



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico del Istmo
Subdirección de Planeación y Vinculación
División de Estudios Profesionales

LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO DE UN PARQUE EOLICO MEDIANTE LA GESTION DEL STOCK

OPCION I. TESIS PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**PRESENTA:
JUAN JOSE FELIPE CASTELLANOS**

HEROICA CIUDAD DE JUCHITAN DE ZARAGOZA, OAXACA MAYO DE 2023.



Carretera Panamericana Km. 821, Hca. Cd. de Juchitán de Zaragoza, Oax., C.P. 70000, Tel. (971)
71-13237 e-mail: dep_@tecnm.mx | istmo.tecnm.mx



2023
AÑO DE
**Francisco
VILA**
EL RECONOCIMIENTO DEL PUEBLO



Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, Oax. **08 - Mayo - 2023**

**DEPTO.: DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES.
No. DE OFICIO DEP-42/23**

ASUNTO: Se autoriza Impresión de
Trabajo Profesional.

**C. JUAN JOSE FELIPE CASTELLANOS
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
P R E S E N T E.**

De acuerdo con el reglamento de Titulación y habiendo cumplido con todos los requisitos e indicaciones que la Comisión Revisora le hizo con respecto a su Trabajo Profesional, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le autoriza la impresión del mismo, cuyo tema es: **LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UN PARQUE EOLICO MEDIANTE LA GESTION DEL STOCK**

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
"Por una tecnología propia como principio de libertad"

**LIC. MARIA DE LOS ANGELES CELAYA CABRERA
JEFA DE LA DIV. DE ESTS. PROFESIONALES**



C.c.p. Coordinación de Titulación

MACC/MCLP/cgb



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a

A mi padre querido, quien, aunque no está físicamente presente, sus enseñanzas siguen guiándome día a día.

Este logro es en tu honor, porque fue gracias a tu amor y dedicación que aprendí a nunca rendirme, que la pobreza no es un obstáculo cuando se tiene un sueño y que los sueños se vuelven realidad cuando le pones una fecha.

AGRADECIMIENTO

Vengo de una familia humilde en la cual me enseñaron a dar las gracias por las cosas buenas y malas que pasan en la vida, es por lo que en esta tesis voy a agradecer.

A mis padres, por darme la vida y la posibilidad de experimentar lo maravillosa que es.

A todos mis compañeros de trabajo y amigos que me ayudaron con su gran experiencia cuando inicie este proyecto.

Al ingeniero. José Manuel Cuevas, por su gran ayuda para poder realizar esta tesis.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO.....	II
INDICE	III
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VII
ACRONIMOS.....	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	3
1.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	3
1.2 CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO.....	7
1.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.....	8
1.3.1 Fallos.....	9
1.3.2 Disponibilidad.....	9
1.3.3 <i>Fiabilidad, mantenibilidad y logística del mantenimiento</i>	11
1.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO	12
1.4.1 <i>Mantenimiento correctivo</i>	13
1.4.2 <i>Mantenimiento preventivo</i>	14
1.4.3 <i>Mantenimiento predictivo</i>	16
1.4.4 <i>El mantenimiento desde una perspectiva económica</i>	17
CAPÍTULO II ENERGIA EOLICA	19
2.1 DEFINICIÓN Y ANTECEDENTES	19
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGIA EOLICA	23
2.2.1 <i>ventajas de la energía eolica</i>	23
2.2.2 <i>Desventajas</i>	24
2.2.3 <i>Inconvenientes de la energía eolica</i>	26
2.3 ENERGIA EOLICA EN MEXICO.....	27
2.3.1 <i>Energía eolica en oaxaca</i>	30
2.4 AEROGENERADOR	32
2.4.1 <i>Descripción de un aerogenerador</i>	32
2.4.2 <i>Componentes de un aerogenerador</i>	33
2.4.3 <i>Como funciona un aerogenerador?</i>	41
CAPÍTULO III MANTENIMIENTO EN AEROGENERADORES	45
3.1 MANTENIMIENTO Y AEROGENERADORES	45
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO EN UN PARQUE EOLICO	46
3.3 OBJETIVOS DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	47
3.4 AVERIAS E INDICADORES CLAVE PARA EL MANTENIMIENTO	47
3.4.1 <i>Origen de averias</i>	47
3.4.2 <i>Tipos de averias</i>	48
3.5 ORGANIZACIÓN DE LAS LABORES DE MANTENIMIENTO	50
3.6 TIPOS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE EOLICO	53
3.6.1 <i>Mantenimiento preventivo</i>	55
3.6.2 <i>Mantenimiento correctivo</i>	57

3.6.3 <i>Mantenimiento predictivo</i>	60
3.6.4 <i>Mejoras de diseño(retrofits)</i>	63
3.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO	64
CAPÍTULO IV GESTION DE STOCK	66
4.1 GESTION DE STOCKS	66
4.2 TIPOS DE STOCK	67
4.2.1 <i>Criterio funcional</i>	67
4.2.2 <i>Criterio operativo y de gestión</i>	68
4.3 COMPORTAMIENTO DEL STOCK	68
4.3.1 <i>Stock medio</i>	69
4.4 COSTOS DE LA GESTION DEL STOCK	72
4.5 SISTEMAS DE GESTION	74
4.5.1 <i>Punto de pedido</i>	74
4.5.2 <i>Lote de pedido</i>	74
4.6 EL ÍNDICE DE ROTACIÓN Y EL PERIODO DE MADURACIÓN	75
4.6.1 <i>El inventario</i>	76
4.7 PLANIFICACIÓN DE MATERIALES	77
4.7.1 <i>Objetivos y ventajas</i>	78
4.7.2 <i>Entradas del sistema MRP</i>	79
4.7.3 <i>Procesamientos MRP</i>	80
4.7.4 <i>Salidas del sistema MRP</i>	81
CAPÍTULO V GESTION DEL STOCK EN UN PARQUE EOLICO	82
5.1 OBJETIVOS DE LA GESTIÓN DE STOCK EN INSTALACIONES EÓLICAS	82
5.2 POLÍTICAS DE ALMACENES	83
5.2.1 <i>Comportamiento del stock</i>	86
5.2.2 <i>Tipos de stock</i>	87
5.2.3 <i>Movimientos de stock</i>	88
5.2.4 <i>punto de pedido y lote de pedido</i>	89
5.3 EL INVENTARIO	89
5.4 GESTIÓN INFORMÁTICA DEL STOCK	91
5.4.1 <i>Maestro de materiales</i>	91
5.4.2 <i>Entradas y salidas de mercancías</i>	91
5.4.3 <i>Inventarios en las herramientas informáticas</i>	92
5.5 PROCESO MRP	93
5.6 ÍNDICE DE ROTACIÓN	94
CAPÍTULO VI OPTIMIZACIÓN DEL STOCK EN INSTALACIONES EÓLICAS	96
6.1 CAMPO DE APLICACIÓN	96
6.2 PROCESO DE COMPRA DE REPUESTOS	96
6.2.1 <i>Relación con los proveedores</i>	97
6.2.2 <i>Mejoras introducidas</i>	99
6.3 PROCESO DE INVENTARIO	101
6.3.1 <i>Mejoras introducidas</i>	101
6.4 REUBICACIÓN STOCK	103
6.4.1 <i>Venta de elementos a terceros</i>	103
6.4.2 <i>Reubicación en otros almacenes</i>	104
6.4.3 <i>Reubicación en almacén central</i>	106
6.5 ÍNDICES DE ROTACIÓN	107
6.5.1 <i>Mejoras introducidas</i>	107
CAPÍTULO VII APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL STOCK Y RESULTADOS	109

7.1 RESULTADOS ECONÓMICOS.....	110
7.2 ENTRADAS Y SALIDAS DEL ALMACÉN	110
7.2.1 Compra de materiales.....	112
7.2.2 Sistema. MRP	114
7.3 REUBICACIÓN DE STOCK.....	115
7.3.1 Venta a terceros.....	115
7.3.2 Reubicación en otros almacenes.....	116
7.3.3 Reubicación en el almacén central.....	117
7.4 ÍNDICE DE ROTACIÓN	118
CONCLUSION	120
BIBLIOGRAFIA.....	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010	12
Figura 1-2. Tipos de mantenimiento según la norma EN-13460	13
Figura 1-3. Curva de la bañera	14
Figura 1-4. Evolución del fallo.....	16
Figura 1-5. Curva de costos de mantenimiento.....	17
Figura 2-1 Evolución del tamaño de las turbinas eólicas y capacidad desde 1980.....	27
Figura 2-2. Producción actual por estado 2022	29
Figura 2-3. Componentes de un aerogenerador	32
Figura 2-4. Principales sistemas y componentes de un aerogenerador.	33
Figura 3-1. Características del mantenimiento de un parque eólico.....	46
Figura 3-2. Tipología de averías en aerogeneradores.....	48
Figura 3-3. Distribución y porcentaje de fallos en un aerogenerador	50
Figura 3-4. Gestión de la información durante el proceso de mantenimiento de un parque eólico	51
Figura 3-5. Tipos de mantenimiento en un parque eólico.....	54
Figura 3-6. Aplicación de los tipos de mantenimiento en un parque eólico	54
Figura 3-7. Esquema del mantenimiento preventivo en un aerogenerador	56
Figura 3-8. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM	57
Figura 3-9. Ejemplos de mantenimiento correctivo en un aerogenerador	59
Figura 3-10. Esquema del mantenimiento predictivo en un aerogenerador.	62
Figura 3-11. Ubicación de los acelerómetros en un aerogenerador	63
Figura 3-12. Ejemplo de gran correctivo: Sustitución del generador	65
Figura 4-1. Evolución del stock con consumo continuo.....	69
Figura 4-2. Evolución del stock en pedidos de cantidad y fecha fijas	70
Figura 4-3. Evolución del stock en pedidos de cantidad fija y fecha variable.....	70
Figura 4-4. Evolución del stock en pedidos de cantidad variable y fecha fija.....	71
Figura 4-5. Evolución del stock en pedidos de cantidad y fechas variables.....	71
Figura 4-6. Estructura funcionamiento del proceso MRP.....	80
Figura 5-1 Necesidades para la planificación y gestión de stocks.	84
Figura 5-2 Evolución stock en instalación eólica.....	93

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Ventajas e inconvenientes de cada tipo de mantenimiento	65
Tabla 6-1 Ejemplo del Maestro de Materiales de ENEL.....	98
Tabla 6-2 Ejemplo parámetros MRP.....	100
Tabla 6-3 Ejemplo modificación de parámetros MRP	100
Tabla 6-4 Ejemplo material en el almacén a retirar.....	101
Tabla 6-5 Ejemplo material averiado.....	102
Tabla 6-6 Ejemplo de ofertas recibidas reparación/suministro nueva unidad.....	102
Tabla 6-7 Componentes afectados	105
Tabla 6-8 Reubicación de stocks entre almacenes	106
Tabla 6-9 Reubicación de stock en almacén central.....	107
Tabla 6-10 Materiales con valor distintos de cero e índice de rotación cero.....	108
Tabla 7-1 Valor económico del stock.....	109
Tabla 7-2 Valor económico del stock de materiales de instalaciones G8X de ENEL.....	111
Tabla 7-3 Valor económico del stock de materiales de instalaciones G8X de ENEL.....	111
Tabla 7-4 Caso 1 Ejemplo reducción costos en compra.	113
Tabla 7-5 Caso 2 Ejemplo reducción costos en compra.	114
Tabla 7-6 Ejemplo de inclusión material en sistema MRP	115
Tabla 7-7 Reubicación en almacén central.....	117
Tabla 7-8 Fase 1 Estudio índice de rotación	118
Tabla 7-9 Fase 2 Estudio índice de rotación	119

ACRONIMOS

BOM: Bill of Material (Maestro de material)

CFE: Comisión Federal de Electricidad

EDF: Eólica de Francia

EGP: Enel Green Power

ENEL: Ente Nazionale Perl' Energía

FEMSA: Fomento Económico Mexicano

GGCC: Grandes Correctivos

GMAO: Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador

MRP: Material Requirements Planning

NREL: National Renewable Energy Laboratory

O&M: Operación y Mantenimiento

PANER: Plan de Acción Nacional en Materia de Energía Renovables

PMP: Programa Maestro de Producción

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

RCM: Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad

SAP: Sistema, aplicaciones y productos

SMP: Sistema de Mantenimiento Preventivo

RESUMEN

Hoy en día en los rendimientos y facturación de los parques eólicos tiene una gran importancia la indisponibilidad de cualquiera de los elementos que conforman la turbina eólica, ya que el objetivo prioritario es el alargamiento de la vida útil de los parques obteniendo una disponibilidad lo más alta posible con un funcionamiento óptimo de sus elementos, permitiendo de esta manera generar energía eólica por un mayor periodo de tiempo en su vida útil.

Es aquí donde entra la optimización del stock que es una herramienta fundamental para cualquier empresa con el objetivo de mejorar su eficiencia.

Un nivel de stock adecuado en una instalación eólica, permite a cualquier empresa posicionarse con ventaja frente a otras del mismo sector, pues la habilita para poder mantener la instalación con la mayor disponibilidad y por tanto, con el mayor tiempo posible produciendo energía. Ese nivel de stock es el que tiene que tratar de optimizarse para mantener la instalación en las condiciones correctas de operación y mantenimiento.

En este proyecto, se realiza una visión general sobre los principios básicos de la gestión del stock en instalaciones industriales, y más concretamente en instalaciones eólicas, y cómo se aplican las técnicas y procedimientos habituales en la gestión del stock para alcanzar un punto óptimo del mismo.

INTRODUCCION

Cada vez que entro a cualquier turbina eolica llego a la extraña conclusión de que es un milagro que la pobreza de nuestros sentidos no pase desapercibida. Sobre todo cuando estos aerogeneradores se elevan decenas de metros sobre el suelo y cada dia que pasa se elevan aun mas.

Hace mucho tiempo el ingenio humano hizo un pacto con la Naturaleza para moler el grano sin esfuerzo y este fue el resultado: la aventura de una tecnología que se remonta, en muchos casos, al siglo XVI, y desemboca hasta nuestros días con los modernos parques eólicos.

Molinos o gigantes(miguel cervates savedra), este trabajo está dedicado a los pilares del verdadero auge de la generación eólica, los aerogeneradores, su tecnología y el mantenimiento que los condiciona.

En esta tesina se aborda el mundo del mantenimiento industrial, el recorrido histórico trazado por estos ingenios y se describe su funcionamiento y particularidades. El objetivo no es comprender el fundamento teórico, sino ofrecer una perspectiva diferente a la que se puede encontrar en la abundante bibliografía.

Se describe el problema protagonista de este proyecto final de carrera situado en el contexto del mantenimiento preventivo: el planteamiento inicial del problema propuesto y las restricciones consideradas, la metodología de resolución adoptada, los resultados obtenidos y las conclusiones.

Nadie duda de la singularidad de estas construcciones, basta estirar los ojos hacia donde está colgado el sol para comprender que aspectos como la ubicación geográfica, los accesos, las condiciones climatológicas, los trabajos realizados en altura, la preparación y la alta autonomía que requieren los operarios, etc., ponen de manifiesto cómo la planificación de las distintas labores de mantenimiento es uno de los puntos más complicados en la actividad de mantenimiento de un parque eólico.

“Mire vuestra merced que aquellos que allí se parecen no son gigantes, sino molinos de viento, y lo que en ellos parecen brazos son las aspas que, volteadas del viento, hacen andar la piedra del molino”

Miguel de Cervantes, Don Quijote de la Mancha.

De ahí el interés personal depositado en este proyecto final de carrera cuyo desarrollo, a pesar de la dificultad que planteaba y los difíciles momentos que siempre acompañan, sin duda ha merecido la pena.

Y es que Sancho Panza nos dio la mejor definición de estas obras que dan vida al paisaje español, pero fue Don Quijote quien las empapó de poesía al compararlas con gigantes de brazos largos.

Sin embargo, los molinos de viento no son sólo algo interesante por las emociones estéticas que se experimentan al contemplarlos, por los comentarios de tipo ensayísticos a que se prestan, sino porque su invención, multiplicación y perfeccionamiento constituyeron ayer y hoy un capítulo importante en la historia de la técnica.

Capítulo 1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Hay una frase popular que reza “Es mejor prevenir que lamentar”, sobre todo cuando se trata de situaciones muy importantes, como una inversión fuerte. En la industria, el equipo de producción es sumamente importante, y es incluso una obligación legal mantenerlo en óptimas condiciones. Por esto, dentro de los procesos se debe considerar qué es mantenimiento industrial.

Sin entrar más a fondo en la etapa que se vive actualmente hay que destacar la necesidad de integrar todos los nuevos conceptos de mantenimiento que en las últimas décadas se han ido planteando la mayoría de las veces de manera aislada. Es obvio que la importancia del mantenimiento crece a medida que los equipos se hacen más sofisticados y complejos. En consecuencia, el mantenimiento no sólo adquiere importancia por ser un medio para optimizar la disponibilidad de los equipos sino, además, por la creciente demanda de las empresas que buscan conservar su eficacia en un mundo global y competitivo.

1.1 Evolución del mantenimiento

Con la llegada del siglo XX nace el mantenimiento industrial tal como hoy en día se conoce. Sin embargo, es preciso pensar y admitir que su origen está ligado a la aparición de las primeras máquinas que el hombre utilizó, y que junto al uso de las primitivas herramientas coexistía una clase de cuidados que buscaban mantener sus características originales e incluso mejorar su desempeño. A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, durante la revolución industrial, las tareas de reparación de las máquinas entraron a formar parte del proceso de producción de la industria. Es lo que se denominó el mantenimiento correctivo.

Las profundas transformaciones económicas que comenzaban a producirse en la sociedad, la búsqueda del beneficio económico como un objetivo de la producción y la aparición de la competitividad entre las principales industrias, hizo plantearse la necesidad de una reducción de los costos de producción. Este abaratamiento pasaba

inevitablemente por lograr el aprovechamiento máximo de los equipos de producción y, en consecuencia, obligaba a realizar un mantenimiento de estos.

La mayoría de las referencias bibliográficas que hay sobre el mantenimiento afirman que son tres las etapas por las que evolucionó a lo largo del pasado siglo XX. El mantenimiento organizado se aplicó por primera vez en las fundiciones de los Estados Unidos, en submarinos y aviones militares durante la Primera Guerra Mundial. Más tarde se introdujeron las primeras técnicas de verificación mecánica en granjas agrícolas y en los transportes, y se empezó a pensar en lo importante que era reparar antes de que se produjera el desgaste o la rotura para evitar así interrupciones en el proceso de producción. De este modo se sentaron las bases de lo que más adelante iba a ser el mantenimiento preventivo.

En la Segunda Guerra Mundial y durante la posguerra el mantenimiento experimentó un desarrollo muy importante impulsado por las aplicaciones militares, principalmente los programas de mantenimiento preventivo que se llevaron a cabo en la Armada y en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.[14]

Estos programas consistían en:

- La inspección de los aviones antes de cada vuelo y el reemplazo periódico de ciertos componentes después de un número determinado de horas de vuelo.
- La sistematización del cálculo de probabilidades aplicado a la cuantificación de la fiabilidad de componentes, con el fin de mejorar la fiabilidad del conjunto.
- El uso de equipos redundantes para disminuir las tasas de fallo de algunos procesos de producción.
- La aplicación de técnicas de ensayo y análisis de los parámetros funcionales de las máquinas que mostraban indicios acerca de su estado, lo que permitía su reparación o el reemplazo según condición, consiguiendo con ello disminuir la probabilidad de fallo de las máquinas.[14]

En este contexto se definió por primera vez el objetivo de la disponibilidad en la operación de los medios de producción (barcos, aviones y ferrocarriles) con los costos más bajos.

Así, comenzaron a distinguirse dos líneas de trabajo bien definidas dentro del mantenimiento industrial:

1. Técnicas de análisis de fiabilidad de los equipos

2. Técnicas de verificación mecánica.

Dentro de la primera línea destaca la planificación y el control del mantenimiento. Y es que fue de gran utilidad disponer de enormes cantidades de información estadística que reflejaba la evolución histórica de las máquinas y sus averías. De este modo se describieron diversos métodos para optimizar el mantenimiento. Por ejemplo, fue en esta etapa –durante la Segunda Generación– cuando despegaron los sistemas de mantenimiento preventivo basados en revisiones periódicas de los equipos, sistemas e instalaciones, incorporando las reparaciones programadas en caso de fallo

La rivalidad industrial que reinó desde entonces hasta finales de los años 70, con la incorporación de los fabricantes orientales al mundo competitivo occidental, desencadenó una continua búsqueda de mejores resultados. Referido a la segunda línea fue muy importante el desarrollo que experimentaron las técnicas predictivas. J. S. Shore recogió las manifestaciones vibratorias producidas por los defectos más frecuentes de la maquinaria rotativa que, todavía hoy en día, constituyen la base fundamental del mantenimiento predictivo que se aplica en un gran sector de la industria.

Hasta la década de los 80 el mantenimiento –de Segunda Generación– se había optimizado en cuanto a la frecuencia y la efectividad de las revisiones periódicas. Sin embargo, los indicadores más importantes, que eran la fiabilidad, la disponibilidad y los costos, se habían estabilizado alcanzando una cima. En esta situación la mejora de cualquiera de los indicadores provocaba el empeoramiento del resto. Por ejemplo, si se minimizaban los costos reduciendo el consumo de materias primas, la disponibilidad y/o mantenimiento se veían reducidos.

Por otro lado, si se aspiraba a aumentar la disponibilidad reduciendo las paradas por revisión, la fiabilidad iba a empeorar y, por último, si se quería mejorar la fiabilidad con un mayor estudio y análisis de las averías más frecuentes o complejas, o mediante reformas en los equipos o instalaciones, la disponibilidad también se iba a ver perjudicada.

Al alcanzar esta cima se empezó a hablar del mantenimiento de Tercera Generación. Un mantenimiento que fundamentaba sus objetivos en los tres ya expuestos la fiabilidad, la disponibilidad y los costos pero que abordaba otros objetivos complementarios ignorados por las anteriores etapas del mantenimiento. Por ejemplo, en las dos últimas décadas del siglo pasado la seguridad pasó a ser una prioridad. Aparecieron normativas, reglamentos, leyes, órdenes, etc. La calidad en los servicios de mantenimiento fue adquiriendo mayor importancia. La protección del medio ambiente pasó igualmente a ocupar un puesto clave en cualquier actividad de mantenimiento. Además, el análisis detallado de los costos del ciclo de vida, básico para conocer la duración de las máquinas, fue vital para las decisiones de compra de nuevos equipos.

La filosofía y las técnicas del mantenimiento de esta etapa –Tercera Generación– incorporaron nuevos métodos para intervenir en los equipos sólo cuando era necesario, evitando las acciones preventivas y rutinarias a menos que éstas tuvieran una eficacia y rentabilidad contrastadas. Así es como nacieron los mantenimientos según condición y los mantenimientos predictivos, destinados a intervenir en la máquina antes de que se produjera un fallo o un grave deterioro gracias al análisis de la evolución de variables más significativas que diagnosticaban el estado de la máquina. En esta etapa se hizo necesario valorar aspectos como la fiabilidad y la mantenibilidad en el diseño de los equipos e instalaciones, planteándose una reingeniería de los procesos de mantenimiento.

Así es como aparecieron los análisis de riesgo, de causa y efecto. Es decir, si el fallo de un equipo no suponía ningún riesgo o dicho riesgo era mínimo y asumible, quizás era más rentable dejar que fallara. Además, no sólo había que analizar la avería, sino que había que ver y buscar sus causas dentro de un escenario de operación determinado. Si las causas eran diferentes, las acciones que había que emprender debían ser diferentes.

A partir de la década de los 80 surgieron nuevas variables para tener en cuenta: la contratación externa de actividades de mantenimiento para reducir costos y aumentar la flexibilidad. De ahí, su importancia. Así mismo creció el papel de los grupos de trabajo, ya fueran grupos de calidad, grupos de mejora, etc., que profundizaban en la iniciativa y en la innovación involucrando a los equipos técnicos y directivos, provocando un cambio en las relaciones humanas de los departamentos de mantenimiento. El

desarrollo de aparatos robotizados, autómatas programables y otros equipos de tecnología punta iba a exigir contar con un personal de mantenimiento más cualificado.

Todas estas etapas que describen la compleja evolución del mantenimiento industrial desde el mantenimiento correctivo, con el que se atendían las averías, hasta el mantenimiento preventivo sistemático, con sus intervenciones programadas, así como el desarrollo del mantenimiento condicional o predictivo en función del estado de los equipos, ha sido revisado a lo largo de las últimas décadas. La progresión no ha terminado y por eso hoy asistimos a una mutación, todavía en curso, hacia la cuarta generación del mantenimiento industrial.[10]

1.2 Concepto del mantenimiento

La palabra «mantenimiento», del latín *manuterer* (de manu, mano y de tenere, tener) tiene su origen en el vocabulario militar y designaba la acción de mantener operativas y listas para el combate las unidades más experimentadas, gracias a los complementos materiales de los soldados. La idea elemental era que mantener es dominar.

Centrándose más en el concepto actual, la aparición del término en la industria sucedió hacia 1950 en los Estados Unidos. Aunque son muchas las normativas que afectan al mantenimiento y cada día son más las directivas europeas que se trasladan y traducen al marco legislativo español aportando un mar de definiciones, el mantenimiento es, en el sentido estricto del término, según la norma **EN 13306:2002** es una *“combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida”*. [9]

Otra definición importante la aporta la Asociación Francesa de Normalización **AFNOR** quien define el mantenimiento como un *“conjunto de actividades destinadas a mantener o restablecer un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento, para cumplir con una función requerida. Estas actividades suponen una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión”*. [8]

Desde un punto de vista más amplio, el mantenimiento es una disciplina con la que, antes o después, se relacionan todas las demás disciplinas involucradas en el proceso de producción. Esta interrelación hace que la función de mantenimiento constituya uno de los pilares fundamentales que condiciona la eficiencia de cualquier industria moderna. ¿Por qué? Porque el resto de las disciplinas involucradas dependen en mayor o menor medida del mantenimiento; de tal forma que cualquier intento de producción sin mantenimiento resulta nefasto, aunque el resto de las tareas se realicen con gran perfección.

1.3 Objetivos del mantenimiento

Los objetivos primarios del mantenimiento industrial son la consecución de un número determinado de horas disponibles de la instalación, en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible, con el mínimo costo y la máxima seguridad para el personal implicado. Se busca un mínimo consumo energético y un mínimo deterioro ambiental. Los objetivos derivados del mantenimiento son una buena gestión de la mano de obra, de la prevención y de los materiales.

En otras palabras, estos objetivos se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costos.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

1.3.1 Fallos

Independientemente del diseño de un sistema productivo, de la tecnología empleada, o de los materiales de fabricación, a lo largo del funcionamiento, el sistema sufrirá cambios irreversibles. Estos cambios pueden ser, por ejemplo, los derivados de procesos como la corrosión, la abrasión, deformaciones, fatiga, o difusión de los materiales.

Estos procesos, cambiarán las características de actuación, surgiendo incidentes que se denominan fallos. Entonces, ¿qué se entiende por fallo? Un fallo es el cese de la capacidad de un elemento, componente, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse de manera individual; para realizar una función requerida. Dicho de otro modo, un fallo es un suceso, un evento, un hecho que provoca o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados

Estos fallos, pueden llegar a impedir la eficacia del sistema de producción, y provocar una disminución de su eficiencia. Contra esta falta de eficiencia es contra la que trata de actuar el mantenimiento de la instalación. Además de conocer cómo se produce el fallo, es necesario conocer la causa. Es decir, encontrar la razón que ha conducido al fallo.

Existen fallos de diseño, fallos de instalación, fallos por uso inadecuado, fallos por manejo, y fallos por mantenimiento incorrecto o inadecuado. Hay que tener en cuenta que no todos los fallos son iguales, y para cada caso, habrá que determinar las causas, para poder orientar las respuestas del mantenimiento a cada caso concreto. Estas respuestas podrán ser de prevención, predicción, rediseño, sustitución periódica, no mantenimiento, etc. Evitar el fallo tiene que ser el objetivo del mantenimiento, para buscar la máxima disponibilidad del sistema.

1.3.2 Disponibilidad

La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido se divide el

resultado entre el tiempo total del periodo considerado y se multiplica por 100, para obtener el porcentaje.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por mtto.}}{\text{Horas totales}} \times 100\%$$

Las horas de parada por mantenimiento que deben computarse son tanto las horas debidas a paradas originadas por mantenimiento programado como el no programado.

El concepto de disponibilidad es importante si se pretende tener un sistema de producción eficaz. La eficacia de un sistema dependerá de su capacidad y de su disponibilidad. La capacidad de un sistema es su idoneidad para responder a una demanda de servicio de unas determinadas características cuantitativas. Por otro lado, la disponibilidad del sistema es la aptitud de este para estar en disposición de realizar una función requerida durante un intervalo de tiempo determinado.

La disponibilidad de un elemento no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentre en condiciones de funcionar. Un parámetro de referencia para medir la disponibilidad de un elemento es la relación entre el tiempo de operación (tiempo real de funcionamiento correcto produciendo) y el tiempo total que se necesite que funcione. Así que, cuando un equipo se encuentra disponible, puede hallarse en los siguientes estados:

- Estado de funcionamiento: *cuando un elemento o equipo realiza la función requerida.*
- Estado de espera: *también llamado estado de reserva, que es un estado de disponibilidad no operativo durante el tiempo requerido, es decir, durante un intervalo de tiempo durante el cual el usuario demanda que el elemento se encuentre en condición de desarrollar su función requerida.*
- Estado de inactividad: *también llamado libre de servicio o de reposo, que es un estado de disponibilidad y de no funcionamiento durante un tiempo no requerido.*

1.3.3 Fiabilidad, mantenibilidad y logística del mantenimiento

La seguridad de funcionamiento engloba una serie de propiedades para describir la disponibilidad y los factores que la condicionan. Estos factores son la fiabilidad, la mantenibilidad y la logística de mantenimiento.

En primer lugar, la fiabilidad es la aptitud de un elemento para cubrir con una función determinada en condiciones normales de utilización, durante un periodo de tiempo determinado. En consecuencia, si estas condiciones cambian, la fiabilidad también se verá afectada. Esto significa que, sin un adecuado mantenimiento, posiblemente la fiabilidad de los elementos no se cumpla.

La fórmula de cálculo de la fiabilidad es muy parecida a la de la disponibilidad, pero sustituyendo en el numerador las horas de parada por mantenimiento, por horas de parada por mantenimiento no programado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por mtto. no programado}}{\text{Horas totales}} \times 100\%$$

En segundo lugar, se define cuánto debe durar una tarea de mantenimiento. En la mayoría de los casos no es fácil responder a la pregunta, pues hasta no hace mucho, la preocupación en el diseño se centraba en lograr la funcionabilidad ignorando los aspectos de la recuperación.

Actualmente esta situación ha ido cambiando gradualmente hasta aparecer la ingeniería de mantenibilidad, disciplina orientada a las actividades que debe realizar un usuario para mantener la funcionabilidad de un producto. La importancia de la ingeniería de mantenibilidad está creciendo de forma veloz, pues implica una gran contribución en la reducción del costo de mantenimiento de un elemento durante su vida útil. La mantenibilidad como tal, es la capacidad que presenta un equipo determinado para el mantenimiento. De forma concreta, es la aptitud de un elemento para, en unas condiciones determinadas de utilización, ser mantenido o restituido a un estado de funcionamiento.

En tercer lugar, está la logística de mantenimiento. Es un concepto relativo a la organización del mantenimiento, en unas condiciones determinadas, para proporcionar sobre demanda, los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento definida. [9]

Como conclusión, estos tres conceptos muestran como el mantenimiento condiciona la eficacia de los sistemas productivos y debe considerarse como un aspecto estratégico para la obtención de una ventaja competitiva de la empresa.

1.4 Tipos de mantenimiento

Actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. No obstante, hay que destacar que no resulta fácil clasificar los tipos de mantenimiento. Existe una enorme confusión en cuanto a los términos y nombres de las actividades de mantenimiento. En las figuras siguientes se puede ver como ambas normas citadas anteriormente discrepan parcialmente entre ellas.[8]

Según la norma AFNOR NFX 60-010:

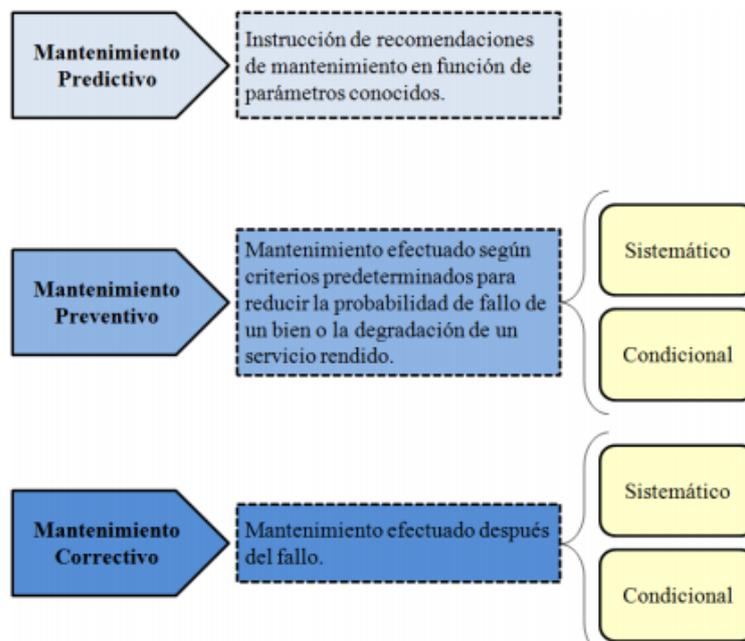


Figura 1-1 Tipos de mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010

Según la norma EN-13460:



Figura 1-2. Tipos de mantenimiento según la norma EN-13460

1.4.1 Mantenimiento correctivo

En este tipo de mantenimiento, también denominado “a rotura”, solo se interviene en la instalación cuando el fallo ya se ha producido. Se trata de una actitud pasiva frente a la evolución, esperando el fallo o la avería. Este tipo de mantenimiento se emplea en gran cantidad de industrias, y tiene su justificación para aquellos casos en los que existe un bajo costo de los componentes afectados.[14]

Cuando el fallo de los equipos no supone la interrupción de la producción, las reparaciones pueden llevarse a cabo sin afectar a la misma. Este hecho, es el que justifica este tipo de mantenimiento, pues el costo derivado del fallo es inferior a inversión necesaria para poner en práctica otro tipo de mantenimiento más complejo. No se requiere ninguna planificación sistemática, y puede conjugarse con un mantenimiento básico, y con una cierta previsión de repuestos, que garanticen un stock disponible para hacer frente a las sustituciones más comunes.

Sin embargo, también presenta diversos inconvenientes. Por un lado, puede haber trastornos en la producción que pueden llegar incluso a la indisponibilidad de la máquina. Al ser imprevistos, los fallos suelen ser graves, y pueden suponer elevados costos de mantenimiento, y no disponer de los recursos necesarios, de personal o de repuestos.

Además, el fallo podría venir acompañado de algún tipo de siniestro con consecuencias negativas para la seguridad del personal o del medio ambiente. Pese a los citados

inconvenientes, siempre habrá en las instalaciones un amplio porcentaje de mantenimiento correctivo. Aun considerando el caso ideal de que fuera técnicamente posible establecer una sistemática preventiva que evitara el mantenimiento correctivo, en ningún momento podría ser totalmente posible.

1.4.2 Mantenimiento preventivo

El elemento que diferencia el mantenimiento correctivo del preventivo es la aleatoriedad que presenta. Las anomalías que no producen interrupción de la producción o riesgo inmediato de causarla pueden ser atendidas de forma programada. Es decir, se puede decir que el mantenimiento preventivo es aquel predefinido en base a un plan, que establece intervenciones periódicas y sistemáticas según el tiempo de uso o las horas de trabajo. Para establecer esas intervenciones periódicas, el departamento de mantenimiento tiene que ser muy riguroso. Se debe tener en cuenta las recomendaciones del fabricante, la propia experiencia de aprendizaje del departamento y del personal encargado de las labores de mantenimiento, y la explotación de la fiabilidad realizada a través del estudio del histórico de la instalación. El mantenimiento periódico tiene su fundamento en la denominada “curva de la bañera”, la cual está representada en la siguiente imagen.

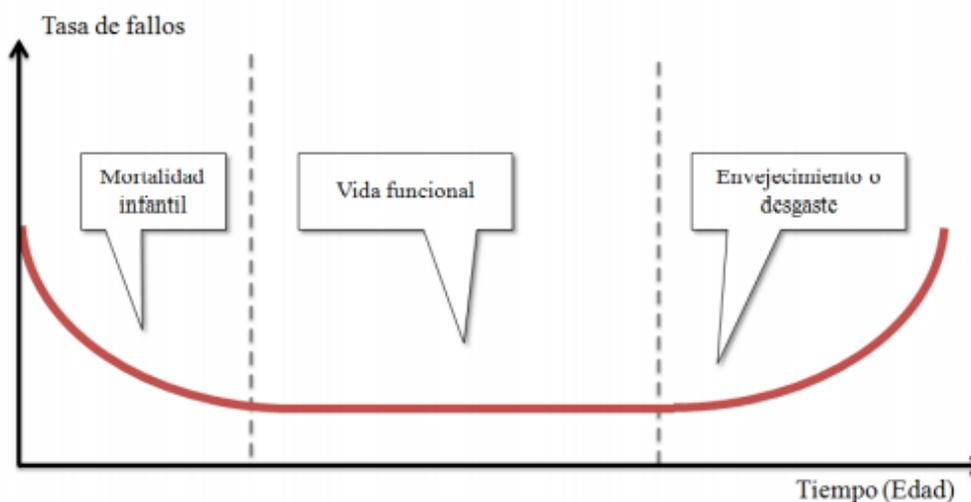


Figura 1-3. Curva de la bañera

La curva de la bañera es la evolución de la función de riesgo según la cual evoluciona un sistema. En el eje de ordenadas se representa la probabilidad de fallo, y en el de abscisas, la edad del elemento estudiado. En el principio de la vida útil, la tasa de riesgo es elevada, debido al fenómeno de mortalidad infantil o debido a una fabricación defectuosa. Una vez que pasa el proceso de rodaje inicial, la tasa de riesgo decrece. Y de nuevo, al final de la vida útil, dicha tasa vuelve a aumentar, debido a causas varias como el desgaste, fatiga o envejecimiento.

En teoría, es esta última parte de la curva la que indica el momento de llevar a cabo la revisión preventiva del elemento considerado para volver a tenerlo dentro de su vida útil. Sin embargo, esto era un concepto teórico válido anteriormente, ahora, cuando un sistema determinado comienza a fallar, está demostrado que, en la mayoría de los casos, las actuaciones de mejora deben encaminarse a intervenciones modificativas y no preventivas. A continuación, se explicarán varios sistemas de mantenimiento preventivo, que se pueden realizar en función de las necesidades:

- Inspección de zona. Es el más sencillo, simple y económico. Establece un programa de visita a los equipos con la frecuencia requerida por cada uno. Este tipo de mantenimiento se utiliza en equipos e instalaciones que asumen menor responsabilidad.
- Inspección preventiva. Consiste en realizar visitas cíclicas a los equipos incluidos en el programa de inspecciones. Puede realizarse sin necesidad del cese de funcionamiento.
- Revisión preventiva. Similar a la anterior, pero en este caso si se requiere la parada de los equipos para su inspección.
- Sustitución cíclica. Consiste en el cambio de diversos elementos con la frecuencia que se considere oportuna en base a la experiencia y las recomendaciones del fabricante.
- Mantenimiento de modificaciones o reforma. Es un mantenimiento de consecuencia. No se trata de un mantenimiento que requiera una acción preventiva, sino de una modificación de ciertos elementos causantes de la conflictividad.

1.4.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo debe entenderse como aquella metodología que basa las intervenciones en la máquina o instalación sobre la que se aplica, en la evolución de una determinada variable que sea realmente identificadora de su funcionamiento y fácil de medir.

La gran diferencia entre este tipo de mantenimiento y el sistemático, radica en que este último planifica intervenciones de forma constante y con base a una periodicidad concreta, un número de kilómetros, unas horas de funcionamiento, etc., pero siempre las mismas, y el predictivo no define ninguna periodicidad concreta, sino que aconseja el lanzamiento de una orden de trabajo preventiva cuando la variable medida comienza a encontrarse en una zona de peligrosidad funcional de la máquina, y, lógicamente, siempre antes de que se produzca el fallo catastrófico.

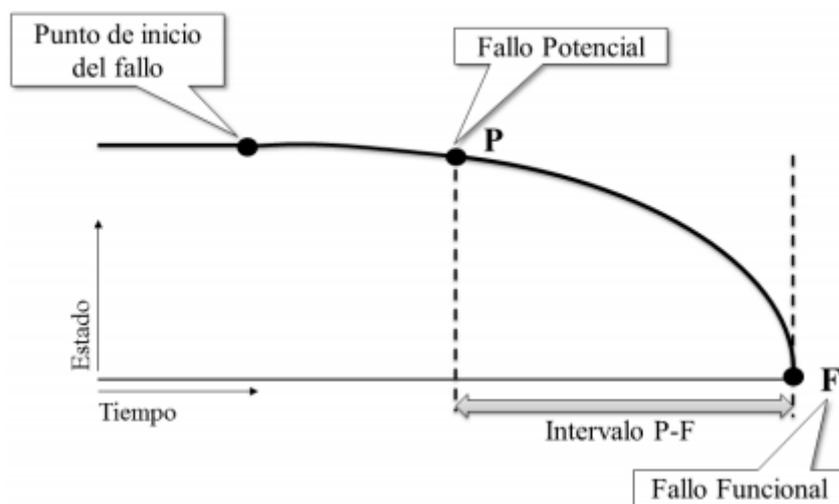


Figura 1-4. Evolución del fallo

Muchos autores han intentado explicar este tipo de mantenimiento predictivo con la anterior curva P-F en la que simbolizan cómo la variable medida va evidenciando un determinado nivel de deterioro de la máquina a partir del punto P para que, antes de que ésta falle, punto F, se produzca la intervención.

La realidad es que el mantenimiento predictivo es una de las pocas alternativas frente a la rutina de los mantenimientos periódicos establecidos.

1.4.4 El mantenimiento desde una perspectiva económica

Como se pueden imaginar, la función de mantenimiento dentro de las empresas ha experimentado una creciente importancia ante el desarrollo de las instalaciones cada vez más complejas, ya sean automatizadas o robotizadas. En las industrias con un elevado índice de automatización el personal de mantenimiento puede representar con frecuencia un índice cercano al 40% del total de la plantilla.

Sin embargo, el costo directo de la puesta en marcha del mantenimiento sólo constituye uno más de los factores económicos a tener en cuenta por las empresas, mientras que los costos indirectos, es decir, los derivados de la falta de disponibilidad o del deterioro de las funciones de los equipos, sí representan un factor económico de primer orden en ellas.

Se debe prestar una calidad de servicio máxima para obtener una disponibilidad máxima, pero el costo de mantenimiento no debe ser superior al costo de paradas de la producción. El punto óptimo, como se puede observar en la figura(1-5), corresponde al valor mínimo de la curva de Costo Total, al que corresponde la máxima disponibilidad o valor óptimo del rendimiento operacional de un sistema de producción con un costo por intervenciones de mantenimiento igual a los costos de las paradas de producción.

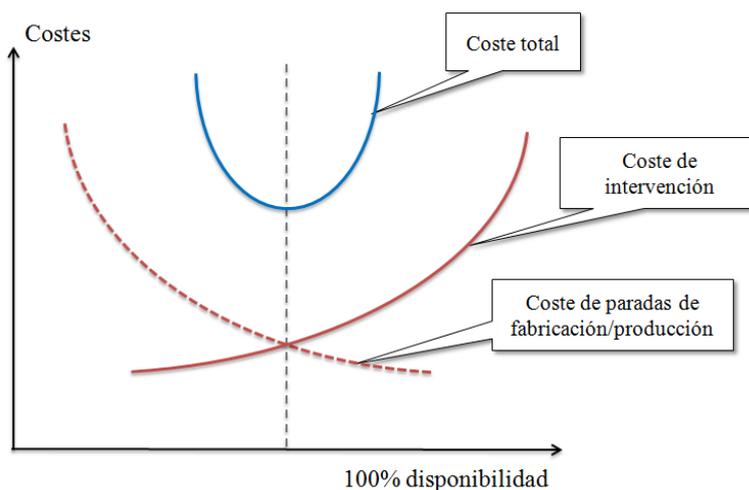


Figura 1-5. Curva de costos de mantenimiento

Aun cuando se respeten todas las proporciones, estos costos indirectos, derivados de la falta de disponibilidad, constituyen a menudo la parte sumergida del iceberg, puesto que no suelen ser objeto de una partida contable tal como se aplica a los costos directos.

A modo de ejemplo, brevemente, los costos indirectos pueden estar constituidos por:

- Las repercusiones económicas por la pérdida de producción por paro, falta de disponibilidad o deterioro de la función, y de los costos de la falta de calidad que pudieran derivarse.
- Las eventuales penalizaciones por retrasos en la entrega.
- Los costos de las medidas tomadas en su momento para paliar los fallos de los equipos productivos: horas suplementarias, peticiones de ayuda al exterior, etc.
- En algunas ocasiones, los fallos de los equipos pueden entrañar la destrucción completa de la instalación o del propio equipo. Así mismo, los fallos en los equipos podrían poner en riesgo la seguridad de las personas.

En resumen, la función de mantenimiento presenta una importancia capital desde una perspectiva económica, en lo que concierne al control de sus costos directos y a los costos atribuibles a la falta de disponibilidad o del deterioro de la función de los equipos. Y desde la perspectiva de la seguridad de las personas, de los bienes y del medio ambiente.

Capítulo 2 ENERGIA EOLICA

En la actualidad las energías renovables ya son una tecnología madura con una aportación a la generación energética en parámetros notables. Pero no siempre ha sido así, pues hasta llegar a este punto, en las últimas décadas se han producido un gran desarrollo de todas las tecnologías disponibles y la conciencia social ha ido en dirección a que estas adopten un lugar importante en el sector energético.

2.1 Definición y antecedentes

La energía eólica se define como la energía cinética del viento. La tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2.000 Kwh/m² anuales. Se estima que entre el uno y el dos por ciento de la energía total que la tierra recibe del sol se convierte en viento.

El calentamiento desigual de la superficie de la tierra produce zonas de altas y bajas presiones. Este desequilibrio da lugar a desplazamientos del aire que envuelve la tierra, dando así lugar al viento. La potencia total de los vientos de la tierra alcanza un valor capaz de dar una potencia de $10e^{11}$ Gwh.

En la antigüedad no se conocían estos datos, pero intuitivamente eran conocedores del gran potencial de esta energía. Así la historia muestra que ya existían artilugios y molinos de viento en la antigua Persia, Irak, Egipto y China.

La primera referencia histórica de que se dispone sobre el aprovechamiento del viento son unos molinos de eje vertical que figuran en obras geográficas del siglo V a. de C. Los citan en el Sijistán, situado entre lo que hoy en día es Irán y Afganistán, donde sopla un viento muy constante llamado de los 120 días.

Otras referencias históricas destacan que, hacia el siglo II a. de C. Herón de Alejandría construyó a un molino de viento para proporcionar aire a su órgano y, en el 1.700 a. de C. una máquina eólica que se utilizaba para bombear agua en Alejandría.

Hacia el siglo VII aparecieron en Europa, procedentes del este, grandes molinos de eje horizontal con cuatro palas. Su fabricación en gran número, en particular por los holandeses, les hizo alcanzar una gran firmeza, pese a que, debido a las dimensiones de sus palas distaban mucho de alcanzar el máximo de potencia. Necesitaban una regulación de la orientación de tela. Siempre sucede esto en los molinos de eje horizontal que han de hacer siempre frente al viento. Estos molinos eran muy adecuados para vientos del orden de 5 m/s (20 Km/h).

Es a partir de los siglos XII-XIII cuando empieza a generalizarse el uso de los molinos de viento para la elevación del agua y la molienda del grano, los más antiguos aparecieron en Turquía, en Irán y en Afganistán.

A principios del siglo XII Europa se llenó a su vez de molinos, sobre todo en Bélgica y en los Países Bajos. Los molinos de Holanda tienen cuatro aspas de lona, mientras que los de Baleares y Portugal tienen seis, y los de Grecia doce. Los molinos con gran número de palas determinan velocidades de rotación relativamente bajas y un funcionamiento útil a partir de velocidades del viento del orden de 2 m/s. [2]

Aunque la evolución en la historia de los molinos de viento transcurre de forma continua, a finales de la Edad Media las innovaciones y aplicaciones de las máquinas eólicas se produce con mayor rapidez. Entre la segunda mitad de los siglos XVIII y la segunda mitad del XIX, los molinos de viento europeos alcanzan su más alto nivel de perfeccionamiento, dentro de las limitaciones de la tecnología artesanal.

El desarrollo de los molinos de viento se interrumpe con la revolución industrial y la utilización masiva del vapor, la electricidad y los combustibles fósiles como fuentes de energía motriz. Es, sin embargo, en la segunda mitad del siglo XIX cuando tiene lugar uno de los más importantes avances en la tecnología del aprovechamiento del viento, con la aparición del popular “Molino multipala tipo americano”, utilizado para bombeo de agua prácticamente en todo el mundo, y cuyas características habrían de sentar las bases para el diseño de los molinos generadores eólicos.

Fue entre las guerras mundiales cuando aparecieron, como consecuencia de los progresos técnicos de las hélices de aviación, y con ellas los proyectos de grandes aerogeneradores de dos o tres palas.

Los aerogeneradores de eje vertical derivan todos ellos del inventado en 1925 por el Ingeniero Francés Darrieus, patentado en los Estados Unidos y luego caído en un olvido casi total. Su estudio volvió a iniciarse en Canadá en 1973, y en Estados Unidos a partir de 1975.

El bajo precio del petróleo determinó entonces la suspensión total de los grandes proyectos en todo el mundo. Pero en los años 70, coincidiendo con la primera crisis del petróleo, se inicia una nueva etapa en el aprovechamiento de la energía del viento. Las aplicaciones de las modernas tecnologías, y en especial de las desarrolladas para aviación, dio como resultado la aparición de una nueva generación de máquinas eólicas perfeccionadas, y que permitían su explotación, bajo criterios de rentabilidad económica, en zonas de potencial eólico elevado.

A principios de los años 70, los norteamericanos, enfrentados al aumento de los problemas de abastecimiento de energía iniciaron un amplio programa para explotar la energía eólica. En aquel momento se estimaba, en efecto, que esa energía renovable podría, aparte de sus aplicaciones tradicionales, proporcionar KWh a las redes eléctricas a un precio igual o inferior al de las centrales térmicas. Se hizo realidad pronto con la puesta en servicio de grandes aerogeneradores que producían potencias eléctricas comprendidas entre 2 y 5 MW.

Los primeros grandes aerogeneradores aparecieron en los Estados Unidos, donde en 1941 había ya una eólica cuya hélice pesaba siete toneladas y tenía un diámetro de 53 metros. Desde 1973 y bajo la responsabilidad de la NASA los Estados Unidos reanudaron la construcción de eólicas gigantes. Las dos más grandes midieron 61 y 91 metros de diámetro, y funcionaron desde 1978 en Boone (Ohio) y en Barstow (California), produciendo entre 2 y 2.5 MW de electricidad.

A lo largo del siglo XX, las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento fueron declinando, a medida que se hacía más popular el uso del petróleo. Sin embargo, la crisis energética inició de nuevo un período en el campo del aprovechamiento eólico, elaborándose innumerables programas de estudio que centraron su interés en dos grandes aspectos:

- Elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos.

- Cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia.

Paralelamente se crearon incentivos para motivar la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas máquinas que permitan cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas.

Fue a partir de 1981 cuando realmente comenzó el verdadero auge de la generación eólica. Aquel año aumentó la rentabilidad de la energía eólica debido al incremento en el rendimiento conseguido gracias a la innovación tecnológica, a la experiencia de los fabricantes y de los promotores, que aprendieron a seleccionar emplazamientos mejores. Algo muy importante a destacar es que el mantenimiento se acomodó a los periodos de escaso viento.

En la actualidad, el incremento en los niveles de contaminación atmosférica y la preocupación por el cambio climático, debido en gran parte a la producción de energía a partir de los combustibles fósiles, está provocando una demanda de reducción de las emisiones medioambientales. Esta realidad, junto con la histórica crisis del petróleo en 1973, ha provocado en las últimas décadas un gran desarrollo de las energías renovables y, en especial, de la energía eólica.

La Unión Europea asumió el reto de la renovación de su estructura energética optando por un modelo que, garantizando la cobertura de sus necesidades energéticas, resultara menos agresivo con el medio ambiente.

La estrategia del gobierno español se resumía en el Plan de Fomento de las Energías Renovables. Este plan fue elaborado con el propósito de reforzar los objetivos de la política energética, que son la garantía de seguridad y calidad del suministro eléctrico y el respeto al medio ambiente, con el principal objetivo de dar cumplimiento a los compromisos de España en el Protocolo de Kyoto.

Además del Plan de Fomento de las Energías Renovables, la mayoría de las comunidades autónomas tienen programas con objetivos específicos.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 23 de abril, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, establece la elaboración por parte de cada Estado de un Plan de Acción Nacional en materia de

Energías Renovables (PANER) para conseguir los objetivos nacionales fijados en la propia Directiva.

2.2 características de la energía eólica

Las características que presenta la energía eólica se pueden agrupar por un lado en aquellas que aportan ventajas a su utilización y por otro lado en aquellas que representan inconvenientes.

2.2.1 ventajas de la energía eólica

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a evitar el controvertido cambio climático ya que no existe proceso de combustión ni transformación térmica de ningún tipo. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

España es un país con una enorme dependencia energética de fuentes externas debido a la inexistencia de yacimientos petrolíferos y/o de gas natural en su territorio. Solamente existen yacimientos de carbón, pero de baja calidad. Por tanto, las energías renovables suponen una solución para evitar esta dependencia.

La energía eólica no produce emisiones que generen gases de efecto invernadero. La generación eólica sólo produce emisión de CO₂ durante su construcción. Además, no presenta incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo ya que no produce ningún contaminante que incida sobre él.

Por otro lado, evita el impacto originado por el transporte de combustible. Reduce el tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales, suprime el riesgo de accidentes tales como los vertidos de crudo, residuos nucleares, etc., y evita la instalación de canalizaciones a las refinerías o a las centrales de gas, etc.

Puede instalarse en zonas desérticas, en laderas áridas, etc., pudiendo convivir con otros usos del suelo, por ejemplo, prados para uso ganadero o cultivos bajos como maíz, trigo, etc.

La energía eólica se obtiene de forma mecánica y es directamente utilizable. Su transformación tiene un rendimiento excelente ya que no depende de relaciones termodinámicas ni del rendimiento de Carnot.

2.2.2 Desventajas

No hay duda de que la energía eólica produce un impacto visual inevitable ya que precisa de unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas. La implantación de Parques Eólicos a gran escala está claro que produce una alteración importante sobre el paisaje.

Normalmente los Parques Eólicos se localizan en áreas de montaña, por lo que su instalación puede afectar a recursos naturales con un alto valor paisajístico, entre otros.

Las acciones del proyecto de construcción de un Parque Eólico que generan un mayor impacto son las infraestructuras necesarias para la instalación y posterior funcionamiento del parque: Accesos, Plataforma de montaje, cimentación de los aerogeneradores, red de media tensión. Sin embargo, en la mayoría de los casos el acceso principal lo constituyen carreteras ya existentes y los accesos interiores a las líneas de aerogeneradores se construyen aprovechando el trazado de pistas forestales.

Otro inconveniente lo produce el ruido, producido tanto mecánica como aerodinámicamente por la rotación de las palas. Este ruido depende tanto de la calidad de los mecanizados y tratamientos superficiales como de los materiales que constituyen las palas. Normalmente el nivel de este ruido es bajo, produciéndose a decenas de metros de altura y por tanto muy mitigado. Hoy en día, los aerogeneradores modernos incluyen sistemas de control que regulan la velocidad de las palas para así limitar y disminuir al máximo la generación de ruido aerodinámico.

Uno de los impactos más significativos es el que afecta a la fauna. En este sentido, las aves son las más afectadas por el riesgo de colisión con las palas, torres, tendidos eléctricos, etc.

Frente a esto, la instalación de un Parque Eólico está precedida por un estudio de impacto ambiental que debe ser aprobado por las autoridades correspondientes con el

objetivo de obligar al promotor de la instalación a tomar las medidas necesarias para minimizar los posibles impactos negativos que puedan producirse.

Desde el punto de vista eléctrico, los operadores del sistema de los diferentes países con implantación de generación eólica han adaptado sus normas de conexión para adaptarse a esta nueva forma de generación. Uno de los principales asuntos tratados en estas normas es el comportamiento de los parques eólicos durante los huecos de tensión.

Cuando ocurre una falta en el sistema, la tensión en el punto de falta cae prácticamente a cero voltios, y el flujo de corriente hacia la falta hace que la tensión disminuya a lo largo de la red. Este efecto es el que comúnmente se denomina hueco de tensión.

Cuando tenía lugar un hueco de tensión y los aerogeneradores no tenían la capacidad de continuar suministrando potencia durante el hueco de tensión, éstos se desconectaban. En la actualidad la normativa de conexión de parques eólicos a la red eléctrica incorpora el requisito de “Continuidad de suministro de los parques eólicos durante los huecos de tensión”. Este requisito es especialmente importante debido al incremento de la potencia eólica instalada, ya que la pérdida de esta potencia durante un hueco de tensión provocaría inestabilidad en el sistema eléctrico.

Los parques eólicos se agrupan en zonas en las que existen buenas condiciones de viento. Esto hace que se produzca una gran cantidad de potencia en zonas donde el consumo local es escaso, por lo que el exceso de energía debe ser evacuado a través de la red de transporte. La falta de redes de evacuación adecuadamente dimensionadas y capaces de admitir los niveles de energía eléctrica producida por los parques eólicos constituye uno de los problemas que más negativamente afectan a la implantación de parques eólicos.

En cuanto al impacto de la generación eólica en la operación del sistema, de forma resumida presenta las siguientes características:

- Dificultad en su previsión.
- No está sujeta a programación: se necesita programar reserva suficiente.

- Provoca fluctuaciones de potencia debido a la propia naturaleza de su fuente energética.

Los últimos avances en previsión del viento han mejorado notablemente la situación, aunque el problema, en menor medida, sigue existiendo.

Los parques eólicos están distribuidos a lo largo de toda la superficie, compensando, en parte, la baja producción de unos parques por falta de viento con la alta producción en las zonas de viento, aunque durante muchos días la producción eólica es prácticamente inexistente.

Por otro lado, el aire, al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y, en consecuencia, caras.

Por ejemplo, el diámetro medio del rotor de estos nuevos aerogeneradores terrestres mide 100 metros y el buje se eleva hasta una altura de 117 metros. En el caso de los aerogeneradores ubicados en el mar, el tamaño medio se sitúa en torno a los 5 MW de potencia unitaria, con un diámetro medio de rotor de 126 metros y una altura estimada de 90 metros.

2.2.3 Inconvenientes de la energía eólica

No hay dudas que la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que los emplazamientos elegidos para su instalación resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas. Normalmente, las instalaciones eólicas se localizan en zonas elevadas, lo que puede afectar a zonas con alto valor paisajístico.

Otro inconveniente es relativo al ruido. Se produce un ruido tanto mecánico como aerodinámicamente. Este ruido depende de varios factores, tales como la calidad de los mecanizados, o los tratamientos superficiales de los materiales que constituyen las palas. De todas formas, este nivel de ruido es bajo, y se produce a decenas de metros de altura.

Uno de los impactos negativos más significativos es el que afecta a la fauna. En este sentido, las aves son las más afectadas por el riesgo de colisión con las palas, torres o

tendidos eléctricos. Para tratar de reducir este problema, toda instalación eólica tiene que venir precedida de un estudio de impacto ambiental que debe ser aprobado por las autoridades correspondientes, con el objetivo de obligar al promotor a tomar las medidas necesarias.

Por otro lado, el aire, al ser un fluido de pequeño peso específico, requiere la fabricación de grandes máquinas para su aprovechamiento, y, en consecuencia, caras. La tendencia desde sus inicios ha sido a la construcción de aerogeneradores cada vez más grandes.

Desde hace unos años, los aerogeneradores han ido aumentando hasta unos valores que se alcanzaron en 2022 y permanecen así, en torno a los 3 a 5 MW de media en potencia unitaria. Aunque esa es la media de la potencia unitaria, en la actualidad hay casos puntuales de aerogeneradores que llegan a los 7.5, 8 o incluso 10 MW de potencia unitaria.

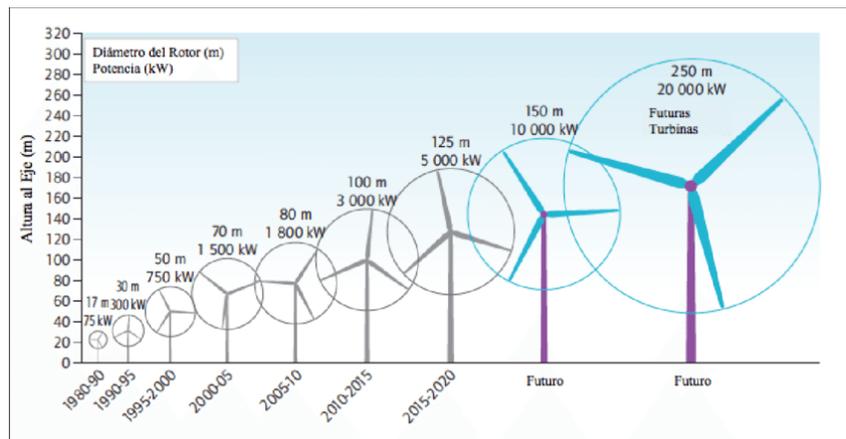


Figura 2-1 Evolución del tamaño de las turbinas eólicas y capacidad desde 1980

2.3 Energía eólica en México

La capacidad de energía eólica de México ha aumentado rápidamente durante la última década, colocándolo en una buena posición para convertirse en un líder regional en energía eólica. La producción eólica del país va de la mano con un creciente sector de energía solar, que contribuye a la combinación de energía renovable en constante expansión de México. Creemos que buscar una mayor inversión privada en el sector

podría ayudar a desarrollar aún más la industria de energía eólica de México, creando nuevos empleos e impulsando la economía local.

La capacidad eólica instalada acumulada en México ascendió a 8.3 GW en 2021 y el 9% de la electricidad del país provino de la energía eólica. Esto lo coloca en el séptimo lugar a nivel mundial en producción eólica, con 3,175 turbinas en 69 centrales eléctricas en 15 estados.

México fue uno de los primeros en adoptar la tecnología de energía eólica e inauguró su primer parque eólico en 2009. Las operaciones de energía eólica Eurus fueron desarrolladas en Oaxaca por la firma española ACCIONA a un costo de USD 550 millones, con una capacidad de producción inicial de 250 MW, para proporcionar energía renovable para la fabricación industrial.

La capacidad instalada de energía eólica en México aumentó 136% durante los primeros tres años de gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador (AMLO), logrando una inversión de USD 13 mil millones. Esto se debe principalmente a los planes de desarrollo de parques eólicos previamente aprobados, según Leopoldo Rodríguez Olivé, presidente de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE).

La industria de la energía eólica se ha visto respaldada significativamente por la caída de los precios de la tecnología de energía eólica, que descendieron un 70% durante la última década, con un kilovatio de generación de energía eólica que ahora cuesta aproximadamente USD 26.

Se cree que México tiene el potencial para desarrollar sustancialmente su sector de energía eólica durante la próxima década a través de una mayor inversión privada. El Departamento de Energía de EE. UU. cree que el potencial técnico nacional de energía eólica de México asciende a 3,670 GW, con 670 GW en el noroeste del país, 744 GW en el sureste y 110 GW en Baja California Sur.

Para tener éxito en el desarrollo de su capacidad eólica, se cree que México debe continuar realizando exitosas subastas de energía renovable, ofreciendo precios competitivos para los inversionistas. Además, otorgar a la comunidad la propiedad de los proyectos eólicos a menudo ayuda a lograr la “aceptación” de los residentes locales.

Disminuir el potencial de conflicto podría ayudar a que los proyectos se desarrollen más rápidamente, evitando costosas demoras.

Si la industria de la energía eólica de México se desarrolla en todo su potencial, podría generar miles de empleos operativos y de construcción en varios estados. También impulsará la economía nacional al ayudar a desarrollar cadenas de suministro locales y regionales y contribuirá al ya fuerte sector manufacturero de México. Además, esperamos que proporcione más electricidad a bajo costo a las áreas rurales, lo que impulsará la seguridad energética en todo el país. En la imagen a continuación se muestra la capacidad de producción por estado de energía eólica.

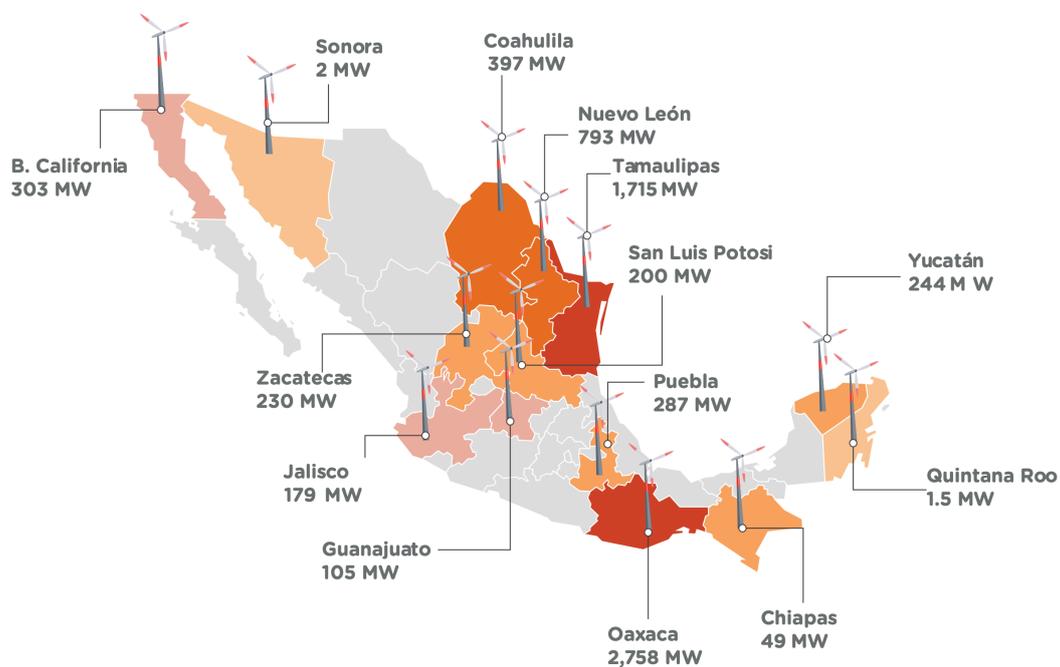


Figura 2-2. Producción actual por estado 2022

México está en camino de convertirse en un centro regional de energía eólica, con miles de aerogeneradores en la mitad de sus estados. Se espera atraer una mayor inversión privada a través de subastas de energía renovable ayude a México a desarrollar aún más su industria de energía eólica, apoyando la creación de nuevos empleos directos e indirectos e impulsando la economía nacional.

2.3.1 Energía eólica en Oaxaca

El Istmo de Tehuantepec es una región comprendida entre los estados de Oaxaca, Veracruz, Chiapas y Tabasco. Esta región es la zona más angosta del territorio mexicano que comunica los dos océanos; Pacífico y Atlántico. En su punto más estrecho el Istmo tiene tan sólo 200 km de distancia entre el Golfo de Tehuantepec y el Golfo de México.

La región del Istmo cuenta con vastos recursos naturales. Tan sólo en la región de Los Chimalapas nacen más del 40% de los ríos de México. Asimismo alberga importantes yacimientos minerales entre los que destacan los de plata, cobre, hierro, grafito cristalino, carbón, yeso y travertino. Los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz registran además, el mayor número de especies animales y vegetales en el país, muchas de ellas ubicadas en la región que comprende el Istmo. Es también una zona rica en petróleo y en recursos maderables, al tiempo que cuenta con vastas planicies, ideales para la instalación de parques eólicos.

La región del Istmo presenta uno de los mayores potenciales de generación de energía eólica en todo el mundo, calculado entre 5000 y 7000 MW de capacidad anual. En esta región destacan los Municipios de Juchitán de Zaragoza, El Espinal, San Dionisio del Mar, Asunción Ixtaltepec, Unión Hidalgo y Santo Domingo Ingenio, en Oaxaca, donde empresas eólicas transnacionales e instituciones financieras internacionales, con el apoyo del Gobierno Federal, desarrollan parques eólicos terrestres a gran escala.

La región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, ha sido considerada desde hace muchos años como un sitio estratégico para el desarrollo del país; un proyecto relevante para ello es la generación de energía eólica. En esta región, se han generado manifestaciones a favor y en contra del proyecto eólico; la necesidad de generar fuentes alternas de energía para el desarrollo del país y el pago justo por el arrendamiento de las tierras, así como el impacto negativo que se tendría sobre la fauna de la región, constituyen elementos dignos de tomarse en cuenta.

Sin embargo, se observa un panorama viable para el desarrollo del proyecto eólico ya que los inconvenientes pueden ser subsanados por acuerdos y normatividades.

En 1986, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) instala estaciones anemométricas en el Istmo de Tehuantepec, se genera interés en la región y se realizan diferentes

evaluaciones del potencial eólico del Istmo de Tehuantepec, tanto por la CFE como por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, ***National Renewable Energy Laboratory (NREL)***, este último a petición del Gobierno del Estado de Oaxaca y financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

En 1994, la CFE logró realizar la construcción del primer proyecto experimental de energía eólica, *La Venta I*, de 1.575 megawatts de capacidad que se ubicó en el poblado de La Venta, agencia municipal de Juchitán, Oaxaca, donde se instalaron siete aerogeneradores con una capacidad de 225 kilowatts cada uno. La zona se caracteriza por fuertes vientos cuya velocidad promedio anual fluctúa entre los 20 y 25 metros por segundo, la cual coloca a la región como una de las de mayor potencial generador de energía eólica en el mundo.

En el 2006, se llevó a cabo la inauguración del parque eólico La Venta II, una central con 83.3 megawatts con capacidad para generar electricidad para aproximadamente 45 mil viviendas.

El parque eólico se ubicó en la región sur del Istmo de Tehuantepec al norte de la población de La Venta, municipio de Juchitán de Zaragoza. En el proyecto se consideró la instalación de 98 aerogeneradores, de los cuales cada uno producen 850 kilowatts, hecho que lo convierte en el parque eólico más grande de América Latina.

Para La Venta II, la empresa española Gamesa aportó los aerogeneradores, también de origen español, se encargó de desarrollar los trabajos de ingeniería y construcción para entregar el proyecto bajo la modalidad ‘Llave en mano’. Se trata de un proyecto de gran importancia que permite a México colocarse como líder en la producción eléctrica alterna en América Latina.

A principios de 2021, el Corredor Eólico en el Istmo de Tehuantepec comprende 29 parques eólicos privados operando que alcanzan una capacidad instalada acumulada de 2,709 MW. Existe un oligopolio en las empresas generadoras, ya que solo 5 empresas (Electricidad de Francia - EDF, Acciona, Femsas, Iberdrola y Enel Green Power) controlan el 77 % de la capacidad instalada total de los parques operando en el Istmo.

2.4 Aerogenerador

2.4.1 Descripción de un aerogenerador

Hoy en día los aerogeneradores son del tipo de rotor tripala(tres palas), orientada ésta en la dirección que llega el viento. Las potencias nominales que producen comprenden un abanico muy amplio que va, en el caso del fabricante Gamesa, desde los 2MW hasta los 5 MW, existiendo ya prototipos a punto de ser comercializados que superan los 7 MW. En la imagen de abajo podemos ver los componentes principales que se encuentran en el interior de la góndola de un aerogenerador.

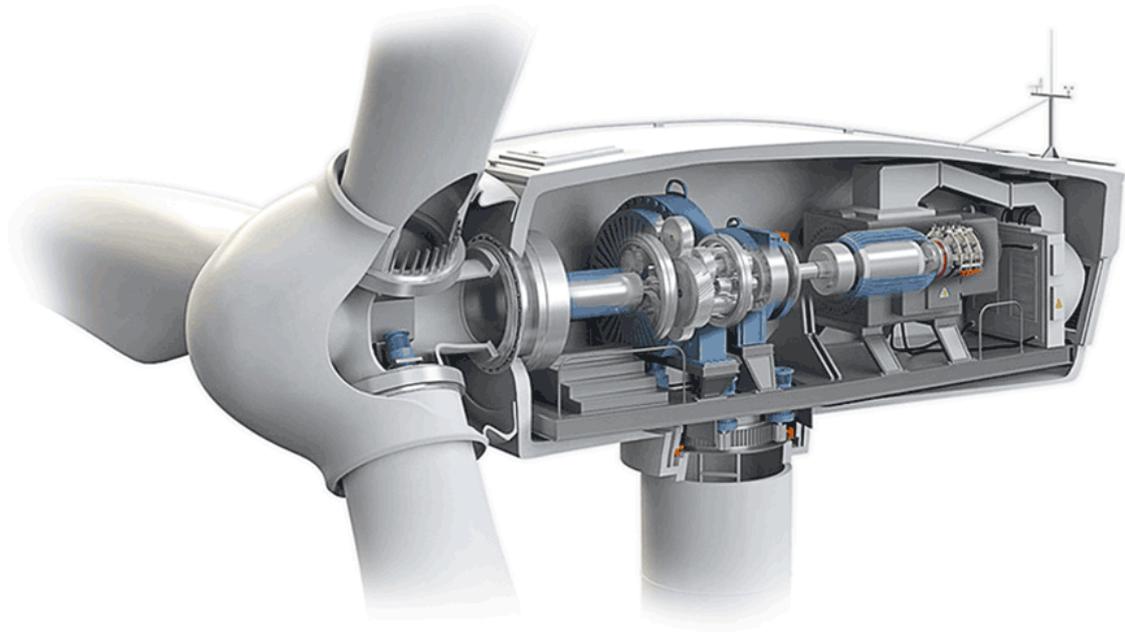


Figura 2-3. Componentes de un aerogenerador

A continuación se realizará una descripción de los principales componentes de un aerogenerador.

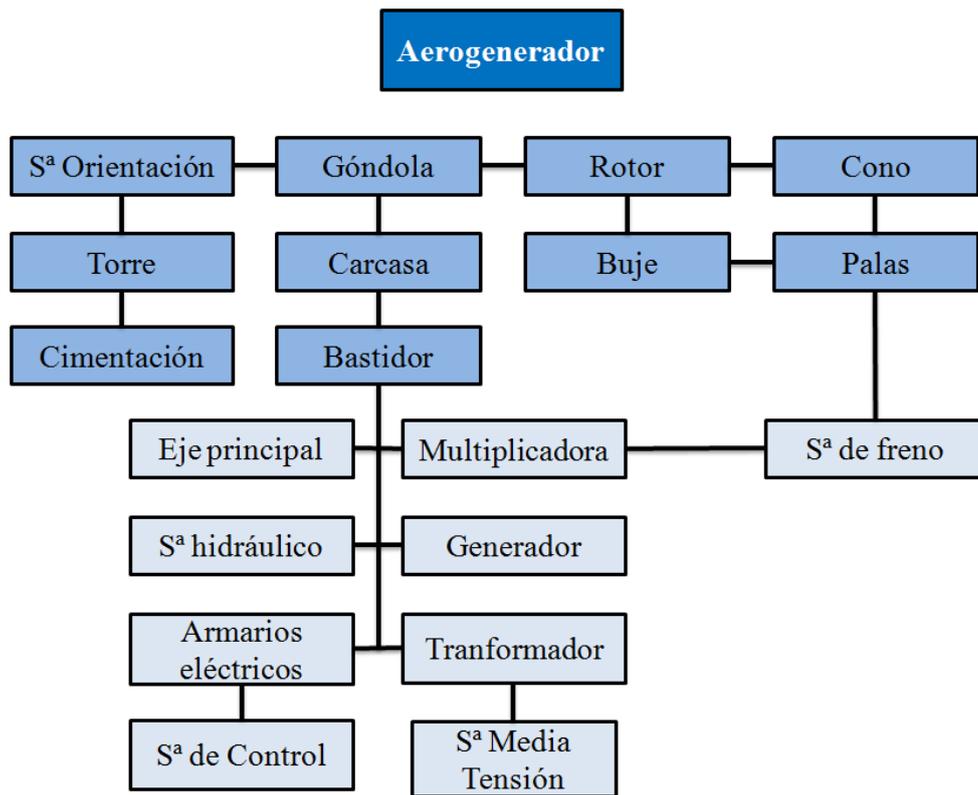


Figura 2-4. Principales sistemas y componentes de un aerogenerador.

2.4.2 Componentes de un aerogenerador

Gondola

La gondola o nacelle, es la cubierta que protege los componentes del aerogenerador que se encuentran en el interior de esta frente a las condiciones ambientales externas. Su estructura está realizada de un material compuesto de resina con refuerzo de fibra de vidrio.

En el interior de la carcasa existe el suficiente espacio para realizar las operaciones de mantenimiento del aerogenerador. La carcasa puede tener en algunos casos trampillas que dan acceso a la góndola. Además puede contar con claraboyas en el techo que proporcionan luz solar por el día, ventilación adicional y acceso al exterior, donde se encuentran los instrumentos de medida de viento y el pararrayos.

Los componentes internos que son giratorios están debidamente protegidos para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento.

Bastidor

Toda góndola dispone normalmente de un bastidor cuya función es soportar adecuadamente los elementos de la góndola y transmitir las cargas mecánicas hasta la torre.

Eje principal

La transmisión del par motor que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora se realiza a través del eje principal. El eje se une al buje y está apoyado sobre dos rodamientos.

El eje normalmente está fabricado en acero forjado y tiene un orificio central longitudinal que aloja las mangueras hidráulicas y los cables de control del sistema de cambio de paso –sistema Pitch– de las palas.

El apoyo del eje principal sobre dos rodamientos conlleva importantes ventajas estructurales. Todos los esfuerzos provenientes del rotor son transmitidos al bastidor delantero excepto el par de torsión, el cual se aprovecha en el generador para producir la energía eléctrica. De esta forma, se asegura que la multiplicadora únicamente transmita dicho par y que las sollicitaciones por flexión, axiales y cortantes vayan directamente al bastidor.

Multiplicadora

Transmite la potencia del eje principal al generador. La multiplicadora se compone de tres etapas combinadas, una planetaria y dos de ejes paralelos. Los dientes están diseñados para obtener una máxima eficiencia junto con un bajo nivel de emisión de ruido y vibraciones. Como resultado de la relación de multiplicación, parte del par de entrada es absorbido por los brazos de reacción. Estos brazos de reacción soportan y fijan la multiplicadora al bastidor.

La multiplicadora tiene un sistema de lubricación principal con un sistema de filtrado asociado a su eje de alta velocidad. Existe un equipo secundario eléctrico de filtrado que

permite un grado de limpieza del aceite, disminuyendo así el número de averías y además, tiene en algunos casos un circuito extra de refrigeración.

Algo muy importante es que los componentes y parámetros de funcionamiento de la multiplicadora suelen estar monitorizados mediante sensores tanto del sistema de control como del sistema de mantenimiento predictivo.

Sistema de orientación

El sistema de orientación, como ya se ha dicho en la descripción del funcionamiento, permite el giro de la góndola alrededor del eje de la torre. Suele estar constituido por un número determinado de motores accionados eléctricamente por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo con la información recibida de los anemómetros y veletas colocados en el techo de la góndola. Los motores del sistema de orientación hacen girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre produciendo el giro relativo entre la góndola y la torre.

Mediante un cojinete de fricción se consigue un par de retención suficiente para controlar el giro de orientación. Además, existe un freno hidráulico que proporciona un mayor par de retención para posicionar y fijar el aerogenerador. La actuación conjunta de ambos sistemas evita fatigas y posibles daños en el engranaje asegurando la orientación de una manera estable y controlada.

La corona de orientación está dividida en sectores para asegurar una mayor facilidad en caso de reparación debido a posibles daños locales en los dientes.

Sistema de freno

El freno principal del aerogenerador es del tipo aerodinámico por puesta en bandera de las palas orientadas a 90 grados para ofrecer la menor resistencia posible al viento. Al ser el sistema de cambio de paso sistema Pitch independiente para cada una de las palas, se cuenta con un sistema adicional de seguridad.

El freno mecánico está compuesto por un freno de disco, activado por el sistema hidráulico y ubicado en el eje de alta velocidad de la multiplicadora. Este freno mecánico se utiliza únicamente como freno de aparcamiento o en caso de emergencia.

Sistema hidráulico

El sistema hidráulico proporciona aceite presurizado a los actuadores independientes del cambio de paso sistema Pitch, al freno mecánico del eje de alta velocidad y al sistema de freno del sistema de orientación sistema Yaw. Incorpora un sistema que asegura el nivel de presión y el caudal de aceite necesarios en caso de ausencia de corriente para activar el sistema de cambio de paso de las palas, el freno de disco y el freno del sistema de orientación llevando así al aerogenerador a un modo seguro.

Generador

Los generadores, en su mayoría actualmente, son del tipo asíncrono doblemente alimentado con cuatro polos, rotor bobinado y anillos rozantes. Este tipo de generador es altamente eficiente y está refrigerado por un intercambiador aire-aire. El sistema de control permite trabajar con velocidad variable mediante el control de la frecuencia de las intensidades del rotor.

Las características y funcionalidades que introduce este tipo de generador son:

- Comportamiento síncrono frente a la red
- Funcionamiento óptimo para cualquier velocidad de viento maximizando la producción y minimizando cargas y ruido gracias a la operación en velocidad variable.
- Control de la potencia activa y reactiva mediante el control de la amplitud y la fase de las corrientes del rotor.
- Suave conexión y desconexión a la red eléctrica.

Además, el generador está protegido frente a cortocircuitos y sobrecargas. Por otro lado, la temperatura se monitoriza de manera continua mediante sondas en diferentes puntos del mismo.

Transformador

Se trata de transformadores especialmente diseñados para aplicaciones eólicas. Son del tipo trifásico, encapsulados de resina seca o de silicona.

Actualmente, en los aerogeneradores más modernos el transformador está situado en la parte trasera de la góndola en un compartimento separado por una pared metálica que lo aísla térmica y eléctricamente del resto de componentes de la góndola. Sin embargo, en función del fabricante esta disposición puede variar. Esta situación del transformador en la góndola evita pérdidas eléctricas debido a la reducida longitud de los cables de baja tensión y reduce el impacto visual.

En el caso del tipo seco, el riesgo de incendio es mínimo. Además, el transformador incluye todas las protecciones necesarias para evitar daños como detectores de arco y fusibles de protección.

Armarios electricos de control y de potencia

Se trata de un conjunto de armarios repartidos por el aerogenerador y la torre.

Armario Top: es el controlador de la góndola y está ubicado, lógicamente, en la góndola.

A su vez, se divide en tres partes:

- *Sección de control:* se encarga de las tareas propias del gobierno de la góndola.
- *Convertidor de frecuencia:* se encarga del control de potencia y de gestionar la conexión y desconexión del generador de la red.
- *Sección de embarrados y protecciones:* aquí se encuentra la salida de la potencia producida con las protecciones eléctricas necesarias.

Armario Ground: situado en la base de la torre, junto a la entrada. Desde el mismo se pueden revisar parámetros de la operación del aerogenerador, detener y arrancar la máquina, realizar test de los diferentes subsistemas, etc.

Armario Hub: es el controlador del buje y está situado en el rotor. Se encarga principalmente de la activación del sistema de cambio de paso –sistema Pitch– de las palas.

Sistema de control

Las funciones del aerogenerador están controladas por un sistema de control con los siguientes subsistemas.

- Sistema de regulación: se encarga de seleccionar los valores adecuados de velocidad de giro del aerogenerador, del ángulo de paso de las palas, y de potencia. Éstas se modifican en cada instante dependiendo de la velocidad de viento que llega a la máquina, garantizando así una operación segura y fiable en cualquier condición de viento existente. Las principales ventajas del sistema de regulación son:
 - Maximización de la producción de energía.
 - Limitación de las cargas mecánicas
 - Reducción del ruido aerodinámico.
 - Alta calidad de energía.
- Regulación del pitch: a velocidades de viento por encima de la nominal, el sistema de control y el sistema de cambio de paso mantienen la potencia en su valor nominal. Con velocidades de viento por debajo de la nominal, el sistema de cambio de paso variable y de control optimizan la producción de energía seleccionando la combinación óptima de revoluciones y ángulo de paso.
- Regulación de potencia: el sistema de regulación de potencia o CPU trata de asegurar que las revoluciones por minuto y el par motor del aerogenerador siempre suministren una potencia eléctrica estable a la red.

El conjunto formado por el generador y el convertidor de frecuencia es equiparable al de un generador síncrono con lo que se asegura un óptimo acoplamiento a la red eléctrica con suaves procesos de conexión y desconexión. Además, este sistema conjunto es capaz de trabajar con velocidad variable para optimizar su funcionamiento y maximizar la potencia generada para cada velocidad de viento.

También permite gestionar la potencia reactiva evacuada.

Rotor

El rotor de los aerogeneradores está constituido por tres palas unidas a un buje mediante los rodamientos de pala. Los diámetros de rotor de los diferentes modelos abarcan, actualmente, desde los 80 m hasta los 145 m.

Palas

Las palas de los aerogeneradores normalmente están fabricadas de un material compuesto y con refuerzo de fibra de vidrio o de carbono, que proporciona la rigidez necesaria sin aumentar el peso de la pala. Existen diferentes modelos de pala fabricadas con fibra de vidrio o fibra de carbono exclusivamente, o con una combinación de ambas.

El diseño de las palas muestra el cambio de paso a lo largo de la envergadura completa de la misma, maximizando así la producción energética y reduciendo las cargas y el ruido emitido.

Las palas disponen de un sistema de protección contra-rayos cuya misión es conducir el rayo desde el receptor hasta la raíz de pala donde es transmitido a la máquina para ser descargado a tierra.

Por otro lado, van equipadas con los conductos necesarios para evitar la retención de agua en su interior, lo que podría ser causa de desequilibrios o daños estructurales al impactar un rayo, por ejemplo.

Buje

El buje está fabricado en fundición nodular y se une a los tres rodamientos de pala y al eje principal mediante uniones atornilladas. Posee una abertura en la parte frontal que permite el acceso al interior para realizar las inspecciones y el mantenimiento tanto del sistema de cambio de paso así como del par de apriete de los tornillos de las palas.

Cono

El cono protege el buje y los rodamientos de pala de las inclemencias atmosféricas. El cono se atornilla a la parte frontal del buje y está diseñado para permitir el acceso al buje para realizar las labores de mantenimiento.

Torre

Las torres de los aerogeneradores suelen ser tubos de acero de forma tronco-cónica. Está dividida en tres, cuatro o cinco tramos dependiendo de la altura de torre. La torre se trata superficialmente con pintura de protección especial anti-corrosión. Actualmente, existen prototipos de torres fabricadas en hormigón.

Cimentación

Las cimentaciones estándar son del tipo losa de hormigón armado con acero. Normalmente su cálculo se basa en las cargas del aerogenerador y considerando un terreno estándar.

Para cada emplazamiento, es necesario revisar las características del terreno junto con los datos de viento para elegir la cimentación más adecuada.

2.4.3 Como funciona un aerogenerador?

Para iniciar el funcionamiento de estas máquinas, y con él la producción de energía eléctrica, existe un sistema de control en el aerogenerador que analiza los datos de velocidad y dirección del viento. Como es sabido, estos datos son recogidos por el anemómetro y la veleta situados ambos en la zona trasera del techo de la góndola. De esta manera, el sistema de control envía la señal con los datos a un armario eléctrico situado en el interior de la góndola. Este armario se encargará de activar eléctricamente las motorreductoras del sistema de orientación –sistema Yaw–. Estas motorreductoras están engranadas con los dientes de una corona firmemente unida a la torre en su parte más alta. Al encenderse, hacen girar la góndola posicionándola a barlovento, que es la dirección desde la que llega el viento.

En esta situación, el aire es obligado a fluir por las caras de las palas generando una diferencia de presiones y dando origen a una fuerza resultante que actúa sobre el perfil de las palas. Si descomponemos esta fuerza en dos direcciones, encontramos la fuerza de sustentación, perpendicular al viento, que produce el movimiento rotatorio de las mismas. Esta fuerza de sustentación de las palas está regulada por otro sistema, el de cambio de paso –sistema Pitch–. Hay una particularidad, y es que este sistema puede ser independiente en cada pala y se encarga así de que cada una de ellas gire en torno a su eje longitudinal para ajustar su posición angular.

Las variaciones del ángulo de paso de las palas se consigue gracias a un sistema hidráulico escondido dentro la góndola, y permite a las palas una abanico de rotación que suele ir, aproximadamente, desde -50° a 90° . Por supuesto, la rotación se realiza a través de un rodamiento que está escondido entre la pala y el buje, es el llamado rodamiento de pala.

Algo importante que hay que tener en cuenta es que las palas también sirven de freno aerodinámico cuando el ángulo de paso se acerca a 90° . Es lo que se denomina la posición de bandera.

Para que un aerogenerador se ponga en marcha es necesario un valor mínimo de velocidad del viento para vencer los rozamientos y comenzar así a producir trabajo útil. A este valor mínimo se le denomina velocidad de conexión comprendida entre los 3 m/s

y 5 m/s. Sin esta velocidad no es posible arrancar un aerogenerador. Para comprender mejor el sistema de cambio de paso, a continuación se detalla brevemente su funcionamiento:

- Cuando la velocidad del viento es inferior a la nominal, el ángulo de paso seleccionado será aquel que maximice la potencia eléctrica obtenida para cada velocidad del viento.
- Cuando la velocidad del viento es superior a la nominal, el ángulo de paso será aquél que proporcione la potencia nominal de la máquina. Por aclarar este término, entendemos por potencia nominal la máxima que se puede entregar a la red eléctrica.

El sistema de control, del que ya se ha hablado, permite que el aerogenerador funcione a velocidad variable maximizando en todo momento la potencia producida y minimizando las cargas mecánicas y el ruido.

Resumiendo lo explicado hasta ahora: el viento sopla e incide sobre las palas. Éstas giran transmitiendo el movimiento que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora, a través de lo que se conoce como tren de potencia o eje principal. Este eje principal está unido al buje y a la entrada del eje de baja velocidad de la multiplicadora.

En esta situación, mediante un acoplamiento, la multiplicadora va a transmitir la potencia del eje principal al generador. Así mismo, en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora existe un freno de disco que se activa también hidráulicamente y cuyo uso principal es impedir el inicio de giro una vez que se ha detenido el aerogenerador.

Como ya se ha dicho, hay todo un sistema hidráulico que gestiona numerosos elementos. ¿Qué es lo que hace este sistema hidráulico? Proporciona aceite bajo presión a todos los sistemas citados: el sistema de giro o de orientación, el sistema de cambio de paso y el freno de disco del eje de la multiplicadora, entre otros.

Si imaginamos ahora el eje de alta velocidad de la multiplicadora, lo siguiente que tenemos que considerar es el generador, es decir, el elemento eléctrico principal del

aerogenerador. El generador es el encargado de convertir la potencia mecánica del viento, transmitida desde las palas a través del eje principal, en potencia eléctrica que se suministrará a la red.

En el caso de los aerogeneradores, la velocidad variable del viento hace que el caudal que incide en las palas, atravesando su área de barrido, sea diferente en cada instante. Por ello, el rotor del generador variará con la variación de la velocidad de viento. Esto es muy importante tenerlo en cuenta porque justifica el que se emplee un generador asíncrono. En este tipo de generadores, la frecuencia angular de la onda generada y la frecuencia angular de la velocidad de giro del rotor del generador son diferentes. La primera de ellas tiene que ser equivalente a la frecuencia de la red para garantizar la estabilidad, mientras que la segunda vendrá impuesta, de forma general, por la velocidad del viento.

Las generadores o máquinas de inducción más utilizados hoy en día son doblemente alimentados. Este sistema doblemente alimentado está formado por un generador asíncrono en donde tanto el rotor como el estator están conectados a la red. El estator se conecta directamente y el rotor se conecta a un convertidor de frecuencia a través de la electrónica de potencia. A su vez, este convertidor está conectado también a la red. Sin entrar en los detalles, este esquema consigue que para la red de distribución eléctrica el aerogenerador se comporte como un generador síncrono eliminando así el problema de que el caudal de viento no es constante, lo cual permite estabilizar la red, facilita la conexión de muchos aerogeneradores, elimina bancos de condensadores para compensar la potencia reactiva y otros problemas.

En todo este apartado juegan un papel fundamental los armarios eléctricos, donde se encuentra el sistema de control de potencia CCU. Este controla la potencia activa y reactiva con el convertidor de frecuencia, el cual está conectado, como ya se al dicho, al rotor del generador.

Los armarios eléctricos, fundamentales en un aerogenerador, tienen como funciones principales:

- Controlar la potencia generada (activa y reactiva)

- Vigilar el funcionamiento de todos los equipos y controlar el funcionamiento del aerogenerador.
- Alimentar los distintos equipos eléctricos.
- Proteger contra las faltas eléctricas.
- Permitir la operación de la máquina a través de pantallas táctiles.

Todas estas funciones se reparten en armarios eléctricos cuyos nombres nos dan una idea de su localización en el aerogenerador: el armario Top, el Ground y el Hub.

¿Qué viene después del generador? Después del generador aparece otro elemento muy importante: el transformador. La función del transformador es adecuar el nivel de tensión de generación al nivel de la red de media tensión para poder transmitir toda la potencia generada o consumida por el aerogenerador. El transformador eleva la generación de baja tensión (690V) hasta el valor correspondiente de media tensión (20-35kV). Luego será la subestación del parque la encargada de inyectarla a la red eléctrica para su distribución.

Entre el transformador de BT/MT existe el denominado sistema de celdas de media tensión, ubicado a veces en la plataforma inferior de la torre, junto a la entrada.

La misión de las celdas de media tensión es la de proteger al aerogenerador ante posibles faltas de energía en el mismo, especialmente los cables de media tensión y al transformador de potencia y, a la vez, conectar al aerogenerador con la subestación eléctrica de distribución para evacuar así la energía producida.

Capítulo 3 MANTENIMIENTO EN AEROGENERADORES

3.1 Mantenimiento y aerogeneradores

Los aerogeneradores, como cualquier otro equipo diseñado para producir energía eléctrica, necesitan un mantenimiento orientado a minimizar el número de horas que permanecen fuera de servicio a causa de fallos, averías o paradas para su revisión. Los componentes que los integran están sometidos a acciones que los deterioran en el tiempo, y precisamente con el mantenimiento se pretende restaurar sus características a un estado similar al inicial para que no sea vea mermada la funcionalidad del propio aerogenerador.

Por la propia naturaleza de un parque eólico y las máquinas que forman su instalación, la actividad de mantenimiento se ha visto favorecida en varios frentes desde la llegada de la electrónica a este tipo de instalaciones, y en general a la industria. Por un lado, la electrónica ha facilitado la labor de revisión de los aerogeneradores así como la realización de los ajustes necesarios para su correcto funcionamiento.

Por otro lado, el avance tecnológico alcanzado en los equipos de inspección y control está permitiendo conocer la situación real de las máquinas mediante controles periódicos o continuos de las mismas, obteniendo así parámetros que una vez analizados dan un diagnóstico sobre la máquina analizada. Los parámetros más habituales, como se verá al avanzar en el presente capítulo, son las vibraciones y los análisis de aceite, pero hay otros como las termografías, los ruidos, los ultrasonidos, etc., igualmente importantes.

El mantenimiento de aerogeneradores ha conseguido otro avance importante con la implantación de los sistemas informáticos de gestión del mantenimiento, los llamados GMAO, que han permitido recoger, tratar y analizar muchísima cantidad de información, pudiendo extraer todo tipo de informes y efectuar los más variados análisis de la evolución histórica de los elementos de una instalación.

Estos cambios tecnológicos derivados del desarrollo de la electrónica, de los equipos de inspección y control, y de los sistemas informáticos de gestión de mantenimiento ha

traído, a su vez, una evolución en las capacidades técnicas de los operarios de mantenimiento que se han visto obligados a mejorar su formación para poder continuar con el correcto ejercicio de su labor.

A pesar de todo ello no hay que olvidar que las labores de mantenimiento de un parque eólico se basan, fundamentalmente, en el seguimiento periódico del funcionamiento de los aerogeneradores y de las causas que provocan sus paradas, ya sea mediante la presencia física del operador tras la detección de una avería, mediante revisiones periódicas o bien haciendo uso de sistemas de telecontrol o telemando, con el objetivo global de conseguir, como ya se ha dicho, la mayor disponibilidad posible.

3.2 Características del mantenimiento en un parque eólico

Para el desarrollo de las actividades de mantenimiento y en función del tamaño y ubicación de la instalación, debemos tener en cuenta todas las características del emplazamiento las cuales se muestran en la figura siguiente.

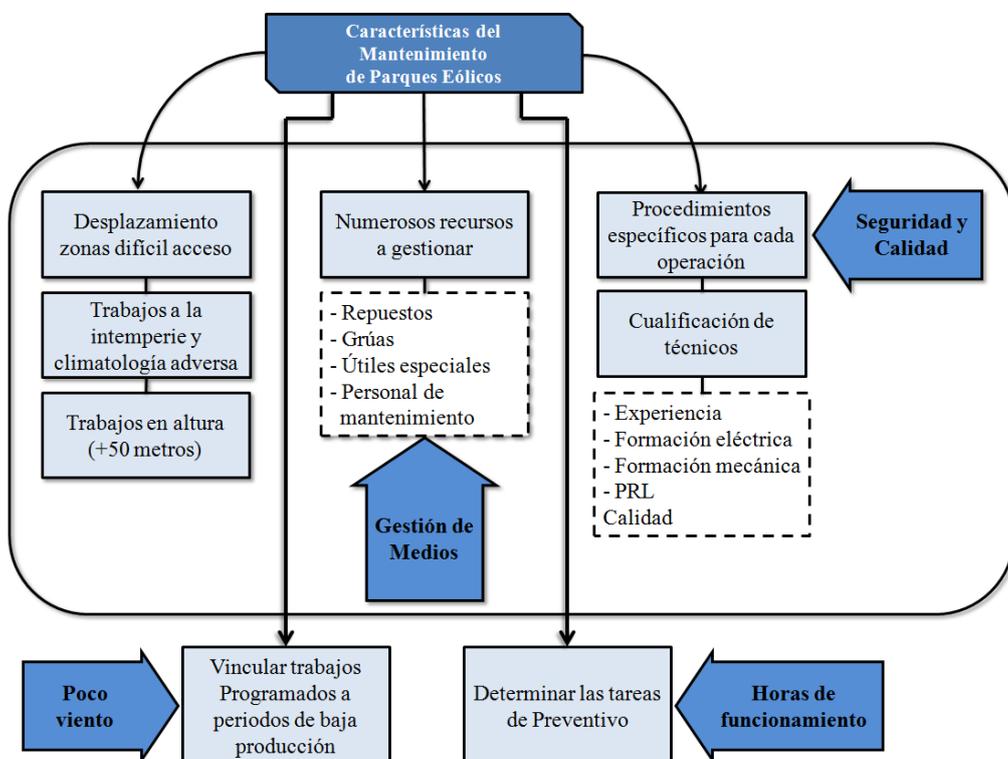


Figura 3-1. Características del mantenimiento de un parque eólico

3.3 Objetivos de la operación y mantenimiento

Los objetivos globales del área comúnmente denominada «Operación y Mantenimiento» de un Parque Eólico se pueden clasificar en los siguientes:

- Maximizar la cuenta de resultados en la vida útil de los parques, es decir: máxima energía eléctrica y mínimo costo.
- Minimizar los riesgos del proyecto.
- Asegurar el funcionamiento en condiciones de seguridad para las personas e instalaciones.
- Control permanente de los recursos de mantenimiento.

3.4 Averías e indicadores clave para el mantenimiento

3.4.1 Origen de averías

El origen de las averías en los aerogeneradores se puede clasificar en los siguientes puntos:

- *Problemas mecánicos:* 40 % de los casos.
- *Caída de rayos:* 20 % de los casos.
- *Incendio:* 7 % de los casos.
- *Rachas de viento:* 4 % de los casos.
- *Otros:* 28,5 % de los casos.

Las averías mecánicas más habituales, como se verá más adelante, se producen en engranajes y cojinetes, por rotura o desgaste. Todo esto se produce debido a defectos del material, fatiga, uso de aceite indebido, altas temperaturas del aceite, vibraciones, sobrecarga, etc.

Los rayos tienden a caer en el punto más alto, por esta razón, los aerogeneradores son un blanco natural, debido tanto a su altura como a su ubicación elevada. Cuando impacta un rayo, se crea un arco eléctrico que se extiende desde el punto de contacto a

través de otros componentes conductores que pueden alcanzar una temperatura de hasta 30.000 °C. El resultado es una expansión explosiva del aire contenido en el plástico que compone la pala, provocando grietas, derretimiento e incendios en algunos casos.

Se ha comprobado que en algunos parques eólicos, los generadores registran hasta diez impactos de rayos en cada pala por año, eventos que habitualmente no generan daños debido a los modernos sistemas de protección para interceptar y transmitir el rayo de manera eficaz y segura hacia las otras partes del sistema de protección del aerogenerador. Estos sistemas tienen una eficacia aproximada del 95% de los rayos, el 5% restante sigue causando problemas.

Los incendios pueden ser tanto por rayos como por sobrecalentamiento de cojinetes, fallos en el sistema de lubricación, un generador cuenta con entre 200 y 800 litros de aceite de lubricación en su interior, cortocircuitos y, especialmente, por chispas durante los trabajos de mantenimiento. La posibilidad de combatir un incendio en lo alto del aerogenerador es muy limitada, motivo por el cual los incendios normalmente concluyen con la destrucción total de la góndola.

3.4.2 Tipos de averías

Los tipos de averías que pueden tener lugar en un aerogenerador se pueden clasificar como sigue:

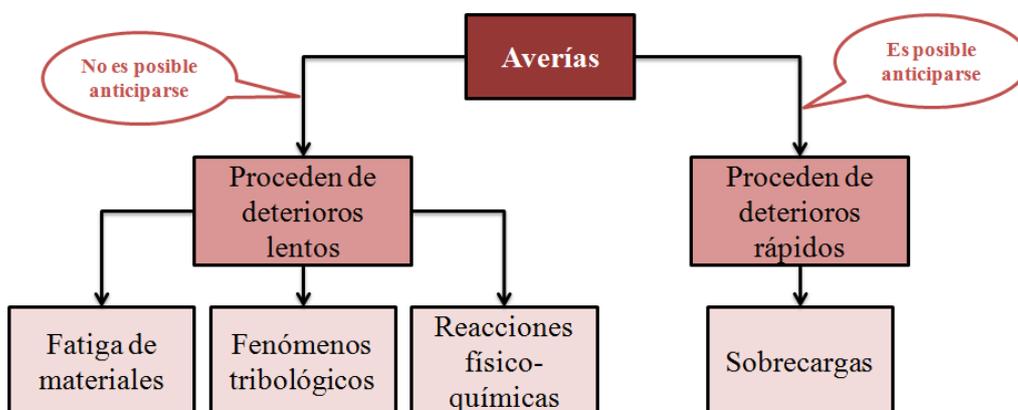


Figura 3-2. Tipología de averías en aerogeneradores

- **Fatiga de materiales:** se trata del desarrollo de fisuras por tensiones variables en materiales metálicos y compuestos –composites–. Dentro de este grupo podemos hablar de grietas en las palas, en la torre, en el bastidor, etc.; daños por compresión o impacto, denominado pitting, en engranajes y rodamientos; fisuras de flexión en raíz de dientes; fisuras de fatiga en ejes, uniones atornilladas, etc.
- **Fenómenos tribológicos:** provocado por cuerpos con movimiento relativo entre sí y sometidos a presión (abrasión, adhesión, desgaste, etc.) Dentro de este grupo cabe destacar el desgaste de engranajes y rodamientos; el de las placas deslizantes del sistema de orientación y el desgaste del borde de ataque de las palas, entre otros.
- **Reacciones físico-químicas:** se trata de la corrosión de materiales, así como del deterioro de polímeros por la radiación ultravioleta, el hidrógeno y el ozono. Estas reacciones traen como consecuencia la corrosión de partes metálicas no protegidas, el deterioro de los latiguillos hidráulicos y las cubiertas de cables, así como de las juntas de goma, entre otros.
- **sobrecargas:** se trata de roturas por sollicitaciones mecánicas como pandeos, obturaciones, etc. Pueden provocar la rotura brusca de palas, ejes, tornillería, etc.; además puede dar lugar al pandeo de la torre y de las propias palas; el gripado de los ejes así como el bloqueo del circuito hidráulico.

En la siguiente imagen podemos observar el porcentaje de fallos por componentes en una turbina G8x.

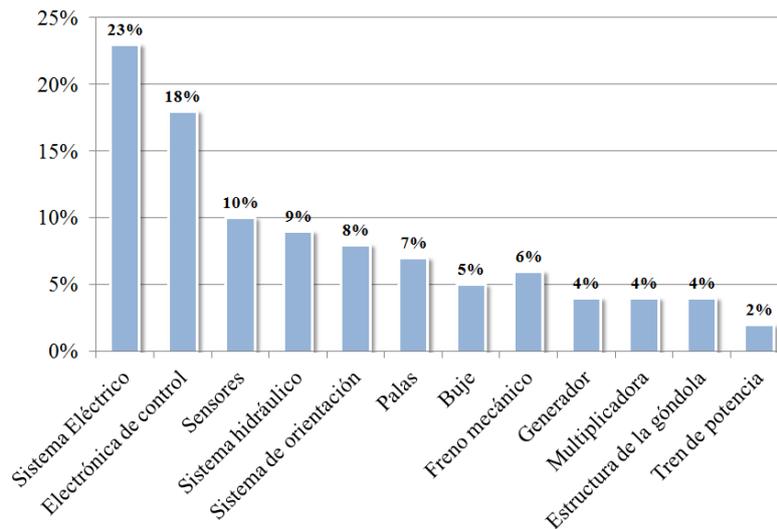


Figura 3-3. Distribución y porcentaje de fallos en un aerogenerador

3.5 Organización de las labores de mantenimiento

Es el punto más complicado en la actividad de mantenimiento de un parque eólico. Lo es, porque en muchas circunstancias se depende de situaciones que no se pueden prever. Es posible tener planificada la intervención, gestionados los recursos necesarios y puestos a disposición para ejecutar las tareas y, a causa de unas condiciones climatológicas, por dificultades de acceso o exigencias de la producción, no poderlo hacer. Por todo ello, la organización de las labores de mantenimiento se debe realizar según las posibilidades de previsión.

El mantenimiento preventivo es, como ya se ha visto, una actividad completamente programada que incluye entre otros aspectos:

- Seguimiento del funcionamiento de la instalación.
- Análisis y resumen de la información recogida.
- Gestión de la instalación.
- Revisión de los sistemas de seguridad y componentes del parque eólico.
- Cambio de consumibles, etc.

De todas estas tareas es conocida su frecuencia de ejecución y por lo tanto su influencia en los costos de explotación. En este punto es muy importante desglosar los costos de mantenimiento en fijos, debidos a desplazamientos, materiales, servicios, etc.

Una buena planificación del mantenimiento debe ir encaminada a optimizar los recursos disponibles y reducir al máximo las paradas de los aerogeneradores. Estos objetivos se cumplen gestionando convenientemente la información recibida del personal de mantenimiento y aprovechando la experiencia en la operación del parque eólico. En la figura siguiente se representa un diagrama de gestión de la información generada en el proceso de mantenimiento de un parque eólico.

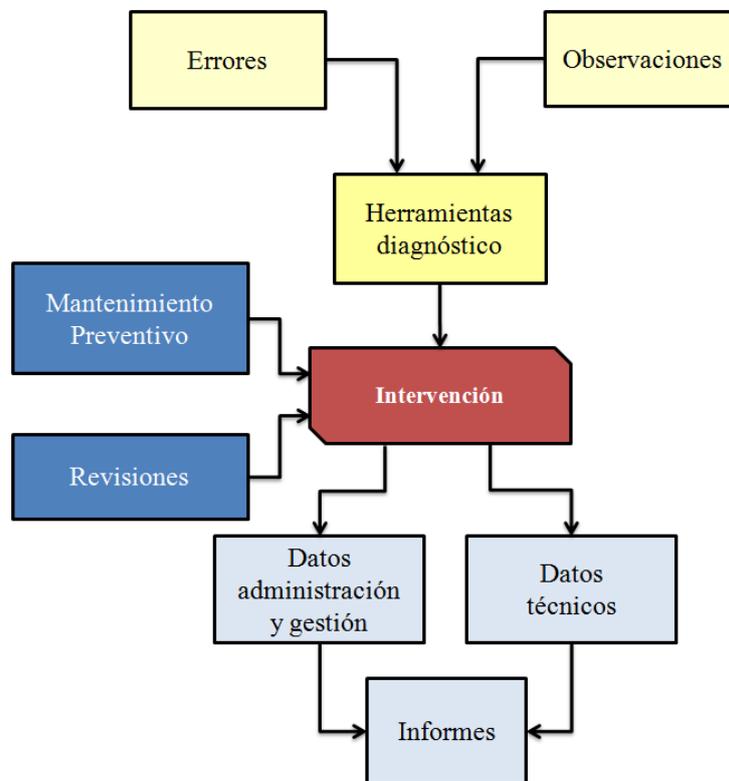


Figura 3-4. Gestión de la información durante el proceso de mantenimiento de un parque eólico

El histórico de alarmas del parque y las observaciones del personal de la planta permiten establecer un diagnóstico del estado de los componentes que junto a los planes de mantenimiento preventivo y los resultados de las revisiones anteriores permiten planificar el calendario de intervenciones en el parque.

El resultado de los trabajos de mantenimiento ejecutados debe ser oportunamente documentado en una serie de informes técnicos y administrativos donde se recoja los valores de ajuste de los componentes revisados, cronogramas de averías, materiales utilizados, dedicación, servicios, etc.

Toda esta información es importante realimentarla durante la fase de diagnóstico para el correcto funcionamiento del proceso. Para el caso de mantenimiento correctivo, provocado por averías que requieren una actuación intensiva, es importante realizar un seguimiento lo más completo posible de la incidencia: detección de la avería, análisis, organización de la reparación, documentación, etc.

Finalmente, la implantación de un sistema de mantenimiento predictivo en función de la evolución cualitativa del estado de salud de los componentes que configura la planta puede hacer más efectivo la gestión de recursos y la optimización de la producción del parque eólico. Sin embargo, la puesta a punto de un plan de mantenimiento predictivo requiere de sistemas de telecontrol potentes y herramientas de diagnóstico y detección de anomalías muy probados para garantizar el éxito del proceso. En definitiva, la planificación de las tareas de mantenimiento es en todo caso muy aconsejable, si no imprescindible, para lograr unos beneficios añadidos.

Por un lado se mejoran los tiempos de ejecución de los trabajos, consiguiendo disminuir los retrasos ocasionados al no disponer de los recursos adecuados. La calidad de los trabajos se verá directamente afectada si en la ejecución se ha dispuesto correctamente de todas las partidas necesarias y si el alcance del trabajo a desarrollar se ha delimitado correctamente. Por último, la correcta planificación permite una mayor disponibilidad de los recursos existentes en el parque, que pueden ser encauzados hacia otras actividades suplementarias.

Un área muy importante, que va unida a la planificación de los trabajos, es la gestión de los almacenes que van a facilitar los materiales necesarios para la realización de los trabajos.

El estudio previo de los repuestos necesarios para los distintos equipos, los materiales que se van a utilizar en cada tipo de revisión, los plazos de suministro, en definitiva, todo

lo asociado a almacén, permitirá realizar una planificación más detallada. De esta forma se evitan todos los tiempos que frecuentemente se asocian a esperas de materiales.

Como conclusión, hay que destacar que para que la planificación se pueda llevar a cabo y no sufra desviaciones en el momento de la ejecución de los trabajos, entre operación y mantenimiento debe existir una perfecta y fluida comunicación.

3.6 Tipos de mantenimiento en un parque eólico

En la actualidad, en mayor o menor medida, se han aplicado planes de tipo periódico basados principalmente en las acciones y períodos de mantenimiento recomendados por los fabricantes.

El principal inconveniente es que suele fijarse para toda la vida de funcionamiento de un aerogenerador, sin tener en cuenta los condicionantes de trabajo que soporta dicha máquina, como las climatológicas y de viento, los trabajos en altura y de riesgo elevado, los desplazamientos difíciles, los repuestos de gran peso y dimensiones, los esfuerzos soportados por sus distintos componentes o el número de horas que el aerogenerador está trabajando.

Dentro de una instalación eólica, en los aerogeneradores y la subestación eléctrica se encuentran los siguientes tipos de mantenimiento: preventivos, pequeños correctivos, grandes correctivos y modificaciones o mejoras de diseño.

En las figuras que aparece a continuación podemos ver un diagrama con los tipos de mantenimientos que se realizan dentro de un parque eólico(fig. III-5), así como las actuaciones a realizar en cada uno de estos mantenimientos(fig. III-6).

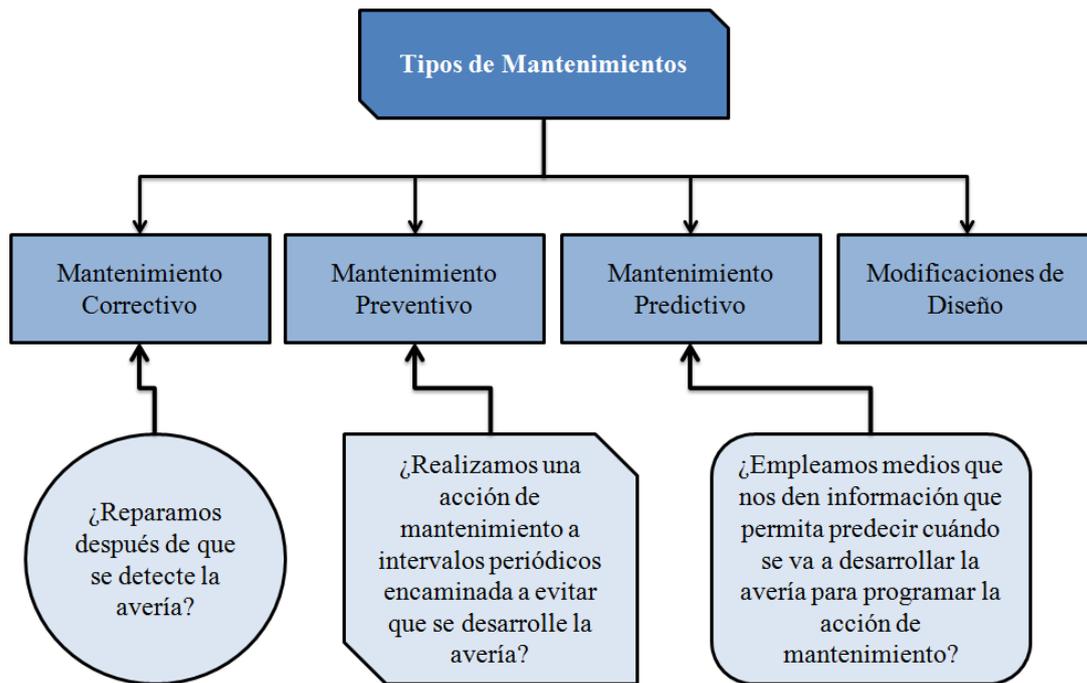


Figura 3-5. Tipos de mantenimiento en un parque eólico

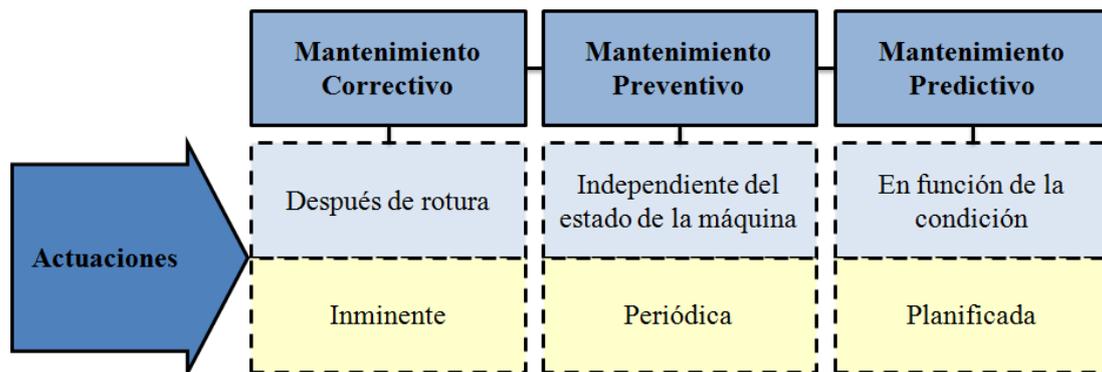


Figura 3-6. Aplicación de los tipos de mantenimiento en un parque eólico

Cada uno de estos tipos de mantenimiento se realizará en cualquiera de las dos partes en que se divide la instalación eólica:

- Parte mecánica: la constituyen todos los componentes del aerogenerador, rotor, góndola, generador, multiplicadora, palas, etc.
- Parte eléctrica: la forman los componentes de la Subestación eléctrica, las líneas de alta, los centros de transformación y el sistema de celdas de media tensión presentes en el aerogenerador, así como un sistema de control que automáticamente selecciona la condición óptima y que incluye los armarios eléctricos Top y Ground.

3.6.1 Mantenimiento preventivo

En el caso de una instalación eólica, se programan unas intervenciones periódicas para la realización de unos trabajos de acuerdo a la situación clásica del preventivo. Las intervenciones están programadas para realizarse cada cierto tiempo, repitiéndose cíclicamente. Como es lógico, el contenido de cada intervención varía de una frecuencia a otra, siendo más exhaustivo cuando mayor es el intervalo definido.

Uno de los principales problemas que afronta este tipo de mantenimiento hasta el momento, es que existe una gran divergencia a la hora de realizar un mantenimiento preventivo. Además, la duración de las tareas de mantenimiento varía según los Parques Eólicos, entre otras razones. Esta problemática se aprecia claramente cuando, por ejemplo, no se realizan ciertas tareas que sí aparecen en el las listas de chequeo por motivos económicos u otras dificultades.

De hecho, al tener maquinas con distintas configuraciones, existen variaciones entre los mantenimientos. Por tanto, para detectar estas variaciones es necesaria una estandarización, entre otros objetivos.

Dejando de lado esta problemática hay que destacar que en general, en los preventivos, para el correcto mantenimiento del aerogenerador, se definen inspecciones periódicas de acuerdo a un calendario:

- 6 meses(preventivo menor)
- 12 meses(preventivo mayor)

Sucesivamente se realizan cada 6 meses denominados mantenimiento preventivo menor y mantenimiento preventivo mayor cada 12 meses. Cada 36 meses se realiza un mantenimiento preventivo especial llamado puesta a cero que es el reaprite total de toda la tornillería de la turbina eólica.

La realización de estos mantenimientos preventivos tiene una duración variable dependiendo del tipo de revisión y del tipo de aerogenerador. Además, exige disponer de todos los recursos previamente. Para ser realizado de manera eficiente no requiere desmontar ningún componente o equipo principal de la instalación.

En la parte eléctrica, aparte de las revisiones anuales realizadas por el personal cualificado, hay que tener en cuenta las inspecciones reglamentarias que deben pasarse cada tres años.

La particularidad a la hora de preparar un plan de mantenimiento preventivo para un parque eólico es la inexistencia de históricos de equipos sobre los que basarse. Ello supone, indudablemente, recurrir a recomendaciones, procedimientos e instrucciones de fabricantes y tecnólogo de los equipos, experiencia en instalaciones similares, así como al conocimiento que pueden aportar los técnicos.

Con el transcurso de los años, ese histórico ya puede ir creciendo y permite que se puedan ir revisando los planes de mantenimiento originales, y que se puedan realizar los típicos análisis propios del departamento de mantenimiento, a la vez que conducen a modificaciones de algún equipo que haya sido históricamente conflictivo.

En definitiva, el mantenimiento preventivo incluye todas las acciones periódicas que recomienda el fabricante para mejorar el funcionamiento de los equipos mecánicos, eléctricos o hidráulicos que componen el aerogenerador, lo cual podemos visuliazar en la figura acontinuacion.

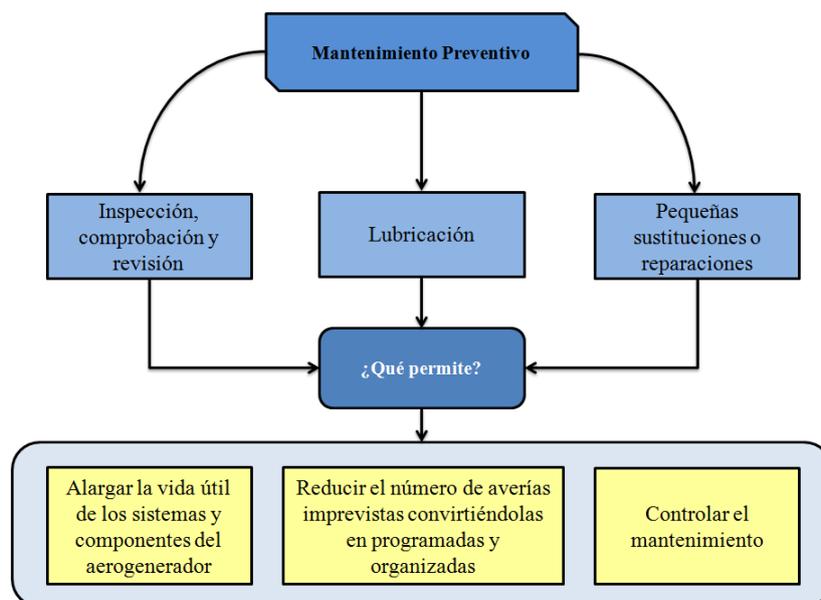


Figura 3-7. Esquema del mantenimiento preventivo en un aerogenerador

En general, el mantenimiento preventivo se basa en la técnica organizativa del RCM “Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad”, un proceso que realiza el análisis sistemático, objetivo y documentado para desarrollar un plan de mantenimiento. El RCM analiza cada sistema y sus fallos, clasificando los efectos de cada fallo de acuerdo al impacto en la operación del aerogenerador, el costo y la seguridad.

Como se puede observar en la imagen siguiente, el RCM dirige los esfuerzos del mantenimiento a conservar los equipos y la función que realizan, en condiciones suficientes, aunque no sean las óptimas.

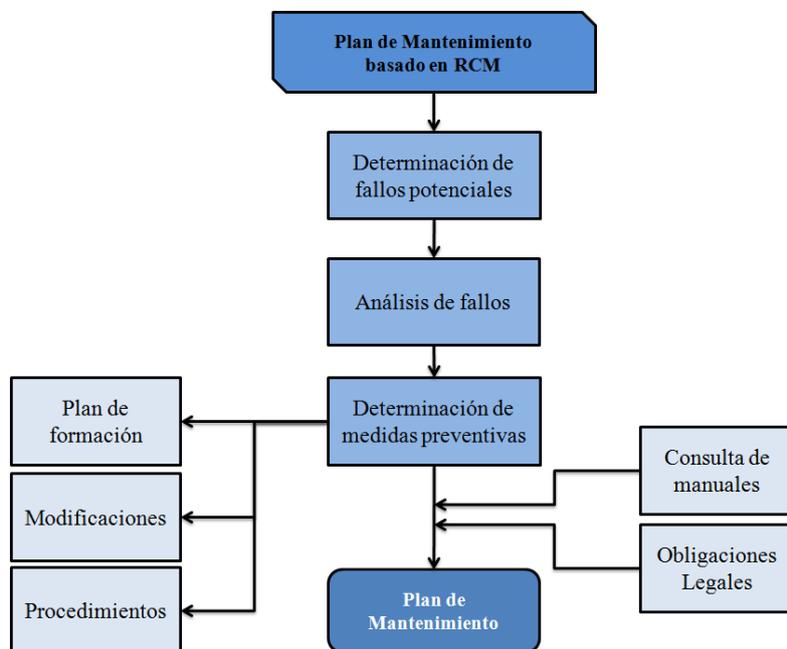


Figura 3-8. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM

3.6.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo suele dividirse en 2 partes, pequeños correctivos y grandes correctivos, a continuación abordaremos ambos casos.

Pequeños correctivos

Hace referencia a intervenciones de los equipos de mantenimiento no programadas o de emergencia. El alcance de las reparaciones del mantenimiento correctivo incluye la reparación o sustitución de la totalidad o parte de los equipos defectuosos.

Los pequeños correctivos agrupan pequeñas averías y cambios de componentes pequeños.

La realización de estas operaciones de pequeños correctivos no precisa mucho tiempo, habitualmente, para su detección y solución. En la medida de lo posible, es conveniente utilizar el mismo equipo existente de forma estable para el mantenimiento de la instalación.

En el supuesto de necesitar material debe asegurarse su acopio previamente a la realización de los trabajos, aunque lo habitual es, en base a los datos históricos, disponer en los emplazamientos de un stock mínimo de los repuestos y consumibles habituales para este tipo de intervenciones.

Grandes correctivos(GGCC)

Este tipo de mantenimiento suele involucrar mas de dos días de trabajos en la mayoría de los casos y sus costos son muy elevados. No se puede acometer con el personal habitual de mantenimiento de la instalación porque, entre otras razones, precisan del movimiento de cargas pesadas con grúas de gran tonelaje en zonas de reducido tamaño y difícil acceso, así como el control de las cargas a gran altura y el depositado de los sistemas involucrados con gran precisión.

Los GGCC suponen la realización de una planificación entre los distintos actores existentes en un parque eólico: promotor (cliente), y empresa de mantenimiento (contratista), la cual a su vez debe mover a terceros (grúas, repuestos, otras empresas especializadas, etc.).

En estas operaciones es importante el factor climatológico y predicción de viento. Hoy en día, existen suficientes herramientas de predicción para programar estos trabajos de

la mejor y más eficiente manera posible, herramientas también útiles para otros trabajos de preventivo, modificaciones de diseño, etc

Los principales GGCC que se realizan en una turbina eolica son:

- *Cambio de pala*
- *Cambio de rotor*
- *Cambio de rodamiento de pala*
- *Cambio de generador*
- *Cambio de transformador*
- *Cambio de multiplicadora*
- *Cambio de eje lento*
- *Cambio de gondola*
- *Cambio de tramos*

A continuación, se ilustra brevemente y de modo esquemático el caso representativo de uno de los procedimientos más complejos: el mantenimiento de gran correctivo para la sustitución del generador.

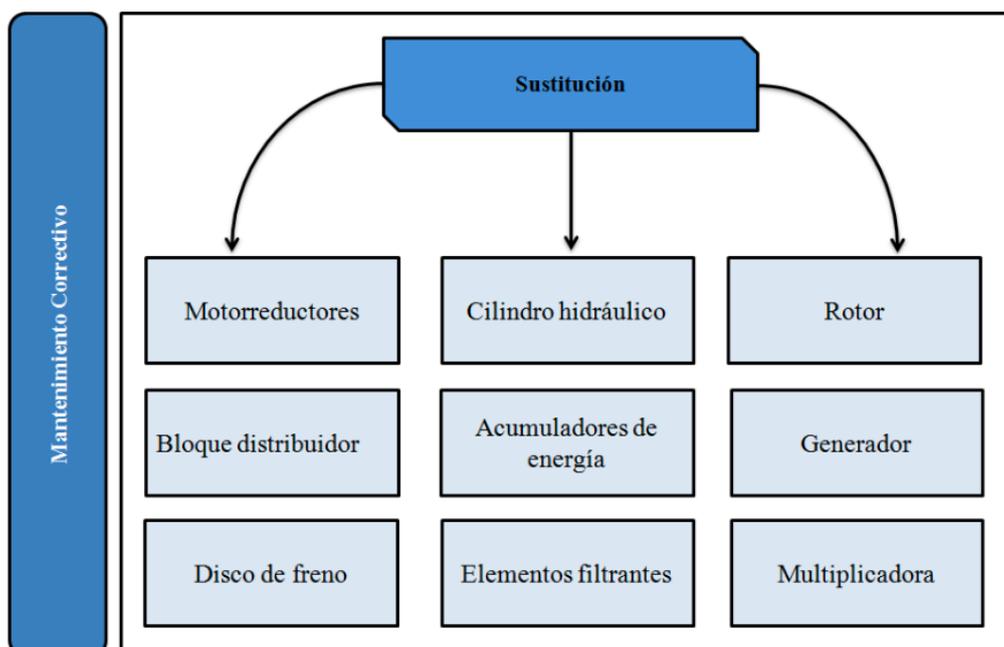


Figura 3-9. Ejemplos de mantenimiento correctivo en un aerogenerador

3.6.3 Mantenimiento predictivo

Los servicios que plantea la nueva filosofía de mantenimiento predictivo en los parques se componen de varios tipos de inspección y estudio que se complementan y consiguen evitar los graves problemas que, hasta no hace mucho, se producían en los aerogeneradores. Tanto en la parte mecánica como en la eléctrica, se utilizan técnicas de predictivo que dan un apoyo al mantenimiento de la instalación y permiten adelantarse a posibles averías.

Estas técnicas de mantenimiento predictivo permiten la detección precoz de fallos y averías de los sistemas que componen el aerogenerador mediante su monitorización y diagnóstico continuo. Actualmente la más utilizada en todos los parques son los sensores de vibración para la monitorización de la multiplicadora y generador.

Ventajas que se obtienen al incluir este mantenimiento:

- Reducción de los costos de reparación y/o sustitución producidos por una avería.
- Aumento de la disponibilidad o vida útil de las máquinas.
- Planificación más selectiva de las labores de mantenimiento, adaptándose mejor a la vida del equipo que una estrategia de mantenimiento preventivo en el cual se realizan paradas o sustituciones de equipos tanto si son necesarias como si no.
- Protección de los equipos industriales más efectiva al tener en cuenta el estado de salud de los componentes para así poder evitar el fallo de estos. Esto permite optimizar la inversión realizada en el mantenimiento.

Una de las innovaciones tecnológicas más importantes en este tipo de mantenimiento es la monitorización, ya que monitorizar un aerogenerador permite recibir medidas de forma continua y automática, a través de sistemas de adquisición de datos de sensores instalados en el aerogenerador, y de la información recibida de los sensores de control de la máquina.

El desarrollo de la monitorización permite:

- *Detectar anomalías de forma inmediata, en el centro de control o diagnóstico.*
- *Recoger datos en situaciones de climatología extrema.*

- *Registrar la evolución del comportamiento según las influencias externas de la máquina.*
- *Identificar los defectos a tiempo de ser reparados.*
- *Minimizar acciones de mantenimiento innecesarias en el parque.*
- *Eliminar sustituciones de emergencia o fallos catastróficos.*
- *Conseguir una vida larga y efectiva, así como aumentar la disponibilidad del parque.*

Dentro de los trabajos relacionados con el mantenimiento predictivo cobran especial interés los métodos de inspección, entre los que se utilizan:

1. Análisis de aceite
2. Termografía
3. Análisis de vibraciones
4. Líquidos penetrantes

El principal inconveniente del mantenimiento predictivo es que requiere un tratamiento intensivo de la información recibida de cada aerogenerador y un sistema eficaz de detección de anomalías y diagnóstico de componentes. El volumen de información necesaria para realizar un mantenimiento predictivo en un parque eólico con 30 ó 40 máquinas supone disponer de un sistema de telecontrol o telemando muy potente, adaptado a las necesidades de este tipo de mantenimiento, lo que puede encarecer sensiblemente el precio de una instalación.

Mediante el correcto uso de este tipo de mantenimiento, se pueden modificar los alcances de las gamas de preventivo, consiguiendo una optimización de este, así como adelantarse a averías menores o mayores, evitando los trastornos propios de pérdidas de disponibilidad, producción, etc.

El siguiente diagrama muestra de manera esquemática el fundamento del mantenimiento predictivo:

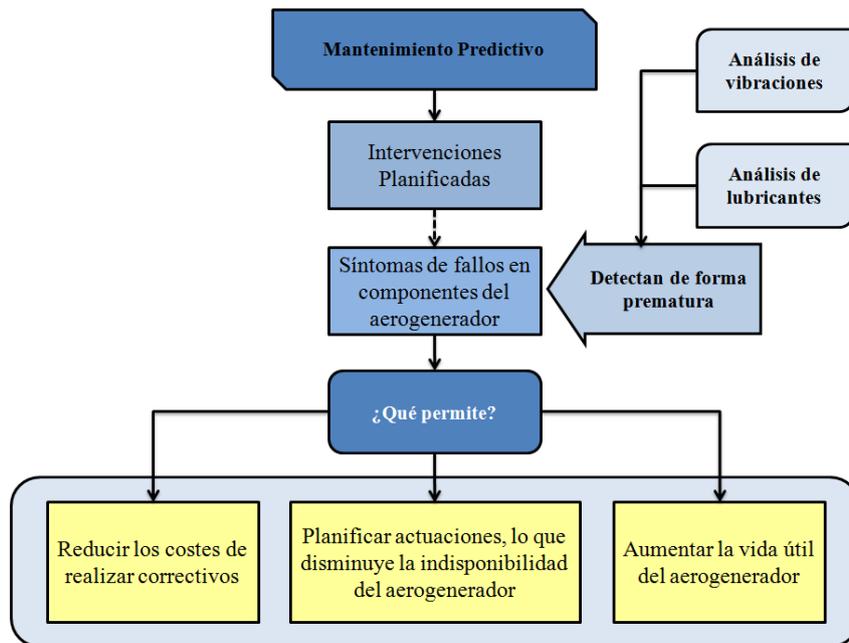


Figura 3-10. Esquema del mantenimiento predictivo en un aerogenerador.

Como ejemplo, hay que destacar el sistema de mantenimiento predictivo desarrollado por Gamesa, denominado **SMP**, basado en el análisis de vibraciones.

La función de este sistema SMP es la detección prematura de fallos o deterioros en los componentes principales del aerogenerador. Una de las ventajas del SMP es que aprovecha las infraestructuras de los parques eólicos y reduce la necesidad de dedicar otros recursos al análisis de la información gracias a su monitorización condicionada y a su capacidad de procesamiento.

Habitualmente este tipo de sistema está integrado en la góndola del aerogenerador y cuenta con la capacidad para procesar datos y generar las alarmas relativas al estado de los componentes mecánicos críticos del aerogenerador, siendo capaz de transmitir las a través de la red de comunicaciones del parque eólico, a un sistema de control.

Las partes principales de este tipo de sistemas son:

1. Unidad de monitorización y procesado de datos: equipo que se instala en el armario de control de la góndola y que recoge las señales enviadas desde los sensores, para procesarlas posteriormente.

2. Acelerómetros: sensores instalados en los componentes críticos del aerogenerador que permiten medir el movimiento y las vibraciones a las que están sometidos.

La localización de los acelerómetros puede darse fundamentalmente en los siguientes componentes:

- Multiplicadora
- Generador

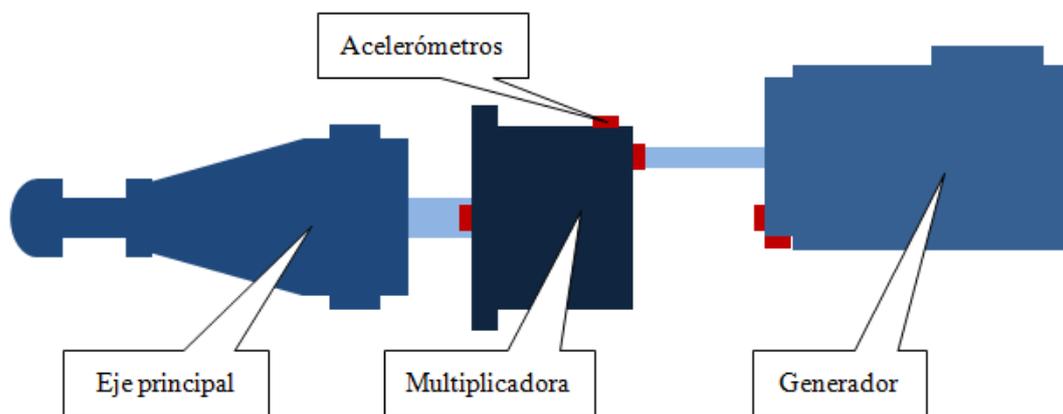


Figura 3-11. Ubicación de los acelerómetros en un aerogenerador

3.6.4 Mejoras de diseño(retrofits)

También conocido por el término de retrofit, se refiere a cualquier modificación efectuada en la máquina que altere su diseño original para corregir una deficiencia o mejorar sus prestaciones en cuanto a rendimiento.

En general, el retrofit abarca todo un proceso que tiene su origen en el seguimiento constante de los Parques Eólicos donde se puede observar, detectar y planear frecuentemente posibles mejoras en los componentes, en la seguridad o en el medio ambiente, de modo que luego se estudian, se analiza la factibilidad y en su caso se desarrollan. Una vez finalizadas el último paso correspondería a la implantación en los aerogeneradores y parques.

La carga de personal y de otros recursos depende de la complejidad del retrofit. Se puede realizar sólo con un pequeño equipo de personas, sin más recursos que su propia herramienta o teniendo que recurrir a un equipo amplio de personas, además de otros recursos adicionales.

Normalmente, una vez definido un retrofit, reflejadas las operaciones a realizar en una instrucción técnica, se identifica un equipo de personas, se les instruye en la realización de ese retrofit y se les asignan los recursos para su ejecución.

La realización de un retrofit supone hacerlo sobre todo un conjunto de máquinas que poseen las mismas características y componentes, uno de los cuales se pretende modificar. Por ello, es habitual constituir equipos encargados de efectuar el mismo retrofit en todas las máquinas que lo requieran.

Los aspectos clave del retrofit o Modificaciones de diseño son:

- Ahorro de costos
- Mejora de productividad
- Adecuación a una nueva normativa
- Seguridad
- Medioambiente

El alcance de este tipo de modificaciones suele comprender todo un conjunto de aerogeneradores así como a las distintas tecnologías de cada modelo, y todos los emplazamientos nacionales e internacionales.

El tiempo de implantación es un factor importante que debe ser analizado con detenimiento antes de presentarlo como una Modificación de Diseño a los clientes, intentando minimizar en lo posible la parada del aerogenerador.

3.7 Ventajas y desventajas de los tipos de mantenimiento

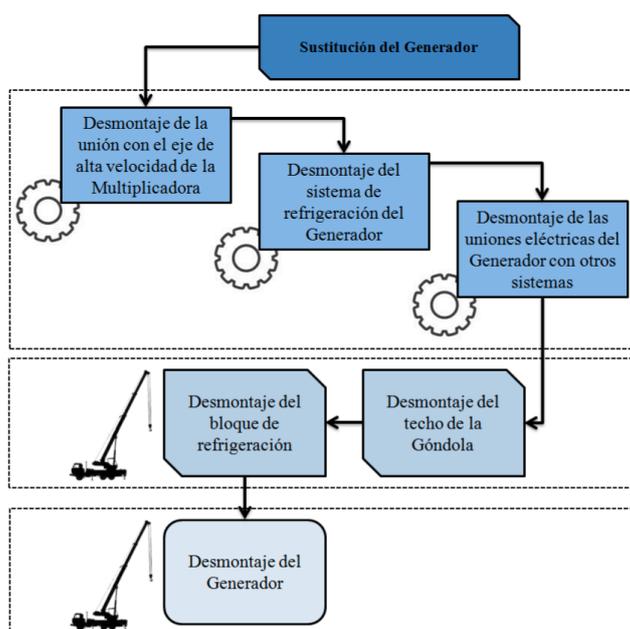
En la siguiente tabla podemos observar las ventajas y desventajas(inconvenientes) de los tipos de mantenimiento.

Tabla 3-1 Ventajas e inconvenientes de cada tipo de mantenimiento

	Ventajas	Inconvenientes
Mantenimiento Correctivo	- En ocasiones (pequeños correctivos) es simple, no necesita de medios avanzados ni de personal cualificado.	- Riesgo de grandes tiempos de parada. - Riesgo de grandes daños colaterales.
Mantenimiento Preventivo	- Requiere de una pequeña inversión para establecer el modelo de intervención. Después es simple y no requiere ni medios avanzados ni personal cualificado.	- Riesgo de intervenciones muy frecuentes, con alto coste. - Riesgo de intervenciones muy tardías, con desarrollo completo de averías y por tanto con iguales inconvenientes que el mantenimiento correctivo
Mantenimiento Predictivo	- Permite predecir con suficiente antelación cuándo se va a producir la avería de manera que se puede programar la intervención, con bajos costes de medios y cortos tiempos de parada. Ofrece escasos daños colaterales.	- Complejidad media-alta. Requiere de medios avanzados y personal cualificado, que si mismo suponen un alto coste.

A continuación, se ilustra brevemente y de modo esquemático el caso representativo de uno de los procedimientos más complejos: el mantenimiento de gran correctivo para la sustitución del generador.

Figura 3-12. Ejemplo de gran correctivo: Sustitución del generador



Capítulo 4 GESTION DE STOCK

En este capítulo se va a llevar a cabo una introducción a la gestión de stocks, almacenes e inventarios en instalaciones industriales. Se hará un recorrido desde la clasificación de los stocks y estudio de sus costos hasta la elaboración de modelos que seleccionen las variables idóneas para un adecuado sistema de control.

El objetivo es, por tanto, tener el concepto global de lo que supone el aprovisionamiento y distribución de productos encuadrados en el área de logística de una empresa, y cómo se usarán para el correcto mantenimiento y funcionamiento de la instalación.

4.1 Gestion de stocks

La gestión de stock es parte de la logística empresarial, en concreto de la logística de distribución. consiste en llevar un control, organización y planificación de todas las existencias presentes en una empresa. la necesidad de organizar y planificar el stock es incuestionable. si no se hace, la empresa puede verse en la circunstancia de que un cliente solicite un producto y no le pueda proporcionar. o de que una instalación necesite un material y no lo tenga disponible.

Se denomina stock, al conjunto de materiales y artículos que se almacenan, tanto aquellos que son necesarios para el proceso productivo, como los destinados a la venta, como los destinados a uso interno.

Por otro lado, los almacenes son el espacio físico donde se guardan los diferentes tipos de materiales necesarios, ubicados en lugares estratégicos para llevar a cabo una buena organización de la empresa. El sistema de almacenamiento da lugar al conjunto completo de normas y procedimientos diseñados para controlar y mantener en buen estado todos los materiales necesarios para la empresa.

Los encargados de la gestión de stocks y almacenes tienen que llevar un control estricto de que todos y cada uno de los productos que se han pedido a proveedores lleguen a tiempo y en perfecto estado. El objetivo es garantizar que, siempre que se necesite un

material, ya sea para su venta a clientes, o para su consumo propio, la empresa esté en posesión de él, con el mínimo tiempo de entrega y con el mínimo costo asociado. El desafío no consiste en reducir al máximo el stock para abatir los costos, ni tener inventario en exceso a fin de satisfacer todas las demandas, sino en mantener la cantidad adecuada para que la empresa alcance sus prioridades competitivas con mayor eficiencia.

4.2 Tipos de stock

Los stocks pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios. La clasificación más habitual para todas las empresas es según funcionalidad, y siguiendo un criterio operativo y de gestión. Dentro de cada uno de estos tipos hay varios subtipos que se definen a continuación:

4.2.1 Criterio funcional

Desde el punto de vista de la función que deben cumplir los stocks, se puede distinguir:

- **Stock de ciclo.** El que sirve para atender la demanda normal, tanto de clientes, como interna, en circunstancias usuales, no extraordinarias ni imprevistas. Se realizan pedidos de un tamaño tal que permita atender la demanda durante un periodo largo de tiempo.
- **Stock de seguridad.** El previsto para demandas inesperadas, ya sea por pedidos inesperados de clientes, o por hechos imprevistos en las necesidades internas. Funciona como un colchón complementario al stock anterior, evitando posibles rupturas de stock.
- **Stock de presentación.** El que está para atender las necesidades más inmediatas. La cantidad dependerá de las necesidades medias y del tipo de producto.
- **Stock estacional.** Aquel destinado a cubrir las demandas especiales que se producen en una determinada estación o temporada.
- **Stock en tránsito.** El que está circulando por las distintas etapas del proceso productivo.

- **Stock de recuperación.** Artículos o productos usados, que pueden ser reutilizados en parte o en su totalidad para cubrir necesidades.
- **Stock muerto.** Stock de artículos que han quedado obsoletos o caducados, y hay que desechar.
- **Stock especulativo.** El que se acumula en previsión de aumentos determinados de la demanda, con el objetivo de no tener que acopiarlo en momento de necesidad urgente, con los costos que ello conllevaría.

4.2.2 Criterio operativo y de gestión

Desde el punto de vista de la gestión diaria del stock, pueden diferenciarse los siguientes tipos.

Stock óptimo. Como su nombre indica, es aquel que compatibiliza el cubrir adecuadamente la demanda, con una rentabilidad en los costos maximizada.

Stock cero. Este stock atiende al que se dispone únicamente para atender a una demanda concreta.

Stock físico. El que está disponible en un momento determinado en el almacén.

Stock neto. Es el stock físico menos la demanda por cubrir.

Stock disponible. Aquel que suma el físico más el de los pedidos en curso, y menos la demanda por cubrir

4.3 Comportamiento del stock

El stock de cualquier elemento, no siempre es el mismo. Para cada elemento, hay ventas, consumos internos o adquisición de nuevas unidades. Es un valor que va variando a lo largo del tiempo, y el objetivo de toda empresa debe ser tener siempre bajo control el nivel de stock de todos y cada uno de los elementos de los que dispone.

Para el estudio de la variabilidad de stock comentada, suponemos una situación ideal en la que se tiene un determinado nivel de stock en un momento dado. El nivel de stock está compuesto por la suma del stock de ciclo más el stock de seguridad. Cuando surge

la necesidad de unidades de un elemento, el stock irá descendiendo desde una situación de stock máxima de forma descendente hasta el momento conocido como punto de pedido (PP), que es el momento en el que se crea la necesidad de reaprovisionamiento y se debe lanzar un pedido de suministro al encontrarse el stock en un nivel bajo. Una vez alcanzado el punto de pedido, la cantidad que se va a pedir se denomina lote de pedido (Q), que se refleja en la gráfica como la línea vertical.

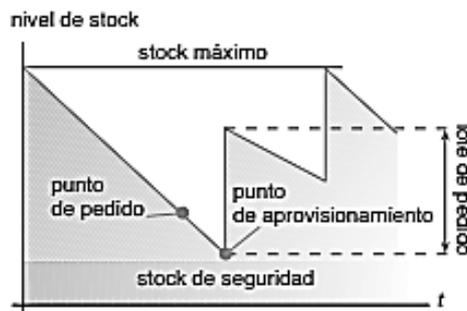


Figura 4-1. Evolución del stock con consumo continuo

En la gráfica de la figura anterior, se presenta una situación como la que se ha comentado anteriormente, teniendo en cuenta que el consumo del stock es de forma continua en el tiempo. El punto de aprovisionamiento es el momento exacto en el que el pedido realizado llega al almacén. A medida que el tiempo avanza, el ciclo se irá repitiendo e irá adquiriendo la situación representada en la gráfica.

La cuestión importante a resolver, es cada cuánto realizar un pedido para que un elemento nunca llegue al momento de ruptura de stock.

4.3.1 Stock medio

El objetivo de la gestión es minimizar los costos de la empresa. Para calcular dichos costos, se necesita conocer el nivel de stock existente, pero como esa cantidad fluctúa, se suele trabajar con el denominado stock medio.

El stock medio es la media aritmética entre el stock máximo, que coincide con la entrada de un pedido, y el mínimo que coincide justo con el momento en el que se produce un

reaprovisionamiento. Para calcular dicho stock medio, se presentan varias posibilidades en función de las cantidades y los periodos de reaprovisionamiento.

Pedidos de cantidad y fechas fijas.

Suponiendo que las ventas son constantes y los plazos de reaprovisionamiento son los mismos, el stock medio (SM) será el lote de pedido (Q), dividido entre dos. Para un mayor entendimiento podemos ver la grafica de la siguiente figura.

$$SM=Q/2$$

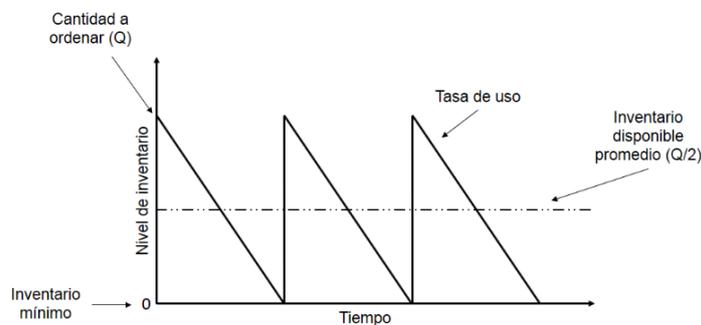


Figura 4-2. Evolución del stock en pedidos de cantidad y fecha fijas

Pedidos con cantidad fija y fechas variables.

Los niveles máximo y mínimo son los mismos, ya que la cantidad de suministro siempre es la misma. Por tanto, el stock medio se calcula de forma similar al caso anterior, siendo las áreas A y B de la gráfica iguales (fig. IV-3), en cada plazo de nuevo aprovisionamiento.

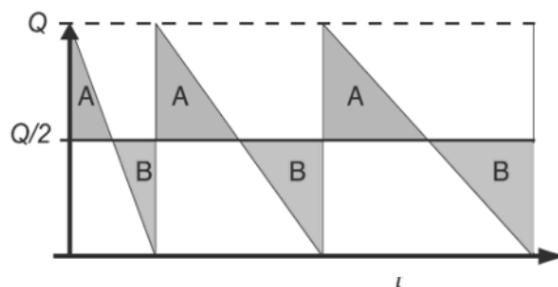


Figura 4-3. Evolución del stock en pedidos de cantidad fija y fecha variable

Pedidos con cantidad variable y fecha fija.

En este caso, los valores de stock máximo varían al llegar cantidades distintas en cada pedido cada cierto tiempo determinado. Por otra parte, existirán niveles de stock mínimo en función de la demanda. En este caso, para calcular el stock medio, habrá que calcular la media aritmética teniendo en cuenta que los periodos son iguales. Ver fig. siguiente.

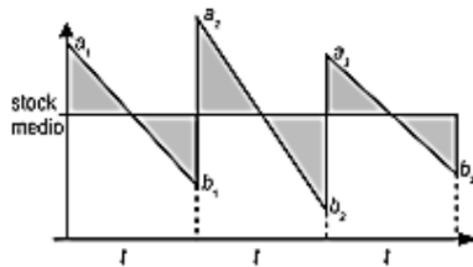


Figura 4-4. Evolución del stock en pedidos de cantidad variable y fecha fija

Matemáticamente, se expresa el stock como la suma de los niveles máximos a_i y los niveles mínimos b_i dividido por el doble del número de ciclos de reaprovisionamiento n :

$$SM = \frac{\sum(a_i + b_i)}{2n}$$

Pedidos con cantidad y fecha variable.

Con este caso, los niveles de stock máximo y mínimo varían. Será necesario calcular la media aritmética ponderada para cada periodo de reaprovisionamiento.

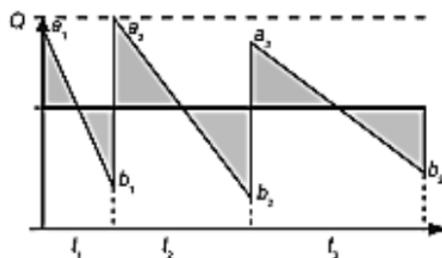


Figura 4-5. Evolución del stock en pedidos de cantidad y fechas variables

El stock medio viene dado por la siguiente ecuación, donde n es el periodo de tiempo total, ai y bi son los niveles máximos y mínimos de stock respectivamente y ti es el tiempo para cada periodo de reaprovisionamiento.

$$SM = \frac{(ai + bi) \times ti}{2n}$$

Este stock medio, en todas sus formas, será el valor que se utilice para calcular todos los costos.

4.4 Costos de la gestion del stock

Una gestión del stock adecuada lleva asociado una rentabilidad máxima con unos costos óptimos. Para minimizar los costos, es necesario conocer bien su composición, pues son gastos derivados de la acumulación de stocks.

Estos, se componen de 3 costos posibles:

- Costos de adquisición, *Cad*. Costos en los que se incurre al comprar y pagar el precio del stock. Son sencillos de calcular, es la multiplicación del precio de cada producto por el número de ellos adquirido. Para realizar el cálculo anual, se multiplica las ventas anuales (V), por el precio del producto (P).

$$Cad = V \times P$$

- Costo de emisión de pedidos, *CP*. De toda la logística implicada en disponer de una unidad de cualquier elemento, físicamente en el almacén, hay unos costos asociados que hay que considerar. Estos costos son los derivados de transportes, seguros, impuestos o gestiones administrativas. Para realizar el cálculo anual, se multiplica el costo de un pedido individual (Cp), por el número de pedidos, que será la división entre las ventas de un producto (V) y la cantidad de pedido de ese producto (Q).

$$CP = Cp \times \frac{V}{Q}$$

- Costos de almacenaje, C_a . Disponer de existencias en el almacén, supone unos costos derivados de la gestión de mantenerlo en las condiciones óptimas. El costo de almacenaje engloba numerosos costos, tales como los derivados de seguros, maquinaria, mantenimiento o mano de obra.

Para hallarlo, se multiplica el costo de mantener cada unidad (C_a) por el stock medio ($SM = Q/2$).

$$CA = C_a \times \frac{Q}{2}$$

Además de los costos propios de almacenaje, hay otros costos que se deben considerar, derivados de todo lo relacionado con el espacio físico donde se va a almacenar el stock. Primero, en la decisión sobre si la empresa quiere poseer su propio almacén, o alquilar un espacio disponible. Ahí, entran costos como el de alquiler, de financiación, o en caso de compra, los de amortización.

Una vez la empresa está en posesión del almacén físico, hay también varios costos asociados al mantenimiento de este en las condiciones óptimas. Además, en todo momento la seguridad de los trabajadores del almacén debe ser una prioridad, lo que también supone unos costos a la empresa.

Hay unos costos, que, aunque no son derivados de la gestión de stocks, son el punto clave en el objetivo de la gestión del stock. Estos costos son los asociados a la tenencia de stock. La tendencia de todas las empresas en la actualidad es la de reducir en gran medida el stock disponible, y esto se debe a que el capital invertido e inmovilizado en forma de materiales y repuestos genera costos, pero no beneficios. Es el denominado costo de oportunidad, lo que deja de ingresar la empresa al invertir dinero en stock y no en otras cosas. Otro componente que puede ser de importancia al considerar los costos de la tenencia de stock es el que corresponde a las primas de seguros que cubren riesgos directos sobre los productos almacenados.

4.5 Sistemas de gestion

Existen diversos sistemas que optimizan las entradas de materiales teniendo en cuenta las salidas que se van produciendo, esto es, el reaprovisionamiento.

Para ello, previamente se tiene que conocer el punto de pedido y el tamaño del lote. Esto indicará cuanto pedir, y cuando pedir, para mantener el almacén en un nivel de stock óptimo en cada momento. La frecuencia del pedido está determinada por el ritmo de consumo o ventas y el pedido se generará automáticamente al llegar al punto de pedido, y la cantidad de pedido a realizar, será siempre la misma, el lote de pedido, salvo situaciones excepcionales.

4.5.1 Punto de pedido

El punto de pedido (PP) es el nivel de stock que indica que se debe realizar un nuevo pedido antes de que se alcance el momento en el que se produzca una ruptura de stock. Para calcularlo, hay que definir una cantidad mínima, llamada stock de seguridad (SS), por debajo de la cual, nunca se debe estar. Así, al punto de pedido hay que sumarle una cantidad que vendrá definida por el plazo de entrega (PE) y la cantidad prevista de entrega o demanda media (DM).

$$PP = SS + (PE \times DM)$$

4.5.2 Lote de pedido

El lote de pedido (Q) es la cantidad de unidades que se van a solicitar en cada pedido. Para calcularlo, la empresa siempre debe de tratar minimizar los costos totales asociados a cada pedido. De esta forma, y en base a los costos comentados con anterioridad, se tendrá lo siguiente:

$$CT = Cad + CA + CP$$

Donde:

CT son los costos totales

Cad es el costo de adquisición.

CA es el costo de almacenamiento.

C_p es el costo por pedido.

Para calcular el lote de pedido, únicamente hay que derivar e igualar a cero la ecuación, para buscar el lote óptimo, y de esta forma se obtiene:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C_p \times V}{C_a}}$$

Donde:

Q^* es el lote económico

C_a es el costo unitario de mantener una unidad en almacén

V son las compras anuales

C_p es el costo de pedido.

4.6 El índice de rotación y el periodo de maduración

Por un lado, se entiende por rotación de stock al número de veces que un elemento pasa por el proceso de salir del almacén, consumirse, y ser cobrado, durante un periodo de tiempo determinado.

Para la empresa, el objetivo tiene que ser tener un alto índice de rotación de todos los elementos que tiene a su disposición. Eso indicará que, en el periodo de tiempo considerado, habrá recuperado la inversión realizada en cada elemento de stock, y habrá obtenido beneficios.

Las ventajas de tener un alto índice de rotación van desde la menor inversión realizada en stock debido al menor capital inmovilizado en existencias, a los menores costos de almacenamiento y a la menor pérdida económica derivada de caducidad y obsolescencia. De igual forma, presenta ciertos inconvenientes, como son el aumento de posibilidades de incurrir en ruptura de stock, mayores costos en emisión de pedidos o mayores costos de mantenimiento.

En vista de las ventajas de aumentar la rotación de stocks, la empresa puede decidir que le interesa aumentar dicha rotación, y en ese caso, puede hacerlo mediante una mejor

adaptación a sus necesidades, y adquirir únicamente aquello que se va a demandar, o consiguiendo que los proveedores sean cada vez más rápidos y fiables en sus entregas.

Por otro lado, se entiende el periodo de maduración como el tiempo que transcurre desde que se realiza la inversión hasta que los productos se venden y se cobran. Es decir, es el periodo completo en el que transcurre el ciclo de explotación de un producto.

4.6.1 El inventario

Es necesario que cada empresa lleve algún tipo de control sobre su inventario, para asegurar la continuidad de todo el proceso de producción y gestión de la instalación correspondiente. De todas formas, tendrá que buscar un equilibrio entre el escaso control y un excesivo control de todos y cada uno de los artículos en posesión, que conllevaría unos elevados costos.

Al inventario se le define como la relación de bienes de que se dispone, y que se guardan en los almacenes de una empresa a la espera de ser utilizados, vendidos o consumidos, y se clasifica según familias, categorías y lugar de ocupación. Las empresas tienen la obligación de realizar inventario, y es totalmente necesario que se ajuste a la realidad, ya que una valoración por encima de la realidad hace que el valor de la empresa sea mayor, y una valoración por debajo, hará que dicha empresa tenga que pagar menos en impuestos.

Por un lado, se pueden distinguir inventarios de acuerdo a la periodicidad en el que éste se lleve a cabo:

- Periódico. Se produce una vez al año y se extiende a todos los artículos. Se utiliza por empresas pequeñas y medianas.
- Cíclico. Suele tener una periodicidad inferior al año y es también extensible a todos los artículos. Recibe este nombre ya que resulta más económico lanzar una orden de compra o de producción de volumen superior a las necesidades del momento.

- Permanente. Se hace teniendo en cuenta algún factor que interese, una demanda concreta que se concentra en un periodo de tiempo limitado. Se pueden establecer distintas periodicidades en función del factor considerado.

Por otro lado, se tienen dos tipos de inventario respecto a la forma de obtenerlo:

Inventario contable: aquel que se realiza a través de la contabilidad de la empresa, y que irá variando en función de las entradas y salidas de mercancías,

Inventario extracontable o físico: aquel que consiste en un recuento físico de lo que realmente existe en el almacén. Este inventario extracontable es recomendable realizarlo de forma periódica, porque puede haber diferencias debido al deterioro de mercancías, robos, errores o caducidades.

El inventario contable precisa también ser periódicamente confirmado a través del inventario físico, porque el saldo contable puede no coincidir con el saldo físico, sea por error en la anotación (o no anotación) o en el cálculo.

La gestión de inventarios, una vez definida la gestión de stocks, debe determinar el stock máximo, el stock de seguridad y el punto de pedido para estudiar el momento en el que se hace el pedido y su cantidad y así, poder llegar al nivel de stock óptimo en el que los costos de gestión se minimizan.

4.7 Planificación de materiales

Una vez analizados los modelos clásicos de gestión, se pasa a analizar el denominado Plan de Materiales, o Programa de Componentes, con vistas a reaprovisionar los almacenes.

Se entiende como periodo de reaprovisionamiento el tiempo durante el cual el nivel de los inventarios es el que mantiene el stock de forma que no se produzca la ruptura de stock. Cuando se dispone de un sistema de control continuo conociéndose el nivel de stock en todo momento, el periodo de entrega es el mismo que el periodo de reaprovisionamiento.

El Plan de Materiales consiste en determinar los pedidos a realizar, de los componentes implicados en todas las necesidades que puedan aparecer en las instalaciones. Se trata de un plan a corto/medio plazo, normalmente con un horizonte de planificación de menos de un año, dividido en periodos semanales o diarios.

Dado el volumen de cálculos necesarios, hay sistemas informatizados desarrollados para llevar a cabo estos planes. A estos sistemas se les denomina MRP, Material Requirements Planning. El MRP se nutre de 3 entradas fundamentales, el listado de materiales existentes, el registro de inventarios, y el PMP (Programa Maestro de Producción).

4.7.1 Objetivos y ventajas

Los sistemas de MRP se realizan con el objetivo de facilitar la gestión de los inventarios de las empresas. Se trata de la principal herramienta para la planificación de materiales. Consiste en un cálculo de las necesidades netas de los artículos introduciendo un factor Nuevo que no es considerado en los métodos tradicionales que se utilizaban en la gestión de stocks, siendo este el plazo de aprovisionamiento o compra de cada uno de los artículos.

Así, presenta varios objetivos que, si se consiguen alcanzar, darán a la empresa ciertas ventajas competitivas y económicas.

Por un lado, hay un objetivo claro de disminuir el stock disponible almacenado. Si se conocen las cantidades que se van a necesitar, y las cantidades que están disponibles en cada momento, se puede llevar a cabo una planificación ajustada para reaprovisionar el almacén, y que en ningún momento haya un sobre stock que haga incurrir a la empresa en un capital inmovilizado elevado.

Otro objetivo, es el de reducir tiempos de espera. Se conocen plazos, y necesidades, y esto permite evitar rupturas de stock.

4.7.2 Entradas del sistema MRP

El Sistema MRP comprende la información obtenida con la entrada de al menos tres fuentes principales que se detallan a continuación:

Maestro de Materiales – BOM (Bill of Material)

La primera entrada de la que se nutre el MRP es un listado completo y detallado de todos los materiales susceptibles de ser necesitados tanto en operación como en mantenimiento de la instalación.

Cada material que aparece, debe tener asignado un código que lo identifique de forma única. Debe haber un único código para cada elemento, y a cada elemento se le asignará un código distinto.

La lista de materiales debe constituir el núcleo del Sistema de información en el que se ve sustentado el Sistema de programación y control de la producción.

Registro de Inventarios

La segunda entrada, será el resultado de todos los movimientos físicos que se realizan en el almacén. Contiene las cantidades disponibles, las cantidades pedidas en curso y se ve modificado continuamente según los movimientos físicos de unidades que se realizan en el día a día de la instalación.

Así, estos movimientos físicos van desde entradas de pedidos, devolución de materiales defectuosos, consumos en la instalación, hasta pérdidas por caducidad o averías.

Todo esto forma un registro histórico sobre cada código asignado a cada material, en el que quedará registrada tanto la cantidad existente en el momento actual, como todos los movimientos que han sufrido todas las unidades de ese código en el tiempo.

Programa Maestro de Producción (PMP)

Por último, el *Programa Maestro de Producción* será la tercera entrada que necesita el programa. El PMP es la definición de las cantidades y los momentos de necesidad de elementos que están sometidos a demanda externa.

Este Programa está fundamentalmente preparado para industrias de producción de bienes, y en él intervienen parámetros como tiempos de fabricación, pronósticos de demandas, y pedidos de clientes. Se realiza a partir de la demanda, pronosticada y/o de los clientes, ajustando los niveles de capacidad con los de producción, y según el plan estratégico de la empresa. Habitualmente se ha propuesto el empleo de la semana laboral como unidad de tiempo natural para el plan maestro.

El resultado obtenido es un histórico en el que se tiene las cantidades necesarias de cada referencia en un horizonte de tiempo, generalmente de semanas.

En la siguiente figura podemos observar la información obtenida con la entrada de al menos tres fuentes principales.

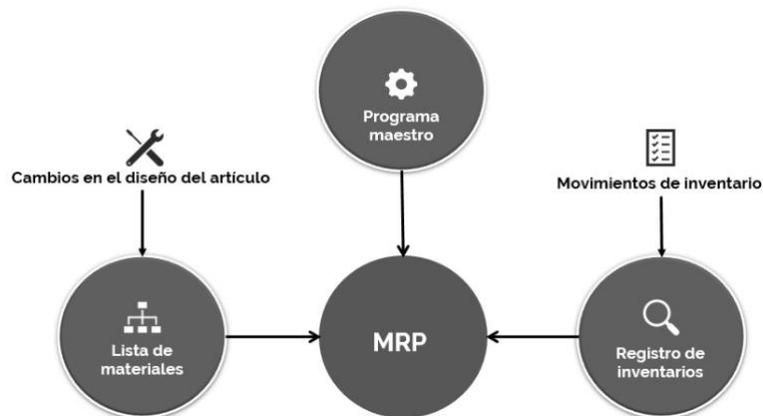


Figura 4-6. Estructura funcionamiento del proceso MRP.

4.7.3 Procemientos MRP

Lo primero a destacar, es que el MRP no es un sistema estático. Necesita ser actualizado con la información reciente, con todos los movimientos realizados de inventario, y con los cambios que pueden producirse en las necesidades en función de eventualidades no planificadas, o cambios de estrategia por parte de la empresa.

Con las informaciones de las que se nutre, el sistema MRP proporciona planes de compra y utilización de materiales en un horizonte de tiempo definido.

Este Sistema debe estar integrado dentro de los sistemas de la gestión empresarial para que se relacionen las informaciones recibidas de forma interna y externa.

4.7.4 Salidas del sistema MRP

Mediante la herramienta informática adecuada, y proporcionándole las entradas ya comentadas, el sistema genera dos salidas.

Plan Maestro de Producción: Está cuenta con un calendario detallado de las acciones requeridas para la producción de la empresa con el objetivo de satisfacer la demanda.

Programa de Compras: En él, se establecen las cantidades de cada elemento y las fechas en las que deben recibirse los artículos para cubrir las necesidades.

Estos resultados, proporcionan a la empresa una visión de las necesidades que va a tener en el horizonte temporal planificado, y le permitirá mantener sus niveles de stock en el punto adecuado en cada momento.

Capítulo 5 GESTION DEL STOCK EN UN PARQUE EOLICO

Las instalaciones eólicas se componen principalmente de 3 grandes elementos, los aerogeneradores, los centros de transformación, y todas las infraestructuras comunes eléctricas para el volcado y traslado de la electricidad. El stock que una empresa adquiere, y necesita gestionar, es en casi la totalidad, el destinado a los aerogeneradores.

Este stock para gestionar es evidente que en empresas del sector eólico no está destinado a su venta como tal, ni se utilizará en un proceso productivo de bienes materiales para su venta. Es stock necesario para garantizar que los aerogeneradores estén en condiciones óptimas para la producción de energía a partir del viento.

5.1 Objetivos de la gestión de stock en instalaciones eólicas

Las instalaciones eólicas, tras su construcción y puesta en funcionamiento, habitualmente tienen un periodo de dos años en los que el mantenimiento de la instalación se lleva a cabo de forma integral por parte del constructor, o empresas especializadas. Durante esos dos años, todo lo relacionado con la operación y mantenimiento de la instalación se gestiona de forma externa a la empresa con lo que se denomina un contrato de mantenimiento integral. Superado ese periodo de mantenimiento integral, y aunque el periodo de garantía de la instalación se extienda normalmente hasta los 4 o 5 años, ya es la empresa la que toma el control de la gestión de la operación y el mantenimiento de forma interna, y por tanto de la gestión del stock.

Las instalaciones eólicas, una vez en funcionamiento, sólo tienen un objetivo, producir energía, y todo lo relacionado con la operación, y el mantenimiento, tiene que ir dirigido a conseguir que la producción sea óptima, y la indisponibilidad de la instalación sea mínima.

Para tratar de que la indisponibilidad sea mínima, uno de los factores fundamentales es una correcta y óptima gestión del stock. Además, debido a que, en muchos casos, los

parques eólicos se sitúan en localizaciones geográficas de difícil acceso, esta cuestión cobra aún más importancia.

Dentro de la gestión del stock de las instalaciones eólicas, estará el identificar el stock que ha de estar disponible para cada instalación, ajustar los niveles de stock, gestionar los almacenes, los transportes de materiales y las relaciones con los proveedores para obtener suministros. Estas funciones, habitualmente se llevan a cabo desde el departamento de logística de las empresas. Hay que destacar que es complicado cuantificar económicamente lo que supone para la empresa una situación de ruptura de stock, pues habría que tener en cuenta la pérdida en la que se incurre si la producción se ve afectada. La producción va ligada por completo a la cantidad y calidad del viento existente, y su predicción a medio y largo plazo es complicada de estimar, por lo que complica la cuantificación de costos en caso de pérdida de producción por ruptura de stock.

5.2 Políticas de almacenes

El almacén es el lugar físico en el que se acopian los materiales y repuestos que la empresa ha adquirido, considera oportuno poseer, con el objeto de mantener un correcto funcionamiento en operación, y un correcto mantenimiento de las instalaciones. Para ello, la empresa deberá dimensionar adecuadamente tanto el espacio físico disponible, como el conjunto de materiales y repuestos presentes en cada uno de los almacenes.

Los elementos, y el nivel de stock de cada uno de ellos que una empresa debe poseer en sus almacenes, es una cuestión fundamental.

Por un lado, un almacén insuficientemente dotado a nivel de stock, generará, en caso de averías, periodos de indisponibilidad elevados de la máquina, por falta de repuestos. Esto implica una pérdida de producción de energía, y por tanto, un déficit en el beneficio económico de la empresa.

Por otro, una sobredimensión del stock disponible, incrementa las necesidades financieras ya que supone un capital inmovilizado excesivo. De igual forma, genera

mayor dificultad para mantener el almacén en óptimas condiciones, debido a la falta de espacio y a la mayor necesidad de medios para su conservación y control.

El objetivo por tanto, tiene que ser encontrar un equilibrio entre ambas situaciones, garantizando el menor tiempo de indisponibilidad posible, sin incurrir en un excesivo capital inmovilizado y en una elevada dificultad de mantenimiento del almacén.

La importancia de tener un almacén en condiciones en una empresa se puede reflejar en los siguientes puntos que se tienen que tener como objetivos para garantizar un suministro continuo de materiales y medios de producción necesarios para asegurar unos servicios de forma ininterrumpida y rítmica:

- La disminución de los niveles de stock y del espacio físico junto a la maximización del volumen disponible.
- Optimización de la gestión de compras para tener una producción flexible que minimice las operaciones necesarias de manipulación y transporte y, con ello, conseguir una reducción de los tiempos de proceso.
- Mejorar de la calidad del producto para maximizar el nivel de satisfacción del cliente y conseguir la fiabilidad.
- Agilizar los procesos logísticos respecto al tiempo de entrega y reducir las tareas administrativas.
- Optimización tanto de los costos como de la inversión.



Figura 5-1 Necesidades para la planificación y gestión de stocks.

Antes de definir qué repuestos y en qué cantidades hay que tener en stock, la empresa tiene que definir una política respecto al número y disposición de los almacenes. En la figura anterior podemos observar un ejemplo de las necesidades que conlleva la planificación y gestión del stock. En la actualidad, en México, se manejan principalmente dos tipos de políticas respecto a este tema.

La primera de ellas, define un único almacén central en el que se dispone de todo el material necesario para todas y cada una de las instalaciones de la compañía. Será un único almacén general de gran capacidad, en el que se acopiará prácticamente todo el material que será necesario para el correcto funcionamiento de todas las instalaciones eólicas.

Esta política presenta ciertas ventajas. Hay una reducción del stock total de la compañía, lo que conlleva una reducción del capital inmovilizado. Esto es un hecho importante a nivel económico.

Así mismo, toda la logística relacionada con repuestos se ve sensiblemente simplificada, pues todo se centraliza a través de un único almacén. De igual forma, no es necesario disponer de grandes espacios de almacenamiento en las propias instalaciones, debido a que el stock presente en cada instalación es el mínimo para cubrir el funcionamiento normal de la instalación y las averías más críticas y comunes.

Pero presenta un inconveniente en cuanto a los plazos en caso de necesidades de urgencia. Al no haber ciertos repuestos en la instalación, ante una incidencia, en muchas ocasiones, el repuesto necesario tendrá que moverse desde el almacén hasta la propia instalación.

Disponer de todo el stock en un almacén central obliga a estar en posesión de un espacio de almacenamiento muy elevado, con una localización geográfica adecuada. Además, supone un elevado costo en transportes de repuestos desde dicho almacén a las instalaciones correspondientes.

Frente a esta política, hay una opuesta que prefiere apostar porque cada instalación disponga de su propio almacén. En este caso, todas las instalaciones tendrán disponible un volumen de stocks ajustado a sus propias necesidades.

La gran ventaja que presenta esta política es la de reducir el riesgo de incurrir en indisponibilidades de la instalación. Cada una de ellas tendrá un stock definido que cubrirá las necesidades surgidas de posibles incidencias. Presenta un importante inconveniente. El stock inmovilizado de la compañía será muy superior al caso anterior. En este caso, cada instalación requiere disponer físicamente de repuestos críticos, disparándose así el costo del inmovilizado.

Por ejemplo, para un repuesto crítico, en esta política se necesitará disponer de una unidad al menos en cada almacén, para evitar indisponibilidad de cualquiera de las instalaciones. Sin embargo, teniendo un único almacén general, de ese mismo repuesto no haría falta disponer de tantas unidades como instalaciones haya, pues a medida que se vayan consumiendo, se puede ir gestionando el reaprovisionamiento para no producir una ruptura de stock.

Otra desventaja es la necesidad de un espacio físico elevado para almacenamiento en cada instalación. También el gasto en personal será superior, así como aumentan el riesgo y las incidencias en carga y descarga de materiales.

Hay otra diferencia entre ambas políticas a nivel de compras. A la hora de gestionar el reaprovisionamiento de repuestos, disponer de gran cantidad de almacenes implica una mayor gestión de tiempo y recursos en realizar gran cantidad de pedidos de compras para poder mantener todas las instalaciones en su correcto nivel de stock. Sin embargo, si se dispone de un único almacén central, toda esta gestión se ve simplificada al tener que realizar pedidos para un único destino.

La decisión sobre la política de almacenes a implantar en la empresa debe ser previa al estudio de stocks, porque afectará sensiblemente a las necesidades que deberán cubrirse.

5.2.1 Comportamiento del stock

El stock de un elemento irá fluctuando a medida que llegan unidades de pedidos a proveedores, o que se consumen para el mantenimiento de la instalación

La situación ideal para una gestión del stock más sencilla consiste en un consumo continuo de unidades a lo largo del tiempo, pero es evidente que una instalación real, esta situación no se dará prácticamente en ninguna ocasión.

Además, hay que añadir una situación especial que se da por tratarse de instalaciones eólicas. La producción de energía está ligada a la existencia de viento, y éste tiene unas condiciones variables, que en ocasiones resulta poco previsible. El consumo de stocks también se verá afectado por esta situación. Se aprovecharán momentos de nulo o escaso recurso eólico para hacer trabajos de mantenimiento, tanto correctivos como preventivos con los consiguientes consumos de stock, y se tratará de aprovechar los momentos de mayor recurso eólico para no tratar de realizar trabajos en los aerogeneradores que no sean totalmente imprescindibles.

Las herramientas informáticas permiten a la empresa tener un registro histórico de los movimientos que se han realizado de un elemento, en el periodo de tiempo que se desee. En base a ese registro histórico, desde la logística de la empresa se puede tratar de aproximar el comportamiento del stock de cada elemento a una situación lo más ideal posible, y conocer las necesidades históricas.

El objetivo debe ser calcular el punto de pedido, y el tamaño del lote que permitan mantener el nivel de stock del almacén en cada momento en el punto óptimo.

5.2.2 Tipos de stock

Lo primero a la hora de establecer un stock de elementos en un almacén, será definir unos criterios y adoptar una política de repuestos. Debe establecerse, con la mayor precisión posible, los criterios de decisión en función de:

- La importancia del material. Esta importancia vendrá dada por el nivel de riesgo que supondría su falta, para la disponibilidad de la instalación.
- Tipo de material. En este caso, se distinguen varios tipos, materiales consumibles, materiales susceptibles de reparación, materiales estratégicos, etc.
- Dificultades de reaprovisionamiento. Estas dificultades vendrán dadas por la imposibilidad de los proveedores para suministrar ciertos materiales, o por los elevados plazos de entrega en caso de necesidad.

Una vez definidos estos criterios de decisión, se diferencian varios tipos de stock:

- Stock crítico. Materiales específicos de partes críticas de la máquina. Se les debe dar un tratamiento diferenciado, pues suponen un riesgo de indisponibilidad muy elevado.
- Stock de seguridad. Materiales con baja probabilidad de avería, pero que resultan indispensables en la instalación.
- Materiales de desgaste y consumibles. En este campo, están incluidos materiales como escobillas, rodamientos o aceites. Son materiales sometidos a continuo desgaste y con un índice de rotación elevado.
- Materiales genéricos como tornillería o retenes.

5.2.3 Movimientos de stock

En un almacén, físicamente puede haber multitud de movimientos de materiales. Se pueden diferenciar principalmente dos categorías, las entradas, y las salidas.

Entrada de mercancía.

Todas las entradas de mercancías conllevan un aumento del nivel de stock del elemento en cuestión.

El movimiento más común dentro de las entradas es el de la recepción de un pedido en el almacén. Se realiza un pedido de materiales al proveedor correspondiente, y éste lo envía. Cuando el pedido se recepción en el almacén, el personal allí presente debe confirmar que ha llegado el material correspondiente y en la cantidad correcta.

Otro movimiento de entrada es el que se produce cuando la compañía decide realizar trasposos entre dos de sus almacenes de forma interna. Estos movimientos suelen realizarse cuando se detecta una necesidad urgente en una instalación, y hay stock suficiente en otro de los almacenes internos, de forma que puede cubrirse la necesidad sin incurrir en indisponibilidades de ninguna de las dos instalaciones implicadas.

Salidas de mercancías

Las salidas de mercancías, por su parte, conllevan una reducción del nivel de stock presente en el almacén.

El consumo de unidades es el movimiento más común. Como se ha comentado, disponer de stock físicamente en los almacenes de la instalación se realiza con el objetivo del correcto funcionamiento y mantenimiento de la instalación. Cada vez que surge una necesidad, lo ideal es disponer del stock necesario para consumirlo y cubrir dicha necesidad.

De igual forma, cuando se produce una avería, los elementos implicados habrán de darse de baja porque resultan irreparables, o se enviarán a reparar. En ambos casos, deberán salir del inventario y se consideran salidas.

5.2.4 punto de pedido y lote de pedido

El objetivo, por tanto, tiene que ser calcular para cada elemento el momento óptimo para realizar un pedido y para dicho pedido, saber cuál será la cantidad óptima de unidades a pedir para mantener el almacén con un nivel de stock adecuado.

Por tanto, y no considerando la situación ideal de consumo de stock, puesto que se trata de instalaciones reales, habrá que tratar de obtener algún comportamiento cíclico para poder ajustar los parámetros necesarios.

Estos parámetros son los de stock mínimo, stock de seguridad, y punto de pedido.

5.3 El inventario

Tal y como se habló en el capítulo anterior, cada empresa está obligada a llevar un control sobre su inventario. En este caso, será fundamental mantener un estricto control sobre lo que hay presente en cada almacén.

Así, para el inventario contable, que es aquel realizado a través de la contabilidad de la empresa, se utilizan diversas herramientas informáticas que permiten mantener un registro continuo de todos los movimientos realizados a nivel de almacén. Todas estas

herramientas hacen un seguimiento continuo de cada movimiento que se realiza de entrada o salida de stock del almacén.

En estas herramientas, figura el stock disponible en cada momento, y se van alimentando con toda la gestión informática de los movimientos. Cada pedido que llega físicamente al almacén, se tiene que registrar en el sistema, confirmando qué elementos han llegado, y en qué cantidades. Cada unidad que se consume en la instalación debe quedar registrada en el sistema. Sucede lo mismo con todos los movimientos que se realicen, ya sean materiales que se envían a reparación, materiales que se dan de baja por cualquier motivo, o materiales que se traspasan a otras instalaciones.

Para que este inventario contable sea fiel a la situación real, es necesario que la gestión informática del stock se realice de forma continua y minuciosa.

Por otro lado, el inventario extracontable será el recuento físico que se realiza del almacén para verificar que el inventario contable refleja con exactitud la situación real del almacén. Es decisión de la empresa cada cuanto quiere realizar estos inventarios extracontables. Habitualmente, se toman periodos trimestrales o semestrales para llevar a cabo estas contabilizaciones físicas de stock. Como ya se comentaba con anterioridad, pese a que la situación ideal conllevaría a que inventario contable y extracontable coincidieran exactamente en sus resultados, la situación real es que, en muchas ocasiones, en el inventario extracontable se aprecian desvíos. Estas diferencias entre uno y otro se suelen dar debido a posibles extravíos de elementos, robos, deterioros, errores, o incluso una mala gestión informática del almacén.

Todas las empresas se ven sometidas a auditorias de sus almacenes, y por ello, estos inventarios extracontables cobran importancia. Lo que hay físicamente en el almacén, debe estar fielmente reflejado en el inventario contable para no incurrir en una infracción.

Sin embargo, y a pesar de su importancia, estos inventarios extracontables suponen una necesidad de recursos tanto de personal como de tiempo, que hay que gestionar de forma correcta. Por eso, será la propia empresa, a nivel interno, la que tendrá que tomar la decisión sobre cuantas contabilizaciones físicas quiere realizar a lo largo del año

5.4 Gestión informática del stock

Como se ha comentado, en la actualidad hay diversas herramientas que permiten llevar a cabo un registro continuo de todos los movimientos físicos que se producen en un almacén.

La principal ventaja que presenta disponer de este tipo de herramientas es que facilita que el registro de inventario sea continuo. Además, al quedar todo registrado en el sistema, permite un fácil acceso a todos los movimientos que se han realizado en el almacén desde el inicio del uso de la herramienta.

Pero a su vez, exige cierto consumo de recursos. El personal de almacén debe dedicar parte de su tiempo a introducir en el sistema la información para mantener actualizado el almacén, lo que también conlleva facilitar una formación previa por parte de la empresa a su personal sobre el correcto uso de la herramienta.

5.4.1 Maestro de materiales

Se denomina maestro de materiales al listado de elementos susceptibles de ser requeridos en una instalación eólica. En estas herramientas informáticas, habrá de tenerse dicho maestro en el sistema, de forma que esté bien definido, asignando un único código a cada elemento.

En muchos casos, este maestro de materiales será también un listado que no es estático, y que irá variando a lo largo del tiempo. Estas variaciones se pueden deber a elementos que quedan obsoletos, a elementos nuevos que los proveedores pueden suministrar, o a elementos provenientes de despieces de otros más grandes.

5.4.2 Entradas y salidas de mercancías

Para realizar entradas, por ejemplo, recepciones de pedidos, el pedido se registra en el sistema, indicando elementos y cantidades. Y en paralelo al procedimiento de registro físico en el que intervienen transportistas y albaranes, el personal presente en el

almacén, y tras comprobar que lo recibido se corresponde con el pedido, hará la entrada correspondiente en el sistema contra el pedido que previamente se había introducido.

Para realizar las salidas, si se tratan de consumos, la herramienta permite un registro de las órdenes de trabajo que se llevan a cabo en la instalación, pudiendo incluir los materiales utilizados en cada una de ellas, y gestionando la baja de las unidades correspondientes del inventario del almacén. En estas órdenes de trabajo, que serán de todo tipo de trabajos realizados en la instalación, se incluirán todos los materiales consumidos para llevarlos a cabo. Se tratan de órdenes de trabajo para mantenimientos correctivos, para mantenimientos preventivos, u otro tipo de mantenimientos. El poder realizarlo de esta forma, permite a posteriori poder hacer extracciones de los registros de consumos en función de los tipos de trabajos realizados, y poder conocer el histórico de consumos para cada tipo de mantenimiento realizado en la instalación. Esto facilitará la gestión del stock y la planificación del reaprovisionamiento por ejemplo para los mantenimientos preventivos, que como se ha comentado, son trabajos planificados que se realizan con carácter periódico.

De igual forma, permite dar de baja unidades si se considera oportuno, por caducidades, u otras razones similares, o registrar cualquier tipo de movimiento en el que se vea implicado el almacén.

5.4.3 Inventarios en las herramientas informáticas

Para llevar a cabo el registro informático de los inventarios extracontables, las herramientas permiten introducir todos los valores que se obtienen de los recuentos físicos de elementos del almacén. Una vez introducidos todos estos datos, cruza los valores con los que están en sistema, que son los correspondientes al inventario contable, y emite un listado de diferencias entre uno y otro.

Este listado de diferencias habrá de chequearse, y en caso de que las diferencias sean correctas, el inventario contable tendrá que regularizarse y ajustarse a la realidad.

5.5 Proceso MRP

El proceso de reaprovisionamiento de materiales, o Material Requirements Planning como se los conoce en inglés, son sistemas que permiten realizar de forma semiautomática los cálculos de necesidades del almacén, y por tanto, los valores de punto de pedido y lote económico.

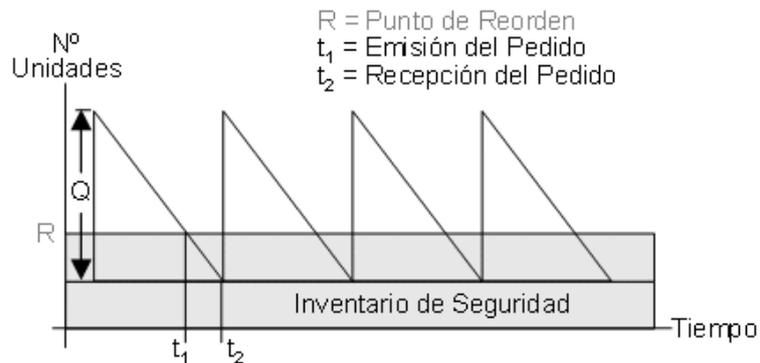


Figura 5-2 Evolución stock en instalación eólica

La gráfica de la imagen anterior permite conocer el funcionamiento del proceso MRP. Para ello, hay que definir varios parámetros y variables.

En un primer caso, desde la compañía se debe tomar una decisión respecto a la periodicidad de las compras de repuestos. Es una decisión que afectará a todos los demás parámetros. Si el periodo que transcurre entre dos compras es demasiado elevado, se incurre en riesgo de tener una ruptura de stock de alguno de los materiales, y además, los volúmenes de compra serán mayores. Por el contrario, si los periodos entre dos compras son demasiado cortos, aunque el volumen de los suministros sea menor, puede que no se alcance a vislumbrar una periodicidad en el consumo de repuestos, y por tanto los datos obtenidos del proceso MRP no sean fiables.

El primer parámetro a conocer, y que condiciona el resto, es el denominado stock mínimo. Se define como la cantidad de material que se consume en la instalación durante un periodo determinado de tiempo establecido. Este periodo de tiempo viene definido por parte de la compañía como el plazo que se tardaría en reaprovisionar un material de forma urgente, en caso de necesidad.

El siguiente parámetro es el del stock máximo. Este parámetro se define como las unidades de un repuesto que se consumen entre dos compras. Hay que tener en cuenta que no debe contabilizarse dentro de este stock máximo el contabilizado anteriormente como stock mínimo, pues dicho stock debe mantenerse en almacén como stock de seguridad.

Por último, está el parámetro denominado punto de pedido. Se define como la suma del stock mínimo y el consumo que se realiza de dicho material en un periodo determinado. Este periodo viene determinado por la suma de los tiempos de entrega del material por parte del proveedor, la mitad del periodo entre compras, y un tiempo adicional como colchón de seguridad.

Una vez definidos estos parámetros, el proceso consiste en, una vez llegado el momento de realizar los pedidos periódicos de repuestos, cruzar el stock actual disponible en ese momento en el almacén, con el parámetro de punto de pedido.

Si el stock disponible es inferior al punto de pedido, se propone una compra del repuesto hasta alcanzar el stock máximo. Si por el contrario, el stock disponible es superior al que marca el punto de pedido, no se propondrá una compra de dicho repuesto.

Este proceso permite mantener el nivel de stock siempre por encima del stock de seguridad, y en un punto óptimo, lo que facilitará no incurrir en indisponibilidad en la instalación, y por tanto en pérdida de producción. Otra ventaja que presenta es que es un proceso que está implantado y desarrollado, y que permite gestionar los pedidos de forma prácticamente automática, sin más entradas que las comentadas.

Por contra, aunque sea un proceso relativamente sencillo, exige ser minucioso en el día a día con el control del stock. El inventario tiene que estar permanentemente actualizado, pues de lo contrario, los valores de stock mínimo y máximo serán parámetros carentes de fiabilidad.

5.6 Índice de rotación

La rotación de existencias en un almacén sirve para indicar la calidad de la empresa en tanto en cuanto a su gestión del stock. Este índice determina la frecuencia media de

renovación del stock durante un periodo de tiempo considerado, y se obtiene como la división del consumo de un elemento entre el valor del stock medio.

Este sistema suele utilizarse para evaluar la competitividad de la empresa en cuanto a la gestión del stock disponible. Una mala gestión del stock puede generar problemas, como que se dé la situación de tener en el almacén elementos con bajo índice de rotación. Para evitarlo, hay que tratar de mantener un control exhaustivo de los consumos y de las necesidades, así como del inventario en cada momento.

Las ventajas que presenta para la empresa mantener un alto índice de rotación de sus elementos en el almacén van desde reducir la posibilidad de que haya materiales que caduquen o se dañen, reducir los costos de almacenamiento al no disponer de un sobre stock no útil, maximizar el rendimiento del capital invertido, hasta minimizar pérdidas por obsolescencia o caducidad.

Capítulo 6 OPTIMIZACIÓN DEL STOCK EN INSTALACIONES EÓLICAS

Una vez revisadas las técnicas de gestión del stock en instalaciones eólicas, el siguiente paso tiene que ser ver cómo aplicarlas para tratar de optimizar el stock existente, y, por tanto, mantener el nivel del stock en un punto que permita a la empresa alcanzar un punto de equilibrio entre no incurrir en riesgos de ruptura de stock, y no tener un sobre stock que implique un capital inmovilizado excesivo.

6.1 Campo de aplicación

Se ha hecho una introducción a las técnicas de gestión de stock, y a los objetivos e importancia que una correcta gestión tiene. Ahora, se van a aplicar sobre un caso real, de una empresa del sector, para poder conocer con detalle los beneficios de una correcta gestión.

La empresa en cuestión se trata de ENEL, esta se sitúa como una de las empresas punteras del sector a nivel nacional, La política de almacenes que esta empresa ha adoptado es la de mantener almacenes en cada una de las instalaciones eólicas de que dispone. Aparte de ello manejan un almacén general en el estado de veracruz, del cual distribuyen repuestos y consumibles a los almacenes de cada parque.

En cuanto a las tecnologías eólicas de sus instalaciones, cabe destacar una gran presencia de MW de instalaciones de tecnología Gamesa G8X, G9X, G114.

6.2 Proceso de compra de repuestos

Una vez definida la política de almacenes por parte de la empresa, la primera decisión a tomar, en este caso, es cada cuanto se realizará un pedido de materiales. En este caso, ENEL decide realizar pedidos con carácter bimensual.

Si bien, es posible que tengan que realizarse pedidos de forma puntual fuera del pedido base, para necesidades imprevistas o urgentes.

El proceso interno para las compras de repuestos, que mantiene ENEL es el siguiente:

Se lanza una propuesta de pedido en base a las necesidades que el proceso MRP extrae. El MRP genera un listado de elementos a comprar, en función de los parámetros de stock mínimo, punto de pedido y stock máximo. Entre el gestor de logística correspondiente, y el personal del parque, este listado se revisa y matiza para tratar de incluir o eliminar aquellos elementos que así se requieran.

- Propuesta definitiva de pedido. Una vez se ha revisado el listado, se cierra la propuesta de pedido, y se confirman las necesidades definitivas.
- Una vez el listado ha quedado cerrado, se gestionan los pedidos con los proveedores correspondientes y se les envía la solicitud de suministro.

Aunque se definan periodos semanales de compras, hay que recordar que se está hablando de instalaciones eólicas, en las que la prioridad es la producción de energía. Por ello, trabajos planificados sobre los aerogeneradores, como los mantenimientos preventivos, se suelen colocar en momentos de escaso o nulo viento, para no afectar a la disponibilidad de las máquinas en momentos óptimos de viento. Para los mantenimientos preventivos, harán falta ciertos repuestos, y estos se comprarán con vistas a esos trabajos, y habitualmente fuera de los pedidos bimensuales.

Además, como se verá más adelante, antes de hacer la adjudicación de los pedidos a los proveedores, habrá que comprobar que el stock necesario, ya sea en parte o en su totalidad para cualquiera de las referencias, no está en situación de ser reubicado, ya sea desde otro parque o desde el propio almacén central, lo que supondrá un abaratamiento de costos al no tener que hacer frente a la compra de nuevas unidades

6.2.1 Relación con los proveedores

Los proveedores serán aquellos que suministren a la empresa todos los materiales que compondrán su stock.

Para la empresa, cuánto mejor sea la relación comercial con sus proveedores, mejor será la respuesta que estos proporcionaran antes las necesidades propias. Es por ello, que

desde el departamento de compras se trata de gestionar unos Acuerdos Marco con los proveedores.

Estos acuerdos, se realizan con el objetivo de obtener un precio cerrado y un plazo de entrega garantizado durante el periodo de tiempo que se considere en el acuerdo. Se lanza una solicitud de oferta para un plazo determinado, por ejemplo, 3 años, de todo el maestro de materiales a los proveedores correspondientes, y estos, presentan sus ofertas para todos aquellos elementos a las que son capaces de ofertar, indicando precio unitario y plazo de entrega.

Con esas ofertas presentadas, desde el Departamento de Compras de ENEL, se realiza una adjudicación tomando como referencia la combinación de plazo y precio óptimos. Ahí está la principal ventaja, la empresa se garantiza un suministro a precio y plazos cerrados, obteniendo los mejores precios y plazos posibles.

El inconveniente de estos acuerdos es que, ante fluctuaciones de precio a la baja, se está obligado a comprar al precio acordado. Esto sucede por ejemplo con aceites y combustibles, que son elementos cuyo precio puede fluctuar con facilidad debido a la volatilidad del mercado.

En ENEL, el maestro de materiales contiene información relativa a cada material que lo clasifica de forma única e inequívoca. A parte de asignársele un código mediante la herramienta informática utilizada, que en este caso se trata de SAP, se le añade toda la información disponible sobre fabricante, marca, modelo e incluso el sistema técnico del aerogenerador en el que va instalado.

Se puede ver en la siguiente tabla un resumen de cómo está estructurado el seguimiento del maestro de materiales que se lleva a cabo desde ENEL.

Tabla 6-1 Ejemplo del Maestro de Materiales de ENEL.

Código Tecnológico	Código SAP NUEVO	Descripción acortadas	Fabricante	Marca	Modelo/ NS Fabricante	Tecnología 1	Tecnología 2	Sistema	Familia técnica	Familia comercial	Denominación general	REPARABLE
GP000332	2000060548	ARTICULACION ROTATIVA ELECTRICA STD G80	Cobham	Cobham	6F4016150	GM-8X	GM-5X					SI
GP001621	2000070926	HEXAGON HEAD SCREW ISO 4017-M8x12-8.8-DA			ISO 4017-M8x12-8.8-DA	GM-8X		MULTIPLICADOR	TORNILLERÍA, TRAMOS Y COMPONENTES	FERRETERÍA	TORNILLO	NO
GP002389	2000070924	WASHER ISO 7416-24-45 HRC-DACROMET 500A			ISO 7416-24-45 HRC-DACROMET 500A	GM-8X		MULTIPLICADOR	TORNILLERÍA, TRAMOS Y COMPONENTES	FERRETERÍA	TUERCA	NO
GP004849	2000060613	CONTACTOR 230Vac 1NA 9A 25A 3P	ABB	A93010	KM499	GM-8X		QB	CUADRO DE BAJA TENSIÓN	CONTACTOR		NO

En el ejemplo de la tabla anterior, se aprecian los campos que se consideran importantes a parte de la descripción y los códigos asignados en SAP como el código del tecnólogo, que también es conocido como part number habitualmente, que le da un carácter único a cada material. Además, se incluyen las tecnologías en las que puede ser usado. Toda esta información facilita el reconocimiento del material por parte de los proveedores a la hora de recibir un pedido, y también permite buscar sinergias entre distintas tecnologías.

6.2.2 Mejoras introducidas

Una primera mejora para realizar es la de adecuar los parámetros que alimentan al proceso MRP. Es decir, si en el proceso de revisión de las necesidades, se considera que hay que añadir algún elemento, o modificar las cantidades que han surgido del proceso, el gestor de logística realizará un estudio sobre la posible modificación de los parámetros. Si se considera oportuno, se modificarán los parámetros de stock mínimo, punto de pedido y/o stock máximo con vistas a que, en el próximo pedido, estos parámetros estén actualizados y generen la propuesta de pedido óptima.

Antes de llevar a cabo la compra de materiales a los proveedores, se debe realizar un estudio sobre la posibilidad de extraer algunos de los elementos, o cantidades necesarias de otros almacenes, o del almacén central. Esto reducirá costos en compras, y optimizará el stock del almacén en el que surge la necesidad, y del almacén del que se extrae el material correspondiente.

Por ejemplo, para elementos de consumo habitual, como pueden ser aceites, se modifican los parámetros del MRP con frecuencia. Un caso habitual suele ser el siguiente:

Se supone una instalación que se encuentra en un momento temporal de elevado recurso eólico, y, por tanto, de elevada producción. En un momento así, la disponibilidad de los aerogeneradores debe ser máxima, y se debe procurar que estos se mantengan en funcionamiento de forma prioritaria. En dicho momento, se detecta una fuga de aceite, que hace que se eleve el consumo de aceite por encima del habitual, y que requiere de una detención del aerogenerador correspondiente para poder subsanar la

fuga. Pero ante la prioridad de mantener los aerogeneradores en funcionamiento, se decide posponer la reparación para un momento de menor recurso eólico. Por tanto, se modifican los parámetros MRP para elevar tanto el stock mínimo como el lote del pedido, para así recibir mayor cantidad de aceite en el próximo pedido y poder ir cubriendo las necesidades de aceite de las máquinas.

Este caso se ejemplifica mejor en las tablas siguientes:

Se tiene el siguiente elemento con los siguientes parámetros para uno de los parques de G8X de ENEL:

Tabla 6-2 Ejemplo parámetros MRP

Material	Texto breve de material	Stock seguridad	Stock máx	Ppedido
2000040045	ACEITE SHELL OMALA F 320	200 Litros	400 Litros	300 Litros

Y en dicho parque se detectan fugas de aceite, que elevan el consumo habitual, que pasa de ser de 100 litros mensuales en la instalación, a prácticamente el doble. Estando justo en momento de lanzar el proceso MRP, el gestor de logística correspondiente, decide modificar los parámetros para establecerlos de forma que:

Tabla 6-3 Ejemplo modificación de parámetros MRP

Material	Texto breve de material	Stock seguridad	Stock máx	Ppedido
2000040045	ACEITE SHELL OMALA F 320	300 Litros	600 Litros	500 Litros

Y con esto, el suministro por parte del proveedor será de mayor cantidad, y se conseguirá aprovechar al máximo la situación de óptimo recurso eólico. Una vez reparada la fuga, el gestor vuelve a revisar los parámetros y los vuelve a modificar para mantenernos en el nivel de necesidad habitual. Y si se hubiera producido un sobre stock, se revisará su posible reubicación.

6.3 Proceso de inventario

El proceso de inventario físico de almacén requiere de una toma de decisión inicial. El intervalo periódico entre inventarios extracontables a lo largo del año.

En este caso, y salvo para materiales específicos de elevada importancia, la decisión es realizar dos inventarios extracontables a lo largo del año, es decir, se realizarán con periodicidad semestral. Se realizará inventario a la totalidad de materiales del almacén en cada uno de ellos.

6.3.1 Mejoras introducidas

Cada inventario extracontable, hay que tener en cuenta que es un proceso en el que se realiza un reconocimiento exhaustivo del almacén y de todos los elementos en él existentes. Esto permite ciertas mejoras.

Gracias a esta revisión de lo existente, una primera mejora en la optimización del stock es identificar todos aquellos materiales que no estén en condiciones de ser utilizados. Se identifican por tanto aquellos que ya han cumplido la fecha de caducidad, como aquellos que se han deteriorado, o aquellos que están averiados o han quedado obsoletos. Todos estos materiales se retirarán del almacén.

Por ejemplo, se realiza el recuento de unidades del siguiente material en uno de los almacenes de G8X de ENEL, en el que tanto en inventario contable como extracontable, hay 10 unidades(*ver tabla siguiente*):

Tabla 6-4 Ejemplo material en el almacén a retirar.

Material	Texto breve de material	Cantidad Inventario Contable	Valor € unitario en almacén	Valor € total en almacén	Cantidad Inventario Extracontable
2000061840	GRASA TERMICA IGBT'S (PAE.E.0011)	10	53,40 €	530,40 €	10

Se detecta al realizar la contabilización física, que 2 de los botes de grasa están deteriorados, y no están en condiciones óptimas, por lo que se decide desecharlos. Como se aprecia, se incurre en una pérdida económica en el almacén de 2 unidades

físicas a un valor unitario de 53.40€ que tendrán que ser justificados ante el Departamento de Contabilidad de la empresa.

Por otro lado, para los elementos averiados, el procedimiento de ENEL será el tratar de reparar en la medida de lo posible todos los materiales que sean susceptibles de reparación. Si las reparaciones son satisfactorias, siempre se obtendrá un beneficio económico en el costo que supone una reparación frente al costo de la compra de una unidad nueva del mismo elemento. Sin embargo, y debido a que no todas las reparaciones suelen ser satisfactorias, ENEL se ha impuesto un porcentaje de beneficio de la reparación frente a la compra de unidad nueva de un 25%, por debajo del cual, no procederá a reparar las unidades averiadas.

Por ejemplo, tras una avería de un aerogenerador en uno de los parques eólicos de ENEL, se instala una nueva unidad del material que se indica (ver tabla VI-5), y se desmonta una unidad averiada. Como se está ante material importante, se necesita reaprovisionar esa unidad consumida en el menor periodo posible de tiempo.

Tabla 6-5 Ejemplo material averiado.

Fecha Avería	Material	Texto breve de material
05.06.2017	2000064979	ACOPLAMIENTO KTR RADEX 165 6 50Hz 21kNm

Dicho material, con vistas a su reaprovisionamiento, se lanza a licitación doble a todos los proveedores. Por un lado, se solicita precio y plazo para la reparación de la unidad averiada, y por otro, se solicita precio y plazo para el suministro de una unidad nueva.

De todas las ofertas recibidas, se pueden ver a continuación la mejor para cada una de las dos licitaciones:

Tabla 6-6 Ejemplo de ofertas recibidas reparación/suministro nueva unidad

OFERTA	Material	Texto breve de material	Proveedor	Precio Unitario	Plazo entrega
Reparación	2000064979	ACOPLAMIENTO KTR RADEX 165 6 50Hz 21kNm	A	962,69 €	15 Días
Ud Nueva	2000064979	ACOPLAMIENTO KTR RADEX 165 6 50Hz 21kNm	B	2.767,30 €	10 Días

Ante ambas ofertas, se decide proceder a la reparación de la unidad, pues supone un ahorro frente a la compra de una unidad nueva del 34.79%.

De igual forma, entre el gestor y el personal de la instalación y almacén, se identificarán aquellos materiales que no deban estar presentes. Se trata de materiales que no cumplen con las necesidades de la instalación, o que aunque se habían considerado necesarios, y estén en condiciones de uso, no volverán a utilizarse en esa instalación. Estos materiales, al estar en óptimas condiciones, se retirarán del almacén, pero habrá que tomar una decisión sobre qué hacer con ellos. Las posibilidades de las que dispone la empresa son tales como la venta de los mismos, la reubicación en el almacén central, o en la situación ideal, reubicarlos en almacenes propios de otras instalaciones en los que sí sean de utilidad.

En ENEL, desde el Departamento de Logística se realiza un procedimiento y recomendaciones acerca de la organización del almacén, y ubicación de los materiales en el mismo. Realizar estos inventarios extracontables permite una revisión de estos procedimientos, pudiendo el personal de la instalación sugerir posibles cambios y mejora en la ubicación u organización de los materiales en el almacén.

6.4 Reubicación stock

Ese stock, que en el proceso de inventario se ha identificado como no necesario para el almacén, es susceptible de ser retirado, y la empresa, como política, debe decidir qué hacer con él. También se realizará lo mismo con los materiales que se determinan innecesarios por un bajo índice de rotación. Este índice de rotación, y su funcionamiento se verá más adelante.

6.4.1 Venta de elementos a terceros

Una de esas posibilidades es la de vender los elementos a un tercero. En todo el proceso de venta, habrá que tener en cuenta ciertas definiciones.

definiciones

Componente. Es todo aquel repuesto de aerogenerador, que puede ser objeto de venta a un tercero. Se clasifican en pequeño componente (valor estimado entre 0 y 10.000€), mediano componente (entre 10.001 y 100.000€) y grandes componentes (valor estimado superior a 100.001€).

Valor en libros. Es el precio que tienen los componentes en la contabilidad interna de la empresa. Habrá que diferenciar según el estado del componente, ya sea nuevo, reparado o averiado.

Valor en Open Contract. Es el precio que tienen los componentes en los acuerdos marcos firmados entre la empresa y los proveedores que le suministran dichos componentes.

Fee de negocio. El incremento de precio que tendrá el valor de un componente debido al margen de beneficio que quiere asumir la empresa en la venta del componente. Este porcentaje de beneficio dependerá de los costos de gestión de la venta, el beneficio, la necesidad del componente, etc.

Fee de garantía. Incremento de precio que tendrá el valor de un componente debido a la garantía que tendrá que dar la empresa por el componente en el momento de la venta. Este porcentaje dependerá de la duración de la garantía que tenga que asumir la empresa.

6.4.2 Reubicación en otros almacenes

La reubicación de stock en otros almacenes propios de la empresa es la situación ideal. Si hay materiales que, en el proceso de inventario, se identifican como no necesarios, habrá que comprobar si pudieran ser útiles para otras instalaciones propias. Puede que, para un parque eólico, de cierta tecnología, haya materiales que, aunque estén en su almacén, ya no sean útiles, y en cambio, si lo sean para parques propios de tecnología distinta. Y está sería la situación ideal.

Por un lado, se está optimizando el stock de un almacén, sacando de él un stock que no se utilizará y que no aporta ningún beneficio, y, por otro lado, se está optimizando el stock del almacén que recibe el material, pues se obtiene un stock útil, sin necesidad de

realizar una compra al proveedor correspondiente. El único inconveniente presente en esta opción es incurrir en unos gastos logísticos para mover el material de un almacén al otro.

Para tratar de entenderlo mejor, se verá un ejemplo de un movimiento real de ENEL durante el 2017. Durante el mantenimiento preventivo de una de las instalaciones de tecnología G8X se detecta un mal estado generalizado de varios tipos de fusible, y se planifica un trabajo de revisión y sustitución de los fusibles en mal estado. Se identifican dos tipos de fusibles afectados:

Tabla 6-7 Componentes afectados

Código SAP	Material
2000060783	FUSIBLE 800A
2000061164	Fusible BT G80 Estator BUSSMANN S4 2500A

Para su sustitución, y teniendo en cuenta que en la instalación hay 36 fusibles instalados de cada tipo, se aprovisiona el almacén correspondiente con un total de 36 unidades de cada tipo de fusible.

Una vez se realiza la revisión y sustitución de los fusibles afectados, finalmente se sustituyen únicamente 24 unidades de cada uno. Queda en el almacén un stock sobrante de 8 unidades de cada elemento.

A su vez, los mantenimientos preventivos en otra de las instalaciones de G8X advierten también del mal estado de los fusibles. La acción de ENEL es la de reubicar el stock sobrante de la primera instalación para reaprovisionar la segunda(*ver tabla VI-8*).

Así, se elimina el stock sobrante de una, y se evita tener que afrontar una nueva compra para la segunda. Esto supondrá una reducción de stock en el primer almacén de un valor de 1.679,04€, y una reducción de costos de igual valor en la segunda al no tener que realizar una compra de esas unidades.

Tabla 6-8 Reubicación de stocks entre almacenes

Planta Salida	Planta Entrada	Código SAP	Material	UDS	Valor UD	Valor TOTAL
Instalación 1	Instalación 2	2000060783	FUSIBLE 800A	8	53,12 €	424,96 €
Instalación 1	Instalación 2	2000061164	Fusible BT G80 Estator BUSSMANN S4 2500A	8	156,76 €	1.254,08 €

6.4.3 Reubicación en almacén central

La última posibilidad, y económicamente la menos ventajosa para la empresa es la reubicación de los materiales identificados como no útiles en un almacén, en su almacén central. En el almacén central se dispondrá de este material para posteriormente tomar una decisión respecto a qué hacer con él, o estudiar la posibilidad de que sea útil en otra de sus instalaciones.

En este caso, también, al igual que en el anterior, se incurre en unos gastos de logística para el traslado del material, pero, además, el material sigue dentro de la contabilidad de la empresa y sin generar ningún beneficio. Es por ello por lo que está será la última opción a realizar.

De nuevo, se tratará de explicar mediante un ejemplo.

En una de las instalaciones de tecnología G8X de ENEL, tras realizar un trabajo de retrofit, se detecta que en los últimos meses hay un descenso del consumo de interruptores automáticos que antes fallaban con asiduidad. Es por ello por lo que se decide, por parte del Gestor de Logística correspondiente, extraer del almacén parte del stock de estos elementos, para evitar el sobre stock.

Tras consultar el histórico de consumos y el stock actual en el resto de las instalaciones de ENEL, no se encuentra ninguna de ellas en la que pueda ser necesario el stock sobrante de interruptores.

Sin embargo, aunque no en ese momento, son elementos que irán haciendo falta a lo largo del tiempo, y, por tanto, se decide mantenerlos en posesión, y se trasladan al almacén central con vistas a cubrir necesidades cuando surjan. Ver tabla siguiente:

Tabla 6-9 Reubicación de stock en almacén central

Código SAP	Material	Stock actual	Stock (euro)	PRECIO UD	CANTIDAD SALIDA	SOCTK DEFINITIVO	REDUCCIÓN STOCK €	PARQUE DESTINO
2000061020	INT.AUT.E3S20 2000A 690V 75KA (FG008)V2	10	5.027,50 €	502,75 €	6	4	3.016,50 €	ALMACÉN CENTRAL
2000060963	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3P 630A	10	8.454,90 €	845,49 €	6	4	5.072,94 €	ALMACÉN CENTRAL

6.5 Índices de rotación

El índice de rotación indica el nivel del consumo de un elemento dividido entre el valor del stock medio del almacén. Ya se ha comentado que lo interesante es mantener un bajo índice de rotación del stock disponible, ya que es un signo de competitividad de la empresa.

6.5.1 Mejoras introducidas

Tras cada inventario extracontable, el gestor de logística realiza un estudio de los índices de rotación de los elementos presentes en el almacén, para identificar todos aquellos materiales con un bajo índice de rotación.

En una primera fase, se han considerado bajos índices de rotación todos aquellos que estén por debajo el 10% del índice de rotación medio de todos los materiales que la empresa posee. Estos materiales con índice de rotación inferior al medio se propondrán para extraerlos de los almacenes donde tienen dicho índice. Al igual que con los materiales del caso anterior, que debían reubicarse, se proponen 3 posibles soluciones, su venta, su reubicación en el almacén central, o su reubicación en instalaciones propias en las que sí se les dará uso.

El índice de rotación medio de todo el stock disponible de la empresa ENEL está en 2017 en torno al 2.14%, y por tanto todos aquellos materiales con un índice de rotación inferior al 0,214% se considerarán como susceptibles de salir de almacén.

En una primera fase, se estudia desde el Departamento de Logística de ENEL todos aquellos materiales que tienen un índice de rotación cero en cada instalación. Y dentro de esos materiales, se estudia cada caso en el que el stock en parque es elevado, ya sea en unidades o en valor económico.

De ese estudio, los materiales que no tengan justificada su presencia en el almacén correspondiente a pesar de sus valores de stock e índice de rotación se extraerán del almacén.

Por ejemplo, tras revisar el índice de rotación de una de las instalaciones, se aprecia que hay varios materiales con valor cero en dicho parámetro, y se estudia cada caso de forma individual.

En la tabla siguiente, se ve el ejemplo de los dos siguientes casos:

Tabla 6-10 Materiales con valor distintos de cero e índice de rotación cero

Código SAP	Material	Índice Rotación	Consumos 2017	Stock actual	PRECIO UD	Stock (euro)
2000060307	Aceite Shell Omala S4 WE 320 para red.	0	0	30	10,30 €	309,00 €
2000060411	TARJETA DE MEMORIA PCMCIA 32 MB	0	0	1	245,90 €	245,90 €

Y habrá que tomar una decisión respecto a cada uno de ellos.

Por un lado, el aceite no ha tenido consumos durante el último año, y sin embargo se tiene un stock de 30 litros. El gestor correspondiente, viendo estos datos, consulta con el personal de parque para conocer la causa de esta situación. Una vez conocida la causa, y es debido al cambio del tipo de aceite que se usa para las reductoras de los aerogeneradores, se llega a la conclusión de que no tiene sentido mantener dicho aceite en el almacén de la instalación.

El objetivo por tanto será consultar si ese tipo de aceite se consume en algún otro tipo de tecnología, y reubicarlo en dicha instalación, si no fuera así, se acopiará en el almacén central hasta que se decida su destino.

Por otro lado, se tiene la tarjeta de memoria. No hay consumos durante 2017 y se dispone de una unidad, por lo que también se tendrá que tomar una decisión respecto a su permanencia o no en almacén. El gestor correspondiente, conociendo el material y su importancia, decide mantenerlo en el almacén, pues una ruptura de stock de dicho elemento podría conllevar la indisponibilidad de la instalación y la consiguiente pérdida de producción.

Capítulo 7 APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL STOCK Y RESULTADOS

ENEL, como se ha comentado con anterioridad, es una empresa puntera del sector eólico, y cuenta con una gestión integral de forma interna de su stock a través del Departamento de Logística.

Es por eso, que se considera una buena opción para ver los resultados positivos que se obtienen con una correcta aplicación de las técnicas de optimización de stock, consiguiendo reducir costos, y aumentar beneficios.

Para poder realizar una valoración completa y objetiva, se lleva a cabo el estudio a lo largo del año 2017. Se estudiará la reducción de capital inmovilizado para optimizar el stock, así como se verán los movimientos de stock entre instalaciones con el fin de optimizar tanto el almacén de origen como el de destino.

Ya se ha visto la política de almacenes de ENEL, que consiste en tener un almacén en cada instalación eólica con stock para dicha instalación, y un almacén central. A cierre de 2017, el valor económico del stock disponible en el conjunto de los almacenes de ENEL era el siguiente:

Datos de la partida

Tabla 7-1 Valor económico del stock

UBICACIÓN	VALOR STOCK
Almacenes en instalaciones	13.053.981€
Almacenes centrales	3.036.783 €

Durante el año 2017, se han aplicado todas las técnicas disponibles, para que el valor económico del stock fuera menor que a cierre de 2016, pues tras realizar un análisis interno, se llega a la conclusión de que, en muchos casos, hay una situación de sobre stock, que conlleva unos elevados costos, difíciles de asumir.

El valor económico del stock durante el año 2017 ha conseguido reducirse en un 0,67%. Y no sólo se reduce el stock, sino que se consigue optimizar su ubicación, reubicando materiales con bajo índice de rotación, y evitando incurrir en costos adicionales de compra de materiales que ya están en posesión de ENEL.

7.1 Resultados económicos

Una vez visto el valor económico total del stock de ENEL, se pasa a estudiar la situación del stock para la tecnología Gamesa G8X.

A nivel global, para toda la tecnología G8X presente en ENEL, se han obtenido unos resultados positivos durante el año 2017, en cuanto a la gestión del stock existente. A partir de ahora, todo el estudio de stocks y económico se centrará únicamente en la tecnología G8X. Todas las instalaciones de esta tecnología de ENEL están en el istmo de Tehuantepec y San Luis Potosí.

La gestión del stock y su optimización no debe afectar negativamente a la disponibilidad de la planta. Para esta tecnología, tiene una disponibilidad en 2016 de 98.6%, se pasa en 2017 a un nivel de 98.8%.

Sin afectar a la productividad y eficiencia de sus instalaciones, que, de hecho, han sido superiores a los valores obtenidos durante 2016, para un valor económico total del stock de 4.198.110,05€ a principio de año, se consigue una reducción total del 5,22% del valor del stock disponible para G8X.

En los siguientes puntos, se hará un desglose de las acciones llevadas a cabo para obtener estos resultados, así como se compararán resultados obtenidos en instalaciones en las que la aplicación de las técnicas de gestión de stock se realiza de forma óptima.

7.2 Entradas y salidas del almacén

Un primer valor que estudiar será el más global de todos, el que afecta al valor del stock total de almacenes de G8X. En este caso, como se ha comentado, se tienen los siguientes resultados a cierre de 2016 y de 2017:

Tabla 7-2 Valor económico del stock de materiales de instalaciones G8X de ENEL.

Cierre de año	VALOR STOCK G8X
2016	4.198.110,05 €
2017	3.990.009,31 €

Es decir, económicamente se reduce el stock existente en los almacenes de G8X en un 5.22%, lo que supone una interesante reducción al tratarse de una reducción por valor de 208.100,74€. Pero para contextualizar esta reducción del valor del stock, se ve lo siguiente.

Si se hubieran reducido las compras, y a su vez los consumos de stock, este descenso del valor del stock existente sería el resultado lógico en un funcionamiento normal. Pero los resultados nos indican que no se reduce el valor de los consumos, al contrario, los consumos aumentan y las compras se reducen.

Ahí radica la importancia de la correcta gestión del stock. La instalación, a medida que va envejeciendo, va necesitando mayor número de recursos para mantener un óptimo funcionamiento. Y necesitar recursos, implica mayores costos, tanto en consumos como en compras de materiales. Por lo que una forma de tratar de reducir costos, es la optimización del stock disponible y necesario.

En la siguiente tabla se ven los valores de compras y consumos en € de los almacenes de G8X.

Tabla 7-3 Valor económico del stock de materiales de instalaciones G8X de ENEL.

Movimiento	Valor €
Compras en 2016	1.146.413,61 €
Compras en 2017	1.109.124,96 €
Consumos en 2016	1.030.931,76 €
Consumos en 2017	1.114.413,61 €

Como se aprecia, hay una reducción del 3.35% en el costo asociado a las compras de materiales, y a su vez, un aumento del 7.5% del valor económico de los consumos, y por tanto de las necesidades de las instalaciones.

Se ven varios casos particulares.

7.2.1 Compra de materiales

Se van a ver varios ejemplos concretos para poder dar contexto a la reducción de costos asociados a la compra de materiales, que como se ha visto, se reduce un 3.35% respecto al año anterior.

- Caso 1. Durante 2016 se tiene que hacer frente a la compra de una unidad de forma urgente debido a una avería en una instalación, para no incurrir en la indisponibilidad de una máquina. Esto hace que el gestor de logística correspondiente revise en el sistema el registro histórico de consumos, y compras de ese mismo material para la instalación correspondiente.

El histórico del material refleja que en 2015 también hubo que comprar una unidad en la misma época, y también de forma urgente, con los consiguientes costos que supone cualquier compra con máxima urgencia.

La primera acción del gestor es incluirlo en los materiales parametrizados en el sistema MRP, para que, durante 2017, y antes de llegar temporalmente a la época crítica, se incluya la compra de este material en alguno de los pedidos periódicos habituales.

La segunda acción que se realiza es incluir esta referencia en el Acuerdo Marco de tecnología GAMESA que se tiene con los proveedores. Sacar el material a licitación para incluirlo dentro del contrato marco existente supone también una reducción en el importe al que se comprará.

Finalmente, se puede conseguir un ahorro en compras respecto a años anteriores de prácticamente un 75%.

En la siguiente tabla puede verse el resumen de lo realizado:

Tabla 7-4 Caso 1 Ejemplo reducción costos en compra.

Año	Código SAP	Texto Breve Material	Evento	UDS	Precio Unitario	Proveedor	AM	Parámetros MRP		
								Stock Seguridad	Stock Máximo	Punto Pedido
2015	2000039016	SENSOR, VARILLA y CONTRAPESO	Compra Urgente	1	313,56 €	A	NO	-	-	-
2016	2000039016	SENSOR, VARILLA y CONTRAPESO	Compra Urgente	1	313,56 €	B	NO	-	-	-
2017	2000039016	SENSOR, VARILLA y CONTRAPESO	Compra	1	74,07 €	C	SÍ	1	1	1

Se añaden parámetros MRP tal y como se indica en la imagen, de forma que en cuanto se consuma una unidad, el sistema MRP alerte de la necesidad de reaprovisionar el almacén con una unidad.

- Caso 2. En la explicación sobre el proceso de compra de materiales, se comenta que ENEL en su procedimiento, una vez tiene el listado definitivo de necesidades de las instalaciones, hace una revisión del stock disponible en el almacén central o en otras instalaciones con el que podría cubrir las necesidades existentes.

Este es el caso que se ejemplifica ahora, en el pedido bimensual de marzo, el montante total de la compra de materiales para las necesidades suponía una inversión en materiales de 85.450,47€ si todos los materiales se compraran a proveedor.

Pero tras la revisión del stock disponible en el almacén central, hay ciertos materiales necesarios que están disponibles, y que pueden cubrir parte del pedido, lo que supondrá un importante ahorro en el presupuesto inicial del pedido.

Se ve en la tabla inferior (VII-5) el conjunto de materiales que se extrajeron del almacén central. En la tabla, están todos los datos, desde la instalación a la que se moverán los materiales, como los importes, plazos e importes de transporte en los que se habría incurrido en caso de realizarse la compra a los proveedores indicados contra los acuerdos marco firmados.

Como resumen de este caso, puede apreciarse que de los 85.450,47€ de los que iba a constar el pedido de materiales bimensual, se consigue cubrirse un total de 10.574,95€ con material ya en posesión de ENEL. Esto supondría una reducción del importe de compras de un 12,37% para este caso.

Tabla 7-5 Caso 2 Ejemplo reducción costos en compra.

PARQUE DESTINO	CÓD. SAP	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	UDS	Precio ud	Proveedor	Importe total	Plazo	Transporte
INST. 1	2000060352	50013	CONTACTO AUXILIAR INSTANTANEO 1NC	40	1,04 €	A	41,60 €	10	2,08 €
INST. 2	2000060381	50233	VALVULA ANTIRRETORNO ANTICAVITACION	2	36,47 €	A	72,94 €	10	3,65 €
INST. 1	2000064947	50296	PORTA ESCOBILLAS DE FASE - DOBLE(INNDAR)	5	155,00 €	B	775,00 €	10	31,00 €
INST. 1	2000060389	50297	ESCOBILLA DE FASE BLANCA V047 40X20X42	107	18,91 €	C	2.023,37 €	10	101,17 €
INST. 3	2000060389	50297	ESCOBILLA DE FASE BLANCA V047 40X20X42	64	18,91 €	C	1.210,24 €	10	60,51 €
INST. 1	2000139213	50301	PITON DE ACOPLAMIENTO IND.G.0105	2	745,16 €	C	1.490,32 €	70	74,52 €
INST. 4	2000060401	50601	FILTRO ELECTROVENTILADOR FILTRAIRE P15-3	1	1,24 €	C	1,24 €	40	0,06 €
INST. 1	2000060411	50733	TARJETA DE MEMORIA PCMCIA 32 MB	1	187,51 €	C	187,51 €	20	9,38 €
INST. 4	2000060412	50738	VENTILADOR 230V 80W 544CFM	3	64,35 €	C	193,05 €	30	9,65 €
INST. 2	2000087644	105188	Fuelles de cilindros de pala	10	166,71 €	C	1.667,10 €	25	83,36 €
INST. 5	2000094984	883243	V80 NOSE REPAIR KIT	4	634,93 €	D	2.539,72 €	30	380,96 €
INST. 5	2000065642	7900145	DETEC. M30 PNP NA ENR 15 CM12 (-25...+75°C)IM30-15BPS-ZC1	2	51,75 €	E	103,50 €	15	15,00 €
INST. 4	2000060513	C393051	CABLE WA181B G80-DFM 50Hz-60Hz-RCC 50Hz-	1	9,68 €	A	9,68 €	15	0,48 €
INST. 2	2000060517	C393062	Cable WS220B G80-DFM 50Hz-60Hz-RCC 50Hz-	2	11,15 €	B	22,30 €	15	1,12 €
INST. 2	2000105767	C393066	CABLE WS240A G8X	2	10,69 €	B	21,38 €	20	1,07 €
INST. 2	2000105768	C393067	CABLE WS240B G8X	2	11,25 €	B	22,50 €	20	1,13 €
INST. 2	2000105769	C393068	CABLE WS240C G8X	2	13,30 €	B	26,60 €	20	1,33 €
INST. 2	2000105770	C393069	CABLE WS241A G8X	2	10,68 €	C	21,36 €	20	1,07 €
INST. 4	2000115276	C393086	CABLE WS251C G80	2	41,97 €	D	83,94 €	25	4,20 €
INST. 1	2000070822	CAX0089	CONTACTO AUXILIAR CA5 10 1NO	40	1,54 €	E	61,60 €	10	3,08 €

7.2.2 Sistema. MRP

La optimización de los parámetros del sistema MRP tiene que ser una prioridad. Cualquier material que se incluye en el proceso MRP supone una menor necesidad de gestionar manualmente sus necesidades y pedidos. Por ejemplo, se ve un caso particular. En los trabajos de mantenimiento preventivo, se decide realizar una sustitución de fusibles de forma anual. Como hasta ahora no se realizaba, son materiales no parametrizados.

Entre el gestor de logística correspondiente, y el personal de la instalación se ajustan los que serán los parámetros necesarios para incluirlo en el sistema MRP, para que su compra sea de forma periódica y siempre haya unidades disponibles para acometer los trabajos.

En este caso, se realiza un cálculo de las necesidades que supondrán un 75% total de las necesidades anuales de fusibles en las 3 instalaciones, y en base a ello, se parametriza el material en esas instalaciones (ver tabla siguiente).

Tabla 7-6 Ejemplo de inclusión material en sistema MRP

SAP	DESCRIPCIÓN	UDS	CENTRO	COMENTARIOS	MODIFICACIÓN MRP		
					Stock Máximo	Stock Mínimo	Punto Pedido
2000095804	Condensador 83,6 µF 400V	110	Inst. 1	75% Necesidad Preventivos	110	25	55
2000095804	Condensador 83,6 µF 400V	150	Inst. 2	75% Necesidad Preventivos	150	50	75
2000095804	Condensador 83,6 µF 400V	55	Inst. 3	75% Necesidad Preventivos	55	20	25

La situación de ENEL es que, durante 2017, de todos los pedidos de materiales realizados a proveedores un 73,54% de los materiales están incluidos y parametrizados en el sistema MRP. Es decir, prácticamente, 3 de cada 4 materiales se piden en base a los cálculos del sistema MRP.

El objetivo tiene que ser tratar de tener el mayor número de materiales necesarios incluidos en el sistema MRP, y para ello se trabaja. Sin embargo, es evidente que a medida que las instalaciones envejecen, más elementos llegan al final de su vida útil, o fallan sin poder predecir la posibilidad de fallo, lo que complica aumentar el porcentaje de materiales incluidos en el MRP.

7.3 Reubicación de Stock

Dentro de todas las posibilidades de reubicación de stock, se vieron las 3 principales. Puede utilizarse el stock no necesario para su venta a terceros, con el consiguiente beneficio económico, puede reubicarse en otras instalaciones, o puede reubicarse en el almacén central.

7.3.1 Venta a terceros

La venta a terceros se realiza cuando se tiene un sobre stock que no se va a utilizar más, o cuando se presenta una oportunidad de mercado que supondrá un beneficio sensible y no se incurrirá en ningún riesgo para el nivel de stock de las instalaciones.

Durante 2017, materiales de los almacenes de las instalaciones de G8X han supuesto un montante económico de venta de 254.741,17€. De ese montante, se ha obtenido un beneficio neto de 15.552,09€. Cabe recordar que ese beneficio de la venta es la diferencia entre el importe de la venta de las unidades, y el valor económico que tiene

el material en el almacén propio. Ese valor que tiene el material en el almacén propio, como se comentó con anterioridad, será en la mayoría de los casos el mayor valor de los siguientes tres: valor de libros, valor de mercado y valor de Open Contracta.

En estos resultados, el beneficio económico neto puede parecer muy escaso frente al montante total del importe de venta de materiales a terceros, pero es porque durante 2017 se ha producido un caso especial que altera todos estos números y desvirtualiza un poco los resultados.

7.3.2 Reubicación en otros almacenes

El movimiento de materiales entre dos almacenes de G8X puede atender a dos situaciones.

Por un lado, ante una urgencia de un material en una instalación, y la disponibilidad de este en otra, se mueve el material para cubrir la urgencia y al mismo tiempo se lanza un pedido de reaprovisionamiento en la instalación de la que se extrae. Este movimiento del material se realiza porque el proveedor proporciona un plazo de entrega superior al que se puede tener únicamente gestionando el transporte del material de una instalación a otra.

En esta posibilidad no hay beneficio económico de ningún tipo, pues el consumo de una unidad supone la compra de una unidad nueva al proveedor. Pero la ventaja es que se reduce el tiempo en el que se está en situación de emergencia (maquina parada).

Por otro lado, la segunda situación se da cuando en un momento dado, por ejemplo, al realizar el recuento del inventario extracontable, se detecta la existencia de materiales que no van a ser necesarios, y se estudia la necesidad de estos en otras instalaciones de la misma tecnología. O de igual forma, si a la hora de acometer un pedido de materiales, se ve que hay una situación de sobre stock de alguno de ellos en otra instalación, se propone su traslado para así no tener que realizar el pedido correspondiente de esas unidades.

Como se comentaba con anterioridad, esta situación es la ideal, pues el stock que en un sitio se encuentra en estado de sobre stock, se aprovecha para reaprovisionar otro de los almacenes sin tener que incurrir en una compra de suministro.

7.3.3 Reubicación en el almacén central

El material que normalmente se reubica en el almacén central es material sobrante de los almacenes, que no se va a necesitar a corto/medio plazo, pero que es material útil para la empresa, y no interesa desprenderse de él.

El valor total del stock que se reubica a lo largo de 2017 en el almacén central es de 143.100,75€. Ese valor económico sigue estando en posesión de la empresa, y aunque en el almacén central estará inmovilizado, siempre estará disponible para cualquier necesidad.

Un ejemplo claro de esta reubicación se ve en la siguiente tabla.

Tabla 7-7 Reubicación en almacén central

CÓDIGO SAP	REFERENCIA TECNÓLOGO	DESCRIPCIÓN	Uds	Importe Unitario	Importe Total	Proveedor
2000095905	GP009589	HEXAGON HEAD SCREW ISO 4017-M33x110-10.9	9	26,46 €	238,14 €	Instalación 1
2000118082	GP250173	Tornillo M24. Torn freno pasivo(mordaza)	50	3,66 €	183,00 €	Instalación 1
2000060923	GP022011	PERNO M30X560-10.9-DAC 500B CAJA RED	8	14,19 €	113,52 €	Instalación 1
2000118081	GP250172	Tuerca M24. Tuerfa freno pasivo(mordaza)	50	1,60 €	80,00 €	Instalación 1
2000060326	154330	TUERCA ISO 4032 M30 10 DACROMET 500B	17	2,00 €	34,00 €	Instalación 1
2000060584	GP002536	ARANDELA ISO 7416-M30-45HRC-DACROMET 500B	21	0,59 €	12,39 €	Instalación 1

Este caso en concreto se trata de un kit de tornillería destinado a un trabajo de gran correctivo en una de las instalaciones. Desde logística se realiza la compra de la tornillería necesaria para hacer la sustitución de un gran componente, y el trabajo, al tratarse de un gran correctivo planificado, lo realizará una empresa externa. Esta empresa externa, finalmente, incluye en su oferta la tornillería, y no hace falta consumir la comprada de forma interna.

7.4 Índice de rotación

El índice de rotación interesa ser lo más alto posible. Eso indicaría que el material entra y sale del almacén con elevada frecuencia, lo que supondría un bajo nivel de sobre stock en todo momento.

Como se ha comentado con anterioridad, desde el departamento de logística se hace una revisión de los índices de rotación de los materiales de cada almacén de forma periódica, normalmente a la finalización de los procesos de contabilización de los inventarios extracontables.

El primer paso fue revisar los índices de rotación cero, y con nivel de stock distinto de cero. Una vez analizados esos materiales, y prácticamente tomando una decisión individual para cada material, se reubica el material que así se considera.

En esta primera fase de análisis, a principio de año, hay 4140 referencias con estos dos valores, índice de rotación cero, y stock distinto de cero en todo el conjunto de almacenes de G8X. Se estudian en ese caso los consumos durante los dos últimos años de estas referencias para poder tomar una decisión sobre ellas.

De esa primera fase, y con un valor de stock de 652.456, 17€, se decide reubicar como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7-8 Fase 1 Estudio índice de rotación

FASE	STOCK INICIAL	Mantener en Almacén	Reubicar en otro almacén	Reubicar en Almacén Central
1	652.456,17 €	310.555,02 €	20.215,50 €	321.685,65 €
		47,60%	3,10%	49,30%

Se ha reubicado en otros almacenes un 3.10% del valor del stock, un 49.30% se mueve al almacén central, y una vez allí, se verá qué materiales se mantendrán en él y cuáles serán susceptibles de venderse a terceros, pues este material reubicado es aquel que tiene muy bajo o nulo consumo en los últimos dos años. Finalmente, un 47.6% se mantiene en los almacenes en los que estaba. Este material que se queda en el almacén suele ser material estratégico, con muy bajo nivel de stock, pero con una importancia capital para el correcto funcionamiento de la instalación.

Una vez superada esta primera fase, vendrá una segunda a mitad de año cuando se realiza el inventario extracontable.

En esta segunda fase, se vuelve a revisar los índices de rotación de los materiales con stock en los almacenes, pero ahora el análisis se amplía. Como decisión de empresa, se analiza y se estudia todos aquellos materiales que tienen un índice de rotación por debajo del 10% del índice de rotación medio del conjunto de los materiales de ENEL. Como este índice de rotación medio está en 2017 en torno al 2.14%, todos aquellos con índice de rotación inferior al 0,214% se someterán a estudio.

En este caso, también se analizan los materiales que ahora presentan índice de rotación por encima de 0 y por debajo de 0.0214. El valor de stock que entra dentro de lo analizado asciende a 212.979,88€. De este stock, para este análisis si puede haber consumos en el último año, y por tanto pueden hacerse extracciones parciales del stock para no dejar el almacén desprovisto.

El resultado de esta segunda fase se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7-9 Fase 2 Estudio índice de rotación

FASE	STOCK INICIAL	Mantener en Almacén	Reubicar en otro almacén	Reubicar en Almacén Central
2	212.979,88 €	88.554,82 €	6.434,50 €	117.990,56 €
		41,58%	3,02%	55,40%

Una vez finalizada esta fase, este proceso de análisis y estudio se repetirá de forma periódica cada vez que se realice un inventario extracontable.

CONCLUSION

Para tener una disponibilidad alta no solo es necesario un buen mantenimiento, sino que también tener el stock necesario. Al unir estos dos elementos estamos realizando una buena planificación y podemos estar preparados para reducir al máximo los tiempos de parada.

Se han revisado y analizado las principales técnicas utilizadas por la empresa ENEL para la optimización de su stock en las instalaciones eólicas de tecnología Gamesa G8X. Se han mostrado casos particulares de como en cada caso se gestiona de forma diferente y se realizan las acciones oportunas para situar a la empresa en una situación óptima de stock en todo momento.

En casos significativos, como el estudio del índice de rotación, sobre los materiales analizados con bajo índice de rotación, se consigue reducir dicho stock en un 52,40% en una primera fase, y en un 58,42% en una segunda fase de análisis. Esto permite mantener los almacenes con el stock realmente imprescindible para la instalación eólica.

Cabe recordar que el objetivo principal de la gestión del stock en instalaciones eólicas es mantener los almacenes en un nivel óptimo de forma que se alcance un equilibrio entre lo financiero y la funcionalidad(disponibilidad),

De ahí la importancia de otra de las técnicas de optimización de stock, la reubicación de materiales desde un almacén a otro de la mínima compañía. Los aerogeneradores envejecen, y a pesar de ello, el objetivo primordial de ENEL es mejorar la eficiencia de las máquinas. Ahora mismo, esa eficiencia se sitúa en un 98,7%. Es decir, de toda la potencia instalada en energía eólica que tiene ENEL, se produce energía con una eficiencia en conjunto de 98,7%.

Este valor de disponibilidad tan alto es complicado de mejorar, más aún si se considera que las instalaciones van envejeciendo, y con ello, van requiriendo mayor mantenimiento, y, por tanto, mayor consumo de materiales. El consumo de materiales aumentó durante el 2017 un 7,5% respecto al del año anterior.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Carta González, J.A. Calero Pérez, R. Colmenar Santos, A. Castro Gil, M.A. Centrales de energías renovables. Ed. Pearson Educación, Madrid, (2009),
- [2] Talayero Navales, A. P. Telmo Martínez E. Energía Eólica. Colección de Textos Docentes, no 140. Serie Energías Renovables, (2008).
- [3] Arqués Patón, José Luis. Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario. Ed. Díaz de Santos, (2009).
- [4] Keith Mobley, R. Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill, (2008).
- [5] Wireman, Terry. Preventive Maintenance. Ed. New York. Industrial Press, (2008).
- [6] Manzini, R. Regather, A. Pham, H. Ferrar, E. Maintenance for Industrial Systems. Springer, (2010).
- [7] Creus Solé, Antonio. Aerogeneradores. 1 ed. Cano Pina. (2008)
- [8] González Fernández, F. J. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Ed. Fundación Confemetal, Madrid, (2005)
- [9] Crespo Márquez, Adolfo; Moreu de León, Pedro; Sánchez Herguedas, Antonio Jesús. Ingeniería de mantenimiento: técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos. Ediciones AENOR, Madrid, (2004).
- [10] García Garrido, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Ed. Díaz de Santos, (2003).
- [11] Rodríguez Amenedo, J.L. Burgos Díaz, J.C. Arnalte Gómez, S. Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eólica. Ed. Rueda, Madrid, (2003).
- [12] Rey Sacristán, Francisco. Mantenimiento Total de la Producción (TPM). Proceso de Implantación y Desarrollo. Ed. Fundación Confemetal, Madrid, (2001).
- [13] Boucly, Françis. Gestión del mantenimiento. AENOR, Madrid, (1999),
- [14] Gómez de Leon, Félix Cesáreo. Tecnología del mantenimiento industrial. Universidad de Murcia, (1998).
- [15] Knezevic, Jezdimir. Mantenibilidad. ISDEFE, Madrid (1996)
- [16] Blanchard S., Benjamin. Ingeniería Logística. ISDEFE, Madrid, (1995).
- [17] Souris, jean-Paul. El mantenimiento, fuente de beneficios. Ed. Diaz de Santos(1992).

- [18] Monchy, F. Teoría y Práctica del mantenimiento industrial. Ed. Masson, Barcelona,(1990).
- [19] Takes, Frank. Applying Monte Carlo Techniques to the Capacitated Vehicle Routing Problem. Leiden University, Netherlands, (2010).
- [20] Fernández de Cordoba, P., García Raffi, L.M., Mayado, A., Sanchis, J.M. A Real Delivery Problem dealt with Monte Carlo Techniques. Sociedad de Estadística e Investigación operativa. TOP, Vol. 8, pp. 57-71, (2000).
- [21] Buxey, G.M. The vehicle Scheduling Problem and Monte Carlo Simulation. Journal of the Operational Research Society Vol.30, pp.563-573, (1997).
- [22] Clarke, G. and Wright, J.W. Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points. Operations Research, Vol. 12, pp.568-581, (1964).
- [23] Implantación de un Sistema de Mantenimiento Preventivo. Barcelona, 18 y 19 de febrero de 2009. Seminario AEM – Aula de formación.
- [24] Cortés Izquierdo, A. Mateo Sanz, A. Mantenimiento de un parque eólico. Ingeniería y gestión del mantenimiento, (2007).
- [25] Cortés Izquierdo, A. El mantenimiento en las instalaciones energéticas. Revista Energía, Madrid, (2003).