

MODELO DE ANALISIS PARA INVENTARIO DE REPUESTOS BASADO EN RCS
PARA LA PLANTA DE PRODUCCION DE PROALCO-BEKAERT

ARTURO OSPINA AMEZQUITA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2016

MODELO DE ANALISIS PARA INVENTARIO DE REPUESTOS BASADO EN RCS
PARA LA PLANTA DE PRODUCCION DE PROALCO-BEKAERT

ARTURO OSPINA AMEZQUITA

Monografía de Grado para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: DIEGO FERNANDO ABRIL GUTIERREZ
Ingeniero Industrial
Especialista en Logística y Comercio Nacional e Internacional

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2016

“El secreto del éxito es sobreponerse a la Inercia, es activarse. Siente muy dentro de ti ese deseo ardiente que te hace correr. Nada va a suceder hasta que no lo hagas”

Henry Lankast

AGRADECIMIENTOS

El mayor agradecimiento a Dios, señor y dador de la vida que me puso en este momento y lugar, a Claudia mi esposa y mis hijos Laura, Nicolás y Camilo por apoyarme y cederme mucho del tiempo que es de ellos durante la especialización, a mi mamá porque me ha permitido aprender a conseguir las metas a través del esfuerzo y la dedicación. A Proalco Bekaert por permitirme realizar la especialización y analizar sus procesos para asumir retos desafiantes en la estrategia de mantenimiento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1 EL PROCESO GENERAL EN UNA PLANTA DE ALAMBRES DE ACERO	21
1.1 PRINCIPALES PROCESOS EN LA PRODUCCION DE ALAMBRE	26
1.1.1 Básicos	26
1.1.1.1 Trefilado	27
1.1.1.2 Galvanizado en caliente	28
1.1.2 Terminados	32
1.1.2.1 Alambre de Púas	34
1.1.2.2 Mallas y cerramientos	34
1.1.2.3 Puntillas	36
1.1.2.4 Malla Gavión	38
1.2 MANTENIMIENTO EN PROALCO BEKAERT	40
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	47
2.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO	47
2.2 INVENTARIO DE REPUESTOS	47
2.3 REAPROVISIONAMIENTO DE REPUESTOS	49
2.4 PROCEDIMIENTOS DEL ALMACEN EN PROALCO BEKAERT	51
2.5 GESTION DE MANTENIMIENTO	61
2.5.1 Disponibilidad de equipos en Proalco Bekaert	61
2.5.2 Tiempos perdidos por mantenimiento	64
3 OBJETIVOS	67
3.1 OBJETIVO GENERAL	67
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	67

4	JUSTIFICACION	68
5	MARCO CONCEPTUAL	72
5.1	MANTENIMIENTO	72
5.2	CONFIABILIDAD	72
5.3	DISPONIBILIDAD	72
5.4	MANTENIBILIDAD	73
5.5	PARADA NO PROGRAMADA	73
5.6	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	73
5.7	MANTENIMIENTO PLANIFICADO	73
5.8	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	73
5.9	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	73
5.10	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	74
5.11	ALMACÉN	74
5.12	FECHA DE VENCIMIENTO	74
5.13	INVENTARIO	74
5.14	MIVEL MÍNIMO DE INVENTARIO	75
5.15	ORDEN DE COMPRA	75
5.16	REQUISICIÓN	75
5.17	RCM – MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	75
5.17.1	Grupo de revisión de RCM	77
5.17.2	Filosofía del RCM	79
5.18	PLANES DE MANTENIMIENTO	81
5.19	ADMINISTRACION DE INVENTARIOS	84
5.19.1	Tipos de repuesto	84
5.19.2	Aspectos a tener en cuenta en la selección de un repuesto	86
5.19.3	Proceso a seguir para la elaboración del listado de repuestos	87
5.19.4	Piezas de repuesto habituales	88
5.19.5	Optimización del almacén de repuestos	88

6 IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL INVENTARIO DE REPUESTOS BASADO EN RCS Y RCM	90
6.1 ¿CUÁL ES EL IMPACTO EN LOS ALMACENES DE REPUESTOS?	91
6.2 EL MUNDO DE LOS REPUESTOS INDUSTRIALES	92
6.3 EL CAMINO A SEGUIR	93
6.3.1 ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del activo físico?	93
6.3.2 ¿Qué pasa si el activo no está disponible cuando es requerido?	94
6.3.3 ¿Cuál debe ser el objetivo en la política de repuestos?	95
6.3.4 ¿Cuál es la política de inventarios que permite cumplir con ese objetivo a mínimo costo?	97
6.4 IMPLEMENTACION DEL PROCESO	97
6.5 RCS - REPUESTO BASADOS EN CONFIABILIDAD	97
7 METODOLOGÍAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM Y RCS	99
7.1 RCM	104
7.1.1 PREPARACIÓN DEL ESTUDIO	105
7.1.2 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	106
7.1.3 TAXONOMÍA DE LA PLANTA, SELECCIÓN DE OBJETOS PARA ESTUDIO	106
7.1.4 DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFASES	109
7.1.5 DEFINICIÓN DE FUNCIONES	109
7.1.6 ANÁLISIS DE LAS FALLAS FUNCIONALES	112
7.1.7 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA	114
7.1.8 ANÁLISIS DE EFECTOS Y CRITICIDAD	117
7.1.9 SELECCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	119
7.1.10 DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA	123
7.1.11 RECURSOS	125
7.1.12 IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN VIVO	126
7.2 RCS	130
7.2.1 ¿POR QUÉ APLICAR RCS?	131
7.2.2 OPTIMIZACION DE LA LOCALIZACION DEL INVENTARIO	133

7.2.3 EVALUACION DE SUBCONTRATISTAS	135
8 RESULTADOS ESPERADOS CON EL MODELO DE ANALISIS DE INVENTARIOS	137
9 CONCLUSIONES	141
10 RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFIA	144

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valor Histórico y proyección de provisiones del almacén general	66
Tabla 2. Plan para modelo propuesto de análisis de inventarios	136
Tabla 3. Cronograma para modelo propuesto de análisis de inventarios	137

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Bekaert en el Mundo	17
Figura 2. Recepción de alambrón	18
Figura 3. Calamina y óxido superficial del Alambrón	19
Figura 4. Flujo de proceso Alambrón	20
Figura 5. Flujo de proceso Alambre (1)	20
Figura 6. Flujo de proceso Alambre (2)	21
Figura 7. Flujo de proceso Alambre (3)	22
Figura 8. Almacenamiento de Alambrón	23
Figura 9. Principio de Trefilación	24
Figura 10. Devanado de Alambrón	25
Figura 11. Trefiladora	25
Figura 12. Bobina de Trefiladora	25
Figura 13. Enrollado de Alambre	25
Figura 14. Devanado del alambre	26
Figura 15. Enjuague 1	26
Figura 16. Tinas de plomo	27
Figura 17. Enjuague 2	27
Figura 18. Decapado químico	27
Figura 19. Enjuague 3	27

Figura 20. Tina de cinc	27
Figura 21. Hebras tina de cinc	27
Figura 22. Enrollado	28
Figura 23. Árbol de equipos área de Básicos	29
Figura 24. Productos sector agropecuario	30
Figura 25. Devanado	31
Figura 26. Conformación de púa	31
Figura 27. Conformado del rollo	31
Figura 28. Etiquetado	31
Figura 29. Sector construcción	32
Figura 30. Devanado	34
Figura 31. Picado	34
Figura 32. Recolección	34
Figura 33. Brillado	34
Figura 34. Sector manufactura	35
Figura 35. Árbol de equipos área de terminados	36
Figura 36. Flujo de solicitudes de órdenes de Mantenimiento	37
Figura 37. Lápiz medidor de vibración	39
Figura 38. Organigrama de Mantenimiento	40
Figura 39. Bloques de Mantenimiento Bekaert	41
Figura 40. Resultados auditoría de mantenimiento 2014	42
Figura 41. Histórico saldos de inventario Almacén General	46

Figura 42. Almacén general	47
Figura 43. Almacenamiento de soldadura	47
Figura 44. Almacenamiento de retenedores	48
Figura 45. Almacenamiento de rodamientos	48
Figura 46. Proceso de reaprovisionamiento Proalco Bekaert	52
Figura 47. Transacción MD15 paso 1	52
Figura 48. Transacción MD15 paso 2	53
Figura 49. Transacción MD15 paso 3	54
Figura 50. Transacción MD15 paso 4	55
Figura 51. Transacción MD15 paso 5	55
Figura 52. Transacción MD15 paso 6	56
Figura 53. Transacción MD15 paso 7	56
Figura 54. Transacción MD15 paso 8	57
Figura 55. Transacción MD15 paso 9	57
Figura 56. Transacción MD15 paso 10	58
Figura 57. Calculo de MTB y MTTR	59
Figura 58. Ciclo de vida de una orden de Mantenimiento	61
Figura 59. Paradas de Mantenimiento por clase	62
Figura 60. Distribución de paradas por proceso productivo	62
Figura 61. Paradas mecánicas	63
Figura 62. Paradas eléctricas	64
Figura 63. Provisión histórica almacén general	66

Figura 64. Grupo de trabajo típico para la revisión de RCM	74
Figura 65. Lucro cesante vs. Costo de inventario	98
Figura 66. Diferencia entre Mantenimiento tradicional y RCM	101
Figura 67. Pasos del Proyecto RCM	102
Figura 68. Diagrama jerárquico de equipos	105
Figura 69. Modelo Básico de una matriz de valoración de riesgos	116
Figura 70. Relación entre tipos de actividades de mantenimiento y orígenes de mantenimiento	116
Figura 71. Curva P-F	121
Figura 72. Integración de RCM y RCS	129
Figura 73. Matriz de contratación de servicios de mantenimiento	132

RESUMEN

TITULO:

MODELO DE ANALISIS PARA INVENTARIO DE REPUESTOS BASADOS EN RCS PARA LA PLANTA DE PRODUCCION DE PROALCO BEKAERT*

AUTOR

ARTURO OSPINA AMEZQUITA

PALABRAS CLAVE

INVENTARIO DE REPUESTOS, REPUESTOS CENTRADOS EN CONFIABILIDAD, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

CONTENIDO

Esta monografía trata de mostrar la gran oportunidad que existe en administrar los inventarios de repuestos de la empresa Proalco Bekaert, a través de herramientas de confiabilidad como son el RCS (Repuestos basados en confiabilidad) y RCM (Mantenimiento basado en confiabilidad). Se han tomado datos reales de la situación actual de los resultados de mantenimiento y los costos de los inventarios con el fin de justificar una inversión en capacitación para implementar una estrategia que permita disminuir los niveles de inventario del almacén.

La tendencia de los inventarios de repuestos es a la baja, mientras que en Proalco se puede observar una tendencia en sentido contrario que afecta el flujo de capital. Durante el desarrollo de la monografía se pudieron encontrar otros factores que afectan el estado de los repuestos e insumos de mantenimiento que se encuentran en el almacén. Muchos de ellos se encuentran mal almacenados y se encuentran inservibles, lo que genera la necesidad de implementar una campaña de selección de repuestos de manera inmediata, así como el de identificar claramente que es lo que se necesita realmente para operar con la mayor disponibilidad posible.

Esta es una muestra del poder que tienen las técnicas de confiabilidad sin importar la edad de las maquinas o la tecnología de las empresas en general, para la administración de los recursos disponibles generando valor en cada proceso.

Esta monografía pretende ilustrar y ser una guía para que se pueda tener una base de consulta en la implementación del modelo.

Monografía de Grado

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Director: Diego Fernando Abril

ABSTRACT

TITLE:

ANALYSIS MODEL OF SPARE PARTS INVENTORY BASED IN RCS FOR THE PLANT OF PROALCO BEKAERT*

AUTHOR

ARTURO OSPINA AMEZQUITA

KEYWORDS

INVENTORY OF SPARE PARTS, SPARE FOCUSED ON RELIABILITY, RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE

CONTENT

This paper tries to show the great opportunity that exists to manage parts inventories Proalco Bekaert, through reliability tools such as RCS (Parts based on reliability) and RCM (Reliability-Based Maintenance). Actual data have been taken from the current situation of the results of maintenance and inventory costs in order to justify an investment in training to implement a strategy to reduce warehouse inventory levels.

The trend of inventories of spare parts is downward, while in Proalco you can see a trend in the opposite direction that affects the flow of capital. During the development of the monograph they could find other factors that affect the state of maintenance parts and supplies that are in the store. Many of them are poorly stored and are useless, creating the need to implement a campaign selection of spare parts immediately, as well as the clearly what is really needed to operate with the highest possible availability identified.

This is a sign of the power of technical reliability regardless of the age of machines or technology companies in general, for the management of available resources generating value in each process.

This monograph is intended to illustrate and be a guide so you can have a basis for consultation in the implementation of the model

INTRODUCCION

Para comprender la ascendencia y el contexto de Proalco Bekaert, es necesario conocer la historia de sus actuales dueños: Bekaert e Ideal Alambrec.

La historia de Bekaert comenzó en Zwevegem, un pequeño pueblo rural de Bélgica, donde los campesinos se enfrentaban al eterno problema de que su ganado tuviera la mala costumbre de pasearse fuera de los límites de sus campos, dañando así la propiedad de sus vecinos. Leo Leander Bekaert convirtió esta necesidad en una oportunidad de negocio: abrió una pequeña empresa de alambre de púas, agregando clavos al alambre retorcido. Leo Leander Bekaert no inventó el alambre de púas pero pronto comenzó a diseñar sus propias púas: “coronas” en forma de estrella con seis puntas afiladas que se pueden entrelazar en el alambre. En 1881 patentó este invento y, muy poco tiempo después, contrató a casi todo el pueblo para trabajar desde sus casas fabricando las “coronas” para poder continuar produciendo a toda velocidad³.

La historia de Ideal Alambrec se inicia en 1940 en Ambato (Ecuador), donde parte de la familia Kohn, con un pequeño capital y mucho trabajo establece Ideal Industria de Alambre, dedicada a fabricar telas metálicas. Con una producción cada vez más grande, una justa rentabilidad y permanentes reinversiones, se fueron incorporando nuevas tecnologías y productos y es así como en 1947 se empieza a producir alambre de púas, trasladando su planta a Quito. En 1956 se adquiere la antigua Fábrica Nacional de Clavos S.A. en Guayaquil, ampliando la gama de productos.

En los años 70 se comienza a producir alambres de todo tipo y productos derivados del mismo con el aporte del conocido Grupo BEKAERT de Bélgica, líderes en la producción mundial de alambres y sus derivados.

³<http://www.bekaert.com/es-MX/nuestra-empresa/historia-1>

En 1974 se inauguró la planta industrial Alambrec y en 1983 se fusionan las dos empresas conformando lo que hoy es Ideal Alambrec.

A partir de 1991 la empresa se expande con la adquisición de la Fábrica de Clavos Guayas, Alalit y Multiacero y se hacen inversiones en compañías del exterior como Prodac en Perú y Proalco en Colombia⁴.

Proalco la fundó la familia Mejía Aristizábal en 1980 con el nombre de Trefilados de Caldas, hasta que en 1995 se fusionó con Bekaert - Ideal Alambrec para modernizarse, adquirir tecnología de punta y ampliar su gama de productos. Desde entonces, cambió su razón social por la actual. La empresa, que ya cuenta con plantas en la Tebaida (Quindío) y Bogotá, produce puntillas, varillas, malla electro-soldada y alambres brillantes, especiales, galvanizados y de púas inoxidable, que reemplazó buena parte de la importación de este producto⁵.

El 28 de Diciembre de 1997 la empresa Siderúrgica del Muña vende terrenos y equipos a Proalco bajo el nombre de “Trefilados de Caldas”, ubicados en el municipio de Sibaté Cundinamarca donde se encuentra actualmente.

Proalco Bekaert, es una empresa dedicada a la producción de alambre de Acero con una amplia gama de productos que satisfacen las necesidades los consumidores en el área agrícola, industrial y minera a nivel nacional. La planta física y algunos equipos de producción de las áreas de trefilación, clavería, grapas y púas fueron adquiridos a Siderúrgica del Muña como se mencionó anteriormente. Otros equipos de Proalco Bekaert fueron traídos de la antigua planta ubicada en la Tebaida (Armenia) y el proceso actual se complementa con equipos usados traídos de plantas de Ecuador y otras compradas a Vicson en Venezuela que también hace parte del grupo Bekaert.

⁴<http://idealalambrec.bekaert.com/es-MX/la-compania/nuestra-historia>

⁵<http://www.dinero.com/edicion-impresas/negocios/articulo/caldas-mucho-cafe/26294>

Existe gran variedad de marcas y modelos de los equipos lo que dificulta la estandarización de repuestos y su consecución en el mercado, ya que en muchos casos los fabricantes han desaparecido por el avance de tecnología en procesos y la obsolescencia de las máquinas, lo que hace que los inventarios de repuestos existentes se vuelvan de lento movimiento u obsoletos generando cada vez menos rotación en el almacén y generando sobrecostos financieros importantes. Proalco Bekaert tiene máquinas de más de cuarenta años de fabricación que todavía producen actualmente gracias a las estrategias de mantenimiento correctivo y correctivo programado que permiten obtener productos con altos estándares de calidad.

Figura 1. Bekaert en el Mundo



Fuente: Proalco Bekaert

1 EL PROCESO GENERAL EN UN PLANTA DE ALAMBRES DE ACERO

La siguiente descripción de proceso corresponde al estándar de producción de Bekaert en Latinoamérica. La información específica corresponde al proceso de la planta de Inchalam ubicada en Chile. (Talcaguano – Concepción) ⁶.

El proceso para obtener alambre comienza con la llegada del **Alambrón (1)** a la planta (*Figura 2*), el alambrón es una barra de acero de forma circular que se utiliza como materia prima en la fabricación del alambre, puede venir en distintos diámetros, pesos, calidades químicas y diferentes características físico mecánicas.

Figura 2. Recepción de Alambrón



Fuente: Proalco Bekaert

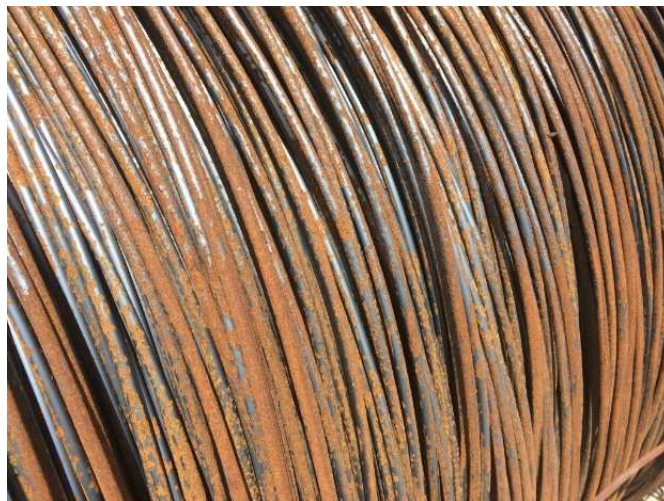
El alambrón es sometido a un proceso de limpieza que permite eliminar los óxidos e impurezas de la superficie, favoreciendo su procesamiento y, además, la adherencia de algún revestimiento posterior.

⁶<http://inchalam.bekaert.com/es-MX/empresa/proceso-de-produccion>

Los óxidos superficiales que recubren el alambón reciben el nombre de calamina y esta debe ser retirada completamente para garantizar un proceso de calidad en trefilación. Las impurezas del alambón se refieren a suciedad por el sitio del almacenamiento y el contacto con el suelo que puede tener gran variedad de sustancias que deben ser retiradas. (Figura 3)

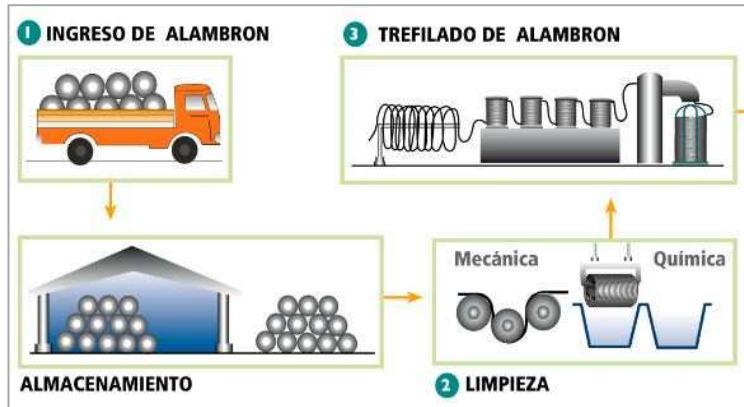
La limpieza puede cumplirse adecuadamente a través de dos formas: por **Decapado Mecánico** que consiste en hacer pasar el alambre por una serie de rodillos que se encargan de romper la capa de óxido superficialmente y/o **Decapado Químico (2)** (Figura 4), que consiste en sumergir los rollos de alambón en varias tinas con productos químicos para desengrase, lavado y decapado. El ácido que normalmente se utiliza es clorhídrico con concentraciones del 37%.

Figura 3. Calamina y óxido superficial del Alambón



Fuente: Proalco Bekaert

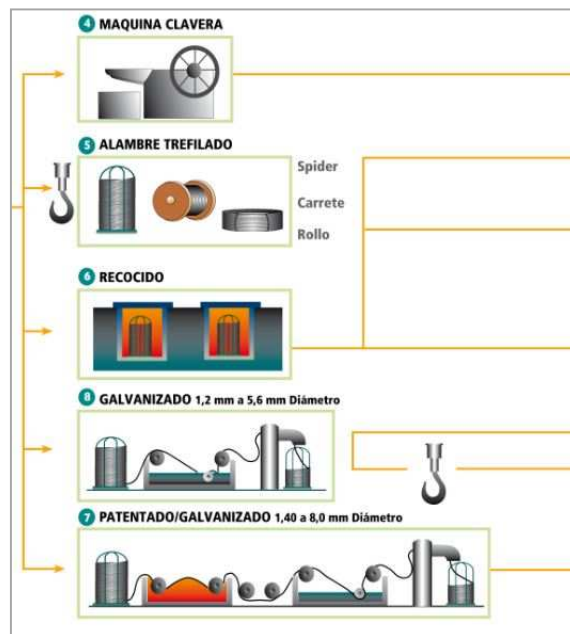
Figura 4. Flujo de Proceso Alambroón



Fuente: <http://inchalam.bekaert.com/es-MX/empresa/proceso-de-produccion>

Después de la limpieza comienza la etapa principal en la elaboración del alambre: La **Trefilación (3)**, este proceso provoca un cambio de estructura y modifica las propiedades mecánicas del alambre (Figura 5)

Figura 5. Flujo de Proceso Alambre (1)



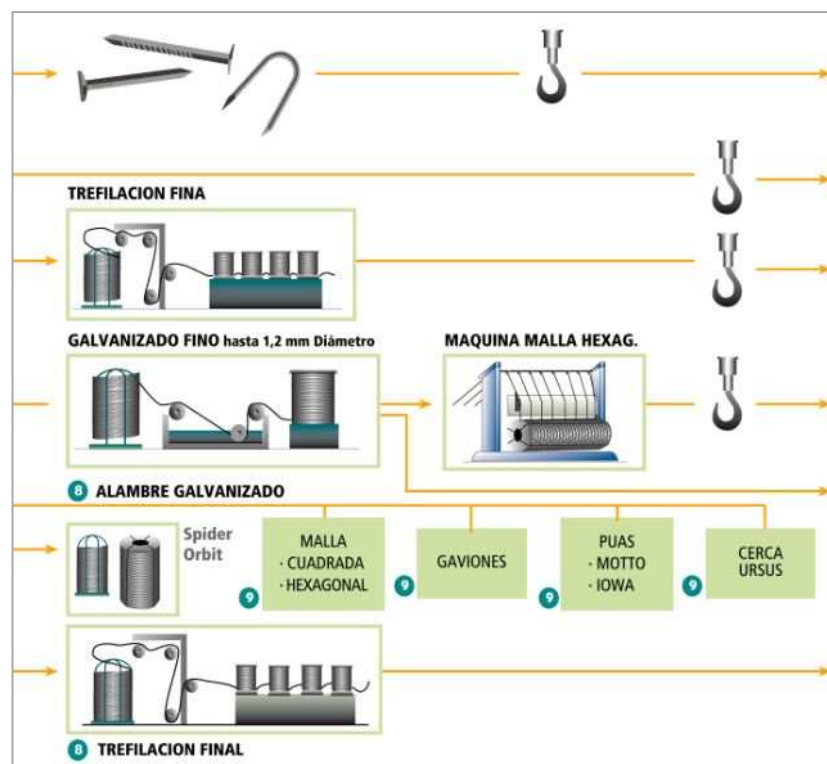
Fuente: <http://inchalam.bekaert.com/es-MX/empresa/proceso-de-produccion>

Una vez trefilado, el alambre puede ser utilizado para la fabricación de diferentes tipos de **Clavos (4)**, o venderse como **Producto Final (5)**.

Para poder conseguir diámetros muy delgados es necesario someterlo a diferentes tratamientos térmicos, como el **Recocido (6)** y el **Patentado (7)**

Para prevenir que los alambres se oxiden se les puede recubrir con una película de Zinc a través del proceso de **Galvanizado (8)**. Otra forma es sumergir el alambre en una solución de cobre, proceso que se conoce como **Cobrizado**, y por último está el proceso de **Plastificado**, el cual consiste en recubrir el alambre galvanizado con plástico (PVC) que no sólo lo protege contra la oxidación, sino que además le da un bonito aspecto.

Figura 6. Flujo de Proceso Alambre (2)



Fuente: <http://inchalam.bekaert.com/es-MX/empresa/proceso-de-produccion>

Luego de ser sometido a los diferentes tratamientos térmicos o a los recubrimientos contra la oxidación, el alambre puede tener varios usos (Figura 7). Puede ser vendido como **Producto Terminado (9)**: alambre galvanizado, recocido, plastificado, o cobrizado; o ser utilizado para la fabricación de productos tales como: resortes, malla cuadrada galvanizada/plastificada, malla hexagonal, cercas y alambre de púas entre otros.

Figura 7. Flujo de Proceso Alambre (3)



Fuente: <http://inchalam.bekaert.com/es-MX/empresa/proceso-de-produccion>

Una vez fabricados los productos son embalados y almacenados en **Bodegas (10)** esperando el momento de ser despachados a cualquier punto del país.

1.1 PRINCIPALES PROCESOS EN LA PRODUCCION DE ALAMBRE

A continuación se amplía la descripción de los principales procesos productivos en Proalco Bekaert para la transformación del alambión en alambre. La capacidad instalada de Proalco es de 45.000 toneladas al año y actualmente tiene una participación entre el 30% y 35% del mercado Colombiano.

1.1.1 Básicos

Se conoce en Proalco Bekaert como “Básicos” a un grupo de semi-productos o productos en proceso de alambre de acero de bajo, medio y alto carbono a partir de rollos de alambión (*Figura 8*) que tienen una especificación requerida como materia prima a procesos internos dentro de la planta o para clientes externos con el fin de darle acabados, propiedades físicas para su uso en productos terminados de la industria, la agricultura, la minería o la construcción. Los básicos comprenden el proceso de Trefilación en seco y Galvanizado por inmersión en Caliente.

Figura 8. Almacenamiento de Alambión

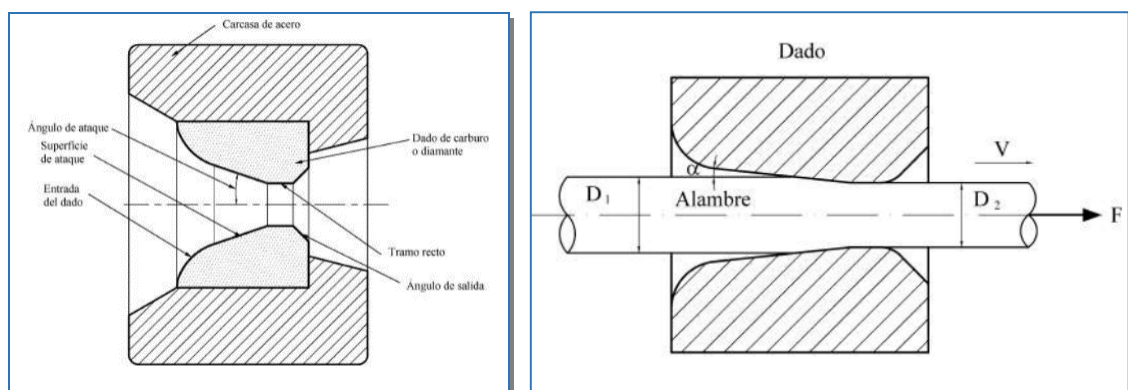


Fuente: Proalco Bekaert

1.1.1.1 Trefilado

El proceso de trefilado consiste en hacer pasar un material a través de una matriz o dado con un agujero cónico, halándolo por uno de sus extremos. El material es forzado a experimentar una reducción de sección y a adoptar la forma final del agujero del dado. La sección transversal producida puede ser circular, rectangular, cuadrada o de cualquier otra forma. El dado se fabrica de un material resistente, siendo común la utilización de aceros de herramienta, aleaciones de cobalto, compuestos a base de tungsteno y, en algunos casos, diamante. En la Figura 9, se puede observar la representación esquemática de un dado para trefilado. Los parámetros involucrados en el proceso son: el ángulo de ataque o semi-ángulo del dado α , la velocidad de estirado V , el coeficiente de fricción μ entre el alambre y las paredes del dado y la reducción de área del alambre; definida por los diámetros inicial y final del alambre, D_1 y D_2 respectivamente. La carga necesaria para lograr el proceso, F , depende de los parámetros que se fijan⁷.

Figura 9. Principio de la Trefilación



Fuente: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732643008>> ISSN 1316-6832

⁷PORRELLO, Argel, Determinación del coeficiente de fricción en un proceso de trefilado partiendo de la carga requerida para pasar un alambre a través del tramo recto del dado. Revista INGENIERÍA UC [en línea] 2014, 21 (Septiembre-Diciembre): Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732643008>> ISSN 1316-6832

El proceso normal de trefilación comprende el devanado del alambre, limpieza (decalaminado), reducción de área (trefilación), y enrollado. Las figuras 10 a 13 muestran un proceso de trefilación básico

Figura 10. Devanado de Alambrón



Figura 11. Trefiladora



Figura 12. Bobina de Trefiladora

Figura 13. Enrollado de alambre



Fuente: Proalco Bekaert

1.1.1.2 Galvanizado en caliente

El galvanizado en caliente es el proceso de inmersión de acero o hierro fabricado en una caldera o baño de zinc fundido. El proceso es inherentemente simple, lo que brinda una ventaja distintiva en contraste con otros métodos de protección contra la corrosión.

En la verdadera instancia de galvanizado del proceso, se sumerge por completo el material en un baño de zinc fundido. La química del baño está especificada en la B6 de la ASTM, y requiere al menos 98% de zinc puro mantenido a aproximadamente 449°C (840°F). Mientras está sumergido en la caldera, el zinc reacciona con el hierro en el acero y forma una serie de capas inter-metálicas de aleación zinc/hierro. Una vez que se completa el crecimiento del revestimiento de los artículos fabricados, se los puede retirar del baño de galvanizado, y se elimina el exceso de zinc mediante drenaje, vibración y/o centrifugado⁸.

El alambre previamente trefilado y con los diámetros requeridos, es trasladado por montacargas y enhebrado en la zona de devanado. Se hace pasar por una serie de poleas y guías que garantizan su fluidez durante el proceso. El proceso de alambre galvanizado se hace en línea ya que cada hebra al final se devana en spiders para su uso como materia prima en otros equipos de la planta que lo transforman en productos comerciales a nivel industrial, agroindustrial y minero, como alambres de púas, grapas, mallas, clavos, etc.

A continuación los principales procesos en la línea de galvanizado:

Figura 14. Devanado del alambre



Figura 15. Enjuague 1



Fuente: Proalco Bekaert

⁸www.galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanizado_Caliente_guia_especificador_small.pdf

Figura 16. Tinas de plomo



Figura 17. Enjuague 2



Figura 18. Decapado químico



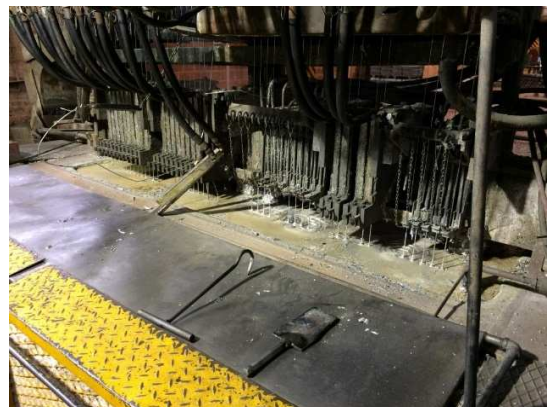
Figura 19. Enjuague 3



Figura 20. Tina de Cinc



Figura 21. Hebras tina de cinc



Fuente: Proalco Bekaert

Figura 22. Enrollado



Fuente: Proalco Bekaert

Los alambres devanados en la línea se entregan a procesos internos como clavería, grapas, alambre de púas, mallas, etc. Y también a clientes externos que continúan con otros procesos en sus plantas.

Al interior de la planta, este es un producto semielaborado que sirve de entrada a los procesos de producto terminado. La parada no programada esta línea de galvanizado impacta en los resultados operacionales de la planta en general y los compromisos con los clientes que usan estos productos.

La línea de galvanizado es de procedencia francesa, es un equipo usado que fue instalado en Proalco en el año 2003, proveniente de Vicson una planta de Bekaert en Venezuela. Figura 23

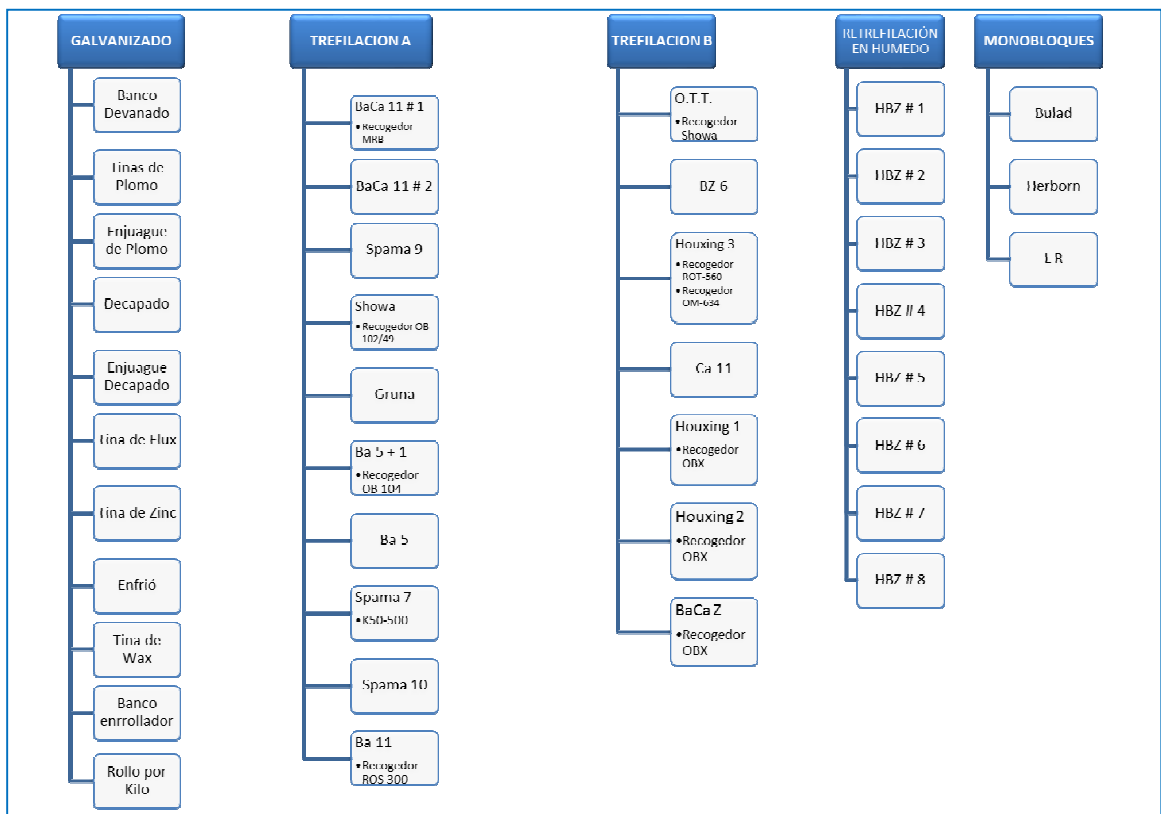
Las trefiladoras y monobloques (trefiladoras de uno o dos bobinas), tienen diferente procedencia y antigüedad.

El trefilado en húmedo se utiliza para diámetros de alambre muy delgados que se utilizan normalmente para fabricar mallas hexagonales (comúnmente denominada tipo Gallinero).

A diferencia del trefilado en seco que utiliza jabones lubricantes en polvo, el trefilado húmedo se hace con combinaciones de agua y aceite soluble como

agente lubricante y refrigerante que permiten el proceso de reducción de diámetros delgados.

Figura 23. Árbol de equipos del área de Básicos



1.1.2 Terminados

Los Terminados son productos de alambre que fueron transformados por equipos específicos y se encuentran listos para ser usados.

1.1.2.1 Alambre de Púas

Uno de los productos más representativos en el mercado o constituye el alambre de púas que es ampliamente utilizado en el sector ganadero.

La fabricación de estos alambres se efectúa en máquinas que utilizan cuatro hebras de alambre galvanizado dos de ellos que constituyen el núcleo y las otras dos son las púas.

Es un producto elaborado con alambre galvanizado trenzado y púas de corte diagonal que garantizan mayor durabilidad y resistencia aun en las más exigentes condiciones de uso y de medio ambiente corrosivo.

El alambre de púas Motto® es el único alambre de púas en el mercado fabricado con triple capa de zinc ofreciendo tres veces mayor protección contra la oxidación.

Se utiliza para proteger viviendas, escuelas en zonas rurales, cercos para ganado, terrenos agrícolas, bosques, potreros y plantaciones forestales.

Figura 24. Productos sector agropecuario

Sector Agropecuario

Motto

- 3 veces más resistente a la corrosión.
- Alta resistencia a la rotura (hasta 450 kgf).
- Más económico por metro, mayor manejo por kilo.

Puma

- Torsión alta (navejo fácil).
- Carga a la rotura aprox. de 300 kgf.
- Mayor comodidad en el manejo debido a su bajo peso.

Iowa

- Torsión constante (convencional fácil).
- Púa entrelazada en la línea de alambre.
- Carga a la rotura de 350 kgf (IC-12.5) y 350 kgf (IC-14).

Grapas Puma

- Galvanizadas y fabricadas con acero de bajo carbono.
- Puntas invertidas para lograr mejor fijación a la madera.
- Fácil manejo y fijación, resistencia a la corrosión.

Sector Agropecuario

Cercas Eléctricas

- Alta conductividad.
- Protección a la corrosión tres veces mayor que los alambres convencionales.
- Fácil manejo e instalación, dos veces más resistente a la rotura.

Malla Hexagonal

- Fabricadas con alambre galvanizado en caliente y retrefinado en húmedo.
- Estructura resistente, amoldable y fácil instalación.
- Resistente a la corrosión.

Agroalambre

- Resistente: aguanta más carga que un alambre normal. Mejor elongación en el tiempo.
- Durable: doble recubrimiento de zinc para protegerlo del medio ambiente y químicos agropecuarios.
- Maleable: ofrece gran maleabilidad a la vez que presenta una mayor resistencia y duración.

Agrocable

- Guaya galvanizada para cultivos e invernaderos.
- Cumple con Norma ASTM A-475.
- Extra alta resistencia y mayor duración.

Fuente: Proalco Bekaert

Las principales etapas en la elaboración de alambre púas son:

Figura 25. Devanado



Figura 26. Conformación de púa



Figura 27. Conformado del rollo



Figura 28. Etiquetado



Fuente: Proalco Bekaert

1.1.2.2 Mallas y Cerramientos

Proalco Bekaert es líder en productos galvanizados y de alta resistencia utilizados como soluciones en cerramientos agropecuarios y tutoreo de cultivos: alambre de púas, grapas, cerca eléctrica, mallas y alambre galvanizado. Fabricadas con alambre galvanizado en caliente y re-trefilado en húmedo.

Las mallas son alambres tejidos de múltiples torsiones que proporcionan una resistente estructura de características blandas y moldeadas resultando un producto versátil que abarca una amplia gama de aplicaciones y usos.

Figura 29. Sector Construcción

Sector Construcción

Puntillas y Clavos de Acero Puma
 Mayor dureza y resistencia. Excelente capacidad de fijación. Acabados perfectos que garantizan un buen desempeño y mínimo desperdicio.

Alambre Negro Puma
 Alambre de acero trafileado con tratamiento térmico de recocido que permite la maleabilidad necesaria para ser usado en diversos tipos de amarres. No se revienta.

Dramix MallaEnBolsa
 Reemplaza la malla electrosoldada o varilla utilizada en placas de contrapeso y pavimentos que soporten cargas livianas hasta 500 kg/m². Fácil de instalar, mezclar y transportar.

Varilla Grafilada
 Alambre de acero trafileado en frío. Su superficie posee deformaciones que impiden el movimiento longitudinal del alambre en armadura de concreto.

Sector Construcción

Malla Zaranda
 Ideal para selección de materiales en construcciones, industria, minerales y granos alimenticios. Utilizada en la fabricación de jaulas para animales pequeños.

Malla Eslabonada
 Fabricada con alambre de alta resistencia. Fácil de instalar, diseñada para brindar protección sin afectar la visibilidad y luminosidad del paisaje.

Malla Electrosoldada
 Variedad de medida y calibres. Fabricada con varillas grafiladas unidas por soldadura de resistencia eléctrica lo que garantiza una armadura rígida con distribución exacta.

Cercas Pro
 Sistema de cerramiento modular compuesto por paneles rígidos de malla electrosoldada, postes metálicos y accesorios de fijación, estéticos y de alta duración. **5 AÑOS GARANTÍA**

Fuente: Proalco Bekaert

En construcción se cuenta con un portafolio que incluye puntillas, clavos de acero, alambre negro, fibras de acero, malla electro-soldada, varilla grafilada, malla con vena, malla zaranda y cerramientos (malla eslabonada, Cercas Pro®).

Para el mercado de manufactura se desarrollan productos acordes con la necesidad de nuestros clientes: alambre galvanizado, alambres especiales (brillantes, tipo cromo, lana de acero, en espiral, para herrajes y tornillos) y cables.

En Infraestructura se ofrecen soluciones para muros de contención, estabilización de taludes, reforzamiento de concreto, construcción de puentes y obras civiles: gaviones, cables pretensados, fibras de acero y mallas control talud rocoso⁹.

1.1.2.3 Puntillas

Las puntillas Puma® debido a su dureza y resistencia, no se doblan. Están disponibles en diferentes presentaciones y referencias de acuerdo con su necesidad. Son fabricadas con acero de bajo carbono y tienen la cabeza estriada

Un clavo o puntilla es un objeto delgado y alargado con punta filosa hecho de un metal duro (por lo general acero), utilizado para sujetar dos o más objetos. Un clavo puede ser "clavado" sobre el material a trabajar utilizando un martillo.

Los clavos están clasificados de acuerdo a su uso, el diámetro, acabado, y longitud. Esto presenta una gran variedad de clavos; por ejemplo, un clavo no necesariamente es liso en su parte principal. El tamaño de la cabeza es un factor a ser considerado, pues dependiendo del empleo del clavo, una cabeza chica o grande puede ser favorable o no deseada. Generalmente se suele usar el denominado "con cabeza" en aquellos sitios en los que no importa que se vea, mientras que los de "sin cabeza" suelen usarse cuando están más a la vista. También, el hecho que un clavo tenga o no tenga cabeza es determinado por el material al que se va a aplicar. Hay diferentes tipos de cabezas dependiendo del clavo; hay cabezas planas y cabezas redondeadas¹⁰.

El proceso de fabricación es sencillo. El alambroón se trefila hasta que se alcanza el diámetro requerido. Luego se inserta en una máquina que lo sujeta en una mordaza, y con un golpe de émbolo o martillo se forma la cabeza del clavo; después de un estirón que depende de la longitud final que tendrá el clavo, se

⁹<http://proalco.bekaert.com/>

¹⁰[http://es.wikipedia.org/wiki/Clavo_\(objeto\)rt.com/](http://es.wikipedia.org/wiki/Clavo_(objeto)rt.com/)

cierran en el otro extremo dos juegos de cuchillas que dan forma a la punta del clavo. El proceso se repite cientos de veces por minuto¹¹.

Las principales etapas en la elaboración de puntillas son:

Figura 30. Devanado



Figura 31. Picado



Figura 32. Recolección



Figura 33. Brillado



Fuente: Proalco Bekaert

¹¹<http://acerobsv.com/clavos.html>

Otros productos terminados son:

1.1.2.4 Malla Gavion

Los gaviones son paralelepípedos rectangulares constituidos por mallas de características particulares que forman una base, paredes verticales y una tapa. Suelen llamarse tipo caja a los gaviones cuya altura fluctúa entre 0.50 y 1.00 mt. Los colchogaviones son aquellos en donde su altura es de 0.50 mt o inferior.

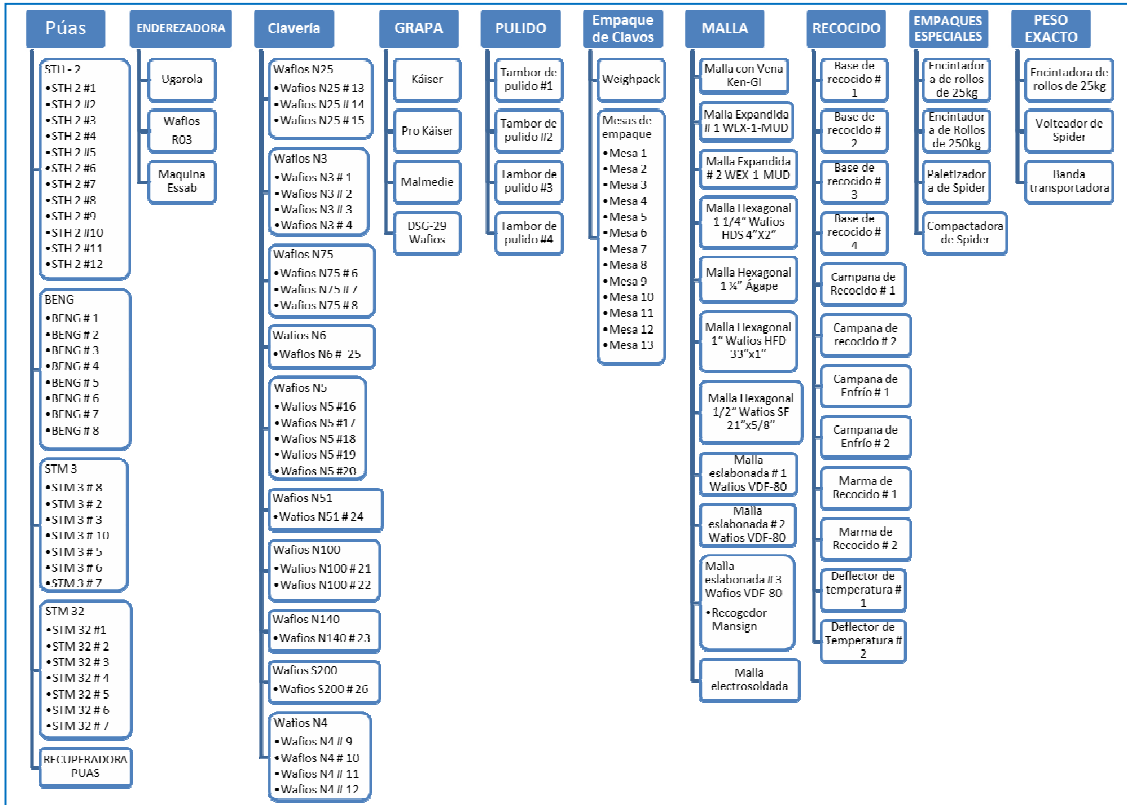
Figura 34. Sector Manufactura



Fuente: Proalco Bekaert

Proalco Bekaert cuenta con un completo portafolio de cerramientos para cubrir las necesidades del mercado a nivel de seguridad, delimitación y diseño. Estas incluyen las tradicionales mallas eslabonadas en sus diferentes presentaciones (galvanizado sencillo, triple capa y con recubrimiento), mallas electrosoldadas tipo panel rígido, mallas perimetrales y malla de cerramiento.

Figura 35. Árbol de equipos del área de Terminados



Fuente: Proalco Bekaert

En la taxonomía general de la planta se debe tener en cuenta los sistemas de abastecimiento de agua industrial, refrigeración, subestaciones eléctricas, redes de gas, aire comprimido, vapor y nitrógeno, montacargas e infraestructura en general que debe estar en condiciones de uso y disponibilidad para atender las necesidades de producción y ventas.

1.2 MANTENIMIENTO EN PROALCO

La misión del departamento de Mantenimiento en Proalco es: “Mantener las funciones de los equipos productivos e infraestructura de la planta, a través de una estrategia de mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo y Mejoras, empoderando a los técnicos de mantenimiento en el control de calidad de las actividades propias y contratadas, conociendo el costo de insumos, repuestos y servicios con el propósito de satisfacer a nuestros clientes, cumpliendo con requisitos legales y de seguridad industrial y medio ambiente, optimizando los recursos disponibles y mejorando continuamente la disponibilidad y eficiencia de los equipos productivos entrenándonos y actualizándonos permanentemente en la tecnología del mercado acorde a la estrategia de la organización”.

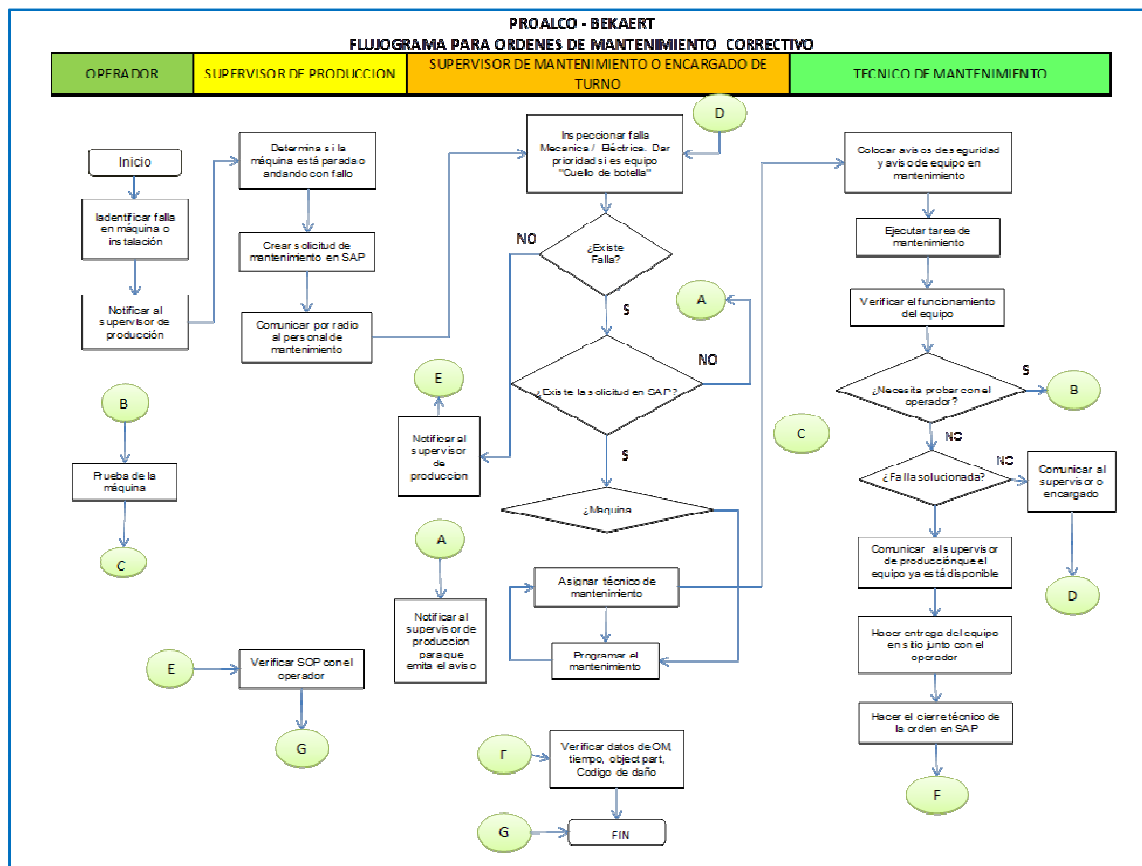
Una de las principales entradas al proceso de mantenimiento de Proalco Bekaert son los avisos y ordenes de mantenimiento correctivo que son lanzadas a través del módulo SAP PM en la transacción IW21 por los supervisores de producción o digitadores de producción que se encuentren en turno. (Figura 36).

Se entiende como avisos a los recolectores de la información técnica de la ejecución, controles, verificaciones, datos, observaciones, indisponibilidades, comportamientos. De igual manera entendemos como Órdenes a los recolectores del uso de recursos, fechas, consignaciones, costos.

Las órdenes de mantenimiento que se generan en el módulo PM de SAP se definen como ZSBM (Break Down Maintenance)

Este tipo de mantenimiento se realiza directamente por personal de la planta y permite atender en el menor tiempo posible las paradas imprevistas y no programadas de equipos productivos y sus utilidades.

Figura 36. Flujo de solicitud de órdenes de Mantenimiento



Los Planes de Mantenimiento Preventivo en Proalco, incluyen rutas de lubricación y actividades que incluyen paradas de equipos, según cronogramas que son definidos con el área de Planeación de Producción de acuerdo a los niveles de inventario y la planeación de ventas. Las órdenes de mantenimiento que se generan en el módulo PM de SAP se definen como ZSPM (Preventive Maintenance)

Las actividades de mantenimiento generadas por los planes de mantenimiento establecidos según las inspecciones previas a los equipos que se van a intervenir, son ejecutadas por personal interno de la planta e incluye la contratación de servicios específicos para fabricación de repuestos, partes de máquina,

metalización y alquileres de herramientas y equipos. Entre los equipos que se contratan como servicios de mantenimiento tenemos puente grúas, calderas, compresores, redes de gas natural, aire comprimido y sub-estaciones eléctricas principalmente.

Las actividades de mantenimiento predictivo tienen el siguiente alcance:

- Termografías a tableros eléctricos, transformadores y procesos en hornos de la línea de galvanizado y recocido a través de empresas especializadas.
- Rutas de vibración a motores eléctricos que ejecuta el personal de mantenimiento eléctrico a través de medidores de vibraciones (Figura 37), que proporcionan información útil sobre el estado de las máquinas, pérdidas mecánicas, desequilibrios, mala cimentación, falta de alineamiento, falta de lubricación, daños en los rodamientos, rotores arqueados, perdidas de aletas, cavitación de bombas, holguras excesivas, etc.

Figura 37. Lápiz medidor de vibración



Fuente <http://www.skf.com/group/products/condition-monitoring/basic-condition-monitoring-products/vibration-measurement-tools/machine-condition-advisor/index.html>

- Análisis de vibración a motores eléctricos con servicios contratados
- Análisis de aceites de reductores

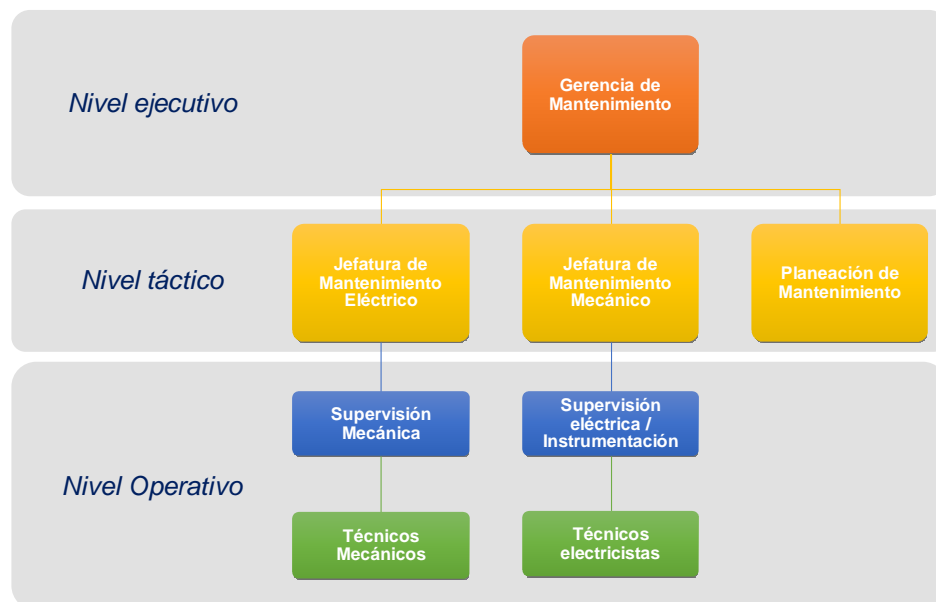
El Mantenimiento de Mejoras es una actividad encaminada a buscar, desarrollar e implementar mejoras permanentes en las maquinas e infraestructura. Igualmente tiene como objetivo conocer la causa de un problema repetitivo, para eliminarlo aplicando acciones de rediseño en partes o sistemas o cambiando condiciones de operación.

Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación.

Las órdenes de mantenimiento que se generan en el módulo PM de SAP se definen como ZSIM (Improvement Maintenance)

Las mejoras surgen a través del reporte de condiciones e ideas de innovación que son detectadas por cualquier persona de la planta, con el ánimo de eliminar condiciones de riesgo y mejorar la operatividad de máquinas o facilitar su mantenimiento.

Figura 38. Organigrama de Mantenimiento



La Estrategia de Mantenimiento en Proalco se basa en veinticuatro (24) bloques de gestión definidos por Bekaert, los cuales se encuentran distribuidos en tres niveles que dependen de la madurez de la gestión de mantenimiento de cada planta en el mundo y el contexto operacional de cada una de ellas.

Figura 39. Bloques de Mantenimiento Bekaert



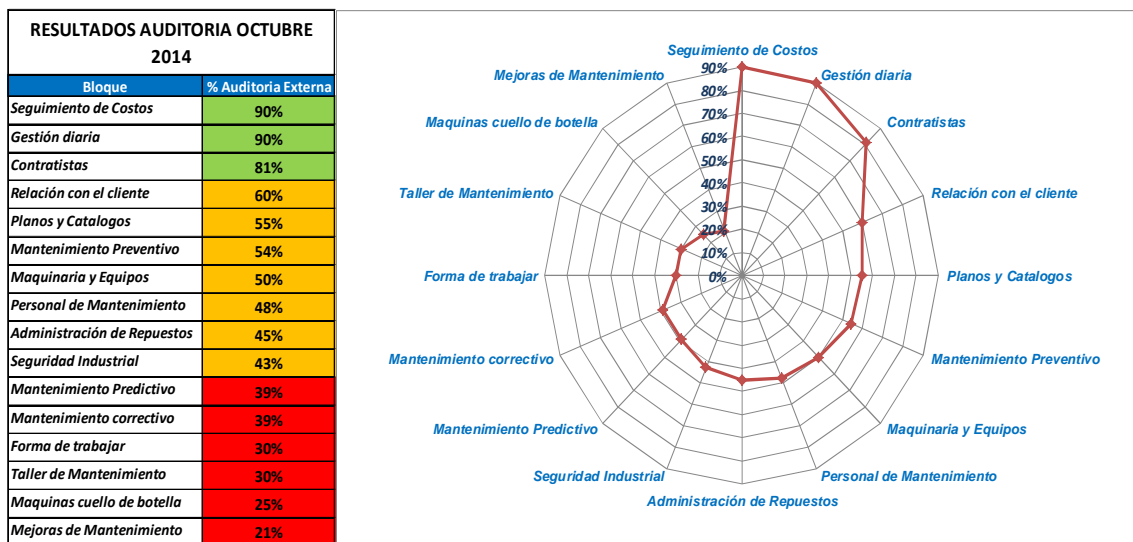
El área de Mantenimiento traza una línea base a partir de la ejecución de dos auditorías; una propia realizada con el personal del área y una externa donde participan Gerentes y Jefes de mantenimiento de otras plantas de la región liderados por un Gerente Corporativo de Mantenimiento. La auditoría interna o self-assesment se lleva a cabo cada año y la auditoría externa se lleva a cabo cada dos años

De acuerdo a los resultados obtenidos y la comparación a través de Benchmarking y las mejores prácticas de mantenimiento se elabora un plan de acción de corto y mediano plazo siempre basado en el contenido de cada bloque y dando respuesta sostenible a cada pregunta de la auditoría.

Cada planta tiene la libertad de escoger la estrategia para elaborar el plan haciendo foco en los bloques que considere tiene mayor fortaleza o mayor debilidad, con el fin de dar mayores resultados en el corto plazo de acuerdo con

los recursos disponibles y con metodologías de mejora continua para encaminarse hacia el objetivo final que es la implementación y sostenibilidad de todos los bloques en el largo plazo.

Figura 40. Resultados auditoría de mantenimiento 2014 Proalco Bekaert



Fuente: Proalco Bekaert

Se utilizan colores para identificar visualmente el avance de cada bloque. El verde muestra un porcentaje de cumplimiento de adherencia a los ítems de la auditoría entre el 81% y el 100% donde la práctica se encuentra en estado estable, el amarillo entre 41% y 80% donde la práctica tiene una tendencia positiva pero aún en proceso de estabilización, el rojo entre 0% y 40% donde la práctica tiene muchas oportunidades de mejora. Esto permite identificar a primera vista donde se debe hacer foco para mejorar continuamente la estrategia de mantenimiento.

Los resultados de la auditoría indican claramente que hay seis bloques con un porcentaje de adherencia bajo menor al 40%, siete bloques en situación con un porcentaje de adherencia entre 41% y 60% y tres bloques en verde con un porcentaje superior al 80% sin llegar hasta 100%.

Particularmente se encontró que el mantenimiento preventivo contenía las actividades locativas de la planta, algunas mejoras y la solución de condiciones de riesgo, lo que distorsionó la calificación en la auditoría.

Los planes de mantenimiento están desactualizados y obsoletos ya que las frecuencias de las intervenciones no tiene un análisis en los modos de falla si no que se cambian los elementos que tocan el alambre en proceso dejando por fuera los elementos mecánicos y eléctricos de los sistemas de cada máquina.

También se pudo evidenciar que las reservas de materiales asociadas a los mantenimientos preventivos o correctivos programados no tenían una adecuada correlación, ya que los repuestos e insumos necesarios no están catalogados ni tienen un sistema de reaprovisionamiento producto de un análisis detallado para determinarlos en cada equipo.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mercado actual y la apertura económica en Colombia demandan cada vez más estrategias que permitan mantener rentabilidad y participación en el mercado de los productos producidos localmente. Dentro de los costos de conversión de Proalco, se pueden clasificar cuatro grandes áreas como son: Costo de mano de obra, Utilidades (gas natural, energía eléctrica, agua), Materia Prima y Mantenimiento.

2.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO

Los costos de mantenimiento tienen una participación en el costo de total de conversión del 17% por tonelada producida, lo que significa que la gestión de mantenimiento debe ser cada día más confiable, costo-efectiva y aumentar la disponibilidad de equipos para aumentar el volumen de producción y atender la demanda de productos de acuerdo a las ventas. En las plantas de Latinoamérica el costo de mantenimiento tiene en promedio 8% del costo de conversión.

2.2 INVENTARIO DE REPUESTOS

Junto con los equipos traídos de otras plantas, llegaron algunos de sus repuestos sobre-valorizados por procesos de compra/venta entre plantas y gastos de financiación. Al tener un presupuesto de mantenimiento mensual planeado con el volumen de producción, se tiene mucha precaución con el uso de estos repuestos, ya que cada vez que se hace necesario utilizarlos se generan sobre ejecuciones presupuestales del costo de mantenimiento que se refleja en los indicadores del área. En muchos casos se han adquirido repuestos nuevos aun con existencia en el almacén ya sea por su diferencia en costo o por su estado de uso por las condiciones de almacenamiento.

Esto implica que muchos repuestos aún continúen en el almacén sin ser utilizados, causando impacto en el balance general de resultados financieros de la empresa.

Las existencias de repuestos se han visto afectadas por la falta de estandarización de partes y componentes de máquinas, que durante años han perdido su originalidad por malas prácticas de mantenimiento y la ausencia de procedimientos sistemáticos en control de cambios y procesos de mantenimiento.

Así mismo muchos de los repuestos e insumos existentes son de fácil consecución en el mercado y no necesariamente deben estar en la planta esperando a ser utilizados, esto muestra claramente la falta de identificación de repuestos críticos.

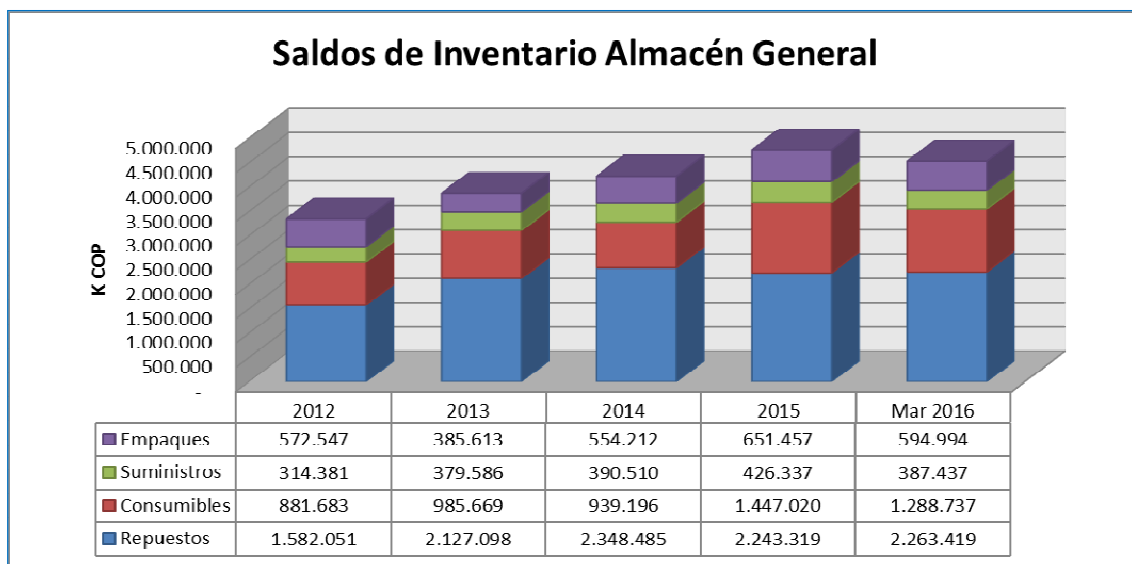
Los planes de mantenimiento establecidos actualmente no tienen vinculados los repuestos necesarios para la planeación de mantenimiento preventivo. Esto ha ocasionado demora en la entrega de los equipos a producción por gestión de repuestos y servicios que normalmente son de fabricación de partes de máquina que no estaban identificados.

La rotación del almacén de repuestos en el año 2013 fue del 80%, en el año 2014 fue del 70% y en el año 2015 fue del 75% esto implica que en promedio el 25% de lo que se pide, queda almacenado sin ser utilizado en el corto plazo.

En la figura 41, al observar los dos últimos años, para el 31 de diciembre de 2014 el valor del inventario de mantenimiento fue de \$2.348.485.000 y para el 31 de diciembre de 2015 de \$2.243.319.000

La leve disminución del saldo de inventarios entre el año 2014 y 2015 se realizó a través del uso de algunos repuestos que se han adaptado a los equipos con acciones de mejora y rediseño, además de la venta o traslado de algunos activos de la planta donde se incluyeron los repuestos existentes en el inventario. Estas estrategias no son sistemáticas y realmente no se puede establecer un consumo planeado sistemático

Figura 41. Histórico Saldos de Inventario Almacén General



Fuente Resumen Financiero Proalco Bekaert – 31 marzo 2016

2.3 REAPROVISIONAMIENTO DE REPUESTOS

El reaprovisionamiento de repuestos se hace por medio de puntos de re-orden de acuerdo a la cantidad equivalente al consumo promedio de tantos días, como días tenga el lead time del proveedor, más el inventario de seguridad.

Este método requiere un análisis manual diario de unos 2400 ítems en promedio, que lo hace dispendioso y en consecuencia ineficaz; esto ha provocado pérdidas de tiempo productivo por falta de repuestos que estaban con punto de re-orden, ya que los lead time de los proveedores para la fabricación de repuestos son inestables dadas las condiciones específicas a nivel dimensional de cada máquina que las hace únicas y no es posible la estandarización de repuestos a bajo costo, repuestos importados o insumos nacionales que aunque sean comerciales no tienen órdenes de pedido puestas ni vigentes.

El inventario de repuestos en el almacén se ve afectado adicionalmente por duplicidad de códigos, falta de revisión sistemática de los parámetros de reaprovisionamiento y un procedimiento eficiente para la definición del inventario

de repuestos. Esto se generó hacia el año 2012 donde se implementó SAP para toda la organización.

La homologación y catalogación de los códigos en SAP para la bodega de repuestos se hizo de manera superficial y se cargaron códigos antiguos con diversidad de nombres, en diferentes idiomas y muchos de ellos obsoletos o de lento movimiento.

Actualmente este problema genera sobrecostos e información desactualizada que afecta la atención de mantenimiento correctivo y preventivo en la planta.

El tipo de almacenamiento y preservación de los repuestos e insumos de mantenimiento tiene mucho por mejorar. Las condiciones ambientales de la planta por su ubicación cercana a una laguna y la humedad contribuyen al deterioro de los repuestos en planta. Muchas veces aun estando el repuesto en existencia no está disponible, ya que no se puede utilizar por el deterioro generado durante su almacenamiento. Esta es otra razón por la cual se debe generar un inventario mínimo y en condiciones óptimas de almacenamiento de acuerdo a su naturaleza y criticidad. En las *figuras 42 a 45* se puede observar las condiciones de almacenamiento en la planta.

Figura 42. Almacén General

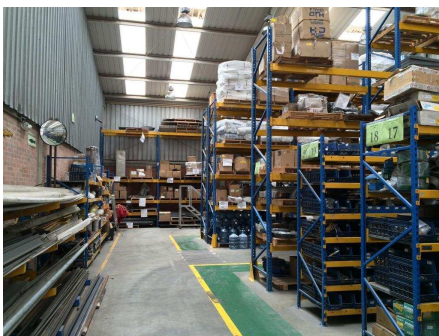


Figura 43. Almacenamiento de Soldadura



Fuente Proalco Bekaert

Figura 44. Almacenamiento de Retenedores



Figura 45. Almacenamiento de Rodamientos



Fuente Proalco Bekaert

2.4 PROCEDIMIENTOS DEL ALMACEN EN PROALCO BEKAERT

Actualmente en Proalco existe un procedimiento interno denominado “**Creación de Códigos**” identificado como PR-06-08 versión 2 cuyo contenido está definido por:

Objeto: Definir el mecanismo mediante el cual un ítem (referencia de material) bien sea de producto terminado, materia prima, insumo, empaque, repuesto y demás; es incluido en el maestro de ítems

Alcance: El procedimiento cubre la totalidad de los ítems manejados en la organización, sin distinción alguna derivada de su clasificación; sí mismo, cubre las áreas de almacén de materiales, gerencias comerciales, mantenimiento y calidad.

Definiciones

Tiempo de reposición o Lead Time: Es el tiempo en días, que tarda un proveedor en suministrar un ítem (bien o servicio) desde que éste recibe la correspondiente orden de compra

Inventario de seguridad o inventario mínimo (IS): Se refiere al nivel mínimo de existencias que debe permanecer en el almacén, para un determinado ítem. El inventario mínimo debe cubrir la eventualidad del retraso en la entrega por parte de los proveedores, así como la desviación normal del comportamiento del consumo.

Por definición el inventario de seguridad corresponderá a una cantidad equivalente a la desviación estándar del tiempo de reposición del proveedor (DT), más una corrección por nivel de servicio (FS), lo que significa:

$$\mathbf{IS = (CP*DT)*(1+FS)}$$

Punto de reorden (PR): Se refiere al nivel de existencia de inventario que debe haber para lanzar una nueva orden de compra o reposición.

Por definición, el punto de reorden corresponderá a la cantidad equivalente al consumo promedio de tantos días como tenga el LT del proveedor, más el inventario de seguridad

$$\mathbf{PR = IS + (CP*LT)}$$

Lote de pedido (LP): Se refiere a la cantidad a reponer para cada ítem, en términos de consumo promedio.

El lote de pedido corresponderá a la cantidad equivalente al consumo promedio de tantos días, como días tenga el LT del proveedor, multiplicado por el factor de reposición

$$\mathbf{LP= (CP*LT)*FR}$$

Así mismo en Proalco Bekaert existe otro procedimiento denominado “**Consumo de Insumos, Repuestos y Suministros**” identificado como PR-06-06 versión 5 cuyo contenido es el siguiente:

Objeto: Garantizar el control y el correcto registro de las salidas de insumos, repuestos y suministros de los almacenes de Proalco Bekaert

Alcance: Aplica desde la elaboración y entrega del requerimiento (insumo, repuesto o suministro) hasta la solicitud al área de compras del requerimiento interno respectivo de la planta.

Definiciones:

Insumo: Material consumible que hace parte del proceso productivo

Material de reposición: Insumos, repuestos, suministros y en general cualquier tipo de material que tiene definido un punto de reorden y para el cual se debe garantizar su existencia en el almacén (*Figura 46*)

Repuestos: Accesorios y elementos de recambio en las diferentes máquinas y equipos de la empresa

El MRP ("Material Requirement Planning" que traducido al español vendría a ser "planificación de requerimientos de material") es un sistema que se encarga de la planeación de la producción y la administración eficiente de los inventarios, con el propósito de automatizar los procesos de manufactura al interior de la organización controlando y coordinando que los materiales y productos se encuentren disponibles cuando sea necesario para su producción o entrega a los clientes, sin tener la necesidad de mantener un nivel de inventarios excesivo para la operación, y ajustándose a una planeación adecuada de manufactura y actividades de despacho y compra. La dinámica de un sistema MRP, se ajusta a los conceptos de demanda independiente como la de productos terminados en donde la demanda es externa a la empresa en el sentido en que las decisiones de los clientes no son controlables por esta; y de la demanda dependiente, que es

generada a partir de decisiones tomadas por la propia empresa y que determinan por ejemplo el total de la producción para determinado periodo. Definición del año 1979”¹²

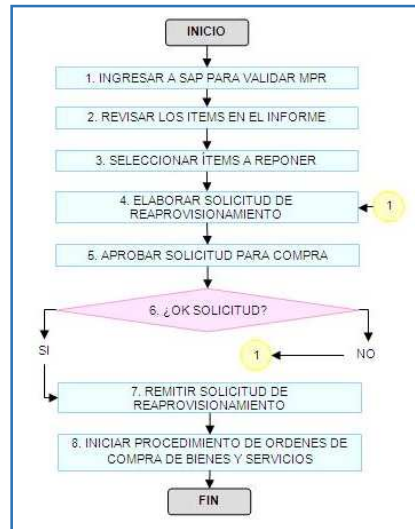
“Las tradicionales visiones con las cuales se han manejado los inventarios de repuestos durante las últimas décadas del siglo XX y la primera del siglo XXI han estado siempre signadas por la igualdad en los procedimientos y los métodos que se aplican para materias primas, productos terminados y los materiales conocidos como retail. Varios trabajos y experiencias en los últimos años han mostrado que realizando un cambio de paradigmas - con el que se cambie el modelo de proceso y los métodos de cálculo a aplicar en los repuestos - se pueden obtener las mejoras deseadas y que, tanto en el corto como en el largo plazo, dichas mejoras sean sostenibles”¹³

¹² <http://www.buenastareas.com/ensayos/Mrp-Logistica/1595941.html>

¹³ ORTIZ, Plata Daniel – Conferencia APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA REPUESTOS ALINEADOS CON EL RIESGO Y LA CONFIABILIDAD – RARC - Congreso internacional de Ingeniería en Mantenimiento – Costa Rica 18 y 19 de junio de 2014

Reaprovisionamiento de Insumos y repuestos en Proalco Bekaert (SAP)

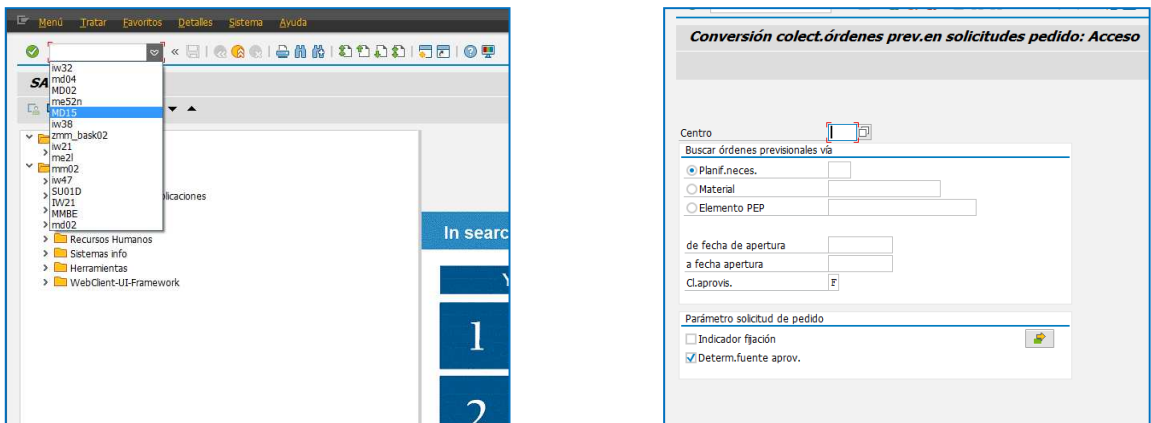
Figura 46. Proceso de Reaprovisionamiento en Proalco Bekaert



Fuente Proalco Bekaert

El proceso de reaprovisionamiento de repuestos e insumos en Proalco Bekaert, se efectúa con la transacción MD15, según los siguientes pasos

Figura 47. Transacción MD15 paso 1



Fuente SAP Proalco Bekaert

- En la casilla del centro colocamos B000 (Identificación de la planta)
- En planificación necesaria colocamos 200 (es la bodega de repuestos para mantenimiento)
- Por defecto nos aparece un visto en Determinación fuente de aprovisionamiento, pero debemos darle clic, en la casilla indicador de fijación.

Figura 48. Transacción MD15 paso 2

Conversión colect.órdenes prev.en solicitudes pedido: Acceso

Centro

Buscar órdenes previsionales vía

Planif.neces.

Material

Elemento PEP

de fecha de apertura

a fecha apertura

Cl.aprovis.

Parámetro solicitud de pedido

Indicador fijación

Determ.fuente aprov.

Fuente SAP Proalco Bekaert

Aparece la pantalla listado MRP, los repuestos que se están requiriendo actualmente; se debe tener cuidado porque aparecen repuestos solicitados a una O.T y que no lanzan la solicitud, igualmente repuestos que solicitaron y retiraron del almacén sin reserva, es claro que los únicos repuesto que se deben pedir son los de tipo de material Z6, los otro repuestos estarían marcados como PD o ND.

Figura 49. Transacción MD15 paso 3

The screenshot shows the SAP MD15 transaction interface. At the top, there are navigation buttons like 'Conv.colect.órdenes prev.en solicitudes pedido: Vis.global'. Below that, the 'Centro' is set to '8000 PROALCO' and 'Plan_nec.' is '200 Spare Parts'. The main area contains a table with columns: Material, Denominación, Fin-plan, Cantidad orden Un..., Fl., Cl., Ordé..., Clorden, and T. Ped... The table lists various materials such as 'RODILLO EXTRA RESISTENTE 30-297511', 'CONTROLADOR DE PRESION -50/+50 KPA 230 V', and 'MOTOR 25W/230VAC/1250RPM/HLO11 80YYR25-'. Each row has a checkbox in the 'Fl.' column, which is currently unchecked for all items.

Material	Denominación	Fin-plan	Cantidad orden Un...	Fl.	Cl.	Ordé...	Clorden	T. Ped...
2574113	RODILLO EXTRA RESISTENTE 30-297511	18.03.2016	3PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2634638	CONTROLADOR DE PRESION -50/+50 KPA 230 V	08.03.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2665155	MOTOR 25W/230VAC/1250RPM/HLO11 80YYR25-	18.03.2016	2PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2895240	ABRAZADERA 1" CONDUIT	29.02.2016	2PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2895395	INTERRUPTOR SIMPLE	17.04.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52447. NB	
2895451	TERMINAL # 10-12 OJO GRANDE	17.04.2016	35PZA	<input type="checkbox"/>	F		52447. NB	
2895474	SOPORTE AUTOADHESIVO	14.07.2016	42PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2895476	SELECTOR 3 POS 30 MM REF 800T-32A	17.04.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2895522	LAMPARA SODIO 400W 220V COMPLE	08.03.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2895632	PERNO M10*30	28.02.2016	3PZA	<input type="checkbox"/>	F		52451. NB	
2896029	TUBO DE SILICONA	18.03.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2896117	RODAMIENTO 6312-2RS	19.03.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52451. NB	
2896260	RODAMIENTO NA-6907	18.03.2016	2PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2896260	RODAMIENTO NA-6907	18.03.2016	2PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2897487	CADENA RC-40-1	29.02.2016	6,000MTS	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898181	ANGULO DE 1-1/2" X 1/4"	09.03.2016	36,000MTS	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898289	BANDA TIPO B-68	27.02.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52447. NB	
2898294	BANDA TIPO B-75	27.02.2016	3PZA	<input type="checkbox"/>	F		52447. NB	
2898354	ACETE SOLUBLE	27.02.2016	55GLL	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898390	BANDA TIPO B-85	27.02.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898398	BANDA TIPO B-104	27.02.2016	2PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898419	BANDA TIPO C-75	27.02.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898488	BANDA TIPO B-107	27.02.2016	1PZA	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898577	POLPREGA PARA PVC	27.02.2016	1GLL	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898586	PINTURA ALTO TRAFICO AMARILLA	27.02.2016	3GLL	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	
2898586	PINTURA ALTO TRAFICO AMARILLA	27.02.2016	3GLL	<input type="checkbox"/>	F		52446. NB	

Fuente: SAP Proalco Bekaert

Para indicar que repuesto pedir, se debe seleccionar el código dando Clic en la casilla de la izquierda del código y dar clic en casilla MD 05

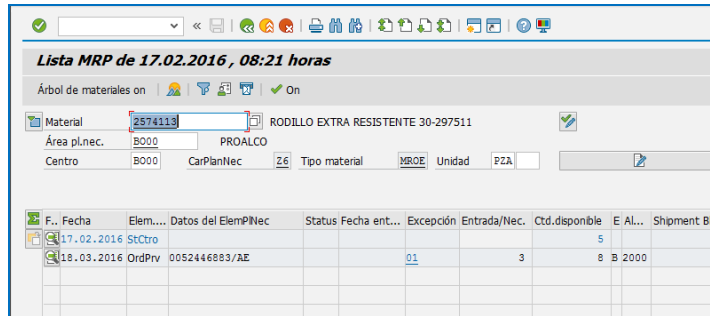
Figura 50. Transacción MD15 paso 4

This screenshot is identical to Figure 49, showing the same SAP MD15 transaction. The only difference is that the first row of the material list, 'RODILLO EXTRA RESISTENTE 30-297511', is now highlighted in blue, indicating it has been selected.

Fuente: SAP Proalco Bekaert

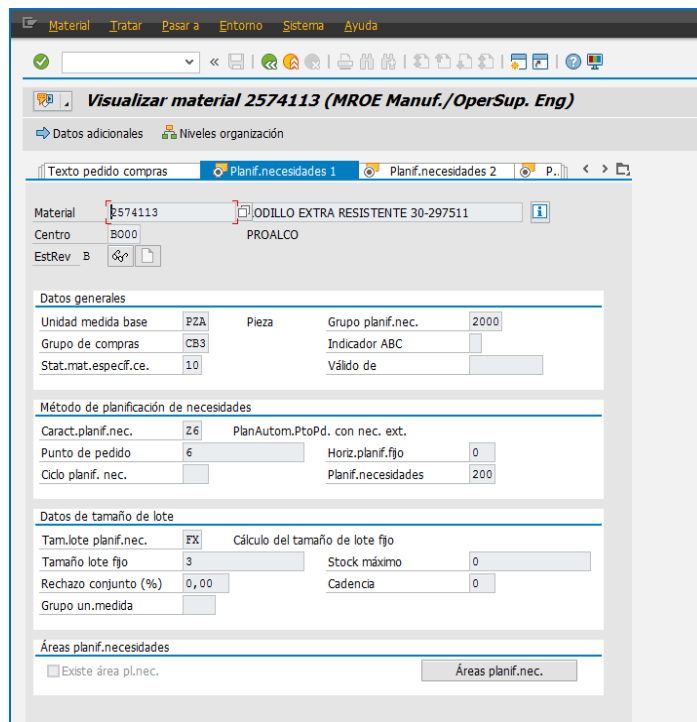
Se entra en la pantalla en la cual se ve el tipo de material PD, Z6 y ND

Figura 51. Transacción MD15 paso 5



Fuente: SAP Proalco Bekaert

Y también los parámetros de reaprovisionamiento



Fuente: SAP Proalco Bekaert

Dependiendo de este dato se debe verificar el historial de consumo en casilla MB51

Figura 52. Transacción MD15 paso 6

Material	Denominación	Fin-plan	Cantidad orden	Un.	Fl.	CL.	Orde...	Clorden	T. Ped...
2574113	RODILLO EXTRA RESISTENTE 30-297511	18.03.2016	3PZA	F			S2446	NB	
2634638	CONTROLADOR DE PRESION -50/+50 KPA 230 V	08.03.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2665155	MOTOR 25W/230VAC/1250RPM/HL011 80YYR2S-	18.03.2016	2PZA	F			S2446	NB	
2895240	ABRAZADERA 1" CONDUIT	29.02.2016	2PZA	F			S2446	NB	
2895395	INTERRUPTOR SIMPLE	17.04.2016	1PZA	F			S2447	NB	
2895451	TERMINAL # 10-12 OJO GRANDE	17.04.2016	35PZA	F			S2447	NB	
2895474	SOPORTE AUTOADHESIVO	14.07.2016	42PZA	F			S2446	NB	
2895476	SELECTOR 3 POS 30 MM REF 8007-32A	17.04.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2895522	LAMPARA SODIO 400W 220V COMPLE	08.03.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2895632	PERNO M10*30	28.02.2016	3PZA	F			S2451	NB	
2896029	TUBO DE SILICONA	18.03.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2896117	RODAMIENTO 6312-2RS	19.03.2016	1PZA	F			S2451	NB	
2896260	RODAMIENTO NA-6907	18.03.2016	2PZA	F			S2446	NB	
2896260	RODAMIENTO NA-6907	18.03.2016	2PZA	F			S2446	NB	
2897487	CABLE RC-401	29.02.2016	6,000MTS	F			S2446	NB	
2898181	ANGULO DE 1-1/2" X 1/4"	09.03.2016	36,000MTS	F			S2446	NB	
2898289	BANDA TIPO B-68	27.02.2016	1PZA	F			S2447	NB	
2898294	BANDA TIPO B-75	27.02.2016	3PZA	F			S2447	NB	
2898354	ACEITE SOLUBLE	27.02.2016	55GLL	F			S2446	NB	
2898390	BANDA TIPO B-85	27.02.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2898398	BANDA TIPO B-104	27.02.2016	2PZA	F			S2446	NB	
2898419	BANDA TIPO C-75	27.02.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2898488	BANDA TIPO B-107	27.02.2016	1PZA	F			S2446	NB	
2898577	POLIFEGA PARA PVC	27.02.2016	1GLL	F			S2446	NB	
2898586	PINTURA ALTO TRAFICO AMARILLA	27.02.2016	3GLL	F			S2446	NB	
2898586	PINTURA ALTO TRAFICO AMARILLA	27.02.2016	3GLL	F			S2446	NB	

Fuente SAP Proalco Bekaert

Y aparece el historial, si el consumo es lento, no justifica lanzar la solicitud de MRP.

Figura 53. Transacción MD15 paso 7

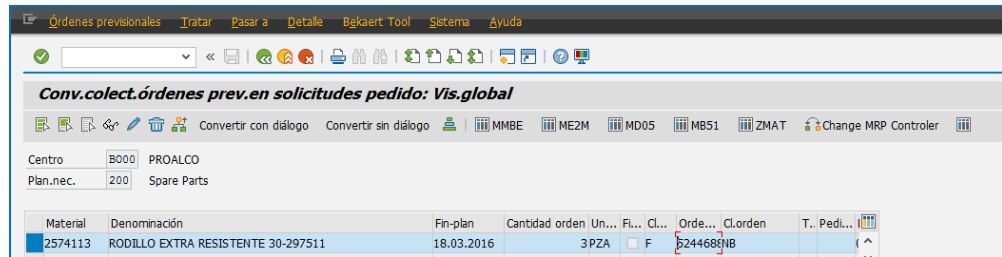
Material	Texto breve de material	Ce.	Nombre i	Texto de clase-mov.	Alm.	CMV	E Lote	Doc.mat.	Pos	Fe.contab.	Cantidad	UMB	Importe	ML	Orden	Hora	Usuario	Pedido	Referenci	
2574113	RODILLO EXTRA RESISTENTE 30-297511		BO00	PROALCO																
SM para orden	2000 261	4900528597	2	13.02.2016							2-	PZA	2.441.462,66-		80402089	02:22:18	BOC09008		345300	
EM Entrada mercancías.	2000 101	5009964373	2	29.12.2015							3	PZA	3.011.632,14			14:31:46	BOC00942	2010498480	R2533	
ANul. EM p. pedido	2000 101	5009965794	1	29.12.2015							4	PZA	4.015.509,52			21:54:15	BOC00942	2010498480	R2533	
SM para orden	2000 102	5009965791	2	29.12.2015							3-	PZA	3.011.632,14-			21:52:09	BOC00942	2010498480	R2533	
EM Entrada mercancías.	2000 101	5009283062	4	30.10.2015							3	PZA	3.479.854,04			23:52:56	BOC00942	2010492480	R2529	
SM para orden	2000 261	4903782964	6	23.10.2015							2-	PZA	1.965.055,90-		80371677	21:30:32	BOC09008		332335	
SM para orden	2000 261	4903255760	1	11.09.2015							2-	PZA	1.965.055,91-		80357774	02:06:35	BOC09008		336613	
SM para orden	2000 261	4901720842	5	08.05.2015							2-	PZA	1.965.055,90-		80317854	02:46:15	BOC09008		227493	
* Total												1-	PZA	841.267,01-						

Fuente: SAP Proalco Bekaert

Ya con estos datos se puede lanzar, modificar la cantidad o eliminar la orden previsual:

- Para modificar la cantidad damos clic en convertir con dialogo.

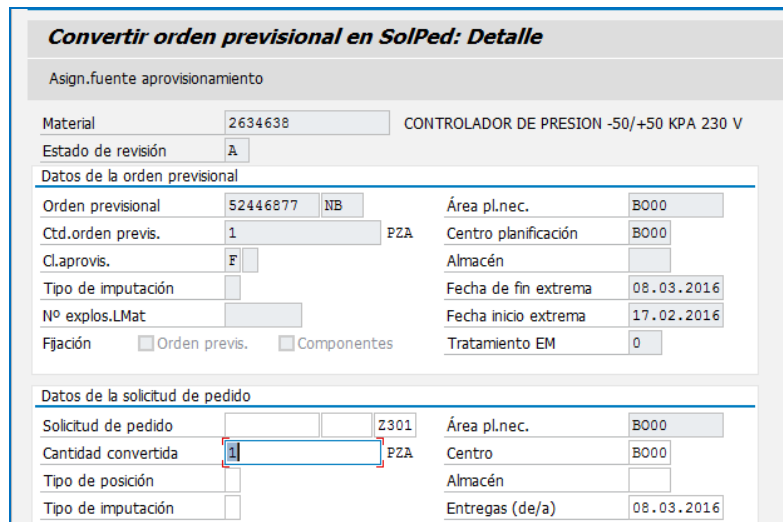
Figura 54. Transacción MD15 paso 8



Fuente: SAP Proalco Bekaert

- Sale la siguiente pantalla y se modifica en la casilla cantidad convertida puede aumentar o disminuir el pedido.

Figura 55. Transacción MD15 paso 9

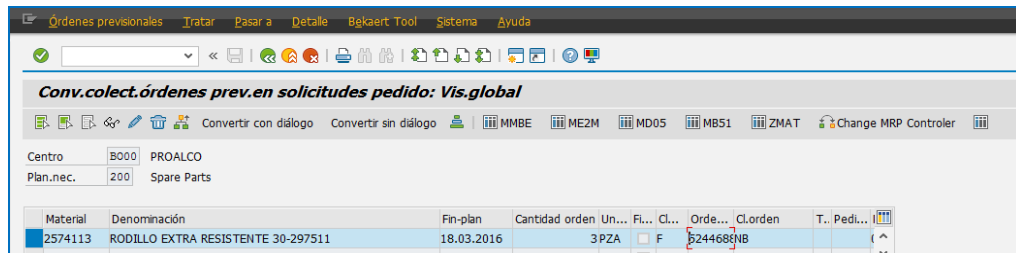


Fuente: SAP Proalco Bekaert

- Damos tecla Enter y se genera la solicitud.

Para eliminar la orden provisional se da clic en la caneca de basura.

Figura 56. Transacción MD15 paso 10



Fuente SAP Proalco Bekaert

Muestra la pantalla confirmando si se borra la provisión o no. Le damos clic en sí. Para generar la solicitud, damos clic pestaña convertir sin dialogo.

De esta manera se genera la solicitud directamente al área de Compras solamente con este procedimiento. ***Este procedimiento se realiza Ítem por Ítem de cada código identificado con punto de re-orden, cualquier error manual puede ocasionar un sobre pedido que genera un exceso de inventario.***

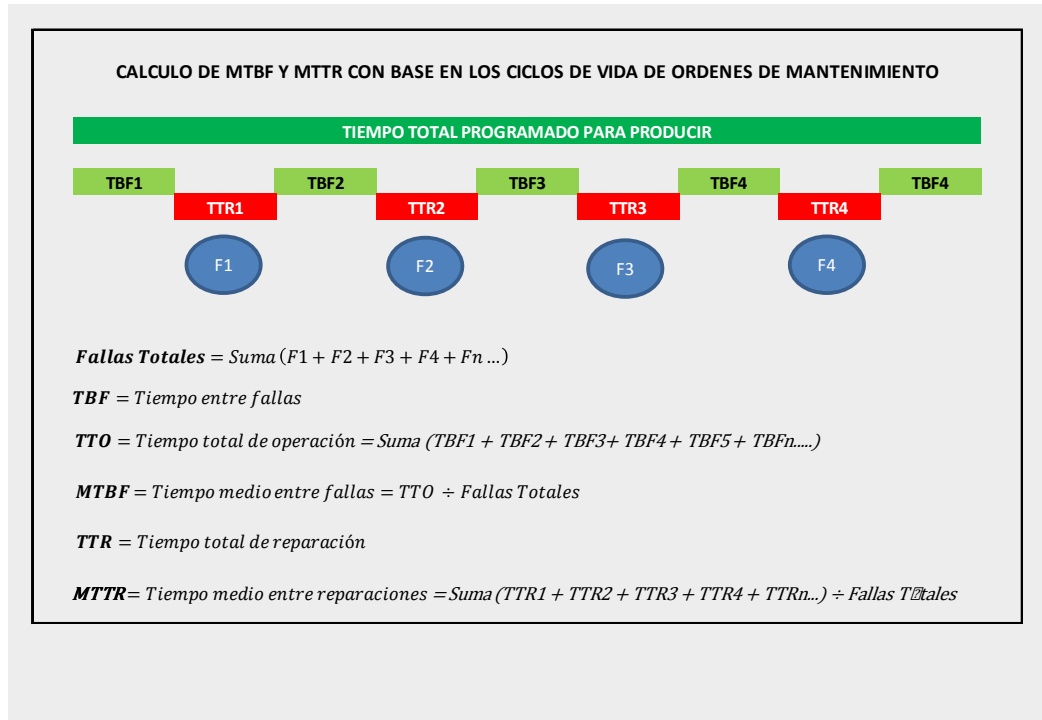
2.5 GESTION DE MANTENIMIENTO

2.5.1 Disponibilidad de equipos en Proalco Bekaert

A pesar que la disponibilidad de los equipos de la planta calculada durante los últimos tres años es del 95% promedio, utilizando el MTBF y el MTTR obtenido de la información de las ordenes de mantenimiento; existen muchos retrasos en la atención de las actividades de mantenimiento ya sea por no tener el repuesto necesario o porque no estaba identificado dentro de un plan de mantenimiento. Así mismo hay otros factores como falta de información técnica, entrenamiento y capacitación del personal, implementación de buenas prácticas de mantenimiento

y la mantenibilidad de algunos equipos antiguos como se ha explicado anteriormente.

Figura 57. Calculo de MTBF y MTTR con base en los ciclos de vidas de las órdenes de Mantenimiento.



La redundancia de equipos en la planta de básicos y terminados (Figura 23 y 35), permiten flexibilizar las órdenes de producción, pero tienen el agravante que generan muchas reprogramaciones de equipos, cambios de proceso y ajustes de calidad que aumentan los costos por no estar dentro de la ruta óptima del producto y afectan el OEE de cada área.

En el ciclo de una orden de trabajo de mantenimiento la gestión de los repuestos es determinante para atender la falla. Esto causa problemas en la producción y afecta los indicadores de mantenimiento. El personal de mantenimiento y los operarios en general manifiestan la inconformidad cuando esta situación se

presenta ya que los beneficios convencionales por dejar de producir se ven disminuidos, el impacto en los resultados generales del área de producción y por ende el cumplimiento del plan de producción atado a las ventas.

El impacto de las demoras o retrasos en la gestión de repuesto se refleja en el resultado final de los indicadores de disponibilidad de la planta especialmente en los equipos denominados cuellos de botella.

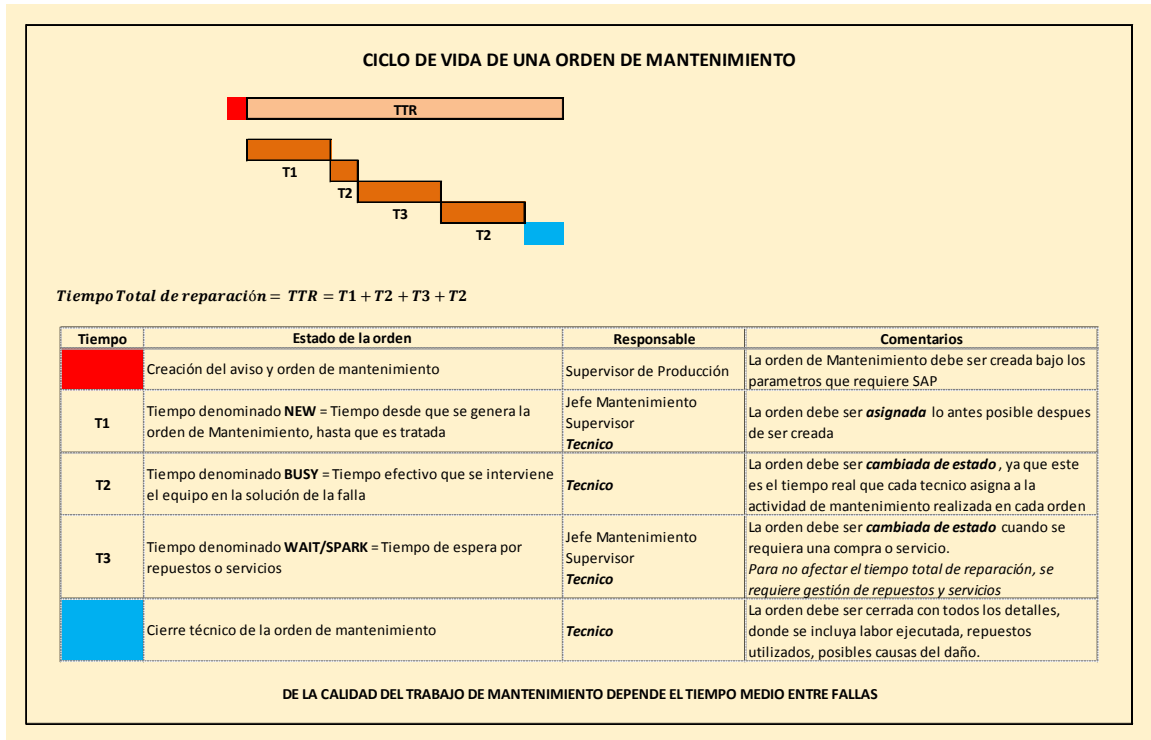
Los equipos cuellos de botella, son declarados diariamente por el área de planeación y programación de producción de acuerdo a las necesidades del área de ventas, quienes deben atender en el menor tiempo posible los pedidos de los clientes. La filosofía del cuello de botella identifica el equipo con mayor prioridad en el proceso dentro de los compromisos de producción.

Las prioridades de atención de los equipos se identifican en la orden de mantenimiento que se genera al ocurrir una falla, el técnico de mantenimiento visualiza las ordenes e identifica los equipos críticos durante su turno.

Con base en la información consignada en las órdenes de trabajo por cada técnico de mantenimiento, se generan los indicadores de disponibilidad en el módulo SAP PM. La calidad del cierre de las órdenes de trabajo es factor fundamental para el cálculo, ya que se debe ser muy preciso en el reporte de horas, actividades realizadas, repuestos utilizados e identificación de la falla.

El ciclo de vida de una orden de mantenimiento se puede observar en la *Figura 58*. Específicamente el tiempo T3 muchas veces demanda una gestión de urgencia en la consecución de repuestos y servicios de mantenimiento generalmente en la fabricación de partes de máquinas. El tiempo mínimo de llegada de repuestos comerciales está en el orden de uno a dos días por la ubicación de la planta. Los servicios contratados de fabricación o reparación de partes oscilan entre 8 y 10 días determinados por el proceso de Compra y la eficiencia del proveedor.

Figura 58. Ciclo de vida de una orden de Mantenimiento



2.5.2 Tiempos perdidos por mantenimiento

Los tiempos perdidos por mantenimiento, se obtienen a través del cálculo del tiempo de programado de producción menos el tiempo de parada por las fallas mecánicas o eléctricas que se presentan. No se tiene en cuenta el tiempo por paradas programadas por mantenimiento preventivo o correctivo programado que se ha acordado con producción según un calendario preventivo o acuerdos diarios en las reuniones de planeación de producción.

Durante los años 2014 y 2015 se obtuvieron los siguientes resultados clasificados en paradas por mantenimiento mecánico y eléctrico en toda la planta (Figura 59). Así mismo se efectuó la clasificación de paradas por proceso productivo (Figura 60)

Figura 59. Paradas de Mantenimiento por clase

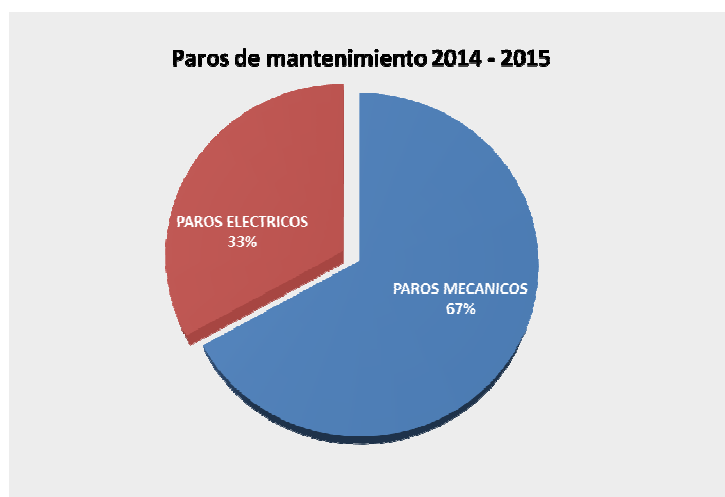
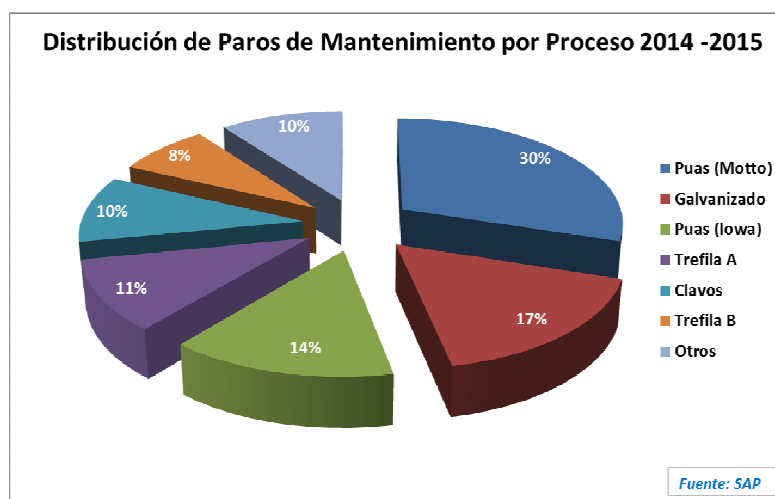


Figura 60. Distribución de paradas por Proceso Productivo



Se muestran los porcentajes de distribución por el impacto del mantenimiento mecánico (Figura 61) y mantenimiento eléctrico (Figura 62).

Figura 61. Paradas Mecánicas

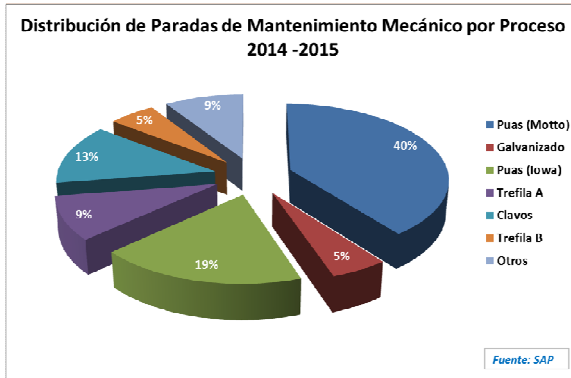
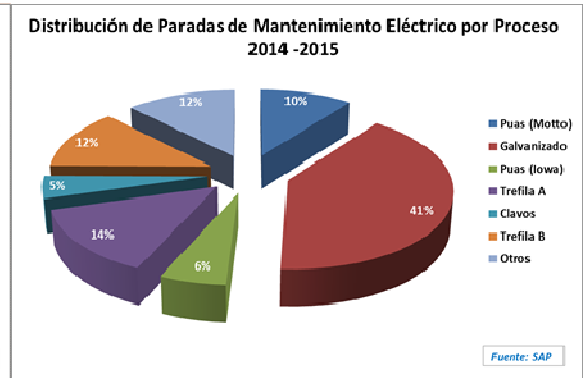


Figura 62. Paradas Eléctricas



Hay una gran oportunidad de aumentar la disponibilidad de los equipos para mejorar los resultados operacionales de la planta, a través de la elaboración de planes de mantenimiento costo efectivos que identifiquen los repuestos e insumos críticos con el menor inventario posible que solo se podrá lograr a través de la planeación y programación de mantenimiento con una estrategia que incluya herramientas y prácticas de confiabilidad.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear un modelo de análisis de repuestos basado en los conceptos de RCS para los equipos de la Planta de Producción de Proalco Bekaert

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Plantear la metodología para la identificación y evaluación del inventario de repuestos basados en RCS y RCM en Proalco
- Proponer un plan de trabajo que incluya la estructura organizacional de Mantenimiento y Almacén para la gestión de inventarios de repuestos
- Plantear las modificaciones al procedimiento interno para establecer las políticas del inventario de repuestos basados en RCS y RCM

4 JUSTIFICACION

Como se pudo evidenciar con la estadística de los años 2014 y 2015, el promedio de la indisponibilidad de equipos durante los últimos tres años por fallas de mantenimiento es del 5%. Este porcentaje de máquinas con paros de mantenimiento afecta la entrega oportuna de productos y pone en riesgo la operación ya que de acuerdo a la demanda se llegan a acuerdos comerciales que deben ser atendidos en menos de 48 horas que exigen disponibilidad prácticamente del 100%.

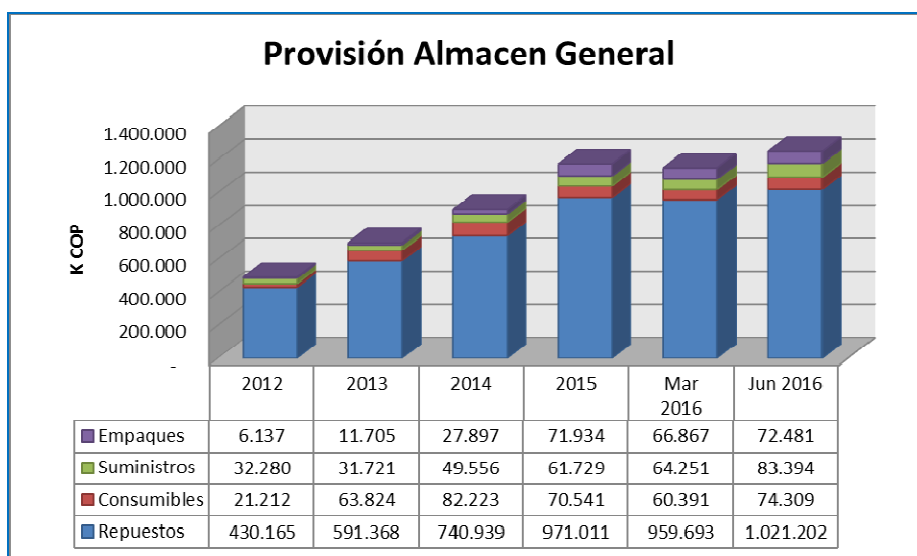
La tendencia del mercado impone tiempos de entrega de productos que muchas veces no pueden ser fabricados por que las máquinas están en mantenimiento preventivo, correctivo programado o en falla. Es aquí donde la administración de los repuestos es un factor clave para reducir el tiempo de paro de los equipos a través de una planeación de actividades de mantenimiento confiable y costo efectivo.

Como lo muestra la *Figura 41*, los inventarios continúan incrementándose y los repuestos que realmente se requieren no tienen una gestión adecuada con relación a la estrategia de mantenimiento, utilizando ineficientemente los recursos disponibles generando sobrecostos e impactos financieros significativos.

Las provisiones contables dentro del manejo financiero de la empresa en los inventarios de repuestos, consumibles, suministros y empaques castigan los resultados operacionales e impactan directamente el balance de la compañía. En la *Figura 63*, se muestra el comportamiento de los últimos cinco años, donde se puede observar que la tendencia de las provisiones va en aumento año a año producto de un exceso de inventario especialmente en ítems obsoletos o de lento movimiento. Le corresponde al ítem de repuestos una participación promedio del 82% (Tabla 1) del valor total de la provisión, lo que permite identificar una oportunidad para mejorar el flujo de caja de la empresa de manera inmediata a

través de un plan de acción para el uso, venta o disposición de los ítems con más de cinco años que no han tenido movimiento y una acción preventiva a través de la implementación de modelos de inventarios a partir de metodologías de confiabilidad de mantenimiento y gestión de repuestos para evitar estas ineficiencias administrativas.

Figura 63. Provisión Histórica Almacén general



Fuente Resumen Financiero Proalco Bekaert – 31 marzo 2016

Tabla 1. Valor Histórico y proyección de Provisiones del Almacén

Clase	Valor en KCOP a diciembre 2015	%	Valor en KCOP proyectado a junio 2016	%
Empaques	\$71.934	6%	\$72.481	6%
Suministros	\$61.729	5%	\$83.394	7%
Consumibles	\$70.541	6%	\$74.309	6%
Repuestos	\$971.011	83%	\$1.021.202	82%
Total	\$1.175.215	100%	\$1.251.386	100%

Las existencias de repuestos y los niveles de reaprovisionamiento con los parámetros establecidos y la estrategia actual en Proalco Bekaert, supera las necesidades reales de los equipos ocasionando pérdidas económicas importantes que afectan los resultados financieros de la compañía; así mismo no se puede disminuir el riesgo de paros en máquinas al no tener el componente o repuesto que realmente falla sin que se haya hecho un análisis cualitativo del comportamiento de las máquinas y los contextos operacionales de cada una de ellas dado el constante cambio de programación para atender las demandas de producto.

Una de las causas raíz de altos inventarios que no incluyen realmente los componentes que potencialmente pueden fallar y requieren planes de mantenimiento específico, fue la de cargar información en SAP con poca calidad y efectividad. En el momento de cargar información a los módulos de reaprovisionamiento de repuestos no se tuvo en cuenta ningún plan de mantenimiento, criticidad de equipos y repuestos. Por esta razón se generan repuestos obsoletos y de lento movimiento y el reaprovisionamiento no apoya la gestión del mantenimiento de equipos.

Los repuestos que van quedando almacenados año tras año no garantizan la disponibilidad requerida, ya que la bodega no cuenta con las condiciones necesarias para la conservación de repuestos e insumos.

Es necesaria una estrategia que permita aumentar la confiabilidad y mantenibilidad de los activos a un costo razonable sin desperdiciar recursos y agregando valor en pro de los resultados operacionales y financieros de la compañía.

Por esta razón se considera que un modelo de análisis de inventario cuya base se obtiene a partir de planes de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y así mismo identificando los repuestos críticos de esos planes a través de Repuestos Centrados en Confiabilidad (RCS) permitirán

una gestión de mantenimiento eficiente y confiable que asegure la continuidad de la operación de la planta de manera confiable y sostenible.

5 MARCO CONCEPTUAL

Dentro del contexto general de la presente monografía es necesario definir los principales conceptos de acuerdo a las norma “*Guía Técnica Colombiana GTC 62 – 1999-03-17 Seguridad de Funcionamiento y Calidad de Servicio. Mantenimiento. Terminología:*

5.1 MANTENIMIENTO

Conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar, o restituir un elemento a las condiciones que le permitan desarrollar su función. Equivale al término conservación. [4.2.1]

5.2 CONFIABILIDAD

Capacidad de una entidad para efectuar su función específica en unas condiciones y con un rendimiento definidos durante un periodo de tiempo determinado. Puede expresarse como la probabilidad de que funcione correctamente en las condiciones operativas de diseño durante un determinado periodo de tiempo. [2.1.4.21]

5.3 DISPONIBILIDAD

Capacidad de una entidad para desarrollar su función en un determinado momento, o durante un determinado período de tiempo, en condiciones y rendimiento definidos. Puede expresarse como la probabilidad de que un elemento pueda encontrarse disponible para su utilización en un determinado momento o durante un determinado período de tiempo. La disponibilidad de una entidad no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar. [2.1.4.25]

5.4 MANTENIBILIDAD

En unas condiciones dadas de utilización, la aptitud de un dispositivo para ser mantenido o restablecido al estado en el que pueda cumplir su función requerida, cuando el mantenimiento se cumple en las condiciones dadas, con los procedimientos y medios prescritos. [2.1.4.62]

5.5 PARADA NO PROGRAMADA

Parada debida a una interrupción no prevista de una operación de una entidad [2.1.5.19]

5.6 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Mantenimiento efectuado a una entidad cuando la avería ya se ha producido, restituyéndole a condición admisible de utilización. El mantenimiento correctivo puede, o no, estar planificado. [2.2.1.3]

5.7 MANTENIMIENTO PLANIFICADO

Organizado y efectuado con previsión y control el mantenimiento preventivo siempre se planifica, el mantenimiento correctivo, puede o no estar planificado. [2.2.1.12]

5.8 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Mantenimiento preventivo basado en el conocimiento del estado de una entidad por medición periódica o continua de algún parámetro significativo. La intervención de mantenimiento se condiciona a la detección precoz de los síntomas de la avería. [2.2.1.13]

5.9 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Mantenimiento que consiste en realizar ciertas reparaciones, o cambios de componentes o piezas según intervalos de tiempo, o según determinados criterios, prefijados para reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una entidad. Siempre se debe planificar. [2.2.1.14]

5.10 MANTENIMIENTO PROGRAMADO

Mantenimiento preventivo que se efectúa a intervalos predeterminados de tiempo, número de operaciones, recorrido, etc. Equivale al término mantenimiento rutinario y mantenimiento sistemático. [2.2.1.15]

5.11 ALMACEN:

Local en que se guardan elementos, conjuntos, recursos, piezas, materias primas y en general mercancías para su posterior distribución utilización y/o ventas. [2.3.3.1]

5.12 FECHA DE VENCIMIENTO

Tiempo que los materiales almacenados conservan inalteradas sus características. [2.3.3.2]

5.13 INVENTARIO

Lista ordenada de los elementos de valor de una empresa y sus cantidades, que se encuentran almacenadas para su posterior venta, o procesamiento. [2.3.3.2]

5.14 NIVEL MINIMO DE INVENTARIO

Límite inferior aceptado de elementos aceptados de tal forma que no afecten el flujo de proceso y los requerimientos de ventas predeterminados. [2.3.3.4]

5.15 ORDEN DE COMPRA

Documento o acto con el cual se formaliza el suministro de un bien o servicio [2.3.3.5]

5.16 REQUISICION

Pedido o notificación del compendio de cosas necesarias para realizar determinada actividades. [2.3.3.6]

5.17 RCM – MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (Reliability Centered in Maintenance)

Siendo esta una de las principales fuentes básicas de la presente monografía, haremos énfasis en la metodología y sus principios comenzando por la definición de lo que es RCM:

“Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”¹⁴

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado que puede ser aplicado a cualquier tipo de

¹⁴MOUBRAY, Jhon. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español, 2004 p.7*

instalación industrial útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.

El proceso de análisis global de RCM se resume así:

- a. Análisis de fallas funcionales, define el funcionamiento del componente de un equipo, su fallo funcional y sus efecto de falla
- b. Selección de ítems críticos, determina y analiza que componentes o sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos
- c. Decisión lógica del RCM, incluye el análisis de los ítems funcionalmente significativos (IS), para determinar la frecuencia del fallo
- d. Análisis de inspección, la inspección determina que datos son necesarios para el apoyo del análisis del RCM
- e. Resumen de los requisitos de mantenimiento, Determina la agrupación de los requisitos óptimos del nivel de mantenimiento que se practica

El RCM es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

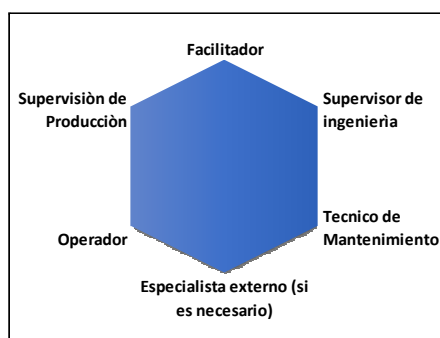
- ¿Cuál es la causa de falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Como se puede observar, estas son preguntas lógicas, de sentido común y que en la mayoría de los casos no requiere de alta tecnología para encontrar la respuesta. Las mejores respuestas estarán basadas en el conocimiento, ya sea tácito o explícito, que se tenga del equipo o sistema analizado. Requerirá si, un muy buen manejo de los datos y de la estructuración de cada respuesta, en especial, la estructuración que se haga a las dos últimas respuestas ya que corresponderán a las tareas de mantenimiento que luego irán a cargarse en el sistema de información de mantenimiento.

5.17.1 Grupo de Revisión de RCM

El grupo de trabajo típico para la revisión de RCM se muestra en la figura 54.

Figura 64. Grupo de Trabajo Típico para la revisión de RCM



Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Jhon Moubray Edición en español 2004

Una revisión RCM sobre los requerimientos de mantenimiento de cada activo fijo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico y para decir que repuestos deben tenerse en stock.

Si bien las paradas de planta cuestan dinero, también cuesta dinero el mantener existencias de productos en proceso. Hoy día los costos de mantener cualquier tipo de inventario es tan alto que una de las mayores prioridades es reducirlos al mínimo.

Por lo tanto, desde el punto de vista de mantenimiento, se debe lograr un equilibrio entre las implicaciones económicas de las fallas operacionales y:

- El costo de mantener trabajo en proceso para mitigar los efectos de las fallas o,
- El costo de hacer mantenimiento proactivo para anticiparse o prevenir las fallas

Es posible usar un derivado del proceso de RCM para optimizar los stocks de repuestos y las políticas de administración de fallas asociadas. Este derivado se basa en el hecho que la única razón para tener un stock de repuestos es minimizar o eliminar las consecuencias de la falla. La relación que existe entre repuestos y consecuencias de las fallas se articula en el tiempo que toma obtener los repuestos del proveedor. Si pudiera hacerse de manera instantánea no habría necesidad de tener ningún stock de repuestos. Pero en el mundo real adquirir repuestos toma tiempo. Esto se conoce como tiempo de reposición (lead time) y puede ser del orden de minutos, a varios meses o años. Si el repuesto no se encuentra en el almacén, el tiempo de reposición determina cuánto tiempo tomará reparar la falla, y por lo tanto la severidad de sus consecuencias. Por otro lado, tener repuestos en el almacén también cuesta dinero, con lo que se necesita lograr un balance, analizando caso por caso, entre el costo de tener un repuesto en el inventario y el costo total de no tenerlo.

El RCM no solo se ha convertido en una metodología de alta aplicación en las empresas industriales cuyos activos requieren de una alta disponibilidad y una optimización de los costos operativos, sino también para atender las mayores exigencias que cada día tenemos en los aspectos de seguridad y preservación del medio ambiente¹⁵

No obstante, no se debe entender a mantenimiento centrado en confiabilidad como el único aportante a la Confiabilidad Global del Proceso Productivo (CGPP) Debe quedar claro que existen otros factores de la CGPP que generan una disminución en la disponibilidad de las plantas y equipos tales como el humano (confiabilidad humana), la adecuada operación (confiabilidad de proceso) y la correcta adquisición y montaje de los equipos desde el proyecto (Mantenibilidad).

Adicionalmente, RCM debe incluirse como parte de las otras etapas del ciclo de vida donde su participación generará un aprendizaje mayor de los equipos, sobre sus funciones a desempeñar y sobre los posibles modos de falla. Por esto, durante las etapas de diseño detallado, adquisición, construcción y montaje, vale la pena hacer las precisiones y ajustes que correspondan, para que, una vez se dé el inicio de las operaciones, el plan de mantenimiento esté lo más acercado posible a las reales condiciones y exigencias del negocio.

5.17.2 Filosofía del RCM

Las principales claves identificadas en la metodología del RCM, son las siguientes:

- Buscar la preservación de las funciones más que la preservación de los mismos equipos por sí solos.
- Enfocarse en evitar, reducir o eliminar las consecuencias, más que en evitar las fallas.

¹⁵ORTIZ, Plata Daniel. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Guía Práctica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Bogotá 2015.*

- Orientar los esfuerzos a construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas, permitiendo algunas fallas.
- Priorizar técnicas predictivas y de condición sobre las preventivas o correctivas.
- Hacer énfasis en la búsqueda de la extensión de la vida útil del equipo.
- Resaltar el hecho de que los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla y no solo por la curva de la bañera o por vejez.
- Requerir de la disponibilidad de personas e información que permita identificar los modos de falla de los equipos y sus consecuencias, más que una alta exigencia en la disponibilidad de histórico de fallas.
- Exigir que, una vez actualizado el plan de mantenimiento, el registro de los trabajos y de las fallas se haga sistemáticamente.
- Adicionar el mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas como tipo de mantenimiento, complementario a los ya conocidos, como son el preventivo, predictivo y correctivo.
- Optimizar la disponibilidad de plantas y equipos sin descuidar la Seguridad, el Medio Ambiente, los costos y cualquier otro factor empresarial crítico.
- Desarrollar planes teniendo en cuenta condiciones ambientales, requerimientos de clientes y regulatorios, condiciones operativas y de mantenibilidad.
- Fijar tareas con base en la visión multidisciplinaria de todos aquellos que tienen una interacción directa con los equipos y el proceso productivo.
- Formular las políticas de mantenimiento por parte de los equipos multidisciplinarios cercanos a los equipos.
- Hacer partícipes a los fabricantes de los equipos pero en forma limitada.

Así mismo, las principales limitaciones del RCM son:

- Si hay problemas de diseño de los equipos, no tiene el alcance para generar los cambios de diseño, solo puede advertir de las deficiencias físicas de los equipos e instalaciones para que otro proceso se encargue de estas mejoras.
- Si los mantenimientos son efectuados de manera deficiente por falta de aptitud de las personas, no tiene el alcance para generar los planes de entrenamiento pero si puede advertir de la necesidad de una mejora en el conocimiento y destreza.
- Si los procedimientos e instructivos tienen deficiencias en su contenido o redacción, no tiene el alcance para hacer las modificaciones pertinentes, solo podría advertir de la necesidad de modificarlos para disminuir la frecuencia de las fallas por dicha causa.
- Por último, se requiere de un proceso continuo de actualizaciones y revisiones dado que en la primera vez que se implementa esta metodología no va a satisfacer 100% las necesidades. La primera versión no va a ser perfecta y muy seguramente cuando se obtenga, habrán cambiado las condiciones operacionales y/o ambientales que obligarán a realizar la revisión.

5.18 PLANES DE MANTENIMIENTO

Lo planes de mantenimiento son conjuntos de tareas necesarias en la conservación de las funciones de los equipos, con el fin de recuperarlas o compensar desgastes y parámetros de operación de diseño. Los planes de mantenimiento se pueden establecer principalmente por:

1. Manual de instrucciones suministrados por los fabricantes

2. Protocolos genéricos de acuerdo al tipo de equipo
3. Planes de mantenimiento basados en AMFE (Análisis de Modos y Efectos de Falla) basados en RCM

La calidad de los planes de mantenimiento depende de la eficacia en la identificación de las actividades que forman parte del plan y la efectividad en la ejecución de dichas actividades.

Normalmente los manuales de instrucciones de los equipos traen tablas con frecuencias establecidas por el fabricante, donde se incluyen puntos de inspección y actividades de reemplazo de partes previamente identificadas. La desventaja de este método es que no se tiene en cuenta el contexto operacional de los equipos que es muy variable y depende de muchos factores. Este método muchas veces hace cambiar partes con un ciclo de vida útil lo que lo hace costoso e ineficiente en muchos casos el mantenimiento preventivo. Las listas de repuesto sugeridas por los fabricantes, incluyen ítems que cuando se adquieren con el deseo de mantener disponible los equipos, en muchas ocasiones se vuelven obsoletos o de lento movimiento ya que como mencionamos anteriormente el contexto operacional varía del estándar para el cual fue diseñado.

Las posibles ventajas de este tipo de plan, es que se cubren ciertos requerimientos exigidos por el fabricante de los equipos en caso de requerir garantías y que el nivel de conocimiento para establecer este tipo de plan muchas veces es básico y no requiere mucho grado de especialización.

Los Planes de Mantenimiento a través de Protocolos determinan las tareas y/o actividades de mantenimiento con la agrupación de equipos genéricos o de similares características teniendo en cuenta principalmente su función y configuración sin importar la variedad de fabricantes.

Los Protocolos son los grupos de tareas resultantes para efectuar el mantenimiento preventivo asignados a un tipo de equipo.

Este tipo de plan de mantenimiento, requiere más experticia en la elaboración y mejora la efectividad en la identificación de las tareas. Se debe tener particular cuidado con las diferentes referencias de los repuestos asignados a equipos similares, ya que se debe diferenciar muy bien cuál es el equipo que lo utiliza y la gestión del repuesto correspondiente.

Para Bekaert quien tiene una sección de ingeniería, fabricación y suministro de equipos, aplican en gran proporción estos dos conceptos de planes de mantenimiento.

Como está concebido el módulo PM de SAP en Bekaert, es muy fácil encontrar los catálogos de las partes de los equipos fabricados por Bekaert y a su vez es posible identificar el componente que falla al crear y cerrar las ordenes de mantenimiento. El gran problema radica en que no todos los equipos de Proalco son suministrados por Bekaert. Como se mencionó anteriormente, existe una gran variedad de marcas y configuraciones que si bien se pueden agrupar por tipo de equipo, solamente se han podido implementar tareas genéricas básicas, normalmente de inspección y pequeños ajustes.

Existen plantas 100% Bekaert en Asia especialmente, donde los planes de mantenimiento se hacen por medio de esta metodología sin ningún inconveniente y teniendo una disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad con índices de clase mundial.

Los planes de mantenimiento basados en RCM aunque son muy elaborados y requieren de mucho conocimiento son muy eficientes y tienen muchas ventajas frente a los otros dos modelos planteados anteriormente.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.

5.19 ADMINISTRACION DE INVENTARIOS

Es indudable que una de las preocupaciones de los responsables de mantenimiento será el dimensionar y seleccionar adecuadamente su stock de repuesto, cuidando lo que desea tener a su disposición inmediata.¹⁶

Al seleccionar el repuesto que debemos mantener en stock en una planta industrial, nos encontramos con un conflicto de intereses:

- Desde el punto de vista técnico, cuantas más piezas de repuesto se tengan en el almacén más se asegura la disponibilidad de los equipos.
- Desde el punto de vista económico, cuantas menos piezas haya almacenadas, menor capital inmovilizado se tendrá.

Por ello, se deben buscar fórmulas que nos permitan asegurar la disponibilidad de los equipos con el mismo capital inmovilizado posible. A continuación se describe un método para determinar el repuesto que debe permanecer en planta con unos criterios que tratan de buscar un compromiso entre lo estrictamente financiero y lo estrictamente técnico.

5.19.1 Tipos de repuesto

Para ayudarnos en la identificación de las piezas, podemos agrupar el repuesto desde varios puntos de vista: en función de su responsabilidad dentro del equipo y en función de la necesidad de mantenerlo en stock permanente en planta.

5.19.1.1 Responsabilidad dentro del equipo. Podemos dividir el repuesto en 6 categorías:

- Piezas sometidas a desgaste

¹⁶<https://www.xing.com/communities/posts/gestion-del-repuesto-o-que-debo-tener-en-el-almacen-1004888082>

A este grupo aquellos elementos que unen piezas fijas y móviles, o aquellas partes en contacto con fluidos, como cojinetes, casquillos, retenes, juntas. Son piezas sometidas a desgaste y a abrasión. En este grupo también se puede incluir juntas, retenes, rodetes y tuberías sujetas a fatiga, corrosión y cavitación.

- Consumibles

Son aquellos elementos de duración inferior a un año, con una vida fácilmente predecible, de bajo costo, que generalmente se sustituyen sin esperar a que den síntomas de mal estado. Son filtros y lubricantes. Su fallo y su desatención pueden provocar graves averías.

- Elementos de regulación y mando

Son aquellos elementos cuya misión es controlar los procesos y el funcionamiento de la instalación: válvulas, muelles, cigüeñales, etc. Son elementos que a pesar de no estar sometidos a condiciones desfavorables de funcionamiento tienen una importancia capital dentro del equipo. Su fallo frecuente es por fatiga.

- Piezas móviles

Son aquellas destinadas a transmitir movimiento. Son engranajes, ejes, correas, cadenas, reductores, etc. Su fallo habitual es por fatiga.

- Componentes electrónicos (instrumentación)

A pesar de su altísima fiabilidad, un problema en ellos suele suponer una parada del equipo. Su fallo habitual es por calentamiento, cortocircuito o sobretensión, y generalmente se producen al someter al equipo a unas condiciones de trabajo diferentes para las que fueron diseñados. Un ejemplo habitual es un fallo en otro elemento que provoca un funcionamiento anormal del equipo; otro puede ser trabajar en condiciones atmosféricas extremas de calor, frío, humedad o polvo.

- Piezas estructurales

Difícilmente fallan, al estar trabajando en condiciones muy por debajo de sus capacidades. Son bastidores, soportes, basamentos, etc.

5.19.1.2 Necesidad de stock en planta

Desde este punto de vista, se puede dividir las piezas en tres categorías:

- Piezas que es necesario mantener en stock en planta
- Piezas que es necesario tener localizadas, con proveedor, teléfono y plazo de entrega.
- Piezas que no es necesario prever, pues un fallo en ellas supondría la sustitución completa del equipo.

5.19.2 Aspectos a tener en cuenta en la selección del repuesto

Hay cuatro aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el stock de repuesto: la criticidad de los equipos en que están situados, su consumo

5.19.2.1 Criticidad del equipo

Antes de acometer la labor de fijar los stocks de repuesto, es necesario analizar los equipos y determinar su importancia. Esto se denomina Análisis de Criticidad, y establece tres categorías para los diferentes equipos de la planta: A, o equipos críticos; B, o equipos importantes; y C, o equipos prescindibles.

Lógicamente, el almacén de repuesto estará formado básicamente por componentes de equipos A, y en menor medida, por componentes de equipos B y C

5.19.2.2 Consumo

Tras el análisis del histórico de averías, o de la lista de elementos adquiridos en periodos anteriores (uno o dos años), puede determinarse que elementos se consumen habitualmente. Todos aquellos elementos que se consuman

habitualmente y que sean de bajo coste deben considerarse como firmes candidatos a pertenecer a la lista de repuesto mínimo. Así, los elementos de bombas que no son críticas pero que frecuentemente se averían, deberían estar en stock (retenes, rodetes, cierres, etc.). También, aquellos consumibles de cambio frecuente (aceites, filtros) deberían considerarse. Este análisis debe combinarse con los planes de mantenimiento elaborados con RCM para que no se generen inventarios innecesarios.

5.19.2.3 Plazo de aprovisionamiento

Algunas piezas se encuentran en stock permanente en proveedores cercanos a la planta. Otras, en cambio, se fabrican bajo pedido, por lo que su disponibilidad no es inmediata, e incluso, su entrega puede demorarse meses.

Aquellas piezas que pertenezcan a equipos críticos cuya entrega no sea inmediata, deberían integrar el almacén de repuesto. Aquellas piezas que aún no pertenecientes a equipos A o críticos, puedan suponer que un equipo B permanezca largo tiempo fuera de servicio deben considerarse igualmente en esa lista.

5.19.2.4 Costo de la pieza

Puesto que se trata de tener un almacén con el menos coste posible, el precio de las piezas formará parte de la decisión sobre el stock de las mismas. Aquellas piezas de gran precio (grandes ejes, coronas de gran tamaño, equipos muy especiales) no deberían stockearse, y en cambio, deberían estar sujetas a un sistema de mantenimiento predictivo eficaz. El costo es, pues, un aspecto fundamental.

5.19.3 Proceso a seguir para la elaboración del listado de repuestos

1.- Seleccionar el equipo crítico

2.- Seleccionar el repuesto crítico de esos equipos

3.- Seleccionar el repuesto de gran consumo

4.- Seleccionar las piezas con largo tiempo de aprovisionamiento

5.- Estudiar en la lista elaborada hasta ese momento todo lo que sobrepase un precio determinado (por ejemplo, 1000 Euros) tratando de eliminar todas aquellas cuyo fallo sea previsible y no supongan un gran trastorno.

5.19.4 Piezas de repuesto habituales

De manera genérica, las piezas que suelen encontrarse en un almacén de repuesto son las que se indican a continuación. Cada planta, además, debería contar con el repuesto específico que corresponda.

5.19.5 Optimización del almacén de repuestos

5.19.5.1 Optimización en la fase de diseño

De manera genérica, en la fase de diseño es posible minimizar el stock de repuesto de la siguiente forma:

- Eliminando componentes. Los diseños robustos y con pocas piezas son preferibles. Esto es especialmente válido para la instrumentación
- Estandarización. Todos los componentes de función similar deben ser exactamente iguales
- Evitar piezas a medida. Debe tratar de utilizarse en la fase de diseño solo piezas standard

5.19.5.2 Piezas en depósito

Es posible pactar con determinados proveedores la creación de un depósito de materiales en la propia planta, pero cuyo inmovilizado corra por cuenta del proveedor. Esto es especialmente válido para la instrumentación, para las piezas de ferretería industrial, y para la neumática

5.19.5.3 El sistema de mantenimiento

Un buen sistema de mantenimiento preventivo tendrá un consumo de piezas de segundo nivel (rodamientos, juntas, retenes) y muy poco de primer nivel (ejes, motores, bombas, etc.).

6 IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL INVENTARIO DE REPUESTOS BASADOS EN RCS Y RCM

Los avances tecnológicos generaron y siguen generando cambios profundos en la industria. Estos cambios impactan tanto en las distintas etapas de la cadena de valor, como en las áreas responsables de la gestión de los tres tipos de activos que dan soporte a esta cadena de valor: activos financieros, humanos, y físicos. Sin embargo, es posible que ningún área haya atravesado más cambios que aquella responsable de la gestión de activos físicos. Cada vez más las maquinas hacen trabajos que solían ser hechos por humanos. El incremento en el grado de automatización implica que ahora tenemos muchos más activos que mantener. Esta mayor dependencia de los activos físicos hace que las consecuencias del mal funcionamiento de los equipos no solo interfieran con la producción y con la capacidad de cumplir con nuestros clientes, sino también con nuestra seguridad y el medio ambiente. A su vez, el incremento en la complejidad de los equipos hace que aumente el número y variedad de fallas posibles, y que las consecuencias de estas fallas sean más difíciles de prever. Por otra parte, gracias a la necesidad de eliminar desperdicios e incrementar la flexibilidad y la velocidad de respuesta, las organizaciones han adoptado sistemas de producción con muy bajos niveles de producción en proceso que hacen que las fallas impacten directamente en la calidad de servicio al cliente. Las paradas prolongadas de los procesos de manufactura ya no generan una disminución de los stocks intermedios (lo que en principio pasaría inadvertido para los clientes), sino que generan retrasos reales en las fechas de entrega.¹⁷

¹⁷[http://www.mantenimientoplanificado.com/ARTICULOS%20RECAMBIOS/Ariel%20Zylberberg/Repuestos%20Basados%20en%20Riesgo%20-%20Introduccion%20\(2\).pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/ARTICULOS%20RECAMBIOS/Ariel%20Zylberberg/Repuestos%20Basados%20en%20Riesgo%20-%20Introduccion%20(2).pdf)
xing.com/communities/posts/gestion-del-repuesto-o-que-debo-tener-en-el-almacen-1004888082

Cada vez más nuestro bienestar (o malestar) depende del estándar al cual mantengamos nuestros equipos.

A su vez, la sociedad es cada vez más intolerante con aquellas empresas que ponen en riesgo la seguridad de las personas o contaminan el medio ambiente. Esto se refleja en leyes cada vez más duras, tendientes a hacer penalmente responsables a los altos mandos de la organización por accidentes ocurridos debido a la mala operación o mantenimiento de sus equipos, lo que obliga a la gerencia a implementar procesos auditables y defendibles para identificar las formas seguras de operar y mantener sus activos. No solo porque la conciencia profesional así lo demanda, sino también por el riesgo personal que implica no hacerlo.

6.1 ¿CUÁL ES EL IMPACTO EN LOS ALMACENES DE REPUESTOS?

Si preguntáramos a cualquier persona que trabaja en una organización industrial porque tenemos repuestos en nuestros almacenes, recibiríamos respuestas diversas:

- *Porque la planta se para si no hay repuestos disponibles*
- *Porque debemos asegurar una alta disponibilidad*
- *Porque conseguir repuestos lleva mucho tiempo...*

En el presente contexto, entendemos que el objetivo fundamental de nuestros almacenes (bodegas) de repuestos es dar soporte a las tareas de mantenimiento, tanto a aquellas tareas planeadas como aquellas no planeadas. Esta definición pone el énfasis de nuestras políticas de inventario en el entendimiento del origen de la demanda de repuestos: mantenimiento y operaciones. Muchas técnicas tradicionalmente utilizadas para optimizar las tenencias de inventarios de repuestos fracasan justamente por olvidar al mantenimiento y las operaciones, origen de la demanda de repuestos. Esto no es extraño dado que justamente muchas de estas técnicas tradicionales, como el EOQ (Lote económica de

compra) o el nivel de servicio, se desarrollaron no para el manejo de inventarios de repuestos de ingeniería, sino para el manejo de stocks de producción. El error de tratar de optimizar los inventarios de repuestos con herramientas derivadas de los inventarios de producción puede no ser tan grave si nuestra empresa viviera en el contexto de 1950. Hoy la realidad es otra...

6.2 EL MUNDO DE LOS REPUESTOS INDUSTRIALES

Los distintos cambios de contexto por los que ha atravesado la industria, y particularmente el sector de mantenimiento, han tenido un efecto importante en el inventario de repuestos. El aumento de la automatización industrial y el incremento de la complejidad de los activos físicos hace que el número y la variedad de fallas posibles haya aumentado aceleradamente en los últimos años, por lo que a la par ha aumentado el número de repuestos necesarios para reparar esas fallas. A su vez, como la producción depende cada vez más del correcto funcionamiento de activos físicos, las consecuencias de la indisponibilidad de estos activos son cada vez peores, por lo que la indisponibilidad de planta por espera de repuestos se considera inadmisibles. Esto genera una fuerte presión por aumentar nuestros niveles de inventario de repuestos. La combinación de estos dos factores ha generado un aumento alarmante en el valor del stock de repuestos. De representar un costo inmovilizado prácticamente insignificante, con algunos cientos de ítems, se ha transformado en una importantísima inversión de capital, muchas veces de varios millones de dólares repartidos en decenas de miles de ítems, ¡muchos de los cuales no serán utilizados en toda la historia de la planta! Esto ha despertado el interés de la gerencia por reducir este capital inmovilizado, adoptando en muchos casos políticas irracionales ("todo repuesto no utilizado durante 2 años o más es retirado de stock"), acarreado en muchos casos grandes pérdidas económicas por el lucro cesante de no tener los repuestos disponibles cuando son requeridos. Como si esto fuera poco, la tendencia de la industria a adoptar métodos de producción just in time, y la tendencia a abandonar el mantenimiento preventivo para adoptar estrategias de mantenimiento predictivo

(o "mantenimiento a condición"), han dificultado aún más la determinación de políticas de repuesto adecuadas.

6.3 EL CAMINO A SEGUIR

Se necesita contar con un sistema racional y defendible que nos permita determinar nuestros requerimientos de repuestos directamente a partir de nuestros requerimientos de mantenimiento. El proceso RBS (Risk-based Spares, Repuestos Basados en Riesgo) consta de cuatro (4) preguntas básicas, que contestadas correctamente permiten obtener las políticas de repuestos adecuadas para cualquier activo físico. El análisis es especialmente importante para aquellos repuestos estratégicos, críticos, de baja rotación y alto costo unitario. Las cuatro preguntas básicas del proceso RBS se resumen a continuación.

6.3.1 ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del activo físico?

Antes de determinar las políticas de inventario, debemos asegurarnos que las estrategias de mantenimiento estén correctamente fijadas, preferentemente mediante alguna técnica formal como RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), FMEA (Análisis de Modos de Falla y Efectos), u otras. Es clave que toda persona que forma parte del área de gestión de activos entienda cuáles son las bases que rigen la determinación de las estrategias de mantenimiento. El grupo encargado de fijar las políticas de repuestos para un activo físico determinado debe contar al comenzar el análisis con el conjunto de tareas de mantenimiento que se aplican a ese equipo, dado que ellas constituyen el punto de partida de la revisión de inventarios. Ninguna política de repuestos puede mejorar una política de mantenimiento mal fijada. Es por esto que antes de comenzar con una revisión de las políticas de inventario debemos asegurarnos que los requerimientos de mantenimiento hayan sido completamente determinados.

A nadie le gusta que los vidrios de su oficina estén rotos. Entonces, podríamos decir que contar con el vidrio de la ventana roto es un posible "estado de falla" que

busca eliminar. Una de las posibles causas por las cuales el vidrio puede romperse es que sea golpeado por una piedra. Ahora... qué pasaría si un "especialista" en mantenimiento dice que para evitar que nuestro vidrio se rompa, ¿debemos cambiarlo preventivamente cada 5 años? ¿Es buena la estrategia? ¡NO! La probabilidad de que el vidrio se rompa no depende de la antigüedad del mismo, por lo que la política de mantenimiento sugerida es equivocada. Sin embargo, si la empresa adopta esta tarea de mantenimiento, no hay nada que pueda hacer el almacén de repuestos para que esta estrategia de mantenimiento mal fijada sea mejor... a lo sumo, va a estar entregando vidrios de repuestos en tiempo y forma para que pueda cumplirse con el (equivocado) cambio preventivo de los vidrios.

Como se muestra en el ejemplo, para determinar adecuadamente los niveles de inventario de repuestos debemos tener un entendimiento claro y compartido sobre los principios que gobiernan las fallas y su adecuado tratamiento. En el proceso RBS, a partir de las tareas de mantenimiento se debe identificar el conjunto de repuestos necesarios para cumplir con estas tareas. Esta identificación debe ser inequívoca, indicándose el código y una breve descripción de cada repuesto.

6.3.2 ¿Qué pasa si el repuesto no está disponible cuando es requerido?

Una vez determinados los requerimientos de mantenimiento (preferentemente mediante alguna técnica formal como RCM) e identificados los repuestos necesarios para cumplir con estos requerimientos de mantenimiento, se debe describir qué pasa si el repuesto no está disponible cuando es requerido. A esto lo denominamos el "efecto del quiebre de stock", o "efecto del faltante". El "efecto del quiebre de stock" es una breve descripción de que es lo que pasaría si el repuesto no estuviera disponible cuando es requerido. La determinación de los niveles adecuados de repuestos es un balance entre el "costo" de tener el repuesto, y el "costo" de no tenerlo. Este "costo" de no tener el repuesto - costo concebido en un sentido amplio, incluyendo no solo el riesgo económico sino también el riesgo sobre la seguridad, el medio ambiente, la calidad de servicio, etc. - debe quedar

reflejado en la descripción del efecto del faltante. Este debe dar una idea de que tan grave es (o sería, de producirse) el quiebre del stock (detención de la producción?, necesidad de tercerizar la producción?, re trabajos?, desperdicios?, etc.), lo que a su vez da una idea de "que tanto esfuerzo" debe hacerse por evitar este efecto del faltante?. Este "esfuerzo" por evitar el efecto del faltante se traduciría luego en políticas de repuestos específicas, pero para ello es necesario primero haber descrito correctamente el efecto del faltante.

Por ejemplo, al analizar el número de bombas de repuestos que deben mantenerse en una instalación, el efecto del faltante podría listarse como "Se detiene la producción hasta que se consiga una bomba del proveedor. En plazo de entrega normal es de 120 días, pero se considera que en emergencia puede llegar a conseguirse un repuesto en un plazo de 50 días, durante el cual se debería tercerizar la producción".

6.3.3 ¿Cuál debe ser el objetivo de la política de repuestos?

Para cada repuesto (o grupo de repuestos) debe determinarse cuál es el criterio u objetivo en base al cual la decisión respecto a la política de inventarios debe ser tomada. Podríamos estar tentados a decir que siempre el criterio que se debe seguir al momento de fijar las políticas de inventario es el de "lograr un nivel de servicio mínimo aceptable" (por ejemplo, 95%), y luego determinar que niveles de inventario se necesita para lograr ese nivel de servicio en todos nuestros repuestos.

Si bien este es un cálculo sencillo, es equivocado como forma de fijar niveles de stock de repuestos, dado que no tiene en cuenta la consecuencia en planta del quiebre de stock (el "faltante"). Es posible que para algunos repuestos un nivel de servicio del 95% sea demasiado alto, mientras que para otros sea demasiado bajo... Entonces, se tiene que entender mejor la forma en la que cada repuesto importa antes de poder determinar el criterio que ha de determinar las políticas de repuestos.

¿De qué formas puede importar tener o no tener un repuesto? Básicamente, de la misma forma que puede importar una falla: impactos sobre la seguridad, sobre el medio ambiente, impactos económicos, o incrementando la vulnerabilidad frente a futuras fallas. Esta clasificación, utilizada tanto por el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) como por otras técnicas (ej. *repuestos centrados en confiabilidad o Reliability Centered Spares*), debe hacerse para cada repuesto para poder determinar el objetivo de la política de stock. De la misma forma que el mantenimiento de tercera generación nos enseña que “no nos importa la falla... nos importa la consecuencia de la falla”, las técnicas modernas de gestión de repuestos nos dicen que “no nos importa el quiebre de stock... nos importa la consecuencia del quiebre de stock”, y es en base a esta consecuencia que se debe determinar el objetivo de la política de repuestos.

El cojinete de la turbina de gas en una empresa de fertilizantes falla en promedio una vez cada 5 años. Un revisión de las políticas de mantenimiento arroja que, en este contexto, ningún mantenimiento proactivo es adecuado, por lo que la falla del cojinete se maneja mediante mantenimiento correctivo (“a la falla”). En base a esto, el grupo encargado de la revisión de repuestos determino que: (a) si no se pueden cumplir con las estrategias de mantenimiento “la turbina permanecerá detenida durante el tiempo que lleve conseguir un repuesto del proveedor, tiempo que se estima en unas 3 semanas, a un costo de 1.500 USD por hora de detención”. Entonces, la consecuencia asociada con este incumplimiento es (b) ECONOMICA, por lo que el criterio a aplicar para determinar la política de repuestos es el de “minimizar el costo total a lo largo de la vida del activo”. Es decir, elegir almacenar la cantidad de repuestos que hagan que el beneficio económico de la empresa sea máximo.

6.3.4 ¿Cuál es la política de inventarios que permite cumplir con ese objetivo a mínimo costo?

Una vez determinado el objetivo de la política de inventarios para el repuesto que se está analizando (maximizar disponibilidad, minimizar tasa de faltantes, etc.), debemos traducir este objetivo en una política de repuestos concreta (¿necesitamos el repuesto? Y si es así, ¿cuantos necesitamos?). En esta etapa debe analizarse si puede cumplirse con el objetivo propuesto sin necesidad de mantener repuestos en almacén, y en caso de que la respuesta a esta pregunta sea negativa debe determinarse qué nivel de inventario es requerido. Por ejemplo, el impulsor de una bomba centrífuga utilizada para suministrar aceite al proceso, está sujeto a una estrategia de sustitución cíclica (o mantenimiento preventivo), siendo reemplazado una vez cada 4 años. En base a esto, la empresa ha decidido que no es necesario almacenar este repuesto dado que puede comprarlo antes de que sea requerido: si el plazo de entrega es de 6 meses (en el peor de 5 los casos), pidiendo el repuesto 3,5 años después del último cambio preventivo nos aseguramos que el repuesto va a estar disponible para el cambio preventivo siguiente. Si no puede anticiparse el requerimiento del repuesto, entonces se necesita contar con herramientas matemáticas (**ver software de repuestos en www.repuestoscriticos.com.ar**) que ayuden a determinar que cantidad de repuestos son necesarios para cumplir con el objetivo fijado en la pregunta 3. Es también en esta etapa donde se evalúan las opciones de tercerizar la tenencia del repuesto, si existen estas opciones.

6.4 Implementación del proceso

En los últimos años se ha incrementado la tendencia a utilizar enfoques participativos para la implementación de cambios organizacionales. Estos enfoques tienden a ir en contra de la clasificación del personal entre los que "piensan" y los que "hacen".

Este cambio de enfoque deriva de:

- La necesidad de mayor validez técnica de las decisiones. Suele ser cierto eso de que, en ciertos aspectos, "nadie sabe más de una tarea que la persona que la hace". Muchos cambios impulsados de "arriba hacia abajo" mueren al llegar al nivel de planta por no ser técnicamente válidos.
- La necesidad de mayor "compra" de las decisiones. Los cambios son más probables de perdurar en el tiempo si los que deben realizar las tareas entienden las consecuencias de no hacerlas correctamente, y si han participado en el proceso de toma de decisiones.

La implementación del "análisis de repuestos" está alineada con este enfoque reconoce que nadie sabe por sí solo todo lo que hay que saber para tomar la decisión de qué y cuántos repuestos almacenar, por lo que esta información debe ser recopilada de entre un grupo de personas que en conjunto puedan proveer la información requerida. El proceso asume que las preguntas deben ser hechas a aquellos que estén en mejor posición para contestarlas adecuadamente. En general, esto incluye personal de mantenimiento, operaciones, logística / almacenes / compras, proveedores, finanzas, así como responsables de seguridad y medio ambiente.

Todo el proceso es coordinado por un especialista en el proceso Risk-Based Spares, adecuadamente formado, denominado facilitador de RBS, que debe ser un empleado a tiempo completo de la organización, responsable en gran medida del éxito en la implementación de la técnica.

Los dueños de los activos, responsables últimos de la performance de sus equipos, deben entender el proceso utilizado para determinar las políticas de inventario, y deben asegurarse que las decisiones sean sensatas y defendibles, a través de una auditoría formal de los resultados obtenidos.

6.5 RCS - REPUESTOS BASADOS EN CONFIABILIDAD (Reliability Centered Spares)

El mantenimiento es planteado sobre los requerimientos de cada ítem de los equipos en su propio contexto operacional. El resultado es el uso generalizado de equipos de monitoreo de condición para detectar problemas antes que ocurra la falla, tanto el reconocimiento que en algunos casos, simplemente no es costo-efectivo hacer algo para prevenir la falla.

Sin embargo, si la función del inventario de repuestos, es apoyar al mantenimiento, debemos asegurarnos que las bodegas de repuestos respondan a los cambios en las políticas de mantenimiento

Se necesita un método auditable para asegurar que el inventario respalda totalmente a las operaciones y mantenimiento. Este nuevo método es una extensión del mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, para cubrir repuestos y servicios de almacenes.

El RCS, consiste en hacer una serie de preguntas, comenzando con los modos en los que el equipo pueda fallar, pasando por los efectos de la falla y los efectos de un faltante, para establecer la política de stock para cada repuesto.

Las cinco preguntas básicas en la metodología RCS son:

- 1. ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del equipo?***
- 2. ¿Qué ocurre si no se dispone del repuesto? Cinco categorías de consecuencias (Ocultas – riesgo Incrementado, Seguridad, Medio Ambiente, Operacionales, No operacionales)***
- 3. ¿Es posible predecir la necesidad del repuesto?***
- 4. ¿Qué inventario del repuesto es necesario?***
- 5. ¿Qué ocurre si los requerimientos de mantenimiento no pueden ser cumplidos?***

El beneficio inmediato y más evidente de aplicar RCS a repuestos críticos es que los niveles de stock parten directamente de los requerimientos de mantenimiento y operaciones.

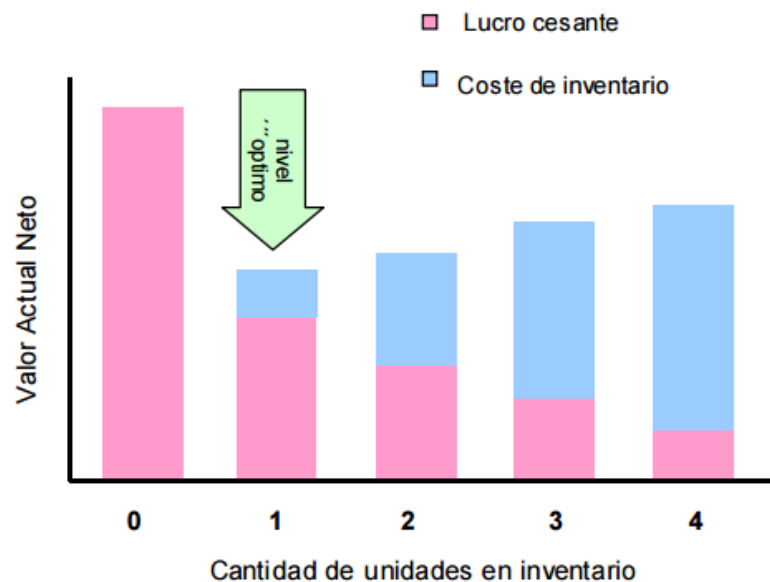
Es claro que dentro de las responsabilidades de cualquier organización industrial está el garantizar que la producción puede llevarse a cabo dentro de las fechas que demanda el mercado, con productos que estén de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos. Para cumplir con este reto, las empresas tienen que anticiparse a los posibles problemas que pudieran ocurrir con los equipos industriales y programar un plan de mantenimiento adecuado a la fiabilidad con la que se comportan los distintos elementos del sistema productivo. Sin embargo, ¿cómo puede ser fiable un plan de mantenimiento si no se tiene los repuestos necesarios para realizar una determinada tarea? ¿De qué nos sirve saber lo que tenemos que hacer, si en un momento determinado no podemos hacerlo? En principio parecería simple la respuesta y de hecho existen muchas técnicas para determinar niveles adecuados de inventarios, pero el caso al que tratamos tiene una complejidad adicional que lo hace distinto y que complica seriamente la decisión: artículos de un alto valor unitario y una demanda muy baja, de menos de una unidad al año, pudiendo llegar incluso a no ser demandado en toda la vida útil del equipo. ¿Cómo saber si debemos invertir en ese artículo que cuesta más de, digamos \$100.000.000.00, y que puede que no se use nunca durante la vida útil de la instalación?

Para poder responder a la pregunta, se debe primero identificar cuáles son los factores que pueden afectar nuestra decisión, para luego ponerlos en la balanza y decidir. La lógica de nuestro cálculo pasa por encontrar dos grandes costos; por un lado los costos derivados de mantener una cantidad determinada del artículo en nuestro inventario (costo de compra, mantenimiento en inventario, tasa de descuento, etc.); y por otro el costo del lucro cesante producido por no contar con el repuesto en cuestión en el caso en el que se hubiera producido un fallo que lo

requiriese (evidentemente los costos deben ser calculados en horizonte de tiempo razonablemente largo como por ejemplo la vida útil del equipo). *Figura 65*

Las combinaciones que se produzcan de estos dos grandes costes para cada nivel de inventario, dibujarán una curva de coste total para cada escenario, permitiéndonos elegir aquel coste total menor. Esto nos permitirá tomar una decisión que sea a la vez eficiente y que tenga el menor costo posible.

Figura 65. Lucro Cesante vs. Costo de inventario



Fuente: www.ellmann.net

Evidentemente contar con un programa de mantenimiento, como ejemplo uno basado en RCM, nos proporciona actividades concretas a realizar como tareas de predictivo, preventivo o correctivo así como también tareas de “búsqueda de fallos”.

Para ejecutar estas tareas necesitaremos los repuestos asociados a los modos de fallo en cantidad suficiente para tener un resultado coste-eficiente. Si por un

momento pensamos en una tarea de mantenimiento predictivo en la cual se ha detectado el punto de fallo potencial. ¿Qué pasaría si no tuvieramos el repuesto necesario para reparar el equipo, y el tiempo de reposición es mayor que el tiempo restante hasta que se llega al fallo funcional? ¿De qué habría valido la realización de una tarea de predictivo? Este trabajo puede incluir: mantener en inventario artículos que no existían en las listas y que sin embargo se muestran como necesarios; artículos que existían en una cantidad mayor a la necesaria (y aquí se presentan dos opciones: vender las unidades sobrantes o mantenerlas reduciendo los puntos de pedido. Esta decisión requiere un estudio detallado, el cual queda más allá del alcance de la presente monografía); y por último artículos que están correctamente dimensionados y que luego de nuestros cálculos refrendamos.

Gestionando el Riesgo a veces se pueden presentar situaciones en las que tengamos que tomar una decisión que puede implicar operar en situaciones de riesgo incrementado. Por ejemplo un dispositivo de protección que ha fallado y que no dispone de repuesto en el almacén. La empresa tendrá que tomar una decisión entre parar la instalación o plantearse alguna alternativa viable, normalmente sustituyendo el proceso de control automático por uno manual bajo condiciones seguras. *¿Cómo saber que se ha tomado las precauciones adecuadas? ¿Cuál debería ser el nivel de inventario para evitar la ocurrencia de estas situaciones?*

Estas preguntas pueden ser respondidas con claridad siguiendo los pasos que ofrece la metodología del RCS. Otro ejemplo podría estar asociado a posibles grandes pérdidas generadas por la indisponibilidad de un repuesto, provocando serios daños a la sostenibilidad del negocio en cuestión. Este efecto se puede ver con claridad en el caso en el cual un determinado repuesto tiene un valor unitario no muy alto, digamos de \$3.000.000.00, con un plazo de reposición de más de un mes y que genera unas pérdidas de producción superiores a los \$15.000.000.00 la hora. Si se produce el fallo y no se cuenta con este repuesto, la pérdida podría

llegar hasta los \$10.800.000.000.00, para muchas compañías una cifra que es mayor a los beneficios de todo el año.

7 METODOLOGIAS PARA LA IMPLEMENTACION DE RCM Y RCS

7.1 RCM

Para poder justificar la necesidad de implementar el proceso RCM es necesario entender las diferencias con los procesos tradicionales de mantenimiento:

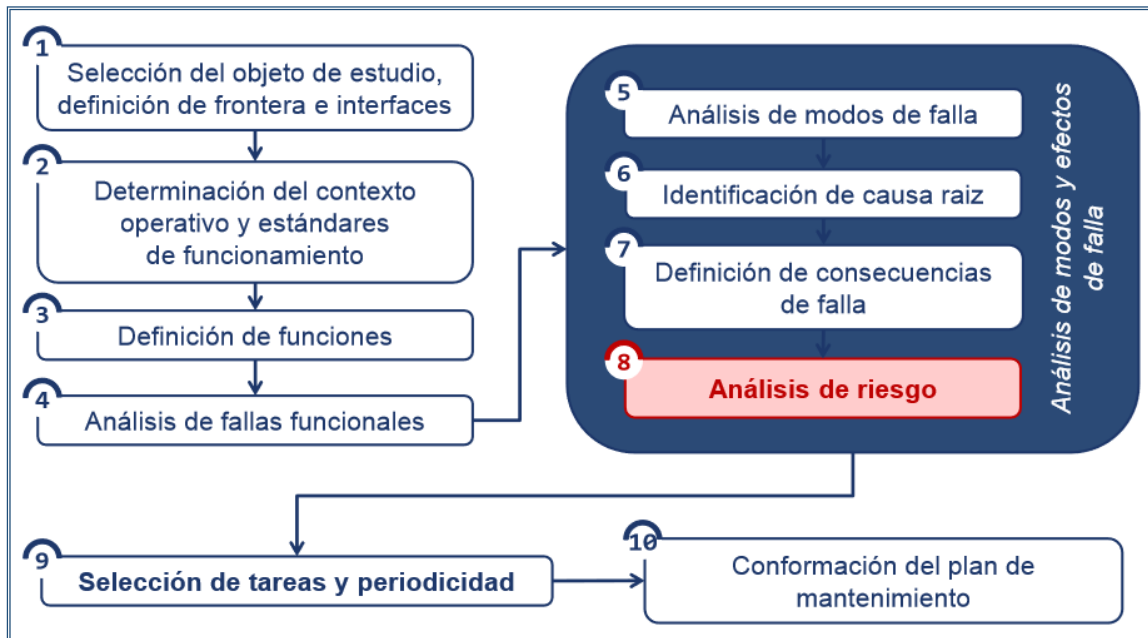
Figura 66. Diferencia entre Mantenimiento tradicional y Centrado en Confiabilidad

Mantenimiento tradicional	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad -RCM-
Cuidar el equipo	Preservar las funciones
Prevenir fallas	Evitar, reducir o eliminar las consecuencias
Ejecutar tareas necesarias para evitar fallas a todo costo	Construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas y aceptar la ocurrencia de algunas fallas
Priorizar tareas preventivas	Priorizar técnicas predictivas y de condición
Mantener el equipo funcionando	Extender el ciclo de vida del equipo
Preventivo, predictivo y correctivo	Preventivo, predictivo, correctivo y detectivo !
Disponer de amplia información sobre frecuencia de fallas para elaborar el plan de mantenimiento	Disponer de personas e información que permitan identificar los modos de falla de los equipos
Los equipos fallan más cuando envejecen	Los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla !

Fuente: Curso RCM - © 2014 Ortiz Ruiz Consultores

Para la implementación seguir las siete preguntas del proceso de RCM por si solas no es el método. Deben realizarse varios pasos, tanto previos como durante y después del proceso, denominados pasos del proyecto, los cuales se muestran a continuación en la *Figura 66*:

Figura 67. Pasos del Proyecto RCM



Fuente: Curso RCM - © 2014 Ortiz Ruiz Consultores

7.1.1 Preparación del estudio

Seleccionar el personal, Capacitar / entrenar el personal, Definir y aclarar objetivos, Definir requerimientos del sistema, Analizar políticas de la empresa, Conocer o definir criterios sobre seguridad, Conocer o definir criterios sobre medio ambiente, Conocer condiciones específicas del entorno, Definir criterios para el análisis de riesgos, Conocer criterios y problemas existentes de la Cadena de suministros, definición de inventario de Repuestos y Logística, Conocer los procedimientos actuales para la planeación y administración del programa de mantenimiento, Conocer los datos estadísticos sobre disponibilidad y confiabilidad, Conocer el plan actual de mantenimiento, Conocer los procedimientos y formatos utilizados para la administración del mantenimiento.

7.1.2 Recolección y análisis de datos

- Tener disponible los datos del diseño y operación del sistema o equipo: dibujos del sistema, manuales técnicos del fabricante, otros
- Tener disponibilidad al personal con conocimiento: Operación, Mantenimiento, Ingeniería
- Realizar, en caso de ser necesario, entrevistas con el personal de operación y mantenimiento para obtener los datos que hagan falta
- Tener disponible la información de mantenimiento y operación: programa actual, recomendaciones del proveedor, históricos de fallas existente, Pruebas y rendimientos
- Tener disponibles las reglamentaciones sobre requerimientos: Regulaciones, Estándares, Directrices gerenciales, Políticas, Otros.

7.1.3 Taxonomía de la planta, selección de objetos para estudio

Cuando se trata de resolver problemas, una de las claves es conocer y definir exactamente cuál es. De la misma manera, en esta metodología se requiere definir con precisión el elemento objeto de análisis. ¿Por dónde, entonces, comenzar a la identificación del objeto de análisis? La respuesta es: La taxonomía, definida como la “Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación; se aplica en particular, dentro de la biología, para la ordenación jerarquizada y sistemática, con sus nombres, de los grupos de animales y de vegetales” según la Real Academia Española de la Lengua, es la “herramienta que nos ayuda a visualizar mejor nuestras plantas, sistemas y equipos para concretar el objeto de análisis”. La norma ISO 14224 la define como “systematic classification of items into generic groups based on factors possibly common to several of the items” (Clasificación sistemática de ítems dentro de un grupo genérico basado en factores posiblemente comunes a todos los ítems). Por ello, debemos empezar desde lo macro de la planta y llegar hasta lo más bajo posible

que podamos, identificando los elementos que entregan “al menos una función principal”.

Para unificar criterios sobre cada uno de los escalones de la jerarquía de sistemas y equipos, deben aplicarse las siguientes definiciones:

Planta: Grupo de sistemas que funcionan conjuntamente para suministrar una salida o producto, mediante el proceso y manipulación de una materia prima o elementos almacenados. Moubray (1991), en su RCM II, se refiere a una planta como un centro de costos.

Sistema: Grupo de subsistemas que realizan una serie de funciones claves, que pueden resumirse como una función principal que requiere una planta. (Ejemplo: suministro de agua, suministro de vapor, alimentación de agua)

Elemento de estudio para RCM: Grupo de componentes que forman un conjunto identificable, y que realizan al menos una función importante, por sí solo. (Ejemplo: bomba, válvula, motor). En esta definición, una válvula de disparo puede ser clasificada como un objeto o elemento de estudio para RCM, pero no su actuador. El actuador solo tiene una función como parte de la válvula. Otra forma de visualizar el elemento de estudio es aquel conjunto de componentes a los cuales se les generan las órdenes de trabajo de mantenimiento.

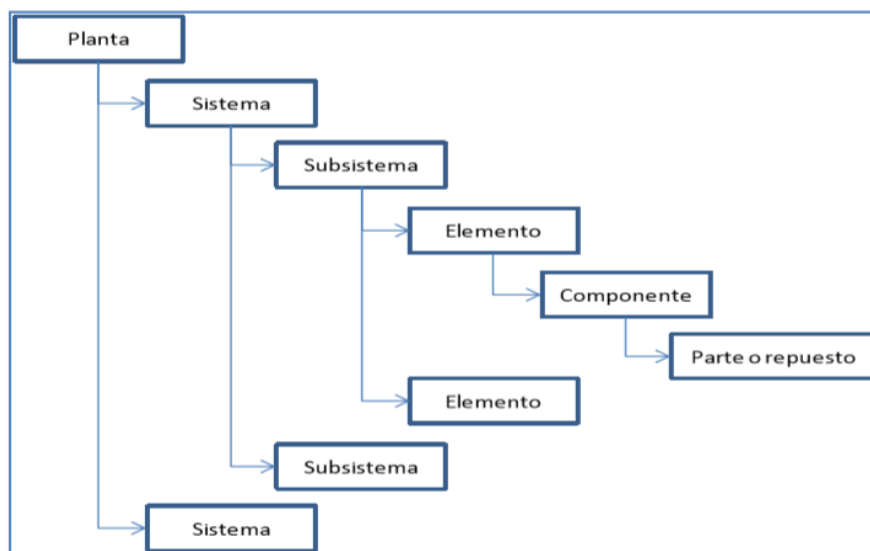
Componente: El menor nivel al cual un equipo puede ser desensamblado sin que se le cause daño.

Repuesto: parte de un componente que se reemplaza tras una intervención, implicando su desarme, apertura o desacoplamiento y obliga a su detención.

Una vez establecido o definido el elemento de análisis para RCM, se prosigue con la delimitación de las fronteras y lo que a través de esas fronteras fluye (energía, líquidos, sustancias, señales, etc.). Un ejemplo de esta delimitación es la definición de si un acople se asigna al motor o a la bomba (por lo general se asigna al conducido). Conectores, bridas, borneras, acoples, son, entre otros,

ejemplos de lo que identifica el límite o el comienzo de un elemento de estudio. En el caso de los manómetros o termómetros locales, como componentes del elemento de estudio (ya que no desempeñan una función principal por si solos) deben ser incluidos dentro de la frontera. Componentes que en ocasiones se olvidan son las acometidas (cableados) eléctricas, los cuales pueden incluirse y analizarse en algún elemento o tomar, de acuerdo con la condición y montaje, la decisión de establecerlas como un elemento particular de análisis.

Figura 68. Diagrama Jerárquico de Equipos



Fuente: Ortiz Plata Daniel. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Guía Práctica*

Algunas fronteras no son muy claras o identificables cuando se tratan de equipos que tienen una influencia del medio ambiente. Ante ambientes corrosivos como los marinos, una frontera puede ser la misma superficie del equipo que entra en contacto con el aire o las aguas circundantes. En esos casos, aunque no se nombren, deben ser tenidas en cuenta porque esas condiciones implicarán en muchas ocasiones modos de falla por las cuales se pierde la función.

7.1.4 Definición de fronteras e interfaces

Las reglas generales para establecer las fronteras y las interfaces son:

- Establezca fronteras por la condición física
- Describa qué se incluye y qué no se incluye
- Algunas partes no necesariamente se están uniendo
- Los equipos o componentes que queden fuera de la frontera no van a ser de interés, serán tema o parte de otro elemento en un estudio adicional.
- Identifique interfaces sobre la base de:
 - Entradas y salidas al sistema
 - Conexiones al sistema
 - Perfectamente disponibles
 - Valorables en cada entrada o salida

Aunque definida para la industria petrolera, una mayor ampliación de las definiciones y reglas de las fronteras la entrega la norma ISO 14224, Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

7.1.5 Definición de funciones

Todos los elementos de estudio tienen por sí mismos una función que cumplir dentro de cualquier proceso. Su pérdida llega a afectar la disponibilidad con la consecuente pérdida económica, daño a las personas o afectación al medio ambiente.

Este es un punto muy importante de la metodología ya que por muy iguales que sean los equipos, cada particular aplicación implicará que se comporta de una manera diferente, por lo tanto debería tener un plan de mantenimiento diferente.

Por ejemplo, es diferente si un equipo de transmisión eléctrica se desempeña al lado del mar, en un ambiente salino, a si ese mismo tipo de equipo se desempeña en un ambiente seco, lejos de cualquier efecto marino o contaminante.

La norma IEC 60300 define función como la “acción normal característica de un ítem”. Pero esto solo indica su función principal por la cual se adquirió o por la que se identifica.

Existen una serie de funciones adicionales, en casi todos los equipos, que no son de fácil apreciación pero que en la mayoría de los casos llevan a decretar la detención del equipo para reparar, generan lesiones a las personas o afectan el medio ambiente.

A continuación se listan las características que definen a las funciones secundarias:

- Usualmente son menos obvias pero su falla puede tener consecuencias graves. Ayudan a cumplir o soportar la función principal.
- Son auxiliares o soportan funciones esenciales.
- Dan aislamiento o permiten la contención.
- Entregan protección y/o integridad ambiental.
- Dan protección: higiene, seguridad / Integridad estructural.
- Permiten el control del equipo o de componentes.
- Generan datos o señales (información, por el contexto donde estén).
- Facilitan el monitoreo de condición, calibración, alarmas, etc.
- Dan aspecto
- Aportan a la economía y eficiencia del proceso.
- Aparentemente cumplen funciones superfluas.

La regla de redacción de las funciones debe cumplir con la siguiente definición:

Verbo + Sujeto (Cerrar flujo, contener fluido, transmitir señal, comprimir aire, bombear agua) + Complemento cualitativo / cuantitativo

Al final del ejercicio, todas las funciones, las primarias y las secundarias, deberán ser analizadas por igual sin demeritar ninguna. Solo la evaluación que se haga de los efectos y la valoración de los riesgos hará que una función no sea importante.

Algunos conceptos que se deben tener en cuenta para la definición de funciones son:

- El contexto operacional
- El Tipo de proceso
- La instalación de Redundancia
- Los estándares de calidad,
- Las condiciones del Medio ambiente
- Los riesgos de seguridad
- Los ciclos de trabajo
- Los productos en proceso
- La disponibilidad o confiabilidad exigida
- El abastecimiento de materias primas.

Importante tener en cuenta que este paso puede cubrir alrededor de la tercera parte del tiempo del análisis, como bien lo dice Moubray en su RCM II y nuestra experiencia en la implementación.

Por último, a modo de ejemplo se muestran las siguientes funciones de protección que algunos equipos deben entregar, pero sin indicar los niveles operativos:

- Desconectar el equipo principal en caso de falla...
- Llamar la atención de los operadores en caso de presentarse una condición anormal...
- Asumir el control de una función que ya falló...
- Prevenir mediante la anticipación, situaciones peligrosas...
- Evacuar las descargas atmosféricas sin interrumpir el servicio...
- Informar al público del riesgo eléctrico por una línea de alta tensión...
- Permitir salida de gases de escape sin restricciones...
- Reducir la intensidad sonora a...

7.1.6 Análisis de fallas funcionales

Tras definir las funciones, el siguiente paso es identificar la pérdida de esa función. Diferentes definiciones se han dado sobre el término, casi una por norma y libro de referencia, pero la mayoría coinciden con las siguientes características:

- Es un evento real o probable, en el momento del análisis
- Genera la pérdida de una o varias capacidades para cumplir una o varias funciones a la vez
- La pérdida de la capacidad puede ser parcial o total, dependiendo del estándar de funcionamiento definido por el usuario.

Basados en el tercer punto de la definición, se pueden dar varios tipos de falla (algunos los denominan “estados”):

- Pérdida total de la capacidad, esto es, definitivamente el equipo deja de funcionar y se detiene por completo: “no hace”

- Pérdida parcial de la capacidad, esto es, aunque sigue funcionando el desempeño no alcanza a cumplir con lo esperado por el usuario: “Hace más o hace menos”
- Funcionamiento erróneo, esto es, el equipo realiza otra actividad que no se tenía previsto realizar o no se deseaba que la hiciera en ese momento: “hace otra cosa”

Los momentos en que se presentan esas fallas son otra forma de clasificación. En esto tenemos:

- La falla se presente durante la operación continua del equipo
- La falla se presenta cuando el equipo debe operar en algún momento determinado La falla se presenta al momento de requerirse la detención del equipo
- La falla se presenta por la operación del equipo cuando no lo debiera hacer

Las reglas creadas para la definición y redacción de las fallas funcionales son:

- Describir qué se pierde de la función y no el por qué
- Incluir las fallas que sean razonablemente probables AL NO DAR EL MANTENIMIENTO o las que se han estado evitando con el mantenimiento preventivo actual
- La descripción no debe contener un componente o una pieza
- La descripción es relativamente corta, por lo general menor a 10 palabras
- La descripción debe basarse en lo definido en la función.

Nota: En algunos casos podría parecer tonta la redacción si se mira con respecto a la definición de la función.

Algunos ejemplos son: *Incapaz de contener gas, Restringido el flujo de gas para la capacidad requerida, Emisiones de gases a la atmósfera, No puede bombear con una cabeza de 10m, El nivel de ruido sobrepasa el nivel ISO a 50m, La temperatura superficial es menor a 60°C.*

Al final de esta parte del ejercicio se reportarán más de una falla funcional por cada función. Si se encuentra una y solo una falla funcional, no quiere decir que esté mal pero se deberán revisar las fronteras y las definiciones hechas porque no es muy común encontrar esta situación.

7.1.7 Análisis de modos de falla

Evento que CAUSA una falla funcional (SAE JA1011)

Efecto por el cual una falla es observada sobre el elemento que falla (Effect by which a failure is observed on the failed item) (ISO 14224)

Uno de los estados posibles de un ítem que falla, para una función específica requerida (One of the possible states of a failed item, for a given required function) (IEC 60300-3-11)

Estas son las tres definiciones de las principales normas que regulan la metodología. De igual forma, John Moubray en su RCM II lo define como:

Hechos que de manera razonablemente posible pueden haber causado cada estado de falla

De todas las definiciones se destacan los siguientes conceptos: primero, que es un evento o hecho “razonablemente” creíble por la cual la falla funcional se presentó o se puede presentar; segundo, que es la razón por la cual se da la falla funcional; y, tercero, que está referenciado sobre un elemento que falla.

Así, con estas definiciones, las reglas para redactar el modo de falla son las siguientes:

- La descripción del modo de falla debe tener como mínimo un sustantivo y un verbo más una descripción del mecanismo de falla, ejemplo:
 - ✓ Motor quemado por sobre voltaje
 - ✓ Tubería obstruida con sedimentos
 - ✓ Recipiente roto por sobrepresión
- Evite usar los verbos: Falla, Daño, Mal funcionamiento. Use uno que indique la causa precisa
- La descripción del modo de falla debe tener un nivel de detalle que facilite la selección de tareas de mantenimiento adecuadas. Este depende de la importancia operacional.
- Si la descripción contiene el nombre del elemento o parte donde se presenta el evento redundará posteriormente a favor de la estructuración de la tarea.

Otras consideraciones a tener en cuenta en la redacción de los modos de falla son las siguientes:

- Que se haya producido antes en el equipo o en otros equipos de iguales características en el mismo o similar contexto.
- Que ya sean objetivo de tareas de mantenimiento
- Que se consideren razonablemente probables. Generalmente describe por qué la falla ha ocurrido.
- Razonablemente probable para generarse al no realizar el mantenimiento.
- Un técnico de mantenimiento debe ser capaz de distinguirlo.
- No confundir modo de falla con efecto o mecanismo de falla, por ejemplo:

- ✓ El desgaste de los dientes de un engranaje es un efecto de la Pérdida de la capacidad lubricante del aceite, la cual es el modo de falla en una caja de engranajes.
- ✓ El deterioro del aislamiento es la causa por la cual se produce la pérdida de la función de “aislar térmicamente”, la entrada de humedad al aislamiento sería el mecanismo.

Si se desconocen los modos de falla de un equipo, pueden recurrirse a bases de datos o informes de casos similares. Pero, si se trata de identificar los típicos del equipo por sus condiciones operacionales y ambientales particulares, al momento de cada falla se debe realizar una investigación con los siguientes criterios claves:

- No destruir la evidencia
- Documentar la evidencia
- Iniciar rápidamente la investigación
- Evitar las conclusiones simplistas
- No centrarse solo en el punto de falla
- Reproducir la evolución de la falla o accidente, utilizando evidencias objetivas, entrevistas, registros, datos, etc.

Con estos pasos se podrá establecer correctamente el modo de falla y avanzar en la construcción de barreras costo efectivas para evitar que no se produzcan o de reducir las consecuencias.

Al final de este paso se tendrán, por cada falla funcional, uno o varios modos de falla lo que significa que por cada función que desempeñe un elemento analizado podremos tener varios modos de falla. Tener un solo modo de falla por función debe generar dudas al equipo de trabajo sobre la identificación del elemento o sobre la definición de la función.

En este punto es donde se encuentran esta metodología con las metodologías llamadas FMEA y FMECA (por los términos en inglés Failure Mode Effect Analysis y Failure Mode Effect and Criticality Analysis) referenciadas también en la metodología de Análisis de Causa Raíz.

7.1.8 Análisis de efectos y Riesgos (Criticidad)

Toda falla tiene algún efecto, grande o pequeño pero lo tiene. No hay nada gratis o nada que no genere una consecuencia.

El análisis de efectos debe iniciar con una descripción “lo más completa posible” de lo que le sucede al equipo que falla y/o a los equipos (cuando hay fallas ocultas) que están interactuando con el que presenta la falla. Con esta descripción podremos analizar la importancia de cada falla y determinar cuáles son los modos de falla críticos que merecen la pena una tarea de mantenimiento o, incluso, un rediseño inmediato.

Lo que debe incluir la descripción de los efectos de cada falla, como mínimo, es:

- La evidencia de que el modo de falla se ha presentado. Si es una falla oculta, deberá especificarse como tal.
- Las consecuencias previsibles, creíbles y probables que sobre las personas, el ambiente y la empresa tendrá la falla. Incluir, cuando es una falla oculta, la descripción del impacto sobre todo lo que le rodea incluyendo la imagen de la empresa.
- Los daños en los equipos y la infraestructura con sus costos de reparación o restablecimiento, con los impactos directos en la producción / operación.
- Las acciones que se deben realizar para restablecer la funcionalidad.

Como hasta ahora se menciona el término “falla oculta” es preciso que se haga la exposición de lo que esto es: Una falla oculta es aquella que no es detectable por los operarios en condiciones normales de operación, si se produce por sí sola, y

son muy altas las probabilidades de fallas múltiples con consecuencias altas en aspectos de seguridad, ambiente y costos.

Sin embargo, cuando se expresa “lo más completa posible” puede llegar a reñir con lo más práctico, si no se tiene cuidado. Decir completo no quiere decir alta precisión en los valores de las consecuencias sino identificar la mayor cantidad de efectos con la magnitud del impacto definido en niveles preconcebidos, tal como se aplica en las matrices de valoración de riesgos, ver *Figura 68*. Con estos datos es que se puede hacer la valoración del riesgo la cual tiene su expresión en la ecuación:

$$\textbf{RIESGO = OCURRENCIA (PROBABILIDAD) X SEVERIDAD}$$
$$\textbf{(CONSECUENCIAS)}$$

(Tal vez donde primero se empezó a trabajar esta definición fue en la norma MIL-STD-882A, de 1977 y que hoy en día está actualizada en la MIL-STD882D)

Se necesita, entonces, para el análisis de los efectos, tener (construir si no se tiene) un modelo de valoración de riesgos que a su vez se sintetice en una matriz sencilla y práctica como la que se muestra en la figura 4 o como la que se sugiere en el apéndice 4, Tabla A-III, de la norma MIL-STD882D.

Hoy por hoy, muchas empresas ya cuentan con valoraciones de riesgos y matrices de valoración lo que hace más expedita la preparación. A pesar de esto, aún da para mucha controversia y extensión de su explicación al interior de cada empresa. Dado que ese no es el propósito del RCM, y tampoco de esta guía, se ratifica la necesidad de trabajar previamente este tema y tenerlo definido desde antes de empezar a trabajar en el tema.

Los niveles de aceptación permiten decidir si con el actual nivel de riesgo se está conforme, o si tras la definición de tareas de mantenimiento la reducción del riesgo llegará a niveles aceptables o tolerables.

Figura 69. Modelo básico de una Matriz de Valoración de Riesgos

OCURRENCIA		NIVEL DE RIESGO					
Constante	10	10	20	40	60	80	100
Frecuente	8	8	16	32	64	64	80
Moderado	6	6	12	24	36	48	60
Ocasional	4	4	8	16	32	32	40
Remoto	2	2	4	8	16	16	20
Improbable	1	1	2	4	6	8	10
		1	2	4	6	8	10
		Insignificante	Marginal	Grave	Crítico	Desastroso	Catastrófico
		CONSECUENCIA					

CRITERIO	ACEPTABILIDAD
Aceptable	Hasta 5 %
Tolerable	Del 5 % al 15%
Inaceptable	Del 15% al 35%
Inadmisible	Más del 35%

Fuente: Ortiz Plata Daniel. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Guía Práctica*

7.1.9 Selección de tareas de mantenimiento

Definir la tarea de mantenimiento con la cual se bajará el riesgo (impacto al ambiente, a la seguridad, a la economía y/o a la imagen de la empresa) a niveles aceptables es el penúltimo gran paso del proceso.

En este punto es tal vez donde más se diferencian las versiones del RCM, pero guardando los preceptos de la metodología.

Para la toma de decisión de la tarea que se ha de adoptar o desarrollar se requiere disponer / construir un diagrama o árbol de decisiones. En caso de aceptación de uno ya construida, por ejemplo el de una norma en particular o el de una de las metodologías con derechos de autor registrados, es preciso que la empresa tenga los debidos derechos de utilización. Por experiencia, una buena

práctica podría ser la aplicación de alguno de los ya diseñados pero con las adaptaciones particulares de la empresa ya que no todas requieren la misma exigencia.

De todos modos, tal como lo dice la metodología, independiente de la opción que se tome, el orden secuencial de prioridad para elegir una tarea es la siguiente:

1. Actividades de monitoreo de condición (predictivas en línea o condición puntual)
2. Actividades de reacondicionamiento o cambio (preventivas)
3. Actividades de detección de fallas ocultas (detectivo, en caso de que se esté trabajando sobre este tipo de fallas)
4. Actividades combinadas de las anteriormente citadas
5. Actividades de rediseño (en caso de que el riesgo no se pueda bajar a niveles tolerables con alguna de las opciones anteriores)
6. Ninguna actividad de mantenimiento (correr a falla, cuando los riesgos son tan bajos que hasta por costos no da para ejecutar una labor de mantenimiento)

En este punto es necesario tener claridad sobre lo que representan las actividades y lo que de ellas se puede definir como un predictivo, preventivo, correctivo o detectivo. El cuadro de la *Figura 70*, ilustra el concepto que ha de aplicarse (esta clasificación ha sido desarrollada por el autor).

Figura 70. Relación entre tipos de actividades de mantenimiento y orígenes de mantenimiento

Tipo de actividad	Origen			
	Predictivo	Preventivo	Correctivo	Detectivo
Verificar condición (inspección no invasiva)	X			X
Intervención (reacondicionar o cambio)	X	X	X	X
Ajustes	X	X		X
Inspección invasiva	X		X	

Fuente: Ortiz Plata Daniel. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Guía Práctica*

Bajo este esquema, las decisiones deben centrarse en los tipos de actividades, asignándole a cada una la frecuencia de ejecución, cuando le corresponda, y los recursos que se requiere para una confiable ejecución.

Algunos ejemplos son:

- Verificar condición de origen predictivo
 - ✓ Toma de vibración en línea
 - ✓ Toma de vibración periódica
 - ✓ Toma de muestras para análisis de aceite
- Verificar condición de origen detectivo
 - ✓ Verificar fugas
 - ✓ Verificar estado de funcionamiento de equipos de alarma
 - ✓ Verificar niveles de aceite
- Intervención de origen predictivo
 - ✓ Cambios de aceite

- ✓ Cambios de partes
- ✓ Cambio de aislamiento térmico o refractario
- Intervención de origen preventivo
 - ✓ Cambios de aceite
 - ✓ Cambio de partes o Calibración de válvulas de seguridad
- Intervención de origen correctivo
 - ✓ Cambios de partes
 - ✓ Cambios de aceite
 - ✓ Calibración de válvulas de seguridad
- Intervención de origen detectivo
 - ✓ Cambio de instrumentación local (manómetros, termómetros)
 - ✓ Cambios de válvulas de bloqueo
 - ✓ Cambio de filtros
 - ✓ Recuperación de niveles de aceite
- Ajustes de origen predictivo
 - ✓ Alineación de equipos
 - ✓ Cambios en niveles de presión y temperatura admisible de operación
 - ✓ Reapriete de tornillería
- Ajustes de origen preventivo
 - ✓ Alineación de equipos
 - ✓ Calibración de relés
 - ✓ Recuperación de niveles

- Ajustes de origen detectivo
 - ✓ Apriete de tornillería para corregir fugas
 - ✓ Limpieza de caras en sellos mecánicos instalados (flushing)
 - ✓ Lavado de equipos
- Inspección invasiva de origen predictivo
 - ✓ Verificación de soldaduras
 - ✓ Verificación de aislamiento eléctrico en devanados
 - ✓ Medición de espesores de pared en tubos de hornos y calderas

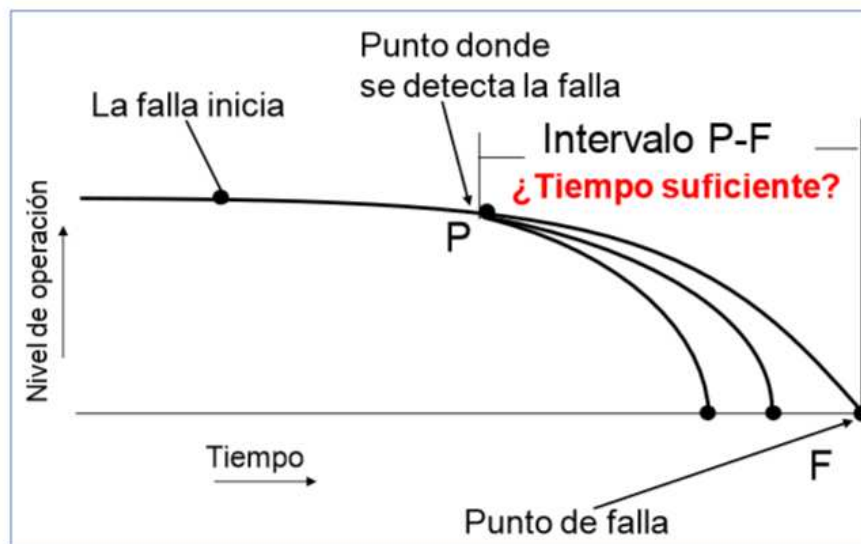
7.1.10 Determinación de la frecuencia

La definición de las frecuencias es, por supuesto, para todos los orígenes excepto el correctivo, esto es, para las actividades de monitoreo, reacondicionamiento, cambio o búsqueda de fallas. Para cada una existe un mecanismo particular los cuales se describen así:

- Determinación de frecuencia para monitoreo:

El conocimiento del modo de falla debe llevar a establecer la curva P-F, ver *figura 71*, con la cual se establecen los períodos cortos de tiempo menores al intervalo P-F. Su construcción se puede hacer con base en: a) la observación continua, b) la definición de intervalos cortos para conocer el equipo extendiéndolos poco a poco, c) la definición de intervalos arbitrarios (aunque no es el más recomendado), d) la investigación propia o con entidades especializadas y, e) la consulta a expertos en el tema.

Figura 71. Curva P-F



Fuente: Ortiz Plata Daniel. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Guía Práctica*

- Determinación de frecuencia para preventivos:

Dado que este tipo de actividades aplica para los casos en que la probabilidad de falla aumenta abruptamente al transcurrir un intervalo de tiempo, ese intervalo se puede determinar a partir de: a) la experiencia propia que se tenga sobre los equipos bajo sus condiciones ambientales y operativas, b) la definición de los fabricantes cuando no existe ninguna otra alternativa, c) la investigación con pruebas de campo, d) la investigación con apoyo de entidades especializadas cuando se trata de la implementación de nuevas tecnologías con las cuales se pretende aumentar los intervalos ya establecidos. En todos estos casos, es necesario contar con un muy buen registro de cada intervención que amerita el reacondicionamiento o el cambio, esto es, se requiere de un sistema de información adecuado, de un procedimiento que se aplique sistemáticamente y de personal calificado y comprometido (aptitud y actitud) con el mejoramiento.

- Determinación de frecuencia para búsqueda de fallas:

Para las tareas que deben desarrollar los operadores, similar a la definición de las frecuencias para el monitoreo, las frecuencias deberán estar basadas en: a) la observación continua y los registros de fallas que se tengan, b) la definición de intervalos cortos para conocer el equipo, en caso de que sean nuevos o se desconozca su comportamiento, c) la definición de intervalos arbitrarios, d) la investigación con entidades especializadas y, e) la consulta a expertos en el tema. Por experiencia, la mayoría de estas actividades de detección de fallas son de una alta frecuencia, por turno, diaria, semanal o mensual, como máximo. Muy rara vez se les definen frecuencias bajas (semestral, anual, bianual, etc.) ya que perderían su sentido.

Un elemento clave para estas actividades es el sistema de información con el cual se van a planear, programar y documentar. Por estar definidas como actividades de mantenimiento (primario, cuidado básico, primera línea, etc.) debieran estar en el mismo sistema con el cual se planean y programan las actividades originadas por los mantenimientos correctivo, preventivo y predictivo.

7.1.11 Recursos

Para la definición del recurso o talento humano, esta deberá basarse en las clasificaciones que se tengan del personal ejecutor y de ingeniería. Indicar que son técnicos mecánicos, técnicos electromecánicos, técnicos electricistas, técnicos de control e instrumentación, etc., es una buena práctica aunque dependerá de las definiciones de cada empresa. También podrían definirse por grupos de trabajo si esa es la condición de planeación y programación del personal de mantenimiento. Todo esto deberá estar alineado con la forma de operar el sistema de información y la forma de registrar en el mismo sistema las actividades, los tiempos y los recursos.

Por último, la definición de los materiales a utilizar corresponderá solamente a los que para el reacondicionamiento o cambio se requieran. Si se desea tener

asegurada la disponibilidad de repuestos ante intervenciones originadas por los correctivos, detectivos o monitoreos, corresponderá aplicar la metodología de Repuestos Alineados con el Riesgo y la Confiabilidad.

7.1.12 Implementación y puesta en vivo

Durante todo el proceso se deben cumplir algunas reglas básicas las cuales habilitarán la obtención del resultado, como son:

- Hacer las cosas simples (tal como lo sugieren en el libro El poder de lo simple)
- Ser consistente con los principios del RCM (tal como lo indica la norma SAE 1011) Construir una forma de pensar duradera (tal como son los paradigmas)
- Construya una especialización en casa (Tal como lo sugiere la gestión del conocimiento)
- Permita tomar riesgos e imperfecciones (tal como somos los seres humanos)
- Disponibilidad y disposición de funcionarios de la Empresa (tal como lo requiere el proceso)

Se han detectado algunas barreras para el éxito casi naturales, que requieren la búsqueda de su eliminación o minimización. Entre otras, son:

- No tener el soporte Administrativo o Gerencial: asegurar el alineamiento con los objetivos de la empresa y la disponibilidad de recursos.
- Inadecuada Planeación
- Falta de entendimiento y consistencia con los principios RCM durante su aplicación.
- No aceptación del RCM por parte de la organización.

- Enfocarse en el proceso y no en el producto final.
- Fallas al implantar los resultados.
- Afán y desesperación por terminar sin revisar lo suficiente
- Demasiado facilistas y No querer anotar los datos
- Poca participación de los técnicos o especialistas o Falta de personal

Para el desarrollo de los talleres es importante la participación de los siguientes roles, para que se cumpla la premisa de trabajar con un equipo multidisciplinario:

- Un facilitador, quien puede ser contratado o formado al interior de la empresa
- Un líder de mantenimiento, quien puede ser un supervisor o un ingeniero
- Un técnico de mantenimiento, quien debe conocer el equipo con sus modos de falla particulares (aunque no tenga la información sobre los tiempos medios entre fallas)
- Un líder de producción (u operaciones, según sea el caso), quien puede ser un supervisor o un ingeniero de proceso que conozca los efectos y consecuencias de no contar con la funcionalidad del(los) equipo(s)
- Un operador, quien debe conocer muy bien las rutinas diarias, los parámetros operativos del proceso y los riesgos que una deficiente operación del(los) equipo(s) representa.
- De requerirse, como invitados especiales, representantes de los fabricantes que tengan conocimiento del equipo y conexión con los técnicos de la fábrica.
- Algunos invitados especiales pueden ser: administrador de inventario de repuestos, líder de seguridad y medio ambiente, representante de planeación del negocio.

Todo lo que a través de este grupo multidisciplinario se captura, analiza y produce debe tener una adecuada Gestión del Conocimiento. El RCM es tal vez uno de los ejercicios que más le aporta a este tipo de activos intangibles de la empresa, manejando y creando el soporte para la sostenibilidad y rentabilidad del negocio. Dado que la actualización del plan de mantenimiento es una actividad continua, el correcto registro de estos datos de los talleres y la adecuada gestión servirán posteriormente a quienes les corresponda la siguiente actualización.

Terminados los talleres y elaborado el nuevo plan de mantenimiento, el paso de llevar dicho plan al sistema de información es tan importante como cualquiera de los anteriores. De nada vale hacer todo el esfuerzo de los talleres, de la búsqueda de información, de las definiciones de funciones y modos de falla, de las valoraciones de riesgos y del informe final con el plan de mantenimiento si este no es llevado a la práctica e introducido como parte del sistema de información de mantenimiento.

Se debe hacer una revisión y un análisis del sistema de información de mantenimiento para que cuando se genere el plan de mantenimiento (si este no había estado ingresado previamente al sistema) se puedan migrar esos datos sin mayor dificultad y concuerden las estructuras de los datos y los códigos. Desafortunadamente, muchos sistemas de información son muy básicos en la gestión de mantenimiento y no todos los sistemas (así aparentemente los califican como los mejores) han estado siendo configurados y utilizados correctamente o alineados con la metodología. En esas circunstancias, nada raro sería que tras el análisis del software se termine generando la necesidad de su cambio o actualización.

A su vez, cada paso debe generar un producto, los cuales son:

1. Definiciones preliminares, entrenamiento y contrato al facilitador (si se requiere)
2. Realimentación de datos técnicos de equipos y procesos
3. Inventario maestro de equipos y sistemas

4. Realimentación de datos de proceso y de equipos
5. Listado de funciones
6. Listado de fallas funcionales
7. Listado de modos de falla
8. Descripción de efectos con todos sus datos
9. Listado de funciones, fallas y modos de fallas clasificados por criticidad
10. Listado de tareas
11. Asignación de frecuencia por tarea
12. Plan de mantenimiento inicial (agrupación por procedimientos si es necesario)
13. Datos cargados en el sistema de información y primer compromiso de ejecución
14. Plan de cubrimiento ajustado

7.2 RCS

En la actualidad los almacenes de ingeniería modernos mantienen una gran variedad de piezas, desde consumibles económicos utilizados de a miles por año a repuestos críticos costando decenas o centenas de miles de dólares que a lo mejor nunca se usarán durante la vida entera de la planta¹⁸

.Hasta el 50% del valor de inventario puede consistir en repuestos que son utilizados a un ritmo de uno por año o menos; repuestos con valor entre el 10% y 30% del inventario pueden quedarse sobre una estantería del depósito por la vida entera de la planta. Desde un punto de vista financiero, quizás estos repuestos jamás deberían haberse comprado; sin embargo, si no hubieran estado disponibles de ser requeridos, la empresa pudo haber sufrido graves consecuencias económicas.

El RCS es un proceso sistemático y estructurado, que se deriva directamente de la filosofía RCM y que brinda una base racional para la optimización de inventarios de repuestos críticos.

El RCS no se basa en las recomendaciones del proveedor ni en el juicio subjetivo de ingeniería, sino en el análisis sistemático de las consecuencias del faltante (es decir, qué pasa si un repuesto no está disponible cuando es requerido).

La gran mayoría de los faltantes tienen consecuencias económicas: es decir, no contar con el repuesto cuando es necesario cuesta dinero, ya sea por pérdida de producción, de ventas, multas, pérdida de calidad de producto, etc.

En estos casos, el RCS utiliza el concepto de costeo por ciclo de vida para responder a la pregunta clave: ¿Vale la pena comprar un repuesto determinado? y en caso afirmativo ¿cuántos se deben comprar?

¹⁸<http://www.ellmann.net>

El RCS selecciona la cantidad de repuestos que MINIMIZA EL COSTO TOTAL PARA LA EMPRESA.

Estos costos incluyen tanto los costos de compra de los repuestos, almacenamiento, mantenimiento en inventario, y costos financieros, como los costos en los que se incurre si no se tiene el repuesto cuando es requerido: costos de indisponibilidad (¿cuánto cuesta cada hora de espera del repuesto?), compras de emergencia, fletes de emergencia, etc.

7.2.1 ¿POR QUÉ APLICAR RCS?

El beneficio más inmediato y evidente de aplicar RCS a repuestos críticos es que los niveles de stock parten directamente de los requerimientos de mantenimiento y operaciones. Como el método está basado en el análisis de CONSECUENCIAS, los requerimientos son alcanzados con la inversión óptima en repuestos, comúnmente ahorrando entre 30% y 60% del valor de inventario mientras se cumple con los requerimientos de producción, seguridad y medio ambiente.

Los beneficios de la aplicación de RCS son:

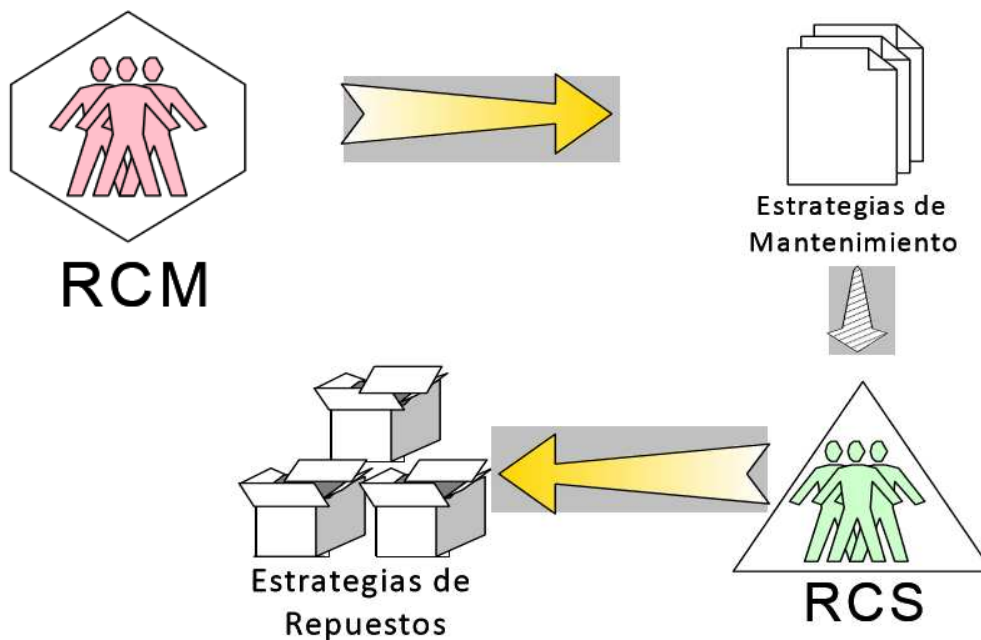
- Reducción de inventarios
- Mayor disponibilidad de equipos
- Mayor disponibilidad de Planta
- Eliminación de "almacenes ocultos"
- Mejor conocimiento de los recursos necesarios
- Mejor comunicación entre ingeniería, operaciones y abastecimiento
- Justificación racional de las decisiones
- Mejor comprensión de los requerimientos de los sistemas de inventario y mantenimiento
- Crea una relación más clara y beneficiosa con los proveedores

- Mayor costo-eficacia del conjunto empresa.

Siendo un proceso sistemático que compatibiliza los Inventarios de Repuestos con las verdaderas necesidades de Mantenimiento y Producción lo principal es: ¹⁹

1. Determinar los requerimientos de mantenimiento de cada activo
2. Determinar los requerimientos de repuestos para cada activo dado su contexto operacional y sus requerimientos de mantenimiento
3. Asegurar que los sistemas, procedimientos y recursos estén disponibles para cumplir con los requerimientos de repuestos determinados

Figura 72 Integración de RCM y RCS



Fuente Ellmann, Sueiro y Asociados Integración de Técnicas para la Confiabilidad

¹⁹Ellmann, Sueiro y Asociados, Integración de Técnicas para la Confiabilidad

7.2.2 Optimización de la localización del inventario

Dentro de las muchas aplicaciones que se le puede dar a la metodología RCS, está la de determinar donde deberíamos tener el inventario para maximizar el rendimiento de nuestra inversión en mantenimiento. Para poder trabajar los análisis de forma operativa, se han desarrollado unos algoritmos y modelos matemáticos que recogen todos los datos asociados a cada artículo, todas estas y otras herramientas de cálculo se han desarrollado como por ejemplo en una aplicación conocida como el RCS Toolkit, Con el RCS Toolkit podemos, entre otras cosas, saber la cantidad que debemos mantener de un artículo en inventario, y por otro lado si introducimos la estructura de almacenes, saber en cual de ellos deberíamos tener “que” y “cuanto”. Por otro lado, si se desea hacer una concentración de almacenes, se puede hacer un estudio detallado y diferenciado de las necesidades individuales de distintos centros productivos, las cuales las se introducen en la opción de Análisis Multi-instalación del RCS Toolkit. De esta manera obtendremos una cantidad a mantener en un almacén principal que responde de las demandas de todos los centros a los cuales tiene que servir.

Softwares de Herramientas de Confiabilidad ¿Cuándo? ¿Cómo? ¿En qué medida?

Son inevitables las preguntas que naturalmente se desprenden de los labios de algún gerente o jefe ante el acercamiento de la implementación de alguna herramienta de confiabilidad como proyecto de mejora: hay algún Software disponible? Conviene comprarlo? Antes, durante o después del lanzamiento del Proyecto?

La respuesta, se sabe, no es para nada fácil. Esto radica, preponderantemente, en la cantidad y calidad de softwares existentes en el mercado, así como también de proveedores de servicios de consultoría. Entonces, por donde comenzar?

Lo primero que hay que saber es lo siguiente: Una implementación de mejora de la confiabilidad (como puede ser la aplicación de RCM, RCS, RCA, etc.) NO es

solamente la aplicación de un Software. El punto de partida es entender que el Software es y debe ser entendido solamente como una herramienta de apoyo a la implementación de mejoras a la confiabilidad. Dicho de otra manera, el Software no debe ser la “estrella” de la implementación, esta se basará en el planeamiento y ejecución de las actividades por parte de los involucrados (cimientos de la implementación). Es muy común ver en las Empresas Proyectos que quedan en el camino a poco de su lanzamiento solamente por pensar que el Software es “mágico” y que “resolverá la implementación por sí solo”. Esto es un grave error que se paga muy caro (horas de capacitación, horas de consultoría para consultas, horas perdidas, etc.). Sí es cierto que el Software potencia la aplicación de las herramientas de confiabilidad, pero su aplicación debe estar acompañada de un Proyecto robusto, con capacitación y participación.

El segundo consejo importante para las empresas es el siguiente: antes de comprar, véalo y Pruébalo! El software a comprar debe responder completamente a las necesidades de la empresa y estar alineado a la herramienta a implementar. Por eso es fundamental que sea testado, si es posible por los mismos involucrados que lo utilizarán. Hoy en día, afortunadamente, la tecnología hace posible esto en poco tiempo y en algunos casos de manera gratuita (licencia de prueba por tiempo limitado).

El tercer y último consejo es: Trabaje en conjunto con su proveedor de Software y asegúrese su apoyo a lo largo del Proyecto. La experiencia indica que es de poca utilidad para las Empresas la compra de algún Software de implementación de confiabilidad a proveedores que no están capacitados para acompañarlos durante todo el Proyecto de Implementación. Aquí surge la importancia de contar con un Proveedor capacitado en la técnica (de ser posible, el mismo proveedor de servicios para la implementación del Proyecto), que tenga las habilidades necesarias para responder las dudas que se presenten durante el camino, no solamente relacionadas al Software, sino relacionadas al Software-Herramienta de Confiabilidad como un solo concepto.

Estos tres consejos resumen los requisitos a cumplir para que la Empresa pueda potenciar los resultados de la Implementación de una Herramienta de Confiabilidad a través de un Software.²⁰

7.2.3 Evaluación de subcontratistas

Durante los últimos años, las empresas han hecho un esfuerzo por enfocarse hacia lo que es esencial para su negocio, intentando por otro lado beneficiarse de las economías de escala que pueden ofrecer empresas contratistas especializadas en un tema concreto, por ejemplo, el transporte, o el almacenamiento.

Figura 73. Matriz de contratación de servicios de Mantenimiento

		MATRIZ DE TIPO DE CONTRATO (Repuestos y Servicios)	
IMPACTO EN EL NEGOCIO	ALTO	<p>Cuello de Botella</p> <p>Alto impacto en la Operación Principal. Pocos Proveedores. Riesgo de Incumplimiento. Complejidad Técnica Baja, No requiere ser fabricante o único Proveedor..</p> <p>Ej. Bienes y Servicios que puedan Sustituirse, que puedan sustituirse, Metal-Mecánica, Eléctricos.</p>	<p>Crítico</p> <p>Sostienen la Operación Principal Afectan Niveles de productividad y/o lucro cesante. Tienen disponibilidad en el mercado limitada. Alto Valor.</p> <p>Ej: Insumos de producto principal de negocio; Repuestos/Servicios equipos críticos; Ingenierías Conceptuales y Básicas, Asesorías Estratégicas.</p>
	BAJO	<p>Rutinario</p> <p>Forman parte de los subprocesos auxiliares y administrativos. Baja complejidad técnica y bajo impacto en la operación. Existen muchas fuentes de suministro.</p> <p>ej. Servicios Admon, herramientas comunes, Electricidad e instrumentación genérica, Pintura General, Vehículos Livianos</p>	<p>Especiales (Apalancamiento)</p> <p>Son materiales/Servicios Especiales de bajo impacto inmediato en la Operación pero Necesarios. Complejidad Técnica Alta [Tecnología especial].</p> <p>Ej. Servicios/Repuestos de Mecánica, Electricidad, Instrumentación Especiales. Servicios: Termografía, Vibraciones, Laboratorios, etc. válvulas de seguridad, Sistemas de Seguridad, Alarmas, etc.</p>
		BAJO	ALTO
		COMPLEJIDAD DEL CONTRATO	

Matriz estratégica de Contratación de Servicios de Mantenimiento

Fuente Ballesteros Correa Freddy, metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad basado en PMO para concretos Argos S.A. Monografía 2012

²⁰Ing. Hernán Guido Sadorin ellmann-sueiro & asociados

El almacenamiento de piezas de repuesto no ha escapado a este fenómeno, y lo que se ha intentado es trasladar el coste del inventario a piezas que se utilicen realmente, encargando la responsabilidad del nivel de servicio en piezas críticas y no críticas a un contratista a un determinado coste.

El RCS nos permite evaluar la bondad de la alternativa planteada por nuestro contratista, comparando los costes que tendría el servicio que ofrecen vs. el costo que tendría mantener nosotros mismos el mismo nivel de servicio, identificando incluso, de ser necesario, el punto hasta el cual habría que negociar el contrato para hacerlo coste-eficiente para la empresa.

8 RESULTADOS ESPERADOS CON EL MODELO DE ANALISIS DE INVENTARIOS

El resultado final del modelo de análisis de inventarios de repuestos propuesto, permitirá la integración de los planes de Mantenimiento obtenidos a partir de RCM y los repuestos analizados en cada plan por RCS.

Proalco tiene instalado el módulo de mantenimiento de SAP PM con todas las transacciones necesarias para elaborar, planear, programar y cerrar los planes de mantenimiento preventivo que incluyen las listas de actividades y los repuestos e insumos necesarios para cada plan. Las principales son:

- Transacción IA05 – Creación de lista de tareas
- Transacción IP42 - Crear plan de mantenimiento preventivo
- Transacción IP10 - Programación y liberación plan de mantenimiento
- Transacción IW38 - Orden de Mantenimiento Preventivo
- Transacción MB1A - Consumo de componentes
- Transacción IW38 – Notificación de tiempo, cierre de ordenes

Actualmente se encuentran algunos planes de mantenimiento creados para las rutas de lubricación, pero solamente incluyen tareas, puntos de lubricación y la descripción de los lubricantes a utilizar. Dichos planes solamente cubren un 25% de los equipos de la planta.

Los repuestos identificados por RCS se deben vincular a los planes de mantenimiento con las listas de tareas obtenidas en el análisis RCM.

Dichos repuestos deben estar homologados y catalogados con todas las especificaciones necesarias para ser incluidos en el maestro de inventarios de almacén y cumplir con los procedimientos “**Creación de Códigos**” identificado como PR-06-08 versión 2” y “**Consumo de Insumos, Repuestos y Suministros**” identificado como PR-06-06 versión 5 (ver páginas 43 a 45) donde se generara el

pedido por reaprovisionamiento fijado y las alarmas necesarias en caso que se planeen actividades y no esté el repuesto disponible en el almacén o en proceso de compra. Las reservas de materiales que se generan al lanzar las órdenes de mantenimiento de cada plan de mantenimiento estarán vinculadas con el sistema de compras generadas automáticamente lo que permitirá fijar y coordinar de manera programada la parada de equipos para las intervenciones por mantenimiento.

Un cambio sustancial en la planeación y programación de mantenimiento es el de conformar un equipo de alto desempeño, comprometido y capacitado en las técnicas de confiabilidad como el RCM y el RCS.

Pasos sugeridos para la implementación del Modelo en Proalco Bekaert

El Ciclo PHVA es una versión mejorada del Ciclo de Deming y actúa como guía para llevar a cabo la mejora continua y lograr de una forma sistemática y estructurada la resolución de problemas. Está constituido básicamente por cuatro actividades:

Planificar: Seleccionar la oportunidad de mejora

- Registrar la situación de partida.
- Estudiar y elegir las acciones correctivas más adecuadas.
- Observar (a nivel de ensayo o simulación) el resultado.

Hacer: Lleva a cabo la acción correctora aprobada.

Verificar: Diagnosticar a partir de los resultados y de no ser los deseados volver a etapa Planificar.

Actuar: Confirmar y normalizar la acción de mejora.

- Empezar una nueva mejora.

Es un ciclo que se repite una vez que termina, volviendo a comenzar el ciclo y formando una espiral: la Mejora Continua

Tabla 2. Plan para modelo propuesto de análisis de inventarios

	Que	Quien										Como	Donde	
		Gte. Op.	Gte. RRHH	Gte. Mto	Gte. Alm.	Jefe Com	Plan Mto	Ana. Mto	Sup. Mto	Tec. Mto	Ope			
Planear	Analizar y describir la situación actual de la gestión de inventarios de repuestos de Proalco												Levantamiento de información en almacén de Proalco	Almacén Proalco
	Proponer estrategia y organigrama de mantenimiento para el modelo de análisis de inventario basada en RCM y RCS												Elaborar Modelo con base en RCM y RCS	Planta Proalco
Hacer	Aprobación de estrategia y organigrama												Reunión y acta de aprobación	Planta Proalco
	Selección de personal de mantenimiento												de acuerdo a su hoja de vida y competencias	Planta Proalco
	Detección de necesidades de capacitación y entrenamiento												De acuerdo a las necesidades de la estrategia	Planta Proalco
	Elaboración de cronograma de capacitación y entrenamiento												De acuerdo a la disponibilidad de cursos en el mercado	Planta Proalco
	Aprobación y selección de proveedor de capacitación y entrenamiento												Efectuando un análisis de los oferentes	Planta Proalco
	Capacitación analista RCM												Presencial tres días	instalaciones Proveedor
	Capacitación facilitador RCM												Presencial cinco días	instalaciones Proveedor
	Capacitación facilitador RCS												Presencial cinco días	instalaciones Proveedor
	Elaborar políticas de inventario y modificar procedimientos existentes												de acuerdo a los sistemas o equipos a definir	Planta Proalco
	Elaboración de matriz de criticidad de equipos												Con base en criterios de seguridad industrial, medio ambiente, seguridad operacional, costo y calidad	Planta Proalco
	Análisis RCM para equipos según su criticidad												Según la metodología RCM	Planta Proalco
	Análisis RCS para repuestos según criticidad de equipos												Según la metodología RCS	Planta Proalco
	Elaboración de planes de Mantenimiento línea de galvanizado (Piloto)												Según la metodología RCM	Planta Proalco
	Verificación de códigos existentes de acuerdo al análisis RCS												Emitiendo listados existentes en SAP y verificando item x item	Planta Proalco
	Creación de códigos de repuestos críticos y puntos de reorden donde aplique												De acuerdo a los procedimientos existentes en el almacén para creación de códigos	Planta Proalco
	Solicitud de repuestos												de acuerdo a los procedimientos existentes en el área de compras	Planta Proalco
	Verificar	Verificar valor y rotación del inventario												Según informe mensual de ingresos y salidas de repuestos del almacén
Análisis de tiempos perdidos en producción por falta de repuestos													reporte mensual de tiempos perdidos por falta de repuestos	Planta Proalco
Actuar	Actualizar matriz de criticidad												de acuerdo a revisión Multidisciplinaria	Planta Proalco
	Revisar planes de mantenimiento y ajustar tareas y repuestos												verificar eficacia de los planes de mantenimiento	Planta Proalco

Cargos	Gte. Op.	Gte. RRHH	Gte. Mto.	Gte. Alm.	Jefe Com.	Plan. Mto.	Ana. Mto.	Sup. Mto.	Tec. Mto.	Ope.
	Gerente de Operaciones	Gerente de Recursos Humanos	Gerente de Mantenimiento	Gerente de Almacén	Jefe de Compras	Planeador de Mantenimiento	Analista de Mantenimiento	Supervisor de Mantenimiento/Producción	Técnico de Mantenimiento	Operario Producción

Tabla 3. Cronograma para modelo propuesto de análisis de inventarios

Item	Actividad	meses																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	15	16
1	Analizar y describir la situación actual de la gestión de inventarios de repuestos de Proalco	■																
2	Proponer estrategia y organigrama de mantenimiento para el modelo de análisis de inventario basada en RCM y RCS		■															
3	Aprobación de estrategia y organigrama			■														
4	Selección de personal de mantenimiento			■														
5	Detección de necesidades de capacitación y entrenamiento				■													
6	Elaboración de cronograma de capacitación y entrenamiento				■													
7	Aprobación y selección de proveedor de capacitación y entrenamiento					■												
8	Capacitación analista RCM						■											
9	Capacitación facilitador RCM							■										
10	Capacitación facilitador RCS								■									
11	Elaborar políticas de inventario y modificar procedimientos existentes						■											
12	Elaboración de matriz de criticidad de equipos							■										
13	Análisis RCM para equipos según su criticidad							■	■	■	■	■	■					
14	Análisis RCS para repuestos según criticidad de equipos								■	■	■	■	■					
15	Elaborar planes de Mantenimiento en SAP (Piloto Línea de Galvanizado)								■	■	■	■	■					
16	Verificación de códigos existentes de acuerdo al análisis RCS										■	■	■	■				
17	Creación de códigos de repuestos críticos y puntos de reorden donde aplique												■	■	■			
18	Solicitud de repuestos														■	■		
19	Verificar valor y rotación del inventario																■	
20	Análisis de tiempos perdidos en producción por falta de repuestos																■	
21	Actualizar matriz de criticidad																	■
22	Revisar planes de mantenimiento y ajustar tareas y repuestos																	■

9 CONCLUSIONES

- El modelo propuesto de inventario permitirá contar con una base de datos válida para realizar estimaciones de materiales, definir stocks mínimos y de respaldo para las actividades de mantenimiento de la empresa a través de planes de mantenimiento basados en confiabilidad.
- El modelo también contribuirá en la generación de valor al proceso de planificación del mantenimiento, apalancando en las mejoras implementadas a la catalogación de materiales y en los recursos disponibles en SAP
- Favorecerá la disminución de la desviación existente entre el monto planeado y el monto real por cada orden de mantenimiento al contar con un control detallado, en SAP, del gasto por orden de mantenimiento.
- Se generará una cultura de optimización en el manejo de recursos considerando que los ejecutores de mantenimiento devuelvan a almacén los materiales sobrantes evitando la acumulación de los mismos en talleres y otros ambientes de la planta
- Se mejorará el tiempo de atención de requerimientos; la rotación de inventarios se incrementará por cuanto el usuario identificará con mayor facilidad las existencias en almacén; se contribuirá con la racionalización del uso de papel pues en lugar de presentar vales de consumo se indicará únicamente el número de la reserva
- El modelo permitirá sentar las bases para la integración con los convenios de ferretería menor y las compras locales que son un paso previo a la elaboración de solicitudes de pedido para compra centralizada, aspecto que

permite a los responsables de almacén crecer en su aporte a las operaciones del negocio.

10 RECOMENDACIONES

- Se recomienda también impulsar la gestión de baja a fin de mantener los almacenes con materiales disponibles y que no hayan perdido su capacidad de uso por obsolescencia.
- Los centros de costo de la planta deben ser verificados para que las reservas de materiales en SAP asociadas a órdenes de mantenimiento se imputen exclusivamente a donde fueron solicitadas, para que se eviten consumos de materiales a otras actividades de mantenimiento y que cuando se decida sacar el elemento del almacén efectivamente esté disponible.
- El uso de software como **RCS toolkit** o similares, requiere aprobación de Bekaert ya que debe ser compatible con la plataforma de SAP y se debe demostrar que genera valor con la implementación del modelo de análisis de inventarios probado inicialmente de forma manual.
- La información consignada en la presente monografía debe ser utilizada como base fundamental en la implementación de la estrategia de inventarios basada en conceptos de confiabilidad, ya que corresponde a la situación actual real del escenario de mantenimiento y su relación con los inventarios de repuestos actuales.

BIBLIOGRAFÍA

BALLESTEROS CORREA, Freddy, Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad basado en PMO para concretos Argos S.A. Proyecto de grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento) Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2012. 79p.

CASTRO, Orduz Fabio Alexander – GÓMEZ López Juan Luciano.- Monografía: Análisis para el mejoramiento de la gestión de Inventario de repuestos para maquinaria y equipo de la empresa SP Ingenieros SAS.- Universidad Industrial de Santander – 2014

CHAVEZ ANDIA, Jorge. Consultor Senior de Ellmann, Sueiro y Asociados. RCS-Repuestos centrados en Confiabilidad - <http://www.ellmann.net>

GÓMEZ, Márquez Aníbal José – Monografía: Modelo para determinar políticas de inventario basado en los conceptos de riesgo y confiabilidad de equipos – Universidad del Norte - 2008

GONZALES JAIMES, Isnardo. Seminario II Monografía de Especialización. Universidad Industrial de Santander. 1999

INTRODUCCION AL ANALISIS RACIONAL DEREPUSTOS
www.repuestoscriticos.com.ar - 23 de Octubre, 2006

MELGUIZO, Gabriel. Proyecto PAM. Ajuste del Mantenimiento en REP al modelo de Mantenimiento del Grupo ISA. Abril 2011.

MORA G. Luis Aníbal. Gestión logística Integral – Editorial Ecoe

MOROSINI, Piero. Las Siete Llaves de la Imaginación. 2. Perú: LID Editorial Empresarial, 2011. 253 p.

MOUBRAY, John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Aladon Ltd., Buenos Aires – Madrid, 2004.

NOWLAN, F. Stanley and HOWARD F. Heap, “Reliability-centered Maintenance”, Department of Defense, Washington, D.C, 1978, Report Number AD-A066579, Unclassified.

ORTIZ PLATA Daniel – Conferencia APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA REPUESTOS ALINEADOS CON EL RIESGO Y LA CONFIABILIDAD – RARC - Congreso internacional de Ingeniería en Mantenimiento – Costa Rica 18 y 19 de junio de 2014

PAUCAR ENRÍQUEZ, Esperanza Jesús, Uso de reservas en SAP como herramientas de planificación en la gestión de recursos. Red de Energía del Perú S.A. Perú. 2011.