que-es-la-oe-e-y-como-se-calcula-ejemplo.html>.

Shirose K. (1991). Programa de desarrollo del TPM (Edición en español). Tecnología de gerencia y producción S.A.

Single minute Exchange of die. (7 de febrero de 2024). Single minute Exchange of die. Obtenido de Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Single-minute\\_exchange\\_of\\_die](https://en.wikipedia.org/wiki/Single-minute_exchange_of_die).

Support, I. T. (30 de julio de 2024). The top 5 consequences of industrial operations not calibrating their equipment. Obtenido de Blueprint-Bricks: <https://labtesting.com/5-consequences-of-not-calibrating/>.

Suzuki T. (1996). TPM en industrias de proceso. Japan Institute of Plant Maintenance. Obtenido de Academia: [https://www.academia.edu/37482596/TPM\\_en\\_Industrias\\_de\\_Procesos\\_pdf](https://www.academia.edu/37482596/TPM_en_Industrias_de_Procesos_pdf).

Trokanowska J. Husar J. Hrehova S. Knapcikova L. (26 de octubre de 2023). Poka Yoke in Smart Production Systems with Pick-to-Light Implementation to Increase Efficiency. Obtenido de Mdpi: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/21/11715>.

Vaal E. (15 de abril de 2020). ¿What is Genchi Genbutsu? Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/what-genchi-genbutsu-erik-vaal-l-i-o-n->.

Valenzuela, B. J. (enero de 2021). Implementación de técnicas de manufactura esbelta en el área de moldeo de una empresa aeroespacial. Universidad de sonora.

Vilda, F. G. (16 de marzo de 2020). Cómo mejorar la productividad en mi empresa. Obtenido de LeanBox: <https://leanbox.es/como-mejorar-la-productividad-en-mi-empresa/>.

Wabash. (6 de junio de 2003). Operation and installation manual.