

2021

# PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN AREA DE COATING OBSERVATORIO INTERAMERICANO CERRO TOLOLO

DUBO OSORIO, GUILLERMO GUSTAVO

---

<https://hdl.handle.net/11673/50068>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO  
PRODUCTIVO TOTAL EN ÁREA DE COATING OBSERVATORIO  
INTERAMERICANO CERRO TOLOLO.**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Ingeniero de Ejecución en  
Mantenimiento Industrial

Alumno:  
Guillermo Gustavo Dubó Osorio

Profesor guía:  
Mg.Ig. Félix Pizarro Martínez

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), METODOLOGÍA 5S, ÁREA DE COATING.

El presente trabajo consiste en el desarrollo de una propuesta para la implementación de Mantenimiento Productivo Total para el área de coating en Observatorio Interamericano Cerro Tololo. El proceso de coating es desarrollado en cámaras de aluminizado, el cual es crítico para mantener el recubrimiento y calidad de la capa reflectora de los espejos de los telescopios, fundamental para la observación astronómica. Dentro del observatorio existen dos cámaras de aluminizado, una ubicada dentro de la denominada área de coating 4M, donde 4M se refiere a que soporta espejos de 4 metros de diámetro y una segunda cámara, que se encuentra en el área de coating 1.5M, donde 1.5M, significa que soporta espejos de hasta 1,5 metros de diámetro. El alcance del estudio será el área de coating 1,5M, cuya cámara de aluminizado no es utilizada permanentemente, no posee plan de mantenimiento, y las condiciones del área de trabajo carecen estándares de orden, limpieza y organización. Esta problemática se pretende superar mediante los conceptos de Mantenimiento Productivo Total, apoyándose en los conceptos de la metodología de las 5S, como base fundamental.

En el primer capítulo se entrega información general de la empresa, su historia evolución y características de sus instalaciones. Luego se realiza una breve descripción del área y proceso de coating, y se expone la problemática existente en el área.

Continuando en el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico revisando los principales tipos de metodologías de mantenimiento bajo el concepto de mejora continua, justificando la elección de las metodologías propuestas del Mantenimiento Productivo Total.

En el tercer capítulo, se buscará una solución a la problemática a través de los conceptos fundamentales del TPM, específicamente por medio de los pilares del Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado, teniendo como apoyo y soporte fundamental la metodología 5S, con lo cual se proponen una serie de mejoras al sistema de mantenimiento, como así también, a la estructura y organización del área de coating 1.5M. Para este propósito se aplican pautas de evaluación para medir el porcentaje de implementación de los conceptos 5S y determinar además las condiciones de seguridad del área, con la finalidad de plantear las actividades y planes de mejora. Una vez desarrolladas estas tareas, se procederá mediante datos obtenidos desde la empresa, analizar los puntos críticos de fallas en la cámara de aluminizado, mediante la aplicación de diagramas de Pareto y Jack Knife, así establecer criterios y plantear soluciones que se orienten a determinar la mejor estrategia de mantenimiento para cumplir con los objetivos planteados.

## **ABSTRACT**

The present work consists of the development of a proposal for the implementation of Total Productive Maintenance for the coating area of the Cerro Tololo Inter-American Observatory. The coating process is developed in aluminizing chambers, which is critical to maintain the coating and quality of the reflective layer of the telescope mirrors, essential for astronomical observation. Within the observatory there are two aluminizing chambers, one located within the so-called 4M coating area, where 4M means that it supports mirrors of 4 meters in diameter and a second chamber, which is located in the 1.5M coating area, where 1.5M means that it supports mirrors up to 1.5 meters in diameter. The scope of the study will be the 1.5M coating area, whose aluminizing chamber is not permanently used, has no maintenance plan, and the conditions of the work area lack standards of order, cleanliness and organization. This problem is intended to be overcome through the concepts of Total Productive Maintenance, based on the concepts of the 5S methodology, as a fundamental base.

The first chapter provides general information about the company, its history and evolution, and characteristics of its facilities. Then, a brief description of the area and coating process is made, and the existing problems in the area are explained.

Continuing in the second chapter, the theoretical framework is developed reviewing the main types of maintenance methodologies under the concept of continuous improvement, justifying the choice of the proposed methodologies of Total Productive Maintenance.

In the third chapter, a solution to the problem will be sought through the fundamental concepts of TPM, specifically through the pillars of Autonomous Maintenance and Planned Maintenance, having as a fundamental support the 5S methodology, with which a series of improvements to the maintenance system will be proposed, as well as to the structure and organization of the 1.5M coating area. For this purpose, evaluation guidelines will be applied to measure the percentage of implementation of 5S concepts and also to determine the safety conditions of the area, in order to propose improvement activities and plans. Once these tasks are developed, will proceed with data obtained from the company, analyze the critical points of failure in the aluminizing chamber, through the application of Pareto and Jack Knife diagrams, and establish criteria and propose solutions that are oriented to determine the best maintenance strategy to meet the objectives.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>                                                 |           |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                |           |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                       |           |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                                        |           |
| <b>ÍNDICE DE GRAFICOS .....</b>                                      |           |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>                                        |           |
| <b>SIGLAS Y ABREVIATURAS .....</b>                                   |           |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                            | <b>1</b>  |
| <b>OBJETIVO GENERAL .....</b>                                        | <b>2</b>  |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>                                   | <b>2</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....</b>                       |           |
| <b>1. ANTECEDENTES GENERALES .....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA.....</b>                | <b>4</b>  |
| 1.1.1. Misión .....                                                  | 4         |
| 1.1.2. Visión.....                                                   | 4         |
| <b>1.2. HISTORIA OBSERVATORIO INTERAMERICANO CERRRO TOLOLO .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>1.3. INSTALACIONES OBSERVATORIO CERRO TOLOLO .....</b>            | <b>7</b>  |
| 1.3.1. Descripción del Área de Coating.....                          | 8         |
| 1.3.2. Cámara de aluminizado y proceso de coating .....              | 8         |
| <b>1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>1.5. JUSTIFICACIÓN IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍAS .....</b>          | <b>11</b> |
| <b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE .....</b>                             |           |
| <b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>                                       | <b>14</b> |
| <b>2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MANTENIMIENTO .....</b>          | <b>14</b> |
| <b>2.2. METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO .....</b>                      | <b>15</b> |
| 2.2.1. Concepto Mejora Continua .....                                | 16        |
| 2.2.2. Concepto Kaizen .....                                         | 17        |
| 2.2.3. Concepto Control Visual.....                                  | 18        |
| <b>2.3. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA 5S .....</b>                | <b>19</b> |
| 2.3.1. Concepto Seiri .....                                          | 22        |
| 2.3.2. Concepto Seiton .....                                         | 23        |
| 2.3.3. Concepto Seiso.....                                           | 24        |
| 2.3.4. Concepto Seiketsu .....                                       | 25        |
| 2.3.5. Concepto Shitsuke .....                                       | 26        |
| <b>2.4. ORIGEN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM .....</b>      | <b>27</b> |
| 2.4.1. Definición del TPM.....                                       | 27        |
| 2.4.2. Descripción pilares del TPM .....                             | 28        |
| 2.4.2.1. Mejoras enfocadas (Kaizen).....                             | 29        |
| 2.4.2.2. Mantenimiento autónomo (Jisho Hozen) .....                  | 30        |
| 2.4.2.3. Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen) .....             | 30        |
| 2.4.2.4. Mantenimiento de calidad (Hinshitsu Hozen) .....            | 30        |
| 2.4.2.5. Prevención del mantenimiento.....                           | 31        |
| 2.4.2.6. Mantenimiento áreas de soporte .....                        | 31        |

2.4.2.7. Polivalencia y desarrollo de habilidades.....31

2.4.2.8. Seguridad y Entorno.....32

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 34**

**3. PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 34**

**3.1. PLAN DE TRABAJO IMPLEMENTACION DEL TPM ..... 34**

**3.2. ETAPA 1 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 36**

3.2.1. Presentación metodologías .....36

3.2.2. Educación y entrenamiento del personal .....37

3.2.3. Difusión metodologías .....37

**3.3. ETAPA 2 PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 38**

3.3.1. Levantamiento y diagnóstico de situación actual .....38

3.3.1.1. Inspección visual área de trabajo .....38

3.3.1.2. Pauta evaluación inicial nivel 5S .....41

3.3.1.3. Inspección general de seguridad del área de trabajo .....42

3.3.1.4. Análisis de resultados .....43

**3.4. PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍA 5S ..... 46**

3.4.1. Implementación Concepto Seiri .....46

3.4.2. Implementación concepto Seiton .....47

3.4.3. Implementación concepto Seiso.....48

3.4.4. Implementación concepto Seiketsu .....49

3.4.5. Implementación concepto Shitsuke .....50

**3.5. ETAPA 3 PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 52**

3.5.1. Presentación Metodología TPM .....52

**3.6. OBJETIVOS IMPLEMENTACIÓN DEL TPM ..... 52**

3.6.1. Definir grupos de trabajo .....53

3.6.2. Análisis y recopilación información existente .....53

**3.7. IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO AUTÓNOMO ..... 54**

**3.8. IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO PLANIFICADO ..... 57**

**3.9. RECOPIACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS ..... 59**

3.9.1. Diagramas de Pareto por componentes.....59

3.9.2. Diagramas de dispersión Jack Knife.....62

3.9.3. Resultados análisis Jack Knife.....64

**3.10. OPORTUNIDADES DE MEJORAS..... 66**

**3.11. SUGERENCIAS DE MEJORAS ..... 67**

**3.12. IMPLEMENTACIONES EN PROCESO ..... 68**

**3.13. COSTOS IMPLEMENTACIÓN TPM ..... 69**

**SUGERENCIAS FINALES ..... 70**

**CONCLUSIONES ..... 71**

**BIBLIOGRAFÍA..... 73**

**ANEXOS ..... 74**

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1. Construcción Telescopio 4M Víctor Blanco Cerro Tololo.  
Figura 1-2. Registro fotográfico vista aérea Cerro Tololo.  
Figura 1-3. Registro fotográfico áreas de coating 1.5M y 4 M.  
Figura 1-4: Fotografías proceso aluminizado área de coating 1.5M.  
Figura 2-1. Evolución del Mantenimiento.  
Figura 2-2. Ciclo Deming PDCA.  
Figura 2-3. Conceptos de las 5S.  
Figura 2-4. Ilustración concepto Seiri.  
Figura 2-5. Ilustración concepto Seiton.  
Figura 2-6. Ilustración concepto Seiton.  
Figura 2-7. Ilustración concepto Seiketsu.  
Figura 2-8. Ilustración Concepto Shitsuke.  
Figura 2-9. Pilares fundamentales del TPM.  
Figura 3-1. Etapas propuesta implementación TPM.  
Figura 3-2. Registro fotográfico vías de acceso área de coating 1.5M.  
Figura 3-3. Registro fotográfico de elementos innecesarios.  
Figura 3-4. Registro fotográfico almacenamiento cilindros.  
Figura 3-5. Registro fotográfico paneles eléctricos.  
Figura 3-6. Registro fotográfico almacenamiento área de bodega.  
Figura 3-7. Registro fotográfico panorámica área de coating 1.5M.  
Figura 3-8. Pasos del mantenimiento planificado.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3-1. Programación implementación TPM.  
Tabla 3-2. Escala ponderación evaluación inicial nivel 5S.  
Tabla 3-3. Escala ponderación porcentaje implementación 5S.  
Tabla 3-4. Resultados Pauta Evaluación Inicial 5 S.  
Tabla 3-5. Resumen Inspección General de Seguridad.  
Tabla 3-6. Comparación objetivos Mantenimiento Autónomo y  
Tabla 3-7. Componentes con más frecuencia de fallas.  
Tabla 3-8. Resumen componentes cámara de coating.  
Tabla 3-9. Clasificación por cuadrantes gráficos Jack Knife.  
Tabla 3-10. Tabla comparativa resultados Jack Knife.

## **ÍNDICE DE GRAFICOS**

Grafico 3-1. Porcentaje implementación nivel 5S.

Gráfico 3-2. Pareto por componentes cámara de coating año 2016.

Gráfico 3-3. Pareto por componentes cámara de coating año 2019.

Grafico 3-4. Jack Knife componentes cámara de coating año 2016.

Grafico 3-5. Jack Knife componentes cámara de coating año 2019.

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Pauta evaluación inicial 5S

Anexo 2. Pauta seguimiento nivel 5S

Anexo 3. Pauta inspección general de seguridad

Anexo 4. Datos para análisis diagrama de Pareto año 2016

Anexo 5. Datos para análisis diagrama de Pareto año 2019

Anexo 6. Datos para análisis diagrama Jack Knife año 2016

Anexo 7. Datos para análisis diagrama Jack Knife año 2019

Anexo 8. Resumen de costos estimados implementación TPM

Anexo 9. Resumen horas/hombre implementación TPM



## **SIGLAS Y ABREVIATURAS**

TPM: Mantenimiento Productivo Total: El mantenimiento productivo total (del inglés "Total Productive Maintenance", TPM), es una filosofía japonesa que se enmarca dentro del concepto "Kaizen" o mejoramiento continuo.

5S: Metodología Japonesa, donde cada uno de sus cinco conceptos empiezan por la letra "S", esta filosofía se enfoca en el trabajo efectivo, mediante conceptos de orden, clasificación, organización y estandarización del ambiente de trabajo.

COATING: Proceso de evaporación al vacío, mediante el cual se deposita una fina capa de aluminio sobre la superficie de un espejo astronómico, para mantener la reflectividad de su capara reflectante.

STRIPPING: Proceso mediante el cual se limpia y remueve la capa reflectora de los espejos astronómicos, como preparación previa al proceso de aluminizado o recubrimiento.

RCM: Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.

RCA: El análisis de causa raíz (Root Cause Anlysis, por sus siglas en inglés) es el proceso de descubrir las causas raíz de los problemas para identificar soluciones adecuadas. El análisis de la causa raíz se puede realizar con una colección de principios, técnicas y metodologías que pueden aprovecharse para identificar las causas raíz de un evento o tendencia.

MTTR: Tiempo medio para reparación.

MA: Mantenimiento Autónomo.

JIMP: (Japanese Institute of Plant Maintenance). Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas es el ente encargado de facilitar o promocionar la buena gestión en torno a la producción segura y eficiente.

## **INTRODUCCIÓN**

El Observatorio Interamericano Cerro Tololo es un complejo astronómico de observación óptica y dentro de sus dependencias tiene diversas áreas de trabajo y desarrollo, con equipos de mucha criticidad que necesitan de procedimientos y planes de mantención muy específicos para mantenerlos operativos. Una de las dependencias del observatorio, es el área de coating, donde se realizan los trabajos de recubrimiento de la capa reflectora de los espejos de sus telescopios. Esta área cuenta con dos cámaras de aluminizado o recubrimiento, una para espejos de 4 metros de diámetro y otra para espejos de hasta 1.5M de diámetro, la que en adelante se denomina área de coating 1.5M.

El alcance de estudio de este trabajo se enfoca específicamente en el área anteriormente individualizada, donde por años se ha notado la falta de procedimientos y planes de mantención, por consiguiente han surgido una serie de inconvenientes que se traducen en problemas operativos del equipo, generando pérdidas de tiempo por excesivas horas de mantenimiento correctivo, a esto se suma la falta de documentación actualizada, junto a deficiencias en cuanto a orden, organización y limpieza del lugar de trabajo, aspectos que pueden no solo causar daños al equipo, sino también, incrementar las situaciones de riesgo para las personas.

Para cumplir con los objetivos de la propuesta para la implementación del Mantenimiento Productivo Total, se hace necesario realizar un levantamiento de la situación actual del área de coating 1.5M, cuyo análisis permita obtener y determinar los indicadores y puntos críticos, así establecer el plan de acción y metodología de implementación para dar respuesta a la problemática existente, con la finalidad de mejorar las deficiencias presentes en procedimientos y estrategias de mantenimiento, como así también, optimizar las condiciones de orden, limpieza y organización del lugar de trabajo mediante el uso de metodologías de mejoramiento continuo.

**OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta de implementación de un Plan de Mantenimiento Productivo Total, aplicando herramientas del concepto de mejora continua, con la finalidad de mejorar las condiciones actuales derivadas de la falta de mantenimiento existentes en el Área Coating 1.5M.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir el marco teórico y de las metodologías de mantenimiento, para establecer la base conceptual y contextual, para la construcción del plan de mejora del mantenimiento.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual del área de Coating, mediante el levantamiento de herramientas de mejora continua, para establecer los puntos críticos de mejora.
- Elaborar un plan de mejora continua mediante la implementación de las metodologías TPM y 5S, que permitan cumplir los objetivos de la propuesta.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

### **1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA**

EL Observatorio Interamericano Cerro Tololo (CTIO) es un complejo de telescopios e instrumentos astronómicos ubicado aproximadamente 80 km al este de la ciudad de La Serena, Chile, a una altitud de 2200 metros. El complejo es parte del Observatorio Nacional de Astronomía Óptica (NOAO) junto con el Observatorio Nacional Kitt Peak (KPNO) en Tucson, Arizona. Sus principales telescopios son el Telescopio Víctor M. Blanco de 4 metros de diámetro y el telescopio de Investigación Astrofísica del Sur (SOAR) de 4,1 metros de diámetro, puesto en operación en abril de 2004. NOAO es el centro Nacional de Investigación y Desarrollo de los Estados Unidos para la astronomía nocturna terrestre y es operada por la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía (AURA), que también opera el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial y el Observatorio Gemini, que posee dos telescopios de 8 metros, uno de los cuales está ubicado juntamente con CTIO en la propiedad AURA en Chile, junto con más de 10 otros telescopios y proyectos astronómicos.

#### **1.1.1. Misión**

La Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía AURA, es un consorcio internacional que opera los telescopios de Cerro Tololo, Gemini, SOAR y el futuro proyecto Rubin. AURA y sus programas de Educación y Difusión en Chile, tienen como misión promover la excelencia en la investigación astronómica proporcionando acceso a instalaciones de vanguardia.

#### **1.1.2. Visión**

Como parte de su visión, en conjunto con la NSF (National Science Foundation) tienen la labor que incluye el mantenimiento, soporte y acceso a telescopios de espectro óptico e infrarrojo, instrumentos auxiliares, instalaciones para reducción de datos y software para usuarios elegidos en base al mérito científico de la comunidad astronómica. Busca ser una empresa líder en el desarrollo de instrumentación innovadora y de vanguardia y técnicas para observaciones astronómicas a longitudes de onda visible e infrarrojas, manteniendo un personal científico y técnico de primera clase, que proporciona liderazgo para desarrollar instrumentos y llevar a cabo investigaciones de vanguardia en apoyo a la misión del observatorio.

## **1.2. HISTORIA OBSERVATORIO INTERAMERICANO CERRRO TOLOLO**

En 1960 había 10 observatorios astronómicos en el hemisferio Sur, comparado con los 88 que estaban en operación en el hemisferio Norte. La mayoría de los astrónomos reconocían que este desbalance era objetable, considerando los muchos objetos astronómicos singulares ubicados en los cielos del hemisferio sur. Muchas expediciones a Chile lideradas por los más importantes observatorios de Europa o Estados Unidos se habían comenzado hacía más de un siglo antes. Finalmente, en 1960, el estudio de sitios en Chile comenzó bajo la dirección del Dr. Jorgen Stock de la Universidad de Chicago y Universidad de Texas, con el auspicio de la Fuerza Aérea de Estados Unidos y con la cooperación de la Universidad de Chile. El 30 de junio de 1960, AURA tomó este proyecto y un año después la Fundación Nacional de las Ciencias (NSF por sus siglas en inglés) tomó el auspicio del entonces llamado "Proyecto Chile".

Los esfuerzos por localizar un sitio ideal para la instalación de un complejo astronómico en el hemisferio sur, se desarrolló desde enero de 1960 hasta fines de 1962 cuando se tomó la decisión de instalar el Observatorio en Cerro Tololo, exactamente en las siguientes coordenadas: Latitud 30 grados, 10 min Sur, Longitud 70 grados, 49 min Oeste, cerca de la ciudad de Vicuña.

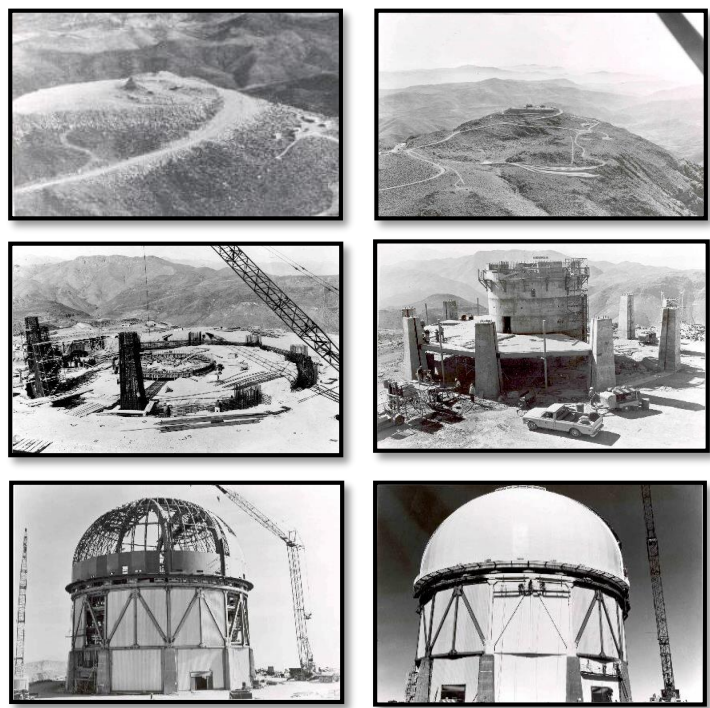
El 23 de noviembre de 1962, se tomó la decisión de ubicar en Cerro Tololo el observatorio que llevaría el mismo nombre. Con anterioridad a ello, se había ya transportado a lomo de mula un telescopio de 0.41m para el testeo final del sitio y para investigaciones astronómicas realizadas por el Dr. Stock y astrónomos de la Universidad de Chile. Las primeras construcciones en Cerro Tololo consistieron en un camino rudimentario para las mulas y un refugio primitivo para el telescopio de 0.41m. En esos comienzos un viaje normal desde La Serena a Cerro Tololo podría tomar desde 8 a 24 horas dependiendo del clima y de las habilidades de los jinetes.

Los inicios del Observatorio Interamericano de Cerro Tololo se remontan a la creación misma de AURA en 1957, en Arizona. El director del Observatorio Nacional de Chile, profesor Federico Ruttlant se enteró que estaba formándose esta nueva Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía (AURA) y que tenían intención de buscar sitios para un observatorio nacional de los EE. UU. en el hemisferio Sur. Prontamente viajó a EE. UU. para contactar personalmente a algunos de estos pioneros y hacerles ver que en Chile había excelentes cielos para la observación astronómica. Los convenció a tal punto que en 1959 contrataron al astrónomo Jurgen Stock de la Universidad de Texas para que se hiciera cargo de la búsqueda de lugares en Chile. En 1960 se empezaron los estudios de cerros partiendo desde Santiago hacia el Norte. Después de casi tres años se concluyó que el mejor y más apropiado sitio era el Cerro Tololo en las cercanías de Vicuña.

La primera oficina administrativa de CTIO comenzó a operar en diciembre de 1961 en el Observatorio Nacional de Chile en Cerro Calán, Santiago. Poco después de la selección de Tololo en 1962, se adquirió un lote de 8 hectáreas en La Serena

junto a la Universidad y se iniciaron los trabajos de construcción en tres casas y un edificio de la sede. Las casas fueron terminadas en marzo de 1965 y fueron ocupadas por un administrador, un miembro del personal científico y un jardinero. En el edificio de la sede se reunió en marzo de 1964, la Junta Directiva de AURA que aprobó un plan maestro de 5 años para el desarrollo de CTIO. La implementación del plan maestro de AURA para CTIO se inició con mucha actividad. Dado que los planificadores estaban en la sede de KPNO en Tucson, Arizona y los constructores estaban en Chile, las comunicaciones rápidas eran esenciales. En febrero de 1964, los primeros mensajes de radio fueron intercambiados entre KPNO y CTIO. Para hacer esto posible, la Universidad de Chile dejó que AURA utilizara las longitudes de onda y las letras de llamada que se le asignaron.

Mientras tanto, en 1969, AURA construyó la carcasa para un telescopio de 0,6m que el Observatorio Lowell adquirió para observaciones planetarias de Tololo. Este telescopio se convirtió en propiedad de AURA cinco años más tarde. En 1974 la Universidad de Yale acordó prestar a CTIO su telescopio de 1m y esto también se puso en funcionamiento en una cúpula construida por AURA en un año.



Fuente: <http://www.ctio.noao.edu/noao/content/history-photos>

Figura 0-1.Construcción Telescopio 4M Víctor Blanco Cerro Tololo.

A finales de 1975, después de 13 años habían pasado desde la decisión de desarrollar CTIO, AURA había puesto en funcionamiento ocho telescopios, incluyendo el que todavía es el más grande del hemisferio sur. Este telescopio solo tomó 7 años desde el momento en que su financiamiento se puso a disposición hasta que vio la

luz por primera vez en la noche del 25 de septiembre de 1974. Estos fueron, de hecho, logros orgullosos, especialmente si se considera la compleja infraestructura de apoyo que requieren los telescopios para operar eficazmente en un lugar remoto.

### **1.3. INSTALACIONES OBSERVATORIO CERRO TOLOLO**

Actualmente, el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, cuyo significado es "al borde del abismo" tiene siete cúpulas operativas y múltiples telescopios, incluido el "Víctor Blanco", el más grande con cuatro metros de diámetro. Es operado por la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía AURA.INC, en cooperación con los Observatorios Nacionales de Astronomía Óptica (NOAO), bajo acuerdo con la NSF(Fundación Nacional de las Ciencias de Estados Unidos).Este pionero en la observación astronómica continúa haciendo ciencia de primera línea, pero el éxito de sus contribuciones a la humanidad abrió el camino para la construcción de nuevos y potentes telescopios ubicados en otra cumbre cercana: el Cerro Pachón, donde actualmente operan los telescopios Gemini de 8 metros de diámetro, telescopio Soar, con cuatro metros de diámetro y el futuro Rubin actualmente en construcción.



Fuente: <https://noirlab.edu/public/images/archive/category/ctio/>

Figura 0-2.Registro fotográfico vista aérea Cerro Tololo.



1.3.1. Descripción del Área de Coating

Los telescopios situados en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo poseen espejos de distintos diámetros y mantener una buena reflectividad, que es la calidad de la capa reflectora de aluminio de estos, es un factor fundamental para el desarrollo de la observación astronómica. Por tal motivo constantemente se está midiendo la reflectividad y ejecutándose tareas de limpieza de los espejos, lo que permite determinar y programar los trabajos de aluminizado de los espejos astronómicos, con la finalidad de mantener las condiciones ópticas en condiciones óptimas para el desarrollo de la observación astronómica.

En las instalaciones del Observatorio Interamericano Cerro Tololo, dentro de la denominada área de coating, existen actualmente dos cámaras de aluminizado, una con capacidad para recubrir espejos de hasta 4 metros de diámetro y una segunda con capacidad para espejos de hasta 1,5 metros de diámetro. Esta última cámara de recubrimiento, se encuentra en la denominada área de coating 1.5M, que es el centro de estudio de este trabajo. Esta área se ubica específicamente en la planta baja del telescopio de 1.5 metros y cuenta con una superficie aproximada de 80 m<sup>2</sup>.



Fuente: Elaboración propia en base a registro fotográfico tomado en Tololo.

Figura 0-3.Registro fotográfico áreas de coating 1.5M y 4 M.

1.3.2. Cámara de aluminizado y proceso de coating

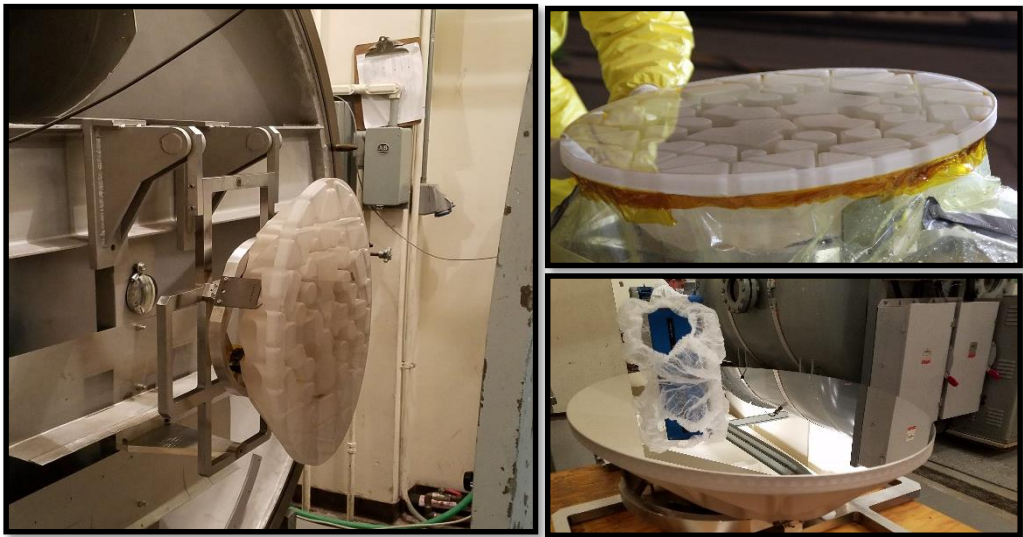
La planta de aluminizado es una cámara de alto vacío que dispone de bombas mecánicas y difusoras, además sensores de vacío, de temperatura, de corriente, entre otros dispositivos necesarios para efectuar y monitorear el proceso de vacío y de recubrimiento de los espejos.

Antes de realizar el proceso de recubrimiento, hay que retirar el espejo a aluminizar desde el telescopio, para lo cual hay una serie de procedimientos

específicos, que involucran la participación de personal de distintos departamentos del observatorio. El trabajo de remover el espejo de su celda es un trabajo que conlleva bastante tiempo y preparación, y de muchísimos cuidados para no dañar la óptica, electrónica y distintos mecanismos que tienen estos sistemas.

Una vez removido el espejo desde el telescopio, se da paso a la preparación del proceso de coating, para lo cual se realiza un procedimiento llamado stripping, que permite en varios pasos limpiar la superficie del espejo y retirar la suciedad que pueda tener adherida, luego se continua con prelavado, lavado, aplicación de químicos y secado, con lo cual es removida la capa reflectora del espejo, que en este caso es de aluminio, quedando listo para el proceso de recubrimiento.

Finalmente, con el espejo completamente limpio y sin su capa reflectora, se procede a introducirlo dentro de la cámara de aluminizado, para comenzar el proceso de alto vacío y recubrimiento, cuyo objetivo es depositar una fina capa reflectante mediante un proceso de evaporación de aluminio al 99,9% y permitir el recubrimiento de la superficie de los espejos para uso astronómico.



Fuente: Elaboración propia en base a registro fotográfico tomado en Tololo.

Figura 1-4: Fotografías proceso aluminizado área de coating 1.5M.

**1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La cámara de aluminizado que se encuentra dentro del Área de Coating 1.5M, es un equipo fundamental para realizar los trabajos de recubrimiento de los espejos de los telescopios del observatorio, ya que, de la calidad de su reflectividad, depende en gran medida el desarrollo de la observación astronómica.

La problemática se fundamenta en la falta de mantenimiento de la cámara de aluminizado, donde no existe un plan de mantención, situación que ha generado una serie de inconvenientes previos y durante el desarrollo de los trabajos necesarios para la preparación del proceso de recubrimiento de los espejos.

La cámara de recubrimiento del área específica, no es un equipo que se encuentre en operación permanente, por tanto, cuando no existen trabajos programados de aluminizado, mantiene tiempos inoperativos extensos y sin ningún plan de mantenimiento que permita mantener el equipo en condiciones operativas.

Dentro de la organización si bien existe un departamento de mantenimiento, en esta área en particular, el personal es muy reducido debido a la especialización que requieren para la ejecución de los trabajos, lo que contribuye en parte a la falta de mantenimiento evidenciada en el área.

Estas situaciones han contribuido a que los últimos procesos de coating realizados en los años 2016 y 2019, han tenido resultados poco satisfactorios, debido a una serie de fallas producidas, tanto en elementos y componentes propios de la cámara de aluminizado, como así también, en la preparación previa del proceso de coating. Todos estos factores han influido en el resultado final del proceso, siendo algunas de las situaciones que generan la problemática descrita anteriormente, las siguientes:

- Pérdidas de tiempo al momento de poner en servicio el equipo debido a fallas imprevistas.
- Deterioro de algunos componentes y falta de stock para recambio.
- Suciedad excesiva, situación que genera tiempos extensos de limpieza.
- Desorden general del área de trabajo.
- Falta de documentación actualizada.
- Exceso de horas de ejecución de mantenimiento correctivo.
- Sensores y componentes necesarios para el proceso de vacío obsoletos.
- Falta de programación de los trabajos previos preparativos del proceso de coating.
- Gestión del mantenimiento deficiente, entre otros factores

Junto con los problemas descritos anteriormente, se ha detectado la necesidad de realizar diversas mejoras en el área de trabajo, ya que no existe una metodología de orden, limpieza y organización, lo que ha sido un factor influyente, para poder realizar los trabajos con los estándares necesarios, ante lo cual se hace necesario implementar metodologías y herramientas de mantenimiento, para obtener las mejoras necesarias en el área de trabajo.

Al no existir una programación de actividades no se pueden controlar las necesidades para la ejecución de estas, generando un aumento de los costos y sobretiempo en la ejecución de las tareas de mantenimiento correctivo por parte del

personal a cargo, por tal motivo, se hace necesario plantear propuestas de mejora que permitan dar solución a la problemática existente.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍAS**

Ante la problemática existente y la criticidad de mantener en condiciones operativas la cámara de aluminizado del área de coating 1.5M y la importancia que reviste para la observación astronómica mantener estos equipos en condiciones óptimas, se hace necesario implementar una serie de mejoras en los planes de mantenimiento, como así también, en el área de trabajo. Considerando la situación actual planteada y en base al estudio realizado de las diferentes estrategias y metodologías de mantenimiento, se realiza una propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento bajo la filosofía TPM con la aplicación de algunos de sus pilares fundamentales como mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado en su fase inicial, esto acompañado de la metodología de las 5S como base fundamental para el TPM, ambas filosofías en conjunto permitirán entregar una propuesta sólida para solucionar los inconvenientes y problemas asociados a la falta de un plan de mantenimiento para el área de estudio.

La generación de nuevas metodologías hacia la máxima expresión de la productividad, debe estar acompañada por actividades que generen eficacia en los procesos, aprovechando al máximo tanto los recursos físicos como humanos, los cuales brinden resultados de calidad altos, optimizando recursos y reduciendo las pérdidas, minimizando el costo por este concepto por medio de inspecciones preventivas, además de mantener los puestos y lugar de trabajo en las mejores condiciones de limpieza y orden posibles, lo que, sin duda, tendrán un impacto en cuanto a seguridad y eficiencia en las operaciones. Con la propuesta de implementación del TPM, se pretende generar un cambio en la forma como se realizan actualmente los trabajos en el área de coating 1.5M, así establecer un plan de trabajo que permita evidenciar mejoras tales como:

- Mejor almacenamiento de repuestos.
- Mejorar áreas de trabajo y control visual de las mismas.
- Implementar orden y limpieza en las actividades rutinarias.
- Implementar planes de mantenimiento periódicos.
- Crear conciencia sobre las nuevas metodologías de trabajo y con ello, mejorar las prácticas y condiciones de trabajo.
- Obtener mejores resultados en los procesos de aluminizado.

La implementación del TPM en las actividades del Observatorio y específicamente en el área de coating, se basa en que este sistema de mejora continua tienen entre sus objetivos mejorar la confiabilidad de los equipos

involucrando a todos los colaboradores , en la actualidad muchas de las fallas que provocan detención de los equipos del área específica se deben entre otros factores a la falta de mantenimiento preventivo y al exceso de horas de mantenimiento correctivo, esto sumado a la poca cantidad de técnicos disponibles para las tareas de mantenimiento del equipo cámara de aluminizado, ante esta situación el TPM busca mejorar las habilidades de los operadores, quienes a la vez son los mantenedores, con ello mejorar las condiciones y habilidades para desarrollar las tareas de limpieza, lubricación, reparaciones pequeñas entre otras tareas de mantención propias que requiere el equipo, actividades que van a permitir mejorar su disponibilidad y alargar su vida útil.

La implementación efectiva y gradual de un sistema de mantenimiento basado en el TPM permitirá poco a poco ir traduciéndose no solo en beneficios económicos, sino también organizativos, productivos y de seguridad en el trabajo, lo que será de gran apoyo para los cambios organizacionales que están actualmente en proceso en la empresa, los que apuntan a establecer un sistema de gestión de mantenimiento organizado basado en la confiabilidad y la mejora continua. Al encontrarse en un ambiente organizado, el clima laboral y la satisfacción personal aumentarán de la misma manera que la productividad en las operaciones, representado en una mayor eficiencia en los procesos.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MANTENIMIENTO**

Hasta la segunda guerra mundial las labores del mantenimiento eran realizadas solamente por el personal productivo porque era este último, quien tenía mejor conocimiento de los equipos. El mantenimiento no era fundamental en el proceso productivo y se limitaba a labores correctivas.

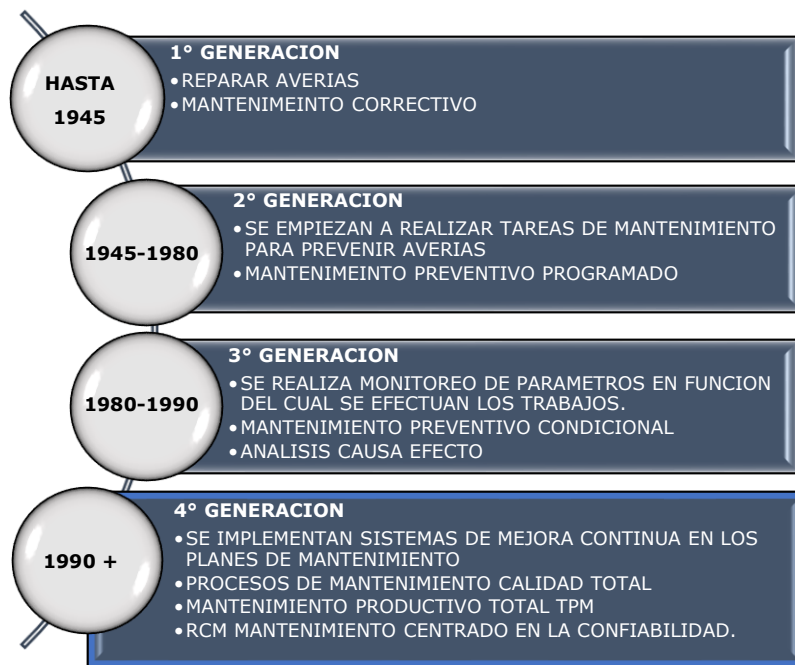
A partir de la segunda guerra mundial con el aumento de la mecanización y el alto grado de complejidad de las instalaciones; aparecieron las ingenierías especializadas, como, eléctrica, mecánica, química, etc., y se empiezan a desarrollar nuevos conceptos en mantenimiento.

Fue la Revolución industrial y la mecanización de las industrias, un punto de inflexión, donde surgió la preocupación por los fallos en las herramientas o de los equipos, incluso en ocasiones, el paro en la industria. Esto dio paso a una serie de estudios y aplicaciones sobre el mantenimiento que se desarrollaron cronológicamente. Todo esto dio pase a una serie de estudios como fiabilidad y mantenimiento preventivo (1950), mantenimiento productivo (1954), ingeniería del valor (1962) y mantenimiento productivo total, en la década de los 70's. Así sucesivamente la globalización del mercado se produjo creando nuevos modelos de mantenimiento para lograr una mejor calidad y excelencia, mediante metodologías como, 5S, Kaizen, RCM, Lean Manufacturing, entre otras.

El mantenimiento responde a las expectativas de cambio que incluyen una toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente, relación entre mantenimiento y calidad del producto y de poder alcanzar una alta disponibilidad en la planta a bajos costos.

Ante estos cambios las empresas están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento, buscando un cambio en la estructura estratégica para los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga las necesidades de la empresa.

Históricamente el mantenimiento ha manifestado cambios, desde la década de los años 30 del siglo XX, se ha podido observar su evolución a través de cuatro generaciones, lo que ha llevado al personal de mantenimiento a aprender y utilizar nuevas metodologías y herramientas, para poder cumplir con los requerimientos y estándares en la industria actual. En la figura 2-1 se muestra un resumen de la evolución del mantenimiento al pasar de los años.



Fuente: Elaboración propia en base estudio realizado.

Figura 2-1. Evolución del Mantenimiento.

## 2.2. METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO

A lo largo de la evolución del mundo industrial se han creado diferentes técnicas de mantenimiento que han ido evolucionando a lo largo del último siglo en función de las carencias que se observaban en cada uno de los modelos de mantenimiento al aplicarlos a la situación industrial real, como lo es en la actualidad el pensamiento Lean Manufacturing. Este es un sistema con muchas dimensiones que incide especialmente en la eliminación del desperdicio mediante la aplicación de distintas técnicas de mejoras, que se engloban unas en otras, algunas interactúan entre ellas, y todas se han ido adaptando a los nuevos usos de la industria. En la actualidad son las necesidades concretas de cada equipo y de cada industria las que marcan el modelo de mantenimiento para optimizar sus recursos y sus necesidades.

Es así como la evolución del mantenimiento ha generado a lo largo del tiempo diversas metodologías y herramientas enfocadas a mejorar los procesos, donde algunas de las más representativas y con mayor aplicación en la industria son:

- RCM: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
- TQM: Gestión de Calidad Total
- JIT: Metodología de producción cuyas siglas en ingles son Just in Time (Justo a tiempo)



- TPM: Mantenimiento Productivo Total, conjunto de múltiples acciones de mantenimiento que persigue eliminar las pérdidas por tiempos de parada de las máquinas o equipos.
- 5s: Metodología Japonesa utilizada para mejorar las condiciones de trabajo de una empresa, a través de la organización, orden y limpieza en el lugar de trabajo.
- Kaizen: Metodología que se enfoca en el concepto de mejora continua.
- PDCA: Conocido como ciclo Deming, cuya finalidad es identificar las áreas de oportunidad para planificar el cambio e implementarlo.
- Control Visual: Conjunto de técnicas de control y comunicación visual que tienen por objetivo facilitar a todos los empleados el conocimiento del estado del sistema y del avance de las acciones de mejora.

Más allá del poder de estas técnicas, las acciones para su implementación deben centrarse en el compromiso de la empresa en invertir en su personal y promover la cultura de la mejora continua. Los pensamientos del Lean Manufacturing implican una transformación cultural profunda, de manera que empezar con un planteamiento modesto basado en pocas técnicas, incluso solo una, para generar un mini-éxito, es la manera correcta de afrontar inicialmente el conocimiento e implantación de las otras técnicas Lean. De cualquier forma, cualquier plan de acción debe plantearse a largo plazo, persiguiendo un cambio cultural que pase a formar parte del saber hacer de la empresa.

A continuación, se describen algunos conceptos y herramientas que se utilizan para el desarrollo de la propuesta, exponiéndose con mayor detalle las metodologías 5S y TPM.

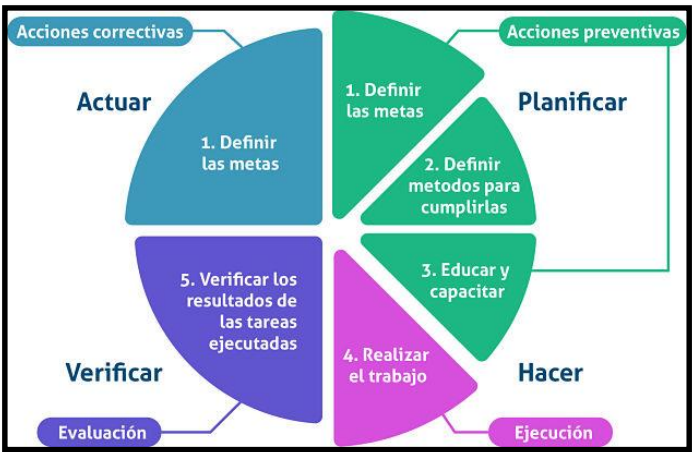
#### 2.2.1. Concepto Mejora Continua

La mejora continua, es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio. Se refiere al hecho de que nada puede considerarse como algo terminado o mejorado de manera definitiva. Estamos siempre en un proceso de cambio, de desarrollo y con posibilidades de mejorar. La vida no es algo estático, sino por el contrario, es un proceso dinámico en permanente cambio y evolución como parte de la naturaleza del universo, así también, este criterio se aplica tanto a las personas, como a las organizaciones y sus actividades.

La mejora continua se transforma en un ciclo continuo, mediante el cual identificamos un área de mejora, planeamos como realizarla, la implementamos, verificamos los resultados y actuamos de acuerdo con ellos, ya sea, para corregir desviaciones o para proponer metas más ambiciosas, para permitir la renovación, el desarrollo y progreso, así dar la posibilidad de responder a las necesidades cambiantes de nuestro entorno, en el fondo postula que es una actitud general que

debe ser la base para asegurar la estabilización del proceso y la posibilidad de tener un sistema que le permita optimizar y mejorar continuamente.

La mejora continua no solo tiene sentido para una empresa de producción masiva, sino también en empresas que prestan servicios es válida y ventajosa, porque si se tiene un sistema de mejora continua, establecido y conocido por todos los que conforman la empresa, tiene la ventaja de que todas las personas que participan en el proceso tienen la capacidad de opinar y proponer mejoras, lo que hace que se identifiquen más con su trabajo y se tiene la garantía que la información es de primera fuente, pues quien plantea el problema y propone las mejora, conoce el proceso y lo realiza todo los días. A pesar de que hay varias metodologías asociadas al concepto de mejora continua, su base se fundamenta en el denominado ciclo PDCA, Planificar, Hacer, Verificar, Actuar. La ideología principal del ciclo PDCA o ciclo Deming, como se indica en la figura 2-2, es identificar las áreas de oportunidad para planificar el cambio e implementarlo, verificando los resultados de implementación para actuar en base al cambio o para comenzar nuevamente el ciclo mediante la planificación de los nuevos cambios.



Fuente: <https://proalnet.com/blog/34-el-ciclo-de-mejora-continua-pdca-phva/>

Figura 2-2. Ciclo Deming PDCA.

2.2.2. Concepto Kaizen

Haciendo un poco de historia, Kaizen nació en Japón en los años 50 con el objetivo de reconstruir la industria nipona tras la guerra. Fue concretamente en la compañía Toyota donde Taiichi Ohno inició este método en el marco del Lean Manufacturing, un principio más genérico enfocado en aumentar la calidad de la producción de una empresa a través de un proceso de mejora continua. Masaaki Imai fue quien popularizó el sistema Kaizen en occidente. Nacido en 1932, trabajó durante los años 50 para el Japan Productivity Center, un centro creado para mejorar

la productividad tras la guerra. Fue en el transcurso de esta actividad, en los años sesenta, cuando conoció a Taiichi Ohno. Más tarde, en 1985, fundó el Kaizen Institute con el objetivo de ayudar a las empresas a adoptar el método Kaizen, así como todas las herramientas que hoy se conocen con el nombre de Lean Manufacturing.

La palabra Kaizen surge de la contracción de dos términos japoneses, Kai que significa "cambio" y Zen "mejor", se trata de un proceso de evolución continua que se basa en la repetición de pequeñas mejoras en el día a día. Para lograr que esto funcione, cada miembro del equipo debe implicarse y proponer ideas que fomenten dicha evolución. Consiste en centrarse a diario en la eliminación de problemas y en la optimización de los procesos de trabajo, donde el concepto de "mejora continua" cobra relevancia al momento de optimizar la gestión de mantenimiento de nuestras empresas.

Kaizen es un método japonés de mejora continua que busca incrementar la eficiencia, sin embargo, a diferencia de otros métodos con objetivos similares, lo hace desde un enfoque basado en las personas y los trabajadores.

Para que el Kaizen sea efectivo debe entrar en juego un elemento más como las cinco S, que son cinco palabras japonesas; Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Sheitsuke, cuyo objetivo es introducir tanto el orden, como la disciplina en el lugar de trabajo y contribuir tanto a la eliminación de desperdicios dentro del sistema de producción, como a mejorar las labores de mantenimiento de equipos y reducir los accidentes laborales. Es un proceso que involucra a todos, que en forma sistemática ofrecen el "step by step", para alcanzar la mejora continua.

### 2.2.3. Concepto Control Visual

El control visual, conocido también como fábrica visual, es un concepto del Lean Manufacturing o manufactura esbelta, que enfatiza en colocar información crítica en el lugar donde sea necesario. Los sistemas y dispositivos visuales son fundamentales en la mayoría de las herramientas más utilizadas del Lean Manufacturing, como 5S, Trabajo Estándar, Mantenimiento Productivo Total, Kanban (producción basada en la demanda), etc. De hecho, control visual sirve como pilar clave para sostener estas iniciativas, ya que asegura que las mejoras que promueven estas metodologías estén claramente visibles, que se puedan comprender con facilidad y que sigan aún mucho tiempo después que el proceso de mejora haya terminado.

Muchas empresas se sorprenden al descubrir que solo una pequeña parte de sus actividades realmente agrega valor a sus clientes, por lo que no es extraño que un porcentaje considerable de las actividades se considere desperdicio.

Una de las principales causas de desperdicio es la falta o carencia de información, los empleados simplemente desconocen lo que realmente necesitan saber para desempeñar su trabajo de manera efectiva y eficiente, lo que lleva a los trabajadores a perder tiempo valioso en búsquedas, esperas, reprocesos o

simplemente dejan de realizar la actividad. Por ello un área de trabajo visual contribuye a eliminar preguntas, logrando generar mejoras significativas en productividad, calidad, satisfacción del cliente y seguridad entre otros factores.

Al reforzar los estándares y señalar anomalías mediante el control visual, se ayuda a los conceptos fundamentales de 5S y Mantenimiento Productivo Total que se utilizan para estabilizar y mantener el entorno de trabajo, los métodos de trabajo y el desempeño del equipo.

Una vez establecida una base sólida de operación estable, los siguientes pasos serían implementar un programa de mejoras similar al Kaizen, que ayude a aumentar la excelencia operativa. En esta etapa tener un área de trabajo visual se torna aún más crítica, ya que un área de trabajo con mejoras continuas, es también un área de trabajo en constante cambio. Por tanto, el uso del concepto de control visual, ayudara a asegurar que los nuevos estándares estén claramente visibles, que puedan ser comprendidos con facilidad y que todos los empleados se concienticen en la utilización de estos nuevos conceptos.

### **2.3. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA 5S**

El método de las 5S se originó en Japón y fue elaborado por Hiroyuki Hirano como una herramienta de cambio dentro de su compañía, que apunta a una nueva forma de desarrollar las labores dentro de las organizaciones. El método de las 5S es una concepción ligada a la orientación hacia la calidad total que se originó en Japón bajo la orientación del estadístico estadounidense, William Edwards Deming, hace más de 40 años y está incluida dentro de lo que se conoce como mejoramiento continuo Gemba Kaizen. Sus principales resultados se vieron reflejados en la compañía de vehículos Toyota. Gracias a una nueva forma de organizar la producción o el servicio, hicieron conocidos sus sistemas de calidad, y dentro de este contexto surge la estrategia de las 5S, donde aplican mejoras duraderas en el nivel de organización, orden y limpieza.

Las cinco "S" son el fundamento del modelo de productividad industrial creado en Japón y en la actualidad se aplica en todas partes del mundo. No es que sean características exclusivas de la cultura japonesa, incluso las personas, de manera inconsciente aplican este método en la vida cotidiana al mantener sus pertenencias de manera ordenada y limpia.

El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen la herramienta y cuya fonética empieza por "S": Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.

El principio de las 5S puede ser utilizado para romper con los viejos procedimientos existentes y adoptar una cultura nueva a efectos de incluir el mantenimiento del orden, la limpieza e higiene y la seguridad como un factor esencial

dentro del proceso productivo, de la calidad y de los objetivos generales de la organización. Es por esto que es de suma importancia la aplicación de la estrategia de las 5S como inicio del camino hacia una cultura Lean o de mejora continua. La figura 2-3 resume los principios básicos y su implantación en cinco pasos o fases:



Fuente: [https://clusmin.org/curso-5s/\(google\)](https://clusmin.org/curso-5s/(google)).

Figura 2-3. Conceptos de las 5S.

Las 5S son una de las técnicas más ampliamente adoptadas de las herramientas ofrecidas por Lean Manufacturing o manufactura esbelta. Junto con Trabajo Estándar y Mantenimiento Productivo Total, 5S es considerado un concepto “fundamental” de Lean Manufacturing, ya que establece la estabilidad de operación requerida para poder hacer y sostener mejoras continuas.

Los principios en los que se basa la metodología 5S, quizás sean los más fáciles de entender dentro del pensamiento Lean, y además posiblemente sea la herramienta menos costosa económicamente. Aun así, es una potente herramienta que genera grandes beneficios pero que difícilmente se consigue expresar el máximo beneficio. El principal objetivo de 5S es crear un entorno limpio y ordenado, un entorno donde hay un lugar para cada cosa y cada cosa está en su lugar. Así mismo, ayuda a establecer la estructura y disciplina requeridas para buscar de manera exitosa otras iniciativas de mejora continua.

Por tanto, el éxito y su perpetuidad exige un compromiso total por parte del personal operativo y de mantenimiento, como así también de la dirección, para lograr inducir a un cambio y comportamiento de la organización, motivando al personal para garantizar el éxito de una implementación de esta metodología, junto con ello es fundamental desarrollar y adoptar cada una de las etapas necesarias para lograr un resultado satisfactorio.

La finalidad de implementar estos conceptos sencillos que a menudo las personas y empresa no le dan la suficiente importancia, contribuirán a obtener los siguientes resultados y beneficios:

- Reducir las actividades que no agregan valor.
- Reducir los tiempos usados en la orientación y capacitación de los empleados.
- Reducir las pérdidas por calidad de tiempo, en la búsqueda de material y desplazamientos innecesarios.
- Responder a la necesidad de mejorar el ambiente de trabajo, eliminando productos y elementos innecesarios producidos por el desorden, falta de aseo, contaminación etc.
- Facilitar la creación de condiciones para aumentar la vida útil de los equipos, gracias a la inspección periódica por parte del personal a cargo.
- Mejorar la estandarización y disciplina del todo el personal de trabajo, mediante el cumplimiento de los métodos implementados de manera constante.
- Hacer uso de elementos de control visual, como inspecciones rutinarias, tarjetas, tableros, estantes que permitan mantener ordenados los elementos y herramientas que se ocupen en los procesos productivos.
- Extender la vida útil del equipo realizando inspecciones más frecuentes.
- Mejorar las condiciones de seguridad del entorno y de los empleados.
- Poder implementar cualquier otra metodología de mejora continua, como por ejemplo concepto Kaizen, Calidad Total y Mantenimiento Productivo Total.
- Reducir los potenciales causas de accidentes y aumentar la conciencia del personal en el autocuidado, conservación de los equipos y recursos de la empresa.

Las implementaciones de la metodología de las 5S no solo generan cambios en el área de trabajo, sino, además, incentiva el trabajo en equipo, lo cual puede generar los siguientes beneficios:

- Un mayor compromiso de los trabajadores con sus tareas, al tener un mejor ambiente laboral.
- Mayor compromiso y responsabilidad de los trabajadores en la ejecución de las tareas.
- Se da mayor valor a los aportes del personal al cumplir con los estándares establecidos.
- Menos productos o elementos defectuosos o innecesarios.
- Menos averías o fallos imprevistos.
- Mayor conocimiento del puesto de trabajo.
- Menor probabilidad de ocurrencia de accidentes o daños a equipos.

La filosofía de mejoramiento continuo que tiene el método de las 5S va más allá, del aparentemente simple limpiar y ordenar. El compromiso se debe demostrar mediante la consistencia entre el decir y el hacer. Propiciando las condiciones para que cada empleado de la empresa desencadene sus propias motivaciones y potencialidades, logrando en lo personal un desarrollo auto dirigido, que al sumarse al de los demás genere mayores niveles de productividad, calidad y seguridad.

Comprender la definición de cada uno de los conceptos de las 5S es relevante para lograr su finalidad, pues cada uno de ellos tienen beneficios y métodos de implementación diferentes, lo que permite al definir cada uno de ellos una idea clara para hacerlo encajar en el lugar donde se pretende implementar.

### 2.3.1. Concepto Seiri

Es la primera "S", donde Seiri significa clasificar, que busca separar lo necesario de lo innecesario, guardando o reubicando lo necesario y desechando todo aquello que no tenga utilidad en el área de trabajo, identificando la naturaleza de cada elemento. La idea principal es minimizar el uso de materiales innecesarios, generando un ahorro y liberación de los espacios de almacenamiento. Todos aquellos elementos que no son útiles perjudican el control visual del trabajo dificultando no solo la circulación dentro del área de trabajo, sino, además, generan pérdidas de tiempo e incluso pueden provocar accidentes. Con esta primera S, se busca crear métodos de trabajo y recomendaciones que permitan, no solo descartar lo que no se usara más, ni implica solo seguir patrones establecidos, sino dejar solo lo esencial para el trabajo.



Fuente: Elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 2-4. Ilustración concepto Seiri.

La implementación de Seiri, entrega beneficios importantes para cualquier tipo de ambiente laboral y puede ser implementado por cualquier persona, ya que es muy sencillo de aplicar, entregando grandes resultados tanto en seguridad, orden, limpieza y producción.

### 2.3.2. Concepto Seiton

Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se encuentren con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándolos para facilitar su búsqueda y el retorno a su posición inicial, así reducir los tiempos de búsqueda de las cosas. Una vez que se retiran los elementos innecesarios de los puestos de trabajos, se deben ordenar los elementos útiles, ubicándolos en un lugar asignado e identificado, con la finalidad que las herramientas, equipos o elementos necesarios puedan ser encontrados con facilidad por quienes los requieran, esto contribuirá a evitar pérdidas de tiempo por búsqueda, movimientos innecesarios, problemas de calidad y condiciones inseguras.



Fuente: Elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 2-5. Ilustración concepto Seiton.

Para su puesta en práctica hay que decidir dónde colocar las cosas y cómo ordenarlas teniendo en cuenta la frecuencia de uso y bajo criterios de seguridad, calidad y eficacia. Se trata de alcanzar el nivel de orden preciso para producir con calidad y eficiencia, dotando a los empleados de un ambiente laboral que favorezca la correcta ejecución del trabajo.

La actitud que más se opone a lo que representa Seiton, es la de "ya lo ordenaré mañana", que acostumbra a convertirse en "dejar cualquier cosa en cualquier sitio".



### 2.3.3. Concepto Seiso

Este concepto consiste en mantener la limpieza, inspeccionar el entorno con la finalidad de identificar los defectos y eliminarlos, es decir, anticiparse para prevenir la ocurrencia de fallas o defectos. Su aplicación contribuirá a una serie de beneficios, tales como:

- Integrar la limpieza como parte de la rutina diaria de trabajo.
- Asumir las tareas de limpieza como una actividad de inspección necesaria.
- Centrarse más en la eliminación de los focos de suciedad que en sus consecuencias.
- Buscar conservar los elementos o equipos en condiciones óptimas, lo que supone reponer elementos faltantes, por ejemplo, tapas de máquinas, conectores, documentación etc. Y recuperar aquellos que no funcionan o que están provisoriamente reparados.



Fuente: Fuente elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 2-6. Ilustración concepto Seiton.

Implementar el concepto de limpieza en el lugar de trabajo es el primer tipo de inspección que se realiza a los equipos, pues por medio de la limpieza se puede apreciar, por ejemplo, si un motor tiene pérdida de aceite, si existen fugas de cualquier tipo, si hay tornillos con falta de apriete, cables sueltos, etc. Por tanto, se debe limpiar para inspeccionar, inspeccionar para detectar y detectar para corregir. Aquí es importante insistir, en el hecho de que, si durante el proceso de limpieza se detecta algún desorden o anomalía, deben primeramente identificarse las causas principales, para así establecer las acciones correctivas que se estimen oportunas.

Otro punto clave es identificar los focos de suciedad existentes, para así poder eliminarlos, así disminuir la frecuencia de estas tareas, manteniendo siempre

un estándar de limpieza adecuado, así también se mantendrán los equipos en buen estado, pero optimizando el tiempo dedicado a la limpieza.

#### 2.3.4. Concepto Seiketsu

En esta etapa se busca consolidar las metas propuestas una vez asumidas las tres primeras etapas de las 5S, porque sistematizar o estandarizar lo conseguido asegura resultados perdurables en el tiempo. Seguir un método para la ejecución de un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales, así establecer un estándar será la forma más adecuada, practica y fácil de trabajar para todos.

En esta etapa unos de los principales enemigos para la implementación de Seiketsu, será tener una conducta errática, por ejemplo, al preguntar cuando se hace, "hoy si y mañana no", lo más probable es que los días de incumplimientos de los lineamientos definidos se multipliquen, es por ello, relevante, no solo mantener los obtenido previamente, sino, también, incentivar al personal para sea parte de esta estandarización. La correcta aplicación de Seiketsu, contribuirá en gran medida a la obtención de los siguientes resultados:

- Mantener los niveles obtenidos con la implementación de las tres primeras "S".
- Elaborar y cumplir con los estándares de organización, orden y limpieza, comprobando que estos conceptos se apliquen correctamente.
- Asignar las actividades de las 5S, como parte de los trabajos regulares.
- Elaborar procedimientos que permitan realizar de manera estandarizada y programada las tareas para mantener el nivel de las 3 primeras S.
- Mantener un control del nivel de mantenimiento de los tres primeros pilares establecidos con las 3 primeras S, definiendo responsabilidades y tareas a ejecutar, evaluando la eficiencia y el rigor con que se aplican los conceptos establecidos.

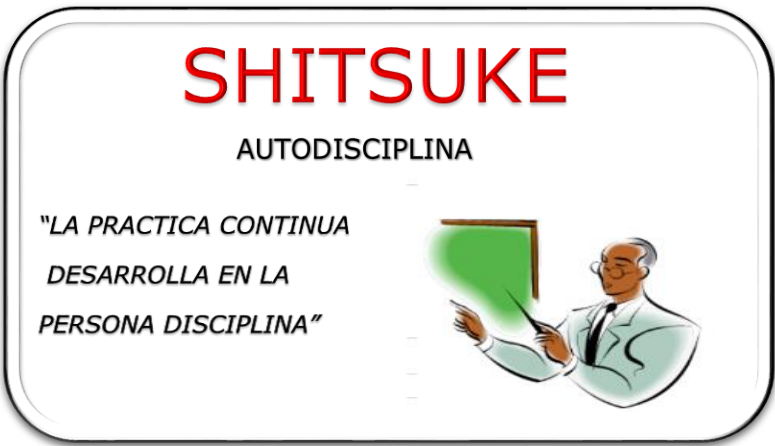


Fuente: Fuente elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 2-7. Ilustración concepto Seiketsu.

2.3.5. Concepto Shitsuke

Esta última etapa de la metodología 5S, se refiere a la disciplina, cuyo objetivo es convertir en habito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar su aplicación normalizada. Su aplicación está ligada al desarrollo del concepto de la autodisciplina, lo que permitirá hacer perdurable el proyecto de las 5S. Este objetivo la convierte en la etapa más fácil, pero más difícil a la vez, ya que es fácil porque consiste en aplicar regularmente las normas y principios establecidos, manteniendo el estado de las cosas. Pero la más difícil porque su aplicación depende del grado de compromiso a lo largo del programa de implementación.



Fuente: Fuente elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 2-8. Ilustración Concepto Shitsuke.

## **2.4. ORIGEN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM**

El mantenimiento preventivo fue introducido en Japón en la década de los cincuenta en conjunto con otros conceptos como el control de calidad, Ciclo Deming y otras metodologías del management americano. Ya en la década de los setenta el mundo del mantenimiento en empresas japonesas se incorporó el concepto Kaizen, descrito anteriormente. Esto significa que no bastaba solo con corregir las averías como parte de la función del mantenimiento, sino, además, mejorar la fiabilidad de los equipos de manera permanente con la contribución de todos los empleados de la empresa.

Dicho progreso de las acciones de mejora llevo a crear el concepto del mantenimiento preventivo, mediante la ejecución de acciones de mejora de equipos durante todo su ciclo de vida útil, ya sea, durante el diseño, construcción, puesta en marcha de los equipos productivos, así eliminar o disminuir actividades de mantenimiento.

La primera empresa en introducir estos conceptos fue la Nippon Denso Co. Ltda. en el año 1971. Es muy seguro que el efecto de la implantación de estrategias de Total Quality Management hicieron que el TPM se desarrollara en esta empresa, ya que también se destaca esta empresa como una de las pioneras en la aplicación de principios como Hoshin Kanri, Daily Management y Cross Functional Management característicos de modelos avanzados del TQM. A esta empresa se le reconoció con el Premio de Excelencia Empresarial y que más tarde se transformó en Premio Mantenimiento Productivo

Hacia la década de los ochenta se introdujo el modelo de mantenimiento basado en el tiempo (TBM) como parte del modelo TPM. Junto con ello, también el aporte del sistema RCM (Reliability Center Maintenance) o mantenimiento centrado en la fiabilidad ayudó a mejorar la eficiencia de las acciones preventivas de mantenimiento.

Es claro que el TPM es un concepto que se basa en la máxima utilización de los equipos, el cual investiga sobre las relaciones de todo el sistema hombre-equipo-entorno y desarrolla los potenciales ocultos en el sistema, es la repuesta que muchas empresas esperaban desde hace tiempo.

### **2.4.1. Definición del TPM**

Mantenimiento Productivo Total es la definición de TPM, que en inglés sería Total Productive Maintenance. Es un sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado en base al concepto de "mantenimiento preventivo".

Se puede asumir el termino TPM con algunos de los siguientes enfoques: la letra M, representa acciones management y mantenimiento, que se enfoca en la realización de actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P, se

vincula al término "productivo" o "productividad" de equipos, pero podría igualmente asociarse a un término que permita tener una visión más amplia como "perfeccionamiento".

El TPM es una metodología o estrategia que se compone por una serie de actividades ordenadas, las que una vez implantadas contribuyen a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, pues permite generar capacidades competitivas mediante la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos, permitiendo hacer la diferencia en una organización en relación a su competencia debido al impacto de la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y a la calidad alcanzada de los productos o servicios finales.

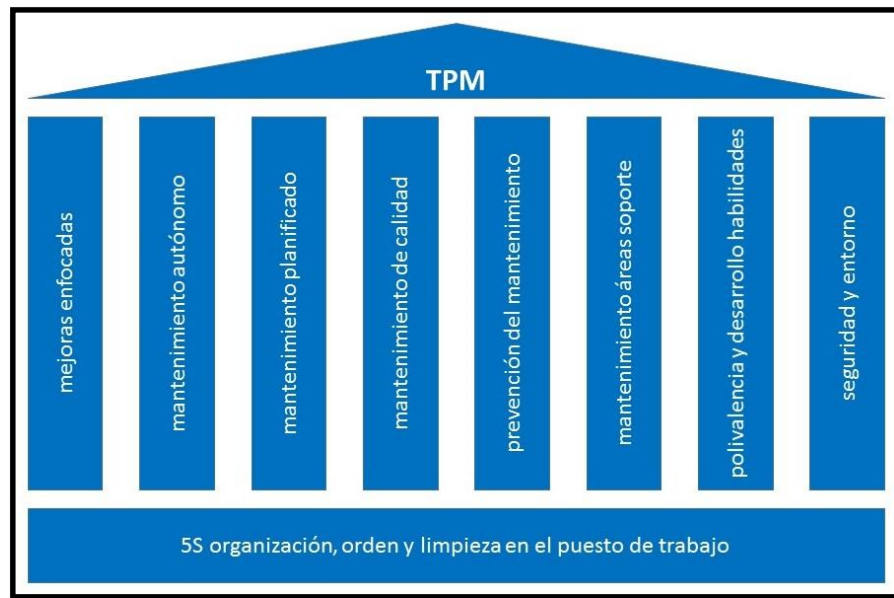
En el Mantenimiento Productivo Total, aparece la efectividad global de los equipos en el centro del concepto y las metas de "cero defectos" y "cero paradas de producción" no son parte del trabajo de un departamento o un círculo de una empresa sino un trabajo de todo el equipo de todo el sector de producción de mantenimiento, incluyendo obreros, técnicos, ingenieros y gerentes. Es un sistema que garantiza la efectividad de los sistemas productivos, orientado a lograr: cero accidentes, cero defectos, cero averías.

Ya se ha dicho anteriormente que la implementación de esta metodología, en este caso, está ligada, con el concepto de las 5S, que servirá de base para poder lograr de manera más rápida y efectiva un plan de mantenimiento integral y continuo, que busca mejorar los procedimientos actuales del área de coating, con la finalidad de establecer estándares que permitan no solo desarrollar el trabajo de mejor manera, sino además, que quienes ejecutan estas labores tengan mejores competencias mediante un trabajo integrado en todas las áreas involucradas y así obtener mejores resultados en el proceso de recubrimientos de espejos.

#### 2.4.2. Descripción pilares del TPM

Los principales procesos han sido denominados por el JIMP (Japan Institute Productive Maintenance) como pilares, los que sirven como base y apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado, en base a una metodología que busca implementar una disciplina, potente y efectiva. Por tanto, estos pilares son necesarios para el correcto desarrollo e implementación del TPM.

Para tener una mejor perspectiva de esta metodología, es necesario conocer los 8 pilares que lo sustentan, los que se muestran en la figura 2-10.



Fuente: <http://www.angelantonioromero.com/el-tpm-o-mantenimiento-productivo-total/>

Figura 2-9. Pilares fundamentales del TPM.

#### 2.4.2.1. Mejoras enfocadas (Kaizen)

Las mejoras enfocadas son actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto maximizar la Efectividad Global del Equipo, proceso y planta; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos multidisciplinarios, empleando metodología específica y concentrando su atención en la eliminación de los desperdicios que se presentan en las plantas industriales.

Las técnicas TPM ayudan a eliminar ostensiblemente las averías de los equipos. El procedimiento seguido para realizar acciones de mejoras enfocadas sigue los pasos del conocido Ciclo Deming.

El sistema TPM habla de 6 tipos de pérdidas a eliminar de nuestros procesos productivos:

- a) Fallos en los equipos principales.
- b) Cambios y ajustes no programados.
- c) Ocio y paradas menores.
- d) Reducción de velocidad.
- e) Defectos en el proceso.
- f) Pérdidas de arranque.

#### 2.4.2.2. Mantenimiento autónomo (Jisho Hozen)

Una de las actividades del sistema TPM, y la más importante, es la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento. Su propósito es involucrar al operador en el cuidado del equipo a través de un alto grado de formación y preparación profesional, respeto de las condiciones de operación, conservación de las áreas de trabajo libres de contaminación, suciedad y desorden.

El mantenimiento autónomo tiene a prevenir fallas mediante la implantación de un sistema básico que consta de:

- a) Limpieza.
- b) Eliminación de fuentes de suciedad y contaminación.
- c) Elaboración de normas de Mantenimiento Autónomo.
- d) Aplicar técnicas de inspección general.
- e) Aplicar técnicas de auto inspección.
- f) Estandarización de procedimientos.
- g) Control de objetivos.

#### 2.4.2.3. Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)

El mantenimiento progresivo o planificado es uno de los pilares más importantes en la búsqueda de beneficios en una organización industrial. El propósito de este pilar consiste en la necesidad de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de la meta "cero averías" para una planta industrial.

Mantenimiento planeado consiste en lograr mantener el equipo y el proceso en estado óptimo por medio de actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente a fin de evitar paradas innecesarias. Para conseguirlo, se establecen algunas medidas como:

- a) Establecer contramedidas diarias.
- b) Confirmar planes y acciones de mantenimiento programado.
- c) Mejorar la vida útil de los equipos e instalaciones.
- d) Control de repuestos y stocks.
- e) Perfeccionar el análisis, capacidad de diagnóstico y prevención de averías.
- f) Confirmar planes de lubricación.

#### 2.4.2.4. Mantenimiento de calidad (Hinshitsu Hozen)

El TPM tiene como propósito mejorar la calidad del producto reduciendo la variabilidad controlando las condiciones de los componentes y condiciones del equipo que tienen impacto directo en la calidad del producto. Frecuentemente se entiende en el entorno industrial que los equipos producen problemas cuando fallan y se detienen, sin embargo, se pueden presentar averías que no detienen el

funcionamiento del equipo, pero producen pérdidas debido al cambio de las características de calidad del producto final. Para conseguir este pilar, se pueden realizar las siguientes medidas:

- a) Realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad.
- b) Prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones para "cero defectos" y que estas se encuentran dentro de los estándares técnicos.
- c) Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a la situación de anormalidad potencial.
- d) Identificar los elementos del equipo que tienen una alta incidencia en la calidad del producto final y realizar el control de estos elementos de la máquina.

#### 2.4.2.5. Prevención del mantenimiento

Este pilar se centra en las actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos. Una empresa que pretende adquirir nuevos equipos puede hacer uso del historial del comportamiento de la maquinaria que posee, con el objeto de identificar posibles mejoras en el diseño y reducir drásticamente las causas de averías. Las técnicas de prevención de mantenimiento se fundamentan en la teoría de la fiabilidad, esto exige contar con buenas bases de datos sobre frecuencia de averías y reparaciones.

#### 2.4.2.6. Mantenimiento áreas de soporte

Su objetivo es lograr que las mejoras lleguen a la gerencia de los departamentos administrativos y actividades de soporte y que no solo sean actividades en la planta de producción. Estas mejoras buscan un fortalecimiento de estas áreas, al lograr un equilibrio entre las actividades primarias de la cadena de valor y las actividades de soporte.

En estos departamentos las siglas del TPM toman estos significados:

T.- Total Participación de sus miembros.

P.- Productividad (volúmenes de ventas y ordenes por personas).

M.- Mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos.

#### 2.4.2.7. Polivalencia y desarrollo de habilidades

Las habilidades tienen que ver con la correcta forma de interpretar y actuar de acuerdo con las condiciones establecidas para el buen funcionamiento de los procesos. Es el conocimiento adquirido a través de la reflexión y experiencia



acumulada en el trabajo diario durante un tiempo. El TPM requiere de un personal que haya desarrollado habilidades para el desempeño de las siguientes actividades:

- a) Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
- b) Comprender el funcionamiento de los equipos.
- c) Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- d) Poder de analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- e) Capacidad para conservar el conocimiento y enseñar a otros compañeros.
- f) Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

#### 2.4.2.8. Seguridad y Entorno

Se busca lograr el objetivo de “cero accidentes” y “cero contaminaciones”, así se crean ambientes seguros, higiénicos y medio ambientales buenos, aparte de ser motivadores. La contaminación en el ambiente de trabajo puede llegar a producir un mal funcionamiento de una máquina y muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo. Las acciones que realizar para llegar a conseguir este pilar son:

- a) Establecer medidas de seguridad del equipo / instalación.
- b) Lograr condiciones laborales más seguras.
- c) Mejorar el medio ambiente laboral (ruidos, vibraciones, suciedad, etc.).
- d) Evitar la contaminación ambiental.
- e) Cuidar la salud de los trabajadores.
- f) Promover acciones de limpieza e higiene.

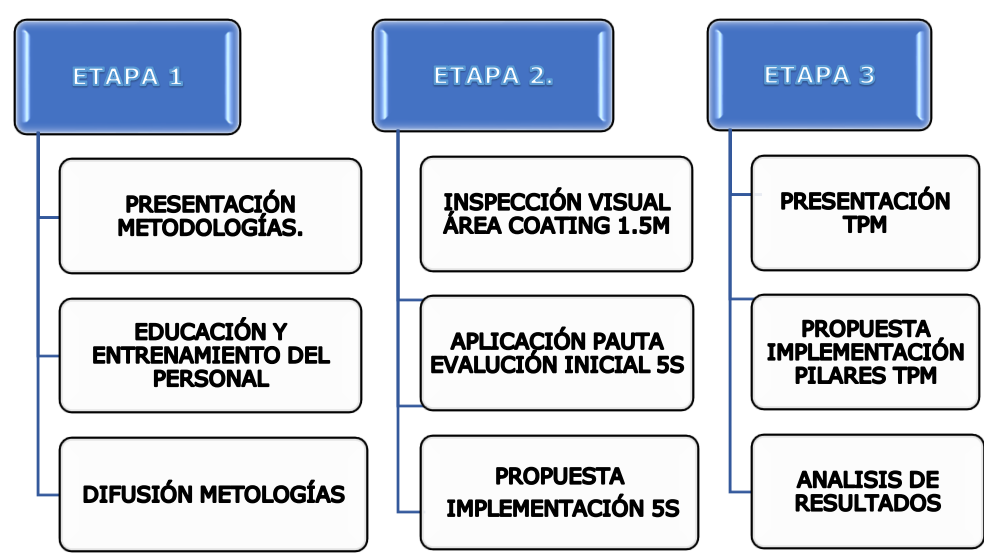
La propuesta de implementación de mejoras se centrara en los pilares del mantenimiento autónomo y mantenimiento programado del TPM, como punto de partida, dejando la posibilidad a la empresa continuar con el resto de los pilares, si así lo estimasen conveniente.

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM**

3. **PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM**

3.1. **PLAN DE TRABAJO IMPLEMENTACION DEL TPM**

Para desarrollar la propuesta de implementación del Plan de Mantenimiento Productivo total, se elabora un organigrama con las distintas etapas para el desarrollo de las actividades sugeridas para la implementación del TPM, las cuales muestran a continuación en la figura 3-1. Cada una de estas etapas se describen con mayor detalle más adelante durante el desarrollo de esta sección.



Fuente. Elaboración propia en base a estudio realizado

Figura 3-1. Etapas propuesta implementación TPM.

Para el desarrollo de estas etapas se presenta en la tabla 3-1 la planificación de actividades sugeridas para la implementación de la propuesta del TPM, donde se definen los tiempos estimados para el desarrollado de cada una de las actividades que conforman las etapas anteriormente descritas.

Se estima para el desarrollo e implementación de las actividades de mejoras, un tiempo aproximado de 18 meses, calendarización que puede estar sujeta a modificaciones dependiendo de las necesidades y prioridades de la empresa y del grado de avance de la implementación.

Tabla 3-1. Programación implementación TPM.

| CRONOGRAMA IMPLEMENTACIÓN PROPUESTA IMPLEMENTACION TPM |                                                                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ITEM                                                   | FASES IMPLEMENTACION                                            | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        |                                                                 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ETAPA 1 :PRESENTACIÓN, ENTRENAMIENTO Y DIFUSIÓN        |                                                                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                                                      | PRESENTACIÓN METODOLOGÍAS                                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.1                                                    | CHARLAS INFORMATIVAS METODOLOGÍAS                               |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                                                      | EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL                          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2.1                                                    | CHARLAS DE FORMACION Y ENTRENAMIENTO                            |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                                                      | DIFUSIÓN METODOLOGÍAS                                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3.1                                                    | AFICHES, VIDEOS Y CHARLAS DE DIFUSIÓN                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ETAPA 2: METODOLOGÍA 5S                                |                                                                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                                                      | INSPECCION VISUAL                                               |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5                                                      | EVALUACION INICIAL 5S                                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                                                      | INSPECCION GENERAL DE SEGURIDAD                                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7                                                      | EVALUACION DE RESULTADOS                                        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8                                                      | IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SEIRI(CLASIFICAR)                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | INSPECCION VISUAL AREA                                          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | IDENTIFICAR Y HACER LISTADO ELEMENTOS NECESARIOS E INNECESARIOS |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | EVALUACION IMPLEMENTACION ETAPA SEIRI                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9                                                      | IMPLEMENTACION CONCEPTO SEISO (ORDENAR)                         |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | ODENAR ELEMENTOS Y MATERIALES                                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | DELIMITAR AREAS Y VIAS DE ACCESO                                |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | EVALUACION IMPLEMENTACION ETAPA SEISO                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10                                                     | IMPLEMENTACION CONCEPTO SEITON ( LIMPIAR)                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | REUNIÓN PARA DEFINIR METAS DE ESTA ETAPA                        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | PLANIFICAR FORMA DE LIMPIEZA                                    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | EVALUACIÓN IMPLEMENTACIÓN ETAPA SEITON                          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11                                                     | IMPLEMETACIÓN CONCEPTO SEIKETSU (ESTANDARIZAR)                  |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | IMPLEMENTAR POLÍTICAS DE ORDEN Y LIMPIEZA                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | ASIGNAR TRABAJOS Y RESPONSABILIDADES                            |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | MANTENIMIENTO TRES PRIMERAS S                                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12                                                     | IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SHITSUKE (DISCIPLINA)                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | SEGUIMIENTO Y CONTROL                                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | ROL DE LA DIRECCIÓN                                             |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                                        | ROL TRABAJADORES                                                |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13                                                     | EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO IMPLEMENTACION 5S                      |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13.1                                                   | PAUTA EVALUACION Y SEGUIMIENTO IMPLEMENTACION 5S                |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ETAPA 3 : MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL               |                                                                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14                                                     | PRESENTACIÓN OBJETIVOS TPM                                      |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15                                                     | DEFINIR GRUPOS DE TRABAJO                                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16                                                     | RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS INFORMACIÓN                             |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17                                                     | IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO AUTÓNOMO                     |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18                                                     | IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO PLANIFICADO                  |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19                                                     | EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO                                        |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fuente: Elaboración propia según estudio realizado.

Para la etapa 1, presentación, entrenamiento y difusión de las metodologías propuestas al personal técnico de mantenimiento, se considera un mes para charlas informativas, dos meses para formación y entrenamiento del personal en lo que son la adopción de los nuevos conceptos del mantenimiento y se establece que durante los 18 meses se esté permanentemente llevando acabo la difusión de las metodologías propuestas, con la finalidad de reforzar constantemente los conceptos a introducir, para crear conciencia ante los cambios propuestos.

En la segunda etapa de implementación de la metodología 5S, se establece para la ejecución de las actividades propuestas un periodo de 9 meses, donde durante el primer mes se llevarán a cabo la inspección visual, pauta de evaluación inicial 5S, inspección general de seguridad y evaluación de resultados. Posteriormente se consideran 5 meses para las actividades de las tres primeras S, cada una de las cuales considera un periodo de 3 meses para su implementación, cabe señalar que

algunas actividades de desarrollaran en paralelo, ya que unas dependen de otras, las que serán detalladas en las secciones siguientes.

Para las dos "S" restantes enfocadas a estandarización y disciplina, responsables de mantener el control de las tres primeras "S", se establece un periodo de 6 meses, así crear a lo largo del tiempo los hábitos necesarios respecto a la nueva metodología y mantener un control y seguimiento de la implementación, lo que puede ser evaluado periódicamente utilizando la pauta de evaluación inicial 5S y pauta de seguimiento, adjuntas en los anexos 2 y 3.

En la etapa 3 se considera un periodo total de 13 meses, donde durante el primer mes se desarrollan las actividades para definir objetivos y reforzar conceptos de la metodología, además de la recopilación y análisis de información asociada a fallas del equipo en estudio. Luego durante los 12 meses siguientes se desarrollan las actividades para la implementación de los pilares mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado del TPM.

### **3.2. ETAPA 1 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN TPM**

A continuación, se describen los pasos que componen la etapa 1 de implementación del Mantenimiento Productivo Total.

#### **3.2.1. Presentación metodologías**

Dentro de las actividades previas para la implementación de las metodologías propuestas, es importante dar a conocer al personal de mantenimiento que participa en el área de coating 1.5M, como así también a los supervisores, los alcances y cambios que se generarán con las nuevas metodologías de mantenimiento, buscando crear conciencia y sensibilización, para adoptar los cambios que se presenten con la adopción de los nuevos conceptos propuestos.

Para la realización de esta actividad, se debe considerar un líder quien será el encargado de promover y entregar los conceptos fundamentales de las metodologías propuestas al personal del área específica. En este aspecto y considerando que actualmente en el área de coating el equipo de mantenimiento está conformado por solo tres personas, un supervisor y dos trabajadores para la labor de mantenimiento, de los cuales, solo uno de ellos es personal técnico calificado, este será quien cumpla la labor de facilitador y presentar las metodologías, el que en adelante se denominará líder TPM. Para ello se sugiere en una etapa inicial realizar un anuncio formal mediante charlas informativas apoyándose con material audiovisual alusivo a las metodologías propuestas, con una duración de no más de dos horas y desarrolladas dentro de las dependencias que posee el observatorio para este tipo de actividades y dentro del horario habitual de trabajo de la empresa. Se recomienda repetir esta actividad al menos en dos oportunidades durante el primer

mes desde el inicio de la propuesta y de acuerdo al calendario de actividades sugerido, terminadas las reuniones se recomienda enviar el resumen y presentación realizada a los participantes vía correo electrónico, junto con una pauta de evaluación y sugerencias.

La finalidad de esta presentación es mostrar los principales conceptos de las metodologías a implementar, tiempos sugeridos para su desarrollo, alcances, objetivos, beneficios y cuál será el resultado de una buena implementación. Se recomienda hacer extensible esta presentación a la dirección de la empresa, como así también a supervisores, personal de prevención de riesgos y personal de otras áreas relacionadas con el mantenimiento del observatorio, aunque no se vean afectados directamente por los cambios a implementar; así mostrar que no se trata solo de un método de mantenimiento aislado, sino, que puede hacerse extensivo y adoptado por otras áreas.

### 3.2.2. Educación y entrenamiento del personal

Es importante en esta etapa entregar al personal la capacitación necesaria para entender y conocer los conceptos y principios fundamentales del TPM y 5S, aunque algunas tareas parecen sencillas, se requiere de disciplina para lograr implementar de buena forma estos conceptos y hacerlos perdurables en el tiempo. Se recomienda realizar capacitación a los supervisores y trabajadores del área de mantenimiento, así estos podrán tomar el rol de facilitadores, para entregar los nuevos conceptos a su personal a cargo, así establecer una base sólida de conocimiento de la metodología, que permita al mismo personal que realiza la labor de mantenedores adquirir la capacidad suficiente para ir proponiendo mejoras e implementarlas. Para el desarrollo de estas actividades se sugiere realizar charlas informativas y de capacitación, complementándose con las mismas actividades prácticas propias de la implementación de las metodologías. Estas actividades contemplan una duración dos meses, según se sugiere en la calendarización de actividades propuestas, esta formación deberá estar a cargo del líder TPM, pudiendo complementarse con asesoría de algún externo a convenir por la empresa.

### 3.2.3. Difusión metodologías

Se recomienda definir estrategias de difusión y recursos promocionales por medio de: afiches, videos informativos, charlas, alusivos al TPM y 5S, con la finalidad de mantener al personal informado y motivado, para adoptar progresivamente los cambios que generaran la implementación de las nuevas metodologías de mantenimiento y de trabajo.

### 3.3. **ETAPA 2 PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM**

En esta sección se presentan las tres etapas que componen la etapa 2 de implementación de la propuesta que se centran principalmente en la metodología 5S.

#### 3.3.1. Levantamiento y diagnóstico de situación actual

El levantamiento de la situación actual se concentrará en cuatro etapas principales:

- Inspección visual del área de trabajo.
- Aplicación pauta evaluación inicial nivel 5 S.
- Inspección general condiciones de seguridad del área de trabajo
- Análisis de resultados.

##### 3.3.1.1. Inspección visual área de trabajo

Podemos decir que la gestión visual es informarnos o comunicarnos sobre el estado de algo, utilizando para ello el dispositivo o control que se considere necesario. De esta manera, en un vistazo podemos determinar si estamos o no en el estándar que tenemos definido y si tenemos alguna desviación respecto al estándar.

Con la finalidad de visualizar las condiciones actuales del área de trabajo y diagnosticar el nivel inicial en temas de limpieza, orden y organización de los espacios, además de verificar si existe una adecuada señalización de equipos, delimitación de áreas, salidas de emergencia, buena iluminación, ventilación y condiciones de seguridad en general, se lleva a cabo un registro fotográfico que se utiliza de base para la posterior aplicación de la pauta de evaluación inicial respecto a la metodología 5S. el que se muestra a continuación.

#### A. VÍAS DE ACCESO



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-2. Registro fotográfico vías de acceso área de coating 1.5M.

Las fotografías muestran las dos vías de acceso al área de trabajo, las que no se encuentran debidamente señalizadas, no hay letreros luminosos que permitan al personal distinguir claramente las zonas de evacuación en caso de algún corte de energía o situación de emergencia, incluso se observan materiales en el trayecto de las vías de acceso.

B. ELEMENTOS INNECESARIOS



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-3. Registro fotográfico de elementos innecesarios.

En el registro fotográfico se observan bidones de agua y cajas de cartón acumuladas, elementos que no deberían estar en esta área, lo que demuestra la falta de orden y organización, al no mantener limpio y despejado de desperdicios el lugar de trabajo.

C. ALMACENAMIENTO DE CILINDROS



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-4. Registro fotográfico almacenamiento cilindros.



En el registro fotográfico, se muestra la existencia de un carro para el transporte y movimientos de los cilindros de gases comprimidos, además se observa un cilindro sujeto solo con cuerdas y en un lugar no habilitado para esto, situación que deja de manifiesto que no existe un área dispuesta para el almacenamiento seguro de los cilindros, lo que genera una potencial situación de riesgo.

D. ADVENTENCIA PELIGRO PANELES ELÉCTRICOS



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-5. Registro fotográfico paneles eléctricos.

A pesar de que los paneles eléctricos mostrados en la fotografía izquierda presentan sus etiquetas de advertencia de peligro de riesgo eléctrico, en la segunda fotografía se observa la falta de estas señaléticas en los paneles indicados en círculo rojo, situación que debe normalizarse.

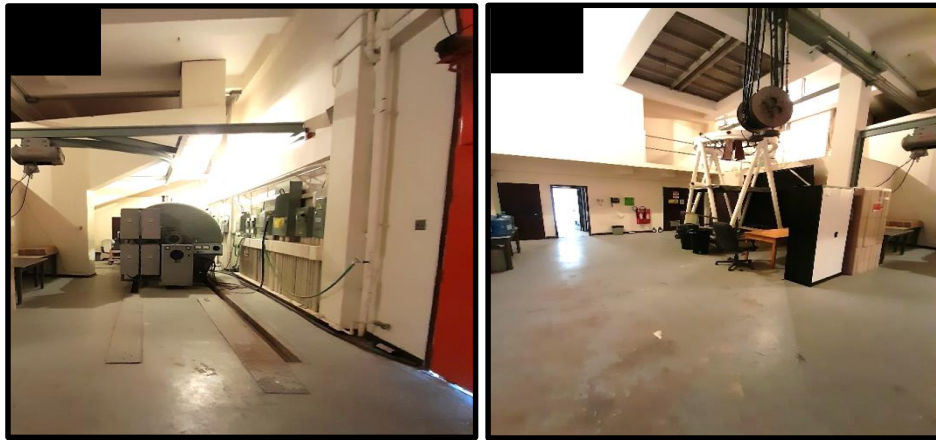
E. ALMACENAMIENTO ZONA DE BODEGA



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-6. Registro fotográfico almacenamiento área de bodega.

## F. DEMARCACIÓN ÁREAS DE TRABAJO



Fuente: Registro fotográfico elaboración propia.

Figura 3-7. Registro fotográfico panorámica área de coating 1.5M.

En ambas fotografías se aprecia que no existe marcaje de pisos, delimitación de zonas de trabajo y muy poca señalización visual. La utilización e implementación de una señalización adecuada y oportuna ayuda a prevenir los diferentes factores de riesgos ocupacionales, a realizar los trabajos en forma segura e indica óptima organización empresarial.

### 3.3.1.2. Pauta evaluación inicial nivel 5S

Teniendo ya realizada la inspección visual descrita en el punto anterior, se realiza una evaluación inicial del nivel 5S, mediante una pauta de inspección que se encuentra adjunta en el anexo 1, donde se miden los principales aspectos a los que apuntan cada uno de los conceptos que componen la metodología de las 5S. Así en base a los resultados obtenidos determinar el porcentaje de implementación actual de esta metodología en el área de coating 1.5M. Esta evaluación permite establecer en detalle los indicadores y puntos críticos, para determinar las acciones y actividades para la implementación de las mejoras respectivas.

Para realizar la pauta de evaluación se establecen cinco preguntas sencillas por cada uno de los conceptos que conforman la metodología 5S. La ponderación se obtiene asignando un puntaje de 0 a 3 para cada una de las preguntas evaluadas, donde 0 se califica como muy malo, 1 regular, 2 bueno y 3 excelente, según se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3-2. Escala ponderación evaluación inicial nivel 5S.

| PUNTAJE OBTENIDO | CLASIFICACIÓN |
|------------------|---------------|
| 0                | MUY MALO      |
| 1                | REGULAR       |
| 2                | BUENO         |
| 3                | EXCELENTE     |

Fuente: Elaboración propia en base a pauta evaluación.

Cada una de las 5S evaluadas darán un puntaje final, mediante el cual se puede establecer el porcentaje de implementación total del concepto 5S, según los criterios establecidos en la escala de ponderación que se muestran a continuación en la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Escala ponderación porcentaje implementación 5S.

| PUNTAJE OBTENIDO | CLASIFICACIÓN |
|------------------|---------------|
| < 35 %           | MUY MALO      |
| ≥35 %            | REGULAR       |
| ≥60 %            | BUENO         |
| ≥90 %            | EXCELENTE     |

Fuente: Elaboración propia en base a pauta evaluación.

3.3.1.3. Inspección general de seguridad del área de trabajo

Para complementar y reforzar los resultados obtenidos de la inspección visual y evaluación inicial del nivel 5S, se realiza una inspección general cualitativa de las condiciones de seguridad del área de coating 1.5M, a cargo del personal de prevención de riesgos del observatorio, cuya finalidad es identificar los peligros derivados de las condiciones de trabajo actuales existentes en el área de coating, así prevenir daños a la salud y seguridad de los trabajadores.

En esta inspección se evalúan, factores que detallan a continuación, pudiendo categorizarse con la condición CUMPLE y NO CUMPLE, según pauta que se adjunta en el Anexo 3.

- Condiciones físicas.
- Señaléticas de advertencia
- Orden y Aseo

- Almacenamiento de sustancias químicas.
- Condiciones e implementación equipos contra incendios.
- Condiciones para evacuación en caso de emergencia.
- Disposición de residuos peligrosos

#### 3.3.1.4. Análisis de resultados

Después de haber realizado la inspección visual, pauta evaluación inicial 5S e inspección de seguridad, se realiza un análisis con los resultados obtenidos, cuya finalidad es establecer los puntos críticos y acciones de mejoras para la implementación de los conceptos fundamentales de la metodología 5S.

##### A. Resultados inspección visual

Considerando el registro fotográfico realizado en la inspección visual, se pueden establecer los siguientes puntos críticos a mejorar:

- Distribución y clasificación de los materiales y/o elementos en bodega del área.
- Acumulación de elementos innecesarios en área de trabajo.
- Falta de señaléticas de peligro en paneles eléctricos.
- Falta delimitación áreas de trabajo.
- Falta de señalización vías de acceso y salidas de emergencia.
- Optimizar y redistribuir espacios.
- Falta área almacenaje cilindros gases comprimidos.

##### B. Resultados evaluación inicial 5S

Es indispensable tener en cuenta la información que ya existe al interior de la empresa, es decir, la forma actual de cómo se realizan las cosas, por tal motivo se lleva a cabo la evaluación inicial 5S, para determinar el nivel actual del área de coating 1.5M, según los conceptos fundamentales de las 5S, cuyos resultados permitirán establecer un diagnóstico inicial con la finalidad de obtener un parámetro de referencia, para las acciones a seguir.

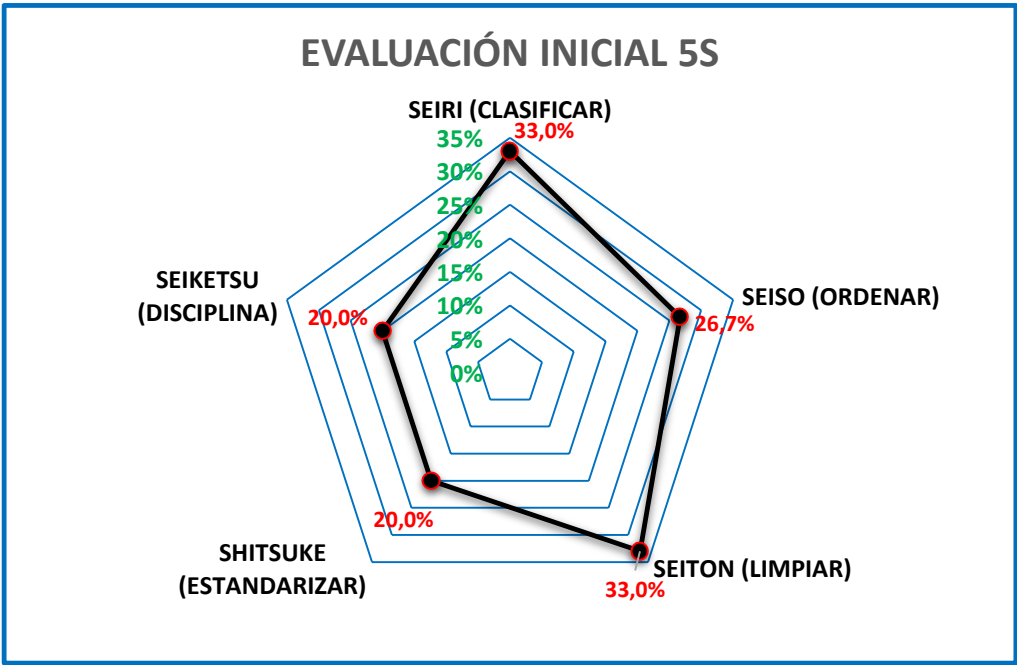
A continuación, mediante la tabla 3-4, se presentan los resultados obtenidos con la evaluación inicial realizada.

Tabla 3-4. Resultados Pauta Evaluación Inicial 5 S.

| CONCEPTOS 5S | PUNTAJE TOTAL | PUNTAJE OBTENIDO | PORCENTAJE IMPLEMENTACIÓN |
|--------------|---------------|------------------|---------------------------|
| SEIRI        | 15            | 5                | 33,33%                    |
| SEITON       | 15            | 4                | 26,67%                    |
| SEISO        | 15            | 5                | 33,33 %                   |
| SEIKETSU     | 15            | 3                | 20%                       |
| SHITSUKE     | 15            | 3                | 20%                       |
| TOTAL        | 75            | 20               | 26,67%                    |

Fuente: Elaboración propia en base a resultados evaluación 5S.

Además, se presentan gráficamente los resultados obtenidos, donde se observan claramente los porcentajes del nivel de implementación de los conceptos 5S, mediante el grafico 3-1, mostrado a continuación.



Fuente: Elaboración propia en base a evaluación realizada.

Grafico 3-1. Porcentaje implementación nivel 5S.

Considerando el resultado final, se obtuvo que el nivel de implementación 5S en el área de coating 1.5M es de un 26,67%, cuya clasificación lo categoriza como MUY MALO, ante lo cual, se hace evidente la necesidad de implementar las mejoras respectivas, por medio de la aplicación de los conceptos de la metodología 5S, para poder establecer una base sólida, donde se sostengan los pilares del TPM.

Considerando estos resultados, sumados a los obtenidos por medio de la inspección visual, se ratifica la necesidad de aplicar herramientas enfocadas a crear hábitos de limpieza, orden y organización del lugar de trabajo, para lo cual se desarrollan una serie de actividades para cada uno de los conceptos de la metodología 5S, que permitan alcanzar un estándar adecuado, para la posterior implementación de los pilares del TPM.

Cabe señalar, que en el Anexo 1 se adjunta la pauta de evaluación inicial con los resultados obtenidos, sin embargo, se hace notar que esta pauta está desarrollada como aplicación en Excel, con la finalidad de tener un control más formal, pensando en la generación de un seguimiento y control para posteriores evaluaciones que puedan realizarse.

C.        Resultados Inspección general de seguridad

La inspección de seguridad apunta principalmente a verificar las condiciones del lugar de trabajo y a apoyar la identificación de factores de riesgo dentro del área de trabajo. En la tabla 3-5, se presentan los resultados calificados con la condición de NO CUMPLE.

Tabla 3-5. Resumen Inspección General de Seguridad.

|                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Condiciones físicas:<br>1.4 Existen lámparas en caso de emergencia                                                                 |
| 2. Señaléticas de Advertencia:<br>2.1. Existen advertencias sobre uso de sustancias químicas y sus riesgos.                           |
| 3. Orden y aseo.<br>3.1. Se dispone de estante para almacenamiento de herramientas.<br>3.2. Existe orden de herramientas o materiales |
| 4. Almacenamiento se sustancias químicas.<br>4.3. Los estantes de almacenamiento poseen receptáculos anti derrames.                   |
| 5. En caso de amago de incendio<br>5.3. Las vías de evacuación están señalizadas.<br>5.4.Existen detectores de humo operativos.       |
| 6. En caso de emergencia<br>6.1. Existen planos de evacuación indicativos.<br>6.2. Las puertas poseen barra anti pánico.              |

Fuente. Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

Observando los resultados obtenidos, se puede apreciar que muchas de las condiciones que no cumplen tienen relación con aspectos también visualizados por

medio de la inspección visual y pauta de evaluación inicial 5S, lo que refuerza la necesidad de implementar los conceptos de la metodología 5s en el área de coating 1.5M. Para ver con mayor detalle los resultados de la inspección general de seguridad referirse al anexo 3.

### **3.4. PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍA 5S**

Apoyándose en el marco teórico de la metodología 5S y en los resultados obtenidos de la inspección visual, evaluación inicial e inspección de seguridad realizadas, se elabora un plan de implementación con la finalidad de mejorar específicamente los contenidos evaluados y así insertar los conceptos de las 5S en el área específica, para alcanzar los objetivos propuestos.

Esta propuesta busca orientar al personal del área de coating 1.5M en cuanto a la metodología de implementación, mediante pautas que permitan entender, implementar y mantener un sistema ordenado y estandarizado, a partir del cual se puedan establecer las bases necesarias para la posterior implementación del Mantenimiento Productivo Total, como así también, enfocarse hacia el concepto de la mejora continua, mejorando no solo las condiciones del área de trabajo, sino además, las condiciones de calidad, seguridad y medio ambiente.

Cabe señalar que para el desarrollo de las actividades se designa un líder 5S quien es el encargado de guiar al personal durante todo el desarrollo de la implementación de mejoras y también posterior esta. Quien debe no solo representar a su equipo de trabajo, sino además gestionar las actividades a desarrollarse, convocar y presidir reuniones, brindar charlas de capacitación al equipo de trabajo y comunicar a la supervisión los avances y resultados obtenidos en cada etapa de implementación. En cuanto al grupo de trabajo este actualmente está conformado por dos personas, pero la empresa, está en proceso de contratación de dos nuevos profesionales, necesarios para poder dar un mejor soporte y así desarrollar de buena manera las actividades del plan de implementación sugeridas.

#### **3.4.1. Implementación Concepto Seiri**

Identificar la naturaleza de cada elemento, separando lo que realmente sirve de lo que no, ya sean, herramientas, equipos, materiales o información, es parte del proceso para distinguir todo lo necesario e innecesario.

Para esta etapa se parte tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Realizar inspección visual del área
- Identificar y hacer listado con las cosas necesarias e innecesarias y etiquetarlas.
- Realizar evaluación etapa Seiri.

- A. INSPECCIÓN VISUAL DEL ÁREA:** mediante la observación ver los elementos o materiales innecesarios, espacios utilizados y disponibles, orden y limpieza del área de trabajo, para así poder realizar la segunda etapa de identificación. Cabe señalar que esta tarea tiene ya cierto grado de avance, considerando el registro fotográfico e inspección inicial 5S.
- B. IDENTIFICAR Y HACER LISTADO COSAS NECESARIAS O INNECESARIAS:** consiste en etiquetar cada elemento, equipo, instrumento, herramienta o material, con la finalidad de tener un listado que permita establecer no solo, los elementos necesarios, o clasificarlos según su uso, sino, además, dar una ubicación definida según el tipo, clase y uso del componente o acción sugerida en caso que sean elementos en desuso o mal estado. Para llevar a cabo esta tarea, se pueden diseñar etiquetas con distinto color, para así clasificar los productos, así poder despejar el área, clasificar todos los productos etiquetados y tomar las acciones necesarias. Se sugiere realizar un inventario de todos los elementos para optimizar la clasificación y posterior orden cuando se lleve a cabo el concepto Seiton.
- C. EVALUACIÓN ETAPA SEIRI:** una vez realizada esta primera etapa SEIRI se realiza una evaluación del trabajo realizado, para ver si se lograron los objetivos planteados.

#### 3.4.2. Implementación concepto Seiton

Luego de haber clasificado los elementos de acuerdo al concepto Seiri, el área de coating 1.5M dispondrá de mayor disponibilidad de espacio físico, facilitando el orden. En esta etapa será muy importante disponer de un lugar adecuado para cada elemento que ha sido considerado como necesario, pudiendo darle una identificación y ubicación de acuerdo al tipo de elemento, frecuencia de uso, lugar y cantidad, con lo que podremos establecer el modo de ubicar e identificar cada elemento, de manera que sea fácil y rápido, encontrarlos, utilizarlos y reponerlos.

Para implementa esta segunda S, procedemos de la siguiente manera:

- Realizar orden elementos o materiales clasificados.
- Delimitar áreas, equipos y vías de acceso.
- Realizar evaluación etapa Seiton.

- A. ORDEN ELEMENTOS Y MATERIALES:** Como ya en la etapa anterior se han clasificado los elementos innecesarios y útiles, se recomienda establecer un orden y clasificación de los elementos o materiales útiles, y distribuirlos en estantes o repisas, para lo cual se pueden tomar los siguientes criterios:
- Según tipo de elemento.
  - Frecuencia de uso.



- Funcionalidad.
- Según criterio de seguridad.

**B. DELIMITAR ÁREAS Y VÍAS DE ACCESO:** Se delimitan los espacios o áreas de trabajo, equipos, pasillos, vías de evacuación, áreas para desechos, reubicación y distribución bodega y eliminan condiciones inseguras. Se sugiere coordinar apoyo en estas tareas con personal de prevención de riesgos del observatorio.

**C. EVALUACIÓN ETAPA SEITON:** Terminando la etapa Seiton, realizar una evaluación de las actividades realizadas, para determinar si se cumplieron los objetivos y plantear ideas o sugerencias que permitan mejorar el trabajo realizado.

#### 3.4.3. Implementación concepto Seiso

En esta etapa se realiza una limpieza no solo del lugar de trabajo, sino además de las maquinarias o equipos, para lo cual se llevan a cabo diversas actividades que apuntan a reducir los riesgos de accidentes, incrementar la vida útil de los equipos, implementando procedimientos de limpieza y mantenimiento, que permitan implementar mejoras y métodos para establecer la limpieza como parte de la rutina de trabajo.

Para la implementación de esta tercera S-Sieso, se recomiendan las siguientes actividades, como parte del plan de trabajo:

- Determinar las metas del trabajo
- Determinar y asignar responsabilidades
- Planificar la forma de limpieza
- Realizar Evaluación etapa Seiso.

**A. METAS DEL TRABAJO:** Se realizan reuniones con el personal del área para definir las metas de esta etapa, la que tendrá como objetivo principal limpieza del área de trabajo. Dentro de esta reunión se da a conocer al personal, las principales características del pilar SEISO, para así además de informar y concientizar a los trabajadores para el adecuado desarrollo de las actividades planteadas.

**B. ASIGNAR RESPONSABILIDADES:** Se definen grupos de trabajo, cada una con un líder de grupo, así desarrollar las actividades de limpieza de manera ordenada y organizada. Para el caso particular del área de coating 1.5M, considerando que el personal es reducido, solo existirá un grupo de trabajo.

- C. PLANIFICAR FORMA DE LIMPIEZA:** Debido a que el existe personal de aseo de telescopios, se les deberá instruir acerca de las labores que realizan, debiendo solo enfocarse en tareas de limpieza general del área. Las actividades de limpieza más profunda que estén insertas dentro del plan de mantenimiento, son realizadas solo por el personal calificado del área de coating 1.5M.
- D. EVALUACIÓN ETAPA SEISO:** Realizar una evaluación final de las actividades desarrolladas, teniendo la comparativa del antes y el después, ante lo cual se recomienda realizar un registro fotográfico, lo que permite obtener una retroalimentación del trabajo realizado, así incorporar o corregir nuevas ideas al plan de limpieza y mantenimiento realizado, este es un trabajo que debe realizar en conjunto el personal de mantenimiento del área.

#### 3.4.4. Implementación concepto Seiketsu

La estandarización busca mantener la implementación de las tres primeras S, con la finalidad de conservar lo que se ha implementado con el empleo de estándares, para realizar actividades de autocontrol permanentes.

Para implementar estandarización se llevarán a cabo las siguientes actividades necesarias para mantener en correcto funcionamiento lo logrado anteriormente.

- Implementar políticas de orden y limpieza
- Asignación de trabajos y responsables.
- Mantenimiento
- Realizar evaluación etapa Seiketsu

- A. IMPLEMENTAR POLÍTICAS DE ORDEN Y LIMPIEZA:** Definir políticas y normas que permitan y contribuyan a un mejoramiento continuo, que logren mantener los estándares alcanzados con la implementación de las tres primeras S, así lograr una estandarización de los procedimientos para el mejor desarrollo de los trabajos y entregando además al personal un desarrollo integral, en un ambiente de trabajo mejorado.
- B. ASIGNACIÓN DE TRABAJOS Y RESPONSABLES:** Se asignan responsabilidades y metas a cada uno de los trabajadores de área, además se designan líderes para la supervisión de las tareas. Junto con ello se incorporan dentro del sistema de evaluación de desempeño actual, metas referidas a la metodología implementada.
- C. MANTENIMIENTO:** En esta actividad se facilita a las líderes los planes de limpieza y mantenimiento desarrollados, además de las políticas y normas

implementadas, las que deberán compartir con el personal del área de coating 1.5M. Se recomienda realizar en forma periódica charlas para ver aspectos de seguridad y mantenimiento, así reforzar de manera continua los estándares implementados.

- D. EVALUACIÓN ETAPA SEIKETSU:** Se recomienda realizar evaluaciones trimestrales para mantener una retroalimentación permanente en cuanto a posibles sugerencias o mejoras que puedan ir surgiendo durante el periodo de implementación de las primeras 3S. Una vez se encuentren ya implementadas las tres primeras etapas, se podría cambiar el periodo de esta evaluación a semestrales.

#### 3.4.5. Implementación concepto Shitsuke

Este último pilar busca mediante la disciplina formar hábitos en el personal respecto de los métodos establecidos y estandarizados en el lugar de trabajo, cumpliendo las normas y procedimientos adoptados, buscando mantener todas las etapas anteriormente implementadas operativas.

La disciplina, aparte de mantener los estándares alcanzados, contribuirá a garantizar que la seguridad sea permanente, mejorando no solo el autocuidado, sino también del lugar de trabajo, productividad, calidad y ejecución de los trabajos.

Es importante que en esta etapa, la disciplina se haga parte del pensamiento de los trabajadores, ante lo cual es también importante el papel de la empresa en este aspecto, quien deberá ser capaz, de crear condiciones que estimulen la práctica de los nuevos hábitos adoptados, junto con ello realizar un seguimiento y control de esta nueva metodología implementada mediante evaluaciones periódicas donde participe tanto el personal de mantenimiento del área, como así también la supervisión y dirección de la empresa, demostrando por ambas partes un compromiso, que permita, no solo evaluar el proceso, sino también, seguir incentivando a los trabajadores a enfocarse siempre hacia el concepto de mejora continua.

Dentro de esta etapa se pueden desarrollar las siguientes actividades con participación de la empresa y trabajadores:

- Seguimiento y control
- Rol de la dirección
- Rol de los trabajadores

- A. SEGUIMIENTO Y CONTROL.** Al culminar con toda la implementación de las 5S se requiere conservar todas las técnicas en óptimas condiciones, esto quiere decir que no se regrese al estado en que se encontraba antes el área. Para alcanzar este nivel de mejora se recomienda revisar de manera continua los formatos de evaluación para cada técnica implementada.

**B. ROL DE LA DIRECCIÓN.** Para crear y/o promover la implementación de esta nueva disciplina se sugiere a la dirección de la empresa tomar ciertas responsabilidades, con la finalidad de apoyar, mantener y dar continuidad al nuevo sistema que se piensa implementar, dentro de lo cual hay algunas actividades, que pueden desarrollarse para cumplir con los objetivos planteados, las cuales se presentan a continuación:

- Educar al personal sobre los principios y alcances de la metodología 5S.
- Crear líderes y equipos de trabajo para la implementación en el área de coating, así después poder llevar la implementación a otras áreas de la empresa.
- Suministrar los recursos necesarios
- Evaluar el progreso y evaluación de la metodología en el área elegida.
- Demostrar su compromiso y el de la empresa para la adecuada implementación de la metodología.

**C. ROL DE LOS TRABAJADORES.** Sin duda una parte fundamental en esta tarea, son los trabajadores, quienes finalmente pondrán en ejecución esta nueva metodología, ante lo cual se requiere no solo, su compromiso, sino además la motivación, por parte de sus supervisores y empresa, ante lo cual se recomiendan las siguientes actividades para contribuir a la implementación de las 5S:

- Demostrar interés por continuar el aprendizaje de la metodología a implementar.
- Asumir un compromiso con su trabajo y con la empresa.
- Ayudar a mantener los estándares que buscan mejorar su lugar de trabajo.
- Solicitar a la supervisión los recursos necesarios para implementar y mantener activa las 5S.
- Participar en la formulación de planes y auditorias, que contribuyan a mantener un plan maestro de mejoramiento continuo.
- Establecer dentro de los procedimientos de trabajo, limpieza, orden y organización, como parte de su rutina de trabajo.

Se estima adecuado y sugiere realizar evaluaciones de seguimiento y control del nivel 5S de manera trimestral durante el primer año de implementación. Ya a partir del segundo año se pueden efectuar evaluaciones cada seis meses. Para este efecto, se recomienda utilizar la misma pauta de evaluación inicial adjunta en el anexo 1 y además llevar un control y seguimiento del nivel 5S mediante la pauta de seguimiento y control adjunta en el anexo 2.

### **3.5. ETAPA 3 PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN TPM**

En esta sección se presentan las actividades y sugerencias para establecer la correcta implementación del TPM, específicamente se abordan los pilares del Mantenimiento Autónomo MA y Mantenimiento Planificado MP. La duración de esta etapa, ira de la mano con los tiempos de implementación de la metodología 5S, porque dependerá del grado de avance de estos conceptos, los tiempos para incorporar las acciones de mejoras propuestas mediante el TPM, pero se establece 1 año como periodo inicial.

#### **3.5.1. Presentación Metodología TPM**

Para iniciar la implementación de los conceptos del Mantenimiento Productivo Total, en las actividades de mantenimiento del área de coating 1.5M, es necesario dar a conocer a los trabajadores primeramente la metodología y sus alcances, dando a entender que el compromiso no solo es de ellos, sino además de los supervisores, gerentes y empresa, y que este plan de implementación sea el punto de partida para los cambios hacia un futuro basado en el mejoramiento continuo, si bien es cierto esta primera etapa de educación se realiza al comienzo de la propuesta de implementación, siempre es recomendable, reforzar permanentemente estos conceptos al personal, así mantener la motivación para adoptar de mejorar manera los cambios en la forma de realizar los trabajos.

Se propone para el inicio de esta etapa la participación de un coordinador, que cuente con la experiencia necesaria para mostrar al personal, los alcances y principales características del TPM, que para el caso particular debería ser el mismo líder que se establece anteriormente durante las actividades planteadas para las 5S, quien cumple el rol de motivar al personal a emprender este desafío que busca mejorar no solo un plan de mantenimiento, sino, que permita tomar responsabilidades, implementar mejoras, realizar análisis de la forma como se están desarrollando los trabajos, buscar acciones correctivas, que en conjunto permitan efectuar un trabajo basado en la calidad, confiabilidad y con los estándares de seguridad apropiados.

### **3.6. OBJETIVOS IMPLEMENTACIÓN DEL TPM**

Como parte del proceso para poder implementar esta metodología del Mantenimiento Productivo Total, se hace necesario realizar un análisis y evaluación de los actuales procedimientos para el proceso de aluminizado, para ello se tiene como punto de partida, las siguientes actividades como plan inicial:

- Definir grupos de trabajo, entre los trabajadores que realizan las labores de mantenimiento del área de coating 1.5M.
- Analizar y recopilar información existente en cuanto a planes de mantenimiento.
- Realizar un análisis de las fallas recurrentes en los procesos de aluminizado.
- Definir Propuesta Implementación de los pilares del Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento programado.
- Evaluación y resultados esperados.

#### 3.6.1. Definir grupos de trabajo

Debido a que el personal que participa en el mantenimiento del área de coating 1.5M es reducido, solo hay un grupo de trabajo de dos personas, que podrían llegar a ser cuatro una vez que la empresa concrete la contratación del personal adicional necesario sugerido.

Se plantea la opción de realizar reuniones cada 15 días para ir analizando las propuestas y mejoras para elaborar el nuevo plan de mantenimiento enfocado en el TPM.

#### 3.6.2. Análisis y recopilación información existente

Cabe destacar que debido a que no existe un plan de mantenimiento actualizado, se toma como referencia documentación antigua existente, además de registros realizados durante los procesos de aluminizado efectuados en los años 2016 y 2019, si bien es cierto no existe un registro formal de las actividades o fallas ocurridas en los trabajos realizados en el periodo especificado, se utiliza un registro de actividades que mantiene el personal del área en un archivo tipo Log File como referencia para establecer los puntos críticos y correcciones necesarias para poder proponer un plan de mantenimiento adecuado a la situación actual, con la finalidad de realizar los trabajos de manera más eficiente, con menos tiempos de falla, con mayor orden, limpieza, organización y seguridad. En esta etapa se propone desarrollar un plan de mantenimiento programado, que busca realizar mantenciones a la cámara de aluminizado cada 4 meses durante el primer año desde la puesta en marcha del plan de mantención, así recuperar las condiciones iniciales del equipo, considerando, además, que este equipo la mayor parte del tiempo se encuentra sin actividad y sin ningún tipo de mantención. Ya en el segundo año después de implementadas las mejoras, se recomienda establecer una mantención semestral.

Es importante destacar que tiene gran importancia lograr una adecuada implementación de la metodología de las 5S, ya que varias de las actividades que se contemplan en el plan de implementación de los pilares del MA y MP, deberían estar ya desarrolladas, con la implementación de la metodología 5S, por ello, se hace

fundamental, su puesta en marcha y consolidación, para lograr los objetivos planteados de manera más eficiente.

### **3.7. IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**

La meta del TPM es efectuar mejoras substanciales dentro de la empresa optimizando la utilización de sus recursos físicos y humanos. Para eliminar las pérdidas se debe cambiar primero las actitudes del personal e incrementar sus capacidades; aumentar su motivación y competencia, mejorar la efectividad del mantenimiento y operación de los equipos.

En este plan inicial se trabaja desde el pilar de mantenimiento autónomo, el cual adopta un procedimiento de implantación paso a paso que permite que las actividades evolucionen lenta pero profundamente. El enfoque paso a paso delimita claramente las actividades de cada fase, facilitando la ejecución de auditorías regulares que dan fe de los avances hechos y da al personal de mantención un sentimiento de logro conforme se avanza con el programa.

El mantenimiento autónomo MA, se establece en siete pasos, empezando por la limpieza inicial y procediendo regularmente hasta la plena autogestión. Previamente a estos pasos, se implementa un plan de sistematización y mantenimiento orientado a la higiene y seguridad industrial llamado "5S" que consiste en el orden y limpieza, ya sea de los equipos, líneas de producción, planta, oficinas, etc. Como parte del plan de implementación en su etapa inicial como ya se dio a conocer, la metodología 5S permite mantener el equipo en su estado original óptimo, permitiendo tener gran parte de los objetivos del pilar del mantenimiento autónomo avanzadas y en funcionamiento, conceptos que en conjunto ayudan a que la propuesta de implementación del MA, se desarrolle rápidamente y así poder establecer un estándar que permita también cimentar una base confiable en el tiempo. La implementación del MA es un proceso largo, que requiere de esfuerzo, participación, compromiso, liderazgo y dedicación constante, pues debe madurar para convertirse en "la forma de hacer las cosas" dentro de la organización. Esto no significa que no se consigan resultados a corto y mediano plazo, sino que se requiere constancia para su consolidación y así lograr que los resultados sean sostenibles, ya que la base de esta filosofía es el cambio cultural de los empleados y de la organización.

Teniendo las condiciones previas ya definidas y explicadas, se trabaja en los siete pasos del mantenimiento autónomo que son:

- PASO 1: Realizar limpieza inicial, organizar y ordenar.
- PASO 2: Eliminar las fuentes de contaminación y lugares inaccesibles.
- PASO 3: Establecer estándares de limpieza, lubricación, inspección y ajuste.

- PASO 4: Realizar inspección general del equipo.
- PASO 5: Realizar Inspección autónoma.
- PASO 6: Establecer estándares de mantenimiento.
- PASO 7: Practica plena de la autogestión

Los pasos mencionados anteriormente se describen a continuación:

- A. PASOS 1 AL 3:** se enfocan en suprimir los elementos que causan el deterioro acelerado, prevenir y revertir el deterioro, establecer y mantener las condiciones básicas del equipo, para su correcto funcionamiento. Paralelamente, los objetivos de estos pasos son conseguir que los operarios se interesen y responsabilicen por sus equipos y ayudarles a cambiar su mentalidad enfocándolos hacia el mantenimiento continuo y programado.
- B. PASOS 4 y 5:** Aquí es importante el rol de los líderes de grupo, quienes tienen la misión de instruir al equipo acerca de los procedimientos de inspección y la inspección general se amplía desde las unidades de equipos individuales a procesos enteros. Los objetivos de estos pasos son reducir las averías y formar a operarios y trabajadores que comprendan y dominen a fondo sus equipos y procesos.
- C. PASOS 6 Y 7:** Están pensados para reforzar y elevar el nivel del mantenimiento autónomo y actividades de mejora, estandarizando sistemas y métodos, pudiendo ampliar la esfera de acción desde los equipos a otras áreas de la empresa. El objetivo de estos últimos pasos es formar una organización sólida y cultural, en la que cada lugar de trabajo sea capaz de auto gestionarse

Muchos de los conceptos y objetivos planteados para la implementación del mantenimiento autónomo, deberían ser cubiertos mediante los conceptos de la metodología 5S, ya que existe una interacción entre estos, por tanto, lograr un nivel adecuado en la etapa inicial de la propuesta, sin duda, permite un avance significativo, para continuar de manera eficiente con la implementación de los pilares del Mantenimiento Productivo Total.

Para hacer visible esta interacción entre ambas metodologías, se presenta en la tabla 3-6, un resumen de los conceptos y objetivos del mantenimiento autónomo y metodología 5S, con la finalidad de mostrar como los objetivos de cada una de las etapas planteadas para la implementación del MA, tienen relación directa con los conceptos y actividades que se establecen por medio de la metodología 5S.



Tabla 3-6. Comparación objetivos Mantenimiento Autónomo y 5S.

| MANTENIMIENTO AUTÓNOMO |                                                    |                                                                              | METODOLOGÍA 5S        |                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ETAPAS                 | OBJETIVOS                                          | PASOS                                                                        | CONCEPTO APLICADO     | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                              |
| ETAPA 1                | RECUPERAR LA CONDICIÓN BÁSICA DEL EQUIPO           | PASO 1: Realizar limpieza inicial, organizar y ordenar                       | SEIRI, SEITON SEISO   | Las 3 primeras S, están orientadas a mejorar las condiciones del área de trabajo mediante la clasificación, orden, organización y limpieza , así recuperar y mantener la condiciones básicas del equipo. |
|                        |                                                    | PASO 2: Eliminar las fuentes de contaminación y lugares inaccesibles         |                       |                                                                                                                                                                                                          |
|                        |                                                    | PASO 3: Establecer estándares de limpieza, lubricación, inspección y ajuste. | SEISO Y SEIKETSU      | Mantener la limpieza del área de trabajo y equipos, haciendo que las tareas de limpieza sean parte del mantenimiento, mediante estándares establecidos.                                                  |
| ETAPA 2                | REALIZAR INSPECCIÓN DIARIA Y MANTENIMINETO BÁSICO  | PASO 4: Realizar inspección general del equipo.                              | SEIKETSU              | Establecer métodos y planes de mantenimiento estandarizados, que promuevan la autonomía del personal.                                                                                                    |
|                        |                                                    | PASO 5: Realizar Inspección autónoma.                                        |                       |                                                                                                                                                                                                          |
| ETAPA 3                | IMPULSAR LA MEJORA CONTINUA, CALIDAD Y AUTOGESTIÓN | PASO 6: Establecer estándares de mantenimiento.                              | SEIKETSUKE Y SHITSUKE | Mantener por medio del control de las 3 primeras S, los estándares establecidos, creando en el personal hábitos y autodisciplina.                                                                        |
|                        |                                                    | PASO 7: Practica plena de la autogestión                                     |                       |                                                                                                                                                                                                          |

Fuente: Elaboración propia en base a estudio realizado.

Basándose en la tabla anterior se ratifica la relación directa que entre el pilar mantenimiento autónomo y los conceptos de la metodología 5S, sin embargo, muchos de estos objetivos necesitan un plan de acción adicional que permita mejorar algunas condiciones como:

- Mejorar la confiabilidad del equipo
- Eliminas fallas inesperadas
- Eliminar causas de fallas recurrentes.
- Minimizar las horas de mantenimiento correctivo.
- Establecer un plan de mantenimiento programado.

Para cumplir con estos objetivos se propone implementar el pilar del Mantenimiento Planificado, del TPM, mediante la propuesta de un plan de mantenimiento programado en cual se desarrolla en base a los análisis realizados e información recopilada en el transcurso de la investigación y en base a la experiencia

del personal que trabaja en el área de coating 1.5M, con la finalidad mantener en mejores condiciones operativas la cámara de aluminizado e implementar las mejoras necesarias para el desarrollo confiable de los procesos de coating.

### **3.8. IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO PLANIFICADO**

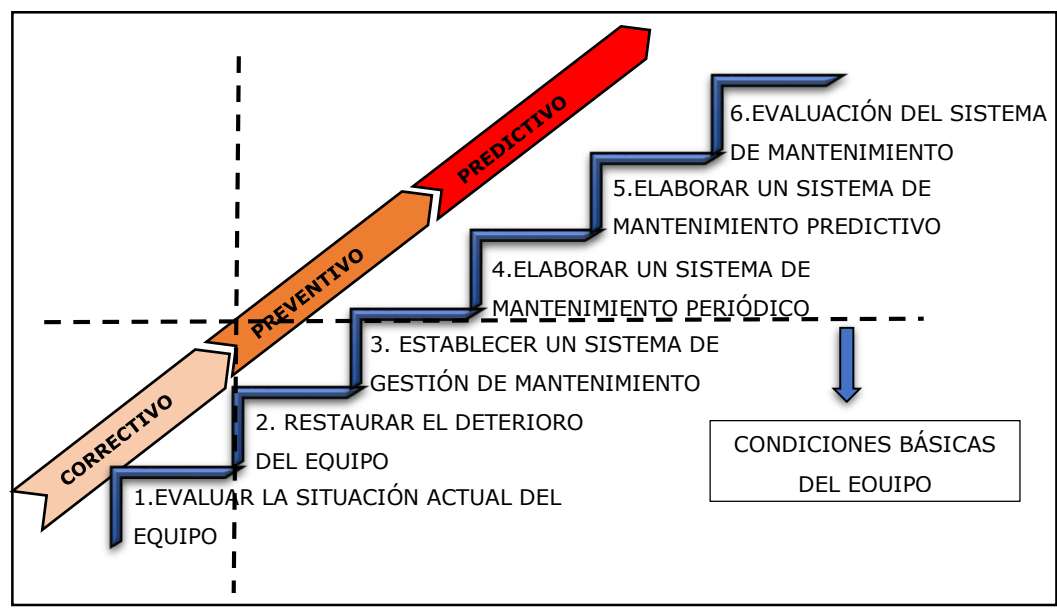
Para la propuesta de implementación del pilar del Mantenimiento Planificado, se hace necesario, la colaboración y compromiso de los trabajadores y empresa, además es fundamental identificar las posibles condiciones que no cumplen con un estándar adecuado, ante lo cual se pueden utilizar los mismos criterios establecidos con la metodología 5S y complementarse con el apoyo de los conceptos del pilar del mantenimiento autónomo, asegurando un buen inicio para el logro de las propuestas.

Para cumplir con esta finalidad se presentan algunos pasos necesarios para una correcta implementación del pilar del mantenimiento planificado.

- A.** Haber implementado correctamente la metodología 5S y avanzado por ende el pilar del mantenimiento autónomo. En esta etapa se sugiere realizar una nueva evaluación del nivel 5S alcanzado tras la implementación de la metodología, tal cual se describió en puntos anteriores, revisar las pautas y estándares alcanzados y la continuidad y mantenibilidad en el tiempo. Será fundamental incorporar las 3 primeras S, como el pilar básico para sostener el mantenimiento autónomo y planificado.
- B.** Se propone incorporar en el actual procedimiento de trabajo, como parte del mismo, las actividades contempladas en las 3 primeras S, así las tareas de mantención, además de cumplir con la función de tener operativo el equipo, también involucrarán los hábitos de mantener, orden, limpieza y organización en el desarrollo de las labores.
- C.** Teniendo un plan de mantenimiento establecido y estandarizado, se puede comenzar a recopilar datos y registros de operación del equipo, como así también programar las tareas de mantención, esto contribuye además a mejorar no solo la confiabilidad del equipo, sino, además, permite al personal del área de mantenimiento ejecutar los trabajos de manera más eficiente, óptima y segura.

El mantenimiento planificado normalmente se establece para lograr dos objetivos: mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costes" (Suzuki, 1995, 145). Para que el desarrollo del pilar de mantenimiento planificado sea llevado a cabo de manera eficaz y ágil, es necesario desarrollar sus actividades de forma ordenada y secuencial. Estas actividades que se

muestran en la figura 3-8, también conocidas como pasos, facilitan la preparación y se enfocan en el logro de los objetivos del pilar del mantenimiento planificado.



Fuente: Elaboración propia en base a estudio realizado.

Figura 3-8. Pasos del mantenimiento planificado.

De los pasos descritos en la figura 3-8, el paso 1 se ha desarrollado con la realización de la inspección visual, evaluación inicial 5S e inspección de seguridad descritas en el inicio del capítulo 3. En cuanto al paso 2, su objetivo principal es revertir el deterioro y corregir las debilidades, contribuyendo a prestar apoyo a los pasos del 1 al 3 del pilar de mantenimiento autónomo, descritos anteriormente, que buscan restaurar el deterioro acelerado, corregir las debilidades del diseño y llevar al equipo hasta su condición óptima, por tanto, al relacionarse entre sí, estos objetivos también deberían estar cubiertos en gran medida con la implementación de los conceptos de la metodología 5S. Esta combinación de conceptos y objetivos de los mantenimientos autónomo y planificado, dice Suzuki, es la relación y la manera en que se pueden lograr resultados significativos, donde el departamento de mantenimiento no puede lograr cero averías solamente con el mantenimiento planeado, ni tampoco puede lograrlo solamente con el mantenimiento autónomo. De aquí que para la implementación del pilar del MP, se consideran solo los paso 1 al 4 descritos anteriormente en la figura 3-8, ya que estos involucran las actividades necesarias para complementar, tanto al pilar del mantenimiento autónomo, como los estándares que se alcancen mediante la metodología 5S, así cumplir con los objetivos de la propuesta. Para esto se plantean las siguientes actividades:

- Restablecer condiciones básicas del equipo, revertir el deterioro y mejorar los entornos que causan deterioro acelerado apoyando el mantenimiento autónomo.
- Poner en práctica actividades de mejora continua para corregir debilidades y ampliar los periodos de vida.
- Tomar medidas para impedir la ocurrencia de fallos idénticos o similares.
- Introducir mejoras para la reducción de los fallos de proceso.

Para el cumplir con las actividades antes planteadas, se hace necesario establecer de manera más exacta los elementos o factores que causan las principales fallas en el equipo. Como ya se expuso anteriormente no se dispone de un registro formal que permita realizar este tipo de análisis, sin embargo, con la información recopilada se pudo armar una pequeña base de datos, para establecer y determinar de mejor manera las principales causas de fallas del equipo.

### **3.9. RECOPIACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS**

La información recopilada corresponde a trabajos de coating realizados en los años 2016 y 2019, en estos años se realizaron dos trabajos de aluminizado, cada uno de los cuales duraron aproximadamente un mes considerando las tareas previas de preparación del trabajo. Con los datos recopilados se realiza un análisis de la frecuencia de las principales fallas mediante el uso diagramas Pareto y Jack Knife, buscando llegar a determinar la causa raíz de las fallas, ya que muchas veces las causas de los problemas vienen de una combinación de factores que probablemente no se alcancen a visualizar con los análisis y evaluaciones previas realizados, así proponer una estrategia o plan de mantenimiento que ayude a solucionar los puntos críticos encontrados.

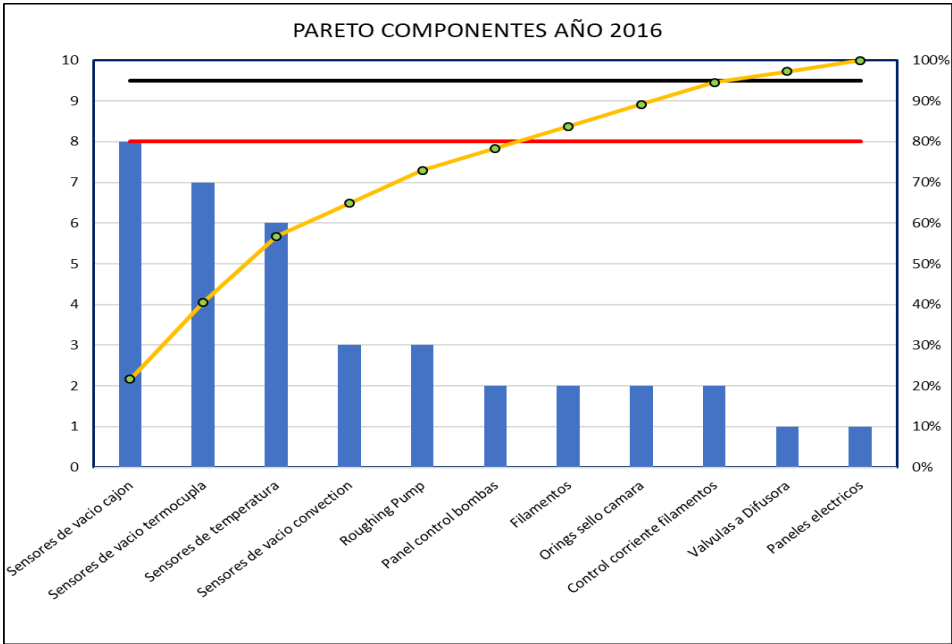
#### **3.9.1. Diagramas de Pareto por componentes**

Esta sección se enfoca en la realización de los diagramas de Pareto por componentes de la cámara coating de los trabajos realizados en los años 2016 y 2019, cuyas bases de datos se adjuntan en los Anexos 4 y 5.

Como primer análisis se toman los datos correspondientes a trabajos realizados durante el año 2016, durante el mes de agosto. El análisis considera tiempos de 8 horas diarias de lunes a viernes, que es el horario de trabajo del personal del área de coating 1.5M, por tanto, se establecen para efecto del análisis, 160 horas de trabajo del equipo.

En el grafico 3-2, se presenta el análisis de frecuencia de fallas de los componentes más relevantes de la cámara de coating que se detallan a continuación:

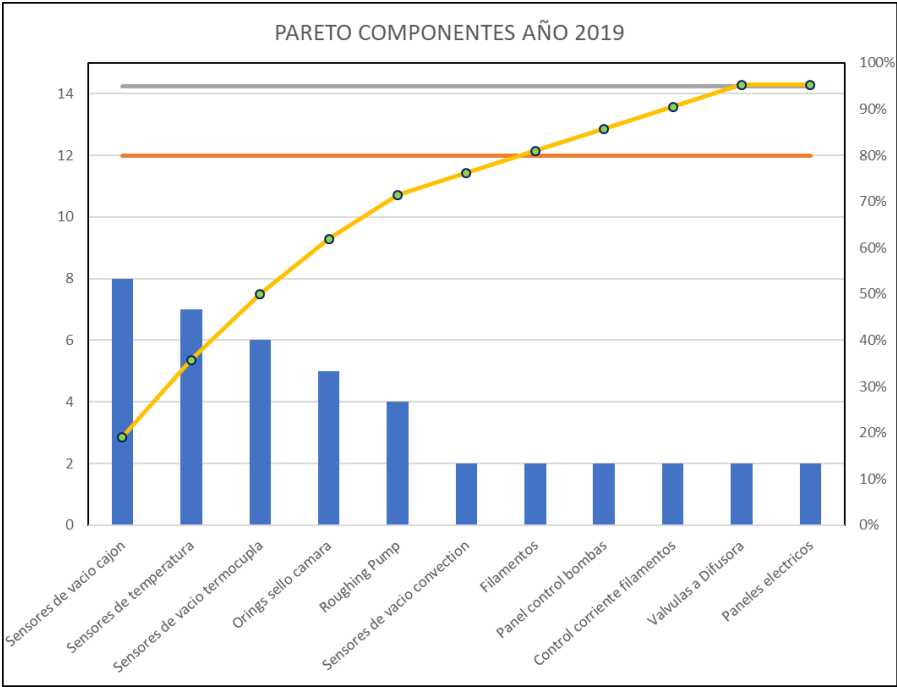
- Sensores de vacío tipo cajón
- Sensores de vacío tipo termocupla.
- Sensores de temperatura.
- Sensores de vacío convection.
- Filamentos.
- O ring sello cámara.
- Roughing Pump.
- Control corriente filamentos.
- Panel control bombas de vacío.
- Válvulas a difusora.
- Paneles eléctricos.



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados.

Gráfico 3-2. Pareto por componentes cámara de coating año 2016.

A continuación, se muestra en el grafico 3-3 el diagrama de Pareto por componentes, considerando datos recopilados de los trabajos desarrollados durante el mes de julio de 2019, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos y establecer si durante ambos periodos la frecuencia de fallas tuvo indicadores en común.



Fuente. Elaboración propia en base a datos recopilados.

Gráfico 3-3. Pareto por componentes cámara de coating año 2019.

Considerando las condiciones que establecen los diagramas de Pareto, que dicen que el 20 % de los componentes son los que ocasionan el 80 % del tiempo de falla total, para el caso de análisis el 80% de fallas son causadas por 5 de los 11 componentes de la cámara de coating, los que corresponden al 45,45 % del total de los componentes, según se aprecia en los gráficos anteriores y detalle de la tabla 3-7 siguiente.

Tabla 3-7. Componentes con más frecuencia de fallas.

| COMPONENTES AÑO 2016              | COMPONENTES AÑO 2019              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Sensores de vacío tipo cajón      | Sensores de vacío tipo cajón      |
| Sensores de vacío tipo termocupla | Sensores de temperatura           |
| Sensores de temperatura           | Sensores de vacío tipo termocupla |
| Sensores de vacío convection      | O ring sello cámara               |
| Roughing pump                     | Roughing pump                     |

Fuente. Elaboración propia según análisis de Pareto.

Considerando que los diagramas de Pareto, indican tiempos totales de detenciones, pero no precisan información sobre la frecuencia o tiempos de ocurrencia de estas, se hace necesario un análisis más detallado. A modo de ejemplo podemos tener un componente que sólo falló una vez y pudo ocasionar un tiempo

considerable de reparación y por otro lado podemos tener otro componente que tuvo múltiples fallas y en cada una de ellas ocupó un bajo tiempo de reparación. Los dos componentes tienen similar tiempo total de detención, pero estas ocurrieron de distintas maneras. Por esta razón el diagrama de dispersión, para este caso Jack Knife, toma importancia debido a que puede diferenciar estos dos tipos de fenómenos.

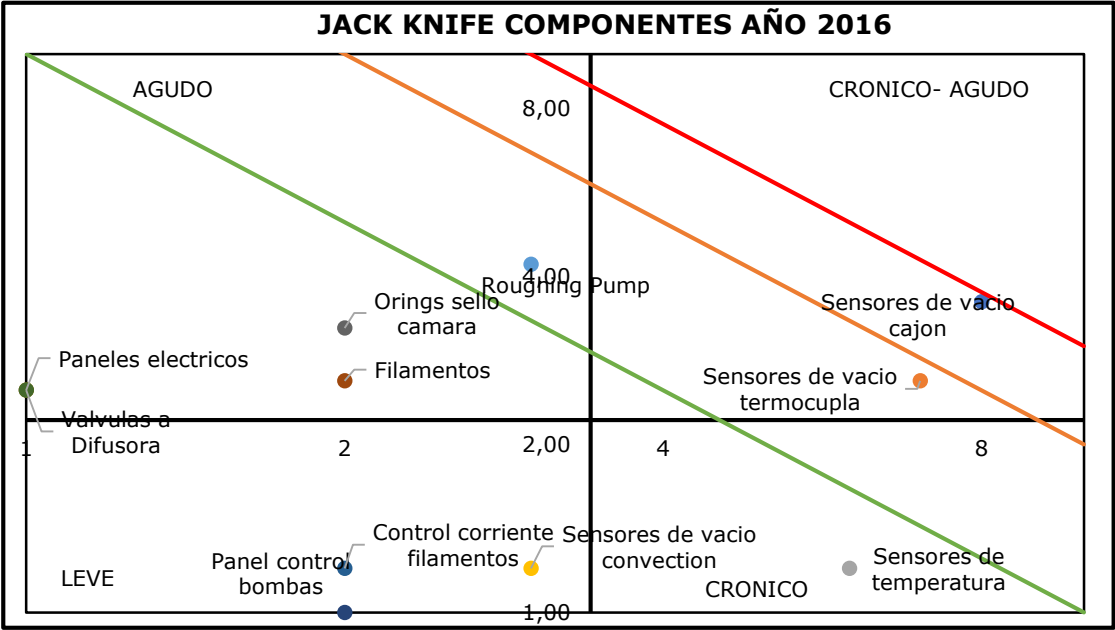
### 3.9.2. Diagramas de dispersión Jack Knife

El diagrama Jack Knife, es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites. Los diagramas de dispersión pueden ser divididos en cuatro cuadrantes que permitan que las fallas sean clasificadas en:

- Cuadrante Crónico-Agudo: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen alto número de fallas y un elevado MTTR. (Baja confiabilidad y mantenibilidad).
- Cuadrante Crónico: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un alto número de detenciones y un bajo MTTR. (Baja confiabilidad).
- Cuadrante Agudo: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un elevado MTTR. (Baja mantenibilidad).
- Cuadrante Leve: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un bajo MTTR.

Considerando los resultados de los diagramas de Pareto, se hace necesario determinar cuáles de las fallas y componentes de la cámara de aluminizado han causado los mayores tiempos de detención y por ende los mayores tiempos de reparación e indisponibilidad del equipo. Mediante el análisis Jack Knife, se busca determinar que la naturaleza de las fallas en estos componentes, pues tienen causas diferentes y por ende deben tener una estrategia de acción distinta, así la clasificación resultante permite establecer planes de acción y metodologías a aplicar según el comportamiento del fenómeno y de esta forma asignar correctamente los recursos existentes.

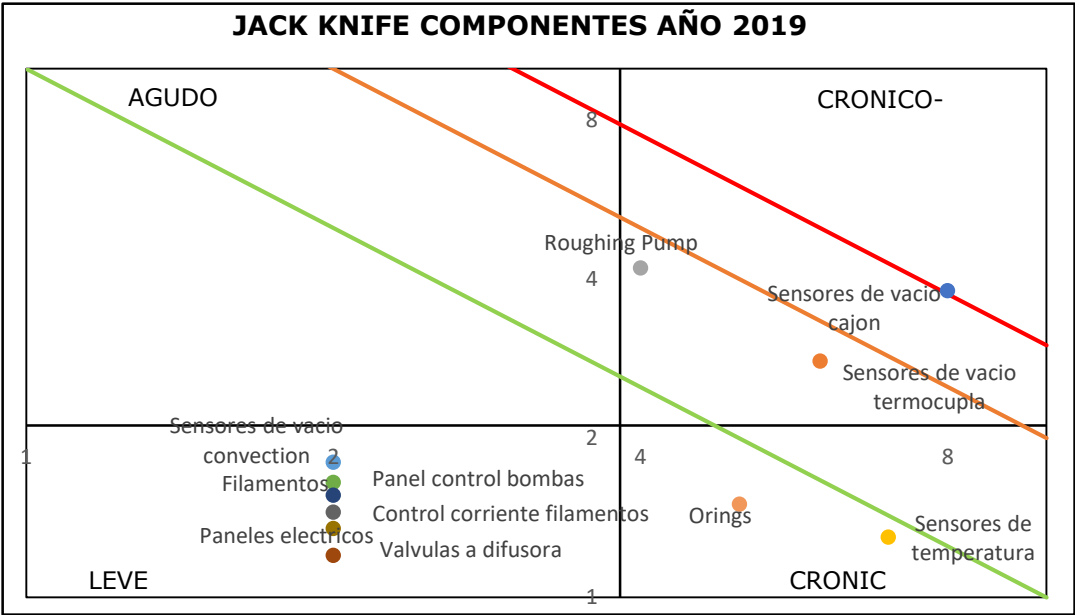
Como referencia para el primer diagrama Jack Knife se consideran los mismos datos recopilados durante el año 2016, presentando estos resultados mediante el gráfico 3-4.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados Jack Knife.

Grafico 3-4. Jack Knife componentes cámara de coating año 2016.

A continuación, se muestra mediante el grafico 3-5, el diagrama Jack Knife para el año 2019, al igual como se hizo con el análisis de Pareto, establecer una comparativa con los resultados de ambos periodos analizados. Para ver la tabla de datos de los diagramas Jack Knife, referirse al los Anexos 6 y 7.



Fuente: Elaboración propia en base a resultados Jack Knife

Grafico 3-5. Jack Knife componentes cámara de coating año 2019.



3.9.3. Resultados análisis Jack Knife

Para visualizar más claramente los resultados de ambos años analizados se hace resumen mediante la tabla 3-8 que presenta los componentes enumerados con su descripción y la tabla 3-9, donde se muestra en que cuadrante se encuentra cada componente.

Tabla 3-8. Resumen componentes cámara de coating.

| Ítem N° | Componentes                       |
|---------|-----------------------------------|
| 1       | Sensores de vacío tipo cajón      |
| 2       | Sensores de vacío tipo termocupla |
| 3       | Sensores de temperatura           |
| 4       | Sensores de vacío tipo convection |
| 5       | Roughing Pump                     |
| 6       | Panel control bombas              |
| 7       | Filamentos                        |
| 8       | O-rings sello cámara              |
| 9       | Válvulas a Difusora               |
| 10      | Control Corrientes Filamentos     |
| 11      | Paneles eléctricos                |

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizado.

Tabla 3-9. Clasificación por cuadrantes gráficos Jack Knife.

| Cuadrantes      | Año 2016              | Año 2019                |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|
|                 | Número del Componente |                         |
| Crónico - Agudo | 1 - 2                 | 1 - 2 - 5               |
| Crónico         | 3                     | 3 - 8                   |
| Agudo           | 5 - 7 - 8 -9 - 11     | NINGUNO                 |
| Leve            | 4 - 6 - 10            | 4 - 6 - 7 - 9 - 10 - 11 |

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizado.

Observando los resultados obtenidos se puede establecer que los componentes críticos son más menos coincidentes en ambos años, con lo cual se establece una comparativa de los resultados obtenidos, que se presentan en la tabla 3-10.

Tabla 3-10. Tabla comparativa resultados Jack Knife.

| ANÁLISIS AÑO 2016 |           |      |                         |               |
|-------------------|-----------|------|-------------------------|---------------|
| Componente        | Nº Fallas | MTTR | Tiempo de fallas en Hrs | Cuadrantes    |
| 1                 | 8         | 3,60 | 28,80                   | CRONICO-AGUDO |
| 2                 | 7         | 2,60 | 18,20                   | CRONICO-AGUDO |
| 3                 | 6         | 1,20 | 7,20                    | CRONICO       |
| 5                 | 3         | 4,2  | 12,60                   | AGUDO         |
| ANÁLISIS AÑO 2019 |           |      |                         |               |
| Componente        | Nº Fallas | MTTR | Tiempo de fallas en Hrs | Cuadrantes    |
| 1                 | 8         | 3,80 | 30,4                    | CRONICO-AGUDO |
| 2                 | 6         | 2,80 | 16,8                    | CRONICO-AGUDO |
| 3                 | 7         | 1,30 | 9,1                     | CRONICO       |
| 5                 | 4         | 4,20 | 16,8                    | CRONICO-AGUDO |

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizado.

Observando los resultados obtenidos, para ambos años el componente 3, se sitúa en el cuadrante crónico, posee un alto número de fallas y bajo MTTR. Esto significa que las reparaciones son rápidas pero el elemento falla reiteradamente y puede ser catalogado de baja confiabilidad. En este caso, la estrategia de acción es revisar los modos de fallas presentados. Si son múltiples los modos de fallas se sugiere aplicar la metodología RCM y si solo es un modo de falla preponderante entonces se puede aplicar la metodología RCA.

En el caso particular del componente Roughing pump, en el año 2016 este encontraba en el cuadrante agudo, lo que quiere decir que tiene bajo número de fallas y alto tiempo para reparación, esto involucra que la reparación es más complicada y la gestión debería orientarse en eliminar o disminuir la probabilidad de ocurrencia de ese modo de falla a partir de un RCA (análisis de causa raíz).

Respecto a los componentes 1 y 2, estos se mantuvieron en ambos años en el cuadrante crónico-agudo, considerando además que el componente 5, también paso al cuadrante crónico-agudo en el año 2019, por tanto, se sugiere comenzar el análisis y orientar el presupuesto hacia los equipos que están en el cuadrante crónico-agudo. De todos modos, hay que poner atención al componente sensores de temperatura que, aunque no involucra una posible detención del equipo, se recomienda determinar la causa que origina la falla, para tomar alguna medida correctiva.

Con los resultados obtenidos se plantea la necesidad de establecer acciones correctivas y planes asociados a la implementación de mejoras preventivas, que permitan establecer las mejoras respectivas.

### **3.10. OPORTUNIDADES DE MEJORAS**

Ya estando identificados los focos de acción de cada equipo es posible realizar las mejoras correspondientes, entre ellas existen variadas posibilidades, que en mayor medida dependerán del modo de falla que se quiera eliminar. Las mejoras no solo pueden referirse a la disminución de fallas, también es posible realizar mejoras en diferentes áreas tales como:

- A.     **ÁREA DE MANTENIMIENTO:**
  - Revisión y modificación de planes de mantenimientos.
  - Creación de planes de mantenimiento.
  - Control de frecuencias de planes de mantenimiento.
  - Incorporación de nuevas tareas en los planes de mantenimiento.
  
- B.     **ÁREA OPERACIONAL.**
  - Revisión de procedimientos operacionales.
  - Modificación de procedimientos operacionales.
  - Creación de Procedimientos operacionales.
  
- C.     **ÁREA DE REPUESTOS.**
  - Revisión de repuestos.
  - Creación de repuestos no existentes "Ficha Técnica".
  - Modificaciones de Stock de seguridad.
  
- D.     **ÁREA COMPETENCIAS LABORALES.**
  - Realizar capacitación de mantenimiento de equipos.
  - Capacitación de montaje y desmontaje de equipos.
  
- E.     **IMPLEMENTACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA.**
  - Modificaciones y mejoras al equipo.
  - Modificación de elementos y componentes.
  - Protocolos de pruebas.

Como se puede apreciar hay muchos factores y muchos métodos para implementar acciones correctivas y preventivas, la búsqueda de estas medidas debe ser realizadas por personal calificado, buscando información de los sucesos por medio de diferentes formas, reuniendo los antecedentes necesarios, concluyendo finalmente sobre una probable causa raíz, para luego obtener las descritas medidas correctivas o preventivas a implementar.

### **3.11. SUGERENCIAS DE MEJORAS**

Teniendo presente los análisis anteriormente realizados y basándose en la información recopilada, junto con la experiencia y conocimiento del área donde se desarrolla la propuesta, apoyándose además en estudios realizados de las distintas alternativas de mejoras, se plantean las siguientes opciones para disminuir las probabilidades de fallas y lograr mantener en condiciones óptimas la cámara de coating.

- A.** Primeramente, reemplazar los sensores de vacío tipo cajón y termocupla, ya que estos según el análisis realizado, se encuentran en el cuadrante crónico-agudo, cuyas fallas están asociadas a tres factores:
- No hay disponibilidad de repuestos, al ser sensores muy antiguos y es difícil encontrar stock disponible comercialmente.
  - Por el tipo de montaje se han detectado que causan fugas de vacío, y, por tanto, entorpecen los procesos de la cámara de aluminizado, generando tiempos de indisponibilidad.
  - Las lecturas de estos sensores se realizan mediante un panel análogo muy antiguo que lo hace poco confiable, generando errores en la lectura de los valores medidos.
- B.** La bomba de vacío Roughing, que también en el año 2019 se estableció en el cuadrante crónico-agudo, las fallas en este equipo, están asociadas a falta de mantenimiento, no se le ha hecho un seguimiento ni mantenciones periódicas en mucho tiempo, situación que ha generado problemas para realizar vacío a la cámara de coating, llevando incluso a la detención del proceso de vacío.
- C.** En cuanto a los sensores de temperatura a pesar que generan fallas repetitivas que no involucran tiempos de reparación excesivos, igualmente se recomienda sean reemplazados, por sensores que otorguen mayor confiabilidad de medición y mejor vida útil.

Además de estas sugerencias se hace necesario una pauta que permite al personal establecer planes de acción y metodologías apropiadas mediante el mantenimiento programado, así aprovechar los tiempos que este equipo pasa detenido, y evitar el deterioro de sus componentes y la ocurrencia de fallas asociadas a la falta de mantenimiento.

### **3.12. IMPLEMENTACIONES EN PROCESO**

Desde el comienzo del desarrollo y estudio del presente proyecto y en base a los antecedentes recopilados, se logra visualizar que la propuesta es completamente factible de implementar en el área de coating 1.5M, considerando, además, que tanto la dirección como la supervisión, han estado informados de los alcances de la propuesta. En consecuencia, a fines del año 2019, se propuso como etapa inicial, implementar la metodología 5S, tal cual se plantea en el desarrollo de este documento, lo que fue aprobado por la dirección del observatorio. Como primer avance, se compran estanterías, repisas y herramientas necesaria para comenzar con parte de la ejecución de las actividades propuestas para la implementación de los conceptos de las 5 S. Junto con ello y considerando las mejoras propuestas en el capítulo 3, se adquirieron nuevos sensores de vacío con tecnología más actual, para reemplazar aquellos que generaban fallas y se decide cambiarlos en su totalidad estandarizando estos componentes, lo cual permite implementaciones que podrán mejorar la confiabilidad, funcionamiento y optimización del equipo y proceso.

Además, como parte del proceso de mejora se sugirió el diseño de una caja de control de telemetría, con la finalidad de incorporar la lectura de todos los sensores que son parte de la cámara de coating, junto con ello se desarrolla un HMI mediante software Labview, para visualizar la lectura de los sensores y tener además la opción de graficar y obtener datos para futuros análisis, ambas mejoras fueron desarrolladas por personal del observatorio, sin embargo, debido a las condiciones actuales producto de la pandemia no se han podido realizar las pruebas necesarias, como para establecer parámetros que permitan cuantificar las mejoras obtenidas con estas modificaciones, pero sin duda permiten incorporar nueva tecnología para la optimización del proceso.

Otro factor relevante a considerar, es que, debido a la falta de recurso humano para la ejecución de las labores de mantenimiento en el área de coating 1.5M, la organización está evaluando la apertura de nuevos cargos para el área, situación que puede contribuir a mejorar el desempeño de las tareas de mantenimiento.

Cabe indicar que las opciones de mejoras iniciadas, debieron quedar detenidas producto de la pandemia, ya que la organización tomo la decisión de suspender el desarrollo de nuevos proyectos hasta que las condiciones actuales mejoren, enfocando al recurso humano que está limitado por las mismas condiciones derivadas de la pandemia, a las tareas esenciales para mantener operativos los telescopios del observatorio. Sin embargo, se realizan internamente evaluaciones periódicas para ir viendo la evolución de las condiciones actuales y retomar las actividades relacionadas con proyectos.

### **3.13. COSTOS IMPLEMENTACIÓN TPM**

Los costos asociados a la implementación del TPM se dividen de acuerdo a las tres etapas que conforman el plan de trabajo de la propuesta presentada anteriormente en el apartado 3.1, que se desglosan de la siguiente manera:

- A. Etapa 1: Presentación, entrenamiento y difusión: Los gastos estimados para esta etapa serían aproximadamente de \$ 1.992.000, cuyo valor en dólares corresponde a US\$ 2765,95.
- B. Etapa 2: Implementación metodología 5S: Los gastos estimados para esta etapa serían aproximadamente de \$ 8.767.273, cuyo valor en dólares corresponde a US\$ 12.151,62.
- C. Etapa 3: Implementación TPM: Los gastos estimados para esta etapa serían aproximadamente de \$14.694.500, cuyo valor en dólares corresponden a US\$ 20.366,88.

Para mayores detalles referirse al anexo 8, donde se presenta un cuadro resumen con los costos asociados por cada una de las etapas que conforman la propuesta de implementación del TPM, información que se complementa con la tabla disponible en el anexo 9, con las horas/hombres necesarias en el desarrollo de las actividades planteadas para la implementación.

### **SUGERENCIAS FINALES**

Considerando el apoyo de la dirección del observatorio ante la propuesta y teniendo en cuenta, se logra en una etapa inicial ejecutar un porcentaje de las actividades planteadas, se sugiere primero retomar las tareas que quedaron pendientes para ir avanzando con los objetivos propuestos.

Considerando que el observatorio cuenta aparte de la cámara de aluminizado del área de coating 1.5M, con una segunda cámara de mayor tamaño ubicada en el área de coating 4M, con características similares en cuanto a su funcionamiento y equipamiento y considerando presenta la misma problemática asociada a la falta de mantenimiento descrita en este trabajo, se recomienda ampliar la propuesta de implementación del TPM en esta área, estandarizando no solo los procedimientos y tareas de mantenimiento, sino además, mantener elementos y accesorios en común también estandarizados, logrando con esto, mantener un stock de repuestos comunes para ambos equipos, contribuyendo a mejorar la confiabilidad y eficiencia de ambas cámaras de coating.

Es necesario considerar a futuro un análisis de costos para la implementación de un mejoramiento continuo en toda el área de coating que incluye las dos cámaras de aluminizado descritas en este trabajo, así generar una planificación detallada de gastos, considerando que al ampliar la propuesta tal cual se sugiere a la otra cámara de coating, podría servir de referencia para evaluar y considerar implementar las mejoras propuestas en otras áreas del observatorio.

## **CONCLUSIONES**

Al comienzo de este trabajo se planteó como objetivo diseñar una propuesta de mejora mediante estrategias de mantenimiento para el área de coating 1.5M del Observatorio Interamericano Cerro Tololo, utilizando metodologías de mejoramiento basadas en el Mantenimiento Productivo Total y teniendo como apoyo fundamental la metodología de las 5S y herramientas asociadas al control visual, todas con conceptos comunes que interactúan entre sí y poseen una estrecha relación con las técnicas de mejoramiento continuo.

Con el desarrollo del marco teórico, se establecen y describen los conceptos de las metodologías de mantenimiento que sirvieron de sustento para el avance de éste trabajo, estableciendo la base conceptual para respaldar la propuesta de mejora del mantenimiento. Es así como también se pudieron identificar los indicadores críticos en el área de coating 1.5M, mediante la utilización de herramientas propuestas con la filosofía 5S, logrando determinar que parámetros y que actividades serían las más adecuadas para comenzar con la etapa inicial de la propuesta de mejora. Lo anteriormente descrito se logró llevar a cabo mediante la pauta de evaluación inicial del nivel 5S, inspección visual e inspección de seguridad desarrolladas para este fin, cumpliendo con el objetivo de establecer el estado inicial y condiciones de seguridad del área de trabajo específica. La puesta en marcha de una metodología como lo es las 5S permite que en cualquier área en la que se aplique se puedan obtener mejoras inmediatas de algunos aspectos como el orden, la limpieza y organización del sitio de trabajo, buscando la estandarización de sus procesos, al cumplir con la ejecución de manera precisa de todos los pasos propuestos, se podrá obtener una mejora global del lugar y establecer la base necesaria para sostener en ella, los pilares del mantenimiento autónomo y planificado del TPM.

Así también en el desarrollo del trabajo se plantea en la etapa de propuesta de implementación de los pilares del TPM, identificando los componentes críticos y principales puntos de falla en la cámara de coating, para poder establecer las acciones correctivas y preventivas necesarias, donde la utilización de diagramas de Pareto y Jack Knife, permitieron en base al análisis de resultados, identificar los principales componentes críticos y puntos de falla existentes. En base a esta información se fundamentan las opciones de mejora planteadas. Sin embargo y considerando existen muchos factores y muchos métodos de implementar acciones correctivas y preventivas, se logra definir en base al estudio realizado y análisis de los resultados obtenidos, una estrategia de mantenimiento acorde a las necesidades identificadas.

Considerando los alcances y objetivos planteados para la implementación de la propuesta del Mantenimiento Productivo total, apoyándose en los análisis y estudios realizados se puede establecer que es totalmente factible su implementación y desarrollo, más aun considerando que la dirección de la empresa y supervisión han evaluado satisfactoriamente los alcances de esta propuesta, con lo cual se ha logrado



establecer un avance en algunas de las alternativas de mejoras sugeridas, lo que avala la factibilidad del proyecto.

Sin lugar a duda el Mantenimiento Productivo Total, como así la filosofía de las 5S y todas aquellas técnicas y herramientas que apuntan al concepto del mejoramiento continuo, dan para establecer muchas otras estrategias de mantenimiento y mejoras, pero en este aspecto cumple un rol fundamental la disposición de la organización y la participación del recurso humano. Pues se ha observado a lo largo del trabajo realizado, que es posible visualizar claramente los efectos que tienen estas técnicas de mejoramiento continuo en la industria productiva, sin embargo, son también aplicables a empresas que no son netamente productivas como es el caso de los observatorios astronómicos.

Es relevante indicar, que estas técnicas y herramientas de mejora continua tienen un carácter transversal tal como se puede apreciar en éste trabajo, donde la implementación no solo puede estar enfocada a un área específica de la empresa, sino también, se pueden conseguir mejoras en todas las demás. Cabe destacar que las mejoras implementadas no son eternas y es deber del recurso humano involucrado, mantenerlas en el tiempo, por eso se habla de que el mejoramiento continuo es una filosofía, ya que depende de las personas mantener en el tiempo los resultados obtenidos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. CALLE, Jonathan. Los 8 pilares del TPM, [en línea]. [sa]. Disponible en: [www.bsginstitute.com/bs-campus/blog/los-8-pilares-del-tpm-1134](http://www.bsginstitute.com/bs-campus/blog/los-8-pilares-del-tpm-1134) [Consulta: enero 2021].
2. ESCUDERO CANCEDO, Almuneda. Implementación de la filosofía TPM en una planta de producción y envasado. Tesis (Ingeniero Industrial) Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas, 2007.
3. JELVEZ GONZALEZ, Isaías Felipe. Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación del TPM en empresa de transportes de pasajeros. Tesis (Ingeniero de Ejecución en Mantenimiento Industrial). Viña del Mar, Chile: UTFSM. Sede Viña del Mar, 2020.
4. LEANMANUFACTURING10. TPM mantenimiento productivo total [en línea]. Disponible en: <https://leanmanufacturing10.com/tpm-mantenimiento-productivo-tota> [Consulta: agosto 2020]
5. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, [en línea], Disponible en: [https://www.academia.edu/9353979/MANTENIMIENTO\\_PRODUCTIVO\\_TOTA](https://www.academia.edu/9353979/MANTENIMIENTO_PRODUCTIVO_TOTA) .[Consulta noviembre 2020]
6. MORAGA CRUZ, Claudio Antonio. LOPEZ BENAVIDES, Sergio Fabián. Implementación de las metodologías 5S y 9S en talleres del departamento de mecánica. Tesis (Técnico Mecánica Industrial) Viña del Mar, Chile: UTFSM. Sede Viña del Mar, 2016.
7. PAZ FIGUEROA, Christian Ignacio, Diseñar una estrategia de mantenimiento de una gran empresa de servicios de enfierradura constructiva, mediante el uso de técnicas de mejoramiento continuo. Tesis (Ingeniero Civil Mecánico), Santiago, Chile, UTFSM, septiembre de 2017.
8. RIVERA PEREZ, Carlos Mario, Diseño para la implementación del paso 2 del pilar de mantenimiento planeado, para darle desarrollo a los a pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo de la metodología TPM en Color Química S.A. Tesis (Ingeniero Mecánico), Medellín, Colombia, Universidad Eeafit Escuela de Ingenierías, 2007.
9. ROMERO, Ángel Antonio. Mantenimiento Productivo Total [en línea]. 2015. Disponible en: <http://www.angelantonioromero.com/el-tpm-o-mantenimiento-productivo-total>. [Consulta: enero 2021]
10. VILLENA ANDIA, Ali Omar. Propuesta de Implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora". Tesis (Ingeniero industrial). Lima, Perú: UPC, 2017.

**ANEXOS**

Anexo 1. Pauta evaluación inicial 5S

Empresa : Aura Inc.  
Observatorio Interamericano  
Cerro Tololo

Area: Coating 1.5 M

### Pauta Evaluación 5S

| TABLA Puntuación |               |                         |
|------------------|---------------|-------------------------|
| PUNTAJE          | CLASIFICACIÓN | PORCENTAJE CUMPLIMIENTO |
| 0                | MUY MALO      | < 35 %                  |
| 1                | REGULAR       | ≥ 35 % y < 65 %         |
| 2                | BUENO         | ≥ 65% y < 90%           |
| 3                | EXCELENTE     | ≥ 90 %                  |
| Puntaje Máximo   |               | 15 PUNTOS               |

| CONCEPTOS 5 S                                           | ITEM N° | SITUACIONES EVALUADAS                                                              | CALIFICACIÓN |            |
|---------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
|                                                         |         |                                                                                    | PUNTAJE      | PORCENTAJE |
| 1ª s- Seiri<br><i>Separar y eliminar innecesarios</i>   | 1       | EXISTEN OBJETOS O ELEMENTOS INNECESARIOS EN EL ÁREA                                | 2            | 33,33%     |
|                                                         | 2       | ESTAN LOS ELEMENTOS O HERRAMIENTAS DE USO FRECUENTE CORRECTAMENTE ORDENADOS.       | 1            |            |
|                                                         | 3       | SE ENCUENTRAN LOS PASILLOS Y VÍAS DE ACCESO DEPEJADAS                              | 1            |            |
|                                                         | 4       | EXISTEN LUGARES ESTABLECIDOS PARA CADA TIPO DE MATERIAL O ELEMENTO                 | 0            |            |
|                                                         | 5       | EXISTEN ELEMENTOS, DESECHOS O MATERIALES OBSTACULIZANDO VÍAS DE ACCESO             | 1            |            |
|                                                         |         | Total                                                                              | 5            |            |
| 2ª s - Seiso<br><i>Ordenar e identificar necesarios</i> | 1       | ESTÁN CLARAMENTE DELIMITADOS PASILLOS, ÁREAS DE ALMACENAMIENTO Y DE TRABAJO        | 0            | 26,67%     |
|                                                         | 2       | HAY CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y HERRAMIENTAS                         | 2            |            |
|                                                         | 3       | ESTÁN LAS ESTANTERIAS EN EL LUGAR ADECUADO Y DEBIDAMENTE IDENTIFICADAS.            | 1            |            |
|                                                         | 4       | ESTÁN DEBIDAMENTE SEÑALIZADAS LAS VÍAS DE EVACUACIÓN                               | 1            |            |
|                                                         | 5       | EXISTEN LETREROS DE ADVERTENCIA O IDENTIFICATORIOS EN EL ÁREA DE TRABAJO           | 0            |            |
|                                                         |         | Total                                                                              | 4            |            |
| 3ª s- Seiton<br><i>Eliminar la suciedad</i>             | 1       | ESTÁN LOS EQUIPOS LIMPIOS Y LIBRES DE RESIDUOS                                     | 2            | 33,33%     |
|                                                         | 2       | HAY ELEMENTOS LUMINARIA TOTAL O PARCIALMENTE DEFECTUOSOS                           | 1            |            |
|                                                         | 3       | SE REALIZAN TAREAS DE LIMPIEZA JUNTO CON LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO               | 1            |            |
|                                                         | 4       | SE MANTIENE PAREDES, SUELO Y SUPERFICIES LIMPIAS Y LIBRE DE RESIDUOS               | 1            |            |
|                                                         | 5       | EXISTEN LOS DISPENSADORES DE DESECHOS ADECUADOS PARA LOS TRABAJOS EN EL AREA       | 0            |            |
|                                                         |         | Total                                                                              | 5            |            |
| 4ª s- Seiketsu<br><i>Estandarizar</i>                   | 1       | EXISTEN PROCEDIMIENTOS ESCRITOS CLAROS Y DEFINIDOS                                 | 1            | 20,00%     |
|                                                         | 2       | SE PROPONEN Y GENERAN IDEAS DE MEJORAS                                             | 1            |            |
|                                                         | 3       | SE TIENEN TODAS LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD NECESARIAS EN EL ÁREA                 | 1            |            |
|                                                         | 4       | EXISTEN PLANES DE MEJORA CONTINUA                                                  | 0            |            |
|                                                         | 5       | SE MANTIENEN Y CUMPLEN LAS 3 PRIMERAS S                                            | 0            |            |
|                                                         |         | Total                                                                              | 3            |            |
| 5ª s - Shitsuke<br><i>Disciplina y habito</i>           | 1       | SE HA CAPACITADO AL PERSONAL ADECUADAMENTE                                         | 1            | 20,00%     |
|                                                         | 2       | EXISTEN PROCEDIMIENTOS DE MEJORA Y REVISAN CON REGULARIDAD                         | 0            |            |
|                                                         | 3       | ESTA TODO EL PERSONAL CAPACITADO Y MOTIVADO PARA CREAR Y MANTENER LAS 5S           | 1            |            |
|                                                         | 4       | EXISTE COMPROMISO DE LA EMPRESA CON LA METODOLOGIA PROPUESTA.                      | 0            |            |
|                                                         | 5       | LAS ACTIVIDADES DEFINIDAS EN LAS 5S SE EJECUTAN Y REALIZA UN SEGUIMIENTO PERIODICO | 1            |            |
|                                                         |         | Total                                                                              | 3            |            |
| PORCENTAJE TOTAL IMPLEMENTACION NIVEL 5S                |         |                                                                                    | 26,67%       |            |

| TABLA RESUMEN PORCENTAJE IMPLEMENTACIÓN 5 S |            |
|---------------------------------------------|------------|
| CONCEPTO 5 S                                | PORCENTAJE |
| SEIRI (CLASIFICAR)                          | 33,3%      |
| SEISO (ORDENAR)                             | 26,7%      |
| SEITON (LIMPIAR)                            | 33,3%      |
| SHITSUKE (ESTANDARIZAR)                     | 20,0%      |
| SEIKETSU ( DISCIPLINA)                      | 20,0%      |

Evaluación realizada por:  
  
Firma

Evaluación validada por:  
  
Firma

GRÁFICO PORCENTAJES IMPLEMENTACIÓN 5S

| CONCEPTO 5 S            | PORCENTAJE |
|-------------------------|------------|
| SEIRI (CLASIFICAR)      | 33,3%      |
| SEISO (ORDENAR)         | 26,7%      |
| SEITON (LIMPIAR)        | 33,3%      |
| SHITSUKE (ESTANDARIZAR) | 20,0%      |
| SEIKETSU ( DISCIPLINA)  | 20,0%      |

Anexo 2. Pauta seguimiento nivel 5S

|                                                                |  |  |  |                            |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------|--|--|--|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Empresa: Aura Inc.<br>Observatorio Interamericano Cerro Tololo |  |  |  | PAUTA SEGUIMIENTO NIVEL 5S |  |  |  |  |  |  |  |
| Area: Coating 1.5M                                             |  |  |  |                            |  |  |  |  |  |  |  |

Planificación Evaluación 5s

|                  |                           |             |             |             |                            |            |                           |            |                           |            |                           |            |
|------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| Fecha            | Primer año implementación |             |             |             | Segundo año implementación |            | Tercer año implementación |            | Cuarto año implementación |            | Quinto año implementación |            |
|                  | TRIMESTRE 1               | TRIMESTRE 2 | TRIMESTRE 3 | TRIMESTRE 4 | SEMESTRE 1                 | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                | SEMESTRE 2 |
| Auditor previsto |                           |             |             |             |                            |            |                           |            |                           |            |                           |            |

Resultados obtenidos

|                           |                                      |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
|                           | Evaluación primer año implementación |             |             |             | Evaluación segundo año implementación |            | Evaluación tercer año implementación |            | Evaluación cuarto año implementación |            | Evaluación quinto año implementación |            |
|                           | TRIMESTRE 1                          | TRIMESTRE 2 | TRIMESTRE 3 | TRIMESTRE 4 | SEMESTRE 1                            | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                           | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                           | SEMESTRE 2 | SEMESTRE 1                           | SEMESTRE 2 |
| SEIRI                     | 5                                    |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
| SEISO                     | 4                                    |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
| SEITON                    | 5                                    |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
| SEIKETSU                  | 3                                    |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
| SHITSUKE                  | 3                                    |             |             |             |                                       |            |                                      |            |                                      |            |                                      |            |
| PUNTAJE                   | 20                                   | 0           | 0           | 0           | 0                                     | 0          | 0                                    | 0          | 0                                    | 0          | 0                                    | 0          |
| PORCENTAJE IMPLEMENTACIÓN | 25.67%                               | 0,00%       | 0,00%       | 0,00%       | 0,00%                                 | 0,00%      | 0,00%                                | 0,00%      | 0,00%                                | 0,00%      | 0,00%                                | 0,00%      |

Evolución Metodología 5s

|                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Resultados 1ª s- Seiri     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Resultados 2ª s - Seiso    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Resultados 3ª s - Seiton   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Resultados 4ª s - Seiketsu |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Resultados 5ª s - Shitsuke |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

SEIRI - Clasificar  
SEISO- Ordenar  
SEITON - Limpiar  
SEIKETSU - Estandarizar  
SHITSUKE - Disciplina

Anexo 3. Pauta inspección general de seguridad

| PAUTA INSPECCION GENERAL DE SEGURIDAD                                                                                                                                                                                                              |                        |  Cerro Tololo Inter-American Observatory<br><small>a division of the NSF's National Optical Astronomy Observatories</small> |                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| EN AREA DE TRABAJO                                                                                                                                                                                                                                 |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| Lugar: Observatorio Interamericano Cerro Tololo                                                                                                                                                                                                    |                        | Fecha:                                                                                                                                                                                                       |                                              |
| Área de Trabajo: Área de coating 1.5 M                                                                                                                                                                                                             |                        | Hora:                                                                                                                                                                                                        |                                              |
| Indicaciones: <ul style="list-style-type: none"><li>- La Inspección consiste en la verificación de las condiciones del lugar de trabajo, no sobre las personas.</li><li>- Marque con una "X" si cumple o no cumple con el ítem descrito.</li></ul> |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| Item                                                                                                                                                                                                                                               | Evaluación Cualitativa |                                                                                                                                                                                                              | Observaciones                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | Cumple                 | No Cumple                                                                                                                                                                                                    |                                              |
| <b>1. Condiciones físicas</b>                                                                                                                                                                                                                      |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 1.1.El área mantiene ventilación natural o forzada                                                                                                                                                                                                 | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 1.2.El piso es de material antideslizante                                                                                                                                                                                                          | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 1.3.La iluminación en el área está en buenas condiciones                                                                                                                                                                                           | X                      |                                                                                                                                                                                                              | Se sugiere reforzar algunos angulos          |
| 1.4.Existen lámparas en caso de emergencia                                                                                                                                                                                                         |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| <b>2. Señaléticas de Advertencia</b>                                                                                                                                                                                                               |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 2.1.Existen advertencias sobre uso de sustancia químicas y sus riesgos                                                                                                                                                                             |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 2.2.Están disponibles las hojas de seguridad                                                                                                                                                                                                       | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 2.3.Se indica que está prohibido fumar en el lugar                                                                                                                                                                                                 | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 2.4.Se advierte que el área es de acceso restringido                                                                                                                                                                                               | X                      |                                                                                                                                                                                                              | Se sugiere reforzar advertencias.            |
| <b>3.Orden y aseo</b>                                                                                                                                                                                                                              |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 3.1.Se dispone de estante para almacenamiento de herramientas                                                                                                                                                                                      |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 3.2.Existe orden de herramientas o materiales                                                                                                                                                                                                      |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 3.3.El área se mantiene limpia                                                                                                                                                                                                                     | X                      |                                                                                                                                                                                                              | Se sugiere retirar elementos innecesarios.   |
| <b>4. Almacenamiento de sustancias químicas</b>                                                                                                                                                                                                    |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 4.1.Las sustancias químicas se mantienen en envases rotulados                                                                                                                                                                                      | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 4.2.Las sustancias químicas se almacenan lejos de fuentes de calor                                                                                                                                                                                 | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 4.3.Los estantes de almacenamiento poseen receptáculos anti derrames                                                                                                                                                                               |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 4.4.Las sustancia químicas almacenadas son compatibles entre si.                                                                                                                                                                                   | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| <b>5. En caso de amago de incendio</b>                                                                                                                                                                                                             |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 5.1.Se mantienen disponibles extintores contra incendio                                                                                                                                                                                            | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 5.2.Los equipos contra incendio son adecuados                                                                                                                                                                                                      | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 5.3.Las vías de evacuación están señalizadas                                                                                                                                                                                                       |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 5.4.Existen detectores de humo operativos                                                                                                                                                                                                          |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| <b>6.En caso de Emergencia</b>                                                                                                                                                                                                                     |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 6.1.Existen planos de evacuación indicativos                                                                                                                                                                                                       |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 6.2.Las puertas poseen barra anti pánico                                                                                                                                                                                                           |                        | X                                                                                                                                                                                                            |                                              |
| 6.2.Estan disponibles los números en caso de emergencia                                                                                                                                                                                            | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 6.3.Existen duchas y lavajos en caso de emergencia                                                                                                                                                                                                 | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| <b>7.Residuos peligrosos</b>                                                                                                                                                                                                                       |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| 7.1.Se dispone de contenedores temporales para residuos solidos                                                                                                                                                                                    | X                      |                                                                                                                                                                                                              | Se sugiere mantener contenedores permanentes |
| 7.2.Se disponen los residuos en bodega RESPEL autorizada                                                                                                                                                                                           | X                      |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| Observaciones Generales:                                                                                                                                                                                                                           |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| Realizado por:                                                                                                                                                                                                                                     |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |
| Cargo:                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                                                                                                                                                                                                              |                                              |

Anexo 4. Datos para análisis diagrama de Pareto año 2016

| PARETO COMPONENTES AÑO 2016  |              |                      |                      |     |     |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----|-----|
| Elemento/Sistema Afectado    | Nº de Fallas | Porcentaje de Fallas | Porcentaje Acumulado | 80% | 95% |
| Sensores de vacio cajon      | 8            | 21,62%               | 21,62%               | 80% | 95% |
| Sensores de vacio termocupla | 7            | 18,92%               | 40,54%               | 80% | 95% |
| Sensores de temperatura      | 6            | 16,22%               | 56,76%               | 80% | 95% |
| Sensores de vacio convection | 3            | 8,11%                | 64,86%               | 80% | 95% |
| Roughing Pump                | 3            | 8,11%                | 72,97%               | 80% | 95% |
| Panel control bombas         | 2            | 5,41%                | 78,38%               | 80% | 95% |
| Filamentos                   | 2            | 5,41%                | 83,78%               | 80% | 95% |
| Orings sello camara          | 2            | 5,41%                | 89,19%               | 80% | 95% |
| Control corriente filamentos | 2            | 5,41%                | 94,59%               | 80% | 95% |
| Valvulas a Difusora          | 1            | 2,70%                | 97,30%               | 80% | 95% |
| Paneles electricos           | 1            | 2,70%                | 100,00%              | 80% | 95% |
| TOTAL                        | 37           | 100%                 |                      |     |     |

Anexo 5. Datos para análisis diagrama de Pareto año 2019

| PARETO COMPONENTES AÑO 2019  |              |                      |                      |     |     |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----|-----|
| Elemento/Sistema Afectado    | Nº de Fallas | Porcentaje de Fallas | Porcentaje Acumulado | 80% | 95% |
| Sensores de vacio cajon      | 8            | 19,05%               | 19,05%               | 80% | 95% |
| Sensores de temperatura      | 7            | 16,67%               | 35,71%               | 80% | 95% |
| Sensores de vacio termocupla | 6            | 14,29%               | 50,00%               | 80% | 95% |
| Orings sello camara          | 5            | 11,90%               | 61,90%               | 80% | 95% |
| Roughing Pump                | 4            | 9,52%                | 71,43%               | 80% | 95% |
| Sensores de vacio convection | 2            | 4,76%                | 76,19%               | 80% | 95% |
| Filamentos                   | 2            | 4,76%                | 80,95%               | 80% | 95% |
| Panel control bombas         | 2            | 4,76%                | 85,71%               | 80% | 95% |
| Control corriente filamentos | 2            | 4,76%                | 90,48%               | 80% | 95% |
| Valvulas a Difusora          | 2            | 4,76%                | 95,24%               | 80% | 95% |
| Paneles electricos           | 2            | 4,76%                | 95,24%               | 80% | 95% |
| TOTAL                        | 42           | 100%                 |                      |     |     |

Anexo 6. Datos para análisis diagrama Jack Knife año 2016

| DATOS JACK KNIFE COMPONENTES CAMARA ALUMINIZADO AÑO 2016 |               |            |                          |
|----------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------|
| ELEMENTO AFECTADO                                        | NUMERO FALLAS | MTTR (HRS) | TIEMPO INACTIVIDAD (HRS) |
| Sensores de vacio cajon                                  | 8             | 3,60       | 28,80                    |
| Sensores de vacio termocupla                             | 7             | 2,60       | 18,20                    |
| Sensores de temperatura                                  | 6             | 1,20       | 7,20                     |
| Sensores de vacio convection                             | 3             | 1,20       | 3,60                     |
| Roughing Pump                                            | 3             | 4,20       | 12,60                    |
| Panel control bombas                                     | 2             | 1,00       | 2,00                     |
| Filamentos                                               | 2             | 2,60       | 5,20                     |
| Orings sello camara                                      | 2             | 3,23       | 6,46                     |
| Valvulas a Difusora                                      | 1             | 2,50       | 2,50                     |
| Control corriente filamentos                             | 2             | 1,20       | 2,40                     |
| Paneles electricos                                       | 1             | 2,50       | 2,50                     |
| PROMEDIO                                                 | 3,364         | 2,348      | 91,46                    |

Anexo 7. Datos para análisis diagrama Jack Knife año 2019

| DATOS ANALISIS JACK KNIFE COMPONENTES CAMARA ALUMINIZADO AÑO 2019 |               |            |                    |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------|
| ELEMENTO AFECTADO                                                 | NUMERO FALLAS | MTTR (HRS) | TIEMPO INACTIVIDAD |
| Sensores de vacio cajon                                           | 8             | 3,80       | 30,4               |
| Sensores de vacio termocupla                                      | 6             | 2,80       | 16,8               |
| Roughing Pump                                                     | 4             | 4,20       | 16,8               |
| Sensores de temperatura                                           | 7             | 1,30       | 9,1                |
| Sensores de vacio convection                                      | 2             | 1,80       | 3,6                |
| Filamentos                                                        | 2             | 1,65       | 3,3                |
| Orings                                                            | 5             | 1,50       | 7,5                |
| Panel control bombas                                              | 2             | 1,56       | 3,12               |
| Control corriente filamentos                                      | 2             | 1,45       | 2,9                |
| Valvulas a difusora                                               | 2             | 1,20       | 2,4                |
| Paneles electricos                                                | 2             | 1,35       | 2,7                |
| PROMEDIO                                                          | 3,818         | 2,055      | 98,62              |



Anexo 8. Resumen de costos estimados implementación TPM

| RESUMEN DE COSTOS ESTIMADOS IMPLEMENTACIÓN TPM  |          |                    |                 |
|-------------------------------------------------|----------|--------------------|-----------------|
| ETAPA 1 :PRESENTACIÓN, ENTRENAMIENTO Y DIFUSIÓN |          |                    |                 |
| ITEMS                                           | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO \$ | PRECIO TOTAL \$ |
| HORAS/HOMBRE                                    | 296      | 4500               | 1332000         |
| AFICHES Y LETREROS                              | 10       | 3000               | 30000           |
| SESIONES CAPACITACION ASESORIA EXTERNA          | 2        | 290000             | 580000          |
| GASTOS VARIOS                                   | 1        | 50000              | 50000           |
|                                                 |          | TOTAL ETAPA 1      | \$ 1.992.000    |
| ETAPA 2: METODOLOGÍA 5S                         |          |                    |                 |
| ITEMS                                           | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO \$ | PRECIO TOTAL \$ |
| HORAS/HOMBRE                                    | 1280     | 4500               | 5760000         |
| ARMARIOS ESTANTES                               | 3        | 105355             | 316065          |
| ESTANTERIAS METALICAS                           | 2        | 94838              | 189676          |
| RACK HERRAMIENTAS                               | 1        | 350000             | 350000          |
| SET HERRAMIENTAS VARIAS                         | 1        | 400000             | 400000          |
| MESAS DE TRABAJO                                | 2        | 96000              | 192000          |
| CARRO PORTA CILINDROS GASES COMPRIMIDOS         | 2        | 95000              | 190000          |
| DUCHA EMERGENCIA                                | 1        | 370000             | 370000          |
| BARRA ANTIPANICO PUERTA                         | 2        | 230000             | 460000          |
| EQUIPO LUZ DE EMERGENCIA                        | 2        | 68000              | 136000          |
| EQUIPO LUZ INDICACION SALIDA EMERGENCIA         | 2        | 34.500             | 69000           |
| EXTINTORES CO2                                  | 2        | 77266              | 154532          |
| SET ELEMENTOS DE LIMPIEZA Y ASEO                | 1        | 50000              | 50000           |
| LETROS Y AFICHES DE ADVENTENCIA                 | 10       | 3000               | 30000           |
| GASTOS VARIOS                                   | 1        | 100000             | 100000          |
|                                                 |          | TOTAL ETAPA 2      | \$ 8.767.273    |
| ETAPA 3: TPM MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL     |          |                    |                 |
| ITEMS                                           | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO \$ | PRECIO TOTAL \$ |
| HORAS/HOMBRE                                    | 1728     | 4500               | 7776000         |
| SESIONES CHARLAS INFORMATIVAS Y ENTRENAMIENTO   | 4        | 200000             | 800000          |
| AFICHES Y LETROS INFORMATIVOS                   | 10       | 3000               | 30000           |
| SENSORES DE VACIO                               | 5        | 914000             | 4570000         |
| SENSORES DE TEMPERATURA                         | 14       | 46500              | 651000          |
| TRANSDUCTORES DE CORRIENTE                      | 5        | 153500             | 767500          |
| GASTOS VARIOS                                   | 1        | 100000             | 100000          |
|                                                 |          | TOTAL ETAPA 3      | \$ 14.694.500   |
| COSTO TOTAL IMPLEMENTACION                      |          | \$                 | 25.453.773      |

Anexo 9. Resumen horas/hombre implementación TPM

| RESUMEN HORAS/HOMBRE IMPLEMENTACIÓN TPM                         |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------|
| ACTIVIDADES DESARROLLADAS                                       | DURACION ACTIVIDAD EN MESES | DURACION ACTIVIDAD EN HRS/SEMANA | VECES QUE SE REPITE ACTIVIDAD POR MES | ACTIVIDAD HRS TOTALES | CANTIDAD PERSONAL | HORAS HOMBRE POR ACTIVIDAD |
| ETAPA 1:ETAPA 1 :PRESENTACIÓN, ENTRENAMIENTO Y DIFUSIÓN         |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| PRESENTACION METODOLOGÍAS                                       |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| CHARLAS INFORMATIVAS                                            | 1                           | 2                                | 3                                     | 6                     | 4                 | 24                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 24                         |
| EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL                          |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| CHARLAS DE FORMACION Y ENTRENAMIENTO                            | 2                           | 16                               | 1                                     | 32                    | 4                 | 128                        |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 128                        |
| DIFUSIÓN METODOLOGÍAS                                           |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| AFICHES, VIDEOS Y CHARLAS DE DIFUSIÓN                           | 18                          | 2                                | 1                                     | 72                    | 2                 | 144                        |
| TOTAL HRS HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 144                        |
| TOTAL HRS/HOMBRE ETAPA 1                                        |                             |                                  |                                       |                       |                   | 296                        |
| ETAPA 2: METODOLOGÍA 5S                                         |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| INSPECCION VISUAL                                               | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| EVALUACION INICIAL 5S                                           | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| INSPECCION GENERAL DE SEGURIDAD                                 | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| EVALUACION DE RESULTADOS                                        | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 64                         |
| IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SEIRI (CLASIFICAR)                      |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| INSPECCION VISUAL AREA                                          | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| IDENTIFICAR Y HACER LISTADO ELEMENTOS NECESARIOS E INNECESARIOS | 2                           | 12                               | 4                                     | 96                    | 2                 | 192                        |
| EVALUACION IMPLEMENTACION ETAPA SEIRI                           | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 224                        |
| IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SEISO (ORDENAR)                         |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| ODENAR ELEMENTOS Y MATERIALES                                   | 1                           | 12                               | 2                                     | 24                    | 2                 | 48                         |
| IDENTIFICAR Y HACER LISTADO ELEMENTOS NECESARIOS E INNECESARIOS | 2                           | 12                               | 4                                     | 96                    | 2                 | 192                        |
| EVALUACION IMPLEMENTACION ETAPA SEISO                           | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 256                        |
| IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SEITON ( LIMPIAR)                       |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| REUNIÓN PARA DEFINIR METAS DE ESTA ETAPA                        | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| EJECUTAR LABORES DE LIMPIEZA                                    | 2                           | 12                               | 4                                     | 96                    | 2                 | 192                        |
| EVALUACIÓN IMPLEMENTACIÓN ETAPA SEITON                          | 1                           | 4                                | 2                                     | 8                     | 2                 | 16                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 224                        |
| IMPLEMETACIÓN CONCEPTO SEIKETSU (ESTANDARIZAR)                  |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| IMPLEMENTAR POLÍTICAS DE ORDEN Y LIMPIEZA                       | 2                           | 12                               | 2                                     | 48                    | 2                 | 96                         |
| ASIGNAR TRABAJOS Y RESPONSABILIDADES                            | 2                           | 8                                | 2                                     | 32                    | 2                 | 64                         |
| MANTENIMIENTO TRES PRIMERAS S                                   | 3                           | 16                               | 1                                     | 48                    | 3                 | 144                        |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 304                        |
| IMPLEMENTACIÓN CONCEPTO SHITSUKE (DISCIPLINA)                   |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| SEGUIMIENTO Y CONTROL                                           | 6                           | 4                                | 1                                     | 24                    | 2                 | 48                         |
| ROL DE LA DIRECCIÓN                                             | 6                           | 4                                | 1                                     | 24                    | 2                 | 48                         |
| ROL TRABAJADORES                                                | 6                           | 4                                | 1                                     | 24                    | 2                 | 48                         |
| EVALUACION Y SEGUIMIENTO NIVEL 5 S                              | 8                           | 4                                | 1                                     | 32                    | 1                 | 32                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 176                        |
| TOTAL HRS/HOMBRE ETAPA 2                                        |                             |                                  |                                       |                       |                   | 1280                       |
| ETAPA 3 : MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL                        |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| PRESENTACIÓN OBJETIVOS TPM                                      | 1                           | 2                                | 2                                     | 4                     | 4                 | 16                         |
| DEFINIR GRUPOS DE TRABAJO                                       | 1                           | 2                                | 2                                     | 4                     | 4                 | 16                         |
| RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS INFORMACIÓN                              | 1                           | 16                               | 2                                     | 32                    | 2                 | 64                         |
| IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO AUTÓNOMO                     | 12                          | 16                               | 2                                     | 384                   | 2                 | 768                        |
| IMPLEMENTACIÓN PILAR MANTENIMIENTO PLANIFICADO                  | 12                          | 16                               | 2                                     | 384                   | 2                 | 768                        |
| EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO                                        | 12                          | 8                                | 1                                     | 96                    | 1                 | 96                         |
| TOTAL HRS/HOMBRE                                                |                             |                                  |                                       |                       |                   | 1728                       |
| TOTAL HRS/HOMBRE ETAPA 3                                        |                             |                                  |                                       |                       |                   | 1728                       |
| TOTAL HRS/HOMBRE IMPLEMETACIÓN TPM                              |                             |                                  |                                       |                       |                   |                            |
| TOTAL HRS/HOMBRE IMPLEMENTACION DE LAS 3 ETAPAS                 |                             |                                  |                                       | 3304                  |                   |                            |