



Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales  
Escuela de Ingeniería Industrial



Desarrollo de un Plan de Mantenimiento  
Predictivo en una Fábrica Aeronáutica

SALOMON BUSILACCHIO, Francisco Nicolás

*Dedicado a mis padres, Carlos y Sandra, que con su esfuerzo,  
amor y paciencia me han dado todo lo necesario para llegar hasta acá.*

*A mi tío Sergio, que me aconsejó y motivó desde siempre.*

*A mi amigo Nacho, que me ayudó, me enseñó y acompañó  
siempre que lo necesité.*

*A mi novia Eugenia, a mis hermanos, Agustín y Esperanza, y a  
mis amigos, que me acompañaron y apoyaron incondicionalmente.*

*Al Ing. Sergio Gangi, que me ayudó a llevar adelante este  
Proyecto Integrador.*

*Con amor.*

# RESUMEN

El presente Proyecto tiene como finalidad desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo o Condicional (CBM) para un conjunto de máquinas críticas de la Fábrica de Aviones de Córdoba.

Específicamente se busca demostrar que la implementación de Mantenimiento Predictivo llevará a la optimización del Mantenimiento Industrial, mejorando la calidad y reduciendo los paros y Costos de Intervención en las máquinas. Esto se logra debido a que el CBM aumenta la fiabilidad y disponibilidad de los equipos al menor costo de explotación.

En el trabajo se analiza el estado inicial del Mantenimiento Industrial en la Fábrica; se hace una evaluación de las máquinas involucradas en el Proyecto, obteniendo las criticidades y estudiando su participación en la producción; se efectúa una descripción teórica del Mantenimiento Predictivo o Condicional; se desarrollan las técnicas de análisis Termográfico y de análisis de Vibraciones, describiendo las distintas herramientas utilizadas en ambos casos para la toma de mediciones; se lleva a cabo un Plan de Mantenimiento Predictivo con su respectivo Planning de implementación; y se realiza un análisis económico donde se ponen en evidencia los Costos actuales involucrados con las Intervenciones del Mantenimiento Industrial y los Costos de Intervenciones al aplicar CBM.

Finalmente, se evalúan los Indicadores Financieros del Proyecto que confirman la viabilidad del mismo.

## Palabras Clave

Mantenimiento Predictivo o Condicional (CBM), Termografía, Análisis de Vibraciones, Cámara Termográfica, Analizador de Vibraciones.

# ABSTRACT

The present Project aims to develop a Predictive or Conditional Maintenance Plan (CBM) for a set of critical machines of the Aircraft Factory of Córdoba.

Specifically, it seeks to demonstrate that implementation of Predictive Maintenance will lead to the optimization of Industrial Maintenance, improving the quality and the reduction of stoppages and Intervention Costs in the machines. This is achieved because the CBM increases the reliability and availability of equipment at minimum operating cost.

In the project, the initial state of Industrial Maintenance in the Factory is analyzed and an assessment of the machines involved in the project is carried out, thus obtaining criticalities and studying their participation in production. Furthermore, a theoretical description of Predictive or Conditional Maintenance is effected. Thermographic analysis and vibration analysis techniques are further developed, describing the different tools used in both cases for taking measurements. Next, Predictive Maintenance Plan is carried out with its respective implementation Planning. An economic analysis is also performed, in which the actual Costs involved with interventions Industrial Maintenance and Costs Interventions by applying CBM are evidenced.

Finally, the Financial Indicators of the Project are evaluated confirming its viability.

## Keywords

Predictive or Conditional Maintenance (CBM), Thermography, Vibration Analysis, Thermographic Camera, Vibration Analyzer.

---

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	10
Historia de la Fábrica Aeronáutica .....	11
Línea Histórica de la Fábrica.....	17
Eventos destacados y Transformaciones .....	17
Situación Actual de la Empresa .....	18
Visión, Misión y Política de Calidad .....	18
Unidades de Negocio y Proyectos más destacados .....	18
Enfoque en Procesos del Sistema de Gestión de la Calidad.....	19
Proceso Principal de Fabricación y Equipos destacados .....	21
Resumen del Proceso .....	23
Fabricación de Piezas Primarias .....	24
Mecanizado .....	24
Conformado de chapa .....	27
Tratamientos Térmicos y Superficiales .....	28
Materiales Compuestos.....	30
Fabricación de Subconjuntos y Conjuntos .....	32
Montaje de Subconjuntos y Conjuntos para integración y ajuste final .....	33
Montaje de Conjunto de Sistemas .....	34
Pruebas funcionales .....	34



---

Entrega de Taller .....	34
Vuelo de Alta .....	34
Situación Inicial del Mantenimiento Industrial en la Fábrica .....	35
¿Por qué la Fábrica debe desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo? .....	38
Objetivo del Proyecto.....	39
<b>CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE LOS EQUIPOS.....</b>	<b>41</b>
Inventario de Equipos.....	42
Características .....	42
Ubicación e Identificación .....	43
Datos Técnicos.....	46
Esquema general de un Centro de Mecanizado .....	50
Criticidad de Máquinas y Equipos .....	52
Responsabilidades .....	53
Criterios para determinar la Criticidad de Máquinas y Equipos.....	53
Rendimiento para la Producción / Calidad.....	53
Productividad .....	54
Máquinas Stand-By.....	54
Funcionamiento Continuo.....	54
Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) .....	55
Máquinas / Subconjuntos de reserva.....	55
Tiempo Medio de Reparación (MTTR) .....	55

---



---

Seguridad y Medio Ambiente.....	56
Grado de Criticidad del Conjunto de Centros de Mecanizado FIDIA .....	56
Análisis y Evaluación de los Equipos.....	58
Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).....	62
<b>CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....</b>	<b>63</b>
Escenario Competitivo y Objetivos del MI .....	64
Tipos de Mantenimiento aplicables a los Equipos .....	66
Definición del Mantenimiento Predictivo .....	68
Ventajas y características principales del CBM .....	70
Estrategias Reactiva, Preventiva y Predictiva.....	72
Beneficios y Gastos de Implementar una Estrategia Predictiva.....	74
Curva de Davis o Curva de la Bañadera.....	75
Objetivos del seguimiento de una variable física.....	79
Análisis de las Condiciones.....	79
<b>CAPÍTULO 4: TÉCNICAS PREDICTIVAS .....</b>	<b>84</b>
Análisis previo al desarrollo de Técnicas Predictivas .....	85
Principios de Funcionamiento de la Cámara Termográfica .....	89
Emisión, reflexión y transmisión .....	89
Emisividad ( $\epsilon$ ) .....	89
Reflexión ( $\rho$ ).....	90
Transmisión ( $\tau$ ).....	90

---



---

Ley de radiación de Kirchoff's .....	91
Determinación práctica de la $\epsilon$ y la RTC .....	92
Determinar la emisividad con una medición de referencia .....	92
Determinar la Temperatura de la Radiación Reflejada (RTC) .....	93
Características de la Cámara Termográfica FLUKE Ti 32 .....	93
Análisis de Vibraciones .....	95
Espectro de Vibraciones .....	97
Fallos detectables por vibraciones .....	100
Desequilibrio .....	100
Desalineación .....	101
Excentricidad .....	101
Correas de transmisión defectuosas .....	102
Holguras estructurales .....	102
Principios de Funcionamiento del Analizador de Vibraciones .....	103
Ubicación, orientación y montaje del sensor de vibraciones.....	105
Características del Analizador de Vibraciones Fluke 810 .....	107
<b>CAPÍTULO 5: DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....</b>	<b>109</b>
Introducción .....	110
Puntos de Medición y Normativa.....	110
Puntos de Medición Termográfica .....	111
Armario Eléctrico y Tablero de Operador .....	111

---



---

Husillo .....	112
Bombas de Refrigerante.....	113
Bomba Hidráulica .....	113
Puntos de Medición de Vibraciones.....	114
Husillo, Bombas de Refrigerante y Bomba Hidráulica.....	114
Desarrollo del Plan de Mantenimiento Predictivo .....	117
<b>CAPÍTULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>127</b>
Análisis de Costos .....	128
Costo Anual Aproximado en Intervenciones (CAAI).....	129
Costo Anual del Mantenimiento Predictivo (CA.CBM).....	130
Costo de Mediciones (CMed) .....	130
Costo del Diagnóstico (CDiag) .....	133
Indicadores Financieros.....	135
Ahorro Anual (AA) .....	135
Variación del Gasto en Intervenciones.....	136
Rentabilidad (ROI) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>CONCLUSIÓN FINAL DEL PROYECTO INTEGRADOR.....</b>	<b>137</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>
ANEXO 1: Instrucción de Práctica Estándar (IPE) 470.059 .....	144
ANEXO 2: Valores de Emisividad de Materiales Comunes.....	147

---

# CAPÍTULO 1

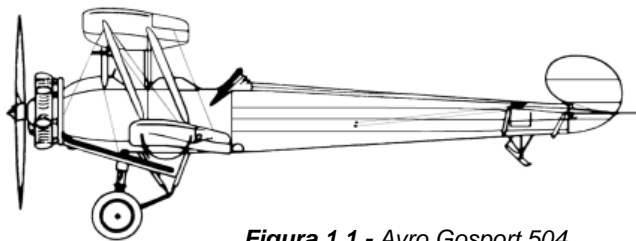
# INTRODUCCIÓN

## Historia de la Fábrica Aeronáutica

La Empresa Aeronáutica ubicada en Córdoba es un centro integral de Mantenimiento de aeronaves y motores, con capacidad de fabricación y ensayo, tanto de piezas como de herramental, con el soporte de un Departamento de Ingeniería propio. Asimismo, cuenta con la posibilidad de brindar asistencia in situ a las aeronaves (field service).

Este Complejo de gran importancia estratégica, sufrió varias transformaciones a lo largo de su historia. Se formó inicialmente el 10 de Octubre de 1927 bajo la dirección del Mayor Ing. Francisco de Arteaga teniendo tal empresa estatal el nombre de “Fábrica Militar de Aviones” (FMA) y siendo la primera de su rubro en América Latina. La misma comenzó con una dotación de 193 hombres, comprendía un parque de 100 máquinas-herramientas y una superficie cubierta de 8340 m<sup>2</sup>.

El primer avión en serie de fabricación nacional bajo licencia inglesa que se construyó fue el biplano Avro Gosport 504, equipado con un motor Gnome de 100 HP. Tenía una velocidad de 140 km/h y una autonomía de vuelo de 2 hs. Inicialmente, la Fábrica sólo construyó aeronaves bajo licencias europeas, pero ya en 1931 diseñó y construyó el primer avión nacional, el Ae.C.1, cuyo éxito desencadenó una familia de productos aeronáuticos argentinos hasta fines de la década.



*Figura 1.1 - Avro Gosport 504*



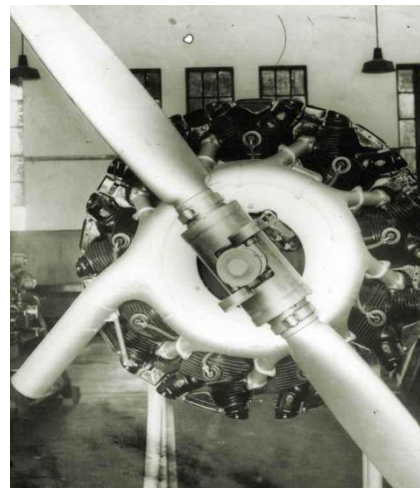
*Figura 1.2 - Ae.C.1*

En el año 1943, la Fábrica Militar de Aviones pasó a llamarse “Instituto Aerotécnico” (Institec) y la dirección fue ejercida por el Mayor Ing. Juan Ignacio San Martín. Se reglamenta un plan que tenía como misión central incentivar el desarrollo y perfeccionamiento técnico de la producción aeronáutica, unir las industrias afines y otorgar a la actividad un lugar importante vinculado a la Defensa Nacional.

En 1944 se desarrolla un avión de entrenamiento avanzado, el I.Ae. 22 DL, totalmente de madera, equipado con el primer motor sudamericano tipo radial de diseño y construcción nacionales, el I.Ae. 16 “El Gaucho”. Esta aeronave fue la “impulsora” de un importante crecimiento mediante la fabricación de dos series de 100 unidades cada una.

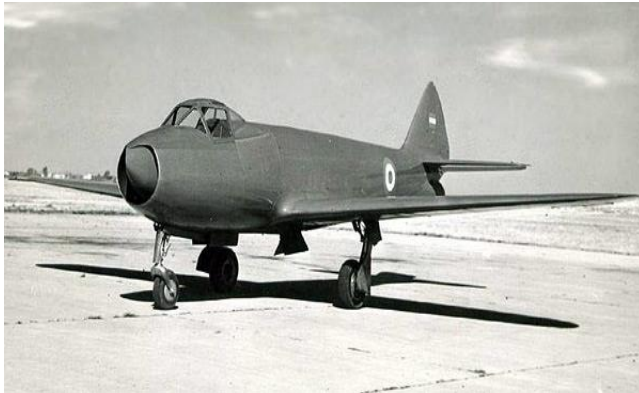


**Figura 1.3** - I.Ae. 22 DL

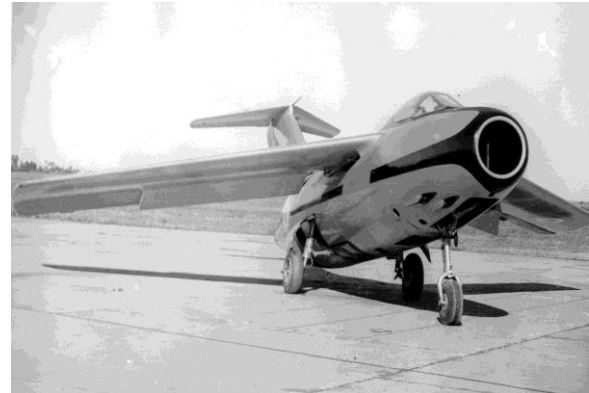


**Figura 1.4** - Motor I.Ae. 16 - El Gaucho

Años más tarde, la empresa logra destacarse a nivel mundial produciendo los primeros aviones a reacción de Sudamérica, El Pulqui I en 1947 y el Pulqui II en 1950. El primero de estos aviones fue un interceptor, diseñado para obstruir y destruir aeronaves enemigas, y alcanzaba una velocidad máxima de 720km/h, mientras que el segundo fue un avión de combate aéreo y su velocidad máxima alcanzaba los 1050 km/h.



**Figura 1.5 - I.Ae. 27 Pulqui I**



**Figura 1.6 - I.Ae. 33 Pulqui II**

En 1951 se creó la “Fábrica de Motores y Automotores” y al año siguiente nace el I.A.M.E (Industrias Aeronáuticas y Mecánicas del Estado). A partir de aquel momento, la empresa produjo un salto que la llevó a ocupar a más de 9 mil personas empleadas en un Complejo Industrial que no solo construía aviones, motores, hélices y accesorios, sino también vehículos utilitarios, automóviles, tractores y motocicletas.



**Figura 1.7 - Utilitario Rastrojero**



**Figura 1.8 - Vehículo Justicialista Gran Sport**

A partir de la Revolución de 1955, se produce un cambio brusco en los planes de la Empresa. El Instituto Aerotécnico vuelve a llamarse “Fábrica Militar de Aviones” y pasa a depender orgánicamente de la Fuerza Aérea Argentina (FAA). La fabricación nacional de aviones vuelve nuevamente a intercalarse con producciones bajo licencia (aviones T34 Mentor, Morane Saulnier MS 760 Paris, Cessna).

En 1957 se crea la Dirección Nacional de Fabricaciones e Investigaciones Aeronáuticas (DINFIA) con la misión de retomar preponderantemente la Industria de la aviación. En sus comienzos contaba con más de 8200 empleados y 3500 máquinas-herramientas. La política iniciada por DINFIA tendió a afianzar, tanto la producción como la investigación aeronáutica, concretando proyectos como el I.Ae. 35 Huanquero, el prototipo I.A. 45 Querandí y la producción del I.A. 46 Ranquel.



**Figura 1.9** - Avión multipropósito I.Ae. 35 Huanquero



**Figura 1.10** - Avión para uso ejecutivo IA 45 Querandí

En el año 1967, se establece que DINFIA se dedicaría exclusivamente a las actividades del sector aeroespacial, desvinculándose de la Industria Automotriz, actividad que sería realizada por la empresa IME (Industrias Mecánicas del Estado). La producción de ambas Plantas se mantuvo en constante crecimiento hasta llegar a su récord de 12500 unidades en 1975. El vehículo más popular fue el “Rastrojero” diesel, que dominaba cómodamente el mercado de vehículos utilitarios con el 78% de participación. Sobre la base de estos modelos surgieron diferentes versiones realizadas por empresas diseñadoras de carrocerías con formatos doble cabina, rural, furgón, minibús y ambulancia. El IME funcionó hasta 1980, momento en el cual la empresa contaba con más de 70 proveedores, 100 concesionarios en todo el país y más de 3 mil empleados.

A finales de 1968, la Fábrica Militar de Aviones pasó a denominarse “Área Material Córdoba” (AMC), y al año siguiente, se culminó el primer prototipo FMA I.A. 58 Pucará, avión nacional de apoyo y ataque ligero que fue exportado a distintos países y aún hoy es utilizado y modernizado por la Fuerza Aérea Argentina. Sin dudas, esta fue la aeronave más exitosa de la Empresa. Formada por un bimotor turbohélice y alcanzando una velocidad operativa de 630km/h, el Pucará se destacó por su activa participación en la Guerra de Malvinas, siendo utilizada por la FAA para misiones de apoyo y ataque a campamentos y helicópteros ingleses.



**Figura 1.11 - I.A. 58 Pucará**

Ya en 1978, durante el Proceso de Reorganización Nacional, se considera la realización de un programa para retomar los primeros lugares de la industria aeronáutica mundial, lo cuál coincide con el requerimiento de la Fuerza Aérea Argentina de un nuevo avión de entrenamiento avanzado y ataque ligero, que reemplace a los Morane Saulnier MS-760 Paris. Se estudia el diseño y la posibilidad de construcción en serie de un avión a reacción bajo normas internacionales. Es así que surge el I.A. 63 Pampa, avión monoturbina, biplaza y de ala alta, con grandes toberas de ingreso de

aire al motor. Esta aeronave, realizó su primer vuelo en 1984, y para el año 1992 ya se habían entregado 20 unidades a la FAA. Actualmente se sigue produciendo en una versión modernizada.



**Figura 1.12 - I.A. 63 Pampa**

En 1995, el Gobierno Nacional del Dr. Menem entregó la empresa, Área Material Córdoba, en concesión a uno de los mayores conglomerados mundiales dedicados a la defensa, la estadounidense Lockheed Martin Aircraft, abandonando de esta manera, la política de fabricación y desarrollo para concentrarse en las actividades de mantenimiento de aeronaves.

Finalmente, en el año 2009, después de quince años de gestión privada, el Estado Nacional, encabezado por la Presidenta Cristina Kirchner, adquirió las acciones de la firma estadounidense y creó la nueva Fábrica Aeronáutica, la cual apunta a recuperar su papel de productor de tecnología avanzada y a posicionarse nuevamente en el mercado internacional aeronáutico.



## Línea Histórica de la Fábrica

### Eventos destacados y Transformaciones



## Situación Actual de la Empresa

### Visión, Misión y Política de Calidad



*Figura 1.13 – Visión, Misión y Política de Calidad de la Fábrica*

### Unidades de Negocio y Proyectos más destacados

Actualmente, la Fábrica cuenta con más de 1500 empleados y está conformada por las siguientes unidades de negocio:

- Servicio de horas vuelo.
- Diseño y Fabricación de aviones.
- Mantenimiento y Modernización de aviones.

Entre los proyectos más destacados se encuentran:

- La remotorización del avión Pampa II.
- La fabricación del avión de entrenamiento avanzado Pampa III.
- El proceso de fabricación de piezas primarias, conjuntos y cableados del avión Pampa GT, sucesor del Pampa III.
- Modernización y Mantenimiento del avión Pucará.
- Fabricación del avión agrícola Puelche.
- Fabricación de conjuntos para la empresa brasilera Embraer, destinados al avión de carga KC-390.

## **Enfoque en Procesos del Sistema de Gestión de la Calidad**

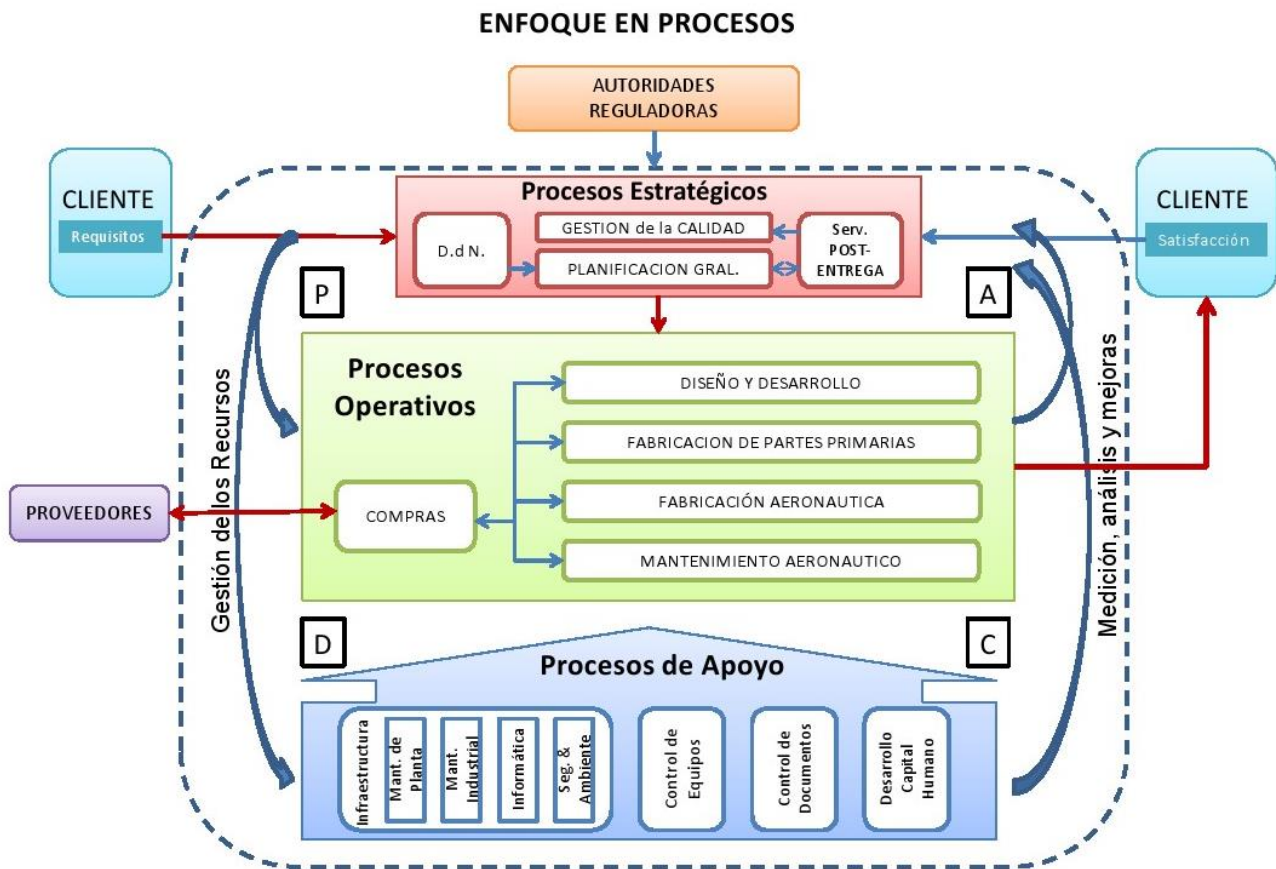
La Fábrica ha establecido, implementado y documentado un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), el cual se presenta como un medio para mejorar continuamente su eficacia y asegurar a los Clientes y otras partes interesadas que sus productos y servicios cumplen con los requisitos acordados.

A continuación, se definen y establecen los Procesos necesarios para el SGC y su aplicación en la Organización:

**Procesos Estratégicos:** Son aquellos procesos que se encuentran en el ámbito de las responsabilidades de la dirección. Incluyen los procesos de planificación de largo plazo y vinculados a factores claves como los relacionados con los Clientes y otras partes interesadas (Autoridades regulatorias, Accionistas, etc.). Se establecen la toma de decisiones de alto nivel y la asignación de recursos.

**Procesos Operativos:** Son aquellos procesos que permiten la realización del producto, generando valor en forma directa. Están regulados por la relación contractual con el Cliente e implican una planificación de las operaciones y una administración de los recursos.

**Procesos de Apoyo:** Son aquellos que dan soporte a los demás procesos para su efectivo desempeño. Si bien no están vinculados directamente al producto, aseguran los medios para la ejecución de los demás procesos (Ejemplo: Desarrollo del personal, mantenimiento de la infraestructura, instalaciones, máquinas, equipos y software, seguridad y ambiente, calibración de instrumentos, etc.). Son procesos que empiezan y terminan con el Cliente Interno.

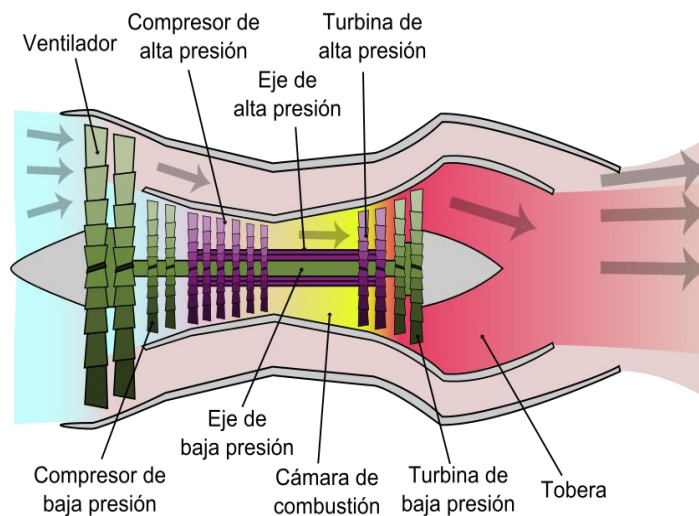


**Figura 1.14 – Procesos del Sistema de Gestión de la Calidad**

## Proceso Principal de Fabricación y Equipos destacados

Sin duda, el principal Proceso de Fabricación que presenta la Empresa en la actualidad es el desarrollo del avión Pampa III. A continuación, se destacarán algunas de las características de la aeronave y las distintas etapas de producción nombrando aquellas máquinas y equipos que tienen mayor incidencia en el Proceso.

El Pampa III es un avión de entrenamiento avanzado, biplaza de motor turbofan (figura 1.15) con capacidad adicional para misiones tácticas ligeras. Presenta una aviónica totalmente digital que incorpora tres pantallas de cristal líquido (Full Glass Cockpit) que permiten a los pilotos una mejorada visualización de todos los datos del vuelo y de la misión. Además, incorpora el sistema data link, que permite transferir datos digitales directamente entre aeronaves en vuelo y estaciones en tierra.



**Figura 1.15 – Motor turbofan.**

Los motores de aviación tipo turbofan son una generación de motores que ha reemplazado a los turboreactores o turbojet. Éstos tienen varias ventajas con respecto a los turboreactores: consumen menos combustible, lo que los hace más económicos, producen menor contaminación y reducen el ruido ambiental. Se caracterizan por disponer de un ventilador o fan en la parte frontal del motor. El aire entrante se divide en dos caminos: flujo de aire primario y flujo secundario o flujo derivado (bypass). El flujo primario penetra al núcleo del motor (compresores y turbinas), mientras que el flujo secundario se deriva a un conducto anular exterior y concéntrico con el núcleo.

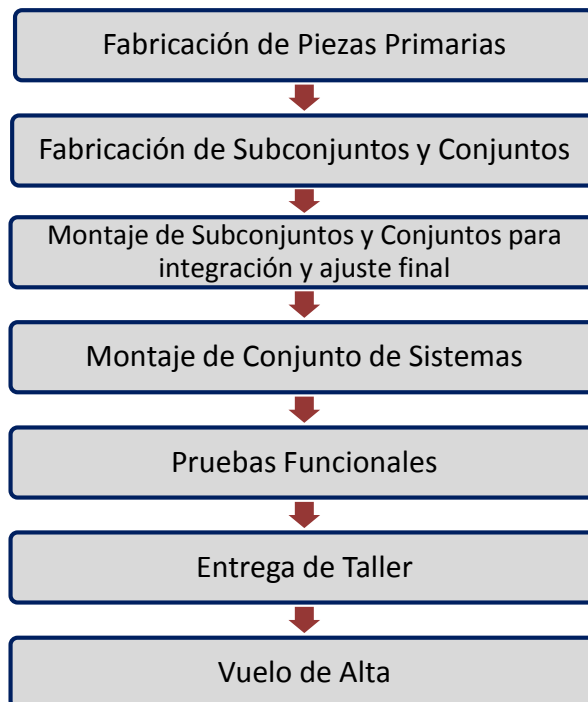
El avión tiene una longitud de 10,9 m y una envergadura de 9,7 m, pesa 2960 kg vacío y soporta un peso máximo al despegar de 5.000 kg. Alcanza una velocidad máxima operativa de 880 km/h y una velocidad de crucero de 650km/h, y tiene su techo operativo a 12.900 m de altura.



**Figura 1.16 – Avión Pampa III**

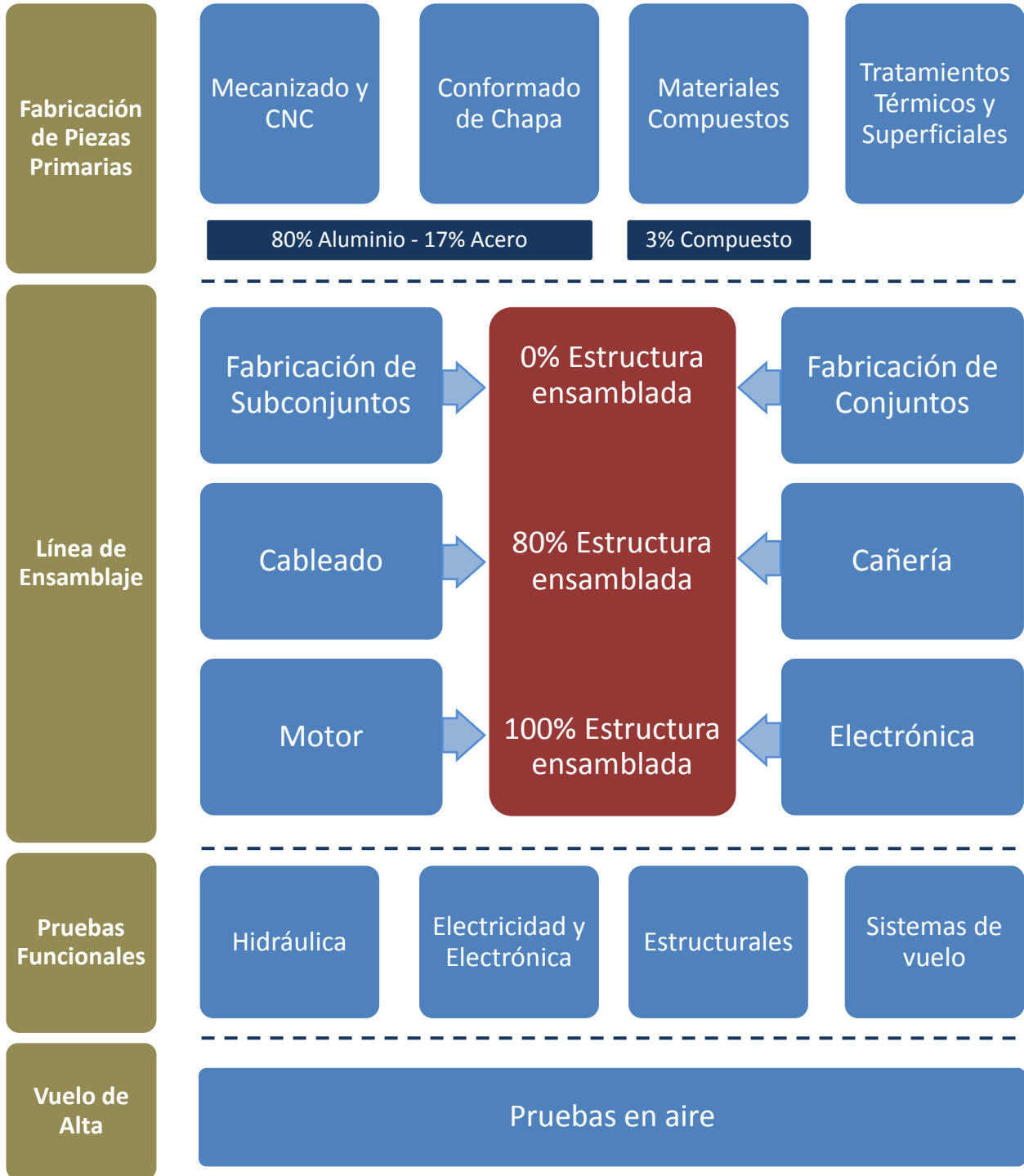
La Fábrica cuenta con el Desarrollo, Diseño y Fabricación de la aeronave Pampa III. La misma está formada por un total de 9 mil piezas, que constituyen una totalidad de 3 mil subconjuntos, que a su vez conforman 21 conjuntos principales. Además, el Pampa se fabrica en un 80% de aluminio, 17% de acero y el 3% restante de material compuesto.

El Flujoograma General de Fabricación está compuesto por las siguientes etapas:



**Figura 1.17 – Flujoograma General de Fabricación del Avión Pampa III**

## Resumen del Proceso



**Figura 1.18** – Resumen del Proceso de Fabricación del Avión Pampa III

## Fabricación de Piezas Primarias

Las piezas primarias son todos aquellos elementos que forman a los Subconjuntos. Existen cuatro tipos de Procesos Productivos para la fabricación de estas piezas: Mecanizado, Conformado de chapas, Tratamientos Térmicos y Superficiales, y Material Compuesto.

### 1. Mecanizado

El Mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Se realiza a partir de productos semielaborados, como por ejemplo, planchas de aluminio, previamente conformados por otros procesos como moldeo o forja. Las máquinas y equipos que se destacan en este proceso son los siguientes:

Centro de Mecanizado Droop & Rein: esta máquina presenta 3 husillos para trabajar piezas de hasta 18 metros de largo.

Cant. de ejes Programables	Cantidad de Husillos y Posición	Distancia entre Husillos (mm)	Máx. Carrera (mm)	Veloc. De alimentación (mm/min)	Veloc. De Rotación (RPM)	Potencia Husillos (KW)	Máx. Peso en Mesa (Kg/m <sup>2</sup> )	CNC
3	3 Vertical	1300	X=18000 Y=2000 Z=600	1 - 5000	20 - 4000	30	2000	Siemens 840



*Figura 1.19 – Centro de Mecanizado DROOP & REIN*

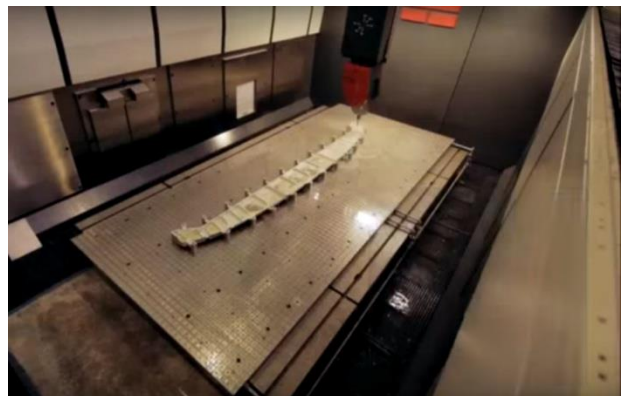


Centros de Mecanizado FIDIA: estos centros de mecanizado se destacan principalmente por trabajar a altas velocidades, por sus cinco ejes y por su capacidad para mecanizar el aluminio.

FIDIA Modelo	Cant. de ejes Programables	Cantidad de Husillos y Posición	Distancia entre Husillos (mm)	Máx. Carrera (mm)	Veloc. De alimentación (mm/min)	Veloc. De Rotación (RPM)	Potencia Husillos (KW)	Máx. Peso en Mesa (Kg/m <sup>2</sup> )	CNC
K 199	5	1 vertical	-	X=1650 Y=750 Z=850	30000	24000	55	4800	FIDIA
K 211	5	1 vertical	-	X=2700 Y=1100 Z=1000	24000	24000	55	2600	FIDIA
GTF 2710	5	1 vertical	-	X=4200 Y=2700 Z=1000	30000	24000	55	4800	FIDIA



**Figura 1.20 – FIDIA K 199**



**Figura 1.21 – FIDIA GTF 2710**

Tornos CNC Hyundai: se presentan en tres modelos diferentes y trabajan el acero con gran precisión.

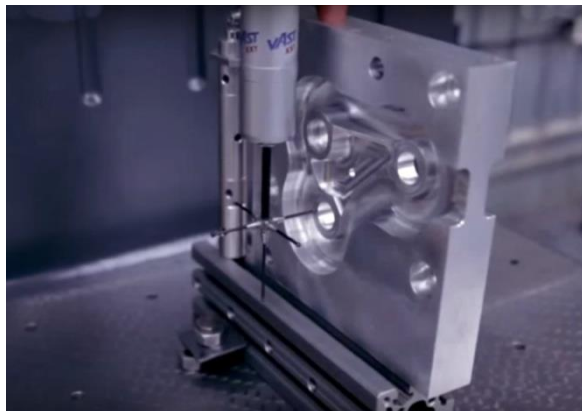
HYUNDAI Modelo	Distancia entre Husillos (mm)	Paso de husillo (mm)	Máx. Diámetro (mm)	Máx. Velocidad (RPM)
HIT 18	500	70	350	6000
L280	720	95	410	3000
L250A	410	45	350	6000



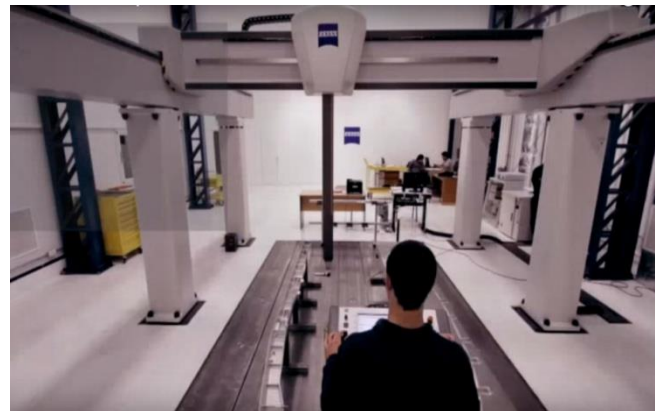
**Figura 1.22 – Tornos CNC Hyundai**

Una vez finalizados los procesos de mecanizado, las distintas piezas se someten a medición de alta precisión.

Máquina de Medición	Tamaño de Piezas	Capacidad Máxima (mm)
ZEISS DuraMax	Pequeñas	X= 500 Y= 500 Z= 500
DEA IOTA 1203	Medianas	X= 1430 Y= 1025 Z= 665
ZEISS MMZ B	Grandes	X= 3000 Y= 7000 Z= 2000



**Figura 1.23– Máquina de medición Zeiss DuraMax**



**Figura 1.24 – Máquina de medición Zeiss MMZ B**

## 2. Conformado de chapa

El conformado es un proceso de fabricación sin separación de material y con deformación plástica, utilizado para dar forma a chapas. En la Fábrica se trabaja a partir de conformado por prensa y conformado por estirado. El primero de estos procesos se realiza a través de una matriz y un punzón que efectúa la presión sobre la chapa. El material situado a uno de los lados del eje neutro se comprimirá (zona interior) y el situado en el lado opuesto será traccionado (zona exterior) como consecuencia de los esfuerzos aplicados. El segundo proceso de conformado se realiza por estirado, el cual se define como aquella deformación plástica que se produce al estirar una barra o una chapa con el objeto de reducir su sección. Se utiliza una matriz de un material metálico muy duro insertado en un bloque de acero. La reducción de la sección del material dependerá del ángulo de abertura de la matriz. Las máquinas y equipos destacados en este proceso son los siguientes:

### Prensas Hidráulicas Verson y Avure:

Máquina	Máxima Presión	Presión de Trabajo	Dimensiones LH	Dimensiones RH
VERSON	5000 psi 10800 Tn U.S	350 Kg/cm <sup>2</sup> 9747 Tn/métrica	Lmáx: 2690 mm Wmáx: 665 mm Hmáx: 125 mm	Lmáx: 2690 mm Wmáx: 665 mm Hmáx: 125 mm
AVURE	88 MPa	88 MPa	Ømáx: 950 mm Hmáx: 222 mm Hutil: 172 mm	Ømáx: 950 mm Hmáx: 222 mm Hutil: 172 mm



**Figura 1.25** – Prensa de goma Avure



**Figura 1.26** – Prensa de goma Verson

Prensa de estirado Hufford: se utiliza para trabajar piezas pequeñas y perfiles, y tiene una presión máxima de 60 Tn.

Prensa de estirado Loire: se utiliza para trabajar piezas de gran tamaño y se caracteriza por sus 250 Tn. de máxima presión.

Máquina	Máxima Presión	Mordazas	Brazos (mm)	Dimensiones de mesa
Prensa HUFFORD A-12 Mod. 59	60 Tn	Cant: 2 Apertura: 200 mm Fuerza: 75 Tn	Cant: 2 Apertura: 5.000 mm	L=10.000 mm
Prensa LOIRE (PLC Control)	125 - 250 Tn	Dist. H: 2.180 mm Dist. I: 2.800 mm	-	L=3.060 mm W=400mm Inclinación 15°



**Figura 1.27** – Prensa de estirado Hufford



**Figura 1.28** – Prensa de estirado Loire

### 3. Tratamientos Térmicos y Superficiales

Los tratamientos térmicos son el conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad y presión, de los metales o aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Las piezas del avión reciben tratamiento térmico de recocido y revenido. Mientras que los tratamientos superficiales son aquellos que se llevan a cabo para dar características determinadas a la superficie del material.



En este caso los equipos destacados son los siguientes:

Horno Ebner: este equipo realiza el tratamiento de recocido y de revenido. El primero de estos tratamientos tiene como finalidad el ablandamiento, la recuperación de la estructura o la eliminación de tensiones internas. El proceso consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura para después dejar que se enfríe lentamente hasta alcanzar la temperatura ambiente. El segundo de estos procesos, es un tratamiento que tiene como fin variar la dureza y cambiar la resistencia mecánica del material. Busca disminuir la fragilidad del elemento.



**Figura 1.29 – Horno Ebner**

Cubas de tratamientos superficiales: en estos equipos se realiza la conversión química, que tiene como objetivo formar capas superficiales de óxido para proteger al material de la corrosión, el anodizado crómico, que consiste en someter el aluminio a un tratamiento electroquímico con el propósito de engrosar la capa de óxido hasta espesores muy superiores a los adquiridos en forma natural, y el fresado químico, que es una técnica de separación de material, la cual se fundamenta en la eliminación de material no deseado por ataque de una sustancia química activa, que puede ser una solución acuosa ácida o alcalina. A continuación se presentan las características estructurales de las cubas:

Tratamiento Superficial	CUBA N°	Dimensiones (largo x ancho x alto)	Volumen Total	Volumen útil	Productos químicos
Conversión química	<b>366-52</b>	6000 x 1200 x 3000 mm	21600 LT	20160 LT	ALODINE 1200s
Anodizado Crómico	<b>367-03</b>	9250 x 1250 x 2250 mm	26000 LT	20800 LT	Ácido crómico
Fresado Químico	<b>366-85</b>	6000 x 1200 x 3000 mm	21600 LT	20160 LT	Hidróxido de sodio Aluminio disuelto



*Figura 1.30 – Cuba de Conversión química*



*Figura 1.31 – Cuba de Fresado químico*

#### **4. Materiales Compuestos**

Los materiales compuestos son aquellos que se forman a partir de la unión de dos o más materiales, lo cual tiene como fin conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en sus facetas originales. En la Industria aeronáutica el uso de estos materiales es cada vez mayor debido a que otorgan la misma funcionalidad mecánica que las piezas fabricadas a partir de aluminio, pero a la mitad de peso. Un material es compuesto cuando cumple con las siguientes características:

- ✓ Está formado de dos o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- ✓ Presenta varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interface.
- ✓ Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).

En el proceso de trabajo de los materiales compuestos se destacan las siguientes máquinas y equipos:

Máquina de corte Ply Cutting Gerber: esta máquina CNC tiene como objetivo único cortar el material preimpregnado, el cual se adhiere a otras piezas a partir del proceso de laminado realizado en la sala blanca. El corte se realiza por láser y la máquina trabaja en una mesa de 6,4 x 1,8 m.



*Figura 1.32 – Máquina de corte por láser*

Autoclave de materiales compuestos Scholz y Olmar: presenta un sistema de temperatura y presurización, utilizado para curar y consolidar materiales compuestos.

Máquina	Dimensiones	Temperatura de Trabajo	Sistema de Presurización
SCHOLZ	Ø: 2,5 m Largo: 6 m	250° C	Aire
OLMAR	Ø: 2,5 m Largo: 11 m	250° C	Nitrógeno



*Figura 1.33 – Autoclave Scholz*



*Figura 1.34 – Autoclave Olmar*

## Fabricación de Subconjuntos y Conjuntos

Los Subconjuntos son todos aquellos elementos que se forman a partir de dos o más piezas primarias, y los Conjuntos son todas aquellas partes que forman la estructura del avión a gran escala y se constituyen a partir de la unión de varios Subconjuntos.

Para la fabricación de los Subconjuntos y Conjuntos se usan utillajes. Los utillajes son un conjunto de instrumentos y herramientas que optimizan la realización de las operaciones del proceso de fabricación, mediante el posicionamiento y sujeción de una pieza o conjunto de piezas a un sistema de referencia. La línea de fabricación cuenta con más de 80 utillajes.

Finalidad del utillaje:

- Reducir los tiempos de fabricación.
- Disminuir los costes de producción.
- Mayor precisión en la fabricación.
- Alto grado de uniformidad.



*Figura 1.35 – Utillaje de armado de Conjunto fuselaje*



## Montaje de Subconjuntos y Conjuntos para integración y ajuste final

La línea de armado del avión está formada por grandes utillajes mediante los cuales, de manera progresiva, se van montando y armando los distintos Conjuntos. En la línea principal se realiza el ensamble de los grandes Conjuntos que forman la aeronave. Entre los principales Conjuntos se encuentran:

- ✓ Conjunto fuselaje central.
- ✓ Conjunto piso.
- ✓ Conjunto fuselaje zona cabina.
- ✓ Conjunto nariz de fuselaje.
- ✓ Conjunto fuselaje Parte I, formado por el fuselaje central, la cabina y la nariz.
- ✓ Conjunto fuselaje posterior.
- ✓ Conjunto fuselaje Parte II, formado por la Parte I, el fuselaje posterior y los subconjuntos de tomas de aire izquierda y derecha.
- ✓ Conjunto deriva.
- ✓ Conjunto cola o empenaje horizontal.
- ✓ Conjunto Ala.
- ✓ Conjunto cúpula.
- ✓ Conjunto célula finalizada, formada por todos los conjuntos anteriores más el subconjunto cono de cola, el subconjunto tobera fría, el subconjunto de puertas de tren de aterrizaje y el kit tren de aterrizaje.



*Figura 1.36 – Línea de montaje*

## **Montaje de Conjunto de Sistemas**

Una vez que la estructura del avión se encuentra en su etapa de finalización, se realiza inicialmente el montaje del cableado y de la cañería, y luego el montaje de los sistemas electrónicos. El cableado y la cañería se fabrican en la empresa a partir de máquinas de marcado y cortado de cables eléctricos, mientras que los sistemas provienen del extranjero. El paso final de la línea de montaje es la incorporación del motor al avión.

## **Pruebas funcionales**

Una vez que la aeronave se encuentra totalmente finalizada, se procede a realizar una cantidad de pruebas funcionales que verifiquen el buen funcionamiento de la electricidad, la electrónica, la hidráulica y los diversos sistemas del avión.

## **Entrega de Taller**

El personal de taller se encarga de realizar distintas pruebas en tierra, como por ejemplo, la puesta en marcha del motor. Además, se realizarán simulaciones de vuelo, de manera tal que pueda verificarse el correcto funcionamiento de toda la estructura.

## **Vuelo de Alta**

Finalmente, el piloto encargado realiza el primer vuelo de la aeronave. En esta etapa se efectúan las pruebas en aire, como por ejemplo el despegue, pasaje de baja velocidad y virajes de máxima performance.

## Situación Inicial del Mantenimiento Industrial en la Fábrica

La estructura orgánica de la empresa se compone principalmente por el Directorio, el Gerente General, las Áreas / Departamentos de Apoyo, donde se encuentra el Área de Mantenimiento Industrial, y las Áreas / Departamentos Operativas.

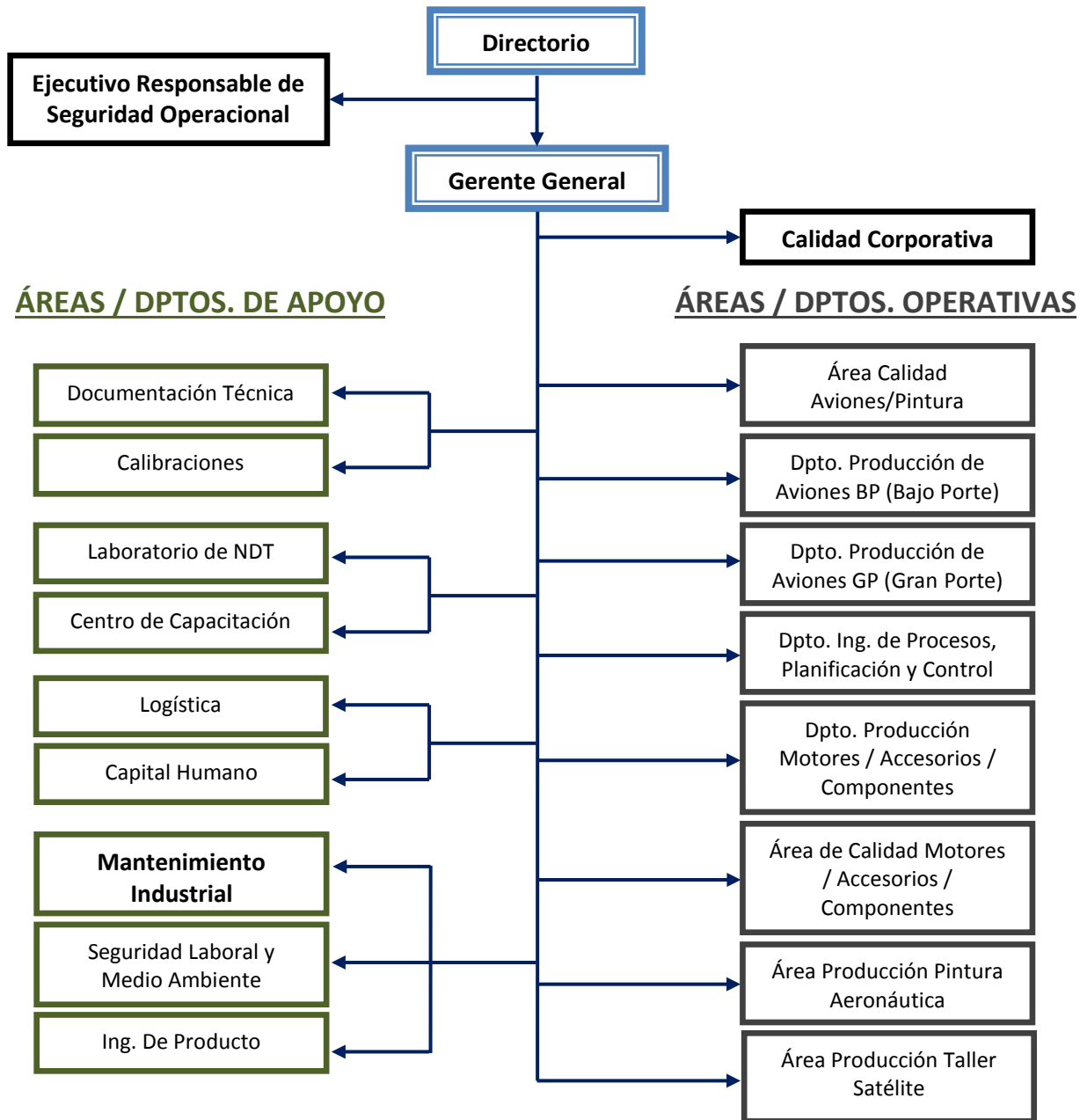
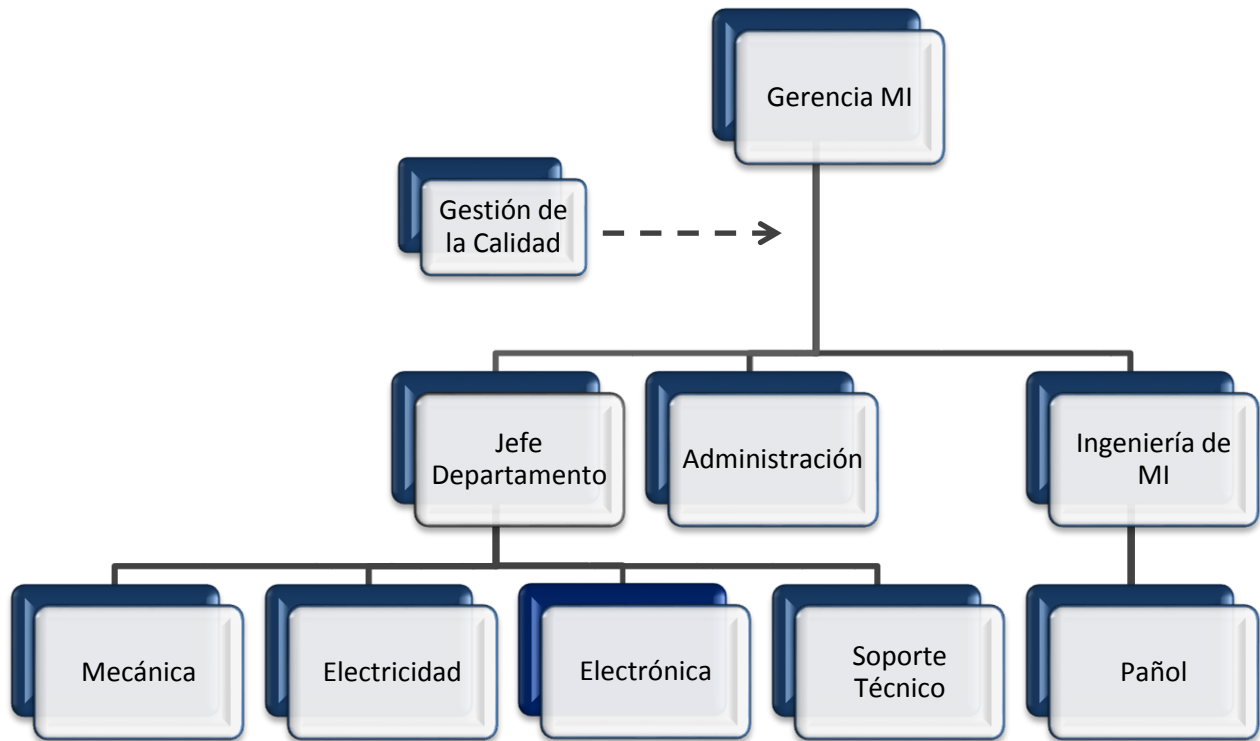


Figura 1.37 – Organigrama General de la Empresa

El Área de Mantenimiento Industrial (MI) se organiza principalmente a partir de las distintas tecnologías: Mecánica, Electrónica, Electricidad, Soporte Técnico, con la coordinación del Área de Ingeniería de Mantenimiento, y Administrativa.



**Figura 1.38** – Organización de Mantenimiento Industrial

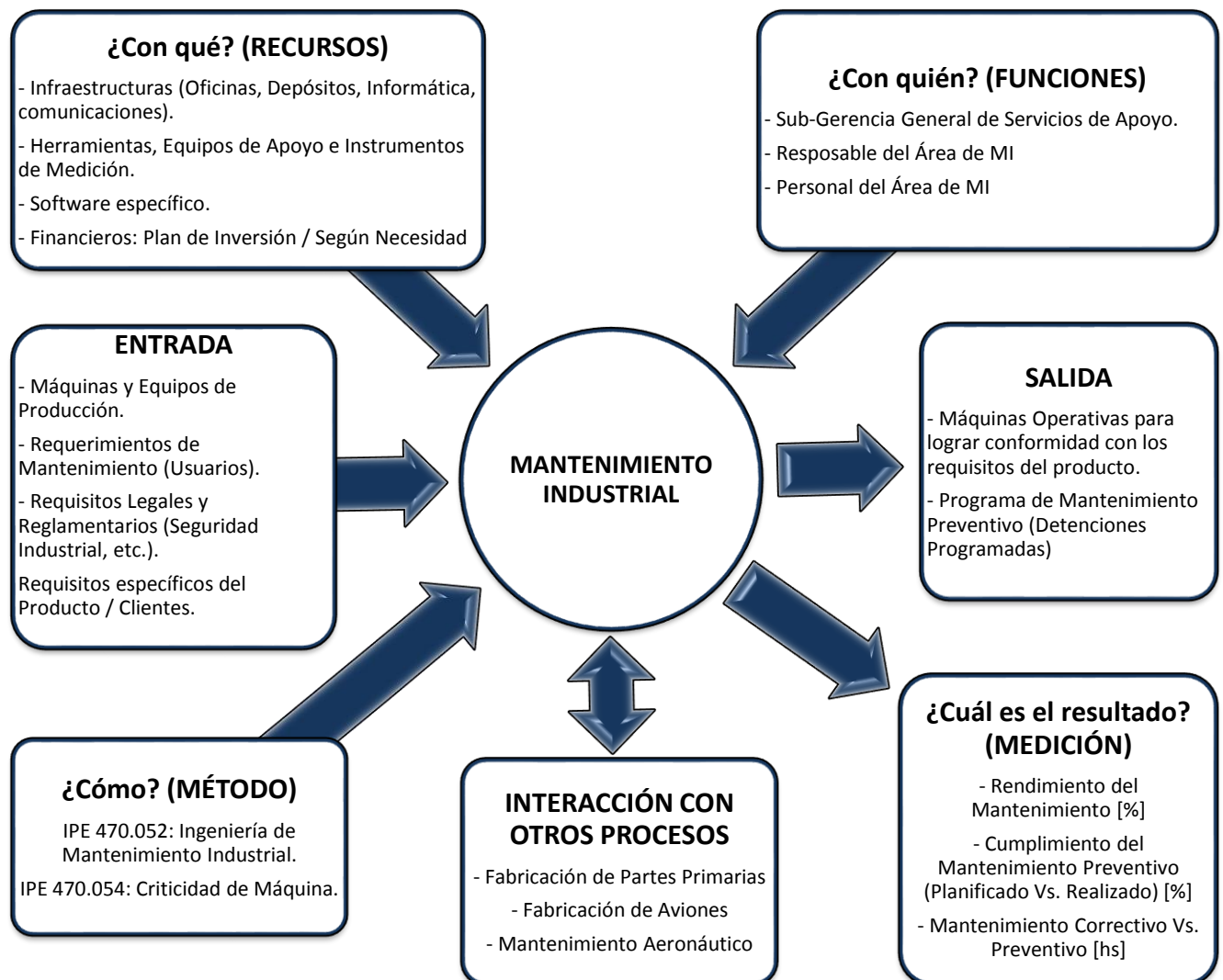
Son misiones del Mantenimiento Industrial:

- ✓ La vigilancia permanente y/o periódica.
- ✓ Las acciones preventivas.
- ✓ Las acciones correctivas (reparaciones).
- ✓ Reemplazo de Maquinaria y Equipos.

Además, los objetivos implícitos son:

- ✓ Aumentar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso.
- ✓ Reducir los costes al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario.
- ✓ Mejorar la fiabilidad de máquinas e instalaciones.

A continuación, se puede observar el Enfoque en Procesos del MI:



---

## ¿Por qué la Fábrica debe desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo?

La fabricación de piezas y conjuntos para la empresa brasilera Embraer, se ha convertido en la actividad de mayor importancia y relevancia para la Fábrica Aeronáutica debido a que se logra exportar piezas luego de 20 años. Hasta diciembre de 1992 debemos remontarnos para encontrar la última exportación de la Empresa, cuando el Gobierno de Sri Lanka, país del continente Asiático ubicado al sur de la India, adquirió cuatro aviones Pucará. Hoy la empresa retorna al mercado internacional en sociedad con la organización brasilera Embraer, en el marco de un proyecto en el que además son socios Ogma (Portugal) y Aero Vodochody (República Checa).

El contrato entre la Fábrica de Córdoba y Embraer prevé la elaboración seriada de 120 conjuntos hasta el año 2025. Cada uno de estos conjuntos está compuesto por una Puerta de carga, una Puerta de tren de nariz, 12 spoilers, 16 carenados de Flap, un Cono de cola y un Rack electrónico, los cuales están destinados al avión de carga KC-390, el más grande construido en Latinoamérica.

Para alcanzar este proyecto, la empresa debió conseguir la Certificación AS9100, indispensable para la integración en el mercado internacional aeronáutico. Además, el programa propició la incorporación de tecnología, infraestructura y mano de obra calificada en diversas áreas. Se triplicó la capacidad para tratar materiales compuestos, se incorporaron Centros de Mecanizado de Alta Velocidad y se modernizaron los equipos para Conformación, Procesamiento y Tratamiento Térmico de partes primarias de aluminio.

Debido a la incorporación de nuevos Procesos y, por ende de nuevas tecnologías, la Fábrica se vio obligada a alcanzar estándares de calidad y confiabilidad de nivel mundial, optimizando de esta manera el Mantenimiento en Planta. Pese a esto, la

empresa aún no ha podido implementar un **Plan de Mantenimiento Predictivo**, lo cual da iniciativa a este Proyecto Integrador (PI).

En el Proceso de fabricación de las piezas para el avión KC-390 se involucra un considerable número de máquinas y equipos de diversas características, como por ejemplo, Centros de Mecanizado de Alta Velocidad, Prensas de estirado de Chapa, Horno para solubilizado y envejecimiento de chapas de aluminio, Fresas, Autoclaves, etc., los cuales presentan un elevado **Grado de Criticidad**.

Se define a los **Equipos Críticos** como aquellos que al fallar pueden afectar la Productividad, la Calidad, la Seguridad del Personal, el Entorno Ambiental o incrementar el Costo de Mantenimiento. **Las máquinas y equipos involucrados en este Proyecto presentan un Grado de Criticidad mayor o igual a 270 (ver Capítulo 2 - Criticidad de Máquinas y Equipos), lo cual implica que se deben ver afectados por un MANTENIMIENTO PREDICTIVO según la IPE (Instrucciones de Práctica Estándar) 470.059, Ingeniería de Mantenimiento Industrial – Matriz de Criticidad de Máquinas y Equipos (ver ANEXO 1). Por ello, es fundamental para la Empresa el desarrollo de un Plan de Mantenimiento Predictivo que pueda optimizar el funcionamiento de aquellas máquinas críticas, definidas como los principales componentes del Proceso Productivo.**

## Objetivo del Proyecto

El Objetivo de este Trabajo Integrador es desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo. Este tipo de Mantenimiento puede estar compuesto por diversas técnicas como el Análisis de Vibraciones, Análisis Termográfico Infrarrojo, Análisis de Aceites, Potencia máxima absorbida, entre otras. Para el presente Proyecto, luego de una evaluación realizada con el personal de Mantenimiento de la Empresa, se estableció trabajar con aquellas dos técnicas que se consideran más efectivas: el Análisis de Vibraciones y el Análisis Termográfico.

El Proyecto estará enfocado en desarrollar estas técnicas sobre el conjunto de Centros de Mecanizado, los cuales se presentan como el “Cuello de Botella” de la Fábrica. Éstos equipos tienen distintos tamaños, distintas velocidades, y se muestran como una de las máquinas de mayor complejidad.

Por otro lado, se realizará un Análisis Económico para evaluar la viabilidad de la implementación de Mantenimiento Predictivo sobre estas máquinas.

Actualmente, la Empresa realiza Mantenimiento Correctivo, es decir que se interviene la máquina luego de la falla, y Mantenimiento Preventivo (TBM), equivalente a inspecciones periféricas, pequeños ajustes y limpieza, en aquellos activos críticos. La propuesta de este trabajo se enfoca en la implementación de un Mantenimiento Predictivo (CBM), que tiene como fin anticiparse a las fallas.

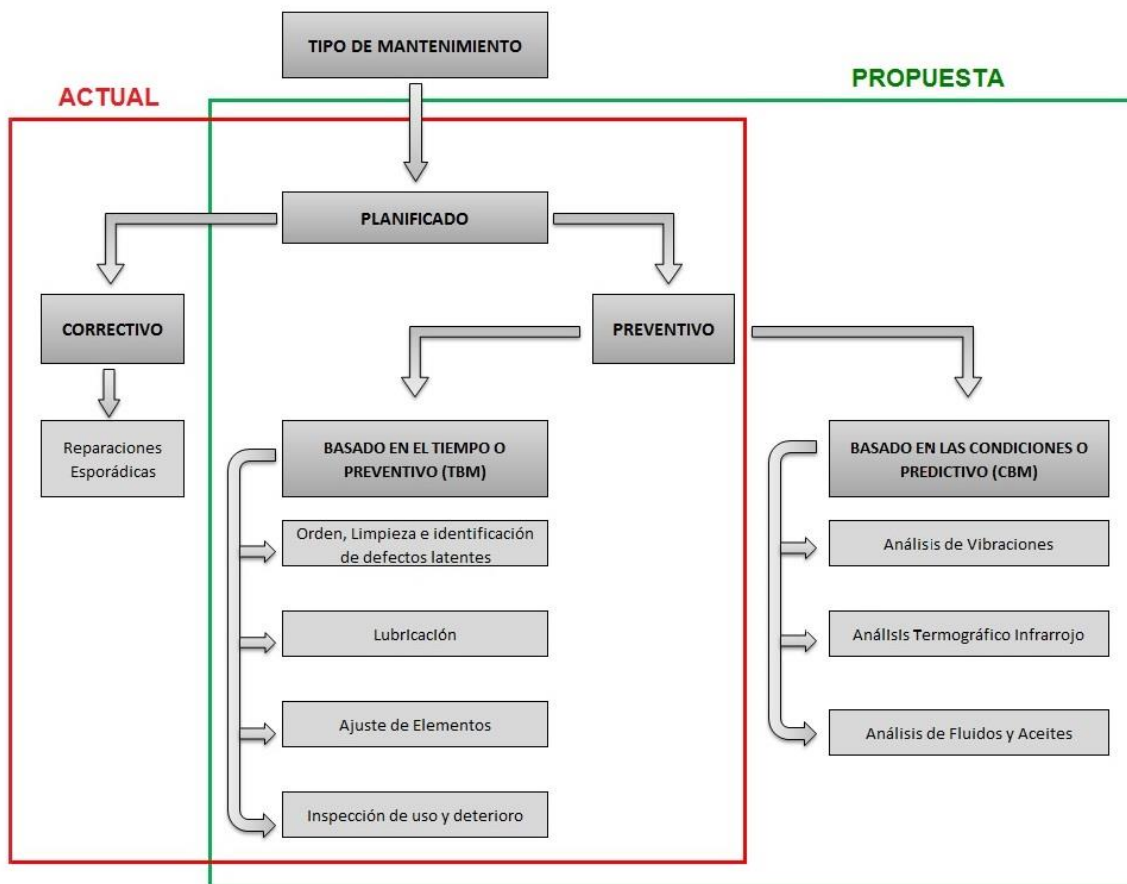


Figura 1.40 – Propuesta del Proyecto Integrador



# **CAPÍTULO 2**

## **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE LOS EQUIPOS**

## Inventario de Equipos

Como se ha mencionado anteriormente, las máquinas donde se pondrá el foco del Proyecto son el conjunto de Centros de Mecanizado de alta velocidad (cinco en total), los cuales toman gran importancia debido a que se presentan como el “Cuello de Botella” de la Empresa y no sólo son utilizados en los procesos de fabricación de piezas para el avión KC 390, sino también en la elaboración de piezas para el avión Pampa III.

### ➤ Características

#### **Centro de Mecanizado FIDIA K199 (x2)**

Se caracteriza por ser la máquina más compacta de la serie FIDIA K, lo cual representa una solución ideal para todos los moldes y prototipos de tamaño pequeño y mediano. La morfología de la máquina con banco fijo ofrece grandes ventajas en la carga de la pieza y un mecanizado de precisión. Cabe destacar que la Empresa cuenta con dos de estos equipos.

#### **Centro de Mecanizado FIDIA K211**

Este centro de fresado de alta velocidad ha sido diseñado específicamente para grandes moldes de inyección de plástico y componentes aeronáuticos. La estructura de la máquina de frente abierto permite una mejor supervisión de todas las operaciones del mecanizado.



*Figura 2.1 – Centro de Mecanizado FIDIA K199*



*Figura 2.2 – Centro de Mecanizado FIDIA K211*

### **Centros de Mecanizado FIDIA Modelos GTF/L 27 y GTF/L 40**

La versión más ligera de la serie FIDIA GTF se caracteriza por trabajar con materiales de uso aeronáutico como lo son el aluminio y materiales compuestos. Estas máquinas demuestran gran precisión y eficiencia en el mecanizado, y presentan una estructura de acero totalmente rígida y estable.



**Figura 2.3** – Centro de Mecanizado FIDIA GTF/L 27



**Figura 2.4** – Centro de Mecanizado FIDIA GTF/L 40

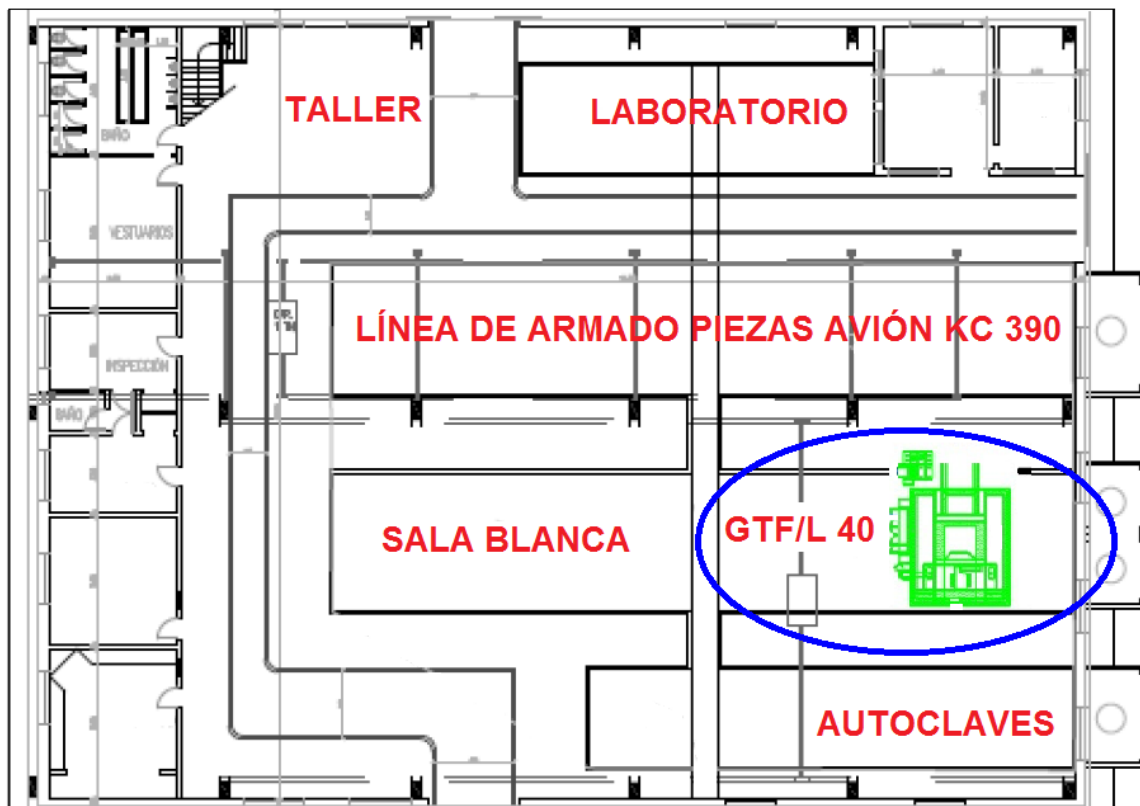
### **➤ Ubicación e Identificación**

La ubicación de las máquinas depende principalmente del material a mecanizar. Cuatro de estos equipos (K199 x2, K211 y GTF/L 27) se encuentran en el Pabellón F9, Área de Partes Metálicas y CNC, y mecanizan el aluminio y algunas piezas de acero, mientras que la FIDIA GTF/L 40 se ubica en el Pabellón F8, Área de Materiales Compuestos, y trabaja justamente con este tipo de materiales.

Además, cada equipo posee un Número de Identificación, el cual es el código que se maneja operativamente en el taller. Este número debe estar en un sector visible de la máquina y tiene como objetivo un fácil reconocimiento de la misma.

N° Identificación	Equipo / Modelo	Origen	Año Modelo	Pabellón	Área	Material a Mecanizar
141-07	FIDIA GTF/L 40	Italia	2013	F8	Materiales Compuestos	Material Compuesto
131-08	FIDIA K 211	Italia	2011	F9	Partes Metálicas y CNC	Aluminio
131-09	FIDIA GTF/L 27	Italia	2011	F9	Partes Metálicas y CNC	Aluminio
131-10	FIDIA K 199	Italia	2011	F9	Partes Metálicas y CNC	Aluminio
131-11	FIDIA K 199	Italia	2011	F9	Partes Metálicas y CNC	Aluminio

A continuación se presentan el Layout del área de Materiales Compuestos y el de Partes Metálicas y CNC.



*Figura 2.5 – Layout Pabellón F8 – FIDIA GTF/L 40*

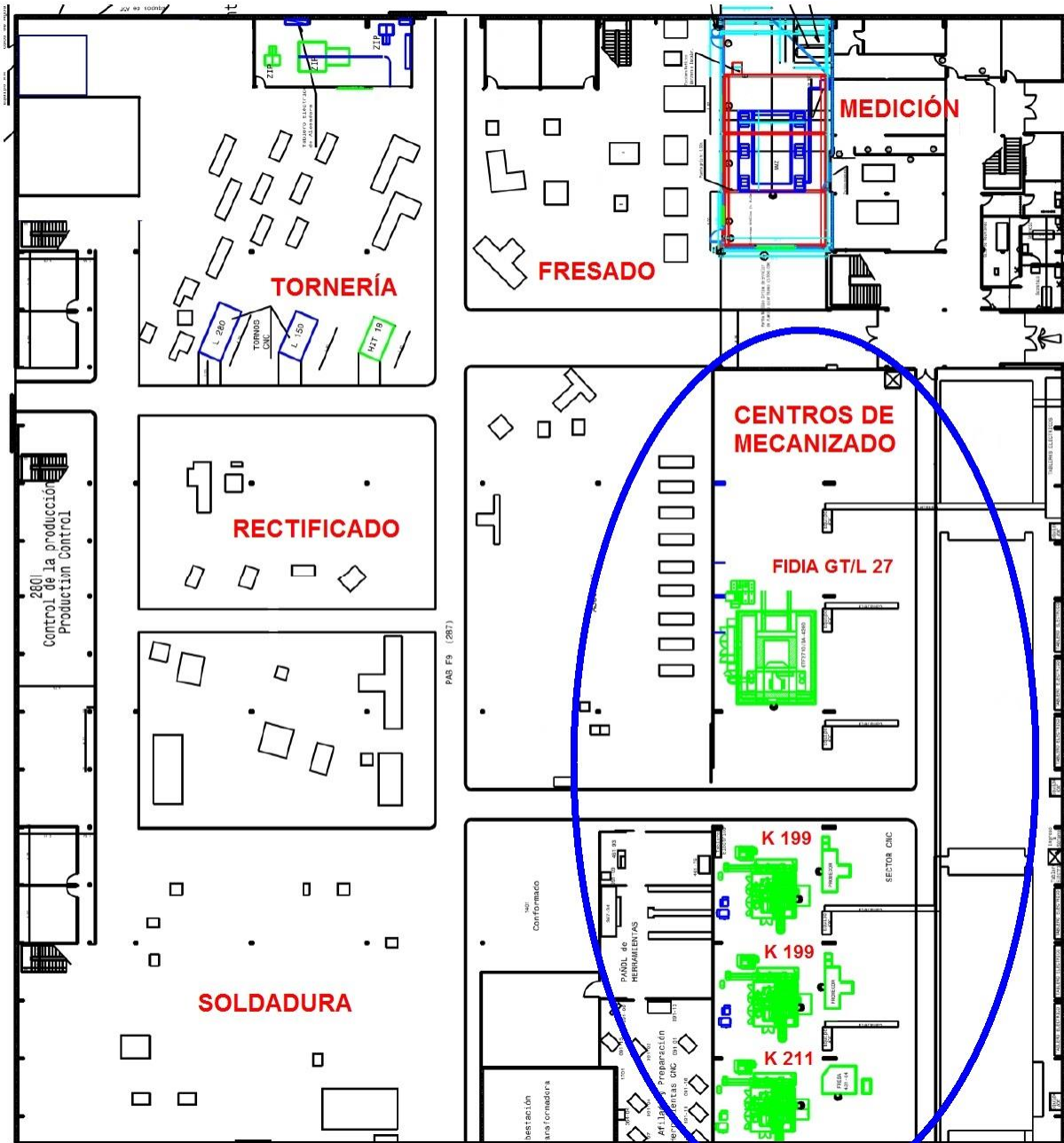


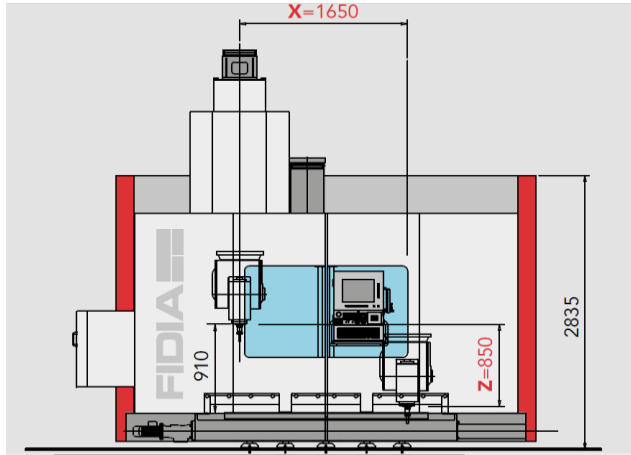
Figura 2.6 – Layout Pabellón F9 – FIDIA GTF/L 27, K199 y K211

## ➤ Datos Técnicos

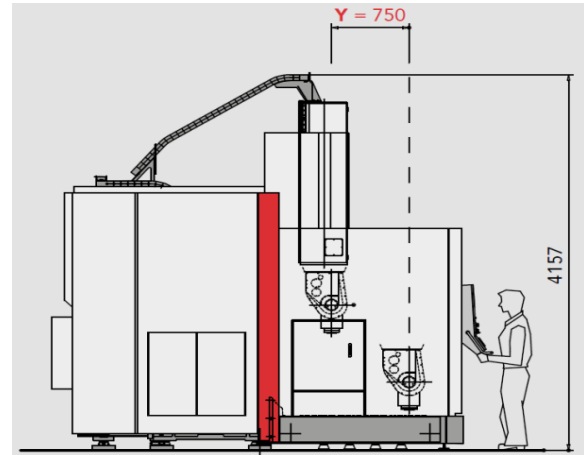
Los Centros de Mecanizado presentan características técnicas que los distinguen unos de otros, lo cual define el tipo y el tamaño de pieza a mecanizar.

### Serie FIDIA K

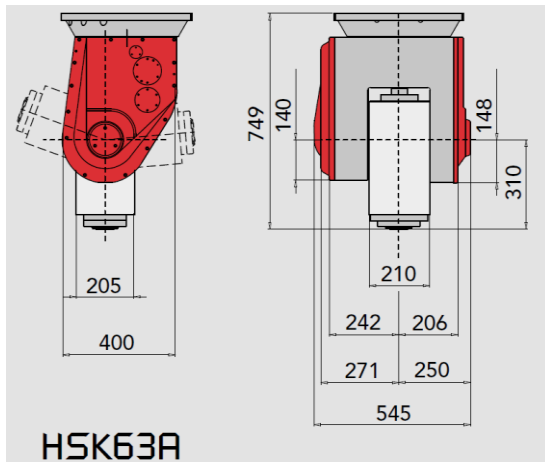
Datos Técnicos	K199	K 211
<b>Características Generales</b>		
Peso	18300 Kg	26000 Kg
Recorrido del Eje Lineal	X=1650mm; Y= 750mm; Z= 850mm	X=2700mm; Y= 1100mm; Z= 1100mm
Velocidad del Eje Lineal	30 m/min (X,Y,Z)	X= 50m/min; Y= 40m/min; Z= 30m/min
Precisión Posicionamiento	X ± 0,005; Y ± 0,005; Z ± 0,004 mm	X ± 0,006; Y ± 0,005; Z ± 0,004 mm
<b>Mesa de Trabajo</b>		
Dimensiones	2000 x 1250 mm	3500 x 1500 mm
T-Slots (Ranuras)	N° 5 – pitch 250 mm	N° 6 – pitch 250 mm
Capacidad de Carga	12000 Kg	22000 Kg
<b>Cabezal de Fresado</b>		
Modelo	M5A	M5A
Husillo	Bi-Rotativo Continuo	Bi-Rotativo Continuo
Recorrido del Eje A	+95° ÷ -110°	+95° ÷ -110°
Recorrido del Eje C	± 200°	± 200°
Veloc. Máx. Husillo	24000 1/min	24000 1/min
Potencia Máx. Husillo	55 kW	55 kW
Torque Máx.	88 Nm	88 Nm
Portaherramientas	HSK63A	HSK63A



**Figura 2.7** – Vista Frontal FIDIA K 199. General Catalog: K line (2015)



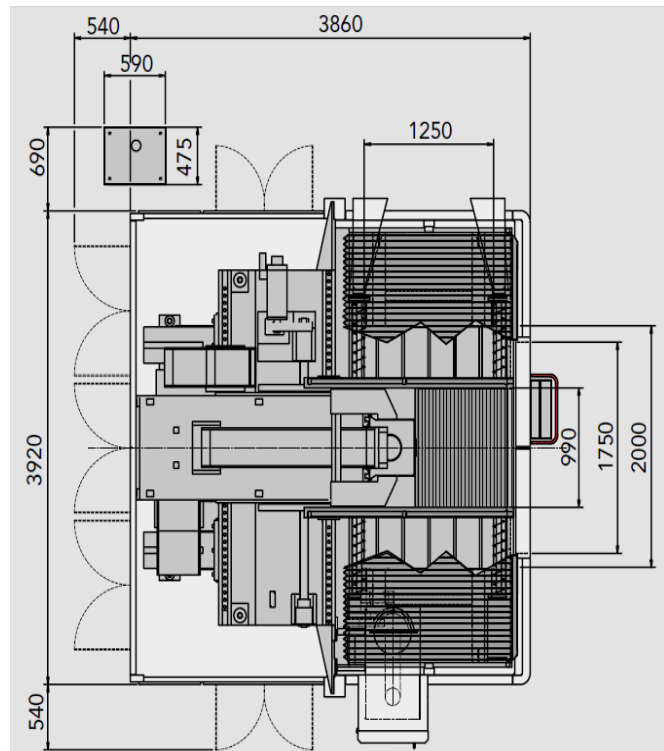
**Figura 2.8** – Vista de Perfil FIDIA K 199. General Catalog: K line (2015)



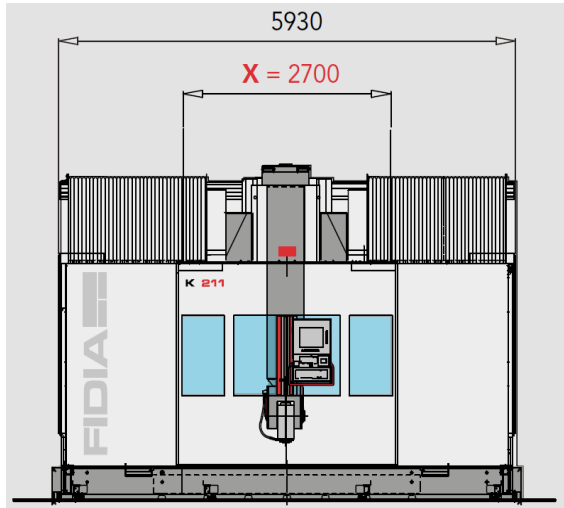
**Figura 2.9** – Vista Frontal y Perfil Cabezal M5A.  
General Catalog: K line (2015)



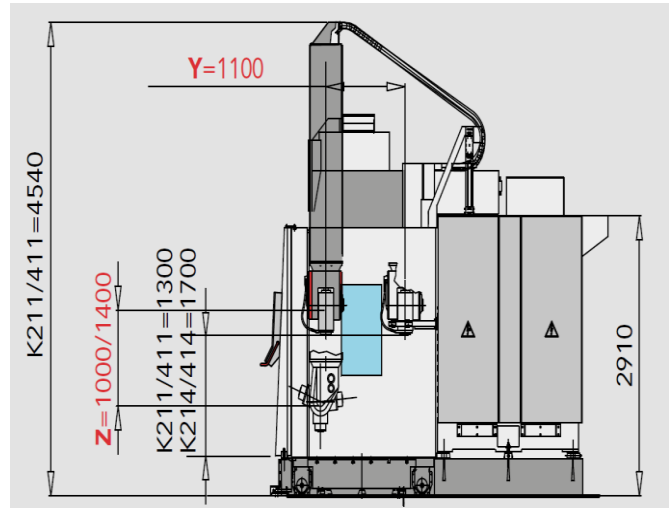
**Figura 2.11** – Cabezal de Fresado FIDIA K M5A.  
General Catalog: K line (2015)



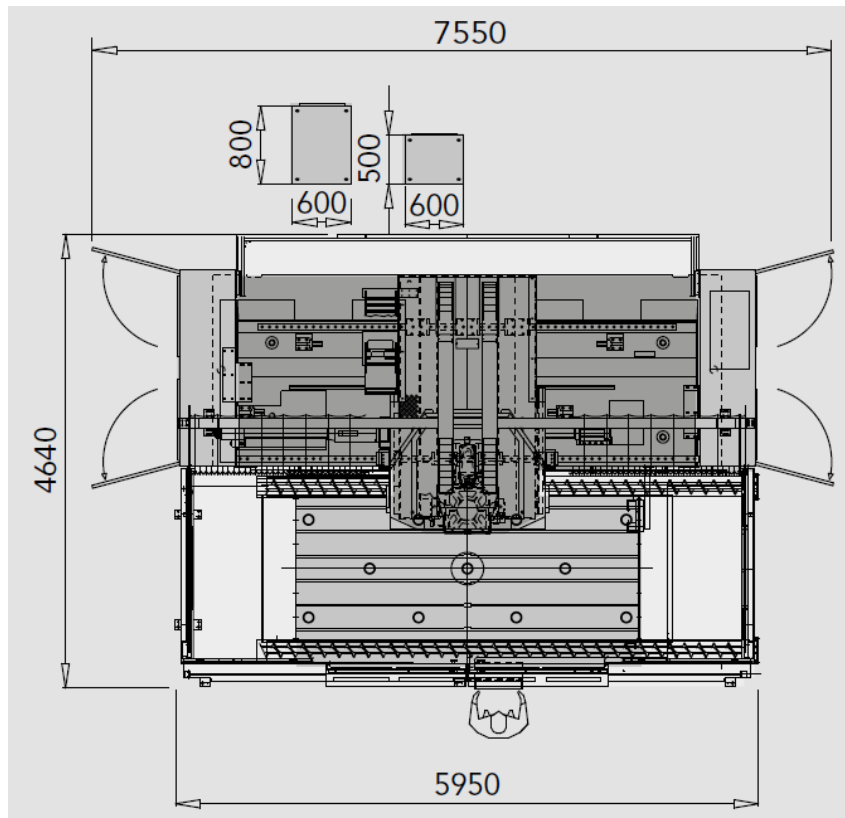
**Figura 2.10** – Vista desde arriba FIDIA K 199.  
General Catalog: K line (2015)



**Figura 2.12 – Vista Frontal FIDIA K 211.**  
General Catalog: K line (2015)



**Figura 2.13 – Vista de Perfil FIDIA K 211.**  
General Catalog: K line (2015)

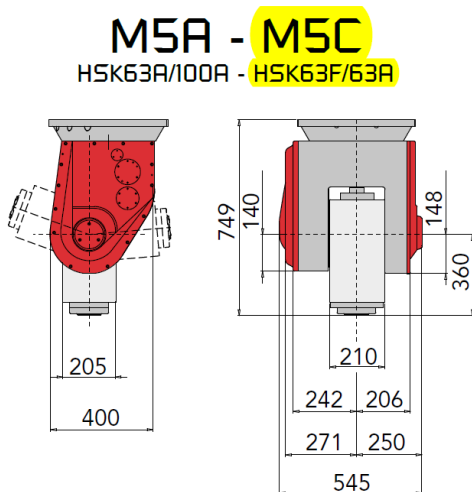


**Figura 2.14 – Vista desde arriba FIDIA K 211.**  
General Catalog: K line (2015)



**Serie FIDIA GTF/L**

Datos Técnicos	GTF/L 27	GTF/L 40
<b>Características Generales</b>		
Recorrido del Eje Lineal	X=4200mm; Y= 2700mm; Z= 1000mm	X=6000mm; Y= 3500mm; Z= 2500mm
Velocidad del Eje Lineal	60 m/min (X,Y); 40 m/min (Z)	60 m/min (X,Y); 40 m/min (Z)
<b>Cabezal de Fresado</b>		
Modelo	M5C	M5C
Husillo	Bi-Rotativo fork-type (tipo tenedor)	Bi-Rotativo fork-type (tipo tenedor)
Recorrido del Eje A	+95° ÷ -110°	+95° ÷ -110°
Recorrido del Eje C	± 200°	± 200°
Veloc. Máx. Husillo	24000 1/min	24000 1/min
Potencia Máx. Husillo	35 kW	23 kW
Torque Máx.	56 Nm	38 Nm
Portaherramientas	HSK63A	HSK63F



**Figura 2.15** – Vista Frontal y Perfil Cabezal M5C.  
General Catalog: GTF line (2015)



**Figura 2.16** – Cabezal de Fresado FIDIA M5C.  
General Catalog: GTF line (2015)

## Esquema general de un Centro de Mecanizado

El Centro de Mecanizado ha sido el resultado de la evolución lógica de la “máquina herramienta de fresar” en un contexto donde se ha precisado aumentar la productividad, la flexibilidad y la precisión, al tiempo que se mejoraban las condiciones de seguridad de los trabajadores, todo ello lógicamente acompañado por la incorporación de la electrónica.

Se define al Centro de Mecanizado como una máquina herramienta de conformado por arranque de material, esto es una máquina no portable que operando con la ayuda de una fuente de energía exterior, es capaz de modificar la forma del material o pieza a mecanizar mediante el arranque de pequeñas porciones del mismo o virutas, de forma continua o discontinua.

Las características esenciales de un Centro de Mecanizado son las siguientes:

- Está dotado de un Control Numérico Computarizado (CNC).
- Puede realizar otras operaciones de mecanizado además del fresado.
- Dispone de un cambiador de herramientas automático.

A continuación se presentarán las distintas partes de un Centro de Mecanizado, comenzando por el cabezal de fresado y el carrusel o cambiador de herramientas.

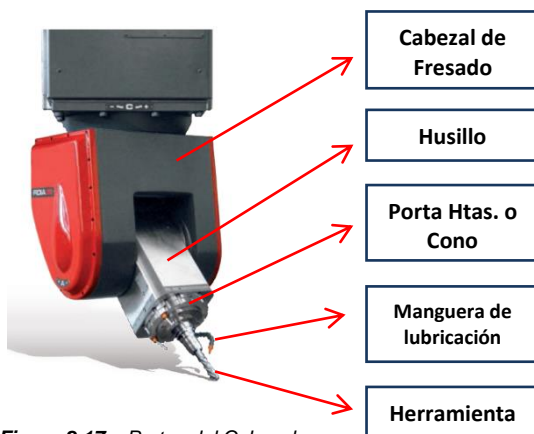


Figura 2.17 – Partes del Cabezal



Figura 2.18 – Cambiador de Herramientas

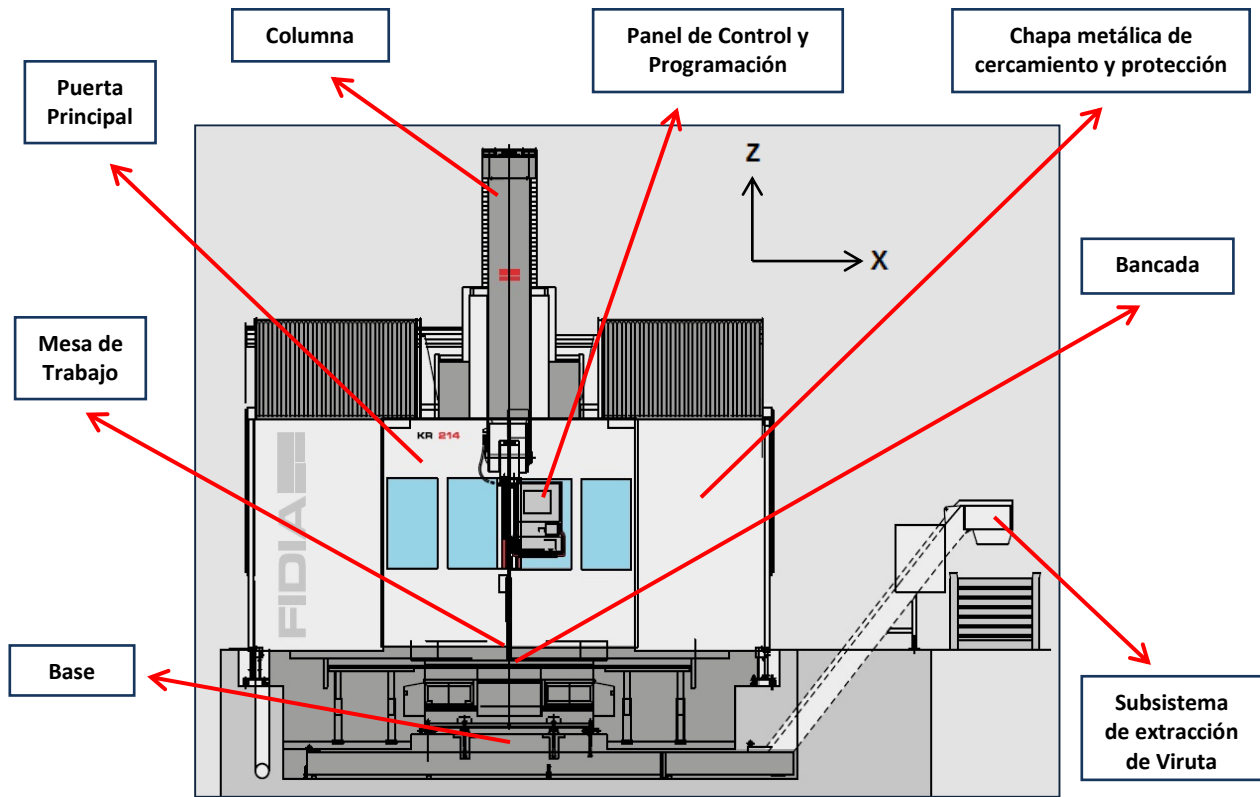


Figura 2.19 – Partes de un Centro de Mecanizado: vista frontal

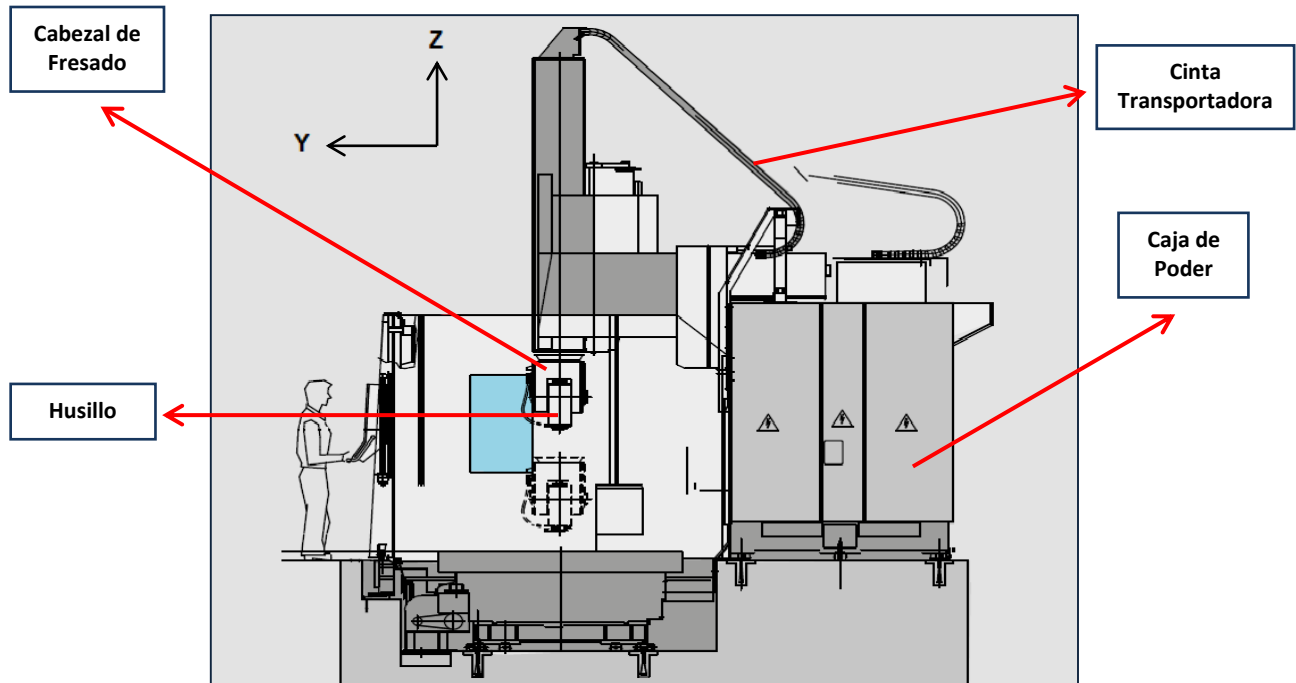


Figura 2.20 – Partes de un Centro de Mecanizado: vista de perfil

## Criticidad de Máquinas y Equipos

La Criticidad está basada en determinar, según las máquinas y equipos existentes, la importancia que tienen los mismos para cumplir los Objetivos Estratégicos de la Empresa. Los Equipos Críticos son aquellos que al fallar pueden afectar la Productividad, la calidad, la Seguridad del Personal, el Entorno Ambiental o incrementar el Costo de Mantenimiento. Es importante destacar que la Fábrica trabaja con criterios de clasificación basados en normas transcriptas en la IPE 470.059, *Ingeniería de Mantenimiento Industrial, Matriz de Criticidad de Máquinas y Equipos*.

A los fines de determinar las Máquinas y Equipos Críticos, se ha construido una Matriz que interrelaciona las actividades de Producción/Calidad, Mantenimiento y Seguridad y Ambiente, las cuales deberán ponderar de acuerdo a sus intereses los valores asignados en la Matriz.

Las Áreas Operativas definirán claramente cuales son aquellas máquinas que se deberán atender con mayor prioridad, estableciendo de esta manera las Criticidades A, B y C o Niveles de Intervención (a Rotura, Preventiva y Condicional o Predictiva) que se deberán implantar como práctica desde Mantenimiento.

Los valores de Criticidad de Máquinas y Equipos designados son los siguientes:

- A** → Grado de Criticidad Mayor o Igual a 270, se efectuará un Mantenimiento Preventivo y un Predictivo o Condicional.
- B** → Grado de Criticidad entre 269 y 200, se efectuará un Mantenimiento Preventivo.
- C** → Grado de Criticidad menor a 200, se efectuará un Mantenimiento Correctivo.
- D** → Máquinas Fuera de Servicio.

El Grado de Criticidad se determina mediante una ponderación, teniendo en cuenta diversos factores preestablecidos que involucran Mantenimiento, Producción, Seguridad y Medio Ambiente.

## Responsabilidades

La Evaluación y Ponderación para definir las Criticidades establecidas se han asignado a las siguientes Áreas:

1. **Áreas Operativas:** deberán establecer los valores de Impacto y Ponderación de los ítems de Rendimiento para la Producción/Calidad, Productividad, Máquinas en “Stand By”, Funcionamiento Continuo y Máquinas/Subconjuntos de reserva.
2. **Áreas de Mantenimiento Industrial:** deberán ponderar el Impacto para los ítems MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación).
3. **Seguridad y Ambiente:** deberá ponderar el impacto y riesgo del ítem respectivo.

Finalmente, Mantenimiento Industrial se encargará de centralizar las matrices completadas por las distintas Áreas Productivas con el objetivo de establecer los Niveles de Mantenimiento que se deberán aplicar de acuerdo a la Criticidad establecida para cada Máquina y Equipo.

## Criterios para determinar la Criticidad de Máquinas y Equipos

### I. Rendimiento para la Producción / Calidad

Analizando todo el proceso productivo, se evaluará si en caso de falla del Equipo, éste puede causar parada de producción o disminución de capacidad productiva o afecta directamente a la calidad del producto. En este caso el Equipo debe tenerse en cuenta individualmente, no considerando la existencia de equipos en stand-by.

<b>Peso Relativo</b>	<b>10 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	<b>ALTO = 10; MEDIO = 5; BAJO = 0</b>
A completar por	Calidad

## II. Productividad

Analizando el Equipo individualmente y su influencia en el proceso productivo se evaluará si, en caso de falla, ésta influirá en la productividad del proceso.

<b>Peso Relativo</b>	<b>10 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	<b>ALTO = 10; MEDIO = 5; BAJO = 0</b>
A completar por	Usuario de la Máquina

## III. Máquinas Stand-By

Las Máquinas Stand-By son aquellas que se encuentran instaladas y fuera de servicio, pero que estarán listas para operar a través de maniobras simples y rápidas, automatizadas o no. Además, estas máquinas no causan perjuicio a la capacidad productiva o no afectan a la calidad del producto.

<b>Peso Relativo</b>	<b>5 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	<b>Si existe = 0; No existe = 10</b>
A completar por	Usuario de la Máquina

## IV. Funcionamiento Continuo

Se considera aquella Máquina o Equipo que en caso de falla no posee un reemplazo y para el cual el proceso exige un funcionamiento continuo.

<b>Peso Relativo</b>	<b>10 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	<b>Si existe = 10; No existe = 0</b>
A completar por	Usuario de la Máquina

### V. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)

Análisis estimativo de la frecuencia de fallas típicas que ocurren en las Máquinas o Equipos durante su régimen de trabajo normal.

<b>Peso Relativo</b>	<b>2 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	ALTO = 10 (>2 fallos/semana); MEDIO = 5 (>3 fallos mensuales); BAJO = 0 (Algunas fallas anuales)
A completar por	Mantenimiento Industrial

### VI. Máquinas / Subconjuntos de reserva

El Equipo de Reserva es aquella parte de la máquina (motor, bomba, etc.) con características similares al equipo primario, que se conserva en depósito o en otro lugar adecuado, y que puede sustituir al titular, sin perjuicio de la capacidad productiva o sin que afecte a la calidad del producto.

<b>Peso Relativo</b>	<b>1 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	Si existe = 0; No existe = 10
A completar por	Usuario de la Máquina

### VII. Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

Debe estimarse el tiempo medio de reparación del equipo, considerando todas las fallas más frecuentes que pueda sufrir.

<b>Peso Relativo</b>	<b>1 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	1 (< 3min); 4 (3 – 15 min); 7 (15 – 30 min); 10 (> 30min)
A completar por	Mantenimiento Industrial

### **VIII. Seguridad y Medio Ambiente**

Debe evaluarse si, en caso de falla del equipo, pueden generarse consecuencias que logran afectar la integridad física de las personas y/o perjudiquen al medio ambiente.

<b>Peso Relativo</b>	<b>10 (Prefijado)</b>
<b>Impacto</b>	<b>Existe riesgo = 10; Riesgo Medio = 5; No existe riesgo = 0</b>
A completar por	Seguridad y Ambiente

### **Grado de Criticidad del Conjunto de Centros de Mecanizado FIDIA**

A continuación se obtendrá el Valor de Criticidad de los Centros de Mecanizado teniendo en cuenta los 8 ítems o criterios definidos anteriormente. Para ello, fue necesario que las distintas áreas involucradas en el Proceso dieran a conocer el valor del Impacto que se genera a partir de cada uno de estos ítems (Figura 2.21)

Se puede observar que los Centros de Mecanizado presentan un Valor de Criticidad por encima de los 270, lo cual define una Clasificación de Criticidad o Nivel de Intervención A, por lo tanto los Equipos se deben ver afectados por un Mantenimiento Preventivo (TBM) y por un Mantenimiento Predictivo o Condicional (CBM) tal como figura en la IPE 470.059.





Mantenimiento Industrial													
Determinación de Criticidad de Máquinas y Equipos													
Referencias	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Conclusiones				
	Rendimiento para la Producción	Productividad	Máquinas en Stand-By	Funcionamiento Continuo	MTBF (Mean Time Between Failures)	Máquinas / Subconjunto de Reserva	MTTR (Mean Time To Recovery)	Seguridad / Medio Ambiente	Valor de Criticidad	Clasificación de Criticidad			
	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Ponderación de Impacto	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Valor de Criticidad	Clasificación de Criticidad
<p style="text-align: center;">↑</p>	Alto	Alto	No existe	Si existe	Alto > 2 fallos/sem	No existe	T > 30 min	Existe riesgo	10	10	10	377	A
	Medio	Medio	Si existe	No existe	Medio > 3 fallos/mes	Si existe	15-30	Riesgo Medio	5	0	7	277	A
	Bajo	Bajo	-	-	Algunas anuales	-	3-15	No existe	0	-	4	377	A
	-	-	-	-	Sin datos	-	T < 3min	-	-	-	1	277	A
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	277	A
	Peso Relativo 10	Peso Relativo 10	Peso Relativo 5	Peso Relativo 10	Peso Relativo 2	Peso Relativo 1	Peso Relativo 1	Peso Relativo 10	Peso Relativo 1	Peso Relativo 1	Peso Relativo 10		
	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo	Peso Relativo		
F8	10	10	5	10	2	1	1	5	1	10	7	5	A
F9	10	10	5	3	2	1	1	5	1	10	7	5	A
F9	10	10	5	10	2	1	1	5	1	10	7	5	A
F9	10	10	5	3	2	1	1	5	1	10	7	5	A
F9	10	10	5	3	2	1	1	5	1	10	7	5	A

Figura 2.21 – Criticidad del Conjunto de Centros de Mecanizado

## Análisis y Evaluación de los Equipos

Para llevar a cabo el análisis inicial de los equipos se han estudiado las *Paradas de Máquinas por intervención de Mantenimiento* y las *Pérdidas de Producción de Piezas Primarias por Paradas de Máquinas debido a fallos*. En el primer análisis se busca ver la cantidad de horas que dedica el Mantenimiento Industrial a intervenir en los Equipos a través de la aplicación de medidas contra Roturas y Preventivas, mientras que en el segundo análisis se observará la pérdida de producción de piezas primarias que se genera debido a fallos en las máquinas.

En el estudio de las Paradas de Máquinas por intervención de Mantenimiento se tomó una muestra de 5 meses en la cual se puede observar la cantidad de paradas, en horas, por máquina y la totalidad de paradas, en horas, del conjunto de Centros de Mecanizado. Por otro lado, es importante destacar que cada una de las máquinas tiene una capacidad de trabajo mensual de 400 hs., por ende en 5 meses cada uno de estos Equipos tendrá 2000 hs. de capacidad de mecanizado.

Cantidad de horas de Paradas de Máquinas por Mantenimiento						
Máquina	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Cant hs / Máquina
K-211	400	400	400	280	248	<b>1728</b>
K-199 <small>(131-10)</small>	48	200	260	128	7	<b>643</b>
K-199 <small>(131-11)</small>	24	200	163	1	0	<b>388</b>
GTF-27	8	100	60	63	15	<b>246</b>
GTF-40	120	100	150	34	22	<b>426</b>
<b>Cant hs / Conj Máq.</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>	<b>1033</b>	<b>506</b>	<b>292</b>	<b>3431</b>

*Figura 2.16 – Paradas de Máquinas en horas por Mantenimiento*

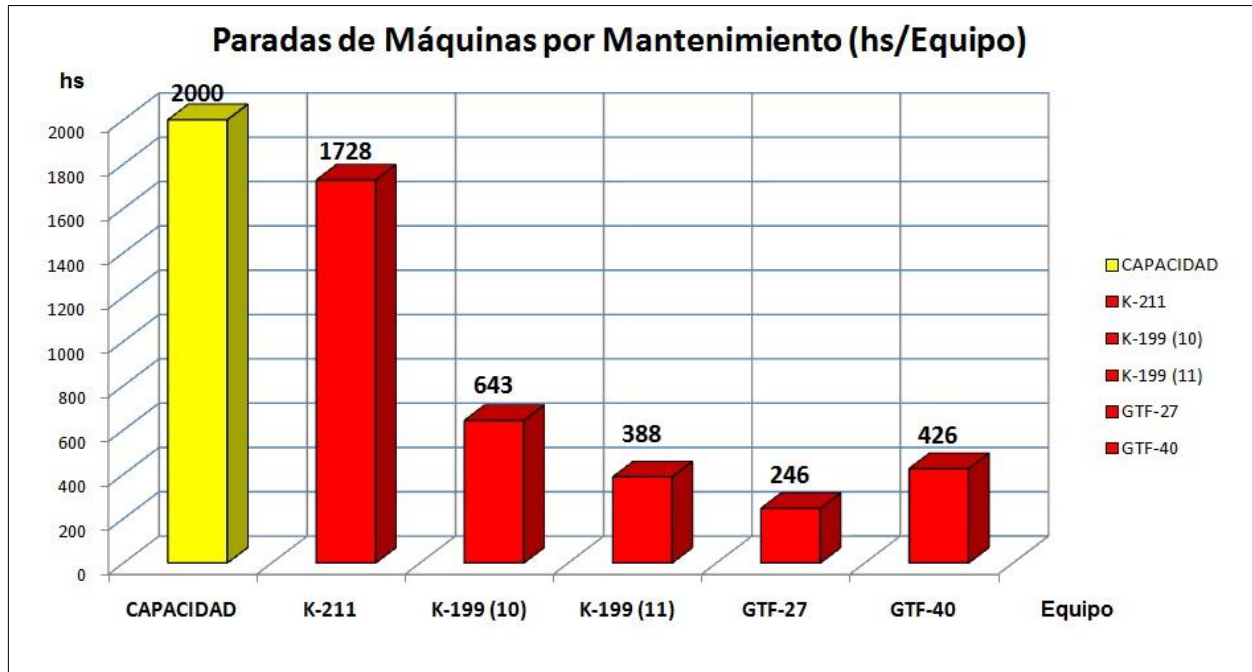


Figura 2.17 – Gráfico: Paradas de Máquinas por Mantenimiento (hs / Equipo)

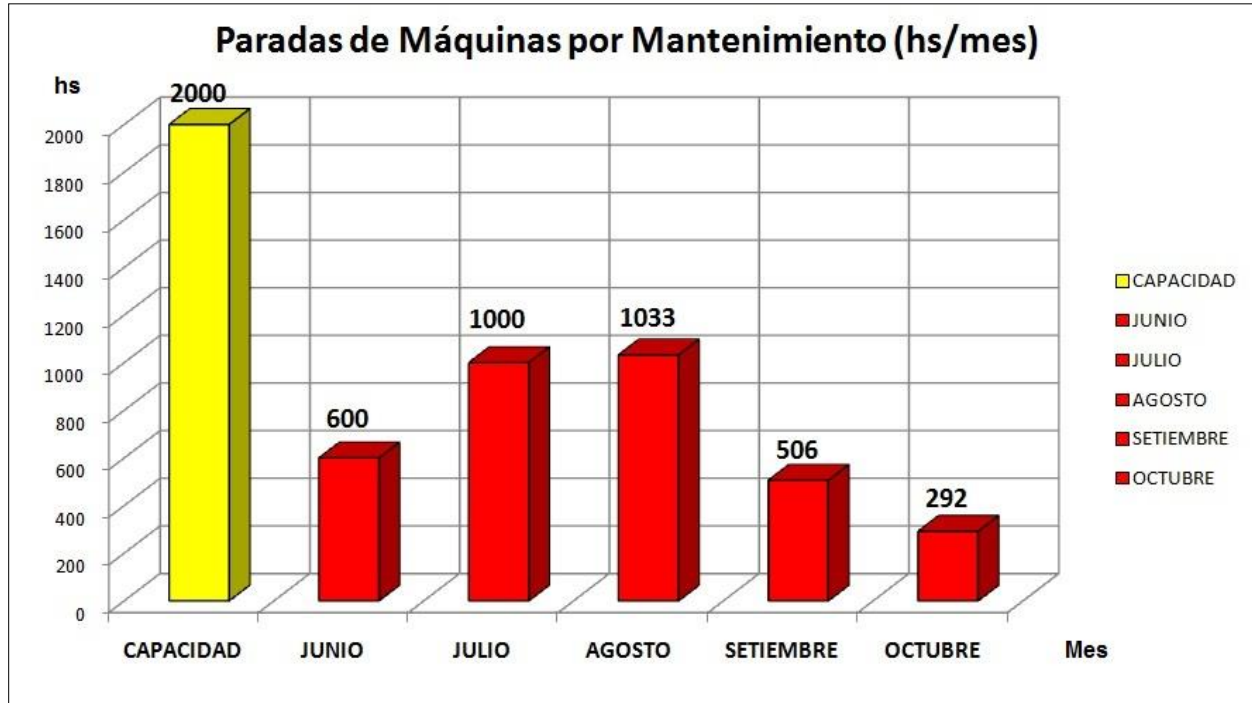


Figura 2.18 – Gráfico: Paradas del Conjunto de Máquinas por Mantenimiento (hs / Mes)

A partir de las figuras 2.16, 2.17 y 2.18, se puede observar que la máquina más afectada por paradas es la FIDIA K211, la cual se ha encontrado inactiva durante los meses de Junio, Julio y Agosto, obteniendo un porcentaje de Parada de Máquina según la capacidad del 86,40%, lo que equivale a las 1728 horas inactivas sobre las 2000 horas de capacidad de trabajo. Además, se puede ver que durante los meses de Julio y Agosto la inactividad del conjunto de Centros alcanza el 50% sobre la capacidad total de mecanizado, lo cual prevé una merma importante en la producción. Por otro lado, el Promedio en horas de Paradas de Máquinas es de 686,2 hs/mes, lo cual equivale al 34,31% sobre el total.

A la hora de analizar las Pérdidas de Producción de Piezas Primarias por Paradas de Máquinas debido a fallos, se buscará estudiar si el conjunto de Centros de Mecanizado ha podido cubrir la Demanda Productiva planificada previamente por el área de Planificación de la Producción. Para llevar a cabo este análisis se ha tomado una muestra de los cinco Centros de Mecanizado durante 10 meses.

Pérdida de Producción de Piezas Primarias por Parada de Máquina										
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CAPACIDAD	100%	100%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	100%	100%
INGRESO	13%	40%	25%	70%	75%	50%	100%	70%	60%	60%
EGRESO	13%	25%	25%	70%	73%	67%	35%	40%	59%	75%
Pérdida de Producir Piezas Primarias	0%	15%	0%	0%	2%	0%	65%	30%	1%	0%
Trabajo Pendiente Acumulado	0%	15%	15%	15%	17%	0%	65%	95%	96%	81%
Trabajo Extra	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	15%

**Figura 2.19 – Porcentaje de Pérdida de Producción de Piezas Primarias por Parada de Máquina**

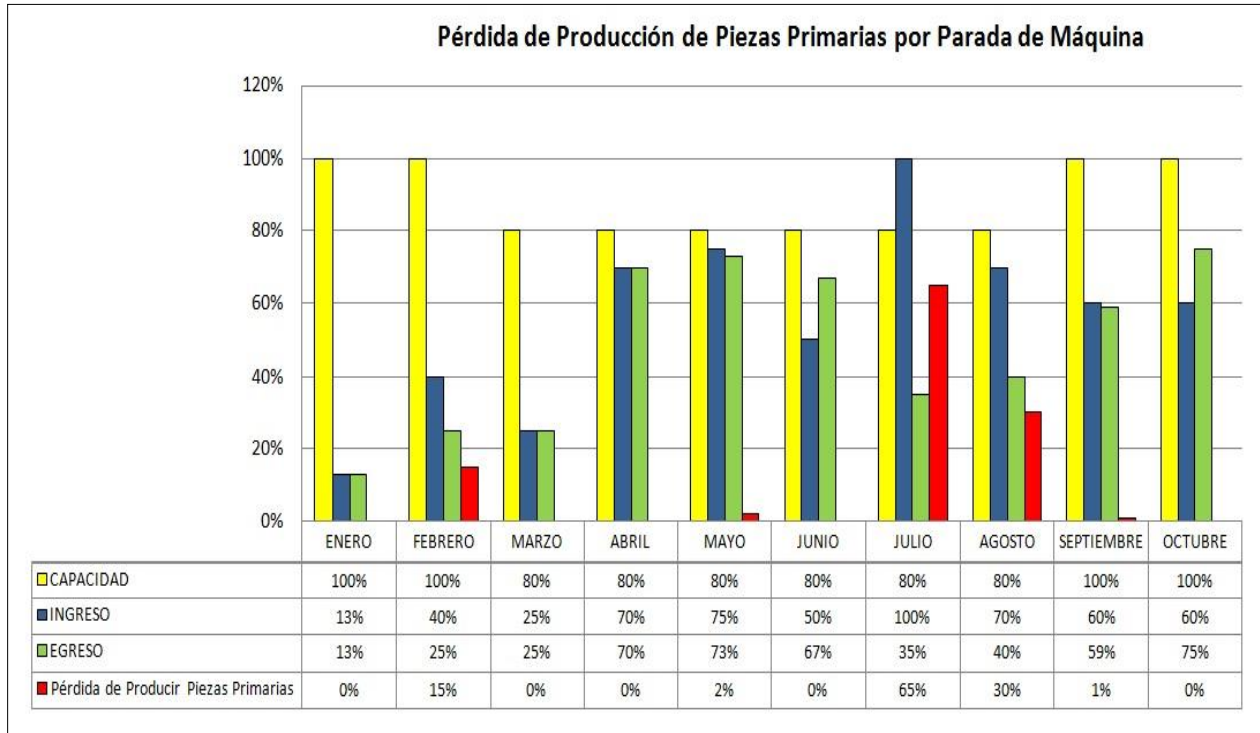


Figura 2.20 – Gráfico: Pérdida de Producción de Piezas Primarias por Paradas de Máquina

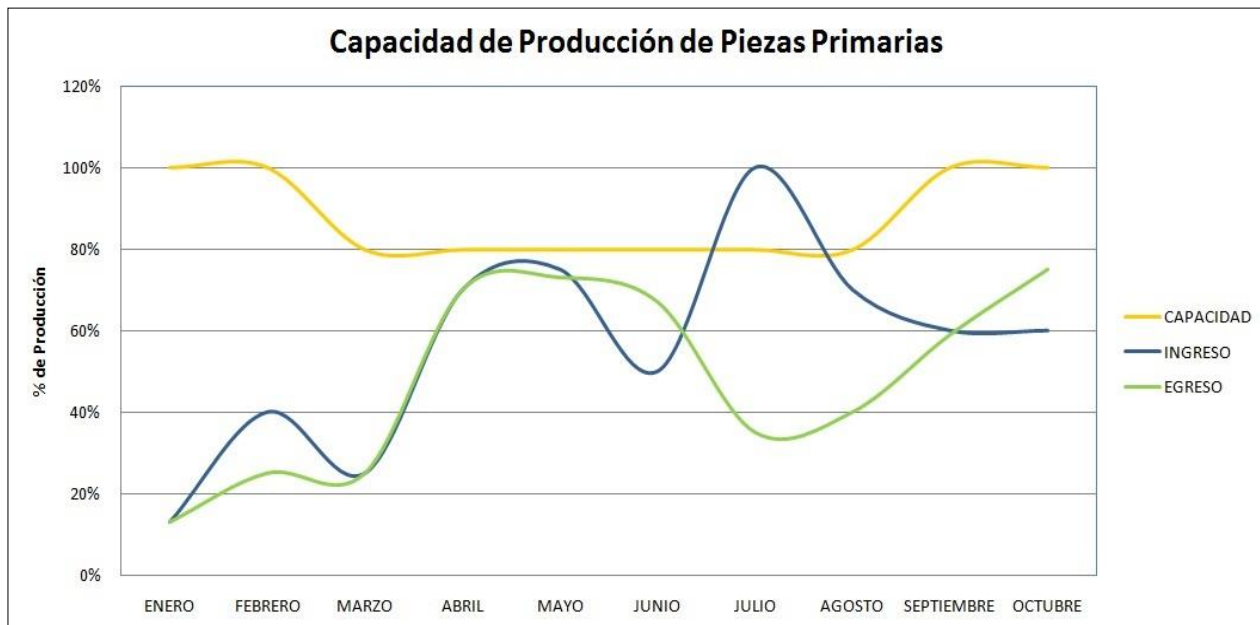


Figura 2.21 – Gráfico: Capacidad de Producción del Conjunto de Centros de Mecanizado

A partir de las figuras 2.19, 2.20 y 2.21, se puede concluir principalmente que las Máquinas no pueden cubrir la demanda productiva debido a la inactividad que surge por fallos en las mismas. Se observa que en un 50% de los meses no se ha podido alcanzar la totalidad deseada de producción, lo cual genera un stock de materia prima que deberá ser mecanizada posteriormente produciendo trabajo en horas extras, lo que equivale a mayores costos de Mano de Obra.

Finalmente, vale aclarar que se podrían haber adoptado más áreas de estudio para realizar el análisis inicial, como por ejemplo, Higiene y Seguridad, Medio Ambiente, entre otras, pero debido al grado de magnitud y al impacto que generan las Pérdidas de Producción por Paradas de Máquinas, no se consideran en este primer análisis.

## Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA)

Como conclusión, se realizó un FODA construido no solamente con el análisis previamente realizado, sino también a partir de diagnósticos otorgados por el personal de Mantenimiento y los usuarios de las máquinas.



Figura 2.22 – FODA

# CAPÍTULO 3

## DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

---

## Escenario Competitivo y Objetivos del MI

Antes de sumergirse en temas específicos del Mantenimiento Predictivo, es conveniente reflexionar acerca de cómo el Mantenimiento Industrial se inserta en la empresa. Si se logra concebir a la empresa no como un conjunto de funciones organizativas, sino como una combinación de procesos integrados entre sí, y orientados a la satisfacción del Consumidor Final, veremos que el mantenimiento constituye uno de los procesos fundamentales porque de él se desprenden tres tareas vitales:

- Asegurar que las instalaciones brinden las prestaciones esperadas durante el tiempo operativo.
- Garantizar la conservación del patrimonio de la Planta.
- Garantizar la compatibilidad de los costos de mantenimiento respecto del mercado.

La Norma ISO 9001:2008 en el Capítulo “6.3 Infraestructura” promueve la aplicación en forma constante de una Política de Mantenimiento adecuada a la infraestructura utilizada por la empresa, generando reducción de paradas imprevistas, manejo más racional del capital humano, compra ordenada de repuestos y prolongación de la vida útil de los equipos, los que decididamente contribuyen a asegurar el logro de la conformidad con los requisitos del producto o servicio.

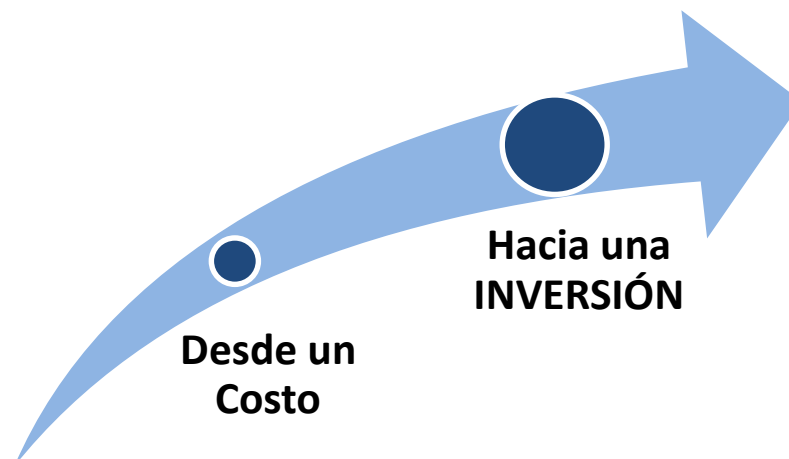
El objetivo general del Mantenimiento Industrial es planear, programar y controlar todas las actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en los procesos de producción. Mientras que los objetivos específicos son los siguientes:

- ✓ Realizar listados de los equipos que conforman el Proceso de Producción.
- ✓ Asignar códigos de identificación a cada uno de los equipos listados.
- ✓ Realizar fichas técnicas que contengan la información de las características generales, técnicas y operacionales de cada uno de los equipos codificados.



- ✓ Generar listados codificados con cada una de las actividades de mantenimiento eléctrico, mecánico, de lubricación, de instrumentación, de metrología y civil en todas las áreas de la empresa.
- ✓ Asignar las tareas de mantenimiento requeridas con su correspondiente fecha de inicio y frecuencia de ejecución para cada uno de los equipos codificados.
- ✓ Listar los repuestos, herramientas y tipo de personal requerido para la ejecución del mantenimiento.
- ✓ Realizar Órdenes de Trabajo del mantenimiento programado sistematizado.
- ✓ Digitar la información de las Órdenes de Trabajo en el correspondiente software de mantenimiento.
- ✓ Generar informes que permitan controlar el manejo del presupuesto para la Mano de Obra propia y contratada, los repuestos y los materiales empleados en el mantenimiento.

Para comprender plenamente la importancia que reviste el Mantenimiento en la actualidad es necesario reflexionar acerca del marco de competencia dentro del cual se debe dirigir la empresa. Hoy en día, el Mantenimiento es ante todo, una oportunidad competitiva, una palanca para lograr conseguir objetivos estratégicos, y que sus costos, a través de políticas oportunas, pueden constituir una forma subyacente de inversión productiva, tan potente como una inversión empresarial propiamente dicha.



**Figura 3.1** – Evolución de la Visión del Mantenimiento. Turconi et. al. (2008)

---

Es por ello que el mantenimiento debe proyectarse y estructurarse de modo que, sobre la base de los costos propios, gobernables y controlables, se reduzcan casi al límite, llegando a cero, los costos inducidos por la falta de utilización de instalaciones y por la mala calidad causada por la inestabilidad del proceso, con todas las pérdidas y la ineficacia que acompañan a tales aspectos de forma más o menos evidente.

A esto se agrega el valor intrínseco de una de las tareas específicas del mantenimiento, que consiste en la conservación y la continua mejora del patrimonio de la Planta, lo cual en una sociedad industrial madura constituye una alternativa indispensable a la sustitución de una unidad o a la mera renovación de las instalaciones productivas.

## **Tipos de Mantenimiento aplicables a los Equipos**

Los tipos de Mantenimiento surgieron, según Pontelli *et. al.* (2011), como consecuencia de su evolución misma. El orden cronológico se corresponde con el grado de complejidad y efectividad del mismo. A las formas más primitivas les siguen otras más elaboradas, sin embargo aquellas no dejan de utilizarse, sino que complementan a las posteriores.

Las fallas son algo no deseado y por lo tanto, el control que tengamos sobre su ocurrencia determina la primera gran división: la falla nos toma por sorpresa o bien, sabiendo que ocurrirá, nos anticipamos realizando acciones para evitarla. Así surgen primeramente el Mantenimiento a Rotura y luego el Mantenimiento Programado o Planificado.

Dentro del Mantenimiento Planificado se encuentran el Mantenimiento Preventivo o TBM (*Time Based Maintenance*, Mantenimiento Basado en el Tiempo) y el Mantenimiento Predictivo o CBM (*Conditions Based Maintenance*, Mantenimiento Basado en las Condiciones). El Mantenimiento Predictivo, de idéntica manera al Preventivo, realiza inspecciones en plazos preestablecidos con el fin de detectar fallas, pero se diferencia principalmente porque en el TBM los estándares requieren que, a

intervalos regulares, se registren datos y se realicen inspecciones periféricas, pequeños ajustes y limpieza. En cambio, en el CBM se predice la ocurrencia de una falla a través de la apreciación de síntomas o señales que la máquina emite y, según la complejidad de las mismas, serán detectadas con los sentidos humanos o con instrumentos.

#### Definiciones según la IPE N° 470.059 de la Fábrica

**Mantenimiento a Rotura:** Corrección de averías o fallas cuando éstas se presentan sin ser planificadas. También denominado **Mantenimiento Reactivo**, es decir que se actúa una vez ocurrido el hecho.

**Mantenimiento Correctivo Planificado:** Consiste en la reparación de averías o fallas cuando se dispone del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para llevarla a cabo.

**Mantenimiento Preventivo:** se entiende como la programación de inspecciones (tanto de funcionamiento como de seguridad), ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan establecido.

**Mantenimiento Predictivo:** Mantenimiento basado en el control de un parámetro de funcionamiento de la máquina o equipo.

**Mantenimiento de Mejora o Modernización:** Implica una mejora tecnológica en la máquina o equipo.



*Figura 3.2 – Tipos de Mantenimiento*

## Definición del Mantenimiento Predictivo

El Mantenimiento Predictivo, según García Garrido (2010), es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. Se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera medir y gestionar.

Turconi et. al. (2008) establece al Mantenimiento Predictivo como el conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

En varias ocasiones, es posible que las máquinas una vez instaladas y en producción no sean operadas y cuidadas inicialmente de acuerdo a lo que se recomienda, lo que redundará en una pérdida de las condiciones técnicas originales de instalación. Por ende, los equipos fallarán antes de lo previsto de manera inesperada y con consecuencias más o menos graves dependiendo todo esto de múltiples factores. Por lo tanto, si se trabaja en todos los niveles del ciclo de vida del equipo de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción, instalación, manutención y operación, se estará reduciendo la probabilidad de la aparición de fallas, aunque la eliminación absoluta de éstas sea imposible. En efecto, pese a toda prevención, el acontecimiento de múltiples factores puede disparar el mecanismo que deriva en una falla y por ello es necesario poder anticiparse a su ocurrencia. Éste es el fin del Mantenimiento Predictivo, es decir, es un conjunto de técnicas destinadas a pronosticar fallas y alertar al Mantenimiento Programado para evitarlas. De esta manera se puede establecer el punto a partir del cual la probabilidad de que el equipo falle tiene niveles indeseables.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o predecir, con cierto margen de error, cuándo un equipo fallará; por ese motivo se denominan *técnicas predictivas*. En la figura 3.3 se indica la gráfica de un valor de vibración correspondiente a un cojinete que presenta una tendencia alcista. Cuando se alcanza un determinado valor es conveniente reemplazar el cojinete. Si no se realiza esta acción, el cojinete terminará fallando.

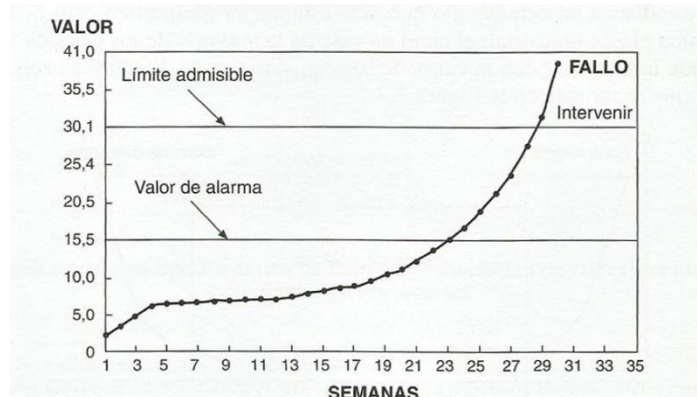


Figura 3.3 – Gráfica de tendencia de un valor de amplitud de un cojinete. García Garrido (2010)



## Ventajas y características principales del CBM

Según García Garrido (2010), el Mantenimiento Predictivo evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, lo cual produce grandes ahorros de dinero en Mantenimiento. Tiene la ventaja indudable frente al TBM que en la mayoría de las ocasiones no es necesario realizar grandes desmontajes, y en muchos casos, ni siquiera se debe parar la máquina. Si tras la inspección se aprecia algo irregular se propone o se programa una intervención. Además de prever el fallo catastrófico de una pieza, y por tanto, pudiendo anticiparse a éste, las técnicas de Mantenimiento Predictivo ofrecen una ventaja adicional: la compra de repuestos se realiza cuando se necesita, eliminando stocks (capital inmovilizado).

Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas Plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos. El Mantenimiento basado en la condición optimiza al Mantenimiento Preventivo de manera que determina el momento preciso de cada intervención en los Activos Industriales.

Desde el punto de vista técnico, una actividad de Mantenimiento será considerada como predictiva siempre que se den ciertos requisitos:

- La medida sea no intrusiva, es decir, que se realice con el equipo en condiciones normales de operación.
- El resultado de la medida pueda expresarse en unidades físicas, o también en índices adimensionales correlacionados.
- La variable medida ofrezca una buena repetibilidad.
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo típico de fallo del equipo, es decir, ofrezca alguna capacidad de diagnóstico.

Desde el punto de vista organizativo, un sistema de gestión de Mantenimiento será Predictivo siempre que:



- La medida de las variables se realice de forma periódica en modo rutina.
- El sistema permita la coordinación entre el servicio de verificación predictiva y la planificación del mantenimiento.
- Las organizaciones del mantenimiento (planificación, taller) y de la de producción (operación) estén preparadas para reaccionar ante la eventualidad de un diagnóstico crítico.

Las Técnicas Predictivas son:

- Análisis de Vibraciones.
- Análisis Termográfico Infrarrojo.
- Análisis de Fluidos y Aceites.
- Detección de ultrasonidos.
- Análisis de Motores Eléctricos.
- Otras.

Cada una de estas técnicas tiene su aplicación en la detección y diagnóstico de un conjunto determinado de fallos. Cuando dos o más técnicas permiten el diagnóstico de un mismo fallo, se comportan como complementarias y aumentan la fiabilidad de la medición.

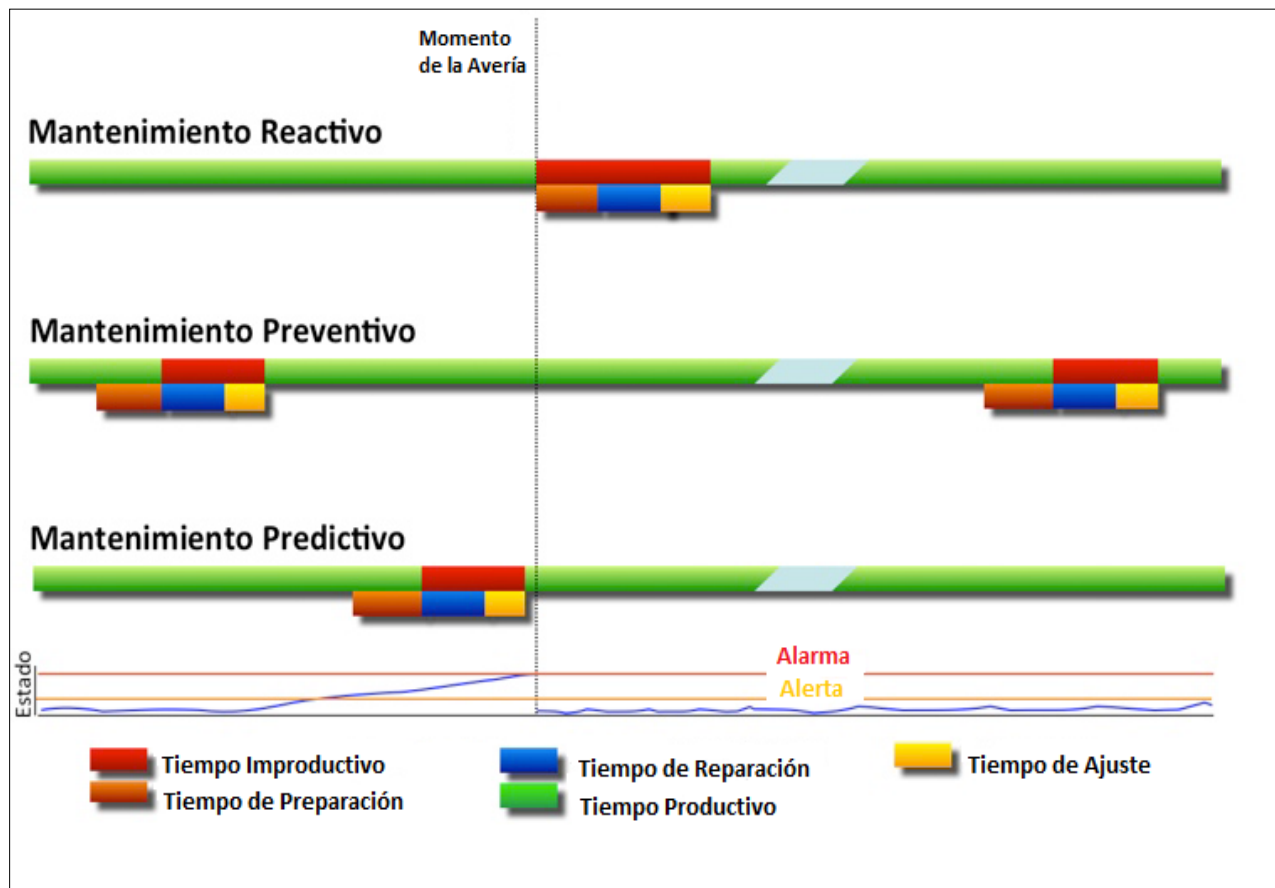
El Análisis de Vibraciones es la técnica que aporta más información sobre el estado de la maquinaria rotativa, por lo que éste suele ser la técnica principal sobre la cual se apoyan la mayoría de los Departamentos de Mantenimiento Predictivo de las Plantas Industriales. Pero un error muy frecuente es considerar que el análisis de vibraciones es la única técnica predictiva aplicable en un Plan de Mantenimiento Predictivo y se menosprecian otras técnicas que son también de gran utilidad.

El registro de datos objetivos en las inspecciones periódicas genera la información necesaria para crear los Informes Predictivos, los cuales indican qué máquinas deberán intervenir y con qué prioridad y plazo.

## Estrategias Reactiva, Preventiva y Predictiva.

Los tipos de Mantenimiento que se apliquen en los equipos o máquinas, van a definir la Estrategia a seguir: Reactiva (Mantenimiento a Rotura), Preventiva o Predictiva.

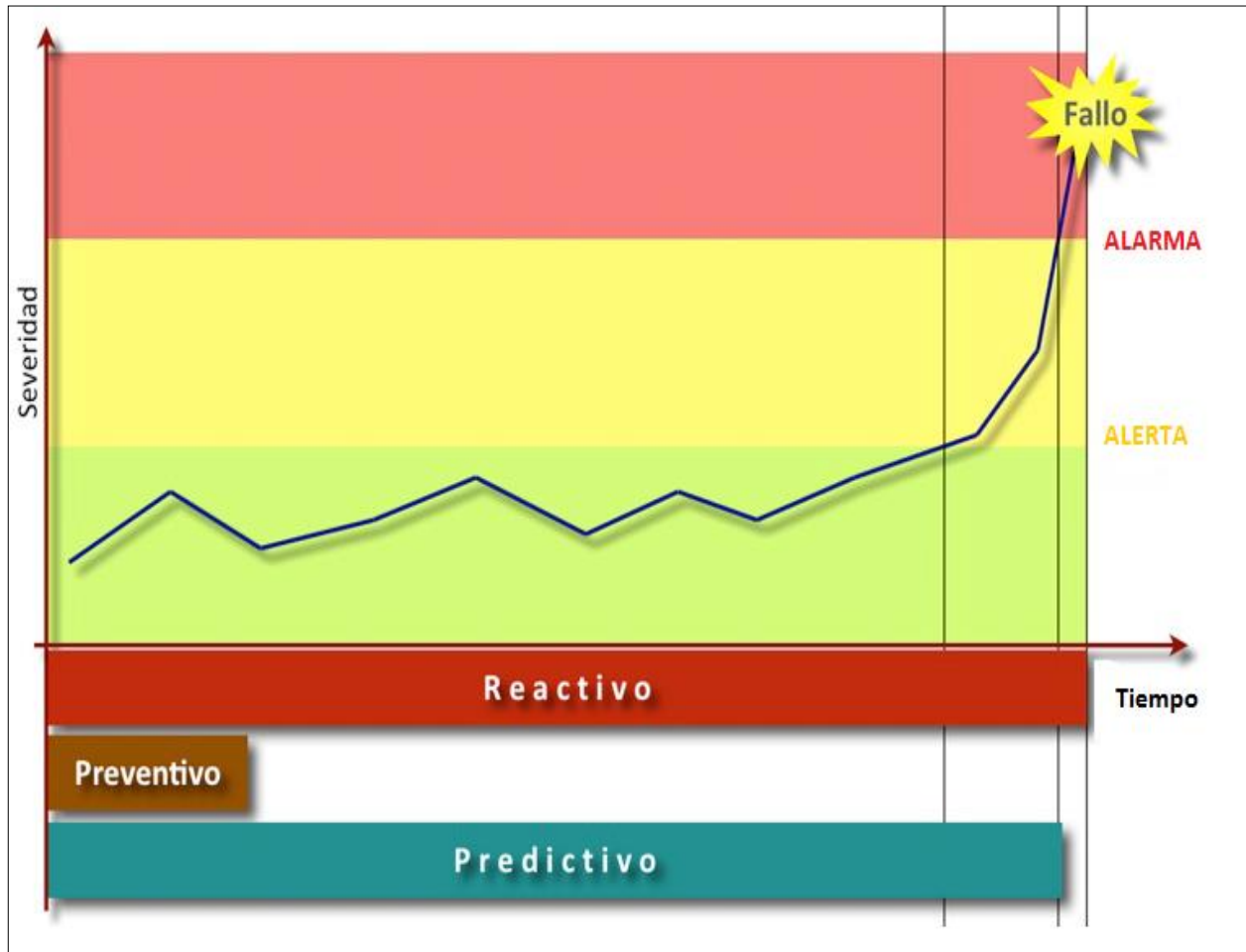
En la figura 3.4 se observa el impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según las distintas estrategias. Según Ballesteros Robles (2011), cuando las estrategias seleccionadas son la Preventiva y/o Predictiva el tiempo de preparación no es un tiempo improductivo, puesto que al programarse la misma ya se conoce sobre qué componentes se ha de actuar y por lo tanto, se preparan los trabajos con antelación. Sin embargo, el Mantenimiento Preventivo a intervalos fijos realiza más intervenciones de las realmente necesarias, por lo cual pierde rentabilidad frente al Mantenimiento Basado en la Condición o Predictivo.



**Figura 3.4** – Impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva. Ballesteros Robles (2011)



En el gráfico de la figura 3.5 se observa cómo actúa cada una de las estrategias en la vida útil del activo. Al aplicar la estrategia Predictiva se puede extender la vida útil de un activo hasta cinco veces más que si se sigue una estrategia Preventiva. La estrategia Reactiva es la que aprovecha mejor la duración de los activos, pero ignora el riesgo de hacer funcionar una máquina hasta el momento de su avería.



**Figura 3.5** – Impacto de las estrategias reactiva, preventiva o predictiva en la vida útil del equipo. Ballesteros Robles (2011)

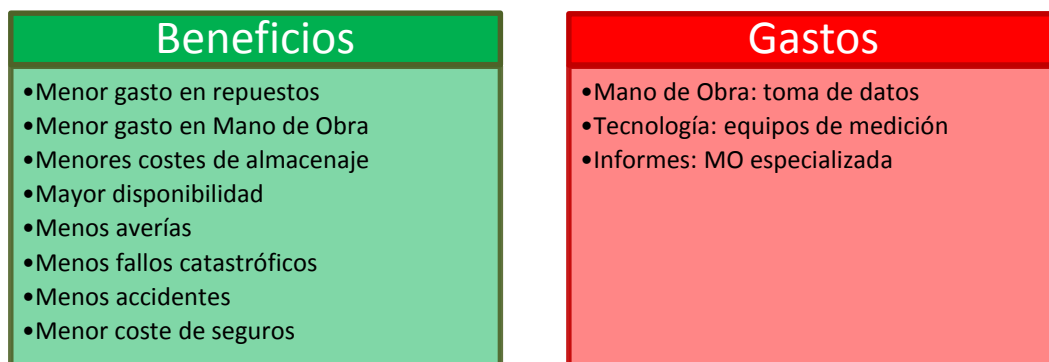
## Beneficios y Gastos de Implementar una Estrategia Predictiva

Ballesteros Robles (2014) afirma que implementar una Estrategia de Mantenimiento Predictivo viene acompañado de Gastos que se justifican a partir de los Beneficios que otorga el CBM.

En cuanto a los **Beneficios**, se destacan la reducción de las averías, lo cual lleva a un menor gasto de Mano de Obra debido a que la intervención en las máquinas disminuirá. A su vez, esta reducción de averías asegura menos fallos catastróficos, por ende, menos accidentes y menor coste de seguros. Por otro lado, el hecho de poder prever cuando un equipo fallará, disminuye el gasto en repuestos y los costes de almacenaje. Finalmente, las máquinas tendrán períodos productivos de mayor tiempo, por lo tanto, habrá mayor Disponibilidad.

En cuanto a los **Gastos**, se pueden distinguir la Mano de Obra (toma de datos), que es aquel personal que deberá realizar mediciones con el fin de obtener datos de los equipos críticos, la Tecnología, que son los equipos o herramientas con los cuales se obtendrán los datos del estado de las máquinas críticas, y por último, la Mano de Obra Especializada (Informes), es aquel analista que interpreta datos y los transforma en información fiable, puede ser personal de la Empresa o subcontratado.

En la figura 3.4 se establecen los Gastos y Beneficios que surgen de implementar la Estrategia Predictiva.

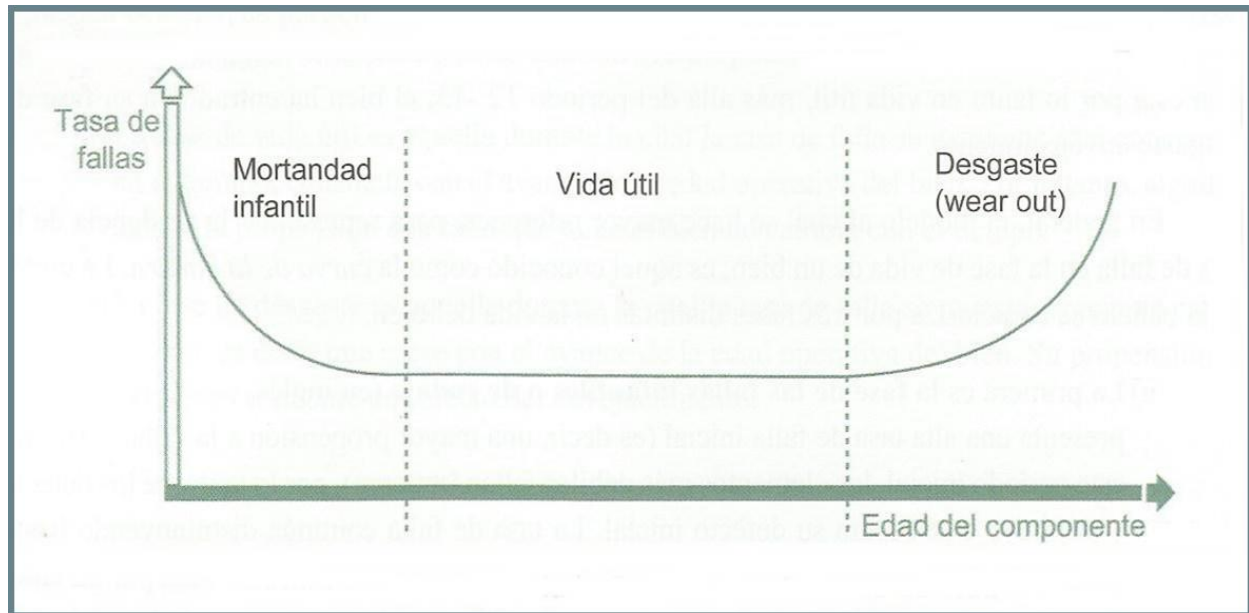


**Figura 3.4** – Balance de Gastos y Beneficios ante la aplicación de la Estrategia Predictiva en el M.I. Ballesteros Robles (2014)

## Curva de Davis o Curva de la Bañadera

Según García Garrido (2010), la razón fundamental por la que el Mantenimiento Predictivo ha tenido un notable desarrollo en los últimos tiempos se debe a un error cometido tradicionalmente por los ingenieros de mantenimiento para estimar la realización de tareas de carácter preventivo: la *curva de Davis* o *curva de la bañadera* (Figura 3.5), la cual representa la tasa de falla de los equipos a lo largo del tiempo. Esta curva, que se suponía cierta y lógica, ha resultado no corresponder con la mayoría de los elementos que componen un equipo. La misma se conforma de tres etapas distintas en la vida del bien:

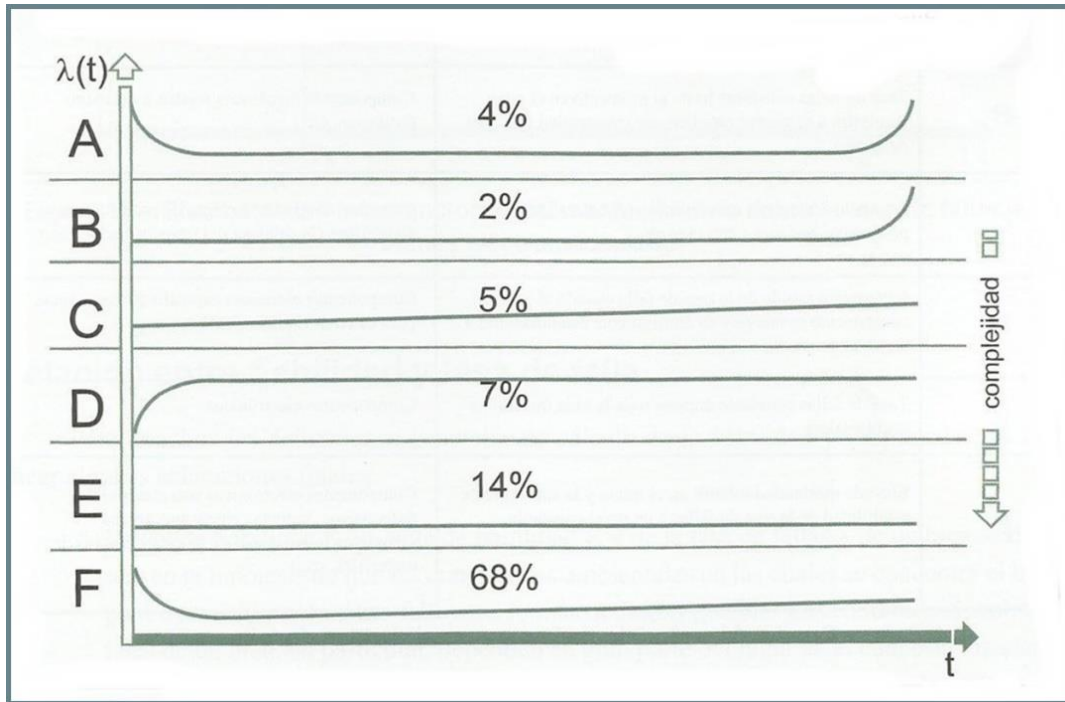
- a) ***Etapas de Inicio o de mortandad Infantil:*** las fallas se producen en el inicio de las operaciones y su probabilidad es alta, pero con una fuerte pendiente de reducción. En la fase de ajuste del equipo estas anomalías se deben a desviaciones en la fabricación, montaje, instalación o a equivocaciones en el diseño, aunque también se pueden atribuir a defectos en los componentes provistos por terceros. En este período la curva de probabilidad tendrá una caída pronunciada debido a que serán reemplazadas aquellas partes deficientes y serán corregidos los defectos de fabricación o diseño.
- b) ***Etapas de Operación normal o de madurez:*** se presenta un andar estabilizado de la curva donde los desperfectos del equipo y de sus elementos constitutivos registran un nivel casi constante de desviaciones.
- c) ***Etapas de Desgaste:*** la vida del equipo estará signada por una tasa de falla creciente por desgaste de los componentes hasta un punto en que si no se actúa con anticipación, se producirá inoperatividad del medio. Aquí se hace necesario efectuar una evaluación de los costos para mantener el equipo en operación en función de la vida útil remanente del mismo ya que no solo se debe considerar el costo de las reparaciones, sino la pérdida de productividad y de calidad del producto.



**Figura 3.5** – Curva de la Bañera: Fases del ciclo de vida. Turconi et. al. (2008)

Al darse como cierta esta curva para cualquier equipo, se suponía que transcurrido un tiempo (la vida útil del equipo), éste alcanzaría su etapa de envejecimiento, en la que la fiabilidad disminuiría mucho, y por tanto, la probabilidad de fallo aumentaría en igual proporción. De esta manera, para alargar la vida útil del equipo y mantener controlada su probabilidad de fallo, era conveniente realizar una serie de tareas en la zona de envejecimiento, algo parecido a un “lifting”, para que la fiabilidad aumentara.

La estadística ha demostrado que, tras estudiar el comportamiento de los equipos en una planta industrial, el ciclo de vida de éstos no se corresponde únicamente con la curva de la bañera, sino que se diferencian seis tipos de curvas, que se indican en la figura 3.6.



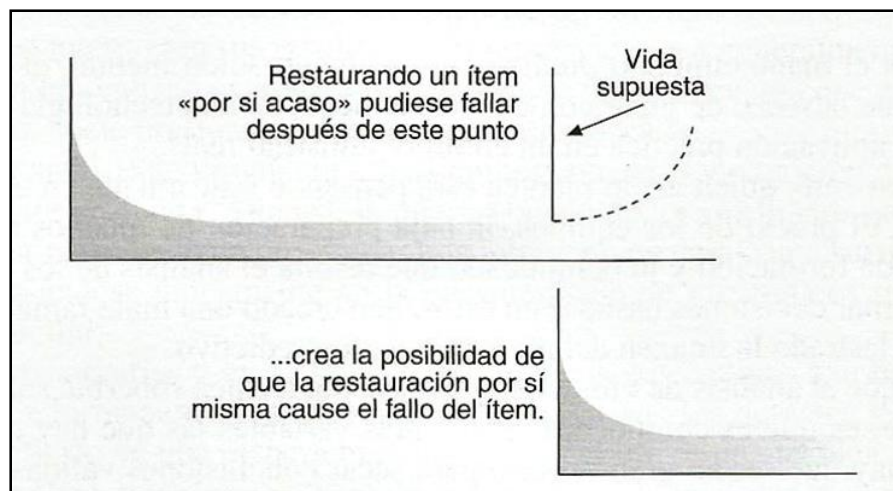
**Figura 3.6–** Modelo de la Curva Real de Tasa de Falla. Turconi et. al. (2008)

Cada una de estas curvas presenta diferentes comportamientos y se muestra en distintos tipos de bienes (Figura 3.7).

Modelo	Descripción del Comportamiento	Tipo de bien (ejemplos)
<b>A</b>	Elevada incidencia de fallas al inicio (rodaje) seguida de una fase de tasa de fallas constante, hasta zona en la cual la tasa de fallas empieza a crecer rápidamente (deterioro relativo a la edad avanzada)	Partes de equipos de construcción simple
<b>B</b>	Tasa de fallas constante hasta el momento en el cual comienza a aumentar rápidamente (mortandad final por desgaste)	Componentes mecánicos sujetos a deterioro (cojinetes, etc.)
<b>C</b>	Aumento lento de la tasa de fallas (debido al desgaste progresivo que viene con el uso)	Consumo/degradación lenta de protecciones o aislaciones (la celulosa del transformador, etc.)
<b>D</b>	Incremento rápido de la tasa de falla cuando el componente es nuevo y su consiguiente estabilización a un nivel constante	Componentes eléctricos específicos (resistencia para calentar líquidos, etc.)
<b>E</b>	Tasa de fallas constante durante toda la vida útil (fallas accidentales)	Componentes electrónicos
<b>F</b>	Elevada mortandad infantil en el inicio y la subsiguiente estabilidad de la tasa de fallas a un nivel constante	Componentes electrónicos con materiales defectuosos, sistemas electromecánicos complejos (con errores de diseño, defectos de materiales, etc.)

**Figura 3.7–** Descripción del Comportamiento de los Modelos de la Curva Real de Tasa de Falla. Turconi et. al. (2008)

Como se puede observar, la mayor parte de los elementos que constituyen los equipos no se comportan siguiendo la curva de Davis. Los equipos más complejos se comportan siguiendo el modelo E, en el que la probabilidad de fallo es constante a lo largo de su vida, y el modelo F, en el que tras una etapa inicial con mayor probabilidad de fallo infantil, la probabilidad de fallo se estabiliza y permanece constante. Eso hace que no sea identificable un momento ideal en el cual realizar una revisión sistemática del equipo, con la sustitución de determinadas piezas, ya que la probabilidad de fallo permanece constante. Incluso, puede ser contraproducente si la curva de probabilidad sigue el modelo F, debido a que se estaría introduciendo mayor probabilidad de fallo infantil al sustituir determinadas piezas, como se indica en la Figura 3.8.



**Figura 3.8**– Curva tipo F tras una revisión. La probabilidad de fallo aumenta justo después de la revisión. García Garrido (2010)

García Garrido (2010) afirma que muchas plantas industriales eligen abandonar la idea de un Mantenimiento Preventivo Sistemático en una buena parte de los equipos debido a la ineficacia obtenida y por representar un coste fijo elevado y poco justificado; en cambio, se prefiere recurrir a diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo como alternativa.

## Objetivos del seguimiento de una variable física

Los objetivos que se buscan al monitorear una variable física relacionada con el estado de la máquina son los siguientes:

- ✓ **Vigilancia.** Cuando se mide una variable física con este objetivo se busca que la técnica predictiva empleada indique la existencia de un problema. Debe distinguir entre condición buena o mala para funcionar, e incluso, de ser mala, indicar el grado del desperfecto.
- ✓ **Protección.** Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida si la misma se detiene automáticamente cuando los valores que indican su condición llegan a ser considerados peligrosos.
- ✓ **Diagnóstico de Fallos.** Su objetivo es identificar, no solo si existe un problema o no, sino también indicar cuál es el problema específico que presenta el equipo.
- ✓ **Pronóstico.** El objetivo es estimar cuánto tiempo más podrá funcionar la máquina sin riesgo de un fallo catastrófico.

## Análisis de las Condiciones

La forma de predecir la aparición de fallas más utilizada es mediante el relevamiento de las condiciones o síntomas que manifiestan los componentes de los equipos, de ahí el nombre de *Mantenimiento basado en las Condiciones (CBM)*. Según Pontelli *et. al.* (2011), esta es la base difundida del Mantenimiento Predictivo y a diferencia del análisis estadístico que requiere una gran masa de datos históricos para establecer la probabilidad de falla, el CBM realiza relevamientos de los parámetros significativos de los elementos considerados críticos del equipo. Cada órgano de máquina tiene características funcionales y dimensionales establecidas en el diseño y se deben mantener a lo largo de toda la vida útil del equipo. Si se considera el conjunto de las **especificaciones originales de diseño de un componente de máquina**  $\{E_0\}$  tal que:

$$\{E_0\} = \{E_{01}, E_{02}, E_{03}, \dots, E_{0n}\}$$

Y el conjunto de las mismas **especificaciones de diseño que han cambiado con el tiempo**, {E}:

$$\{E\} = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$$

Por lo que al cabo de un determinado tiempo:

$\{E_0\} \rightarrow \{E\}$ ; es decir:

$$E_{01} \rightarrow E_1$$

$$E_{02} \rightarrow E_2$$

.....

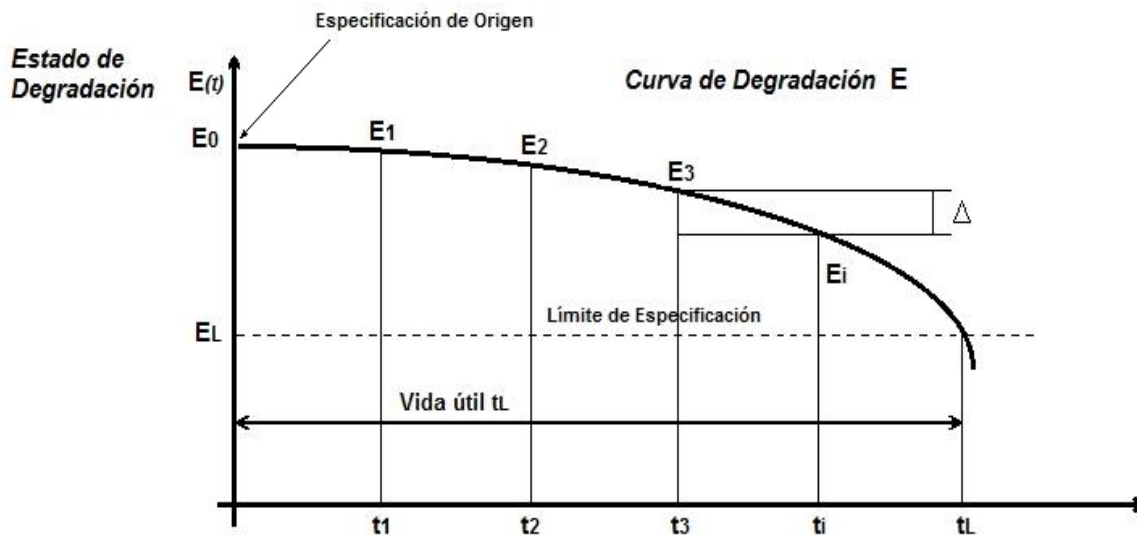
$$E_{0n} \rightarrow E_n$$

Por ende, habrá una diferencia entre el estado inicial de un parámetro dado y la condición del mismo al cabo de un tiempo  $t$  que se denominará **Degradación de la especificación de la pieza** y que naturalmente determina la capacidad del componente para seguir funcionando. La degradación de la variable  $E_i$  a lo largo del tiempo establece una curva  $E_{(t)}$  permitiendo proyectar en el tiempo en que momento el valor del parámetro es inaceptable (Figura 4.1). Las variables de  $E$  pueden ser consideradas a partir de ítems operativos como consumos energéticos o de lubricantes o bien como desviaciones de dimensiones o funcionales tal como desgaste de superficies, juego o desalineamiento de partes mecánicas, vibraciones, ruidos o temperaturas por sobre las especificadas.

Se considera de forma genérica un parámetro  $E_i$  y su valor límite  $E_L$  por debajo del cual el funcionamiento de la pieza es inaceptable desde el punto de vista técnico-económico.

Por convenio se ha fijado la degradación como un fenómeno que disminuye la especificación original.





**Figura 3.9** – Curva de Degradación. Pontelli et. al. (2011)

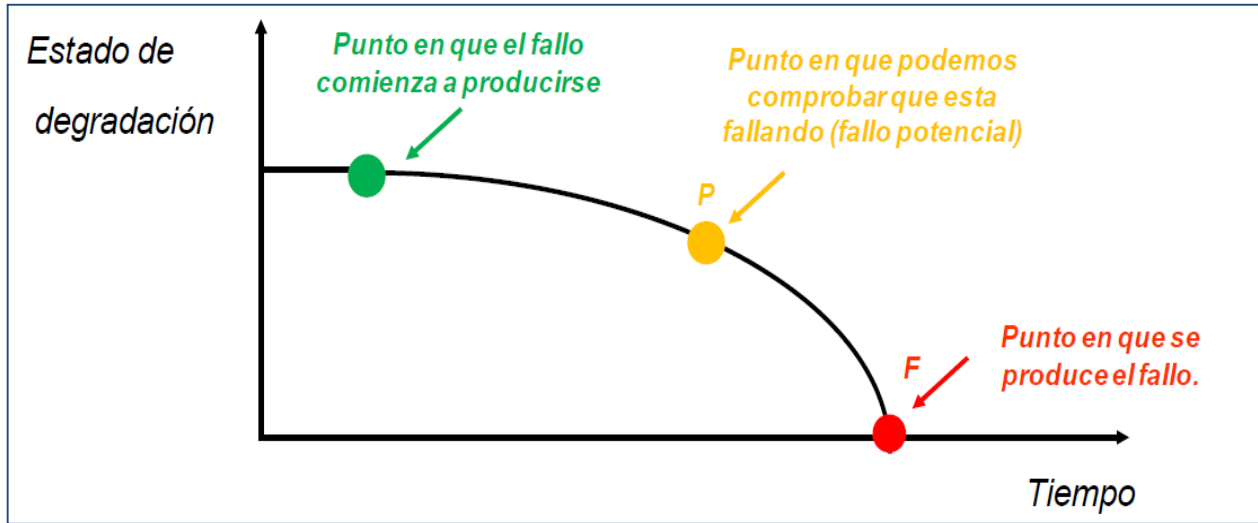
La Degradación entre dos estados consecutivos es:

$$\Delta = E_i - E_{i-1}$$

Por otro lado, las condiciones que hacen que el equipo tenga una degradación mayor que el límite ( $E > E_L$ ) pueden deberse a que se ha excedido el tiempo de la vida útil del elemento y estamos en la zona donde la falla será inminente y deberá actuar el mantenimiento a roturas. Pero, puede ocurrir que la curva de degradación tenga un cambio brusco en su pendiente y se traspase el piso de  $E_L$  antes de terminar con la vida útil  $t_L$  prevista, tal vez debido a algún fenómeno imprevisto no ponderado.

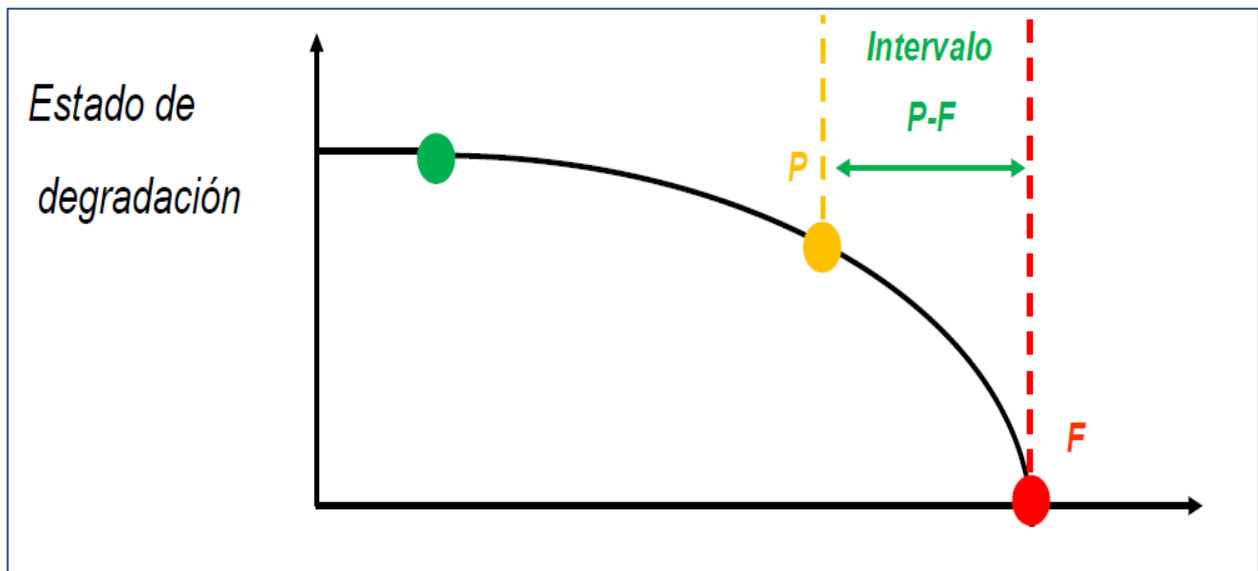
Con todo lo expuesto es posible, mediante inspecciones rutinarias, determinar los valores que las especificaciones tienen a lo largo del tiempo y a través de éstas realizar extrapolaciones previendo cuando  $E(t)$  corta a  $E_L$  y por ende la vida útil del elemento.

Por otro lado, los fallos potenciales pueden prevenirse o hasta evitarse detectándolos cuando sus síntomas comienzan a ser evidentes (Figura 3.10).



**Figura 3.10 – Estado de Degradación**

La frecuencia de una tarea a condición está determinada por el intervalo  $P - F$  y en la práctica se toma como frecuencia de control a la mitad de este intervalo. Cuando el intervalo  $P - F$  es muy pequeño y las consecuencias del fallo son graves se debe usar monitoreo continuo. La efectividad del método depende de que se pueda medir  $P - F$  con precisión, lo cual va a permitir planificar una intervención.



**Figura 3.10 – Estado de Degradación: intervalo  $P - F$**

Por consiguiente, lo que se pretende con el CBM es:

- ✓ Anticiparse a la falla midiendo las señales que los componentes emiten.
- ✓ Determinar la vida útil de los componentes críticos.
- ✓ Devolver información a los entes técnicos a fin de corregir o evitar las degradaciones  $E_i$ .
- ✓ Aumentar la vida útil de la máquina, evitar las pérdidas operativas, de calidad, seguridad o ambientales.
- ✓ Mantener el valor del activo disminuyendo su depreciación.

La experiencia dice que si no se determina la Curva de Degradación, o sea el andar del elemento y su duración, el Mantenimiento Periódico TBM será un gasto más que una inversión. Establecida claramente la Curva de Degradación se puede predecir el funcionamiento de los puntos críticos y en consecuencia realizar rutinas de inspección más ajustadas.

# CAPÍTULO 4

## TÉCNICAS PREDICTIVAS



---

## Análisis previo al desarrollo de Técnicas Predictivas

A la hora de realizar Mantenimiento Predictivo o Condicional en las máquinas debe considerarse la posible existencia o no de señales débiles, es decir, la posibilidad de que el progreso de la falla potencial muestre o no *señales* perceptibles o mensurables de algún modo. En caso afirmativo, habiendo verificado la factibilidad del control, se lleva a cabo la supervisión de la señal débil para conocer su tendencia en el tiempo y realizar la intervención del mantenimiento en el momento más oportuno, produciendo la situación típica del Mantenimiento Predictivo o Condicional.

No siempre la maquinaria presenta señales débiles monitoreables, por ello el trabajo del Área de Mantenimiento deberá ser el resultado de un enfoque dinámico del problema, con retroactividad y mejora continua.

El monitoreo puede desarrollarse con distintas modalidades:

- ✓ El operador percibe la señal débil.
- ✓ El técnico de mantenimiento realiza la observación visual sistemática.
- ✓ Las mediciones u observaciones se realizan con el uso de instrumentos y del diagnóstico técnico.

Turconi *et. al.* (2008) afirma que el diagnóstico técnico es por tanto el instrumento más evolucionado a disposición del Mantenimiento para la prevención de fallas.

Una correcta política de Mantenimiento se basa en inspecciones y diagnóstico técnico. Del 40% al 60% del Mantenimiento, según tipologías operativas y con picos del 80% en el sector aeronáutico, se lleva a cabo, en un proceso de ingeniería, siguiendo políticas predictivas. La posibilidad efectiva de aplicar estas políticas está relacionada a la disponibilidad de tecnologías de diagnóstico.

Así como en el campo de las mediciones existe un sistema de tolerancia, para las anomalías de funcionamiento se puede definir un modelo con niveles de anormalidad aceptables, de modo que no comprometan las prestaciones del equipo.

Es importante por tanto descubrir las anomalías, para compararlas con los estándares de aceptación que forman parte de las especificaciones del producto o del equipo, integrado en un proceso productivo específico. Es por esta exigencia que han nacido los sistemas de supervisión y diagnóstico no invasivos, es decir, un conjunto de exámenes, pruebas y detecciones que se realizan empleando métodos que no alteran los materiales y que no requieren destrucción, ni el retiro de muestras.

Con estas técnicas es posible realizar los controles en ejercicio, siguiendo periódicamente y, en algunos casos, de manera continua el desarrollo de la vida del componente bajo examen, e interviniendo para repararlo o sustituirlo en el momento en que dé señales manifiestas de deterioro crítico.

Según Pontelli *et. al.* (2011), las Técnicas Predictivas no sustituyen a los demás Mantenimientos, sino que los complementan y se justifican en aquellos equipos que tienen una Condición Crítica frente a la producción pues son ensayos de un valor económico elevado. Con los datos que se obtienen se confeccionan los Planes de Mantenimiento y las Intervenciones Programadas.

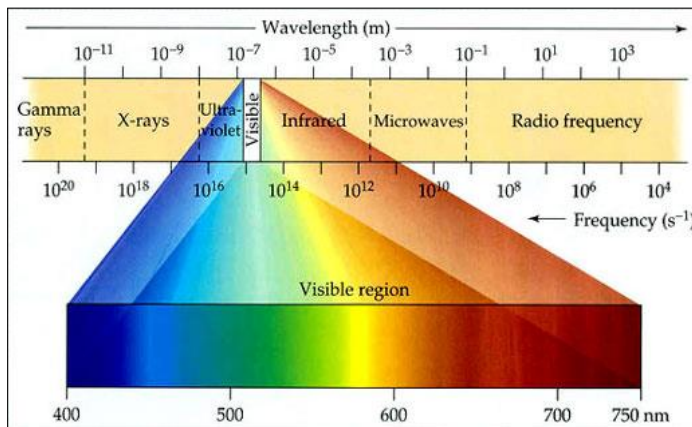
Existe un elevado número de Técnicas Predictivas, pero a la hora de desarrollarlas en los equipos, se debe evaluar cuales de éstas son realmente necesarias aplicar, es decir que serán técnica y económicamente factibles.

En el presente Proyecto se llevará a cabo el desarrollo de las dos técnicas de mayor relevancia que muestra el CBM, el Análisis de Vibraciones y la Termografía. Se analizó la posibilidad de implementar, además, el Análisis de Aceites, pero al no contar los equipos con elevada cantidad de este líquido (20 L) se decidió, en conjunto con el personal de Mantenimiento, que no es una técnica necesaria de realizar.

---

## Análisis Termográfico

Las inspecciones termográficas se basan en que todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción. La distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas se denomina Espectro Electromagnético (Figura 4.1). La Termografía Infrarroja es aquella técnica que produce una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible para el ojo humano, emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial. La Cámara Termográfica es la herramienta que realiza esta transformación.



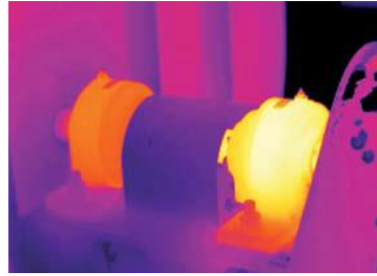
**Figura 4.1 – Espectro Electromagnético**

*El Espectro Electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda (Wavelength), como los Rayos Gamma y los Rayos X, pasando por la Luz Ultravioleta, la Luz Visible, los Rayos Infrarrojos y las Microondas, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud, como son las Ondas de Radio.*

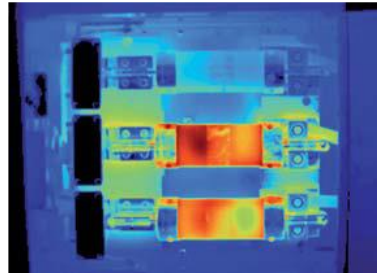
La cantidad de energía se relaciona directamente con la Temperatura del objeto. Cuanto más caliente está la superficie del mismo, mayor cantidad de energía emite, y menor longitud de onda tiene. La Cámara Termográfica (Figura 4.2) permite “observar” esa energía, transformándola en imágenes visibles. Estas imágenes se denominan termografía o termograma (Figura 4.3) y a través de las mismas se puede ver la distribución de Temperatura en la superficie de un objeto.



**Figura 4.2** – Cámara Termográfica



**Figura 4.3 (a)**  
Termografía donde se muestra un sobrecalentamiento en un sistema mecánico. Fluke (2009).



**Figura 4.3 (b)**  
Termografía donde se muestra un cuadro eléctrico trifásico con desequilibrio de carga. Fluke (2009).

Esta Técnica ha sido asociada en el pasado a costosas aplicaciones militares y científicas. Hoy en día presenta una gran cantidad de aplicaciones industriales, por ejemplo, a través de imágenes térmicas es posible detectar e impedir el fallo de un circuito eléctrico o de un elemento mecánico.

La Termografía permite detectar, sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la Temperatura, midiendo los niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo. En general, un fallo electromecánico antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce habitualmente en una elevación de Temperatura, que puede ser súbita, pero generalmente y dependiendo del objeto, se presenta de forma gradual, manifestando pequeñas variaciones con el tiempo. Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se pueden revelar fallos que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o mediano plazo una parada de planta y/o un siniestro afectando personas e instalaciones. El Análisis Termográfico permite la reducción de los tiempos de parada de máquina al minimizar la probabilidad de paradas imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones del mantenimiento.

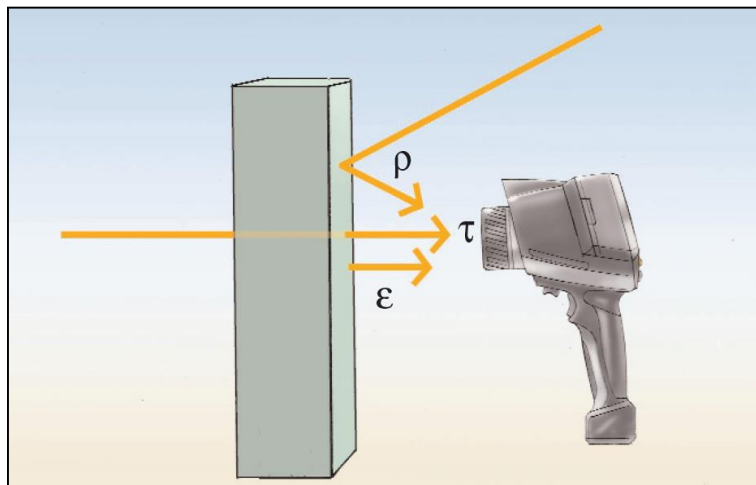


## Principios de Funcionamiento de la Cámara Termográfica

Cualquier objeto cuya temperatura sea superior al cero absoluto (0 Kelvin = -273.15°C) emite radiación infrarroja, invisible al ojo humano. La cantidad de energía irradiada se basa en dos factores principales: la Temperatura de la superficie del objeto y la emisividad ( $\epsilon$ ) de dicha superficie. El procesador térmico de imágenes detecta la energía infrarroja proveniente de un objeto y utiliza esta información para estimar la Temperatura de dicho elemento.

### Emisión, reflexión y transmisión

La radiación registrada por la Cámara Termográfica consiste en la radiación de onda larga emitida, reflejada y transmitida que surge de los objetos presentes en el campo de visión de la cámara (Figura 4.4).



**Figura 4.4** – Emisión, Reflexión y Transmisión. Testo (2008)

#### ➤ Emisividad ( $\epsilon$ )

La emisividad es la medida de la capacidad de un material de emitir (propagar) radiación infrarroja.

La  $\varepsilon$  varía según las propiedades de la superficie, el material y, (para algunos materiales) según la Temperatura del objeto medido. La mayoría de los objetos medidos tales como metal pintado, madera, agua, piel y telas son muy eficientes para irradiar energía y es muy fácil obtener mediciones exactas. Para superficies que son eficientes para irradiar energía (alta emisividad), el factor  $\varepsilon$  se estima en un 95% (o 0,95). Este valor estimativo funciona para la mayoría de los propósitos. Sin embargo, esta simplificación no funciona para superficies brillantes o metales sin pintar. Estos materiales no son eficientes para irradiar energía y están clasificados como de baja emisividad. La  $\varepsilon$  se puede configurar manualmente en la Cámara Termográfica.

➤ **Reflexión ( $\rho$ )**

La Reflexión ( $\rho$ ) es la medida de la capacidad de un objeto de reflejar la radiación infrarroja.

La  $\rho$  depende de las propiedades de la superficie, la Temperatura y el tipo de material. Por lo general, las superficies lisas y pulidas reflejan mucho más que las irregulares y sin pulir del mismo material. La Temperatura de la Radiación Reflejada se puede configurar manualmente en la Cámara Termográfica (RTC). En muchas aplicaciones la RTC se corresponde con la Temperatura ambiente.

➤ **Transmisión ( $\tau$ )**

La Transmisión ( $\tau$ ) es la medida de la capacidad de un material de transmitir (permitir el paso) de la radiación infrarroja.

La  $\tau$  depende del tipo y grosor del material. Muchos materiales son no transmisivos, es decir, impermeables a la radiación infrarroja de onda larga ( $\tau = 0$ ).

### **Ley de radiación de Kirchhoff's**

La radiación infrarroja registrada por la Cámara Termográfica consiste en:

- La radiación emitida por el objeto medido;
- La reflexión de la radiación ambiente y
- La transmisión de radiación del objeto medido (Figura 4.4).

El resultado de la suma de estos factores es siempre 1 (= 100%), es decir:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Dado que en la práctica la Transmisión juega un papel despreciable, la variable  $\tau$  se omite en la fórmula, que se simplifica a:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

En Termografía, esto quiere decir:

A menor emisividad ( $\varepsilon$ )

- Mayor proporción de radiación infrarroja reflejada,
- Mayor dificultad en la toma de mediciones precisas de Temperatura y
- Mayor importancia adquiere la configuración correcta de la Compensación de la Temperatura Reflejada (RTC).

Como conclusión, se puede decir que:

- La medición de objetos con emisividad elevada ( $\varepsilon > 0,8$ ) presenta un nivel de reflexión ( $\rho$ ) bajo y se puede medir su Temperatura muy fácilmente con la Cámara Termográfica.
- La medición de objetos con emisividad media ( $0,8 > \varepsilon > 0,6$ ) presenta un nivel de reflexión ( $\rho$ ) medio y se puede medir su Temperatura muy fácilmente con la Cámara Termográfica.

- La medición de objetos con emisividad baja ( $\varepsilon < 0,6$ ) presenta un nivel de reflexión ( $\rho$ ) alto y se puede medir su Temperatura con la Cámara Termográfica, pero los resultados se deben valorar muy cuidadosamente.
- Es primordial ajustar la Compensación de la Temperatura Reflejada (RTC) de forma correcta, puesto que es un factor de vital importancia para el cálculo de la Temperatura de la superficie.

## **Determinación práctica de la $\varepsilon$ y la RTC**

Existen tres mecanismos para determinar la emisividad de la superficie de un objeto de medición:

1. Consultar una Tabla de emisividades (Anexo 2), teniendo en cuenta que los valores son orientativos, la emisividad de la superficie del objeto que se quiere medir puede ser diferente al valor de la tabla.
2. Determinar la emisividad mediante una medición de referencia con un termómetro de contacto.
3. Determinar la emisividad mediante una medición de referencia con una Cámara Termográfica.

### **Determinar la emisividad con una medición de referencia**

#### **✓ Mediante un termómetro de contacto**

En primer lugar se debe medir la Temperatura ( $T$ ) de la superficie del objeto con un Termómetro de contacto. A continuación, se medirá la Temperatura de la superficie con la Cámara Termográfica con un ajuste de  $\varepsilon = 1$ . La diferencia entre ambos valores de Temperatura es el resultado de la emisividad configurada demasiado alta. Se debe reducir gradualmente el ajuste de  $\varepsilon$  hasta que ambos valores de  $T$  coincidan. Cuando esto se cumple, el ajuste de  $\varepsilon$  corresponderá a la  $\varepsilon$  de la superficie del objeto medido.

✓ **Mediante una Cámara Termográfica**

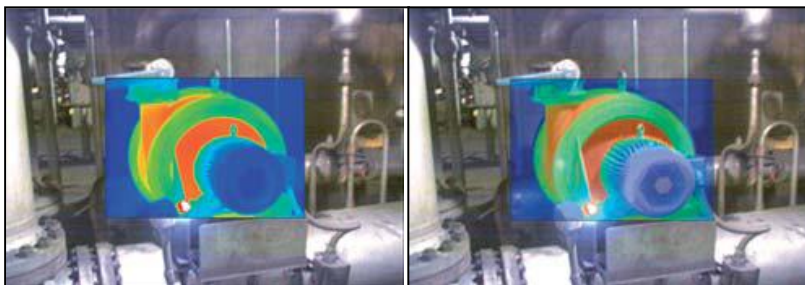
Primero se debe pegar un trozo de cinta adhesiva de emisividad conocida al objeto a medir. Luego de unos minutos, se deberá medir la Temperatura del área donde se encuentra la cinta con la Cámara Termográfica con una  $\varepsilon$  ajustada al valor de emisividad de la cinta. La Temperatura medida es el valor de referencia. A continuación, se deberá ajustar la  $\varepsilon$  hasta que la cámara mida la misma Temperatura que el valor de referencia en cualquier zona que no presenta cinta. El valor de  $\varepsilon$  ajustado corresponde a la emisividad de la superficie del objeto medido.

**Determinar la Temperatura de la Radiación Reflejada (RTC)**

Una vez evitada cualquier posible fuente de interferencia que podría afectar a la medición, la Temperatura de la Radiación infrarroja Reflejada es la misma que la Temperatura ambiente. Se puede medir esta Temperatura con un Termómetro ambiente y ajustar la RTC en la Cámara Termográfica basándose en ese valor obtenido.

**Características de la Cámara Termográfica FLUKE Ti 32**

La Fábrica cuenta con una Cámara Termográfica FLUKE Ti 32 que presenta tecnología IR Fusion, una combinación de imágenes de luz visible e infrarrojas. La captura automática de la imagen de luz visible con cada imagen infrarroja permite saber siempre con exactitud lo que se está viendo.



**Figura 4.5**

*La primera imagen mantiene un marco de referencia colocando la imagen infrarroja dentro de la imagen de luz visible, mientras que la segunda funde las imágenes de luz visible e infrarroja, para crear una imagen más comprensible y convincente.*

A continuación se presentan las Especificaciones generales de la Cámara:

Especificaciones generales	
Temperatura de trabajo	De -10 °C a +50 °C (de 14 °F a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F) sin baterías
Humedad relativa	10% a 95% sin condensación
Software	SmartView®; software completo de análisis y generación de informes incluido
Baterías	Dos baterías recargables de ión-litio inteligentes; con indicador de nivel de carga de cinco LEDs
Duración de las baterías	Más de cuatro horas de uso ininterrumpido por batería (con retroiluminación de pantalla al 50%)
Tiempo de carga de las baterías	2,5 horas para carga completa
Vibraciones	0,03 g2/Hz (3,8 g)
Impactos	25 g
Caída	2 metros con la lente estándar
Tamaño (L x An x Al)	27,7 cm x 12,2 cm x 17 cm
Peso (batería incluida)	1,05 kg
Ciclo de calibración recomendado	Dos años (suponiendo un funcionamiento y envejecimiento normales)

Finalmente, la Figura 4.6, muestra las características de la herramienta:



**Figura 4.6 – Características Cámara Termográfica FLUKE Ti 32**

---

## **Análisis de Vibraciones**

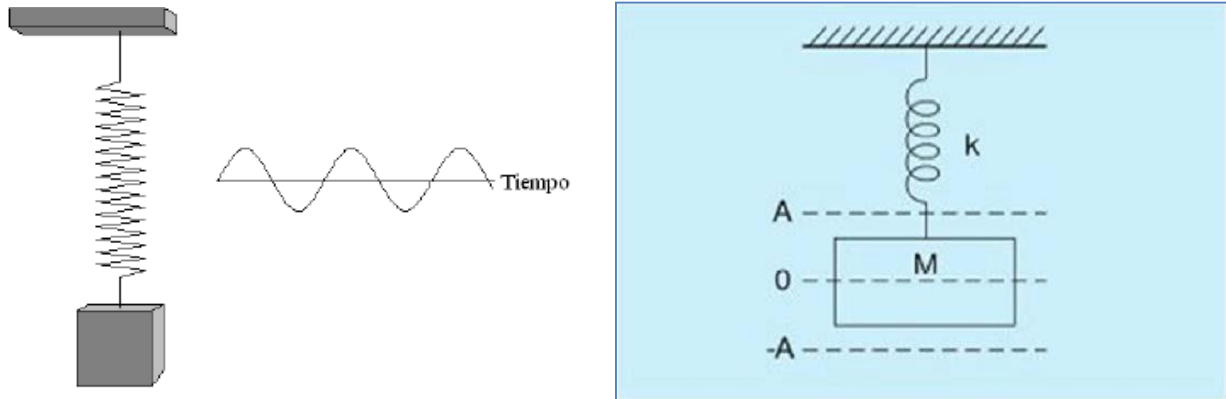
La presencia de cualquier anomalía en un sistema dinámico, da lugar a una variación en la intensidad vibratoria de dicho sistema. El análisis de vibraciones mecánicas constituye, para muchos componentes de equipos, un método indispensable para la detección temprana de las anomalías de funcionamiento debido a defectos de distintos tipos, además, ofrece importantes ventajas como una gran reducción en costos de Mantenimiento Correctivo, altas reducciones en inventario de partes de repuesto al tener un mejor conocimiento del estado de la maquinaria, reducción de Órdenes de Trabajo de emergencia y tiempo extra, reparaciones más eficientes y reducción de costes de Mantenimiento, incremento en la capacidad de producción debido a menos rechazos por fallas ocasionadas por excesiva vibración y, finalmente, mejores condiciones de seguridad, al no forzar a las máquinas a trabajar hasta el punto de fallar.

Este método se basa en la realización de mediciones rutinarias de los niveles de vibración presentes en los diversos componentes de una máquina y la identificación de tendencias en estos valores. A partir de estos datos se pueden realizar diagnósticos detallados e identificar los problemas presentes en el equipo.

Una vibración se caracteriza por ser un movimiento de gran Frecuencia y pequeña Amplitud alrededor de una posición de equilibrio. Basado en esta definición, es que se debe hacer notar la diferencia entre vibración y oscilación. La oscilación describe un movimiento con Amplitudes mayores y Frecuencias menores, y en general hay conversión de energías cinética en potencial gravitatoria y viceversa, mientras que en las vibraciones el intercambio energético se da entre energía cinética y energía potencial elástica y se caracterizan por Amplitudes pequeñas y Frecuencias altas.

A pesar de esto, por su simplicidad, se utiliza el modelo de movimiento oscilatorio para describir las propiedades que caracterizan a las vibraciones ya que ambos casos se pueden analizar como señales ondulatorias o sumas de estas. Por ello es que una vibración se puede modelar como el movimiento u oscilación repetitiva de un objeto

(máquina o estructura) en relación a una posición de equilibrio (Figura 4.7). En general es visualmente indetectable, pero es posible sentirla al tacto, y a veces, puede oírse.



**Figura 4.7** – Modelo físico de un Movimiento Armónico Simple. White (2010)

La mayoría de las vibraciones de las máquinas son periódicas, esto significa que la vibración se repite a sí misma en intervalos de tiempo definidos (períodos) con recorridos positivos o negativos desde una posición en reposo. Las vibraciones se originan por las fuerzas actuantes en la máquina, las que pueden ser generadas interna o externamente. Por lo tanto, la vibración es un síntoma del funcionamiento o condición de la máquina.

La base fundamental de una señal de vibración en el dominio del tiempo es la onda sinusoidal. Este tipo de onda es la señal más simple que se puede encontrar y representa el movimiento oscilatorio puro. Este tipo de movimiento se puede representar con una masa suspendida a través de un resorte (Figura 4.7), si se desplazara el centro de masa hasta la posición A, comprimiendo o alargando el resorte, en condiciones ideales tendríamos un movimiento armónico simple de amplitud A.



## Parámetros de las Vibraciones

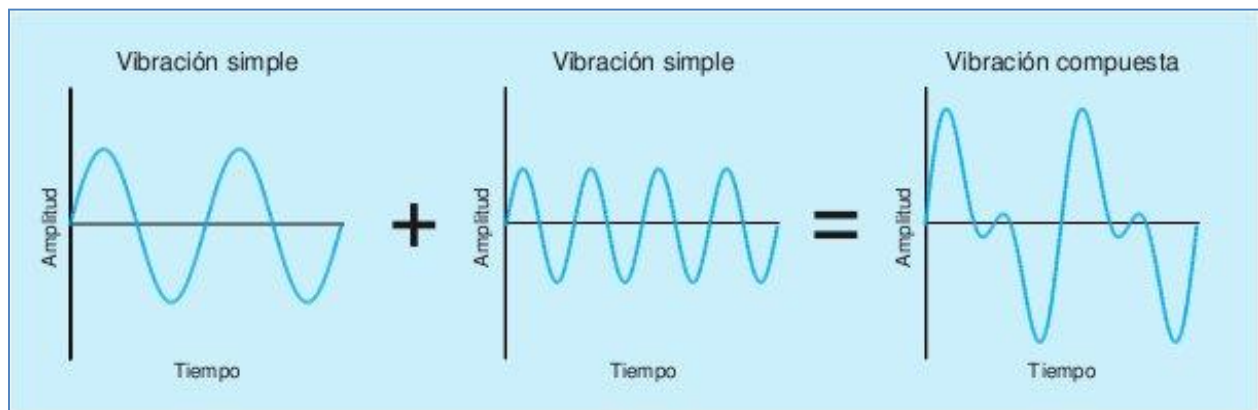
Una señal vibratoria está compuesta por los siguientes parámetros:

- **Período / Frecuencia:** el tiempo que tarda la masa en ir y volver al punto A siempre es constante. Este tiempo recibe el nombre de período de oscilación (medido generalmente en segundos o milisegundos). Al recíproco del período se le llama Frecuencia ( $F = 1/P$ ) y representa el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. Generalmente se mide en Hertz (ciclos por segundo) o en rpm (revoluciones por minuto).
- **Amplitud:** es la cantidad de movimiento que puede tener una masa desde una posición neutral (marcada como 0 en la Figura 4.7). Es la Intensidad de la Vibración, y es indicativa de la severidad misma.
- **Desplazamiento:** es la distancia al objeto desde una posición de referencia o punto de equilibrio. También definido como una cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula respecto a un sistema de referencia.
- **Velocidad:** es un vector que especifica la derivada del desplazamiento en el tiempo, es decir, la proporción de cambio en el desplazamiento. Se mide por lo general en mm/s.
- **Aceleración:** es un vector que especifica la derivada de la velocidad en el tiempo, y define cómo varía la velocidad. Se mide en mm/s<sup>2</sup>.

## Espectro de Vibraciones

El fenómeno vibratorio en una máquina está compuesto de una serie de vibraciones simples asociadas a sus componentes internos en movimiento. Teniendo en cuenta esto, se puede inferir que la forma de onda de vibración de un equipo será de mayor complejidad que una señal sinusoidal. Se puede observar en la Figura 2.8 que dos señales de vibración de diferentes frecuencias se suman formando una vibración

compuesta. Incluso en casos tan sencillos como éste, no resulta fácil obtener las frecuencias y amplitudes de las dos componentes a partir de la forma de onda resultante. La gran mayoría de las señales de vibración son mucho más complejas y pueden llegar a ser extremadamente difíciles de interpretar. Este tipo de patrón es mejor interpretarlo como Espectro de Frecuencia y no como ondas en el tiempo.

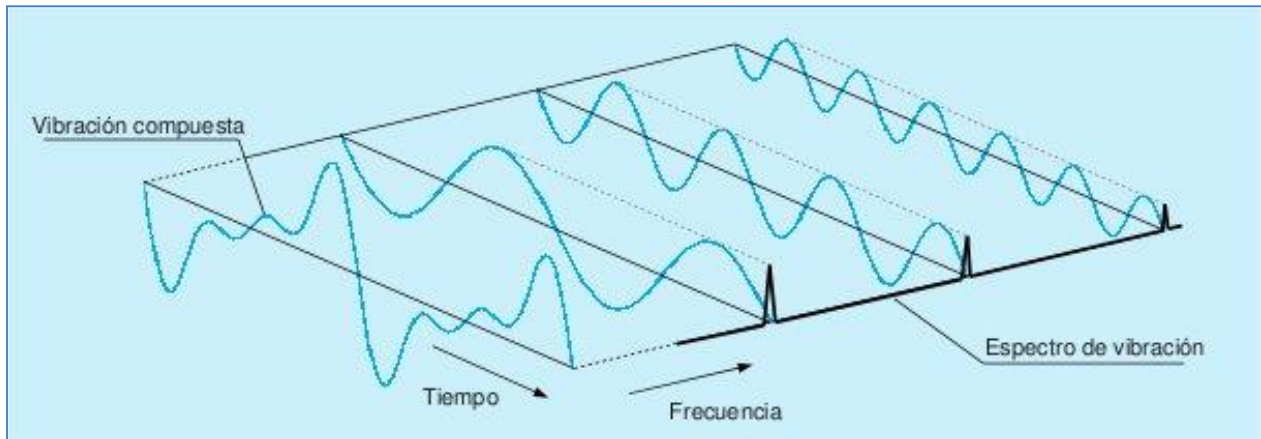


**Figura 4.8** – Suma de ondas simples en el dominio del tiempo. White (2010).

Si se capta una señal de una máquina industrial se tendrá plasmada en las gráficas de vibraciones en el dominio del Tiempo (Amplitud como ordenada y tiempo en abscisas) toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Sin embargo, existe un problema a la hora realizar un diagnóstico: estas señales están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente resulta imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos.

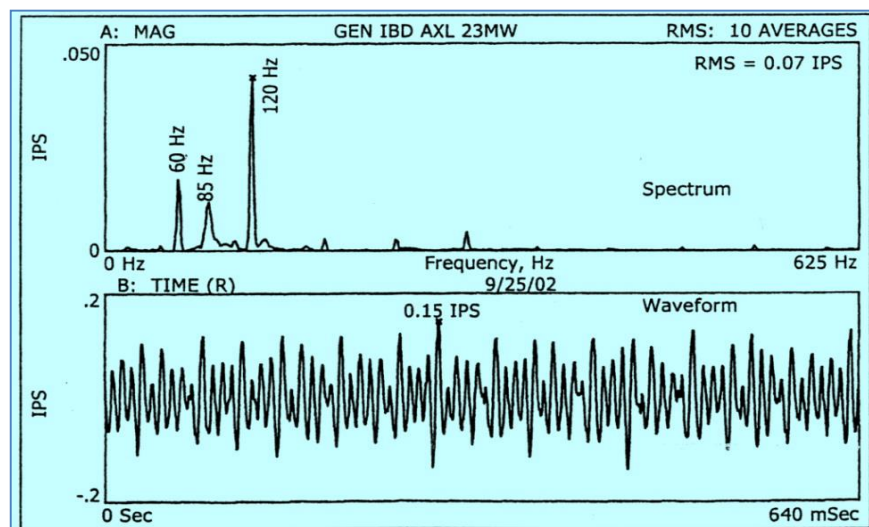
Existe otra manera de realizar un estudio de vibraciones: analizar las señales en el dominio de la Frecuencia. Para ello se emplea la gráfica de Amplitud vs Frecuencia, que es conocida con el nombre de Espectro. Esta es la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de vibraciones de máquinas. La misma consiste en realizar una transformación de la señal en el tiempo al dominio de la frecuencia, donde se puede identificar la vibración característica de cada uno de los componentes o defectos

que puede presentar el equipo. Esta transformación la realizan los Instrumentos de Análisis de Espectro. Lo que hace esta herramienta es capturar la señal de la máquina, calcular todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y finalmente, mostrarlas de forma individual en una Gráfica de Espectro.



**Figura 4.9** – Formación del Espectro de Vibración. White (2010)

En la Figura 4.10 se puede observar un ejemplo de Espectro de vibración de un caso real en el dominio de la frecuencia y del tiempo. A simple vista, puede apreciarse la complejidad gráfica de la señal en el Tiempo y como se simplifica su representación una vez transformada al dominio de la Frecuencia.



**Figura 4.10** – Forma de onda y espectro. Eshelman (2007)

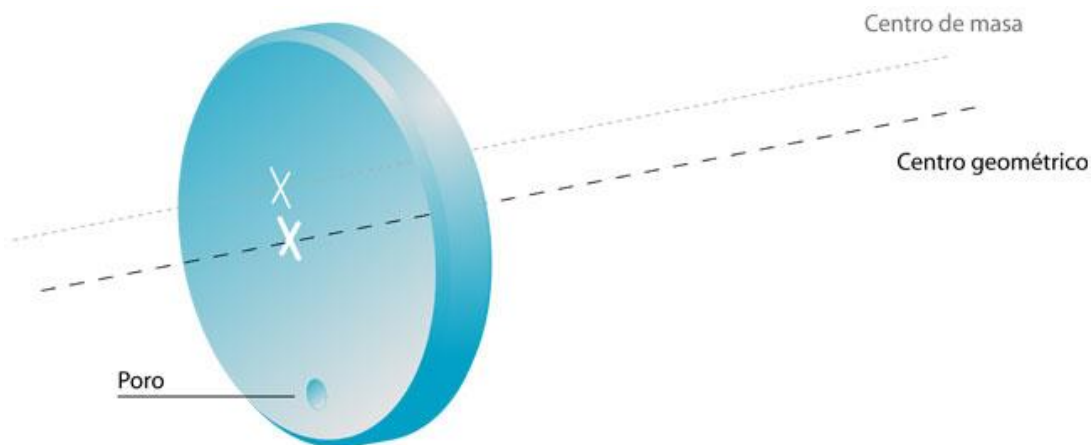
## Fallos detectables por vibraciones

Los fallos que pueden detectarse mediante el análisis de vibraciones son los siguientes:

- **Desequilibrio**

La vibración debida al desequilibrio de un rotor es probablemente el defecto más común en máquinas rotantes y afortunadamente, es también muy fácil de detectar y rectificar. Se define como la distribución desigual de la masa alrededor del eje de rotación.

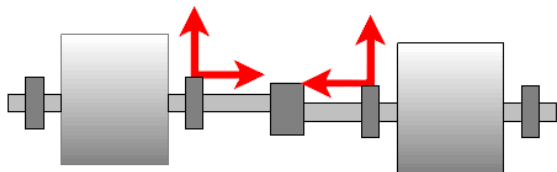
El desbalanceo de masa se da cuando el centro de masa de un determinado objeto no coincide con el centro de rotación del mismo (Figura 4.11). El eje de centro de masa es el eje hipotético en el que está ubicado el centro de masa, y alrededor del cual girará el rotor si estuviera en el espacio libre, sin que sea estorbado por las fuerzas de los elementos mecánicos o por fuerzas de gravitación, mientras que el centro geométrico o eje de simetría es el eje central físico del rotor, alrededor del cual gira el rotor al ser limitado por los cojinetes. Si las dos líneas centrales son coincidentes, entonces el rotor estará en un estado de equilibrio.



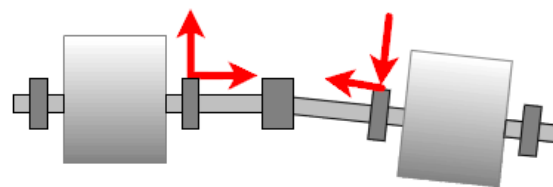
*Figura 4.11 – Desequilibrio en una pieza fundida*

- **Desalineación**

La desalineación es una fuente de vibración fácilmente corregible, y causa más del 30% de los problemas de vibración que se detectan en la industria. Es importante alinear los equipos al instalarlos, comprobar la alineación cada cierto tiempo y realizarla siempre que se intervenga en la máquina. Se define como una condición en la que las líneas centrales de flechas acopladas no coinciden. Si las líneas centrales de las flechas desalineadas están paralelas, pero no coinciden, entonces se dice que la desalineación es paralela. Si las flechas desalineadas se juntan, pero no son paralelas, entonces se denomina desalineación angular. Casi todas las desalineaciones observadas en la práctica son una combinación de los dos tipos de base.



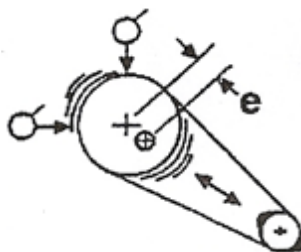
**Figura 4.12** – Desalineación Paralela. White (2010)



**Figura 4.13** – Desalineación Angular. White (2010)

- **Excentricidad**

La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico de la polea, engranaje, cojinete, rotor del motor, etc. Los intentos de balancear un rotor excéntrico a menudo logran reducir la vibración en una dirección, pero la incrementan en la otra (dependiendo de la cantidad de excentricidad).

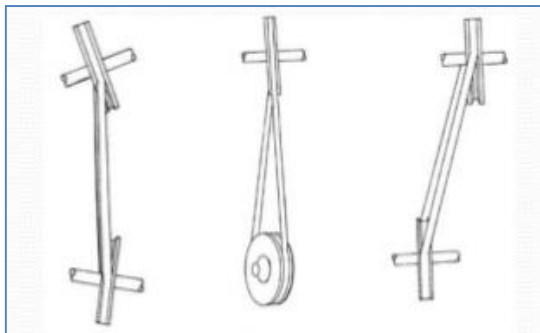


**Figura 4.14** – Rotor excéntrico. JPS Argentina (2006)

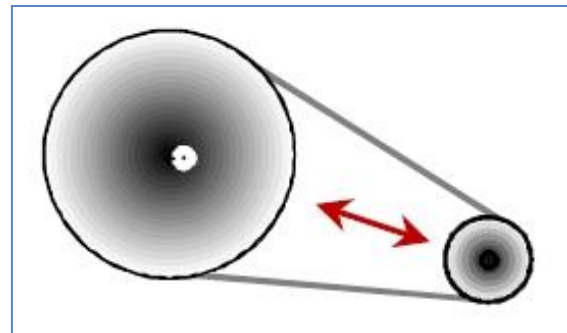
- **Correas de transmisión defectuosas**

Las correas son un tipo de transmisión de fuerzas ampliamente utilizadas en la industria y las mismas están expuestas a muchos problemas. Existen varios tipos de correas y todas están sujetas a desgaste y a daños por el uso, por ello se recomienda que sean revisadas y limpiadas frecuentemente para observar si presentan algún tipo de daño y si se mantienen en la tensión correcta.

- **Correas estiradas, flojas o gastadas:** las frecuencias de la correa están por debajo de los RPM ya sea del motor o de la máquina impulsada.
- **Desalineación en poleas:** estas condiciones causan elevadas amplitudes de vibración que pueden ocasionar el desgaste acelerado de las correas y poleas.
- **Poleas excéntricas:** causan vibraciones muy elevadas. Algunas veces es posible balancear las poleas excéntricas poniendo arandelas en los pernos de fijación cónicos. De todos modos, aun cuando se balancee, la excentricidad todavía inducirá vibración y tensiones de fatiga reversibles en la correa.



**Figura 4.15** – Desalineación de correas.  
Girdhar & Scheffer (2004)

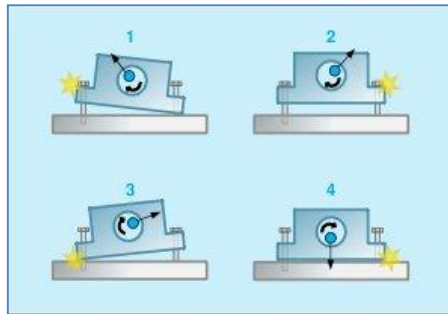


**Figura 4.16** – Correa excéntrica.  
White (2010)

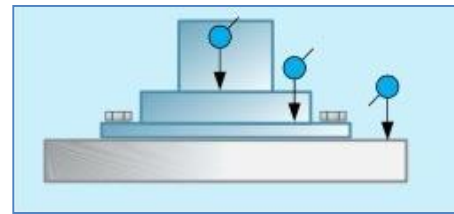
- **Holguras estructurales**

Son aquellas holguras asociadas a los elementos mecánicos no rotativos de la máquina. Se pueden presentar debido a un mal anclaje o en una bancada.

- **Holguras en mal anclaje:** este problema es causado por tornillos de agarre flojos en la base. En la Figura 4.17 se evidencia esta falla a partir del golpeteo entre el pie de la máquina, la base y los tornillos flojos.
- **Holguras en una bancada:** este tipo de soltura está asociada a un aflojamiento o debilitamiento estructural del pie de la máquina o la base y distorsión del marco o la placa base. Puede darse una diferencia de aproximadamente 180° entre las mediciones verticales en el pie de la máquina, la placa base y la base (Figura 4.18).



**Figura 4.17** – Holguras en mal anclaje.  
Girdhar & Scheffer (2004)



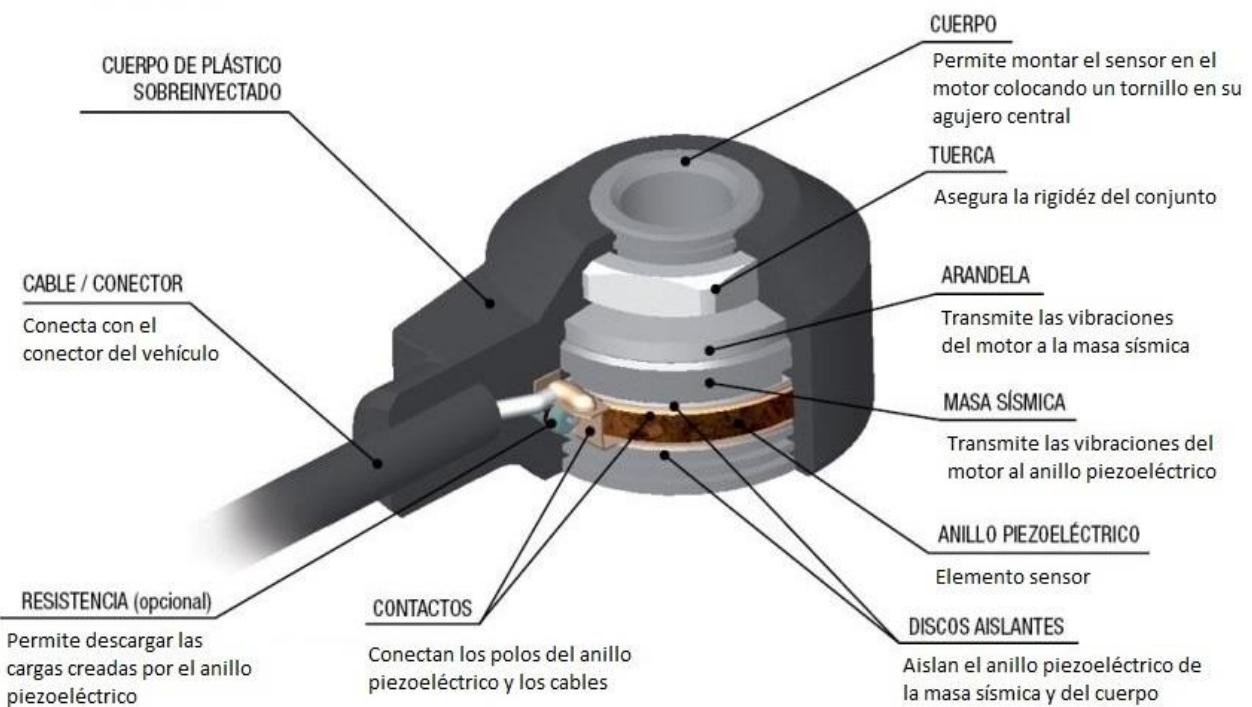
**Figura 4.18** – Holguras en una bancada.  
Girdhar & Scheffer (2004)

## Principios de Funcionamiento del Analizador de Vibraciones

El primer eslabón de un Analizador de Vibraciones es el transductor que se utiliza para captar la señal mecánica de la vibración y convertirla en una señal eléctrica. En la actualidad existen disponibles varios tipos de sensores de vibraciones (transductores de desplazamiento, transductores sísmicos, etc.), pero el más utilizado es el **Acelerómetro piezoeléctrico** ya que ofrece ventajas por sobre otros tipos de sensores, como son un amplio rango de frecuencias, reducido peso y tamaño, facilidad de montaje y el hecho de no contar con partes móviles que puedan dañarse, lo que los hace herramientas muy robustas.

El Acelerómetro piezoeléctrico está compuesto por una pequeña masa montada sobre un cristal piezoeléctrico (Figura 4.18). Este tipo de cristales tienen la particularidad de adquirir una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial

y cargas eléctricas en su superficie al ser sometidos a una deformación elástica. Cuando se adhiere el acelerómetro a un componente de la máquina que se quiere estudiar, este recibe los esfuerzos provenientes de la masa vibrante, esta fuerza produce la aceleración de la masa montada en el sensor, lo que genera tensiones mecánicas dentro del cristal. Al estar sometido a estos esfuerzos, el cristal se deforma y por su propiedad piezoeléctrica genera una señal eléctrica que es proporcional a la aceleración del componente que está vibrando.



**Figura 4.19** – Partes de un Acelerómetro Piezoeléctrico

El sensor es conectado a un **Colector de Datos (Datalogger)** que registra la señal captada y realiza la transformación de la misma al dominio de la Frecuencia. Este tipo de instrumento dispone de un gran número de opciones de visualización y análisis de las señales, se pueden ver datos de desplazamiento, velocidad y aceleración tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.



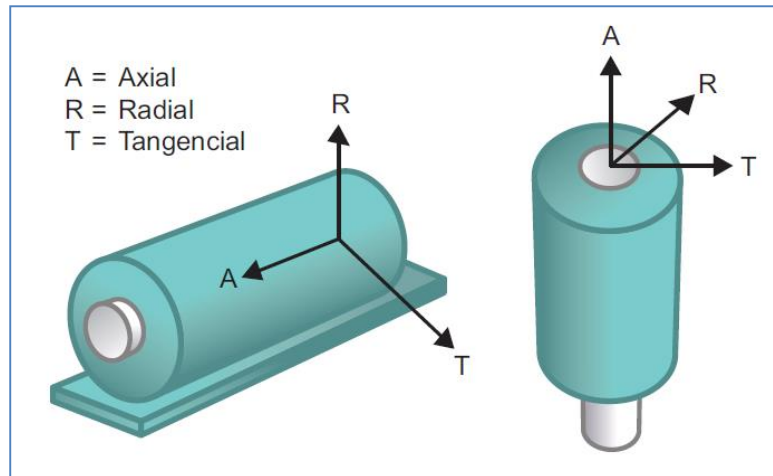


**Figura 4.20** – Colector de Datos marca Fluke

## Ubicación, orientación y montaje del sensor de vibraciones

La clave para una medición de vibración exacta es la ubicación de los sensores en un punto que sea sensible a la condición de la máquina. Es deseable colocar el transductor lo más cerca posible del elemento mecánico. Se debe evitar la colocación en cárteres, carcasas o protecciones, ya que son fabricados de metal delgado y conducen de manera deficiente la energía de vibración. Si es posible, habrá que seleccionar lugares de ubicación de tal manera que no haya espacios entre el dispositivo mecánico y el sensor.

Una orientación del sensor uniforme es vital para asegurar datos repetibles y diagnósticos uniformes con el tiempo. Estas orientaciones son Axial (A), Radial (R) y Tangencial (T). Axial es la dirección paralela al eje principal, radial es la dirección desde el transductor hacia el centro del eje, y tangencial es a 90° de la dirección radial, tangente al eje principal (Figura 4.21).



**Figura 4.21** – Orientación del sensor de vibraciones

En cuanto al montaje del acelerómetro, cabe decir que los diagnósticos dados por el datalogger dependen en gran medida de la calidad de la señal de vibración que reciben de la máquina probada. El método utilizado para montar un sensor en el equipo afecta directamente a la calidad, precisión y rango de la señal.

Existen tres tipos de montaje que se mencionan a continuación:

**Montaje con Espárrago:** se practica un agujero en una sección plana de la carcasa de la maquinaria y se atornilla el espárrago del sensor en dicho agujero.

**Apoyos montados con adhesivo:** se aplica una fina capa de adhesivo en la parte inferior del apoyo de montaje y se coloca sobre una sección plana de la carcasa de la maquinaria. El espárrago del sensor se atornilla en el agujero del apoyo de montaje.

**Montaje magnético:** utiliza un imán de 2 polos (para las superficies redondeadas) o un imán plano unido al sensor. Si se hacen las mediciones en la misma ubicación exacta cada vez, se podrán recopilar datos repetibles con el paso del tiempo. Normalmente son los montajes más cómodos y rápidos de realizar, pero se pierde precisión.



**Figura 4.22**  
Montajes del sensor

## Características del Analizador de Vibraciones Fluke 810

La empresa cuenta con un Analizador de Virabciones Fluke 810 que se destaca por:

- ✓ **Configuración sencilla:** presenta una interfaz intuitiva, es fácil de configurar y de manejar. La función de información integrada proporciona consejos acerca de la configuración al mismo tiempo que proporciona mediciones en un formato fácil de utilizar.
- ✓ **Medidas rápidas:** se adapta fácilmente a la rutina de mantenimiento. Se utiliza para resolver problemas rápidamente o para supervisar el estado de la máquina sin tener que recurrir a un historial completo de la misma. Proporciona respuestas inmediatas mediante la comparación de lecturas del análisis de medición con cientos de mediciones reales almacenadas en la base de datos.
- ✓ **Diagnóstico inmediato:** solo pulsando un botón, el equipo realiza un análisis e identifica el origen del problema, su localización y su gravedad. Realiza un diagnóstico de los problemas mecánicos más comunes a los que hay que enfrentarse en la actualidad: mala alineación, holguras, desequilibrios y estado de rodamientos.

Además, el Analizador presenta las siguientes especificaciones generales:

Especificaciones generales	
Dimensiones (AxPxAN)	18,56 cm x 7,00 cm x 26,72 cm (7,30 pulg. x 2,76 pulg. x 10,52 pulg.)
Peso (con la batería)	1,9 kg
Batería	Ión-litio 14,8 V; 2,55 Ah
Duración de la batería	8 horas en condiciones normales
Tiempo de carga de la batería	3 horas
Temperatura de trabajo	0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F)
Temparatura de almacenamiento	-20 °C a +60 °C; (-4 °F a 140 °F)
Humedad de funcionamiento	10% a 95% H.R., sin condensación
Tipo de sensor, diseño y material	Acelerómetro; Cerámicas piezoeléctricas/corte; Acero inoxidable 316L
Unidades de Frecuencia y Amplitud	Hz, órdenes, cpm; pulg./seg, mm/seg, VdB

Finalmente, la Figura 4.23 muestra cada uno de los elementos que componen al Analizador de Vibraciones Fluke 810:



**Figura 4.23** – Equipamiento del Analizador de Vibraciones Fluke 810

- 1) Vibration Tester.
- 2) Caja de almacenamiento.
- 3) Smart Battery Pack.
- 4) Cargador y adaptadores del paquete de la batería inteligente.
- 5) Correa para el hombro.
- 6) Tacómetro y bolsa.
- 7) Sensor.
- 8) Montaje con imán del sensor.
- 9) Cable de desconexión rápida del sensor.
- 10) Apoyos de montaje del sensor (paquete de 10).
- 11) Adhesivo.
- 12) Cable mini USB para USB.
- 13) Guía de referencia rápida.
- 14) Documentación del usuario/CD-ROM del Viewer Software.
- 15) DVD de formación.

# **CAPÍTULO 5**

## **DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

---

## Introducción

En el presente Proyecto se desarrollará un Plan de Mantenimiento Predictivo en común para los cinco Centros de Mecanizado debido a que los puntos de medición en todas las máquinas son los mismos. Luego de un período determinado y de la obtención de las tendencias de cada uno de los parámetros de los Centros CNC, lo ideal sería establecer un Plan de CBM característico de cada Equipo.

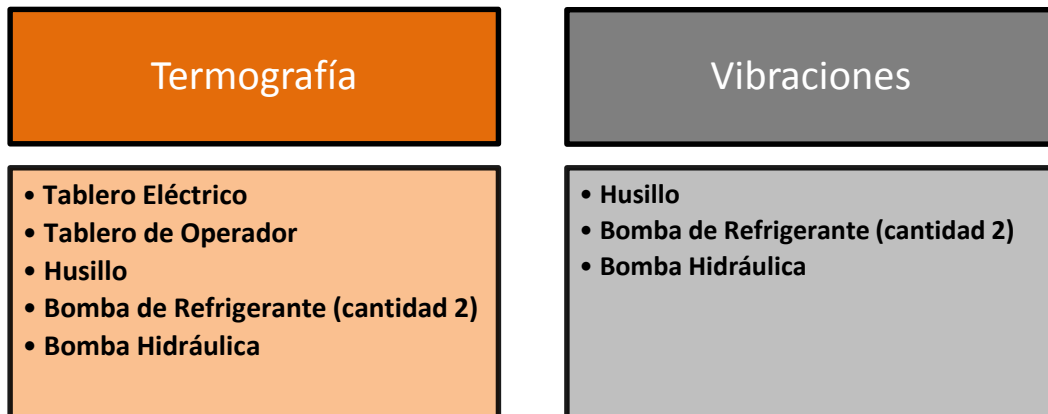
Como se mencionó anteriormente, cada Parámetro presenta un Valor Admisible por debajo del cual se garantiza el correcto funcionamiento del equipo. Estos valores se obtendrán de diversas Normas Internacionales como, por ejemplo, la Norma ANSI/NETA (American National Standards Institute / InterNational Electrical Testing Association) MTS-2007 para Termografía y la ISO (International Standard Organization) 10816 para el Análisis de Vibraciones.

En la práctica se recomienda obtener los Valores Óptimos de funcionamiento de los parámetros de cada equipo luego del período de adaptación de la máquina, posterior a la instalación de la misma, es decir cuando los equipos comienzan con su régimen de vida útil constante. Éste no es el caso de los Centros de Mecanizado FIDIA, por ello los Valores de Alarma y Límites Admisibles se obtendrán según Normas Internacionales.

## Puntos de Medición y Normativa

Previamente, es importante aclarar que por lo general, el fabricante de la máquina no informa en el Manual de la misma los valores de Temperatura y Vibraciones admisibles de los dispositivos debido a que otorgar esta información al comprador muchas veces puede jugar en contra de futuros negocios como lo son la compra de repuestos y el servicio post-venta.

En la Figura 5.1 se establecen cada uno de los Puntos de los Centros de Mecanizado donde se tomarán las mediciones pertinentes.



*Figura 5.1 – Puntos de Medición de Temperatura y Vibraciones de los Centros CNC*

## Puntos de Medición Termográfica

### 1. Armario Eléctrico y Tablero de Operador

El Armario Eléctrico de la máquina y el Tablero de Operador serán los primeros puntos donde se deberá realizar el análisis Termográfico. Las mediciones realizadas en estos elementos se evaluarán a partir de la Normativa Internacional ANSI/NETA MTS-2007, la cual proporciona directrices para inspecciones térmicas de los equipos eléctricos. MTS hace referencia a *Maintenance Testing Specifications* (Especificaciones de Pruebas de Mantenimiento). Estas directrices se basan en las diferencias de Temperatura del conductor de una fase con el medio o de un componente a otro. La International Electric Testing Association ofrece en esta Normativa la tabla *“Thermographic Survey Suggested Actions Based on Temperature Rise”* que proporciona criterios razonables y aprobados por la industria. En la misma se puede identificar la falla y la acción que se recomienda seguir (Figura 5.2).

\* O/A Temperatura Sobre Ambiente O/S - Temperatura Sobre Similar

Nivel	$\Delta$ Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C-10°C O/A ó 1°C a 3°C O/S	Relevancia LEVE	Ver en próximo mantenimiento
2	11°C-20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Relevancia GRAVE	Darle seguimiento a falla
3	21°C-40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia CRITICA	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia MUY CRITICA	REPARAR INMEDIATAMENTE

**Figura 5.2** – Tabla “Thermographic Survey Suggested Actions Based on Temperature Rise” ANSI/NETA MTS-07

## 2. Husillo

Sin lugar a dudas, el Husillo es la parte más importante de los Centros de Mecanizado. La Temperatura Admisible del mismo estará limitada por la Temperatura de Trabajo de los Rodamientos que lo componen. El Husillo de los Centros de Mecanizado está conformado por cuatro rodamientos acoplados.

Los rodamientos para husillos (Figura 5.3) son rodamientos a bolas de contacto angular de una hilera, formados por anillos exteriores e interiores macizos y coronas de bolas con jaulas macizas. Son especialmente aptos para rodaduras con requisitos muy elevados de precisión de rotación y para altas velocidades. Estos se utilizan en las máquinas-herramienta debido a su gran eficacia en el funcionamiento.

La Temperatura de Trabajo Admisible de los rodamientos está determinada por el material de la jaula, el material de obturación y la grasa con la que están lubricados. Para este tipo de aplicación, **la Temperatura de Funcionamiento abarca un rango que va desde los 35°C hasta los 50°C.**



**Figura 5.3** – Rodamiento a bolas de contacto angular



### 3. Bombas de Refrigerante

Los Centros de Mecanizado cuentan con dos Bombas de Refrigerante. La primera de estas, trabaja a bajas presiones y se utiliza para limpieza interna de la máquina, y la segunda, trabaja a altas presiones y tiene como objetivo lubricar la herramienta. La Temperatura Admisible de funcionamiento de estas bombas estará dada por la Temperatura de Trabajo del Aceite de Corte. Este último es un producto compuesto por agua y aceites que se utiliza como lubricante y refrigerante en la industria del mecanizado. El mismo recorre un circuito de refrigeración y lubricación que bombea el líquido sobre el filo de la herramienta con el fin de evitar el calentamiento excesivo que la pudiese deteriorar rápidamente. Los centros CNC utilizan un Aceite de Corte emulsionable y semisintético.

En la Figura 5.4 se pueden observar las características de un aceite de corte. **Generalmente se recomienda que este tipo de aceites trabaje entre 20°C y 30°C.** Por encima de este rango, se deberá realizar una observación de alarma.

Viscosidad Cinemática a 40°C (cSt)	Densidad a 15/4 °C (g/cc)	Punto de Inflamación COC (°C)	Punto de Ecurrimiento (°C)	Rango de Temperatura Operativa (°C)
38,0	0,895	150	-12	20 - 30

*Figura 5.4 – Características Aceite de Corte Shell Dromus*

### 4. Bomba Hidráulica

El último punto donde deberá realizarse el análisis termográfico es la Bomba Hidráulica. La Temperatura de este punto dependerá de la Temperatura de Trabajo Admisible del Aceite Hidráulico. Un fluido hidráulico es un líquido transmisor de potencia que se utiliza para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos a través de una variación de presión o de flujo.

Para las Bombas Hidráulicas de los Centros de Mecanizado CNC se utiliza un aceite tipo 46 (grado de viscosidad ISO).

**En la Figura 5.5 se puede apreciar que el rango de Temperatura Operativa varía entre los 35°C y los 40°C.** Por encima de estos valores, se deberá realizar una observación de alarma.

Grado de Viscosidad ISO	Densidad a 15 °C (kg/L)	Viscosidad Cinemática a 40°C (cSt)	Punto de Inflamación COC (°C)	Punto de Escurrimiento (°C)	Rango de Temperatura Operativa (°C)
46	0,872	47	190	-54	35 - 40

*Figura 5.5 – Características del aceite hidráulico Shell Tellus TD*

## Puntos de Medición de Vibraciones

### 1. Husillo, Bombas de Refrigerante y Bomba Hidráulica

A la hora de tomar las medidas de vibraciones, los componentes a evaluar serán, principalmente el husillo, y luego las bombas de refrigerante y la bomba hidráulica. La Norma ISO 10816 proporciona un Cuadro para la Evaluación de Vibraciones a través del cual se puede evaluar la gravedad de los Niveles de Vibración Total.

La Figura 5.6 representa el estado de:

- ✓ Funcionamiento Correcto y Seguro → Bueno (Verde).
- ✓ Funcionamiento aceptable por tiempo ilimitado, Satisfactorio → Alerta (Celeste).
- ✓ Funcionamiento tolerable por poco tiempo, Insatisfactorio → Alarma (Naranja).
- ✓ Funcionamiento Inaceptable → Falla, Stop (Rojo).

Esta valoración se realiza en la parte 1 de la Norma, es decir en la ISO 10816-1, en función de la tipología, potencia del equipo y del anclaje a la base (rígido o elástico). Se representa el valor de la severidad de la vibración y se definen umbrales de Amplitud de vibración normal, de alarma y de disparo.

SEVERIDAD DE VIBRACIONES SEGÚN NORMA ISO 10816-1					
Máquina		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
in/s	mm/s	Máquina Pequeña	Máquina Mediana	Máquina Grande con fundación Rígida	Máquina Grande con fundación No Rígida
Velocidad de la Vibración V rms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71	Bueno		
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80	Satisfactorio		
	0.18	4.50			
	0.28	7.10	Insatisfactorio		
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0	Inaceptable		
	1.10	45.0			

**Figura 5.6** – Cuadro de Severidad de Vibraciones según Norma ISO 10816-1

Donde:

- Clase I: Motores eléctricos hasta 15 kW.
- Clase II: Motores eléctricos de 15 a 75 kW.
- Clase III: Grandes motores.
- Clase IV: Turbo máquinas.

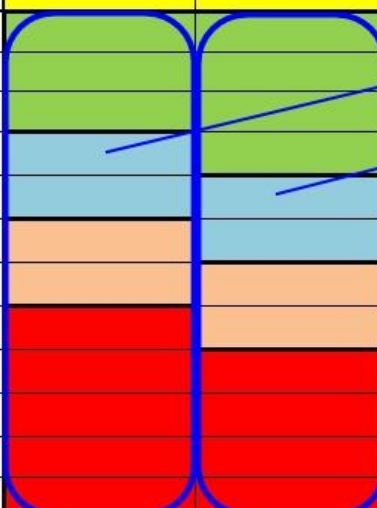
Para poder obtener la gravedad de la vibración, inicialmente el analista deberá buscar la posición en el eje X o eje de abscisas a partir de la identificación de la Clase de Máquina a evaluar, y finalmente, luego de la medición realizada con el Analizador de Vibraciones, se podrá hallar el valor de la velocidad de vibración (mm/s o rms) y ubicarlo en el eje Y o eje de ordenadas.

La figura 5.7, proporciona las características de los componentes, obteniendo así la ubicación de cada uno de estos en el eje X.

Equipo	Base ( <i>Foundation</i> )	Potencia	Clase
Husillo	Rígida ( <i>Rigid</i> )	55kW	Clase 2
Bomba de Refrigerante (Limpieza interna de la máquina)	Rígida ( <i>Rigid</i> )	2,6 kW	Clase 1
Bomba de Refrigerante (Líquido sobre filo de herramienta)	Rígida ( <i>Rigid</i> )	4,0 kW	Clase 1
Bomba Hidráulica	Rígida ( <i>Rigid</i> )	18,5 kW	Clase 2

**Figura 5.7** – Cuadro de características técnicas de componentes de los Centros CNC

Finalmente, la ubicación de los componentes de los Centros de Mecanizado, a partir de sus características técnicas, abarca los rangos que se muestran en la Figura 5.8.

SEVERIDAD DE VIBRACIONES SEGÚN NORMA ISO 10816-1					
Máquina		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
in/s	mm/s	Máquina Pequeña	Máquina Mediana	Máquina Grande con fundación Rígida	Máquina Grande con fundación No Rígida
Velocidad de la Vibración $V_{rms}$	0.01	0.28		BOMBAS DE REFRIGERANTE	
	0.02	0.45		BOMBA HIDRÁULICA Y HUSILLO	
	0.03	0.71			
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80			
	0.18	4.50			
	0.28	7.10			
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0			
	1.10	45.0			

**Figura 5.8** – Evaluación de vibraciones – Clase de Máquina de los Componentes

Es importante aclarar que en la práctica las herramientas de medición utilizadas por la Empresa proporcionan el estado de la máquina cuando los ensayos se realizan correctamente y el equipo analizador funciona de manera óptima. Esto significa que, por ejemplo, en el caso de que existiera alguna falla, el analizador de vibraciones indicará el tipo de falla y una posible solución. Por ende, las evaluaciones mencionadas anteriormente, difícilmente se lleven a cabo, pero es trascendental el conocimiento de la Normativa para una mejor formación en la materia.

## **Desarrollo del Plan de Mantenimiento Predictivo**

A partir de la información desarrollada anteriormente se establecerá un Plan de Mantenimiento Predictivo para cada uno de los dispositivos de las Máquinas. Previamente a ello, fue necesario realizar el Planning (Figura 5.9) de Mantenimiento para conocer la periodicidad de trabajo en las máquinas. Éste se desarrolló en conjunto con los Planificadores de Mantenimiento de la Fábrica. Inicialmente, se decidió realizar las tareas predictivas mensualmente para todos los equipos. Si no se encuentran fallas o anomalías durante los primeros 6 meses en los Armarios Eléctricos y Tableros de Operador, se planificará trabajar en estos dispositivos una vez cada 6 meses. En cuanto a las Bombas de Refrigerante e Hidráulicas, se decidió trabajar mensualmente durante el primer año y luego, en caso de no haber fallas o anomalías, se planificará el Mantenimiento una vez cada 6 meses. Finalmente, se decidió que los Husillos se verificarán mensualmente durante toda la vida útil de la máquina.

En las Figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16, se ven reflejados los Planes de Mantenimiento Predictivo (CBM) de cada uno de los dispositivos de los Centros de Mecanizado FIDIA. Los mismos se realizaron en conjunto con el Personal de Mantenimiento de la Empresa.





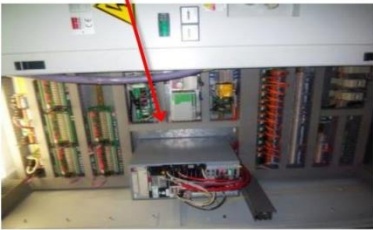

Fábrica Aeronáutica		MANTENIMIENTO PREDICTIVO		N° Identificación	Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica	
TAREA A REALIZAR	Armario Eléctrico: Análisis Termográfico - Medición de Temperaturas										
PRECAUCIONES	En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área										
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.										
INDICACIONES GRAFICAS		 		PERSONAL NECESARIO		METODO DE TRABAJO		HERRAMIENTAS A UTILIZAR			
				1 - Dirigirse hacia el Armario Eléctrico y abrir las compuertas del mismo.		 					
				2 - Controlar visualmente el estado de todas las conexiones eléctricas. Observar que no presenten daño o cualquier otro tipo de anomalía.		 				Cámara Termográfica	
				3 - Con la Cámara Termográfica realizar la toma de imágenes necesarias para cubrir el total de la superficie del elemento a medir. Recuerde seguir los pasos para la toma correcta de las imágenes termográficas:		     				Cámara Termográfica	
				A - Cargar los datos necesarios para la obtención de valores de T°: Emisividad del objeto a medir y T° Ambiente.						Cámara Termográfica	
				B - Posicionar la Cámara a una distancia igual o aproximada a 1 metro (en caso de ser posible) y en posición perpendicular al objeto que se quiere medir.						Cámara Termográfica	
				C - Enfocar el visor.						Cámara Termográfica	
				D - Presionar el Disparador de Captura de Imágenes.						Cámara Termográfica	
				E - Guardar las imágenes obtenidas en la memoria de la Cámara.						Cámara Termográfica	
				4 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en las imágenes tomadas, dejar asentado en "NOVEDADES"							
OBSERVACIONES		(Explicar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)		NOVEDADES		(Detallar)		DATOS DE REALIZACIÓN			
si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)				las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse				Fecha Realización:			
				REPUESTOS CONSUMIDOS				Nombre y Leg. Técnico:			
				INSUMOS CONSUMIDOS				Nombre y Leg. Operario:			
Realizado por:		Fecha:		Aprobado / Controlado por:		Fecha:		Responsible - Firma:		Versión: 01	

Figura 5.10 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Termografía – Armario Eléctrico




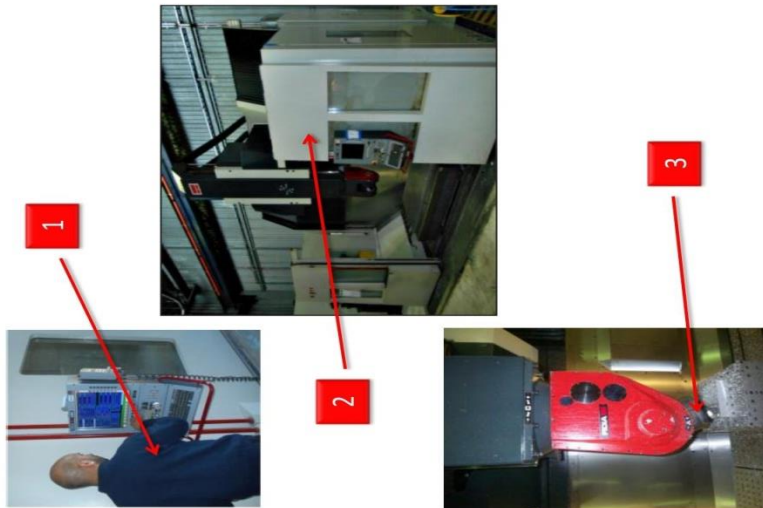
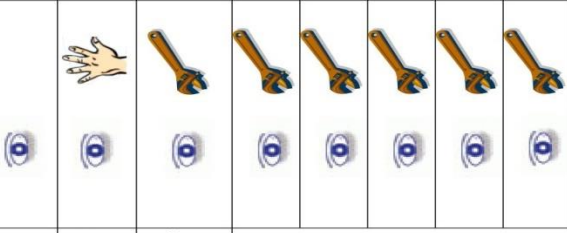

Fábrica Aeronáutica		MANTENIMIENTO PREDICTIVO		N° identificación	Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica	
TAREA A REALIZAR	Tablero de Operador: Análisis Termográfico - Medición de Temperaturas			131-10	Centro de Mecanizado CNC	FIDIA	Italia / 2011	F9	Mensual	Estado Máquina	
PRECAUCIONES	En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área			PERSONAL NECESARIO							
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con liquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.			Tec. En Termografía							
				TOTAL							
INDICACIONES GRAFICAS				DESCRIPCIÓN DE LA TAREA							
				1 - Dirigirse hacia el Tablero de Operador.							
				2 - Controlar visualmente que no exista ningún tipo de daño o anomalía.							
				3 - Con la Cámara Termográfica realizar la toma de imágenes necesarias para cubrir el total de la superficie del elemento a medir. Recuerde seguir los pasos para la toma correcta de las imágenes termográficas: A - Cargar los datos necesarios para la obtención de valores de T°: Emisividad del objeto a medir y T° Ambiente. B - Posicionar la Cámara a una distancia igual o aproximada a 1 metro (en caso de ser posible) y en posición perpendicular al objeto que se quiere medir. C - Enfocar el visor. D - Presionar el Disparador de Captura de imágenes. E - Guardar las imágenes obtenidas en la memoria de la Cámara.							
				4 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en las imágenes tomadas, dejar asentado en "NOVEDADES"							
OBSERVACIONES (Explicar si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)				NOVEDADES (Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)							
Realizado por:				Aprobado / Controlado por:			Fecha:				
				REPUESTOS CONSUMIDOS			Nombre y Leg. Técnico:				
				INSUMOS CONSUMIDOS			Nombre y Leg. Operario:				
							Responsable - Firma:				
							Fecha:				
							Versión: 01				

Figura 5.11 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Termografía – Tablero de Operador




<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>		N° Identificación	Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica
Fábrica Aeronáutica		131-10	Centro de Mecanizado CNC	FIDIA	Italia / 2011	F9	Mensual	Fábrica Aeronáutica
TAREA A REALIZAR	<p>Husillo: Análisis Termográfico - Medición de Temperaturas</p>							
PRECAUCIONES	<p>En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área</p>							
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	<p>Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.</p>							
<b>INDICACIONES GRAFICAS</b>								
<b>DESCRIPCIÓN DE LA TAREA</b>		<p>1 - Dirigirse hacia el Operario de la máquina y comunicarle la tarea a realizar.</p> <p>2 - Abrir las compuertas de la máquina y posicionarse lo más cercano posible al Husillo, de manera tal que no se invada el perímetro del hábitáculo.</p> <p>3 - Con la Cámara Termográfica realizar la toma de imágenes necesarias para cubrir el total de la superficie del elemento a medir. Recuerde seguir los pasos para la toma correcta de las imágenes termográficas:</p> <p>A - Cargar los datos necesarios para la obtención de valores de T°: Emissividad del objeto a medir y T° Ambiente.</p> <p>B - Posicionar la Cámara a una distancia igual o aproximada a 1 metro (en caso de ser posible) y en posición perpendicular al objeto que se quiere medir.</p> <p>C - Enfocar el visor.</p> <p>D - Presionar el Disparador de Captura de imágenes.</p> <p>E - Guardar las imágenes obtenidas en la memoria de la Cámara.</p> <p>4 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en las imágenes tomadas, dejar asentado en "NOVEDADES"</p>						
<b>METODO DE TRABAJO</b>								
<b>HERRAMIENTAS A UTILIZAR</b>		<p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p> <p>Cámara Termográfica</p>						
<b>ESTADO MÁQUINA</b>		<p>En Funcionamiento </p> <p>Detenida (c) (tensión)</p> <p>Parada (s) (tensión)</p>						
<b>NOVEDADES</b> (Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)		<p>Fecha Realización:</p> <p>Nombre y Leg. Técnico:</p> <p>Nombre y Leg. Operario:</p> <p>Responsable - Firma:</p>						
<b>OBSERVACIONES</b> (Explicar si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)		<p>Repuestos Consumidos</p> <p>Insujos Consumidos</p> <p>Aprobado / Controlado por:</p> <p>Fecha:</p>						
Realizado por:		<p>Fecha:</p> <p>Versión: 01</p>						

**Figura 5.12 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Termografía – Husillo**

Fábrica Aeronáutica		MANTENIMIENTO PREDICTIVO		N° Identificación		Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica		
TAREA A REALIZAR		Bomba de Refrigerante: Análisis Termográfico - Medición de Temperaturas		131-10		Centro de Mecanizado CNC	FDIA	Italia / 2011	F9	Mensual	Tempo Estimado (min)	Estado Máquina	
PRECAUCIONES		En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área									1	En Funcionamiento	
ELEMENTOS DE SEGURIDAD		Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnes de Seguridad para trabajo en altura.									1	Detenida (c/tensión)	
		TOTAL									1	Parada (s/tensión)	
		INDICACIONES GRAFICAS									HERRAMIENTAS A UTILIZAR		
											METODO DE TRABAJO		
		<p>1 - Dirigirse hacia la bomba de refrigerante ubicada por detrás de la máquina</p> <p>2 - Controlar visualmente que no exista ningún tipo de daño o anomalía.</p> <p>3 - Con la Cámara Termográfica realizar la toma de imágenes necesarias para cubrir el total de la superficie del elemento a medir. Recuerde seguir los pasos para la toma correcta de las imágenes termográficas:</p> <p>A - Cargar los datos necesarios para la obtención de valores de T°. Emisividad del objeto a medir y T° Ambiente.</p> <p>B - Posicionar la Cámara a una distancia igual o aproximada a 1 metro (en caso de ser posible) y en posición perpendicular al objeto que se quiere medir.</p> <p>C - Enfocar el visor.</p> <p>D - Presionar el Disparador de Captura de Imágenes.</p> <p>E - Guardar las imágenes obtenidas en la memoria de la Cámara.</p> <p>4 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en las imágenes tomadas, dejar asentado en "NOVEDADES"</p>											
		OBSERVACIONES											
		(Explicar si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)											
		NOVEDADES											
		(Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)											
		Fecha Realización:											
		Nombre y Leg. Técnico:											
		REPUESTOS CONSUMIDOS											
		INSUMOS CONSUMIDOS											
		Responsable - Firma:											
		Aprobado / Controlado por:											
		Fecha:											
		Realizado por:											
		Fecha:											
		Versión: 01											

Figura 5.13 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Termografía – Bomba de Refrigerante

<b>Fábrica Aeronáutica</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>		<b>N° Identificación</b>	<b>Equipo / Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Origen / Año Modelo</b>	<b>Pabellón</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Fábrica Aeronáutica</b>
<b>TAREA A REALIZAR</b>	<b>Bomba Hidráulica: Análisis Termográfico - Medición de Temperaturas</b>			131-10	Centro de Mecanizado CNC	FIDIA	Italia / 2011	F9	Mensual	<b>Estado Máquina</b>
<b>PRECAUCIONES</b>	En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área			PERSONAL NECESARIO						
<b>ELEMENTOS DE SEGURIDAD</b>	Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con liquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.			Tec. En Termografía						
				<b>TOTAL</b>						
				<b>INDICACIONES GRAFICAS</b>						
										
				<p>1 - Dirigirse hacia la bomba hidráulica ubicada por detrás de la máquina</p> <p>2 - Controlar visualmente que no exista ningún tipo de daño o anomalía.</p> <p>3 - Con la Cámara Termográfica realizar la toma de imágenes necesarias para cubrir el total de la superficie del elemento a medir. Recuerde seguir los pasos para la toma correcta de las imágenes termográficas:</p> <p>A - Cargar los datos necesarios para la obtención de valores de T°: Emisividad del objeto a medir y T° Ambiente.</p> <p>B - Posicionar la Cámara a una distancia igual o aproximada a 1 metro (en caso de ser posible) y en posición perpendicular al objeto que se quiere medir.</p> <p>C - Enfocar el visor.</p> <p>D - Presionar el Disparador de Captura de imágenes.</p> <p>E - Guardar las imágenes obtenidas en la memoria de la Cámara.</p> <p>4 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en las imágenes tomadas, dejar asentado en "NOVEDADES"</p>						
				<b>NOVEDADES</b>						
				<b>DATOS DE REALIZACIÓN</b>						
				Fecha Realización:						
				Nombre y Leg. Técnico:						
				Nombre y Leg. Operario:						
				Responsable - Firma:						
				Fecha:						
				Versión: 01						

**Figura 5.14 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Termografía – Bomba Hidráulica**



MANTENIMIENTO PREDICTIVO				Fábrica Aeronáutica		Fábrica Aeronáutica	
N° Identificación	Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Estado Máquina	
131-10	Centro de Mecanizado CNC	FIDIA	Italia / 2011	F9	Mensual	En Funcionamiento	↓
Husillo: Analisis de Vibraciones - Medición de vibraciones				PERSONAL NECESARIO		Tiempo Estimado (min)	
En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área				Tec. En Termografía		30	
Antojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.				TOTAL		30	
TAREA A REALIZAR				METODO DE TRABAJO		HERRAMIENTAS A UTILIZAR	
PRECAUCIONES				DESCRIPCIÓN DE LA TAREA		Analizador de Vibraciones	
ELEMENTOS DE SEGURIDAD				INDICACIONES GRAFICAS		Analizador de Vibraciones	
				<p>1 - Dirigirse hacia el Operario de la máquina y pedirle que, a través del CNC, posicione el Husillo en el Punto "Cero" (X=0, Y=0, Z=0) y que, además, disminuya la velocidad de giro hasta 0 (cero) rpm.</p> <p>2 - Abrir las compuertas de la máquina.</p> <p>3 - Encender el Analizador de vibraciones. Dirigirse hacia el Husillo y colocar el acelerómetro magnético en <b>dirección tangencial</b> al eje del mismo.</p> <p>4 - Alejarse al menos 1.5 metros y pedir al Operario que haga girar el Husillo a velocidad de trabajo.</p> <p>5 - Tomar los datos a través del Datalogger y guardarlos en la memoria del Analizador.</p> <p>6 - Pedir al Operario que vuelva a 0 (cero) rpm la velocidad de la máquina.</p> <p>7 - Dirigirse nuevamente hacia el Husillo, desconectar el acelerómetro y colocarlo en <b>dirección radial</b> al eje.</p> <p>8 - Alejarse al menos 1.5 metros y pedir al Operario que haga girar el Husillo a velocidad de trabajo.</p> <p>9 - Tomar los datos a través del Datalogger y guardarlos en la memoria del Analizador.</p> <p>10 - Pedir al Operario que vuelva a 0 (cero) rpm la velocidad de la máquina.</p> <p>11 - Dirigirse hacia el Husillo y desconectar el acelerómetro.</p> <p>12 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en los valores registrados, dejar asentado en "NOVEDADES"</p>		Analizador de Vibraciones	
OBSERVACIONES				NOVEDADES		DATOS DE REALIZACIÓN	
(Explicar si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)				(Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)		Fecha Realización:	
				REPUUESTOS CONSUMIDOS		Nombre y Leg. Técnico:	
				INSUMOS CONSUMIDOS		Nombre y Leg. Operario:	
				Aprobado / Controlado por:		Responsable - Firma:	
Realizado por:				Fecha:		Fecha:	
						Versión: 01	

Figura 5.15 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Vibraciones – Husillo



Fábrica Aeronáutica		MANTENIMIENTO PREDICTIVO		N° Identificación	Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica
TAREA A REALIZAR	Bomba de Refrigerante: Análisis de Vibraciones - Medición de vibraciones			131-10	Centro de Mecanizado CNC	FIDA	Italia / 2011	F9	Mensual	Estado Máquina
PRECAUCIONES	En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área			PERSONAL NECESARIO		Tec. En Termografía		Cantidad	Tiempo Estimado (min)	En Funcionamiento
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnés de Seguridad para trabajo en altura.			TOTAL		1		1	30	Detenida (c/tensión)
INDICACIONES GRAFICAS		DESCRIPCIÓN DE LA TAREA		METODO DE TRABAJO		HERRAMIENTAS A UTILIZAR				
		1 - Dirigirse hacia la bomba de refrigerante ubicada por detrás de la máquina		[Icono de ojo]						
		2 - Verificar que no existan ruidos ni vibraciones extrañas en la bomba		[Icono de ojo]		[Icono de oído]				
		3 - Encender el Analizador de Vibraciones y colocar el Acelerómetro en el primer punto a medir.		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		4 - Las Mediciones deberán realizarse en las orientaciones Axial, Radial y Tangencial, en las Zonas 1 y 2		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		A - Axial: Dirección paralela al Eje Principal		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		R - Radial: Dirección del Acelerómetro hacia el centro del Eje		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		T - Tangencial: a 90° de la dirección Radial, tangencial al Eje Principal		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		5 - Tomar los datos a través del Datalogger y guardarlos en la memoria del Analizador.		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
		6 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en los valores registrados, dejar asentado en "NOVEDADES"		[Icono de ojo]		[Icono de herramienta]		Analizador de Vibraciones		
OBSERVACIONES		NOVEDADES		DATOS DE REALIZACIÓN						
(Explicar si tuvo problemas al realizar las inspecciones y plantear propuestas de mejora)		(Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)		Fecha Realización:						
		REPUESTOS CONSUMIDOS		Nombre y Leg. Técnico:						
		INSUMOS CONSUMIDOS		Nombre y Leg. Operario:						
		Aprobado / Controlado por:		Responsable - Firma:						
Realizado por:		Fecha:		Fecha:		Versión: 01				

Figura 5.16 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Vibraciones – Bomba de Refrigerante



Fábrica Aeronáutica		MANTENIMIENTO PREDICTIVO		N° Identificación		Equipo / Modelo	Marca	Origen / Año Modelo	Pabellón	Frecuencia	Fábrica Aeronáutica	
TAREA A REALIZAR	Bomba Hidráulica: Análisis de Vibraciones - Medición de vibraciones											
PRECAUCIONES	En Caso de observar algún tipo de falla o mal funcionamiento del Equipo se deberá informar al responsable del Área											
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	Anteojos de Seguridad, Protector Auditivo, Casco, Zapatos de Seguridad y Guantes de Nitrilo en caso de Contacto con líquido refrigerante y aceites; Arnes de Seguridad para trabajo en altura.											
INDICACIONES GRAFICAS												
<p>1 - Dirigirse hacia la bomba Hidráulica ubicada por detrás de la máquina</p> <p>2 - Verificar que no existan ruidos ni vibraciones extrañas en la bomba</p> <p>3 - Encender el Analizador de Vibraciones y colocar el Acelerómetro en el primer punto a medir.</p> <p>4 - Las Mediciones deberán realizarse en las orientaciones Axial, Radial y Tangencial para las zonas 1 y 3, y Radial y Tangencial para la zona 2:</p> <p style="margin-left: 40px;">A - Axial: Dirección paralela al Eje Principal</p> <p style="margin-left: 40px;">R - Radial: Dirección del Acelerómetro hacia el centro del Eje</p> <p style="margin-left: 40px;">T - Tangencial: a 90° de la dirección Radial, tangencial al Eje Principal</p> <p>5 - Tomar los datos a través del Datalogger y guardarlos en la memoria del Analizador.</p> <p>6 - Cualquier anomalía detectada a simple vista en los valores registrados, dejar asentado en "NOVEDADES"</p>												
HERRAMIENTAS A UTILIZAR												
METODO DE TRABAJO												
<p>En Funcionamiento</p> <p>Detenida (c/tensión)</p> <p>Parada (s/tensión)</p>												
DATOS DE REALIZACIÓN												
<p>Fecha Realización:</p> <p>Nombre y Leg. Técnico:</p> <p>Nombre y Leg. Operario:</p> <p>Responsable - Firma:</p>												
NOVEDADES (Detallar las novedades encontradas durante las inspecciones y las reparaciones que deben realizarse)												
<p>REPUJSTOS CONSUMIDOS</p> <p>INSUMOS CONSUMIDOS</p>												
Aprobado / Controlado por:												
<p>Realizado por:</p> <p>Fecha:</p> <p>Versión: 01</p>												

Figura 5.17 – Plan de Mantenimiento Predictivo: Vibraciones – Bomba Hidráulica

# CAPÍTULO 6

## ANÁLISIS ECONÓMICO

---

## Introducción

Normalmente, los recursos destinados al Mantenimiento Industrial se contabilizan como Gastos, y resulta evidente que generar más Gastos significará una reducción en el Indicador Financiero, lo cual dificultaría la obtención de presupuesto para poder implementar Mantenimiento Predictivo. Es por esto que para conseguir involucrar al Departamento Financiero se deberán presentar los beneficios otorgados por el CBM a partir de una Propuesta Económica que demuestre estar alineada con los objetivos del mismo.

## Análisis de Costos

Para presentar el Proyecto en “idioma monetario” se deberá realizar un análisis de los Costos de la Empresa que pueden variar con la introducción del Mantenimiento Predictivo.

Inicialmente, se deberá identificar el dinero que se está gastando en operar y mantener los equipos. Este análisis puede resultar tan complejo como se quiera. Para justificar la Inversión en el actual Proyecto se trabajará con los Costos más evidentes como lo son los Costos de Mano de Obra, pero son muchos los que se van a reducir a raíz de la implantación de Mantenimiento Predictivo:

- ✓ Costos derivados de la Indisponibilidad.
- ✓ Costo de Sobremantenimiento.
- ✓ Costos por pérdida de Calidad.
- ✓ Costos por averías catastróficas.
- ✓ Costos por emisiones o vertidos (Costo Medioambiental).
- ✓ Costos de Stock (Almacenaje, deterioro, pérdidas de garantía).
- ✓ Costos por primas de Seguros.



## Costo Anual Aproximado en Intervenciones (CAAI)

El Costo Anual Aproximado en Intervenciones estará dado por:

$$CAAI = N^{\circ} \text{ Activos} * CMedI * PromI / \text{Año}$$

Donde:

- N° Activos = Número de Máquinas Críticas.*
- Prom.I / Año = Promedio de Intervenciones en cada Activo por Año.*
- C.Med.I = Costo Medio de Intervenciones.*

En función de haber estudiado las estadísticas de fallas de los últimos dos años, se establece que el Promedio de Intervenciones en cada Activo por año es igual a 1, mientras que el Costo Medio de Intervenciones es equivalente a \$81.500 por Equipo. Dentro de este Costo solo se incluyen los Gastos en reparación (Mano de Obra y Repuestos), es decir, que no son consideradas las pérdidas productivas generadas. Por otro lado, el número de activos críticos trabajados en el Proyecto es igual a 5.

Por ende:

$$CAAI = 5 * \$81.500 * 1 \quad \Rightarrow \quad CAAI = \$407.500$$

Una vez calculado el Valor aproximado de las Intervenciones en Planta de los cinco Centros de Mecanizado por año, el siguiente paso será calcular cuánto va a ser este Costo cuando esté implementado el Mantenimiento Predictivo.

Normalmente, las Intervenciones se programan en función de la Vida Esperada o Vida útil (Vu) de los componentes y se suele tomar como referencia la que otorga el fabricante. Es importante aclarar que el valor Vu no está informando una fecha de caducidad, sino que ofrece la seguridad de que el 90% de los Componentes no va a fallar antes de lo determinado, pero lo cierto es que esta Vida útil puede llegar a

extenderse hasta 5 veces más de lo advertido por el fabricante. El problema es que si la Empresa no cuenta con un Sistema que pueda predecir la duración máxima de cada componente basándose en su condición, no conviene sobrepasar el límite establecido.

Aplicando Mantenimiento Predictivo, la Fábrica tendrá la capacidad de extender la Vida Útil de cada Componente hasta el valor de Alarma. Para este Proyecto se supondrá una Extensión Media de 2 veces el valor de Vu del fabricante.

## Costo Anual del Mantenimiento Predictivo (CA.CBM)

El Costo Anual de implementar Mantenimiento Predictivo, según Arias Martos (2014), estará dado por:

$$CA.CBM = CMed + CDiag + CEqMed$$

Donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} CMed = \text{Costo de Mediciones} \\ CDiag = \text{Costo del Diagnóstico} \\ CEqMed = \text{Costo del Equipo de Medición} \end{array} \right.$$

El Costo de las herramientas de Medición será igual a cero ( $CEqMed = 0$ ) debido a que la Empresa ya cuenta las mismas. Finalmente, el CA.CBM será igual a:

$$CA.CBM = CMed + CDiag$$

- **Costo de Mediciones (CMed)**

Las Mediciones serán llevadas a cabo por Mano de Obra externa especializada y su Costo estará compuesto por:

$$CMed = \frac{TMed}{Máq} * \frac{CMO}{hs} * \frac{Ins}{Año} * N^{\circ}Act$$

Donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} TMed / Máq = \text{Tiempo de Medición por Máquina (hs).} \\ CMO / hs = \text{Costo de Mano de Obra de toma de Datos por hora (\$/hs).} \\ Ins / Año = \text{Inspecciones por Año.} \\ N^{\circ}Act = \text{Número de Activos Críticos.} \end{array} \right.$$

✓ Tiempo de Medición por Máquina (TMed / Máq)

El mismo se formará a partir de la suma de los tiempos de Medición de cada componente que presenta cada uno de los Centros de Mecanizado.

$$\frac{TMed}{Máq} = \frac{TMedV}{Máq} + \frac{TMedT}{Máq}$$

Donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} TMedV / Máq = \text{Tiempo de Medición de Vibraciones por Máquina.} \\ TMedT / Máq = \text{Tiempo de Medición de Termografía por Máquina.} \end{array} \right.$$

Siendo los tiempos de Medición mensual aquellos definidos en los Planes de Mantenimiento:

Tiempo de Medición Mensual	Minutos	Horas
Tiempo de Medición de Vibraciones de Husillo (TMedVH)	30	0,5
Tiempo de Medición de Vibraciones de Bomba de Refrigerante (TMedVBR)	30	0,5
Tiempo de Medición de Vibraciones de Bomba Hidráulica (TMedVBH)	30	0,5
Tiempo de Medición de Termografía de Armario Eléctrico (TMedTAE)	10	0,16
Tiempo de Medición de Termografía de Tablero de Operador (TMedTTO)	10	0,16
Tiempo de Medición de Termografía de Husillo (TMedTH)	15	0,25
Tiempo de Medición de Termografía de Bomba de Refrigerante (TMedTBR)	10	0,16
Tiempo de Medición de Termografía de Bomba Hidráulica (TMedTBH)	10	0,16

Finalmente, el Tiempo de Medición de Vibraciones por máquina mensual será igual a:

$$\frac{T_{MedV}}{Máq} = \frac{T_{MedVH}}{Máq} + \frac{T_{MedVBR}}{Máq} * 2 + \frac{T_{MedVBH}}{Máq}$$

$$\frac{T_{MedV}}{Máq} = 0,5 + 0,5 * 2 + 0,5 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_{MedV}}{Máq} = 2 \text{ hs/máq}$$

Mientras que el Tiempo de Medición mensual de Termografía por máquina estará dado por:

$$\frac{T_{MedT}}{Máq} = \frac{T_{MedTAE}}{Máq} + \frac{T_{MedTTO}}{Máq} + \frac{T_{MedTH}}{Máq} + \frac{T_{MedTBR}}{Máq} * 2 + \frac{T_{MedTBH}}{Máq}$$

$$\frac{T_{MedT}}{Máq} = 0,16 + 0,16 + 0,25 + 0,16 * 2 + 0,16 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_{MedT}}{Máq} = 1,05 \text{ hs/máq}$$

Por lo tanto, el Tiempo de Medición por Máquina al mes será equivalente a:

$$\frac{T_{Med}}{Máq} = 2 + 1,05 \quad \Rightarrow \quad \frac{T_{Med}}{Máq} = 3,05 \text{ hs/máq}$$

- ✓ Costo de Mano de Obra de toma de Datos por hora (CMO/hs)

Habiendo estudiado los valores de la hora hombre tanto en el mercado local, como en el mercado internacional, el Costo de Mano de Obra de toma de datos será igual a:

$$CMO/hs = \$329$$

- ✓ Inspecciones por Año (Ins /Año)

El número de Inspecciones por mes según el Planning de Mantenimiento es igual a 1, por ende, la cantidad de Inspecciones al año será equivalente a:

$$Ins/Año = 12$$

Finalmente, el Costo de Mediciones por Año de los cinco Equipos será igual a:

$$C_{Med}/Año = \frac{T_{Med}}{Máq} * \frac{CMO}{hs} * \frac{Ins}{Año} * N^{\circ}Act$$

Es decir:

$$C_{Med}/Año = \frac{3,05 \text{ hs}}{Máq} * \frac{329\$}{hs} * \frac{12}{Año} * 5 Máq$$



$$C_{Med}/Año = 60.207 \$/Año$$

- **Costo del Diagnóstico (CDiag)**

Por otro lado, el Costo del Diagnóstico estará conformado por:

$$C_{Diag} = \frac{C_{MeD}}{Act} * \frac{Ins}{Año} * N^{\circ}Act$$

Donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{MeD} / Act = \text{Costo Medio de Diagnóstico por Activo} \\ Ins / Año = \text{Cantidad de Inspecciones por Año} \\ N^{\circ} Act = N^{\circ} \text{ de Activos Críticos} \end{array} \right.$$

- ✓ **Costo Medio de Diagnóstico por Activo (CMeD / Act)**

Este Costo, según los valores que rigen en la actualidad en el mercado Nacional e Internacional, será igual a:

$$CMO/hs = \$293,4$$

Finalmente, siendo el número de Inspecciones por año igual a 12 y el número de Centros de Mecanizado igual a 5, se tendrá que el Costo del Diagnóstico por Año será equivalente a:

$$CDiag = \frac{293,4\$}{Máq} * 12 \text{ Inspecciones/Año} * 5 \text{ Máq}$$



$$CDiag/Año = 17.604\$/Año$$

Por lo tanto, el Costo Anual de Mantenimiento Predictivo será igual a:

$$CA.CBM = CMed + CDiag = 60.207 \$/Año + 17.604 \$/Año$$



$$CA.CBM = 77.811 \$/Año$$

Suponiendo una Extensión Media de la Vida útil de los componentes al implementar Mantenimiento Predictivo de 2 veces la calculada con el Mantenimiento Preventivo, lo cual significa que la cantidad de Intervenciones en los mismos disminuirá a la mitad (Figura 6.1), el Costo Anual Aproximado de las Intervenciones (CAII.CBM) será el siguiente:

$$CAAI.CBM = CAAI/2 + CA.CBM$$

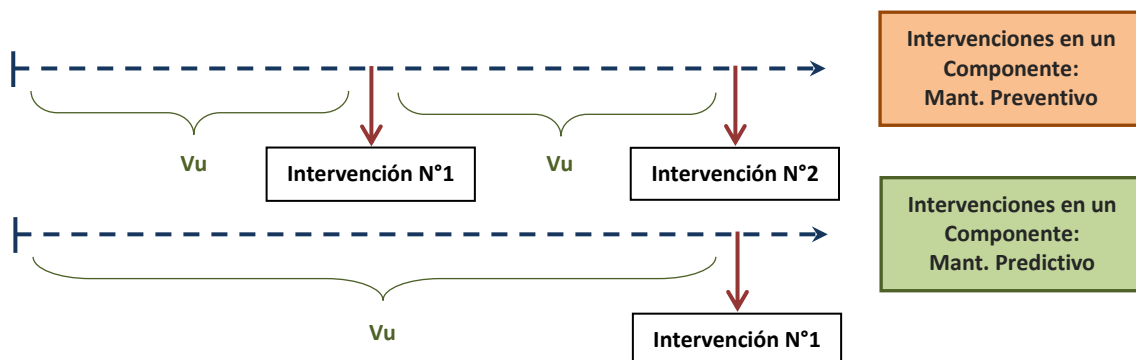


Figura 6.1 – Esquema de Intervenciones con Mantenimiento Preventivo y Predictivo

Finalmente:

$$CAAI.CBM = (407.500/2) \$/Año + 77.811 \$/Año$$



**$CAAI.CBM = 281.561 \$/Año$**

Es decir que el Costo Anual Aproximado de Intervenciones implementando Mantenimiento Predictivo disminuirá notablemente con respecto al Costo Anual Aproximado de Intervenciones sin el uso de CBM. Además, como se ha mencionado anteriormente, a partir del desarrollo de este tipo de Mantenimiento, se esperan grandes mejoras en la calidad, fiabilidad, disponibilidad y seguridad.

## Indicadores Financieros

Luego del Análisis de Costos realizado, es indispensable obtener Indicadores Financieros que especifiquen claramente los resultados obtenidos. Estos valores indicarán si el Proyecto de implementar Mantenimiento Predictivo en las máquinas críticas es favorable económicamente o no.

### ✓ Ahorro Anual (AA)

El Ahorro Anual estará conformado por la resta entre el Costo Anual Aproximado de Intervención actual (CAAI) y el Costo Anual Aproximado de Intervención implementando Mantenimiento Predictivo (CAAI.CBM), es decir:

$$Ahorro\ Anual = Costo\ Anual\ Aprox\ de\ Intervención - Costo\ Anual\ Aprox\ de\ Intervención\ con\ CBM$$



Lo cual equivale a:

$$\text{Ahorro Anual} = 407.500 \text{ \$/Año} - 281.561 \text{ \$/Año}$$



$$\text{Ahorro Anual} = 125.939 \text{ \$/Año}$$

### ✓ Variación del Gasto en Intervenciones

Este Indicador pondrá en manifiesto el porcentaje de la variación del Gasto en Intervenciones al utilizar Mantenimiento Predictivo o Condicional en los equipos.

$$\text{Variación del Gasto en Intervenciones} = - \frac{\text{Ahorro Anual}}{\text{Costo Anual Aprox. de Intervención}} * 100$$

Es decir que:

$$\text{Variación del Gasto en Intervenciones} = - \left( \frac{125.939 \text{ \$/Año}}{407.500 \text{ \$/Año}} \right) * 100$$



$$\text{Variación del Gasto en Intervenciones} = -30,9\%$$

Lo cual significa que el Gasto Anual en Intervenciones al aplicar CBM disminuirá más del 30% con respecto al Gasto Anual de Intervenciones actual, que se traduce en **\$125.939 de incremento en el Beneficio de la Empresa.**

Finalmente, se puede concluir que la aplicación de Mantenimiento Predictivo será económicamente benéfica para la Empresa.



# CONCLUSIÓN DEL PROYECTO INTEGRADOR

Como conclusión final se puede afirmar que la implementación de Mantenimiento Predictivo o Condicional en la Fábrica traerá tres grandes beneficios: el aumento de la Disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso, la reducción de los Costos vinculados al Mantenimiento y la mejora en la Fiabilidad de máquinas e instalaciones. Justamente, estos beneficios forman parte de los objetivos implícitos del Mantenimiento Industrial de la Empresa, los cuales se encuentran en las Instrucciones de Práctica Estándar, es decir, que el Proyecto Integrador se alinea con los objetivos que persigue la Fábrica Aeroespacial. Estos beneficios contribuirán decididamente a asegurar el logro de la conformidad con los requisitos del producto.

Al final del Proyecto se desarrolló un Análisis Económico en el cual se demostró que la implementación de Mantenimiento Predictivo en un conjunto de 5 Centros de Mecanizado de la Fábrica Aeronáutica producirá un Ahorro Anual de \$125.939 y una Reducción del Gasto en Intervenciones del 30,9%, que se traduce en un incremento del Beneficio. Lo cierto es que la Empresa cuenta con un parque de 540 máquinas-herramientas, de las cuales 345 presentan una Clasificación A de Criticidad, lo que significa que se deberían ver afectadas por un Mantenimiento Predictivo o Condicional. Por lo tanto, si se logra un Ahorro Anual de \$125.939 en 5 de estas máquinas, en 345 se obtendría un Ahorro por encima de los 8.5 millones de pesos. Claro está que este cálculo es estimativo debido a que cada máquina presenta distintas características y, por ende, diferentes Planes de Mantenimiento, pero la realidad es que mientras más equipos se vean afectados por Mantenimiento Predictivo, mayor será el Ahorro obtenido.

En la actualidad, el Mantenimiento Industrial es ante todo una oportunidad competitiva que lleva a las Organizaciones a lograr objetivos estratégicos, por ello, la visión a futuro de la Fábrica tendrá que basarse en establecer a los Costos de Mantenimiento como una Inversión productiva, lo cual llevará a la mejora de la calidad del producto final, y por ende, al aumento de la competitividad de la Empresa en el mercado.

# BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA GARRIDO, Santiago (2010). *La contratación del Mantenimiento Industrial*. Madrid: Díaz de Santos.

TURCONI, Gianluigi; BERGUERO, Horacio; FURLANETTO, Luciano; MACCHI, Marco; MATRIFORTI, Carlo (2008). *El Mantenimiento en Tenaris: introducción a la gestión del Mantenimiento*. Campana: TenarisUniversity.

PONTELLI, Daniel; GANGI, Sergio; GALLARÁ, Iván (2011). *Mantenimiento Industrial*. Córdoba: Universitas.

FIDIA, Company (2012). *Instruction, Use and Maintenance Manual*. San Mauro Torinese: FIDIA SpA.

ARREGUEZ, Ángel César (2008). *Fábrica Militar de Aviones: Crónicas y Testimonios*. Córdoba: Sergio Luis Mansur.

BALLESTEROS ROBLES, Francisco (2011). *La estrategia predictiva en el Mantenimiento Industrial*. Madrid: Preditec/IRM.

MENEGUZZI, Federico; REARTES, Leandro (2012). *Diseño de un banco de ensayos para la enseñanza del Mantenimiento Predictivo*. Córdoba: Proyecto Integrador FCEFyN.

WHITE, G. (2010). *Vibration Analysis Reference*. Woburn: Azima DLI.

GANGI, Sergio; PONTELLI, Daniel; BOAGLIO, Laura; BOLLATI, Juan (2016). *Análisis de vibraciones en banco de ensayo utilizado para simular fallas de equipos industriales*. En: *Revista Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. VOL. 3, N° 1. Obtenido de: <http://revistas.unc.edu.ar>

BALLESTEROS ROBLES, Francisco (2014). *Integración de Técnicas y Tecnologías Predictivas*. En: *Revista Preditécnico*. N° 21. Obtenido de: <http://www.preditec.com>

ARIAS MARTOS, Javier (2014). *Justificación de la Inversión en Mantenimiento Predictivo*. En: *Revista Preditécnico*. N° 21. Obtenido de: <http://www.preditec.com>

BRIEND, Roberto (2013). *Aviones que equiparon a la aviación Militar Argentina*. En: *Revista Rumbos Aeronáuticos Digital*. VOL. 11, N° 28. Obtenido de: <http://www.eam.iaa.edu.ar>

JPS Argentina (2006). *Seminario Asset Management Aplicado & Reliability Technologies*. Buenos Aires. JPS Argentina.

ESHELMAN, R. (2007). *Introducción a las Vibraciones de Maquinarias*. Vibration Institute.

GIRDHAR. P et. al. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Londres: Elsevier.

BONETTO, Walter (2014). *Galería de fotos de la Industria Aeronáutica y Automotriz de Argentina*. Río Cuarto: Blogspot. Obtenido de: <http://walterbonettoescritor.blogspot.com.ar>

FIDIA, Company (2015). *General Catalog: K line*. San Mauro Torinese: FIDIA SpA. Obtenido de: <http://www.fidia.com>

FIDIA, Company (2015). *General Catalog: GTF line*. San Mauro Torinese: FIDIA SpA. Obtenido de: <http://www.fidia.com>

Testo (2008). *Termografía, guía de bolsillo*. Obtenido de: <http://www.testo.com>.

Fluke (2009). *Cámaras termográficas industriales de la serie Ti de Fluke*. Madrid: Fluke Corporation. Obtenido de: <http://www.fluke.es>.

Fluke (2010). *Fluke 810 Vibration Tester: Manual de uso*. Madrid: Fluke Corporation. Obtenido de: <http://www.fluke.es>.

Brinkmann Pumps (2015). *Bombas Refrigerantes: Catálogo Principal*. Wixom, EEUU. Obtenido de: <http://www.brinkmannpumps.com>

Larzep Hydraulic (2015). *Bombas Hidráulicas. Características generales: Catálogo*. Bizkaia, España. Obtenido de: <http://www.larzep.com>.

Venturi Hnos. (2015). *Manual Técnico Bombas Hidráulicas Serie C4*. Obtenido de: <http://www.venturi.com.ar>

Ducasse (2014). *Catálogo rodamientos de carga radial para husillos*. Santiago de Chile. Obtenido de: <http://www.ducasse.cl>

Shell (2005). *Shell Dromus Oil: aceite emulsionable de corte*. Obtenido de: <http://www.petrofueguina.com.ar>

ISO 9001:2008. Obtenido de: <http://www.calidad-gestion.com.ar>

# ANEXOS

# ANEXO 1: Instrucción de Práctica Estándar (IPE) 470.059

## FABRICA AERONÁUTICA

### INSTRUCCIONES DE PRÁCTICA ESTÁNDAR

<b>IPE N° 470.059</b>	<b>Rev. /</b>	<b>Fecha: 03 / 06 / 2013</b>	<b>Pág. 1 de 2</b>
<b>Remplaza:</b>			
<b>TEMA: INGENIERIA DE M. I.-- MATRIZ DE CRITICIDAD DE MÁQUINAS y EQUIPOS</b>			
<b>ORGANIZACION RESPONSABLE: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
<b>ORGANIZACIONES AFECTADAS / ALCANCE: TODAS LAS ORGANIZACIONES</b>			
<p><b>I. OBJETIVO</b></p> <p>La presente IPE tiene como objetivo establecer los criterios de trabajo del área de Mantenimiento Industrial para lo cual se requiere definir la criticidad de máquinas y equipos teniendo en cuenta la producción, el propio mantenimiento y la seguridad y ambiente. El objetivo es priorizar el esfuerzo de mantenimiento industrial, enfocado a la satisfacción del cliente interno, favoreciendo y promoviendo el aprovechamiento de los recursos del área y la importancia que tienen para cumplir los objetivos estratégicos de nuestra Empresa. Con la finalidad de alcanzar, la mayor optimización de los recursos en juego.</p> <p><b>II. DOCUMENTOS RELACIONADOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manual de la Calidad</li> <li>▪ Manual de Medio Ambiente Seguridad e Higiene (MASH).</li> <li>▪ Todo otro procedimiento NPF que implique el área de Mantenimiento Industrial.</li> </ul> <p><b>III. DEFINICIONES:</b></p> <p>Para efectos de la ejecución del plan de mantenimiento es necesario asimilar los siguientes conceptos básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Mantenimiento Autónomo</u>: conjunto de actividades simples efectuadas por el operador de la maquina, pequeños ajustes, orden y limpieza, 5S.</li> <li>▪ <u>Mantenimiento Correctivo</u>: Consiste en la corrección de averías o fallas cuando éstas se presentan sin ser planificadas.</li> <li>▪ <u>Mantenimiento Preventivo</u>: Se entiende como la programación de inspecciones (tanto de funcionamiento como de seguridad), ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan establecido.</li> <li>▪ <u>Mantenimiento Condicional o Predictivo</u>: mantenimiento basado en el control de un parámetro de funcionamiento de la maquina o equipo.</li> <li>▪ <u>Mantenimiento de Mejora o Modernización</u>: Implica una mejora tecnológica en la máquina o equipo.</li> </ul>			



Las actividades o tareas de mantenimiento se clasifican de acuerdo a su nivel de complejidad:

- **1° NIVEL:** Ajustes simples previstos por el constructor en medio de órganos accesibles sin ningún desmontaje del equipo, o cambio de elementos accesibles paraplena seguridad.
- **2° NIVEL:** Arreglos por cambios - estándar de elementos previstos para este fin, u operaciones menores de mantenimiento preventivo (rondas).
- **3° NIVEL:** Identificación y diagnóstico de averías, reparación por cambio de componentes funcionales, reparaciones mecánicas menores.
- **4° NIVEL:** Trabajos importantes de mantenimiento correctivo o preventivo.
- **5° NIVEL:** Trabajos de renovación, de reconstrucción o reparaciones importantes confiadas al taller central.

Criticidad de Máquinas y Equipos:

Se basa en determinar según las máquinas y equipos existentes, la importancia que tienen para cumplir los objetivos estratégicos de nuestra Empresa. Los EQUIPOS CRÍTICOS son aquellos que al fallar pueden afectar la productividad, la seguridad del personal, el entorno ambiental o incrementar el costo de mantenimiento, se trabajará con criterios de clasificación en base a normas internacionales.

**IV. DESARROLLO**

A los fines de determinar las Maquinas y Equipos Críticos se ha construido una matriz que interrelaciona las actividades de producción, mantenimiento y seguridad & ambiente las cuales deberán ponderar de acuerdo a sus intereses los valores asignados en la Matriz.

Las áreas operativas definirán claramente cuales son aquellas máquinas que deberemos atender con la mayor prioridad estableciendo así las Criticidades A, B y C o niveles de intervención (Preventiva, Condicional y Correctiva) que se deberán establecer como práctica desde mantenimiento.

Los valores de criticidad de máquinas y equipos designados:

- A: grado de criticidad mayor o igual a 270, se efectuará un preventivo y predictivo**
- B: grado de criticidad entre 200 y 269, se efectuará un Preventivo**
- C: grado de criticidad menor a 200, se efectuará un Correctivo**
- D: máquinas fuera de servicio.**

El grado de criticidad se determina mediante una ponderación teniendo en cuenta diversos factores prestablecidos, que involucran mantenimiento, producción, seguridad y medio ambiente.

**V. RESPONSABILIDADES**

La evaluación y ponderación para definir las criticidades establecidas en la presente IP se han asignado a las siguientes áreas:

1. Áreas Operativas: deberán establecer los valores de impacto y ponderación llenando los valores a los respectivos Ítems de: rendimiento para la producción, productividad, maquinas en “Stand By”, Funcionamiento Continuo y Máquinas / subconjunto de reserva.
2. Área de Mantenimiento Industrial: deberá ponderar el impacto para los ítems MTBF y MTTR.

3. Seguridad y Ambiente: deberá ponderar el impacto y riesgo del ítem respectivo.

Mantenimiento Industrial centralizará las matrices llenadas de las distintas áreas productivas a los fines de poder establecer los niveles de mantenimiento que se deberán aplicar de acuerdo a la criticidad establecida para cada máquina y equipo.

**VII. REGISTROS Y DOCUMENTACION**

Una vez completada cada planilla por áreas de trabajo, serán almacenadas en soporte electrónico por Mantenimiento Industrial – Ingeniería. Quien además deberá receptor o solicitar cambios cuando las áreas consideren que se deberían cambiar o revisar la criticidad de máquinas y equipos.

Cada planilla de criticidad se registrará informáticamente. Deberá poseer fecha y área productiva o de servicio que incluye maquinas y equipos.

Elaborado por: Mantenimiento Industrial

Aprobado por:

**ANEXO 2: Valores de Emisividad de Materiales Comunes**

Valores de emisividad de materiales comunes	
Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0,05
Aluminio, superficie rugosa	0,07
Aluminio, muy oxidado	0,25
Placa de amianto	0,96
Tela de amianto	0,78
Papel de amianto	0,94
Pizarra de amianto	0,96
Latón, mate, deslustrado	0,22
Latón, pulido	0,03
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, vidriado, basto	0,85
Ladrillo, refractario, basto	0,94
Bronce, poroso, basto	0,55
Bronce, pulido	0,1
Carbono, purificado	0,8
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hierro fundido, pulido	0,21
Carbón, en polvo	0,96
Cromo, pulido	0,1
Arcilla, cocida	0,91
Hormigón	0,54
Cobre, pulido,	0,01
Cobre, bruñido comercial	0,07
Cobre, oxidado	0,65
Cobre, negro oxidado	0,88
Cinta aislante, plástico negro	0,95
Esmalte **	0,9
Formica	0,93
Terreno congelado	0,93
Vidrio	0,92
Vidrio, escarchado	0,96
Oro, pulido	0,02
Hielo	0,97
Hierro, laminado en caliente	0,77
Hierro, oxidado	0,74
Hierro, chapa galvanizada, bruñido	0,23
Hierro, chapa, galvanizado, oxidado	0,28
Hierro, brillante, grabado	0,16
Hierro, forjado, pulido	0,28

Barniz, Bakelite	0,93
Barniz, negro, mate	0,97
Barniz, negro, brillante	0,87
Barniz, blanco	0,87
Hollín	0,96
Plomo, gris	0,28
Plomo, oxidado	0,63
Plomo, rojo, en polvo	0,93
Plomo, brillante	0,08
Mercurio, puro	0,1
Níquel, en hierro fundido	0,05
Níquel, puro pulido	0,05
Pintura, acabado en plata**	0,31
Pintura, óleo, media	0,94
Papel, negro, brillante	0,9
Papel, negro, mate	0,94
Papel, blanco	0,9
Platino, puro, pulido	0,08
Porcelana, vidriada	0,92
Cuarzo	0,93
Goma	0,93
Laca, negra, mate	0,91
Laca, negra, brillante	0,82
Nieve	0,8
Acero, galvanizado	0,28
Acero, muy oxidado	0,88
Acero, recién laminado	0,24
Acero, superficie rugosa	0,96
Acero, rojo oxidado	0,69
Acero, chapa, niquelado	0,11
Acero, chapa, laminado	0,56
Papel de alquitrán	0,92
Estaño, bruñido	0,05
Tungsteno	0,05
Agua	0,98
Cinc, chapa	0,2