



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE  
PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR”**

**BUCAY VALDIVIEZO JUAN CARLOS  
CARRILLO ALBÁN MARJORIE ELIZABETH**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2018**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2018-04-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**BUCA Y VALDIVIEZO JUAN CARLOS**

Titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE  
PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Eduardo Hernández Dávila  
**DIRECTOR**

---

Ing. Alex Tenicota García  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2018-04-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CARRILLO ALBÁN MARJORIE ELIZABETH**

Titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE  
PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Eduardo Hernández Dávila  
**DIRECTOR**

---

Ing. Alex Tenicota García  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## **CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BUCAY VALDIVIEZO JUAN CARLOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: “OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR”**

**Fecha de Examinación: 2018-06-20**

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Santillán <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Eduardo Hernández D. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Alex Tenicota G. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CARRILLO ALBÁN MARJORIE ELIZABETH

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “OPTIMIZACIÓN DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR”

**Fecha de Examinación:** 2018-06-20

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Santillán <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Eduardo Hernández D. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Alex Tenicota G. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Marco Santillán  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los estudiantes Juan Bucay y Marjorie Carrillo. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Bucay Valdiviezo Juan Carlos**

---

**Carrillo Albán Marjorie Elizabeth**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Juan Carlos Bucay Valdiviezo y Marjorie Elizabeth Carrillo Albán, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Bucay Valdiviezo Juan Carlos**  
Cédula de Identidad: 060420818-1

---

**Carrillo Albán Marjorie Elizabeth**  
Cédula de identidad: 060412297-8

## **DEDICATORIA**

Con cariño dedico este trabajo de titulación a mis padres: Telmo Bucay y Elva Valdiviezo, que han sido mi guía y apoyo en todos los momentos de mi vida donde sus buenos consejos y amor de padres hicieron que mi esfuerzo sea mayor, que con la educación y formación que me han dado desde muy niño ahora puedo seguir mi camino como profesional y como persona.

A mis hermanos, por compartir sus alegrías y enseñanzas conmigo día a día nos formamos en un hogar donde a pesar de las dificultades hemos salido adelante como familia.

**Bucay Valdiviezo Juan Carlos.**

Con amor dedico este trabajo de titulación a mi madre Rosa Albán, que ha sido el pilar fundamental en mi formación tanto personal como académica, siendo siempre un apoyo en cada etapa de mi vida, quien supo guiarme con cariño, buenos consejos, perdonando cada error cometido, con el ejemplo alentándome a ser mejor persona y siempre inculcando en mi vida valores que me han servido en el desenvolvimiento personal y ahora profesional.

A mi hermano Bryan Alexis, quien ha formado parte de mis alegrías, tristezas, siendo mi sustento para cada derrota, mi apoyo en cada caída, sin dejarme sola, quién ha sido un amigo que siempre me aconseja y día a día espero ser un ejemplo como hermana mayor. De la misma forma quiero dedicar este trabajo de titulación a mi prometido Cristian Nájera, quien ha estado conmigo como compañero de carrera, amigo y novio, siendo un apoyo, que con cariño, palabras de aliento me ha ayudado a enfrentar las dificultades, ha estado a mi lado en los buenos y malos momentos.

**Marjorie Elizabeth Carrillo Albán**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por haberme guiado en este camino y haber tenido la oportunidad de conocer a maestros y compañeros que juntos crecimos y nos formamos como profesionales en las aulas.

El más grande agradecimiento a la empresa CIAUTO por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo de titulación al departamento de mantenimiento de la mano del Ingeniero Vinicio Haro que me brindaron el apoyo y la enseñanza en este tiempo que compartí con ellos en mi experiencia laboral.

A mi tutor de tesis el Ing. Eduardo Hernández y a mi asesor el Ing. Alex Tenicota, que guiaron este trabajo ya que juntos nos enriquecimos de nuevos conocimientos, y demostrar lo que es el mantenimiento como ingeniería.

**Juan Carlos Bucay Valdiviezo**

Doy gracias a Dios por sobre todas las cosas, por brindarme sabiduría para tomar las mejores decisiones, por la perseverancia para haber llegado hasta este punto, por poner personas maravillosas en mi vida que realmente son una guía y un apoyo en todo momento.

A la empresa por abrirme sus puertas, y permitirme desarrollar mi trabajo de titulación, en especial al ingeniero Vinicio Haro quien supo darme la confianza de realizar todos los estudios en la planta.

A mi tutor de tesis el Ing. Eduardo Hernández y a mi asesor el Ing. Alex Tenicota, que con su ayuda y conocimientos, concluiré mis estudios dentro de la ESPOCH con éxito.

**Marjorie Elizabeth Carrillo Albán**

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	3
1.3 Alcance .....	4
1.4 Delimitación .....	4
1.5 Objetivos.....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	6
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	6
2.1 Concepto de Mantenimiento.....	6
2.2 Clasificación del mantenimiento .....	6
2.3 Términos asociados al Mantenimiento .....	7
2.4 Metodología.....	11
2.5 Diagrama de bloques.....	18
2.6 Capacidad de la operación.....	19
2.7 Fundamentos matemáticos de la disponibilidad.....	21
<b>CAPÍTULO III</b> .....	25
<b>3. ESTADO ACTUAL DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA</b> .....	25
3.1 Descripción y estado actual de la gestión de mantenimiento de CIAUTO. ....	25
3.2 Descripción de la gestión actual del mantenimiento en la planta de pintura .....	28
3.3 Evaluación inicial de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.....	33
3.4 Evaluación de las etapas de baja disponibilidad de la planta de pintura .....	39
3.5 Consecuencias de la indisponibilidad de la planta de pintura. ....	42
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	44
<b>4. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO QUE OPTIMICEN LA DISPONIBILIDAD DE LA EMPRESA</b> .....	44
4.1 Estudio de la etapa ELPO.....	44
4.2 Estudio de la etapa HORNO ESMALTE.....	48
4.3 Propuesta de las estrategias para los componentes de baja disponibilidad de la etapa elpo y horno esmalte.....	51
4.4 Estrategias para la planta de pintura.....	63

<b>CAPÍTULO V</b> .....	66
<b>5. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	66
<b>5.1 Estimación de la disponibilidad por etapas y disponibilidad total.</b> .....	66
<b>5.2 Disponibilidad final de la etapa del elpo.</b> .....	66
<b>5.3 Disponibilidad final de la etapa del horno esmalte.</b> .....	70
<b>5.4 Disponibilidad final de la planta de pintura.</b> .....	74
<b>5.5 Consecuencias de la indisponibilidad.</b> .....	75
<b>5.6 Comparación del estado inicial y la situación final de la planta de pintura.</b> .....	75
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	78
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	78
<b>6.1 Conclusiones.</b> .....	78
<b>6.2 Recomendaciones.</b> .....	79
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	80
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2: Tipos de mantenimiento.	6
Figura 2-2: Tipos de consecuencias de fallas	9
Figura 3-2: Tiempos relativos a la disponibilidad	9
Figura 4- 2: Estructura de jerarquización de activos	12
Figura 5-2: Matriz de criticidad mediante el método ponderado	15
Figura 6-2: Resultados del método ponderado	16
Figura 7-2: Flujograma para el análisis de criticidad	18
Figura 8-2: Diagrama de bloques de la planta de pintura CIAUTO	19
Figura 9-2: Capacidad de operación en la planta de pintura de CIAUTO	20
Figura 10- 2: Capacidad de operación de la planta pintura	20
Figura 11-2: Diagrama de bloques de la planta de pintura	24
Figura. 1-3: Diagrama de bloques con la etapa en paralelo.	35
Figura. 2-3: Diagrama de bloques en serie	36
Figura. 3-3: Grafica de la disponibilidad de las etapas con el límite	38
Figura. 4-3: Grafica de la disponibilidad de la etapa ELPO	41
Figura. 5-3: Grafica de la disponibilidad en Horno esmalte	42
Figura. 6-3: Capacidad en las etapas de la planta de pintura	43
Figura. 1-4: Grafica de los tiempos de indisponibilidad Cargo bus 3	46
Figura. 2-4: Gráfica de las fallas con su porcentaje del sistema Cuba 5	47
Figura. 3-4: Gráfica de los tiempos de indisponibilidad de E-coat	48
Figura. 4-4: Disponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 1	50
Figura. 5-4: Disponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 2.	50
Figura. 6-4: Disponibilidad de los quemadores	51
Figura 1-5: Disponibilidad final del componente cargo bus 3	67
Figura 2-5: Disponibilidad final del componente cuba 5	68
Figura 3-5: Disponibilidad final de e-coat	69
Figura. 4-5: Disponibilidad final de la etapa del elpo	70
Figura 5-5: Disponibilidad total del ventilador casa de aire 1	71
Figura 6-5: Disponibilidad final del ventilador casa de aire 2	71
Figura 7-5: Disponibilidad final de los quemadores	72
Figura 8-5: Disponibilidad final del horno esmalte.	73
Figura 9-5: Disponibilidad final de la planta de pintura	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1- 2: Ejemplo de jerarquización de activos _____	12
Tabla 2-2: Secuencia de ítems del diagrama de flujo _____	17
Tabla. 1-3: Modelo de ficha técnica establecido en la planta de pintura de CIAUTO _____	32
Tabla. 2-3: Resultados de criticidad de equipos mediante los dos métodos. _____	33
Tabla. 3-3: Tiempos de indisponibilidad del elpo con la etapa en paralelo. _____	36
Tabla. 4-3: Tiempo requerido de cada etapa _____	37
Tabla. 5-3: Tiempos de disponibilidad de cada etapa de la planta de pintura _____	38
Tabla. 6-3: Disponibilidad del sistema elpo _____	40
Tabla. 7-3: Sistema del sistema horno esmalte _____	41
Tabla. 8-3: Resultados de los sistemas bajo el límite de disponibilidad _____	42
Tabla. 1-4: Tiempos de indisponibilidad de las fallas del cargo bus 3 _____	45
Tabla. 2-4: Tiempos de indisponibilidad de las fallas de Cuba 5 pasivado del fosfato. _____	46
Tabla. 3-4: Tiempos de indisponibilidad de las fallas de E-coat _____	47
Tabla. 4-4: Indisponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 1 _____	49
Tabla. 5-4: Indisponibilidad en los componentes de ventilador casa de aire 2 _____	50
Tabla. 6-4: Tiempos de indisponibilidad de las fallas funcionales quemador 1 y 2 _____	51
Tabla. 7-4: Componentes del elpo para incrementar su disponibilidad _____	53
Tabla. 8-4: Modos de falla y causas del cargo bus 3 _____	54
Tabla. 9-4: Modos de falla y efectos del cargo bus 3. _____	54
Tabla. 10-4: Modos de falla y causas de la cuba 5. _____	57
Tabla. 11-4: Modos y efectos de la cuba 5 pasivado de fosfato. _____	57
Tabla. 12-4: Modos de fallo y causas de e-coat _____	59
Tabla. 13-4: Modos de falla y efectos de e-coat. _____	59
Tabla. 14-4: Componentes del horno esmalte para incrementar su disponibilidad _____	61
Tabla. 15-4: Modos de falla y causas del ventilador casa de aire. _____	61
Tabla. 16-4: Modos de falla y efectos del ventilador casa de aire. _____	62
Tabla 17-4: Estrategias operacionales para la planta de pintura. _____	65
Tabla 18-4: Estrategia de mantenimiento para la planta de pintura. _____	65
Tabla 19-4: Estrategias de rediseño. _____	66
Tabla 20-4: Estrategias de documentación técnica _____	66
Tabla 21-4: Estrategias de repuestos de bodega _____	66
Tabla 1-5: Disponibilidad final del cargo bus 3 _____	67
Tabla 2-5: Disponibilidad final de la cuba 5 pasivado de fosfato. _____	67
Tabla 3-5: Disponibilidad final de e-coat. _____	68
Tabla. 4-5: Disponibilidad final de la etapa del elpo _____	69
Tabla 5-5: Disponibilidad final de ventilador casa de aire 1 _____	70
Tabla 6-5: Disponibilidad final de ventilador casa de aire 2. _____	71

Tabla 7-5: Disponibilidad final de los quemadores 1 y 2. _____	72
Tabla 8-5: Disponibilidad final del horno esmalte _____	73
Tabla 9-5: Tiempos de indisponibilidad de las etapas de la planta pintura _____	74
Tabla 10-5: Comparación de la situación inicial y final de la planta de pintura _____	76
Tabla 11-5: Comparación de porcentajes del antes y después de la empresa. _____	76
Tabla 12-5: Comparación de unidades no producidas _____	77

## LISTA DE GRAFICAS

Grafico 1-3: Proceso de desengrase por aspersion directa sobre la carroceria CIAUTO	25
Grafico 2-3: Proceso de pasivado de fosfato CIAUTO	26
Grafico 3-3: Proceso de electrodeposicion sobre la carroceria CIAUTO	27
Grafico 4-3: Punto de inspeccion de calidad Finesse CIAUTO	28
Grafico 5-3: Cumplimiento de tareas de lubricacion bomba	30

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	13
Ecuación 2-2	13
Ecuación 3-2	21
Ecuación 4- 2	21
Ecuación 5-2	21
Ecuación 6-3	43

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>D</b>	Disponibilidad
<b>TD</b>	Tiempo Disponible
<b>TR</b>	Tiempo requerido
<b>FMECA</b>	Análisis de modos efectos de fallo y criticidad
<b>UF</b>	Ultra filtrado método en el cual la pintura se exprime al punto de sacar una solución llamada permeato
<b>SM</b>	Sustrato metálico es desengrasado usando soluciones a base Complementos desengrasantes
<b>FP</b>	Proceso en el cual el anticorrosivo pasivado es filtrado y se extraen lodos fosfatados

## **GLOSARIO**

<b>ELPO</b>	Conjunto de piscinas donde se sumerge la carrocería para limpieza, procesos de pintado por inmersión, tratamiento anticorrosivo, procesos totalmente automatizados
<b>HORNO ELPO</b>	Proceso de secado de las carrocerías una vez que sale de las piscinas del elpo
<b>E-COAT</b>	Parte del elpo, procesos de catáforisis en el cual las cargas positivas y negativas se desplazan en un rango de posición
<b>HORNO ESMALTE</b>	Secado de las carrocerías después de salir del proceso de pintado
<b>FINNESE</b>	Proceso de inspección donde se pulen impurezas del horno y se verifican los procesos y reprocesos

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A</b>	Codificación de equipos en la planta de pintura de la empresa CIAUTO
<b>Anexo B</b>	Criticidad con el método ponderado de los subsistemas de la planta pintura CIAUTO
<b>Anexo C</b>	Criticidad por el método de diagrama de flujo de los subsistemas de la planta pintura CIAUTO
<b>Anexo D</b>	Esquema de la distribución de la planta pintura
<b>Anexo E</b>	Organigrama estructural del departamento de mantenimiento CIAUTO
<b>Anexo F</b>	Plan de mantenimiento preventivo de la semana 20 del año 2017
<b>Anexo G</b>	Tabla de criterios de valoración para FMECA
<b>Anexo H</b>	Estudios de FMECA de la etapa del Elpo y Horno Esmalte
<b>Anexo I</b>	Instructivo de Trabajo y Operación del cargo bus 3
<b>Anexo J</b>	Instructivos de Trabajo y Operación de la cuba 5 Pasivado de Fosfato
<b>Anexo K</b>	Instructivos de Trabajo y Operación del ECOAT
<b>Anexo L</b>	Instructivo de trabajo y operación de quemadores y ventiladores casa de aire

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue optimizar la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional de equipos en la planta de pintura de la empresa CIAUTO ubicado en la parroquia Unamuncho Camino Real - El Inca de la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua. Al realizar la evaluación previa a los equipos se encontraron modos de fallos excesivos que empeoraban la disponibilidad de este proceso, para lo cual se efectuó un levantamiento de información en cada etapa, identificando tiempos de indisponibilidad, creando un historial de fallo generados por paros de línea y mantenimientos correctivos imprevistos del proceso en serie de pintura en carrocerías; incorporando como parte del desarrollo del trabajo técnico, al control de inventario basado en la NORMA ISO 14224. Con estos resultados se aplica la implementación de estrategias y tareas que ayuden a mejorar la gestión del departamento de mantenimiento. La planta de pintura consta de siete etapas, existiendo mayores inconvenientes críticos en la etapa del Elpo y el Horno esmalte, cuyas fallas de los equipos contribuyen a paros de líneas constantes. Optimizar esta gestión de mantenimiento consiste en dar un seguimiento a la sintomatología de fallas que mitigara de forma gradual la indisponibilidad de las etapas en serie que restringe la velocidad del proceso y la pérdida de unidades producidas al día, estableciendo una eficiencia del 54,45% en el sistema productivo, bajo determinadas condiciones y tiempos de operación que aumentara la producción. Aplicando esta optimización de gestión de mantenimiento, mejorara los indicadores de disponibilidad determinando con exactitud la situación actual de los equipos y procesos, análisis de criticidad de equipos, cálculos de disponibilidad por maquinaria y etapas, estableciendo una eficiencia superior al 86.88 % en el sistema productivo

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MANTENIMIENTO>, <DISPONIBILIDAD OPERACIONAL>, <TIEMPOS DE INDISPONIBILIDAD>, <MODOS DE FALLA Y SINTOMATOLOGIA>, <VELOCIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO>.

## ABSTRACT

The objective of the present degree work was to optimize the maintenance management based on the operational availability of equipment in the paint plant of the company CIAUTO located in the parish of Unamuncho Camino Real - El Inca in the city of Ambato, Tungurahua province. When performing the previous evaluation to the teams; excessive failure modes were found that worsened the availability of this process, for which an information survey was carried out in each stage, identifying unavailability times, creating a fault history generated by line stoppages and unforeseen corrective maintenance of the series process of body paint; incorporating as part of the development of technical work, inventory control based on the STANDARD ISO 14224. With these results, the implementation of strategies and tasks that help to improve the management of the maintenance department is applied. The painting plant consists of seven stages, there being major critical inconveniences in the Elpo stage and the enamel furnace, whose equipment failures contribute to constant line stoppages. Optimizing this maintenance management consists in following up on the symptomatology of failures that will gradually mitigate the unavailability of the series stages that restrict the speed of the process and the loss of units produced per day, establishing an efficiency of 54.45 % in the production system, under certain conditions and operating times that will increase production. Applying this optimization of maintenance management, will improve the indicators of availability by accurately determining the current situation of equipment and processes, criticality analysis of equipment, calculations of availability by machinery and stages, establishing efficiency higher than 86.88% in the productive system.

**Keywords:** <TECHNOLOGIES AND ENGINEERING SCIENCES>, <MAINTENANCE>, <OPERATIONAL AVAILABILITY>, <TIMES OF UNAVAILABILITY>, <FAILURE MODES AND SYMPTOMATOLOGY > <SPEED OF THE PRODUCTION PROCESS

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

AMBACAR, Great Wall, es una empresa ecuatoriana ubicada en la ciudad de Ambato con una trayectoria de 46 años dentro del mercado automotor, se ha caracterizado por la honestidad, seriedad con sus clientes y su servicio proactivo, compañía encargada de la distribución de vehículos brindando un producto de calidad y activando la economía del país, a la vez marca el progreso y avance de esta industria siendo la empresa hermana de la ensambladora de vehículos CIAUTO CIA. LTDA.

CIAUTO CIA. LTDA produce modelos de vehículos de una empresa China, desde el 2010 es distribuidor oficial de la marca Great Wall Motors con la iniciativa del empresario Hernán Vásquez Gerente General de Ambacar alcanzando las expectativas de sus clientes, comprometidos con el cumplimiento de la norma ISO 9001 que les permite mantener la integridad y eficacia del sistema de Gestión como mejora continua.

Dentro de la misión y visión de CIAUTO se considera un punto muy importante el desarrollo de la organización, la mejora en el proceso técnico y administrativo, para que conjuntamente aporten al crecimiento de la compañía en calidad y competencia dentro del mercado automotor del país, lo cual se logrará con la optimización de la gestión desde el indicador de la disponibilidad de equipos, los cuales se verán reflejados en el aumento de unidades diarias.

Valores.

Honestidad: Evaluar el requerimiento solicitado ofreciendo la mejor opción, el mejor precio y mejor producto.

Calidad: Cubrir las expectativas de nuestros clientes eficazmente.

Trabajo: Entrega, perseverancia y enfrentar los retos con disposición.

Responsabilidad: Entregar en tiempo y forma los trabajos requeridos.

Confianza: Actuar con seriedad y profesionalismo.

Respeto: Saber escuchar y aceptar diferencias.

Productos.

La empresa CIAUTO, es distribuidor oficial de GMW (vehículos livianos), en los últimos años sumó a su plataforma los productos de King Long (Van), Jmc (Camiones) y Zotye (Vehículos livianos) brindando así al cliente toda la gama de vehículos para diferentes gustos y necesidades del cliente.

CIAUTO dentro de su estructura organizacional cuenta con varios departamentos que desempeñan sus funciones de manera correcta, que en el 2016 han hecho de la empresa de las primeras cinco en el sector automotor del país, pero dentro del departamento de mantenimiento el indicador de disponibilidad operacional de la planta de pintura es del 100% cabe mencionar que tiene datos y parámetros muy poco definidos para su cálculo, además se sabe que aunque una empresa funcione de manera adecuada durante todo el tiempo de operación no se llega alcanzar dicho resultado, por lo que visual y tentativamente se puede estimar que trabajan a una disponibilidad del 93% en toda la planta de pintura, valor que se obtendrá de forma real en el desarrollo del trabajo de titulación, mismo que servirá para proponer tareas que optimizarán la que se verán reflejadas en las ventas de vehículos.

El mantenimiento dentro de la empresa, específicamente en la planta de pintura es técnico-empírico, es decir se basan en experiencias propias del personal, en capacitaciones recibidas y poco personal profesional dentro del área de mantenimiento, tienen un plan de mantenimiento preventivo que necesita ser revisado, carecen del conocimiento de los indicadores de disponibilidad, su evaluación y control.

La falta o poco conocimiento de la gestión de mantenimiento en base a la disponibilidad no permite tener una visión amplia de los factores que se incluyen para calcularlo, así como monitorearlo para su estabilidad o mejora, no cuentan con un inventario de equipos ni su debido estudio de criticidad de los procesos, dentro de sus historiales de fallos no llevan un control ordenado ni exacto de los tiempos de indisponibilidad que generan los procesos puesto que no manejan ordenes de trabajo.

La aplicación de una buena gestión de mantenimiento, apunta al mejoramiento de la disponibilidad y un buen estado técnico de las máquinas, dentro de la planta de pintura no hay encargados específicos de cada proceso, puesto que el personal de turno se encarga de todas las tareas preventivas y correctivas que se presenten, el personal lleva un control poco adecuado de los mantenimientos realizados, en sus frecuencias y el tipo de actividad que realizan, por ende no tienen datos correctos para el cálculo de este indicador ni mantienen una idea clara de lo que conlleva una indisponibilidad del proceso. En la mayoría de los casos se espera hasta la falla para revisar, buscar el repuesto y realizar la tarea respectiva, factores que en ocasiones ha causado la paralización de los procesos.

## **1.2 Justificación**

Esta evaluación y optimización de la gestión del mantenimiento en base a la disponibilidad operacional permitirá determinar con exactitud la situación actual de los equipos, cuáles de estos son críticos que deberán ser monitoreados, para establecer una manera de cuantificar el tiempo que equipos, sistemas y procesos funcionen y cumplan con su contexto operacional, se debe estar consciente que la disponibilidad es uno de los indicadores más importantes al momento de evaluar la eficacia de un sistema productivo.

El presente trabajo de titulación es un estudio del campo real de la industria, basándose en los históricos de fallas, ya que anteriormente se realizó un trabajo de investigación que obtuvo resultados positivos, los cuales se basaron de manera teórica, determinando que la eficacia de un sistema productivo depende de su capacidad y su disponibilidad. Por tal motivo se planteó el trabajo de titulación como proyecto técnico titulado “OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS EN LA PLANTA DE PINTURA DE LA EMPRESA CIAUTO AMBATO-ECUADOR.”, el cual se beneficia de los cálculos y aplica los métodos propuestos por el Máster Eduardo Hernández Dávila.

Este estudio se desarrollará como una investigación experimental de tipo aplicado, planteando alternativas que solucionen los problemas presentes en la empresa, reduciendo tiempos muertos, analizando equipos críticos y exponiendo los fundamentos de un plan de acción para optimizar el desarrollo de las distintas actividades productivas del proceso, basado en el correcto análisis de la disponibilidad en cada etapa del sistema, aumentando así directamente la productividad en la planta de pintura de la empresa mencionada.

### **1.3 Alcance**

El estudio se realizará en la empresa CIAUTO CIA. LTDA. En la cual se realizará un análisis de disponibilidad dentro de la planta de pintura, para poder determinar sus equipos críticos, plantear estrategias de mantenimiento que permita mantener un funcionamiento adecuado de los equipos, y así poder aumentar la productividad en el debido proceso.

### **1.4 Delimitación**

En la planta de pintura se encuentran muchos equipos los cuales están distribuidos en diferentes etapas:

- Recepción
- Elpo
- Horno Elpo
- Cabina de lijado y sellado
- Casa de aire
- Cabina de pintura
- Horno esmalte
- Finnese
- Exteriores
- Sala de mezclas
- Tratamiento de aguas
- Plásticos

Cabe mencionar que se realizó un análisis de criticidad donde se eligió la planta de pintura de CIAUTO por tener varios equipos críticos y presentar varios fallos, así como también por requerimiento de la empresa y del departamento de mantenimiento de la planta, el análisis comprenderá en realizar un inventario de equipos, levantar toda la información de los equipos en cuanto a tiempos de mantenimiento, reparación y fallas, reducir las etapas con un diagrama de bloques donde se agruparan de mejor manera para el desarrollo, análisis de disponibilidad en cada etapa dentro del proceso, criticidad de equipos, y por lo tanto que etapa necesita una mayor atención, a los cuales se les aplicarán estrategias de mantenimiento enfocadas en aumentar la disponibilidad en las etapas.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Optimizar la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional de equipos en la planta de pintura de la empresa CIAUTO Ambato-Ecuador.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

Definir el sustento teórico y metodológico del proceso adecuado de optimización de la gestión del mantenimiento en procesos productivos en serie.

Describir el estado actual de la gestión de mantenimiento y el estudio de la criticidad de activos en la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

Calcular la disponibilidad total y estudio del diagrama de bloques de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

Proponer estrategias de gestión de mantenimiento que optimicen la disponibilidad de los equipos de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

### **1.5.3 Hipótesis.**

La optimización de la disponibilidad de sistemas en serie en la planta de pintura de CIAUTO, incrementa la productividad.

#### **1.5.3.1 Variable dependiente.**

La disponibilidad del sistema en serie en la planta de pintura CIAUTO Cía. Ltda.

#### **1.5.3.2 Variable independiente.**

Capacidad de operación de cada etapa.

Disponibilidad operacional individual de cada etapa

Tiempo de espera de cada etapa.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Concepto de Mantenimiento

Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. (Cuzco, 2017)

#### 2.2 Clasificación del mantenimiento



**Figura 1-**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.: Tipos de mantenimiento

Fuente: (UNE-EN-13306, 2010)

El mantenimiento tiene dos subdivisiones importantes: mantenimiento preventivo ejecutado a intervalos donde buscan alternativas desde el punto de vista de disponibilidad, fiabilidad y productividad antes que ocurra el fallo y mantenimiento correctivo en la cual actúan una vez ocurrida la avería.

Dentro del mantenimiento preventivo existe el mantenimiento basado en la condición que se apoya en la monitorización del funcionamiento y/o los parámetros del elemento y el

mantenimiento sistemático ejecutado de acuerdo a intervalos establecidos o un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento.

El mantenimiento correctivo se subdivide en inmediato el cual se realiza inmediatamente después de la verificación de un fallo funcional y el mantenimiento correctivo diferido que puede ser programable. Su semejanza está en que se realizan a posteriori de la falla.

## **2.3 Términos asociados al Mantenimiento**

### **2.3.1 *Elemento.***

Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse de manera individual.

### **2.3.2 *Activo.***

Elemento considerado netamente contable.

### **2.3.3 *Elemento reparable.***

Elemento que después de un fallo, bajo condiciones determinadas puede devolverse a un estado en el cual pueda desarrollar su función requerida.

### **2.3.4 *Avería.***

Estado de un elemento que se caracteriza por la incapacidad para desarrollar una función requerida, de esto se excluye el mantenimiento preventivo o acciones planificadas, de igual manera a la falta de recursos externos.

### **2.3.5 *Mejora.***

Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión destinada a mejorar la función de un elemento sin cambiar el contexto para el que es requerido.

### **2.3.6 *Modificación.***

Combinación de todas acciones técnicas, administrativas y de gestión.

### **2.3.7 *Vida útil.***

Intervalo de tiempo que bajo condiciones dadas comienza en un instante de tiempo determinado y termina cuando la tasa de fallos se hace inaceptable, o bien cuando el elemento se considera irreparable como resultado de una avería o bien de otros factores relevantes.

### **2.3.8 *Análisis de fallos.***

Se analizan las causas que provocan las averías para adoptar medidas preventivas que las eviten. Para ello debemos recopilar todos los datos posibles disponibles.

- Condiciones ambientales y externas de la máquina
- Últimos mantenimientos preventivos realizados
- Otros fallos que haya tenido el equipo
- Condiciones internas en que trabaja el equipo (ALEJANDRO PLAZA, 2009)

### **2.3.9 *Modo de fallo.***

Son las posibles causas de un error en el funcionamiento. Estas causas se deben identificar de manera clara para evitar desperdiciar tiempo y recursos.

### **2.3.10 *Efectos de las fallas.***

Es lo que sucede el momento que ocurre un modo de fallo. Para describir los efectos de falla se debe tener toda la información posible para respaldar la evaluación de las consecuencias de la falla con los siguientes parámetros:

- Evidencias de que la falla se presentó
- Como afecta al medio ambiente
- Como afecta a la producción o proceso
- Que se debe hacer para reparar la falla

### **2.3.11 *Consecuencias de las fallas.***

Dentro de una organización cada falla la afecta, sin embargo, cada una éstas tienen efectos diferentes, es así que puede afectar a la operatividad, seguridad, medio ambiente, calidad

del producto, incluso servicio al cliente y todas éstas implican un gasto de tiempo y dinero para repararlas. El RCM las clasifica de la siguiente forma:

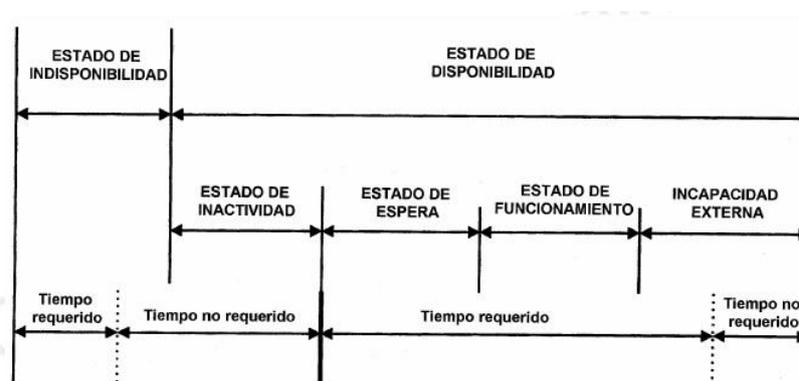


**Figura 2-2:** Tipos de consecuencias de fallas  
 Fuente: (UNE-EN-13306, 2010)

### 2.3.12 Disponibilidad.

Es la capacidad que tiene un elemento para estar en el estado de funcionamiento que se requiera, bajo condiciones y tiempo dado o determinados, suponiendo que tiene todos los recursos externos. (UNE-EN-13306, 2010)

Dentro de la organización se debe contar con equipos, herramientas, elementos, sistemas y maquinaria disponible que garantice la generación de un producto o servicio, al mismo tiempo estos deben tener un cierto nivel de disponibilidad los cuales se relacionan:



**Figura 3-2:** Tiempos relativos a la disponibilidad  
 Fuente: (UNE-EN-13306, 2010)

Donde:

Tiempo requerido. Es el tiempo donde se necesita que el elemento se encuentre en estado de funcionamiento.

Tiempo no requerido. Es el intervalo de tiempo en el que no se requiere que el elemento este es estado de funcionamiento.

Tiempo de disponibilidad. Es el tiempo donde el elemento se encuentra en un estado en donde puede realizar la función requerida, previa proporción de los recursos externos si fuese el caso.

Tiempo de indisponibilidad. *“Estado de un elemento caracterizado por una avería o por una posible incapacidad para realizar una función requerida durante el mantenimiento preventivo”*. Es el tiempo donde un elemento se encuentra con una incapacidad o avería, mismo que no le permite realizar una función requerida. El rango de la indisponibilidad comprende entre 0 y 100 %. (UNE-EN-13306, 2010)

Tiempo de incapacidad (parada). Es el tiempo donde el elemento no puede realizar su función requerida, por cualquier motivo, el estado de incapacidad puede responder tanto a la disponibilidad como a la indisponibilidad.

Tiempo de incapacidad externa. *“Estado de un elemento caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, asumiéndose que se proporcionan los recursos externos si fuesen necesarios”*. (UNE-EN-13306, 2010)

Es parte del tiempo de incapacidad en donde el elemento se encuentra disponible, pero faltan recursos externos requeridos como falta de alimentación eléctrica, recambios en el proceso o cualquier incapacidad causada por motivos distintos al mantenimiento.

Tiempo operativo. *Estado en que un elemento está funcionando según lo requerido”*. Es el tiempo donde el elemento funciona de acuerdo al requerimiento. (UNE-EN-13306, 2010)

Tiempo de reposo. *“El estado de un elemento que está en estado de disponibilidad y sin funcionar durante el tiempo no requerido”*. (UNE-EN-13306, 2010)

Es donde las máquinas pese a estar en estado de disponibilidad se encuentran en sin funcionar ya que no se requiere de su funcionamiento dentro del proceso.

Tiempo de espera. “Estado de un elemento que está en estado de disponibilidad y sin funcionar durante el tiempo requerido”. Son los llamados equipos redundantes o de emergencia, donde el elemento está en un estado disponible, pero no se encuentra funcionando durante el tiempo requerido. (UNE-EN-13306, 2010)

## **2.4 Metodología**

El trabajo de investigación del ingeniero Eduardo Segundo Hernández Dávila titulado como “MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE SISTEMAS EN SERIE Y PARALELO EN FUNCIÓN DE LAS CONSECUENCIAS OPERACIONALES PARTICULARES DE LA INDISPONIBILIDAD INDIVIDUAL DE CADA ETAPA” presentado como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en Gestión de Mantenimiento Industrial, obtuvo resultados positivos determinando que la eficacia de un sistema productivo depende de su capacidad y de su disponibilidad.

Esta investigación explica como la cantidad de producción que se logre, depende de la capacidad de operación intrínseca que tenga cada proceso, el tipo de procesos que tenga bajo determinadas condiciones de operación y del tiempo disponible.

La investigación se desarrolló en forma teórica y su aplicación se materializa en este trabajo, que está enfocado en el aumento de la productividad en un sistema real, también es importante indicar que esta metodología es aplicable para los procesos donde la demanda sea mayor que la oferta.

### **2.4.1 Gestión de Mantenimiento**

Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos. (UNE-EN-13306, 2010).

### **2.4.2 Codificación de equipos**

Dentro de la norma ISO 14224 para la gestión de activos y el levantamiento de información se estructura en niveles jerárquicos, es decir, se los ubica en niveles en donde

parte desde la empresa hasta el componente del activo, finalizando con el número correspondiente dependiendo al número de activos que hayan.

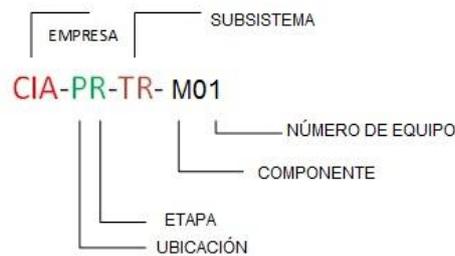
Empresa: Se ubica las iniciales de la empresa para dejar constancia que los activos son propios de la empresa.

Ubicación: una empresa puede tener una o varias plantas, por lo que es importante señalar en que planta o ubicación se encuentran los activos, ya que incluso pueden tener varias plantas los mismos activos, pero su línea de producción diferente.

Etapas: son procesos que componen la planta, es una ubicación más específica del activo.

Subsistema: forma parte de las etapas, donde realizan una función única.

Componente: partes que integran el subsistema, donde conjuntamente desempeñan una función en común dentro del sistema. (ISO 14224, 2006).



**Figura 4- 2:** Estructura de jerarquización de activos

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Dentro de la empresa CIAUTO se realizó un inventario de equipos basados en la norma ISO 14224 misma que se encuentra en el ANEXO A.

**Tabla 1- 2:** Ejemplo de jerarquización de activos

PLANTA	ETAPA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	# DE EQUIPO	CÓDIGO NORMA ISO 14224
PINTURA	ELPO	CARGO BUS 1	TECLE Y MOTOR	2	CIA-PE-CB-M01
			MOTOR TROLLEY	1	CIA-PE-CB-MT01
			VARIADOR DE FRECUENCIA	3	CIA-PE-CB-V01
			PLC INTERNO	1	CIA-PE-CB-PLC01

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 2.4.3 *Criticidad de equipos*

La criticidad de equipos es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos con el fin de facilitar la toma de decisiones, el objetivo de este análisis es determinar el sistema más crítico dentro de la empresa.

El estudio está basado en el Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC), que permite establecer frecuencias de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, impacto en seguridad ambiente e higiene y así disponer de niveles de criticidad de forma cuantitativa, con resultados críticos, semicríticos y no críticos evaluando los activos de forma íntegra en los ítems antes mencionados. Para analizar los sistemas se utilizó dos métodos: ponderado y método de flujograma.

#### 2.4.3.1 *Método Ponderado*

Es un proceso semicuantitativo que resulta de multiplicar la frecuencia de un fallo por la consecuencia del mismo. Se detalla los parámetros del método ponderado desde:

$$CTR = FF \times C \qquad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

- CTR: Criticidad total por riesgo
- FF: Frecuencia de fallos (año)
- C: Consecuencias de los fallos

Donde la frecuencia de fallos (FF) toma los siguientes valores:

- 4: Frecuente: mayor a 3 eventos al año
- 3: Promedio: 3 eventos al año
- 2: Bueno: 2 eventos al año
- 1: Excelente: un evento al año

Para obtener el valor de las consecuencias de los fallos C se obtiene de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \qquad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

- IO = Factor de impacto en la producción
- FO = Factor de flexibilidad operacional
- CM = Factor de costes de mantenimiento
- SHA = Factor de impacto en la seguridad, higiene y ambiente. (PARRA MARQUEZ, 2012)

Se presenta a continuación los criterios para dar valores a cada uno de los factores de la consecuencia (C).

#### Impacto operacional (IO)

- 5: Pérdidas de producción superior al 75%
- 4: Pérdidas de producción entre el 51% y 75%
- 3: Pérdidas de producción entre el 26% y 50%
- 2: Pérdidas de producción entre el 11% y 25%
- 1: Pérdidas de producción menor al 10%

#### Impacto por flexibilidad operacional (FO)

- 4: No se tiene unidades en reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.
- 2: Se tiene unidades de reserva para cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística.
- 1: Se tiene unidades de reserva en línea.

#### Impacto en costes de mantenimiento (CM)

- 2: Mayor de \$ 5 000
- 1: Menor de \$ 5 000

#### Impacto en la seguridad, higiene y medio ambiente (SHA)

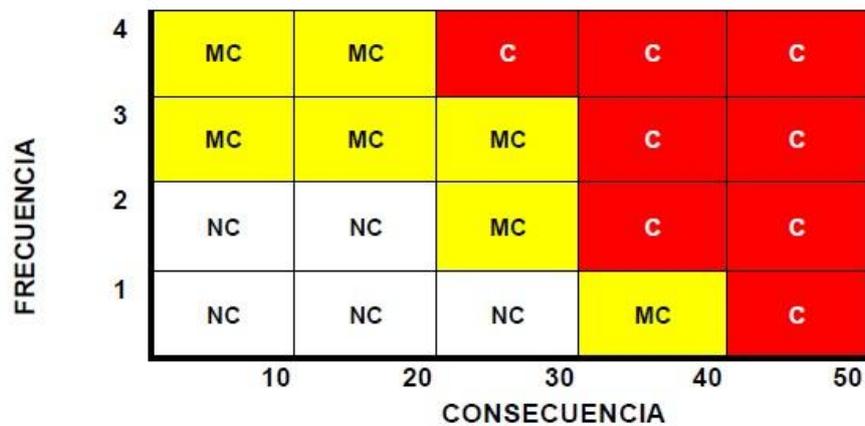
- 8: Riesgo alto de pérdida de vida o daños graves a la salud o medio ambiente que exceden el límite permitido.
- 6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidentes ambientales.
- 3: Daños menores, lesiones, riesgo mínimo de pérdida de vida, incidentes ambientales

recuperables y controlables.

- 1: No existe ningún riesgo ni personal ni ambiental.

Para obtener el resultado final en este análisis se colocan los valores de la consecuencia en el eje horizontal y los valores de la frecuencia en el eje vertical, como se observa en la figura 5-2.

Se toma el sistema del pasivo de fosfato de la planta de pintura como ejemplo para obtener el resultado de la criticidad por este método. Resultados completos en ANEXO B.



**Figura 5-2:** Matriz de criticidad mediante el método ponderado  
Fuente: (PARRA MARQUEZ, 2012)

FF = 3, la cuba 5 de pasivado de fosfato falla un promedio de 2 veces al año.

IO = 7, Se tiene más o menos una pérdida de producción equivalente al 60% ya que la carrocería quedaría prácticamente dañada.

FO = 4, no se cuenta con unidades de reserva.

CM = 2, Su reparación demanda tanto mano de obra como químicos que son muy costosos.

SHA = 8, al tener un químico fuerte dentro de la piscina, al fallar produciría daños graves en la salud del personal, así como un impacto ambiental que sobrepasa el límite permitido.

Al aplicar la fórmula (2) se obtuvo una consecuencia igual a 38, ubicamos los parámetros de FF = 3 y C = 38, en los ejes correspondientes, y se obtuvo que es crítico como muestra la figura 6-2.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	114	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

**Figura 6-2:** Resultados del método ponderado

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 2.4.3.2 Método del flujograma.

Es una técnica netamente cualitativa, sencilla y fácil de aplicar, consiste en seguir las líneas del flujograma conforme se le dé uno de los tres criterios A riesgo alto, B riesgo medio y C es un alto riesgo.

El cuadro de criterios para el diagrama de flujo contempla áreas de impacto como: Seguridad y Salud, medio ambiente, calidad y productividad, producción, tiempos de operación, intervalos entre actividades y tiempos y cotos de mantenimiento, como se muestra en la tabla 2-2, donde en cada área de impacto se explica cuando el impacto tiene un riesgo alto, un riesgo medio o un riesgo bajo.

Para llegar al resultado final, se analiza las áreas de impacto y se sigue el esquema del diagrama de flujo que se muestra en la figura 7-2, donde cada uno de los ítems del flujograma tiene una de las tres posibles respuestas A, B, C direccionándoles a la siguiente área de impacto para de la misma forma analizarla dándole uno de los tres criterios y así sucesivamente hasta llegar al resultado de criticidad.

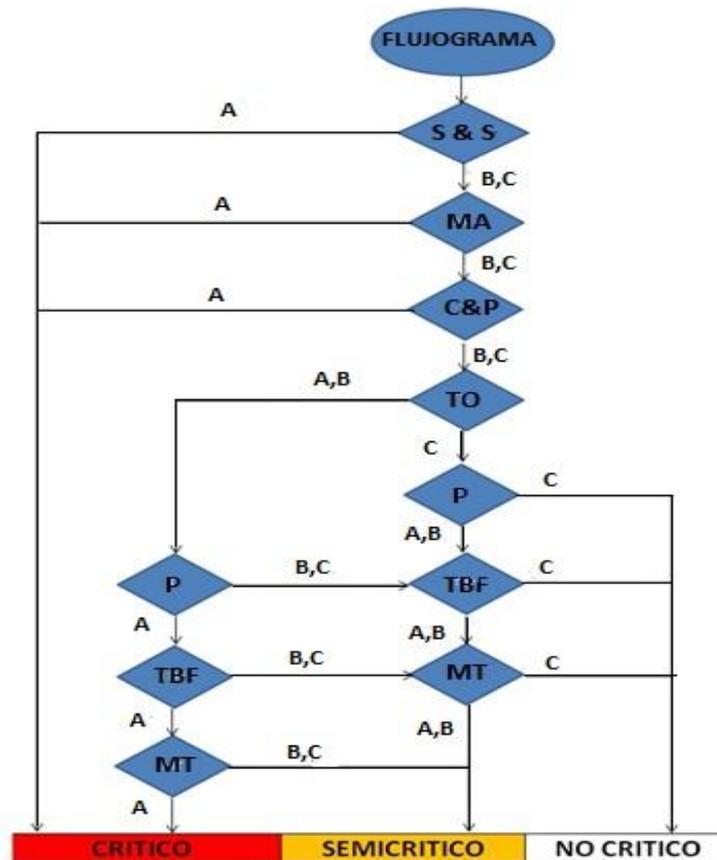
El primer criterio que se debe tomar en cuenta para este análisis es que, si Seguridad y Salud, Medio Ambiente o Calidad y productividad poseen un riesgo alto es decir, tienen un gran impacto, directamente el equipo es crítico sin importar los criterios en las demás áreas de impacto.

**Tabla 2-2:** Secuencia de ítems del diagrama de flujo

<b>CAUSAS DE PARADAS NO PLANEADAS</b>			
<b>AREA DE IMPACTO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>RIESGO ALTO</b>	<b>RIESGO MEDIO</b>	<b>RIESGO BAJO</b>
Seguridad & Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa de personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
Medio Ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad C&P)	Defectos de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de Capacidad		
	Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
<b>OPERACIÓN DE EQUIPOS</b>			
<b>AREA DE IMPACTO</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>RIESGO ALTO</b>	<b>RIESGO MEDIO</b>	<b>RIESGO BAJO</b>
Tiempos de Operación (TO)	24 horas al día	2 turnos 8 horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonables	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En el ANEXO C se puede apreciar el análisis completo de criticidad mediante el diagrama de flujo, a continuación un ejemplo del análisis de criticidad mediante este método, de la misma forma se tomó el sistema de pasivado de fosfato de la planta de pintura de la empresa CIAUTO, quedando de la siguiente manera:



**Figura 7-2:** Flujograma para el análisis de criticidad  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Seguridad y Salud = es riesgo medio B, ya que al haber daños en la piscina de pasivado fosfato, no provoca la muerte, pero sí daños considerables a la salud.

Medio Ambiente = es riesgo alto A, al producirse una falla en la piscina de fosfato, puede tener como consecuencia un derrame de los químicos, factor que provoca daños al medio ambiente y pasa los límites permitidos.

El análisis finaliza ya que MA es de riesgo alto, lo que indica que, pese a que los demás sean de riesgo bajo, este sistema es crítico. Resultado que coincide con el método anterior.

## 2.5 Diagrama de bloques

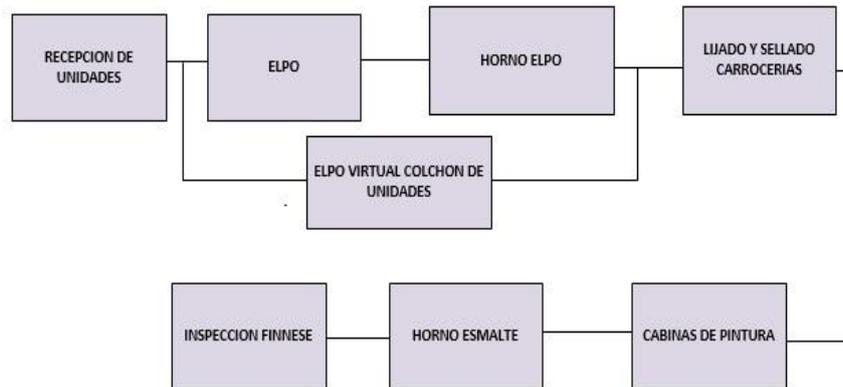
### 2.5.1 *Sistemas en serie.*

Si hay indisponibilidad en una de sus etapas, esta afecta a la disponibilidad de todo el proceso, es decir, falla todo el sistema. Para esquematizar el sistema se debe hacer una evaluación a cada etapa en relación al comportamiento con el proceso, es decir, ¿La

indisponibilidad de una etapa afecta a la disponibilidad del sistema? Pregunta se debe hacer para realizar cualquier diagrama de bloques.

### 2.5.2 *Sistemas en paralelo*

Un sistema en paralelo es aquel en que el funcionamiento de cualquiera de los componentes implica el funcionamiento del sistema. (Prieto Gracia, 2008).



**Figura 8-2:** Diagrama de bloques de la planta de pintura CIAUTO

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

El diagrama de bloques contiene un sistema mixto, se consideró un bloque en paralelo al proceso horno elpo, llamado elpo virtual que es un colchón de unidades donde se almacenan unidades para entrar al proceso de lijado y sellado, la indisponibilidad del horno elpo no afecta a la disponibilidad de todo el sistema, ya que posee un residual de unidades.

## 2.6 Capacidad de la operación

Ya sea que el sistema de una planta sea en serie, paralelo o mixto existe una variable entre estos y es la capacidad de operación, este trabajo técnico presenta los dos casos de sistemas.

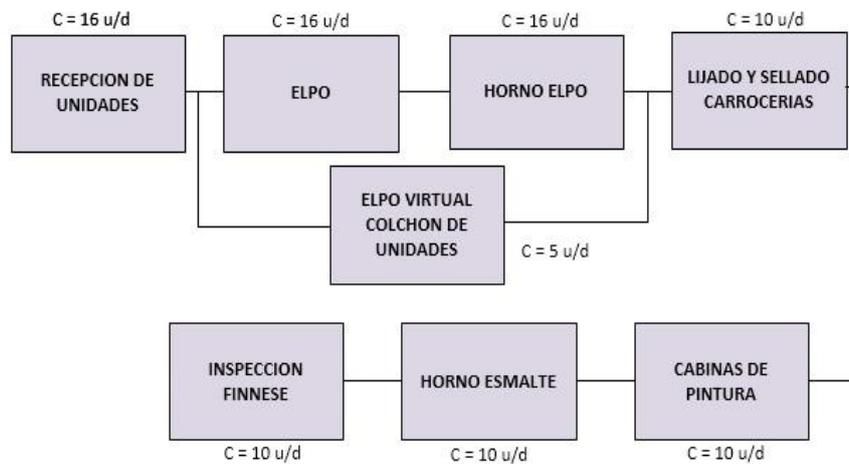
### 2.6.1 *Capacidad en los sistemas en serie.*

Para los sistemas en serie, la capacidad de operación del sistema es igual a la capacidad de la etapa más lenta. (GOLDRATT, 2004). Su capacidad la define la etapa de menor capacidad ya que, si en la etapa anterior hay una mayor capacidad, la de menor capacidad

no podrá producir más productos de los que alcanza, ni la etapa siguiente podrá producir productos que no están listos.

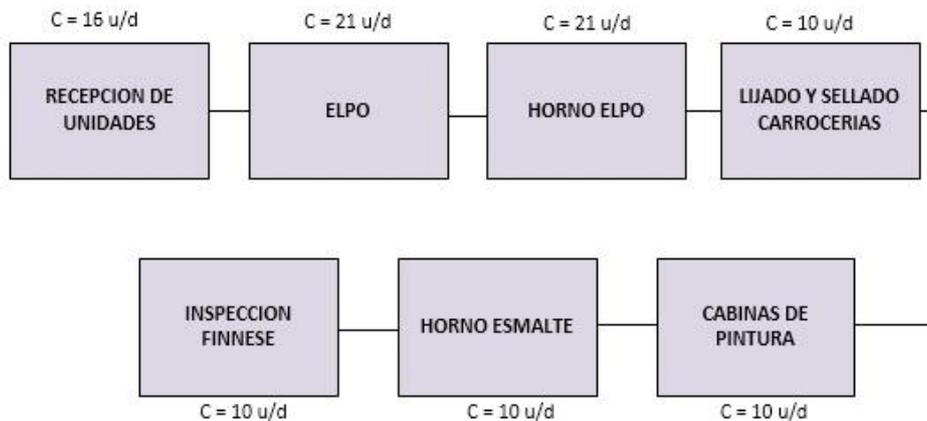
### 2.6.2 Capacidad en los sistemas mixtos.

En la etapa en paralelo será igual a la suma de todas las etapas en el sistema paralelo, de esta manera se obtiene una producción conformada por etapas en serie. En la Figura 9-2, existe un colchón virtual donde se reservan unidades con una capacidad de unidades al día.



**Figura 9-2:** Capacidad de operación en la planta de pintura de CIAUTO  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la figura 10-2 se muestra el diagrama que se simplificó a uno en serie con la capacidad de cada una de las etapas, la capacidad del elpo y el horno elpo es 21 u/d.



**Figura 10- 2:** Capacidad de operación de la planta pintura  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

La Capacidad es igual a la Capacidad más lenta de las etapas, por lo que es igual a 10 u/d.

## 2.7 Fundamentos matemáticos de la disponibilidad

Calcular de manera correcta la disponibilidad, se requiere conocer ciertos tiempos que intervienen bajo condiciones de funcionamiento, para lo cual se realizó un análisis de cada etapa de la planta de pintura, en cuanto a fórmulas y nomenclaturas existen varias maneras de nombrarlos, sin embargo para el presente trabajo de titulación se toma como referencia una sola nomenclatura para calcular la disponibilidad en el sistema de producción.

### 2.7.1 Disponibilidad operacional

Es el porcentaje de que el sistema funcione de manera adecuada, en el momento que se requiere bajo las condiciones de operación normales, suponiendo que se cuentan con los recursos externos, (Giraldo, 2016), se tiene la siguiente expresión:

$$D = \frac{TD}{TR} * 100 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

**TD** = tiempo de disponibilidad

**TR** = Tiempo requerido

$$TD = (TR - TI) \quad \text{Ecuación 4- 2}$$

Donde:

**TI** = Tiempo de indisponibilidad

Al remplazar la ecuación (4) en la (3) se obtiene la siguiente expresión:

$$D = \left( \frac{TR-TI}{TR} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 5-2}$$

### 2.7.2 Disponibilidad de los sistemas en serie en función a la disponibilidad de sus etapas.

La disponibilidad de los sistemas en serie es igual a la sumatoria de la disponibilidad individual de cada etapa disminuido en  $(k - 1)$ , que es el número total de etapas en serie menos uno, lo cual se expresa en la siguiente ecuación: (Hernández, 2016).

$$D_S = \sum_{i=1}^k (D_{esi}) - (k - 1)$$

Donde:

$k$  = número de etapas del sistema

$D_{esi}$  = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie.

### 2.7.3 Disponibilidad de los sistemas en paralelo pasivo en función de la disponibilidad de sus etapas activas y pasivas con $V_{ep} = cte$

Son sistemas de alta disponibilidad que no requieren que todas sus etapas en paralelo cumplan su función simultáneamente durante el tiempo requerido. (RAUSAN, 2004). Su característica principal es que la Capacidad de operación de cada etapa pasiva y activa, son constantes.

$$D_{pp*} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m} D_{epi}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^m TE_{eppi}}{n * TR}$$

Donde:

$D_{pp*}$  = Disponibilidad de un sistemas en paralelo pasivo con  $V_{ep} = cte$

$D_{epi}$  = Disponibilidad individual de cada etapa en paralelo activo y pasivo

$TE_{eppi}$  = Tiempo de espera de cada una de las etapas en paralelo pasivo

$TR$  = Tiempo requerido

$n$  = número de etapas en paralelo activo

$m$  = número de etapas en paralelo pasivo

Un sistema en paralelo con etapas activas y pasivas de Capacidad constante, se caracteriza en que la etapa pasiva entra en funcionamiento cuando la etapa activa tiene indisponibilidad, por lo tanto:

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

Donde:

$TO_{epp}$  = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

#### **2.7.4 Tolerancia a la indisponibilidad.**

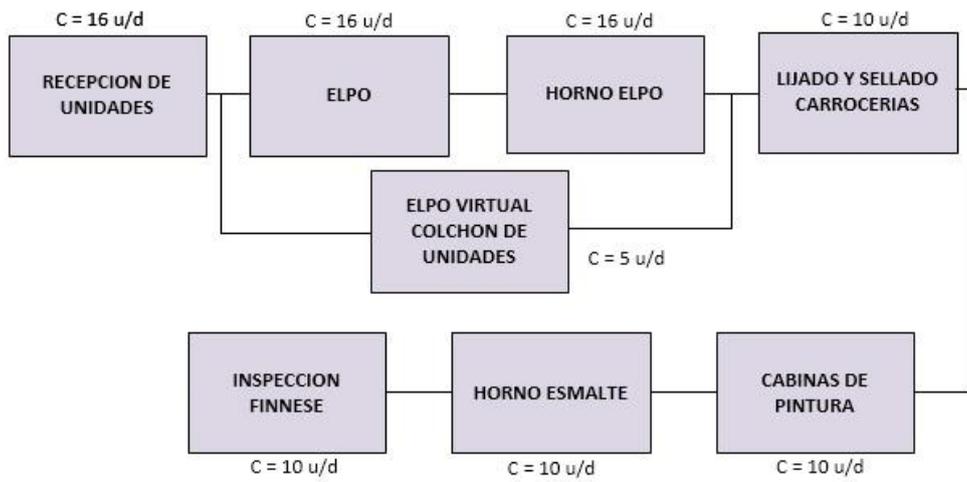
Se refiere a que no existe ningún tipo de consecuencias operacionales ya sea un sistema en serie o paralelo, el acontecimiento de una falla no produce indisponibilidad en el sistema.

Para el estudio, la etapa del elpo virtual tiene un almacenamiento de 5 unidades/día con respecto al elpo y el horno elpo que tienen una producción de 16 unidades/día.

Según los historiales de fallo de la planta de pintura, el horno elpo presentó fallos imprevistos que fueron solucionados en tiempos menores a 4 horas, en este tiempo de indisponibilidad pasaron las unidades del elpo virtual que cubrió las 4 horas para que siga trabajando la etapa de cabina de lijado y sellado, finalmente en las próximas 4 horas para completar la jornada de trabajo el horno elpo siguió en el proceso de carrocerías, en conclusión en el horno elpo no se presentan consecuencias operacionales.

De la misma manera se analizó los historiales de fallo de la planta de pintura, donde la etapa del elpo presentó paros imprevistos que se repararon en un tiempo mayor a 4 horas, el elpo virtual cubre este tiempo indisponible permitiendo que la planta siga trabajando, una vez que pasaron las 4 horas toda la planta entra en estado de indisponibilidad por falta de unidades en el elpo virtual.

En la figura 11- 2 se observa la estructura del diagrama de bloques del proceso en la planta pintura con la capacidad de cada etapa.



**Figura 11-2:** Diagrama de bloques de la planta de pintura

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

## CAPÍTULO III

### 3. ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA.

#### 3.1 Descripción y estado actual de la gestión de mantenimiento de CIAUTO.

##### 3.1.1 Descripción del proceso de pintura en la empresa CIAUTO.

La planta de pintura se encuentra dividida en varias áreas: recepción de unidades, elpo, horno elpo, cabina de lijado y sellado, casa de aire, cabina de pintura, horno esmalte, Finesse, exteriores, sala de mezclas, plásticos y tratamiento de aguas, se distingue en el ANEXO D.



**Grafico 1-3:** Proceso de desengrase por aspersion directa sobre la carrocería CIAUTO

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

El proceso de pintado de las carrocerías en la planta se ejecuta después del ensamblaje y antes de comenzar el montaje de los demás elementos. En esta parte del proceso la

carrocería aun desnuda, se somete a diferentes tratamientos recibiendo productos protectores como de perfeccionamiento en las áreas del elpo y cabinas. Los avances en dicho proceso van de la mano con el proceso en las cubas empezando por limpieza, desengrasado, fosfatado, pasivado, electrodeposición, enjuagues, secado, lijado, sellado, aplicación de fondo, pintura y barniz.

La limpieza y desengrasado se ejecuta con el fin de eliminar de las superficies de la carrocería grasas, polvos, suciedades y demás que pueden llegar desde el proceso de soldadura además de garantizar una perfecta adherencia de los productos que se colocaran en ellas, el proceso se realiza manualmente seguido de una aspersion a presión normal, así como inmersión usando soluciones de gran poder desengrasante. Los tiempos, temperatura dentro de la cuba y la agitación de la carrocería se establecen de acuerdo a parámetros de calidad, así como medición de espesores en las cubas de fosfatado y electrodeposición. Para concluir esta etapa, se somete la carrocería a un lavado y rociado de agua desmineralizada.

El proceso de fosfatado es un tratamiento químico donde la superficie metálica se sumerge en compuestos de ácido fosfórico, fosfatos de zinc y otros acelerantes a una temperatura promedio de 40° C, el tiempo de agitación de la carrocería en esta cuba es más o menos de 6 minutos, su espeso depende de estos factores para formar una capa micro cristalina de fosfato de zinc el cual ayuda a la carrocería a evitar las humedades y la corrosión del medio ambiente. Siguiendo el proceso, el pasivado maximiza el tratamiento anticorrosivo dado por el fosfatado limpia y cubre las superficies de contacto aumentando la adherencia.



**Grafico 2-3: Proceso de pasivado de fosfato CIAUTO**

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la electrodeposición la carrocería se sumerge en pintura anticorrosiva que es la primera capa que recibe por medio de corriente eléctrica. La carrocería viene conectada al polo negativo por medio de una pinza en el carga bus y la cuba está conectada al polo positivo.



**Grafico 3-3:** Proceso de electrodeposición sobre la carrocería CIAUTO

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

El principio de aplicación de pintura es que mediante la corriente eléctrica en un rango de voltaje de 100 a 400 voltios las partículas se pegan a la estructura porque los polos iguales se repelen y los polos diferentes se atraen a una temperatura de 32° C y un tiempo promedio de 8,5 minutos con una agitación de arriba hacia abajo para llegar a un espeso de 18 a 25 micras que es lo óptimo en control de calidad seguido como parte final de un proceso de enjuague con agua anolítica y agua desmineralizada para proceder a un secado en el horno a temperatura de 175 ° C.

Después del curado pasa la carrocería a ser pulida en el proceso de lijado, se elimina los excesos dejados por el elpo seguido del calafateo bajo piso que consiste en sellar todas las aberturas de la carrocería para entrar al procesos de pintura en cabinas, donde se aplican las capas de fondo, pintura y barniz en esta etapa existe u proceso de aire, donde las partículas que no se adhieren a la carrocería caen por un proceso de humificación y son llevadas por una recirculación de agua que viene desde los exteriores de la planta.

Como parte final del proceso la carrocería entra al horno de esmaltada donde se secan las aplicaciones de producto para llegar a un punto de inspección, Finesse, donde se da un

retoque y se inspecciona los puntos, suciedades, rugosidades, piel de naranja dejadas en el proceso de secado.



**Grafico 4-3:** Punto de inspección de calidad Finesse CIAUTO  
Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### **3.2 Descripción de la gestión actual del mantenimiento en la planta de pintura**

La empresa desde su creación ha tenido una evolución creciente tanto en maquinaria, producción y por ende mantenimiento, estableciéndose este último en acciones de tipo preventivas, es decir, posee un plan de mantenimiento preventivo establecido para las 74 máquinas de la planta de pintura con actividades, frecuencias y cumplimiento de tareas especificadas por la herramienta de Excel, así como los mantenimientos correctivos planificados.

Lo relevante es que pese a la existencia de este plan de mantenimiento preventivo, las fallas imprevistas en la maquinaria se siguen presentando de forma fortuita y generando tiempos de indisponibilidad, además la gestión en la planta cuenta con modelos de prueba en cuanto a control de bodega, costos de mantenimiento, indicadores KPI, análisis predictivo lo que hace que el área de mantenimiento sea infructífero ya que por ser modelos de prueba el seguimiento de estas actividades no es continua y no se cuantifica ni se calcula de acuerdo a la normativa vigente.

Lo que tiene la planta definido y establecido son las fichas técnicas de los activos físicos, manuales y folletos de los fabricantes de cada máquina, lo que ha ayudado a establecer las

frecuencias del plan y check list que se llenan diariamente por parte de los operarios para su respectivo seguimiento en el departamento de mantenimiento.

### **3.2.1 Funciones que ejecuta el personal de mantenimiento**

El personal técnico tiene como prioridad dar cumplimiento semanal al plan de mantenimiento, así como actividades complementarias, mantenimientos correctivos, implementaciones, encendido y control de procesos, apoyo a producción en problemas menores, registro de temperaturas de operación para el personal de producción, facilitar herramienta a los operarios y cumplimiento de órdenes de trabajo.

#### **3.2.1.1 Turnos de trabajo**

El personal encargado de la gestión y personal técnico de mantenimiento en la planta de pintura tiene un horario rotativo de 3 turnos de lunes a domingo:

- Primer turno de 07:00 – 16:00
- Segundo turno de 14:00 – 23:00
- Tercer turno de 22:00 – 07:00

Los fines de semana se programan actividades fuera del plan de mantenimiento el cual requiere de la presencia de los técnicos fuera de su horario normal de trabajo.

### **3.2.2 Organigrama estructural del departamento de mantenimiento.**

En el ANEXO E se presenta el organigrama con una estructura vertical del departamento de mantenimiento, la planta analizada es pintura cabe mencionar que el coordinador y asistente del área tiene a cargo las tres plantas y su respectiva gestión. Se puede evidenciar que el técnico líder de pintura tiene como cargo específico generar planes de mantenimiento para la planta, auditoria del plan, inventario de herramientas al personal, control de consumo de combustible, revisión de check list, generación de indicadores que están en su etapa de prueba y apoyo en actividades requeridas en la planta.

### **3.2.3 Descripción del plan de mantenimiento preventivo de la planta de pintura.**

La correcta ejecución del plan de mantenimiento se constituye al realizar una serie de tareas con frecuencias, actividades, materiales y recursos establecidos buscando minimizar

las estadísticas de falla inesperadas en las máquinas y procesos; dicho esto la manera más viable de realizar un plan de mantenimiento es seguir la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).

El plan de mantenimiento preventivo de la planta, lamentablemente no cuenta con esta metodología ya que se elaboró tomando parámetros basados en instrucciones del fabricante, protocolos de mantenimiento y la experiencia del personal técnico enfocándose solo en tarea de inspección, limpieza y revisión de máquinas dejando a un lado tareas que involucren el seguimiento de estado de elementos internos como rodamientos, elementos sometidos a constante fricción, vibración, temperatura, medición de holguras, alineaciones, calibración de instrumentación y demás.

En el ANEXO F se puede visualizar el plan de mantenimiento preventivo de la semana 20 que muestra las 524 tareas para las 74 máquinas operativas.

El modo de ejecutar el plan de mantenimiento preventivo por parte de los técnicos empieza con la generación semanal del plan por parte de la herramienta Excel-Macro diseñado por el área de mantenimiento que toma tareas de una base de datos y las ajusta a la frecuencia que tienen ya establecidos cada equipo. En cuanto a las frecuencias, tienen estipulado de manera empírica con un promedio entre tareas tomando en cuenta que las consecuencias de las fallas no sean tan abruptas y generen un paro imprevisto. Una vez generado el plan de mantenimiento preventivo de la semana, los técnicos se distribuyen las tareas mediante el uso de colores, cada técnico tiene un color designado que le indica el tipo de tarea y tiempo específico las cuales deben ser cumplida en el transcurso de la semana.



**Grafico 5-3:** Cumplimiento de tareas de lubricación  
bomba B4 Activación de sustrato  
**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Dentro de las tareas del departamento de mantenimiento también está la elaboración de un informe de actividades diarias del personal cuyo objetivo es exponer de forma ordenada información requerida y detallada de las acciones realizadas a lo largo de la jornada de trabajo.

Los documentos técnicos que la planta posee es una recopilación de manuales de fabricación, planos de construcción e instalación de componentes y equipos, planos eléctricos, diagramas de mando y potencia, despieces, así como las características de funcionamiento de cada sistema que aportan gran información para los mantenimientos y posibles fallas que se presenten en los mismos.

#### **3.2.4 *Mantenimiento correctivo planificado***

El mantenimiento correctivo planificado se establece mediante la previsión de una fecha de paro general en la producción, dicho paro se registró en la segunda semana de octubre del año 2017 (semana 41); de manera que se efectuó un listado de tareas a ejecutar sobre los equipos en dicha oportunidad, aprovechando realizar correcciones de fallas, reparaciones, recambios o ajustes que no serían factibles con los equipos en funcionamiento ya que ciertos procesos de producción requieren un permanente estado operativo de maquinaria en ciertos casos las 24 horas del día.

Para planificar mantenimientos correctivos es vital la compra de repuestos, materiales y suministros con anticipación, contando con el personal técnico que en dicha semana tuvo que laborar turnos de 12 horas diarias para cumplir con las tareas programadas.

#### **3.2.5 *Adquisición de consumibles, equipos de seguridad repuestos y control de bodega.***

La adquisición de materiales y suministros se hace mediante una petición directa a la bodega general de la empresa, la misma que cuenta con un stock medio en cuanto a los consumibles que usan en las tareas de mantenimiento a realizar.

Mensualmente se deberá revisar el número de los materiales y suministros a fin de proveer elementos de trabajo que optimicen la eficiencia del personal y que garanticen un trabajo eficiente, en caso ocurrir alguna anomalía en la adquisición, será necesaria la presentación de un informe que explique los motivos.

En cuanto a los documentos las fichas técnicas de las máquinas de la planta contienen información clara y precisa, con la finalidad de tener una breve ilustración de las características técnicas aplicando el máximo detalle para entender su contexto operacional, se actualizan periódicamente sin cambiar su función principal. El documento es de uso interno y está dirigido a los técnicos, auditores, proveedores para conocer en resumen los manuales de operación y fabricación.

**Tabla. 1-3:** Modelo de ficha técnica establecido en la planta de pintura de CIAUTO

	<b>FICHA TECNICA MAQUINARIA CIAUTO</b>		Código:	SOP-04-OTR-02
	SOP-04 GESTION DE MANTENIMIENTO		Versión:	02
MÁQUINA: BOMBA CENTRIFUGA B1-CUBA 1. Predesengrase Aspersión	ESPECIFICACIONES		Fecha Emisión:	2013-11-13
			NOVEDADES	
	<b>MOTOR</b>			
	MODELO	YE2-160M1-2		
	NÚMERO DE SERIE	008RT		
	STD. No.	JB/T8680-2008		
	FABRICANTE	Jiangsu Dazhong Electric Motors Co.		
	<b>PERIÓDO DE INSTALACIÓN</b>			
	Desde	01/04/2015		
	Hasta	01/12/2015		
	<b>SISTEMA ELÉCTRICO MOTOR</b>			
	Potencia	11 KW		
	Frecuencia	60 Hz		
	RPM	3530 RPM		
	VOLTAJE	380 V AC		
	AMPERAJE	20,8 A		
	COS (Ø)	0,89		
	IP	55		
	PESO	119 Kg		
	CONEXIÓN	Δ		
	RENDIMIENTO	90,20%		
	AÑO DE FABRICACION	2015		
	ESTADO DE LA MAQUINARIA	OPERATIVO		
	TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 AÑOS		
	UBICACIÓN	PLANTA DE PINTURA		
	PROCEDENCIA	CHINA		
	<b>BOMBA CENTRÍFUGA</b>			
MODELO	CYIH100-80-125			
NÚMERO DE SERIE	2015181			
STD. No.	JB/T10563-2006			
FABRICANTE	Jiangsu Xintai Pump & Valve Manufacturing Co.			
<b>SISTEMA MECANICO</b>				
POTENCIA	11 KW			
ALCANCE	20 m			
VELOCIDAD	2900 RPM			
CAPACIDAD	100 m3/h			
AÑO DE FABRICACION	2015			
ESTADO DE LA MAQUINARIA	OPERATIVO			
TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 AÑOS			
UBICACIÓN	PLANTA DE PINTURA			
PROCEDENCIA	CHINA			

Fuente: Área de mantenimiento planta de pintura

### 3.3 Evaluación inicial de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

En la empresa se produjeron 2 apagones por razones de la empresa eléctrica que fueron en Febrero y Octubre con un tiempo de 8 horas, este tiempo se considera como tiempo no requerido, ya que al no haber el suministro de energía eléctrica las máquinas no pueden operar aunque estén en estado de disponibilidad, entonces no es requerido su funcionamiento.

Después de realizar el inventario de equipos bajo la norma ISO 14224, se realizó un estudio de criticidad, en la tabla 2 - 3 se puede observar los resultados del Método ponderado y el diagrama de flujo.

**Tabla. 2-3:** Resultados de criticidad de equipos mediante los dos métodos.

EQUIPOS	METODO PONDERADO	DIAGRAMA DE FLUJO
TECLE DE RECEPCION	NO CRITICO	●
CARGO BUS 1	SEMICRITICO	●
CARBO BUS 2	SEMICRITICO	●
CARBO BUS 3	SEMICRITICO	●
CARGO BUS 4	SEMICRITICO	●
CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERCIÓN	NO CRITICO	●
CUBA 2 DESENGRASE POR INMERSIÓN	CRITICO	●
CUBA 3 ENJUAGUE DESENGRASE INMERSIÓN	NO CRITICO	●
CUBA 4 ACTIVACIÓN SUSTRATO INMERSIÓN	NO CRITICO	●
CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO	CRITICO	●
CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	SEMICRITICO	●
CUBA 7 FOSFATO INMERSIÓN	NO CRITICO	●
CUBA DE TRANSFERENCIA	NO CRITICO	●
CUBA E-COAT	CRITICO	●
CUBA 8 ENJUAGUE	SEMICRITICO	●
CUBA 9 ENJUAGUE DEL ULTRAFILTRADO	SEMICRITICO	●
CUBA 10 ENJUAGUE DE AGUA	SEMICRITICO	●
TECHO ELPO	NO CRITICO	●
HORNO ELPO	CRITICO	●
TECLE DE SALIDA ELPO	NO CRITICO	●
LIJADO Y SELLADO	CRITICO	●
CASA DE AIRE	SEMICRITICO	●
CABINAS DE PINTURA	CRITICO	●
HORNO ESMALTE	CRITICO	●
FINNESE	SEMICRITICO	●
EXTERIORES	SEMICRITICO	●
SALA DE MEZCLAS	CRITICO	●
TRATAMIENTO DE AGUAS	NO CRITICO	●
PLASTICOS	NO CRITICO	●

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.3.1 Diagrama de bloques en la planta de pintura CIAUTO

Para realizar el diagrama de bloques de la planta de pintura se identifica las etapas que intervienen en la planta y estas son: Recepción de unidades, elpo, horno elpo, cabina de lijado y sellado, casa de aire, cabina de pintura, horno esmalte, finnese, exteriores, sala de mezclas, tratamiento de aguas y plásticos.

Se analizó cada etapa y algunas de ellas forman parte de otra etapa por lo que aparecen una sola vez en el diagrama de bloques, casa de aire y sala de mezclas pertenecen a cabina de pintura, la función de casa de aire dentro de la cabina es dar una impulsión a las partículas de pintura para formar un remolino el cual se dirige al suelo, sala de mezclas es la etapa donde se hacen las mezclas y dota de pintura a la cabina.

Tratamiento de agua es parte de la etapa del elpo ya que es la encargada de controlar las piscinas donde se sumerge la carrocería. Exteriores es la etapa de equipos que se encuentran fuera del galpón de pintura, pero mantienen en funcionamiento a la planta, es la etapa más importante pero no se toma en cuenta ya que en el año 2017 no se registran paros imprevistos.

La etapa de plásticos no se tomó en cuenta ya que es donde se pintan las partes de la carrocería como guardachoques, guardafangos, etc., es decir los repuestos y no pasan por el elpo ni el horno elpo. Por lo tanto, tampoco se tomará en cuenta para los cálculos.

En el proceso de pintura la carrocería pasa tres veces por cabina de pintura y tres veces por horno esmalte, ingresa al proceso denominado por la empresa como “*primer*” que es la primera capa de fondo plomo para luego pasar al horno esmalte, por segunda vez ingresa a cabina de pintura para el proceso “*pintura*” que es la aplicación del color de la carrocería y vuelve a pasar por horno esmalte, la carrocería por tercera vez pasa a cabina de pintura para el proceso denominado “*barniz*” que es la última capa que da brillo y estética; por esta razón cabina de pintura y horno esmalte aparecen una vez en el diagrama de bloques.

Las etapas que quedan son: recepción de unidades, elpo, horno elpo, cabina de lijado y sellado, cabina de pintura, horno esmalte y finnese; con las que se realizó el diagrama de bloques con ayuda de una pregunta, ¿Si falla la etapa se para todo el proceso? Por ejemplo, sí en la etapa elpo una piscina falla todo el proceso si se para, entonces está en serie.

En la figura 1-3 se observa una etapa en paralelo al elpo y al horno elpo llamado elpo virtual colchón de unidades que representa a un almacenamiento de unidades que funciona cuando las etapas mencionadas entran en estado de indisponibilidad.



**Figura. 1-3:** Diagrama de bloques con la etapa en paralelo.

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.3.2 Disponibilidad de cada etapa de la planta de pintura

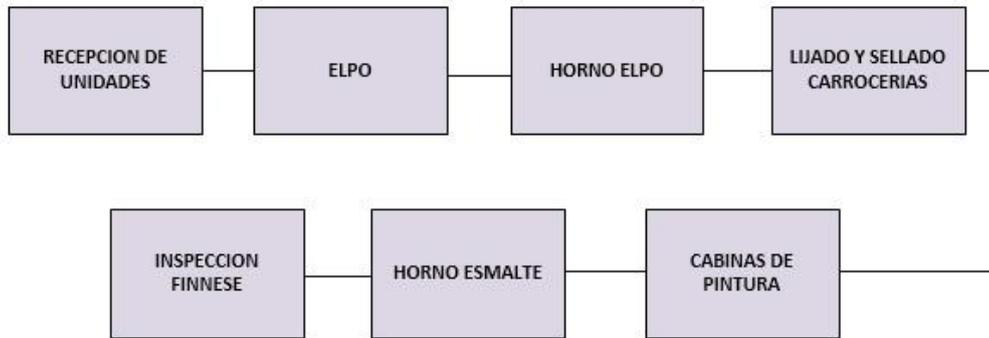
En los reportes de fallos de la planta en el año 2017 se visualiza que los tiempos de paro no son los mismos a los tiempos de reparación, muchas de las veces no hay una intervención inmediata o repuesta disponible para reparar la avería. En cada etapa se sumarán estos tiempos de indisponibilidad para analizar las etapas que tengan un menor porcentaje de disponibilidad.

Para el cálculo de la disponibilidad general del sistema, se analizó primero las etapas en paralelo. El elpo virtual cubre 4 horas de trabajo si es que la etapa del elpo u horno elpo entran en estado de indisponibilidad.

Según reportes e historiales de fallo de la planta de pintura del año 2017 el proceso horno elpo tuvo 6 fallas imprevistas con un tiempo indisponible menor a 4 horas, gracias al colchón virtual que almacena unidades el proceso no entró en estado de indisponibilidad por lo que la disponibilidad del horno esmalte fue del 100%.

En cuanto al elpo, los reportes de historiales de fallos muestran que no todos los fallos imprevistos son menores a 4 horas, también tuvo fallos mayores a cuatro horas, esto

permite que las etapas se puedan reducir a una sola como se muestra en la Figura 2-3, donde se le dejó solo la etapa de horno elpo.



**Figura. 2-3:** Diagrama de bloques en serie

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Como se mencionó en el capítulo II la etapa de paralelo cubre la indisponibilidad total de la etapa del horno elpo por lo que se le considera como cero horas, pero no cubre toda la indisponibilidad del elpo, ya que sus tiempos de indisponibilidad sobrepasan las 4 horas.

De acuerdo a los historiales de fallo, se obtuvieron los tiempos de indisponibilidad de cada subsistema del elpo y se restó a cada uno 4 horas que cubre el elpo virtual. En la tabla 3-3 se observan los tiempos de indisponibilidad de cada subsistema menos 4 horas.

**Tabla. 3-3:** Tiempos de indisponibilidad del elpo con la etapa en paralelo.

N°	SUBSISTEMAS DE ELPO	Tiempo indisponible (min)	Tiempo indisponible TI (horas)	TI FINAL
1	CARGO BUS 1	720	12,00	8,00
2	CARGO BUS 2	600	10,00	6,00
3	CARGO BUS 3	3330	55,50	51,50
4	CARGO BUS 4	120	2,00	0,00
5	CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERCIÓN	660	11,00	7,00
6	CUBA 2 DESENGRASE POR INMERSIÓN	570	9,50	5,50
7	CUBA 3 ENJUAGUE DESENGRASE INMERSIÓN	150	2,50	0,00
8	CUBA 4 ACTIVACIÓN SUBSTRATO INMERSIÓN	60	1,00	0,00
9	CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO	6630	110,50	106,50
10	CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	390	6,50	2,50
11	CUBA 7 FOSFATO INMERSIÓN	300	5,00	1,00
12	E-COAT	12600	210,00	206,00
13	CUBA 8 ENJUAGUE	510	8,50	4,50
14	CUBA 9 ENJUAGUE DEL ULTRAFILTRADO	0	0,00	0,00
15	CUBA 10 ENJUAGUE DE AGUA	300	5,00	1,00
			TOTAL	399,50

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Luego se calculó la disponibilidad general del sistema, donde se sumó los tiempos de indisponibilidad de cada etapa, mismos que fueron analizados desde los reportes del departamento de mantenimiento donde llevan un control de las tareas realizadas, mantenimientos y reparaciones con sus respectivos tiempos.

En la planta de pintura, los días laborables en los que pintan las carrocerías no son constantes, desde cabina de lijado y sellado en adelante trabajan más días que la etapa del elpo porque aparte de las carrocerías también ingresan los plásticos.

Para cuantificar el tiempo requerido se tomó en cuenta los días en los que se pintaron netamente carrocerías.

A continuación, en la tabla 4-3 se muestra que en el año 2017 se trabajaron jornadas de 8 horas con un total de 160 días laborables, por lo que el producto nos genera el tiempo requerido.

**Tabla. 4-3:** Tiempo requerido de cada etapa

N°	ETAPAS	Jornada de trabajo (horas)	Días laborables	Tiempo Requerido TR (horas)
1	RECEPCION DE UNIDADES	8	160	1280
2	ELPO	8	160	1280
3	HORNO ELPO	8	160	1280
4	CABINA DE LIJADO Y SELLADO	8	160	1280
5	CABINA DE PINTURA	8	160	1280
6	HORNO ESMALTE	8	160	1280
7	FINNESE	8	160	1280

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Para el cálculo de la disponibilidad a partir de los tiempos de indisponibilidad de cada etapa se utilizó la ecuación (5-2), se tomó un ejemplo para la etapa de recepción de unidades donde existe un tiempo de indisponibilidad de 6 horas en el año 2017 con un tiempo requerido de 1280 horas, entonces su disponibilidad es la siguiente:

$$D = \left( \frac{TR - TI}{TR} \right) * 100$$

$$D = \left( \frac{1280-6}{1280} \right) * 100$$

$$D = (0,9953) * 100$$

$$D = 99,53 \%$$

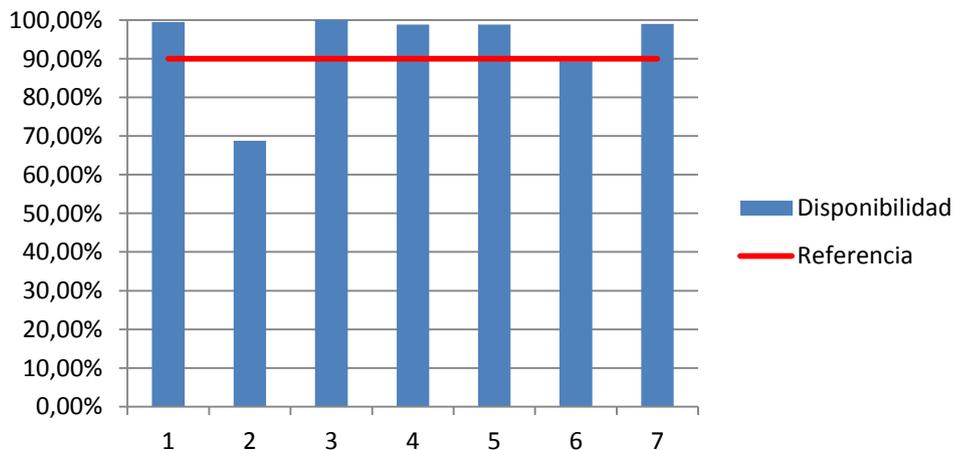
El mismo método se utilizó para calcular la disponibilidad de las etapas restantes de la planta de pintura, en la tabla 5-3 se presentan los tiempos indisponibles con la disponibilidad de cada etapa.

**Tabla. 5-3:** Tiempos de disponibilidad de cada etapa de la planta de pintura

Nº	ETAPAS	Tiempo indisponible	Tiempo Requerido	DISPONIBILIDAD
1	RECEPCION DE UNIDADES	6,00	1280	99,53%
2	ELPO	399,50	1280	68,79%
3	HORNO ELPO	0,00	1280	100,00 %
4	CABINA DE LIJADO Y SELLADO	14,50	1280	98,87%
5	CABINA DE PINTURA	15,00	1280	98,83%
6	HORNO ESMALTE	136,00	1280	89,38%
7	FINNESE	12,00	1280	99,06%
	TOTAL	583,00	1280	

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Establecemos un porcentaje de referencia del 90% para observar las etapas con menor disponibilidad como muestra la figura 3-3, donde se observa el Elpo y el Horno esmalte se encuentran bajo el límite de referencia.



**Figura. 3-3:** Grafica de la disponibilidad de las etapas con el límite

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.3.3 Disponibilidad general del sistema.

Luego de obtener los datos de cada etapa, se sumó todos los tiempos de indisponibilidad para calcular la disponibilidad general de la planta de pintura de la siguiente forma:

$$TR = 1280 \text{ horas}$$

$$TI = 583,00 \text{ horas}$$

$$D = \left( \frac{TR - TI}{TR} \right) * 100$$

$$D = \left( \frac{1280 - 583}{1280} \right) * 100$$

$$D = 54,45 \%$$

### 3.4 Evaluación de las etapas de baja disponibilidad de la planta de pintura

Con la evaluación inicial de cada etapa se obtuvo que las etapas que están bajo el límite de disponibilidad son: elpo y horno esmalte, por tanto se analizará cada una de las etapas con los sistemas y equipos que intervienen en cada etapa gracias al inventario realizado.

#### 3.4.1 Análisis inicial de los sistemas en la etapa del ELPO

Con el inventario realizado en la planta de pintura en elpo existen los siguientes subsistemas:

- Cargo bus 1
- Cargo bus 2
- Cargo bus 3
- Cargo bus 4
- Cuba 1: Desengrase por aspersion
- Cuba 2: Desengrase por inmersión
- Cuba 3: Enjuague desengrase por inmersión
- Cuba 4: Activación substrato inmersión
- Cuba 5: Pasivado del fosfato
- Cuba 6: Enjuague fosfato inmersión
- Cuba 7: Fosfato inmersión
- Cuba de transferencia
- Cuba E-coat

- Cuba 8: Enjuague
- Cuba 9: Enjuague del ultrafiltrado
- Cuba 10: Enjuague de agua
- Extractores del techo
- Ventiladores del techo

De los sistemas expuestos no se tomó en cuenta ciertas etapas del sistema como: cuba de transferencia ya que en ésta se vacían las otras para hacer mantenimiento, pero en el año no se presentó ninguna falla ni mantenimiento correctivo; extractores y ventiladores de techo porque en el año tampoco se presentó un paro imprevisto.

### 3.4.1.1 Cálculo de la disponibilidad de los subsistemas en el ELPO

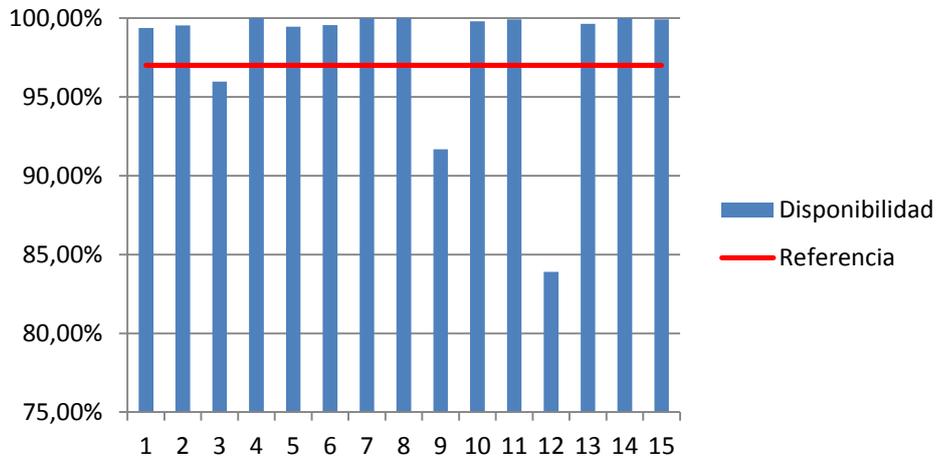
Para calcular la disponibilidad de los subsistemas del elpo se revisaron los tiempos de indisponibilidad que se dieron en el año 2017, se tomó el tiempo requerido de 1280 horas al año, mismo dato que se mantendrá constante para el resto de subsistemas del elpo como también para los subsistemas del horno esmalte y se aplicó la fórmula de disponibilidad. En la tabla 6-3 se muestran la disponibilidad de los subsistemas del elpo.

**Tabla. 6-3:** Disponibilidad del sistema elpo

N°	SISTEMAS DE ELPO	Tiempo indisponibilidad TI (horas)	TR	DISPONIBILIDAD
1	CARGO BUS 1	8,00	1280	99,38%
2	CARGO BUS 2	6,00	1280	99,53%
3	CARGO BUS 3	51,50	1280	95,98%
4	CARGO BUS 4	0,00	1280	100,00%
5	CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERCIÓN	7,00	1280	99,45%
6	CUBA 2 DESENGRASE POR INMERSIÓN	5,50	1280	99,57%
7	CUBA 3 ENJUAGUE DESENGRASE INMERSIÓN	0,00	1280	100,00%
8	CUBA 4 ACTIVACIÓN SUBSTRATO INMERSIÓN	0,00	1280	100,00%
9	CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO	106,50	1280	91,68%
10	CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	2,50	1280	99,80%
11	CUBA 7 FOSFATO INMERSIÓN	1,00	1280	99,92%
12	E-COAT	206,00	1280	83,91%
13	CUBA 8 ENJUAGUE	4,50	1280	99,65%
14	CUBA 9 ENJUAGUE DEL ULTRAFILTRADO	0,00	1280	100,00%
15	CUBA 10 ENJUAGUE DE AGUA	1,00	1280	99,92%
	TOTAL	399,50	1280	

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

La disponibilidad de cada subsistema es menor a 97% esa es la referencia para la figura 4-3 donde hay 3 subsistemas bajo el límite: cargo bus 3, cuba 5 pasivado fosfato y e-coat.



**Figura. 4-3:** Grafica de la disponibilidad de la etapa ELPO  
Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.4.2 Análisis inicial de los subsistemas de la etapa HORNO ESMALTE

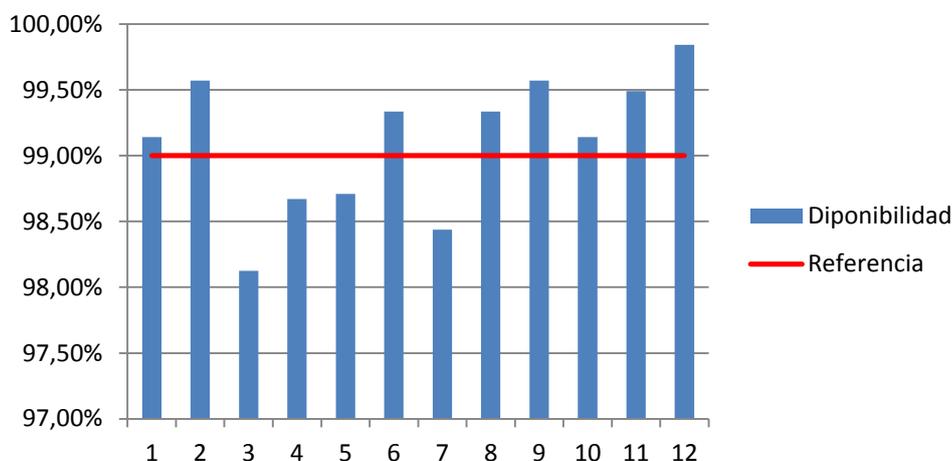
En la tabla 7-3 se muestra la disponibilidad de cada subsistema de la etapa del horno esmalte, calculados de la misma forma que se calculó en la etapa anterior.

**Tabla. 7-3:** Sistema del sistema horno esmalte

Nº	SISTEMAS DE HORNO ESMALTE	Tiempo indisponible TI (horas)	TR	DISPONIBILIDAD
1	EXTRACTOR 1	11,00	1280	99,14%
2	CORTINA DE AIRE 1	5,50	1280	99,57%
3	VENTILADOR CASA DE AIRE 1	24,00	1280	98,13%
4	QUEMADOR 1	17,00	1280	98,67%
5	QUEMADOR 2	16,50	1280	98,71%
6	RETORNO DE GASES 1	8,50	1280	99,34%
7	VENTILADOR CASA DE AIRE 2	20,00	1280	98,44%
8	RETORNO DE GASES 2	8,50	1280	99,34%
9	CORTINA DE AIRE 2	5,50	1280	99,57%
10	EXTRACTOR 2	11,00	1280	99,14%
11	VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	6,50	1280	99,49%
12	CONVEYER	2,00	1280	99,84%
TOTAL		136,00	1280	

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la figura 5-3 se muestra el porcentaje de referencia que es del 99% y los subsistemas bajo esta referencia son: Ventilador casa de aire 1 y 2, Quemador 1 y 2.



**Figura. 5-3:** Grafica de la disponibilidad en Horno esmalte  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.4.3 *Tiempos de indisponibilidad de las etapas ELPO y HORNO ESMALTE*

Los tiempos de indisponibilidad en el año 2017 en la planta de pintura se muestra en la tabla 8-3 de las cuales se analizará las fallas más recurrentes para establecer estrategias que ayudarán a optimizar la disponibilidad de las etapas y por ende del proceso.

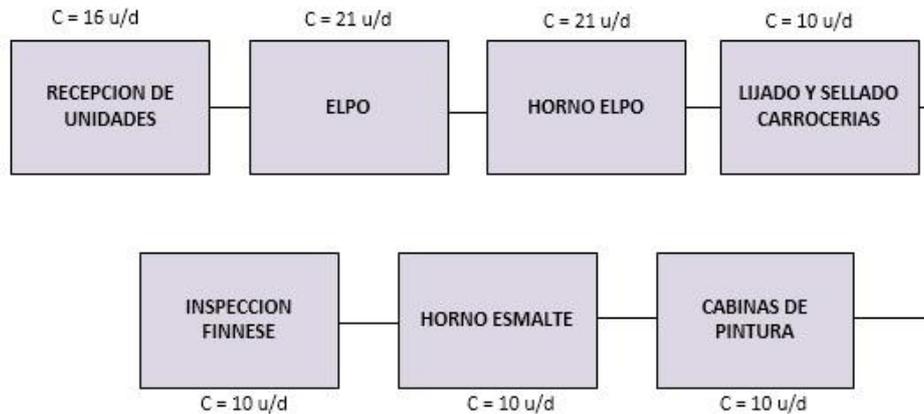
**Tabla. 8-3:** Resultados de los sistemas bajo el límite de disponibilidad

PLANTA	ETAPA	SUBSISTEMAS	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD AL AÑO (horas)	
PINTURA CIAUTO	ELPO	CARGO BUS 3	51,50	
		CUBA 5 PASIVADO FOSFATO	106,50	
		E-COAT	206,00	
	HORNO ESMALTE		VENTILADOR CASA DE AIRE 1	24,00
			VENTILADOR CASA DE AIRE 2	20,00
			QUEMADOR 1	17,00
			QUEMADOR 2	16,50

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 3.5 **Consecuencias de la indisponibilidad de la planta de pintura.**

Las consecuencias de los tiempos de indisponibilidad de la planta se cuantificaron con el número de carrocerías no pintadas, en el diagrama de bloques la etapa más lenta es de 10 u/d como se indica en la figura 6-3 y un tiempo de indisponibilidad de 857,83 horas al año.



**Figura. 6-3:** Capacidad en las etapas de la planta de pintura

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = V * TI \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

**Q** = Cantidad de unidades no pintadas

**V** = Capacidad del sistema

**TI** = Tiempos de indisponibilidad

$$Q = (V * TI)$$

$$Q = \left( \frac{10 \text{ unid}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} \right) * 583 \text{ horas}$$

$$Q = \left( \frac{1,25 \text{ unid}}{\text{horas}} \right) * 583 \text{ horas}$$

$$Q = 728,75 \text{ unidades}$$

$$Q \approx 729 \text{ unidades no producidas al año}$$

En el año 2017 no se produjeron 1072 unidades en la planta de pintura, o al dividir para los 160 días laborables se obtiene un promedio de 7 unidades diarias no producidas en la planta.

## CAPÍTULO IV

### **4. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO QUE OPTIMICEN LA DISPONIBILIDAD DE LA EMPRESA.**

#### **4.1 Estudio de la etapa ELPO**

##### **4.1.1 *Función de los componentes de baja disponibilidad del ELPO***

###### **4.1.1.1 *Función del CARGO BUS 3***

El cargo bus 3 tiene como función trasladar las carrocerías desde la recepción hasta pasar por todas las piscinas de la etapa del elpo.

Pese a que en la línea de producción del elpo tienen 4 cargo buses, el número 3 es el equipo con más fallas imprevistas, es decir, un alto tiempo de indisponibilidad en el año 2017. Todos los cargo buses están en una sola línea por lo que si una entra en tiempo de indisponibilidad el resto de carga buses no funcionan por lo que la línea se detiene.

###### **4.1.1.2 *Función de la CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO***

Pasivado del fosfato es la quinta piscina por la que se introduce la carrocería, consiste en un tratamiento químico donde la superficie metálica se sumerge en compuestos de ácido fosfórico, fosfatos de zinc y otros acelerantes a una temperatura promedio de 40° C, el tiempo de agitación de la carrocería es más o menos de 6 minutos, forma una capa micro cristalina de fosfato de zinc el cual ayuda a la carrocería a evitar las humedades y la corrosión del medio ambiente, el pasivado maximiza el tratamiento anticorrosivo dado por el fosfatado limpia y cubre las superficies de contacto aumentando la adherencia.

#### 4.1.1.3 Función de E – COAT

E-coat es el nombre denominado por la empresa, es la piscina más grande que consiste en la electrodeposición, se sumerge en pintura anticorrosiva que es la primera capa que recibe por medio de corriente eléctrica. El principio de aplicación de pintura es que mediante la corriente eléctrica en un rango de 100 a 400 voltios las partículas se pegan a la estructura porque los polos iguales se repelen y los polos diferentes se atraen a una temperatura de 32° C y un tiempo promedio de 8,5 minutos con una agitación de arriba hacia abajo para llegar a un espesor de 18 a 25 micras.

#### 4.1.2 Componentes de baja disponibilidad del ELPO

3 subsistemas están bajo el límite de referencia en el elpo y 4 subsistemas bajo la referencia en horno esmalte, se analizó cada componente de los subsistemas para obtener la disponibilidad de estos.

Para calcular la disponibilidad de los componentes de los subsistemas se aplicó la fórmula (3) con un tiempo requerido TR = 1280 horas del año 2017, así como también se estableció un límite de referencia de acuerdo a las disponibilidades de cada componente.

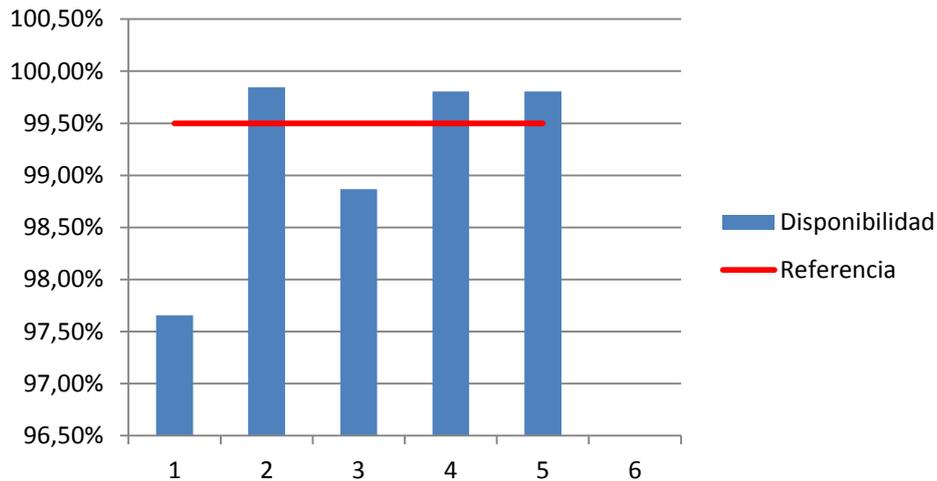
##### 4.1.2.1 Disponibilidad de los componentes del subsistema Cargo bus 3

En la tabla 1-4 y la figura 1-4 se muestra los componentes del subsistema cargo bus 3 con su tiempo indisponible durante el año 2017 y los valores porcentuales que se encuentran bajo la referencia.

**Tabla. 1-4:** Tiempos de indisponibilidad de las fallas del cargo bus 3

N°	FALLAS EN CARGO BUS 3	Tiempo indisponible (horas)
1	Tecla y motor	30,00
2	Motor trolley	2,00
3	Variador de frecuencia y PLC	14,50
4	Energizado eléctrico	2,50
5	Gancho y Canastilla	2,50
	TOTAL	51,50

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura. 1-4:** Grafica de los tiempos de indisponibilidad Cargo bus 3  
**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

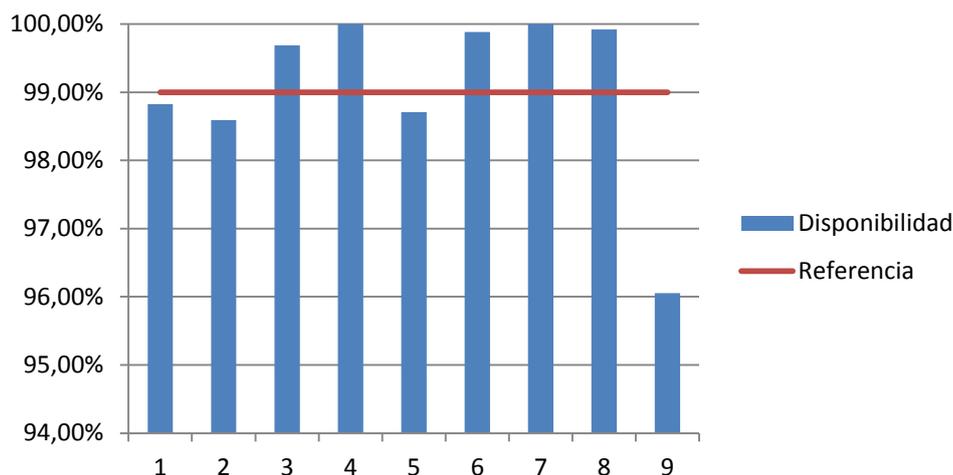
#### 4.1.2.2 Disponibilidad de los componentes del sistema de la Cuba 5 pasivado del fosfato.

En la tabla 2-4 y la figura 2-4 se observa los fallos del subsistema de la cuba 5 pasivado del fosfato con su tiempo indisponible y que los componentes 1, 2, 5 y 9 están bajo el límite de referencia establecido.

**Tabla. 2-4:** Tiempos de indisponibilidad de las fallas de Cuba 5 pasivado del fosfato.

N°	Componentes de la cuba 5	Tiempo indisponible (horas)
1	Motor Bomba	15,00
2	Sello mecánico	18,00
3	Bomba centrífuga (recirculación)	4,00
4	Filtro	0,00
5	Intercambiador de calor	16,50
6	Electroválvula	1,50
7	Servoválvula	0,00
8	Bomba centrífuga (limpieza del intercambiador)	1,00
9	Filtro prensa	50,50
	<b>TOTAL</b>	<b>106,50</b>

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura. 2-4:** Gráfica de las fallas con su porcentaje del sistema Cuba 5  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

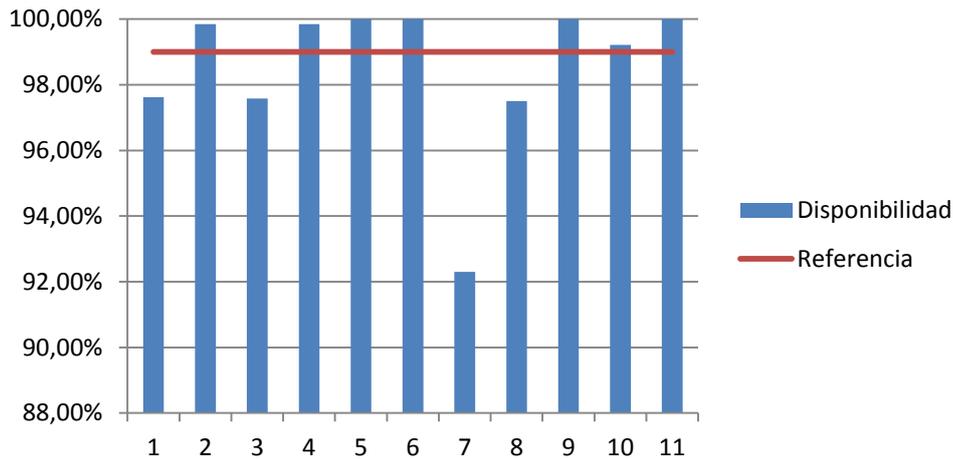
#### 4.1.2.3 Disponibilidad de los componentes del subsistema de E-coat.

Para el subsistema del e-coat se muestra en la tabla 3-4 los fallos con su tiempo de indisponibilidad que ocurrieron durante el año 2017 y en la figura 3-4 se observa que 1, 3, 7 y 8 son los componentes que están bajo el límite de referencia.

**Tabla. 3-4:** Tiempos de indisponibilidad de las fallas de E-coat

N°	Componentes de E-coat	Tiempo indisponible
1	Motor B de E-coat	30,50
2	Motor A de e-coat	2,00
3	Anolito: Bomba	31,00
	Anolito: Electrodo	
4	Tablero de electrolisis	2,00
5	Intercambiador de calor	0,00
6	Electroválvula	0,00
7	Chiller	98,50
8	Ultrafiltrado: Bomba de limpieza membranas	32,00
	Ultrafiltrado: Filtro	
	Ultrafiltrado: Membrana	
9	Bomba de lubricación sello mecánico	0,00
10	Conjunto e-coat	10,00
11	Bomba aerosol	0,00
TOTAL		206,00

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura. 3-4:** Gráfica de los tiempos de indisponibilidad de E-coat  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

## 4.2 Estudio de la etapa HORNO ESMALTE

### 4.2.1 Función de los componentes con baja disponibilidad de HORNO ESMALTE

El proceso de curado de las carrocerías se ejecuta a una temperatura de 148° C con una Capacidad de 34,4% en el variador de frecuencia de la cadena del conveyer, desde que la unidad entra a las cabinas de pintura ya existe una temperatura previa de 19° C y con el flujo de aire de impulsión de la casa de aire empieza el proceso de secado donde la unidad entra al extractor 1, que se encarga de sacar todas las partículas residuales de la pintura hacia afuera del horno esmalte, acarreando impurezas y suciedades que podrían afectar al proceso.

Seguido de una cortina de aire 1 que crea una barrera de aire que hace que todo el aire caliente no se salga del horno y se mantenga dentro, ventilador casa de aire 1 tiene la función de enviar aire caliente por medio de un ventilador hacia el interior del horno, cuenta con un quemador 1 que se activa siempre en segunda llama que pasa por un intercambiador y envía dicho aire caliente por medio de dampers regulados exactamente, este quemador es alimentado mediante diesel que se tanquea siempre una noche anterior y cuenta con controladores de fuego y alarmas de seteo.

Siguiendo con el proceso en el retorno de gases 1 que succiona toda la combustión generada por el quemador y sacarlos por la chimenea hacia el exterior.

Se tiene otro ventilador casa de aire 2 con un quemador 2 adicional cumpliendo la misma función ya explicada igual que el retorno de gases 2, ya a la salida del proceso que asegura un aire limpio y libre de gases de combustión una cortina de aire 2 que genera una barrera al final del horno así se asegura que el aire dentro del horno se mantenga y por ende la temperatura de trabajo.

Al final un extractor 2 que saca suciedades y problemas de impurezas y un último motor que es el ventilador de enfriamiento que ya una vez la carrocería se haya curado se debe enfriar para sacar del horno y proseguir con la etapa de Finnese que son los puntos de calidad.

#### **4.2.2 Componentes de baja disponibilidad del HORNO ESMALTE**

Para calcular la disponibilidad de los componentes del subsistema horno esmalte se utilizó un tiempo requerido TR = 1280 horas del año 2017, también se aplicó la fórmula (3) de disponibilidad, por último, se estableció un límite de referencia de acuerdo a las disponibilidades más bajas de cada componente.

##### **4.2.2.1 Disponibilidad de los componentes del subsistema ventilador casa de aire 1**

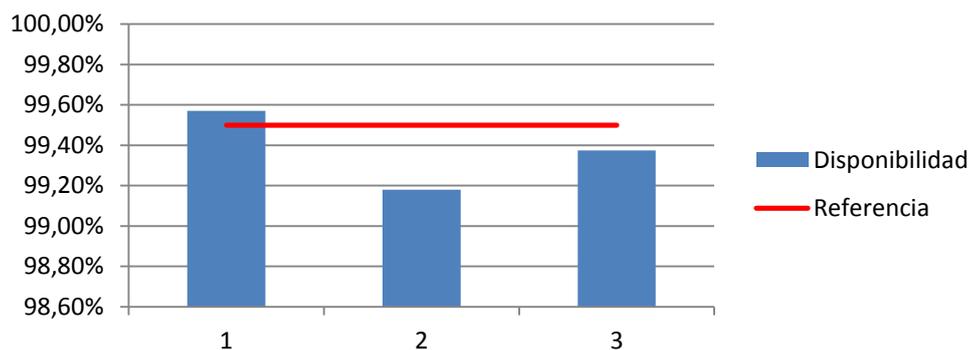
En la tabla 4-4 se muestran los componentes del subsistema ventilador casa de aire 1 con sus tiempos de indisponibilidad.

**Tabla. 4-4:** Indisponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 1

<b>N°</b>	<b>Componentes ventilador casa de aire 1</b>	<b>Tiempo disponible</b>
1	Ventilador	5,50
2	Motor de inducción	10,50
3	Conexiones eléctricas	8,00
<b>TOTAL</b>		<b>24,00</b>

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

De la misma forma en la figura 4-4 se observa que el componente 2 y 3 están bajo el límite de referencia establecido para el subsistema ventilador casa de aire 1.



**Figura. 4-4:** Disponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 1

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

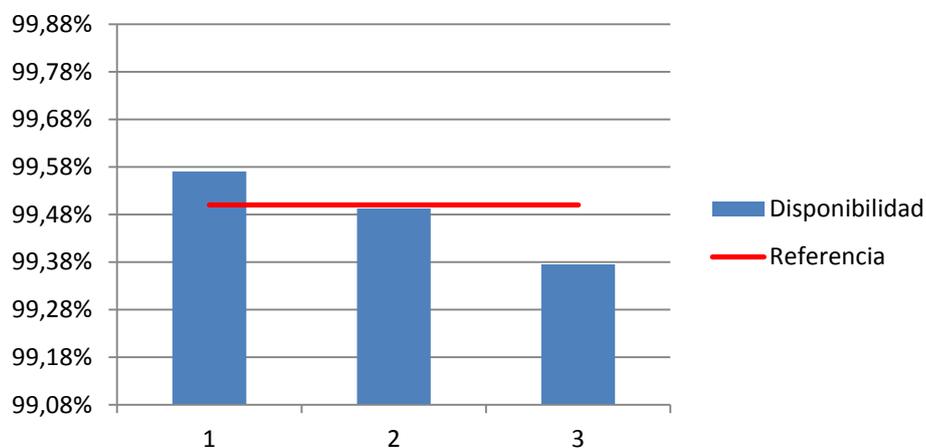
#### 4.2.2.2 Disponibilidad de los componentes del subsistema ventilador casa de aire 2.

En la tabla 5-4 se observan los componentes presentes en ventilador casa de aire con sus tiempos de indisponibilidad en el año 2017, donde se tiene un tiempo indisponible similar al de ventilador casa de aire 1 por lo que se analizó como un solo componente, así mismo en la figura 5-4 se evidencia que los componentes 2 y 3 de ventilador casa de aire 2 son los que se encuentran bajo la referencia establecida.

**Tabla. 5-4:** Indisponibilidad en los componentes de ventilador casa de aire 2

N°	Componentes ventilador casa de aire 2	Tiempo indisponible
1	Ventilador	5,50
2	Motor de inducción	6,50
3	Conexiones eléctricas	8,00
TOTAL		20,00

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura. 5-4:** Disponibilidad de los componentes de ventilador casa de aire 2.

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

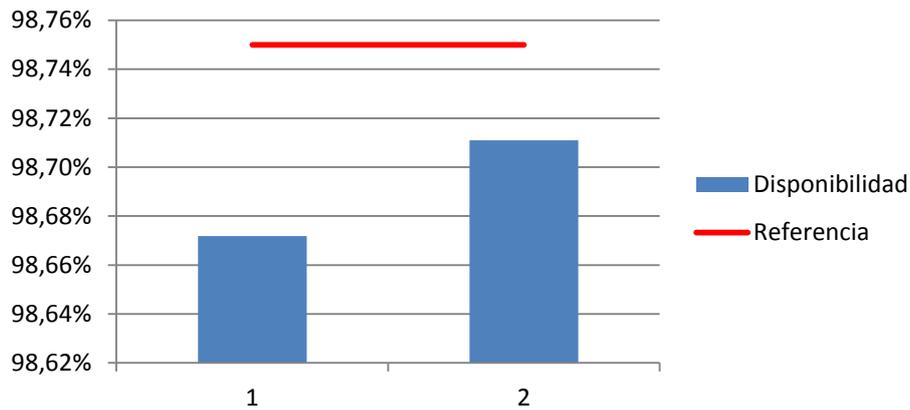
#### 4.2.2.3 Disponibilidad de los componentes del subsistema Quemador 1 y Quemador 2.

Para calcular la disponibilidad se tomó como uno solo por ser parte de una misma etapa y cumplir una misma función. Quemador 1 tiene una indisponibilidad de 17 horas y quemador 2 de 16,50 horas. En la tabla 6-4 se muestra la suma de estos tiempos para ser analizados como uno solo, así como en la figura 6-4 se observa que están bajo la referencia establecida.

**Tabla. 6-4:** Tiempos de indisponibilidad de las fallas funcionales quemador 1 y 2

N°	Quemador	Tiempo indisponible (horas)
1	Quemador 1	17,00
2	Quemador 2	16,50
TOTAL		33,50

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura. 6-4:** Disponibilidad de los quemadores

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Una vez que se establecieron los componentes, a partir de los historiales de falla se analizó cada modo de fallo de cada componente con sus tiempos de indisponibilidad. Se utilizó herramientas para analizar la causa raíz de cada modo de fallo y establecer estrategias que ayuden a minimizar o eliminar los tiempos de indisponibilidad.

#### 4.3 Propuesta de las estrategias para los componentes de baja disponibilidad de la etapa elpo y horno esmalte.

Las etapas con disponibilidades más bajas en la planta de pintura son el elpo y horno esmalte a la cuales se plantearon estrategias con el uso de tres metodologías basadas en los paradigmas de John Moubrey:

- Mejorar la forma de operar las etapas orientándonos a la prevención de fallas
- Mejorar la forma en la que se está haciendo mantenimiento
- Posibles rediseños y mejoras

Al aplicar estas metodologías a los componentes de baja disponibilidad se incrementa la disponibilidad de los subsistemas, lo que tuvo un efecto en el incremento de la disponibilidad de las etapas y finalmente al incremento de la disponibilidad del proceso en la planta de pintura.

#### **4.3.1 Análisis modal de efecto de fallos AMEF y sintomatología de los componentes.**

La importancia del RCM mantenimiento basado en la confiabilidad es que impacta sobre tres factores que determinan el desempeño del activo:

- Contexto Operacional (como será utilizado)
- Confiabilidad inherente (como fue diseñado)
- El plan de mantenimiento (como será mantenido)

Definidos estos factores pueden establecerse las funciones principales de cada equipo en las etapas *elpo* y *horno esmalte* basado en las primeras dos preguntas de las siete que genera el RCM:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento del activo en su contexto operacional actual?
- ¿En qué formas falla el activo, dejando de cumplir sus funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada fallo?
- ¿Qué importancia tiene cada fallo?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo?
- ¿Qué puede hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada?

El análisis modal de efectos de fallas es una herramienta utilizada para reconocer y/o identificar las fallas funcionales de un proceso o diseño de un producto con el propósito de eliminarlas o minimizar el riesgo asociado a las mismas. Se tomó en cuenta las dos preguntas del RCM que refleja como resultado un listado de modos de fallo y sintomatologías en los equipos de baja disponibilidad.

En el estudio FMECA se establecen valores de severidad, ocurrencia y detección más el índice de riesgo de las fallas. La severidad determina la importancia del efecto del modo de fallo, valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción. Ocurrencia es la probabilidad de que se produzca un modo de fallo, se recomienda utilizar datos históricos o estadísticos. Detección es la probabilidad de que un modo de fallo sea detectado con antelación suficiente para evitar daños.

En el ANEXO G se encuentran los criterios de evaluación, así como los estudios FMECA de los subsistemas cargo bus 3, cuba 5 pasivado de fosfato y e-coat se encuentran en el ANEXO H.

#### 4.3.2 Estrategias para los componentes de la etapa del elpo.

Para proponer las estrategias de optimización de la gestión, se utilizó como herramienta el Análisis de modo, efecto y criticidad de fallos (FMECA) para determinar la causa de los fallos en cada uno de los subsistemas de la etapa del elpo.

En la tabla 7-4 se observan los componentes a los que se realizó el análisis de modo y efecto de fallos.

**Tabla. 7-4:** Componentes del elpo para incrementar su disponibilidad

Subsistema	Componentes	Código
A. Cargo bus 3	Tecele y motor	A1
	Variador de frecuencia y PLC	A2
B. Cuba 5 pasivado del fosfato	Motor bomba	B1
	Sello mecánico	B2
	Intercambiador de calor	B3
	Filtro prensa	B4
C. E - Coat	Motor B e-coat	C1
	Anolito: bomba	C2
	Chiller	C3
	Ultrafiltrado	C4

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Se inició el análisis de funciones, fallas, efectos de modo de falla, consecuencias de la falla, y la evaluación de las fallas recurrentes en los componentes ya mencionados.

#### 4.3.2.1 Estrategias para el subsistema cargo bus 3

En la tabla 8-4 se muestra los modos de fallos y causa de los fallos, así como en la tabla 9-4 se muestra los modos de falla y efectos.

**Tabla. 8-4:** Modos de falla y causas del cargo bus 3

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>CAUSAS DE FALLO</b>
A1. Desgaste de escobillas	Escobillas flojas
A1. Las cuchillas se salen	Cuchillas mal instaladas
A1. Levas desgastadas	Falta de inspecciones
A1. Desgaste de dientes en engranes cónicos	Desgate natural
A2. Tarjeta quemada del controlador eléctrico	Corte imprevisto de energía
A2. Finales de carrera dan malas señales	Mal programados
A2. Sobrecalentamiento de los cables	Sobre carga de tensión
A2. Las señales se desconectan	Canaletas en mal estado

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

**Tabla. 9-4:** Modos de falla y efectos del cargo bus 3.

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>EFECTOS DE FALLO</b>
A1. Desgaste de escobillas	A1.1. Paso de energía deficiente
A1. Las cuchillas se salen	A1.2. Motor se desenergiza
A1. Levas desgastadas	A1.3. El motor baja más de lo adecuado
A1. Desgaste de dientes en engranes cónicos	A1.4. Las poleas se remuerden y sueltan las cadenas
A2. Tarjeta quemada del controlador eléctrico	A2.1. No genera señales eléctricas
A2. Finales de carrera dan malas señales	A2.2. Cargo bus no se detiene en el punto adecuado
A2. Sobrecalentamiento de los cables	A2.3. Corto circuito en la tarjeta electrónica
A2. Las señales se desconectan	A2.4. Desenergización de las fases del cargo bus

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### *A1. Instalar de manera correcta las escobillas.*

Al tener una instalación correcta de las escobillas según el historial de fallos del año 2017, se obtendría una reducción de 9 horas de paro imprevisto en el subsistema cargo bus 3. Es muy importante tomar en cuenta la presión a la que estarán sometidas las escobillas, de no ser uniforme el desgaste de éstas es muy acelerado.

Si bien es cierto las escobillas deben ser puestas de la misma marca, también hay que tomar en cuenta durante la instalación que éstas deben tener libertad de deslizarse de forma adecuada por los porta carbones. No deben estar ni muy flojas ni muy ajustadas.

#### *A1. Limpieza e inspecciones de escobillas.*

En las escobillas se debe tomar en cuenta la limpieza e inspecciones de éstas, los fallos imprevistos por las escobillas según los historiales de fallo se dieron cada 5 meses, por lo que se recomienda hacer inspecciones y limpiezas de las escobillas cada 3 meses.

#### *A1. Mantener un stock de cuchillas.*

En el historial de fallos del año 2017 se produjo un tiempo de indisponibilidad de 4 horas por falta de stock de las cuchillas.

Según los historiales de fallos de la planta de pintura en el año se cambió 4 cuchillas totales, dos cuchillas en el cargo bus 3 en el mes de Abril y dos cuchillas del cargo bus 3 en el mes de Julio. Para generar un stock de existencia se tomó en cuenta las 4 cuchillas que se cambiaron en el año en el cargo bus 3 y para generar un stock mínimo se tomó como referencia el número de cuchillas que se cambió en un mes.

- Stock de existencia: 4 cuchillas
- Stock mínimo: 2 cuchillas.

#### *A1. Inspecciones visuales de levas.*

La inspección visual es un mantenimiento preventivo, el cual se lo realizará de dos maneras, inicial y frecuente de la siguiente manera:

Inspección inicial: inspección visual realizada por los operarios antes del primer turno.

Inspección frecuente: se considera que el trabajo realizado por el cargo bus es pesado, de acuerdo a esto el mantenimiento preventivo se lo realizará semanalmente por el personal de mantenimiento de la planta de pintura, que garantizará una condición de trabajo segura.

#### *A2. Stock de repuestos en la tarjeta electrónica.*

Está señalado en el historial de fallos del cargo bus 3 que se cortó circuito la tarjeta electrónica PLC y se esperó a que el proveedor cambie dicho PLC se pudo disminuir el tiempo indisponible al tener repuestos en stock.

Se tuvo un solo paro al año por lo que se tomó como referencia esto para un stock mínimo y un stock máximo como el producto del stock mínimo y el número de cargo buses restantes.

- Stock de existencia: 1 tarjeta electrónica
- Stock mínimo: 0 tarjetas electrónicas

#### *A2. Revisar la configuración del PLC.*

Dentro del personal de mantenimiento sólo se cuenta con una persona especializada en sistemas de control industrial y en presencia de fallas los demás técnicos hacen maniobras de reseteo del PLC o bajando y subiendo los fusibles esperando ver resultados los cuales no son los esperados.

Se implementa un instructivo de trabajo y operación para el cargo bus 3 con la finalidad de eliminar errores que se presenten, el mismo que se encuentra en el ANEXO I, para el cual también se realizó la ficha técnica del cargo bus 3, documento que la planta no tenía.

#### *A2. Mantenimiento basado en la condición en el tablero eléctrico.*

En el tablero eléctrico se deben realizar inspecciones de termografía, ya que la empresa cuenta con el equipo adecuado para este mantenimiento, el cual garantizará cables bien sujetos evitando saltos de fases y sobrecalentamientos de conductores de los variadores de frecuencia.

#### *A2. Colocar más puntos de apoyo en el trayecto de la canaleta.*

Estrategia que ayuda a que el cargo bus pueda avanzar por la canaleta sin que se suelten las fases del variador, así se garantizara que los rieles estarán en su lugar y nivelados al momento que el cargo bus pasa, tendrá más estabilidad en el avance y no detendrá a los demás cargo buses que vienen detrás en serie generando menos tiempos de paro

#### *A2. Inspecciones de las canaletas.*

Al pasar 4 cargo buses constantemente por las canaletas, hay un desgaste de las mismas, así como unas fisuras, por lo que se deben revisar estas canaletas cada mes y se deben cambiar cuando las fisuras o desgaste lleguen a un 50%, de esta forma se previene el paro imprevisto por saltos de fase.

#### *4.3.2.2 Estrategias para el subsistema cuba 5 pasivado de fosfato.*

En el subsistema cuba 5 pasivado de fosfato se realizó el estudio AMEF del cual se obtuvo la tabla 10-4 con los modos de falla y sus causas.

**Tabla. 10-4:** Modos de falla y causas de la cuba 5.

<b>MODO DE FALLO</b>	<b>CAUSAS DE LOS MODOS DE FALLO</b>
A1.- Impulsor de la bomba con cavitación	Velocidad del fluido turbulento
A2.- Tuberías de fosfato obstruidas	Exceso de lodos producto del mal filtrado de fosfato
A3.- Controlador del nivel de agua taponado	Boya con producto en su interior
A4.- Elementos móviles de la bomba friccionados	Malas lubricación por parte de la bomba de lubricación
B1. Válvulas abiertas y pérdidas de presión por direccionamiento erróneo	Error de operación por parte de los técnicos
B2. Fugas del líquido	Bridas fisuradas
C1. Destrucción de filtros por aumento de presión	Posicionamiento de válvulas erróneas
C2. Pérdida de líquido en la descarga	accesorios mal puesto en el trayecto de recirculación
D1.Mala lubricación del sello mecánico	Falta de caudal de lubricación
D2. Empuje hidrostático con variaciones de presión	Posición de las caras de los sellos erróneos
E1.- Desalineación del motor bomba	acople conjunto motor bomba desalineado
F1.- Intercambiador con los sellos expandidos por calor	Falta de mantenimiento y limpiezas al intercambiador
G2. Taponamientos por fosfato	Mescla de producto agua fosfato dentro del intercambiador por mal armado

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Una vez que se realizó el estudio FMECA de la cuba 5 pasivado de fosfato, se obtuvo los efectos que causaron los modos de falla que se produjeron en el año 2017, en la tabla 11-4.

**Tabla. 11-4:** Modos y efectos de la cuba 5 pasivado de fosfato.

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>EFFECTOS DE FALLO</b>
A1. Fricción en rodamientos	E1. Sobrecalentamiento excesivo del motor E2. Vibraciones del conjunto motor bomba
B1. Impulsor de la bomba con cavitación	E3. Presiones de descarga menores E4. Rotura total del impulsor
C1. Electroválvula con obstrucciones con lodos del fosfato	E5. Válvulas y rodete con lodos de fosfato
C2. Caída de la presión de aspersión de la cuba	E6. Deficiente entrada de líquido anticorrosivo a la cuba
D1. Sobrecalentamiento y fugas en sellos mecánicos	E7. Fisuras de sellos mecánicos y ejes E8. Derrame del producto
E1. Obstrucciones de fosfato	E9. Aumento de la presión
F1. Fugas	E10. Menor cantidad de caudal en la descarga E11. Mal dirección del producto
F2. Fugas en los acoples del pistón	E12. Pérdida en la presión que ejerce el pistón

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### *B1. Alineación y balanceo del motor bomba*

En la planta de pintura no se cuenta con la técnica adecuada para alinear los motores, por lo que se deben hacer alineaciones mediante láser o relojes compradores. Esta alineación centra el matrimonio de la bomba y el balanceo es para igual cargas en la fuerza centrífuga del eje.

### *B1. Limpieza de filtros y accesorios.*

Se realiza con una frecuencia trimestral, con esta estrategia se evita los lodos del fosfato para que no intervengan en la recirculación del ácido fosfórico.

### *B2. Inspecciones visuales de sellos mecánicos.*

Se realiza trimestralmente, para evitar las fugas que se presentan en estos componentes, de la misma manera se acopla con la alineación y balanceado ya planteado.

### *B3. Inspección visual y limpieza del intercambiador de calor.*

De la misma manera se realiza con una frecuencia de tres meses, es decir trimestral, estrategia que ayuda para que estén dentro de los rangos de presión establecidos, y si llegará a bajar la presión, se procede a la limpieza por obstrucciones de los canales agua fosfato, se tiene un control óptimo de presiones en todo el trayecto de la recirculación ya que con presiones altas en los instrumentos de medida manómetros estamos analizando posibles taponamientos de producto en tuberías, así como los recambios de forros del filtro ya que por ser un elementos que atrapa todas estas impurezas está expuesto a llenarse de producto y evitar su función principal

### *B4. Inspecciones visuales del filtro prensa.*

Realizar tareas de inspección visual y cambio de las placas del filtro prensa ya que este equipo no cuenta con tareas ideales ni frecuencias adecuadas usar mantenimiento basado en la condición para determinar dichas frecuencias de recambios de placas

### *B1. B2. B3. Implementación de instructivos de trabajo y operación*

Se instruye al personal encargado de la cuba 5 ya que no tienen una formación profesional, se implementan los instructivos de trabajo y operación, donde se explica la manera los montajes, maniobrar válvulas, dimensionamientos de sello mecánico y encendido y apagado de los equipos, mismo que se encuentran en el ANEXO J.

#### 4.3.2.3 Estrategias para el subsistema e-coat.

En el subsistema e-coat se realizó el estudio FMECA del cual se obtuvo la tabla 12-4 donde se observa los modos de fallo del subsistema e-coat con sus causas, de la misma forma en la tabla 13-4 que muestra los modos de falla del subsistema e-coat con sus efectos.

**Tabla. 12-4:** Modos de fallo y causas de e-coat

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>CAUSAS DE FALLO</b>
C1. Fricción en rodamientos	Mala lubricación
C1. Bombas refrigerantes multietapas mal montadas	Los impeler están en sentidos contrarios
C1. Electroválvula obstruida	Relés no envía señales de apertura y cierra
C1. Pérdida de potencia del motor	Cables flojos del contactor
	Mala regulación de las válvulas
C2. Fugas de anolitos en el tanque y celdas	Lubricación insuficiente
C2. Cortocircuito del motor	Falta de aislante en bobinados
C3. Poco refrigerante para circular por los compresores y líneas	Líneas de refrigerante rotas
C3. Compresor dañado	Falla del motor eléctrico
C4. Fricción en rodamientos	Mala lubricación
C4. Sellos mecánicos en mal estado	Fisuras en el sello mecánico

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

**Tabla. 13-4:** Modos de falla y efectos de e-coat.

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>EFFECTOS DE FALLO</b>
C1. Fricción en rodamientos	Sobrecalentamiento y vibraciones del conjunto motor bomba
C1. Bombas refrigerantes multietapas mal montadas	No llega el caudal adecuado a la lubricación de sellos
C1. Electroválvula obstruida	Baja descarga de caudal en la cuba
C1. Pérdida de potencia del motor	El motor disminuye su potencia
	Derrame de producto
C2. Fugas de anolitos en el tanque y celdas	
C2. Cortocircuito del motor	Daños en rotor y estator
C3. Poco refrigerante para circular por los compresores y líneas	Fugas de gas R22
C3. Compresor dañado	No genera circulación
C4. Fricción en rodamientos	Sobrecalentamiento y vibraciones del conjunto motor bomba
C4. Sellos mecánicos en mal estado	Derrame de producto

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### *C1. Alineación y balanceo del conjunto motor bomba.*

Por las vibraciones se pueden dar a causa de desalineaciones del conjunto motor bomba la estrategia a usar en este caso particular es el balanceo mediante el uso de equipos como son relojes comparadores, alineación laser

En la planta de pintura no se cuenta con la técnica adecuada para alinear los motores, por lo que se deben hacer alineaciones mediante láser o relojes compradores. Esta alineación centra el matrimonio de la bomba y el balanceo es para igual cargas en la fuerza centrífuga del eje.

### *C1. Establecer la carga de trabajo adecuada.*

La electroválvula debe estar posicionada a un ángulo adecuado para que el fluido no cambie de laminar a turbulento lo que hace que se genere poco caudal en la descarga de la cuba e-coat.

### *C1. Comprobar los parámetros eléctricos de la bomba.*

Se hacen verificaciones trimestrales para ver cantidades de voltaje y corrientes, lo cual evitará un fallo imprevisto, ya que se podrá controlar estos parámetros para actuar a tiempo.

### *C2. Comprobar que el tanque de anolitos esté completamente sellado.*

Se realiza con una frecuencia semanal para tener un buen nivel de agua des ionizada ya que trabaja conjuntamente con las celdas electrolíticas.

### *C3. Repotenciación del chiller.*

Repotenciación del chiller ya que entro en funcionamiento a la mitad de su capacidad tiene un compresor dañado e irreparable, esta implementación se verá reflejada en que la temperatura de ECOAT se mantendrá en los 32 grados óptimos para producir si un caso se excede de dicha temperatura es donde el chiller como equipo de refrigeración actúa.

### *C1. C4. Implementación de los instructivos de trabajo y operación*

Se implementan instructivos de trabajo y operación, donde se explica la manera los montajes, maniobrar válvulas, dimensionamientos de sello mecánico y encendido y apagado de los equipos, mismo que se encuentran en el ANEXO K.

### 4.3.3 Estrategias para los componentes de la etapa horno esmalte.

Para la etapa de horno esmalte, se sumó los tiempos de indisponibilidad de casa de aire 1 y casa de aire 2 y se analizó como un solo componente, ya que estos tienen las mismas características, trabajan en el mismo proceso llevando a cabo una sola función y tuvieron los mismos fallos durante el año 2017.

De la misma forma se analizó los fallos del quemador 1 y quemador 2, se evidenció que los fallos de estos dos componentes son los mismos por lo tanto se analizó como un solo componente. En la tabla 14-4 se presenta los subsistemas con los componentes que tienen disponibilidades bajas.

**Tabla. 14-4:** Componentes del horno esmalte para incrementar su disponibilidad

Subsistema	Componente
D. Ventilador casa de aire	D1. Ventilador
	D2. Motor
	D3. Conexiones eléctricas
E. Quemador	E1. Quemador

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 4.3.3.1 Estrategias para el subsistema ventilador casa de aire.

Para el estudio de la causa- raíz del subsistema ventilador casa de aire 1 y 2, se realizó el FMECA como un solo componente, el cual se encuentra más detallado en el ANEXO L, del cual se obtuvieron los siguientes modos de fallo con sus causas como muestra la tabla 15-4.

**Tabla. 15-4:** Modos de falla y causas del ventilador casa de aire.

MODOS DE FALLO	CAUSAS DEL MODO DE FALLO
D1. Presencia de suciedad	Falta de limpieza periódica.
D2. Ruidos excesivos	Mala alineación
D3. Cables aislados	Falta de inspección

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la tabla 16-4 se muestran los modos de fallos de los componentes del ventilador casa de aire con sus efectos, los cuales se obtuvieron de los análisis FMECA que se realizaron como un solo componente.

**Tabla. 16-4:** Modos de falla y efectos del ventilador casa de aire.

<b>MODOS DE FALLO</b>	<b>EFECTOS DEL FALLO</b>
D1. Presencia de suciedad en los ventiladores	D1.1 Contaminación de unidades
D2. Ruidos excesivos	D2.1 Rotura de bandas
D3. Cables aislados	D3.1 Falta de energía para el ventilador casa de aire.

**Realizado por:** Marjorie Carrillo - Juan Bucay

*A1. Limpieza del ventilador con una frecuencia de 6 meses.*

La frecuencia se estableció al revisar el historial de fallos del ventilador del subsistema ventilador casa de aire 1 y ventilador casa de aire 2 que en el año se presentó la contaminación de las unidades en Abril y Septiembre con un tiempo de 10,5 horas. Al hacer las limpiezas semestrales de los dos ventiladores no existirá contaminación de unidades.

*B2. Correcta alineación de bandas.*

En el año 2017 se presentó un tiempo de indisponibilidad de 29,50 horas por rotura de bandas, al alinear de manera adecuada se evita los constantes ruidos excesivos del componente, así como se evita la q las bandas se rompan.

De acuerdo a diálogos con los técnicos del departamento de mantenimiento de la planta de pintura, la alineación de hace de manera empírica con una técnica de alinear con los dedos.

*C3. Inspección de las conexiones y cables del componente.*

En los historiales de fallo del subsistema ventilador casa de aire se produjo un tiempo de indisponibilidad en Diciembre por los cables aislados de 4 horas, una sola vez al año por lo que se recomienda hacer una inspección cada 11 meses.

*4.3.3.2 Estrategias para el subsistema quemador.*

Los “5 por qué” en una de las herramientas para encontrar la causa raíz de los fallos en los subsistemas, consiste en enunciar el problema de forma clara, iniciar con la pregunta “por qué” y seguir preguntando al menos cinco veces a cada respuesta dada, una vez que sea difícil responder al último “por qué” nos direcciona a la causa-raíz del problema.

Para el quemador se utilizó como herramienta los “5 por qué”, para encontrar la causa-raíz de los fallos que se produjeron en el año 2017 que generaron baja disponibilidad.

**Problema:** El quemador presentó una baja disponibilidad en el año 2017 **¿Por qué?**

**Respuesta:** Se apagaba repentinamente. **¿Por qué?**

**Respuesta:** No hay buena mezcla entre diesel y aire **¿Por qué?**

**Respuesta:** Ingreso de mucho diesel en el quemador **¿Por qué?**

**Respuesta:** Mala calibración a la entrada del quemador **¿Por qué?**

**Respuesta:** Personal no capacitado para la correcta calibración

**Problema:** El quemador presentó una baja disponibilidad en el año 2017. **¿Por qué?**

**Respuesta:** Presentó fugas de diesel por las cañerías **¿Por qué?**

**Respuesta:** Mucha presión en el flujo de diesel **¿Por qué?**

**Respuesta:** Mala calibración a la salida del tanque **¿Por qué?**

**Respuesta:** Personal no capacitado para una correcta calibración

En conclusión, para quemador 1 y quemador 2 se obtuvieron dos estrategias:

Capacitar al personal para una correcta calibración del diesel tanto en la salida del tanque, como la capacitación al personal para calibrar la mezcla aire diesel a la entrada del quemador. Lo que conlleva a reducir un tiempo de 33,50 horas para los quemadores.

#### **4.4 Estrategias para la planta de pintura.**

Una vez que se establecieron las estrategias que se van a aplicar en cada uno de los componentes de los subsistemas de la planta de pintura, se las agrupó según su categoría de acuerdo a los paradigmas de Moubray, teniendo así estrategias operacionales, de mantenimiento y rediseño. Adicional a esto también se establecieron estrategias de documentación técnica y de bodega de repuestos.

#### 4.4.1 Estrategias operacionales

De acuerdo a todas las estrategias establecidas, en la tabla 17-4 se indican las estrategias que tienen que ver en la manera como se operan y se instalan los equipos.

**Tabla 17-4:** Estrategias operacionales para la planta de pintura

ESTRATEGIAS OPERACIONALES		
ETAPA	SUBSISTEMA	ESTRATEGIA
ELPO	CARGO BUS 3	Instalar de manera correcta las escobillas Colocar puntos de apoyo en el trayecto de la canaleta
	CUBA 5	Alineación y balanceo del motor-bomba
	E-COAT	Alineación y balanceo del conjunto motor-bomba Establecer la carga de trabajo adecuada para el motor
HORNO ESMALTE	VENTILADOR	Alineación de bandas

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 4.4.2 Estrategias de mantenimiento

Son las estrategias que se suman al plan de mantenimiento de la planta de pintura las cuales ayudan a prevenir los fallos imprevistos, estableciendo frecuencias de acuerdo a los historiales de fallo que maneja la planta, como se observa en la tabla 18-4.

**Tabla 18-4:** Estrategias de mantenimiento para la planta de pintura

ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO			
ETAPA	SUBSISTEMA	ESTRATEGIA	FRECUENCIA
ELPO	CARGO BUS 3	Limpieza e inspección de escobillas	Trimestral
		Inspecciones visuales de levas (Operario)	Diario
		Inspecciones visuales de levas (Técnico)	semanal
		inspecciones de termografía	Mensual
		Inspección visual de las canaletas	Semanal
	CUBA 5	Limpieza de filtros y accesorios	Trimestral
		Inspecciones visuales de los sellos mecánicos	Trimestral
		Inspección visual y limpieza del intercambiador de calor	Trimestral
	E-COAT	Comprobar los parámetros eléctricos de la bomba	Trimestral
Comprobar que el tanque de anolitos esté completamente sellado		Semanal	
HORNO ESMALTE	VENTILADOR	Limpieza del ventilador	Semestral
		Inspección de la conexiones y cables	11 meses

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 4.4.3 Estrategia de rediseño

Para la planta se tiene una sola estrategia en la tabla 19-4 de rediseño, la cual esta aún en análisis de costos por los ingenieros encargados de la planta y de la empresa.

**Tabla 19-4:** Estrategias de rediseño

ESTRATEGIA DE REDISEÑO		
ETAPA	SUBSISTEMA	ESTRATEGIA
Elpo	E- Coat	Repotenciación del chiller

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 4.4.4 Estrategia de documentación técnica

Se observó que era necesario estrategias de documentación técnica, las cuales son importantes para el manejo y operación de las máquinas.

**Tabla 20-4:** Estrategias de documentación técnica

ESTRATEGIAS DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA		
ETAPA	SUBSISTEMA	ESTRATEGIA
ELPO	CARGO BUS 3	Instructivo de trabajo y mantenimiento Ficha técnica
	CUBA 5	Instructivo de trabajo, operación y mantenimiento
	E-COAT	Instructivo de trabajo y operación del componente de ultra filtrado
HORNO ESMALTE	QUEMADORES	Instructivo de operación y corrección de fugas

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 4.4.5 Estrategias de bodega de repuestos

La bodega de planta cuenta con repuestos, pero se analizó que es necesario también tener en stock los elementos en la tabla 21-4.

**Tabla 21-4:** Estrategias de bodega de repuestos

ESTRATEGIAS DE BODEGA DE REPUESTOS				
ETAPA	SUBSISTEMA	ESTRATEGIA	STOCK	
ELPO	CARGO BUS 3	Stock de cuchillas	Existencia	4
			Mínimo	2
		stock de tarjeta electrónica	Existencia	1
			Mínimo	0

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

## CAPÍTULO V

### 5. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 Estimación de la disponibilidad por etapas y disponibilidad total.

Con las estrategias planteadas se optimizó la gestión de mantenimiento en la planta de pintura de la empresa CIAUTO, lo que generó que los tiempos de indisponibilidad de los subsistemas se reduzcan, por ende que la disponibilidad de la planta aumente.

El análisis se realizó desde lo particular a lo general, es decir, desde los tiempos de indisponibilidad de los componentes a la disponibilidad total de la planta. Los tiempos de indisponibilidad de los subsistemas se redujeron y por ende los tiempos de indisponibilidad de la etapa del elpo y del horno esmalte fueron menores, lo que resultó en un incremento en la disponibilidad de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

#### 5.2 Disponibilidad final de la etapa del elpo.

Al proponer y aplicar las estrategias para evitar paros imprevistos en los componentes de baja disponibilidad del elpo y del horno esmalte, se estableció que en dichos fallos se cuantificará con un tiempo de cero para el año 2018, así como también se lleva un monitoreo para corroborar dicho valor.

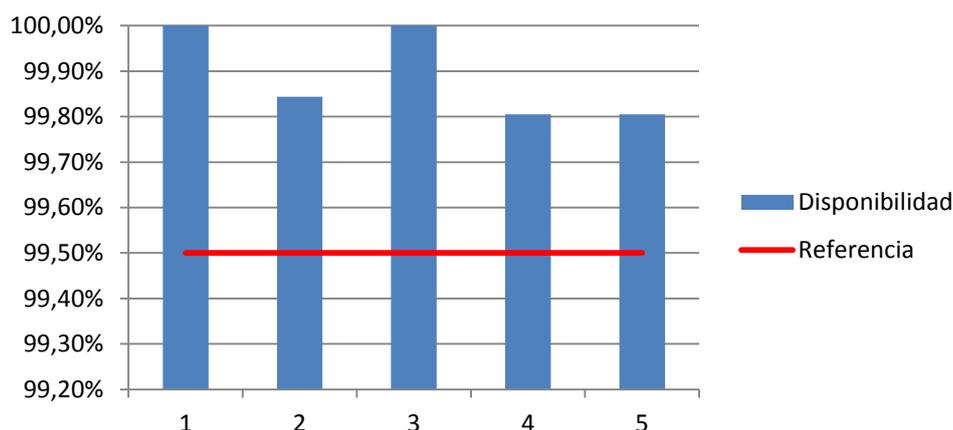
##### 5.2.1 *Tiempos de indisponibilidad final del subsistema cargo bus 3.*

En la tabla 1-5 se muestra los nuevos tiempos de indisponibilidad de los componentes del subsistema, donde la suma total es de 7 horas al año. En la figura 1-5 se observa que la disponibilidad de cada componente del cargo bus 3 pasa de la referencia establecida, es decir, teclé y motor así como el variador de frecuencia y PLC se incrementó el valor de la disponibilidad para el año 2018

**Tabla 1-5:** Disponibilidad final del cargo bus 3

N°	FALLAS EN CARGO BUS	Tiempo indisponible
1	Teclé y motor	0
2	Motor trolley	2
3	Variador de frecuencia y PLC	0
4	Energizado eléctrico	2,5
5	Gancho y canastilla	2,5
TOTAL		7

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay



**Figura 1-5:** Disponibilidad final del componente cargo bus 3

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 5.2.2 Disponibilidad del subsistema cuba 5 pasivado del fosfato.

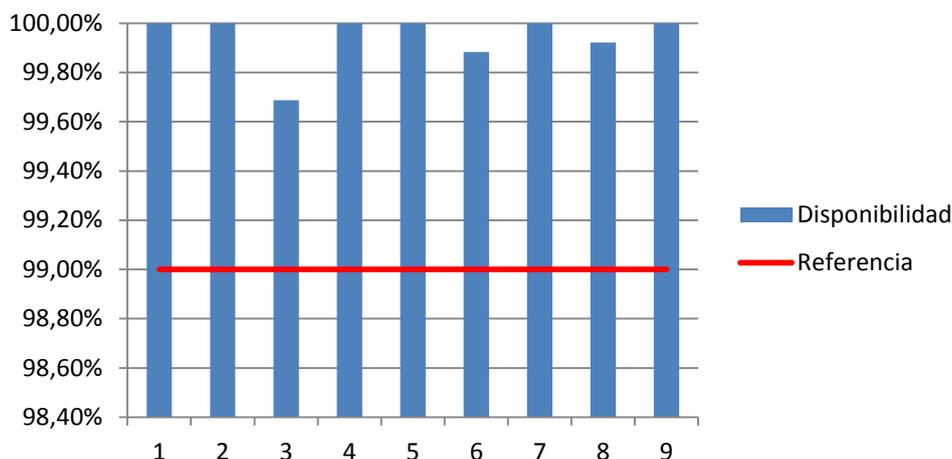
En la tabla 2-5 se muestran los tiempos de disponibilidad para el nuevo año 2018 una vez que se aplicó las estrategias, dando como suma total 6,5 horas para el año 2018 valor que es menor al que se tenía en el año 2017.

**Tabla 2-5:** Disponibilidad final de la cuba 5 pasivado de fosfato.

N°	Componentes del subsistema cuba 5	Tiempo indisponible
1	Motor bomba	0
2	Sello mecánico	0
3	Bomba centrífuga (recirculación)	4
4	Filtro	0
5	Intercambiador de calor	0
6	Electroválvula	1,5
7	Servoválvula	0
8	Bomba centrífuga (limpieza del intercambiador)	1
9	Filtro prensa	0
TOTAL		6,50

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la figura 2-5 se observa que los componentes pasan la referencia de disponibilidad establecida, lo que indica un aumento en la disponibilidad de cada uno de los componentes de la cuba 5.



**Figura 2-5:** Disponibilidad final del componente cuba 5

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

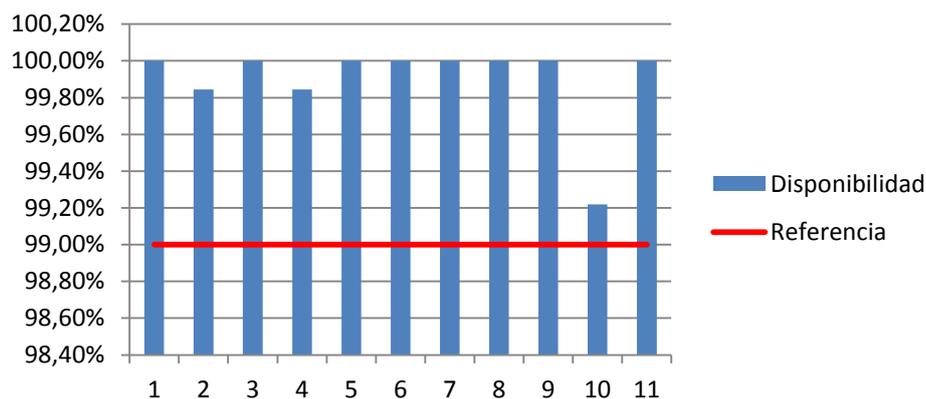
### 5.2.3 Disponibilidad del subsistema e-coat.

En la tabla 3-5 se observan los componentes del subsistema e-coat, donde se estableció como cero a los que se les implementó las estrategias para recalcular el nuevo tiempo indisponible del subsistema e-coat para el año 2018, así como en la figura 3-5 se aprecia el incremento de la disponibilidad de cada una de los componentes que sobrepasan de la referencia establecida.

**Tabla 3-5:** Disponibilidad final de e-coat.

N°	Componentes del subsistema e-coat	Tiempo indisponible
1	Motor B de E-coat	0
2	Motor A de e-coat	2
3	Anolito: Bomba	0
4	Tablero de electrolisis	2
5	Intercambiador de calor	0
6	Electroválvula	0
7	Chiller	0
8	Ultrafiltrado: Bomba de limpieza membranas	0
9	Bomba de lubricación sello mecánico	0
10	Conjunto e-coat	10
11	Bomba aerosol	0
TOTAL		14

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay



**Figura 3-5:** Disponibilidad final de e-coat

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

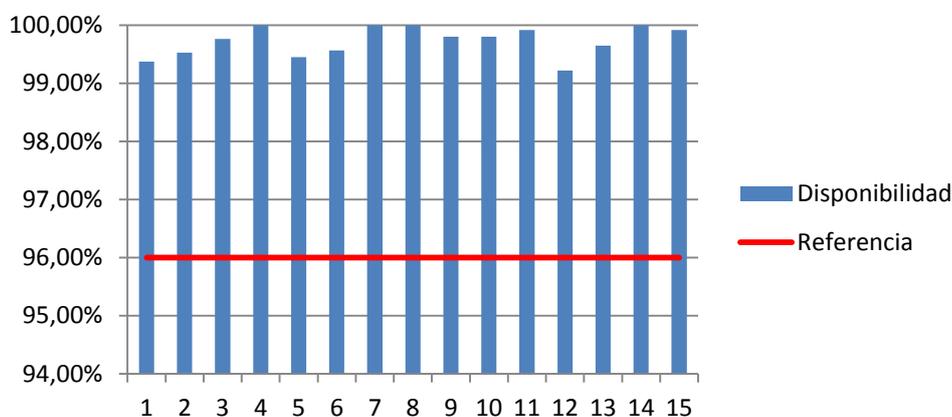
Con los tiempos finales de disponibilidad de cada subsistema del elpo se realizó un recalcu de la disponibilidad final de la etapa del elpo, donde de la misma forma se resta 4 horas que la etapa elpo virtual cubre cuando el elpo entra en estado de indisponibilidad, con un total de 51 horas de indisponibilidad, como se muestra en la tabla 4-5.

**Tabla. 4-5:** Disponibilidad final de la etapa del elpo

N°	SUBSISTEMAS DE ELPO	Tiempo indisponible	Indisponible paralelo
1	CARGO BUS 1	12,00	8,00
2	CARGO BUS 2	10,00	6,00
3	CARGO BUS 3	7,00	3,00
4	CARGO BUS 4	2,00	0,00
5	CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERCIÓN	11,00	7,00
6	CUBA 2 DESENGRASE POR INMERSIÓN	9,50	5,50
7	CUBA 3 ENJUAGUE DESENGRASE INMERSIÓN	2,50	0,00
8	CUBA 4 ACTIVACIÓN SUBSTRATO INMERSIÓN	1,00	0,00
9	CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO	6,50	2,50
10	CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	6,50	2,50
11	CUBA 7 FOSFATO INMERSIÓN	5,00	1,00
12	E-COAT	14,00	10,00
13	CUBA 8 ENJUAGUE	8,50	4,50
14	CUBA 9 ENJUAGUE DEL ULTRAFILTRADO	0,00	0,00
15	CUBA 10 ENJUAGUE DE AGUA	5,00	1,00
TOTAL			51,00

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

En la figura 4-5 se observa que la disponibilidad final del elpo sube con respecto a la referencia establecida, en donde se refleja que al subir la disponibilidad de los subsistemas cargo bus 3, cuba 5 pasivado de fosfato y e-coat del elpo da como resultado un incremento de la disponibilidad en toda la etapa del elpo.



**Figura. 4-5:** Disponibilidad final de la etapa del elpo  
 Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

### 5.3 Disponibilidad final de la etapa del horno esmalte.

Al establecer las estrategias, se volvió a calcular los tiempos de indisponibilidad de los subsistemas ventilador casa de aire 1 y 2, así como de los quemadores, resultados que se establecidos para el año 2018.

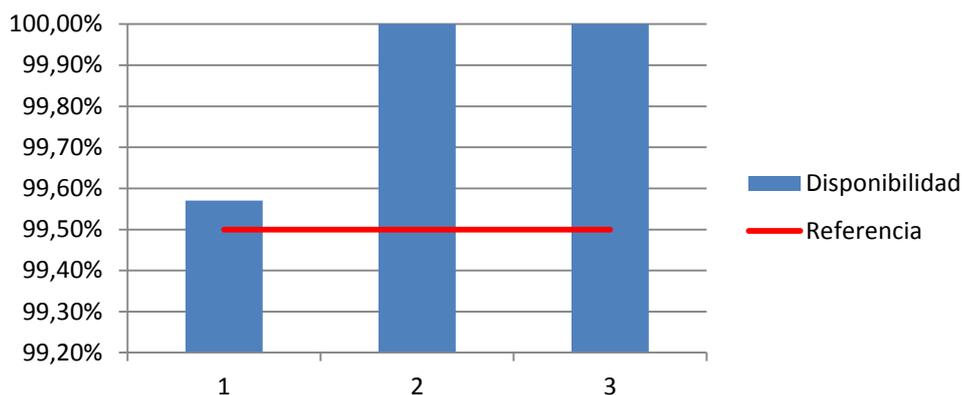
#### 5.3.1 Disponibilidad del subsistema ventilador casa de aire 1 y 2.

En la tabla 5-5 se muestra el tiempo de indisponibilidad total del ventilador casa de aire 1, así como en la figura 5-5 se observa el incremento de indisponibilidad.

**Tabla 5-5:** Disponibilidad final de ventilador casa de aire 1

Ventilador casa de aire 1	Tiempo indisponible
Ventilador	5,5
Motor de inducción	0
Conexiones eléctricas	0
	5,5

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay



**Figura 5-5:** Disponibilidad total del ventilador casa de aire 1

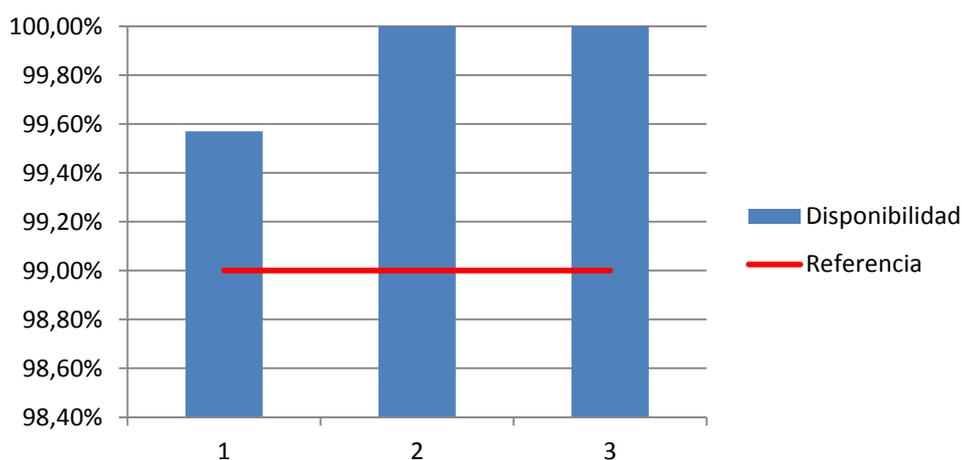
Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

En la tabla 6-5 se aprecian los tiempos de indisponibilidad de ventilador casa de aire 2 para el año 2018, así como en la figura 6-5 se observa la disponibilidad final que pasa de la referencia establecida ya que los totales bajan con respecto al año 2017.

**Tabla 6-5: Disponibilidad final de ventilador casa de aire 2.**

Ventilador casa de aire 2	Tiempo disponible
Ventilador	5,5
Motor de inducción	0
Conexiones eléctricas	0
	5,5

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay



**Figura 6-5:** Disponibilidad final del ventilador casa de aire 2

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

### 5.3.2 Disponibilidad final del subsistema quemador 1 y 2.

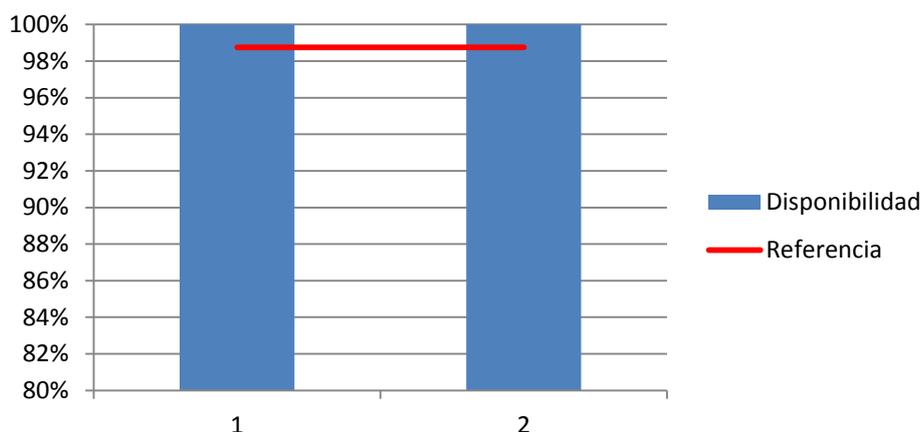
En la tabla 7-5 se muestran los tiempos de indisponibilidad de los quemadores 1 y 2 que son cero ya que al mantener un mantenimiento preventivo no habrá paros imprevistos que afecten a la etapa y por ende al proceso, por lo que su disponibilidad en quemadores es 100% para el año 2018.

**Tabla 7-5:** Disponibilidad final de los quemadores 1 y 2.

N°	Quemador	Tiempo indisponible
1	Quemador 1	0
2	Quemador 2	0
TOTAL		0

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

En la figura 7-5 se puede observar de manera gráfica la disponibilidad en los quemadores del 100% cada uno, mismo que se estima mantener para el resto del año 2018.



**Figura 7-5:** Disponibilidad final de los quemadores

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

Una vez que se obtuvieron los tiempos de indisponibilidad de los subsistemas de la etapa del horno esmalte, se colocó cada valor en la tabla general de esta etapa para recalcularse la disponibilidad.

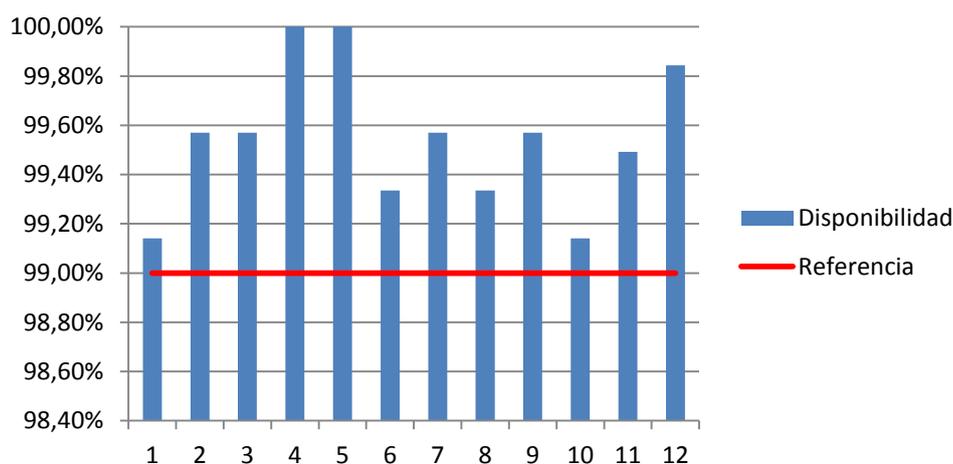
En la tabla 8-5 se observan los tiempos finales de indisponibilidad de cada uno de los subsistemas y la indisponibilidad total una vez que se han aplicado las diferentes estrategias.

**Tabla 8-5:** Disponibilidad final del horno esmalte

N°	SISTEMAS DE HORNO ESMALTE	Tiempo indisponible
1	EXTRACTOR 1	11,00
2	CORTINA DE AIRE 1	5,50
3	VENTILADOR CASA DE AIRE 1	5,50
4	QUEMADOR 1	0,00
5	QUEMADOR 2	0,00
6	RETORNO DE GASES	8,50
7	VENTILADOR CASA DE AIRE 2	5,50
8	RETORNO DE GASES	8,50
9	CORTINA DE AIRE	5,50
10	EXTRACTOR 2	11,00
11	VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	6,50
12	CONVEYER	2,00
	TOTAL	69,50

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

EL valor total de la disponibilidad disminuye ya que no se ha tenido paros imprevistos para el año 2018 en relación con el año 2017 que su valor era muy elevado. En la figura 8-5 se puede observar que la disponibilidad de cada componente subió con respecto a la referencia establecida, de la misma forma se observa que al subir el valor de la disponibilidad de los componentes genera un incremento en la disponibilidad de la etapa de horno esmalte.



**Figura 8-5:** Disponibilidad final del horno esmalte.

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

#### 5.4 Disponibilidad final de la planta de pintura.

La etapa del elpo obtuvo un tiempo final de indisponibilidad de 51 horas, de la misma manera la etapa del horno esmalte se calculó un tiempo de indisponibilidad final de 69,50 horas, mismos que fueron colocados con las demás etapas de la planta pintura, donde al sumar estos tiempos de indisponibilidad se obtuvo un tiempo total de 168 horas, el mismo que sirvió como dato para recalcular la disponibilidad total de la planta de pintura una vez aplicadas las estrategias.

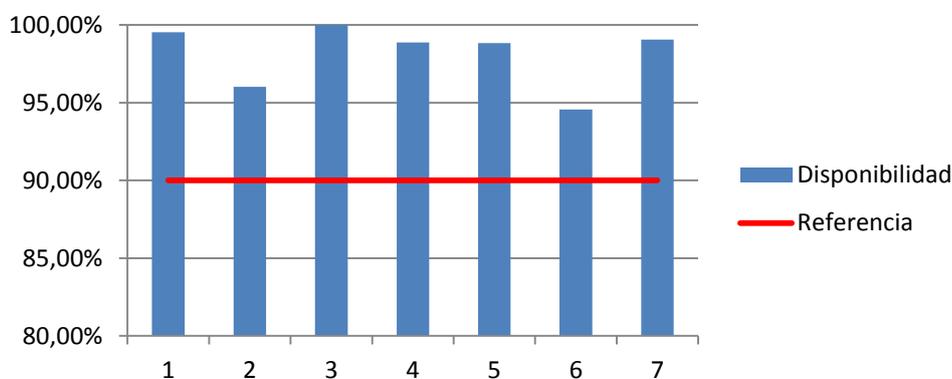
En la tabla 9-5 se muestran las etapas de la planta de pintura con los tiempos de indisponibilidad finales, en el cual la suma de la indisponibilidad de todas las etapas da un valor bajo con respecto al valor del año 2017.

**Tabla 9-5:** Tiempos de indisponibilidad de las etapas de la planta pintura

N°	ETAPAS	Tiempo de Indisponibilidad
1	RECEPCION DE UNIDADES	6,00
2	ELPO	51,00
3	HORNO ELPO	0,00
4	CABINA DE LIJADO Y SELLADO	14,50
5	CABINA DE PINTURA	15,00
6	HORNO ESMALTE	69,50
7	FINNESE	12,00
	TOTAL	168,00

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

En la figura 9-5 se observa la disponibilidad final de la planta de pintura donde se evidencia su incremento con respecto a la referencia antes establecida.



**Figura 9-5:** Disponibilidad final de la planta de pintura

Realizado por: Marjorie Carrillo - Juan Bucay

Se aplicó la ecuación (5-2) para recalcular la disponibilidad total de la planta de pintura, en donde el tiempo requerido es igual a 1280 horas y el tiempo de indisponibilidad es igual a 168,00 horas.

$$D = \left( \frac{TR - TI}{TR} \right) * 100$$

$$D = \left( \frac{1280 - 168}{1280} \right) * 100$$

$$D = (0,86875) * 100$$

$$D = 86,88 \%$$

Se puede apreciar que la disponibilidad total de la planta es de 86,88%, un valor que es muy alto con respecto al valor que se tenía en el año 2017, por lo que se resume en que el incremento de la disponibilidad de las etapas de un proceso genera un incremento en la disponibilidad total de la planta o proceso.

### **5.5 Consecuencias de la indisponibilidad.**

Se aplicó la fórmula (6-3) para saber cuántas unidades no se producen con la indisponibilidad final de la planta de pintura de la empresa.

$$Q = (V * TI)$$

$$Q = \left( \frac{10 \text{ unid}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} \right) * 168 \text{ horas}$$

$$Q = 210 \text{ unidades}$$

Al aplicar las estrategias se obtuvo una indisponibilidad final lo que se traduce en que al año no se procesaran 210 unidades por paros imprevistos.

### **5.6 Comparación del estado inicial y la situación final de la planta de pintura.**

En la tabla 10-5 se muestra una comparación de los tiempos de indisponibilidad del estado inicial de la planta y la reducción de los tiempos de indisponibilidad luego de aplicar las estrategias.

En donde también se observa en qué valor se ha logrado reducir los tiempos de indisponibilidad que afectaban a la planta de pintura.

**Tabla 10-5:** Comparación de la situación inicial y final de la planta de pintura

<b>COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE INDISPONIBILIDAD</b>			
	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>	<b>REDUCCIÓN</b>
<b>ELPO</b>	399,50	51,00	348,50
Cargo bus 3	55,50	7,00	48,50
Cuba 5 pasivado del fosfato	110,50	6,50	104,00
Cuba e-coat	210,00	14,00	196,00
<b>HORNO ESMALTE</b>	136,00	69,50	66,50
Ventilador casa de aire 1	24,00	5,50	18,50
Ventilador casa de aire 2	20,00	5,50	14,50
Quemadores	33,50	0,00	33,50
<b>DISPONIBILIDAD DE PINTURA</b>	583,00	168,00	415,00

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

En cuanto a disponibilidades, a continuación se muestra la tabla 11-5 donde se aprecia la diferencia del antes y después de los porcentajes una vez implementadas las estrategias, así como se puede observar el porcentaje de incremento en cada una de las etapas, y por ende el incremento de disponibilidad total que se obtuvo en la planta de pintura para el año 2018.

**Tabla 11-5:** Comparación de porcentajes del antes y después de la empresa.

<b>ANÁLISIS INICIAL DE LA PLANTA DE PINTURA</b>			
	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>	<b>INCREMENTO</b>
<b>ELPO</b>	68,79%	96,02%	27,23%
Cargo bus 3	95,66%	99,45%	3,79%
Cuba 5 pasivado del fosfato	91,37%	99,49%	8,12%
Cuba e-coat	83,59%	98,91%	15,31%
<b>HORNO ESMALTE</b>	89,38%	94,57%	5,20%
Ventilador casa de aire 1	98,13%	99,57%	1,45%
Ventilador casa de aire 2	98,44%	99,57%	1,13%
Quemadores	97,38%	100,00%	2,62%
<b>DISPONIBILIDAD DE PINTURA</b>	<b>54,45%</b>	<b>86,88%</b>	<b>32,42%</b>

Realizado por: Marjorie Carrillo – Juan Bucay

En cuanto a las consecuencias de la indisponibilidad, es decir, las unidades no producidas en el año 2017 y las unidades no producidas que no se producirán para el año 2018 con el

cálculo de su disponibilidad, obtenemos la tabla 12-5, en donde podemos observar que su valor baja para el año 2018, es decir que para el año 2018 se producirán 519 carrocerías más que el año anterior.

**Tabla 12-5:** Comparación de unidades no producidas

<b>UNIDADES NO PRODUCIDAS</b>	
<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>
729	210

**Realizado por:** Marjorie Carrillo – Juan Bucay

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Mediante el análisis de disponibilidad operacional de equipos se evidencian muchas oportunidades de mejora dentro de la planta de pintura, en este análisis las mayores oportunidades se aplicaron en la etapa del elpo y horno esmalte, donde el incremento de sus disponibilidades resultó en un incremento en la disponibilidad total de la empresa.

Para el análisis de un proceso productivo es importante realizar de manera correcta el diagrama de bloques con una adecuada estructura en cada una de las etapas; en este trabajo de titulación, aparentemente las etapas son en serie, pero al realizar el diagrama de bloques la etapa del elpo y el horno elpo tienen una etapa en paralelo llamada elpo virtual, siendo las anteriores y siguientes etapas en serie.

La forma en cómo se da mantenimiento, falta de procedimientos en la operación y conocimiento acerca de técnicas de alineación, calibración hicieron que se produzcan fallos repetitivos en las dos etapas de la planta de pintura.

La incorporación de tareas preventivas eficaces dentro del plan de mantenimiento obtenidas mediante esta metodología, dio como resultado un incremento de la disponibilidad operacional de los equipos en los subsistemas de las etapas del elpo y el horno esmalte, y por ende de total de la planta de pintura de la empresa CIAUTO.

El incremento de la disponibilidad operacional de los equipos está ligado al incremento de la producción de carrocerías, es decir, son directamente proporcionales, sí aumenta la disponibilidad de la planta automáticamente incrementará la cantidad de unidades producidas en la planta.

## **6.2 Recomendaciones.**

Aplicar la metodología propuesta en este trabajo de titulación dentro de las demás plantas de producción de la empresa CIAUTO donde se pueda obtener una disponibilidad global de la empresa y tener un detalle de todos los tiempos de indisponibilidad en las etapas del ensamblaje total de vehículos.

Seguir con el estudio de cálculos e implantación de tareas y metodologías a lo largo del tiempo en la empresa CIAUTO por parte del personal del departamento de mantenimiento para obtener resultados de mejoras continuas en su plan de gestión.

Cambiar la constante de unidades no producidas a un valor monetario margen de contribución unitaria para estimar las pérdidas económicas de la planta de pintura por indisponibilidad en etapas y restricción de Capacidades de operación.

## BIBLIOGRAFÍA

**UNE-EN13306.** *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Parte 2: Términos Fundamentales.*

**IEC-61703.** *Expresiones matemáticas para los términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y de logística de mantenimiento. Parte 2: Características y diseño de las máquinas, aparatos y equipos.*

**ISO-55000.** *Gestión de Activos (información general, principios y terminología) Parte 1: Terminología fundamental.*

**UNE-EN-16646.** *Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos. Parte 3: Términos, definición y abreviaturas*

**MOUBRAY, Jhon.** *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Londres-Gran Bretaña: Biddles Ltd, 1996, pp. 67-69.

**HERNÁNDEZ, Eduardo.** Método para el cálculo de la disponibilidad de sistemas en serie y paralelo en función de las consecuencias operacionales particulares de la indisponibilidad individual de cada etapa. (Tesis). (Maestría) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 11-62.

**HERNÁNDEZ, S.** *Metodología de la investigación.* México-Guatemala: McGraw-Hill, 2010, pp. 43-49.

**GOLDRATT, Eliyahu.** *La Meta.* Estados Unidos: North River Press, 2004, pp. 2-204.

**ISO 14224.** *Gestión de los datos de mantenimiento.*

**TANDALLA, Diego.** Análisis de criticidad de equipos para el mejoramiento del sistema de gestión del mantenimiento en la empresa de aluminio CEDAL. (Tesis). (Maestría) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 35 – 39.

**PLAZA, Alejandro, S.T.** *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial.* (2009).

**CUZCO, M.** *Priorización de criterios para la evaluación de la gestión del mantenimiento en edificios multifamiliares.* (2017).

**GIRALDO, C.** *Diseñar un plan de mantenimiento a una rebobinadora de papel de la compañía papeles nacionales S.A. bajo lineamiento de mantenimiento preventivo y predictivo.* Pereira. Facultad de ingeniería mecánica (2016).

**PARRA MÁRQUEZ, C.** *Métodos de análisis de criticidad y jerarquizaciones de activos.* pp 6. (2012)

**PRIETO GARCÍA, C.** *Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento. Universidad de Sevilla. Sevilla. (2008)*

**RAUSAN, M.** *System reliability theory; models, statistical methods and applications.* (2004)

