

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

OPTIMIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE TRABAJO PARA
REDUCCIÓN DE LA NECESIDAD DE MANTENIMIENTO EN
TORNOS CNC

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el
bachiller:

Juan Martín Tadeo Valdivia Alvarez

ASESOR: **Walter Silva Sotillo**

Lima, noviembre de 2011

Resumen

Esta tesis presenta Optimización del Procedimiento de Trabajo para Reducción de la Necesidad de Mantenimiento en Tornos CNC; el tema abarca la descripción actual de la empresa y su sistema actual de trabajo. Se hace énfasis en el proceso principal, concerniente a las operaciones en Tornos CNC.

Se describen los parámetros de trabajo, tales como el espacio de trabajo y la clasificación de los recursos disponibles, útiles para poder aplicar las herramientas de mejora que se plantean. En base a la data recopilada se realiza la predicción de la necesidad de mantenimiento, aplicando las cadenas de Markov, conjuntamente a la determinación del período crítico, en el cual los tornos con los que cuenta la empresa sufren fallas a la vez.

Llegando a la aplicación de herramientas, realizamos cuatro propuestas de mejoras aplicables a la empresa y su proceso productivo, como son la distribución de planta, la estandarización de procesos, la determinación de la cantidad económica de pedido y la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Esta última herramienta será tomada como control para medir la efectividad de las propuestas.

Finalmente, realizamos la comparación de las herramientas, estudiando primero el grado de influencia sobre el proceso productivo, su compatibilidad y las ventajas y desventajas que poseen los procedimientos de implementación. Una vez decidido el modo de proceder, se realiza una evaluación económica, mediante la medición del costo y el beneficio de la aplicación de la herramienta.

El lograr un mayor beneficio con el procedimiento elegido que el logrado con la herramienta de control nos indica que este procedimiento es el correcto a aplicar para reducir la necesidad de mantenimiento. Es un indicador importante del éxito de lo planteado, con lo cual se pueden plantear nuevas expectativas en lo que horizontes de producción se refiere, asumiendo menos costos de oportunidad.

INDICE GENERAL

Indice General	i
Indice de Tablas	v
Indice de Figuras	vii
Indice de Anexos	viii
Introducción	1
Capítulo 1: Marco Teórico	
1.1 Cadenas de Markov	3
1.1.1 Procesos Estocásticos	3
1.1.2 Transición	4
1.1.3 Condiciones de Estado Estable	5
1.2 Distribución de Planta	6
1.2.1 Pasos para el diseño de planta	6
1.2.2 Tipos de distribución	7
1.2.4 Gráfica de relación de actividades	8
1.2.6 Enfoque básico	8
1.3 Estandarización de Procesos	9
1.3.1 Estándar	9
1.3.2 Estandarización	9
1.3.3 Pasos para estandarizar los procesos	10
1.3.4 Pasos de preparación para la estandarización	11
1.3.5 Organización para Estandarizar	11
1.3.6 Implementación de la estandarización	12
1.4 Fundamentos del Control de Inventario	14
1.4.1 Variables de un Sistema de Inventario	14
1.4.2 Modelo EOQ	15
1.4.3 Modelo EPQ	15
1.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	17
1.5.1 Definición	17
1.5.2 Conceptos del RCM	17
1.6 Herramientas a Utilizar	21
1.6.1 Herramientas del Control de la Calidad	21
1.6.2 Herramientas del Estudio de Métodos	23

Capítulo 2: Situación Actual de la empresa y Parámetros de Trabajo

2.1 Descripción de la Situación Actual	24
2.1.1 Reseña histórica	24
2.1.2 Visión	24
2.1.3 Misión	25
2.1.4 Organigrama de la Empresa	25
2.1.5 Principales Clientes	26
2.1.6 Infraestructura Física y Equipo	26
2.1.7 Recursos Humanos	28
2.1.8 Descripción del Proceso Principal	28
2.1.8.1 Indicadores de Rendimiento	31
2.1.8.2 Niveles de Producción	32
2.1.8.3 Operaciones de medición	33
2.1.8.4 Costos de Operación	34
2.2 Parámetros de Trabajo	35
2.2.1 Espacio de Trabajo	35
2.2.2 Delimitación del Tiempo de Trabajo	36

Capítulo 3: Desarrollo de la predicción de la necesidad de mantenimiento y aplicación de las herramientas propuestas

3.1 Determinación de la probabilidad de necesidad de Mantenimiento	38
3.1.1 Descripción de la obtención de datos	38
3.1.2 Confiabilidad de los tiempos tomados	38
3.1.3 Restricciones de los tiempos tomados	40
3.1.4 Clasificación de Datos	40
3.1.5 Análisis Estadístico de Datos	41
3.1.6 Supuestos del modelo	42
3.1.7 Definición de Estados	44
3.1.8 Elaboración de la Matriz de Transición	44
3.1.9 Determinación de los Estados Estables	45
3.1.10 Determinación del Período Crítico	46
3.1.11 Consecuencias para la Empresa	47
3.2 Aplicación de las Herramientas	48
3.2.1 Distribución de Planta	48
3.2.1.1 Planeación inicial de instalaciones	48
3.2.1.2 Planos del Producto	49

3.2.1.3 Carta de Ensamble	50
3.2.1.4 Hoja de Operación	51
3.2.1.5 Método Systematic Layout Planning	53
3.2.2 Estandarización de Procesos	58
3.2.2.1 Preparación para la Estandarización	59
3.2.2.2 Identificación de los Procesos	59
3.2.2.3 Definición de Tareas Prioritarias	60
3.2.2.4 Definición de Procedimientos Estándares de Operación	61
3.2.3 Determinación de la Cantidad Económica de Pedido	65
3.2.3.1 Cantidad de Insumos utilizados	65
3.2.3.2 Identificación de Proveedores	65
3.2.3.3 Variables a Considerar	66
3.2.3.4 Aplicación del Sistema de Revisión Continua de Inventarios	66
3.2.3.5 Aplicación del Sistema de Revisión Periódica de Inventarios	67
3.2.4 Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	69
 Capítulo 4: Integración de las herramientas de mejora para la obtención del método óptimo	
4.1 Identificar relaciones entre herramientas	76
4.1.1 Distribución de Planta - Estandarización de Procesos	77
4.1.2 Distribución de Planta – Determinación de la EOQ	78
4.1.3 Estandarización de Procesos – Determinación de la EOQ	78
4.2 Definir Ventajas y Desventajas	79
4.3 Comparación con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	80
4.4 Estudio de Resultados	81
4.5 Método Óptimo	82
4.5.1 Beneficios del Método Óptimo	82
4.5.2 Aspectos a Mejorar	85
 Capítulo 5: Evaluación Económica Financiera	
5.1 Evaluación de Resultados con el Método de Reducción de la Necesidad de Mantenimiento	86
5.1.1 Evaluación económica del proyecto	86
5.1.2 Evaluación económica anual	88
5.2 Evaluación de Resultados del sistema propuesto	89

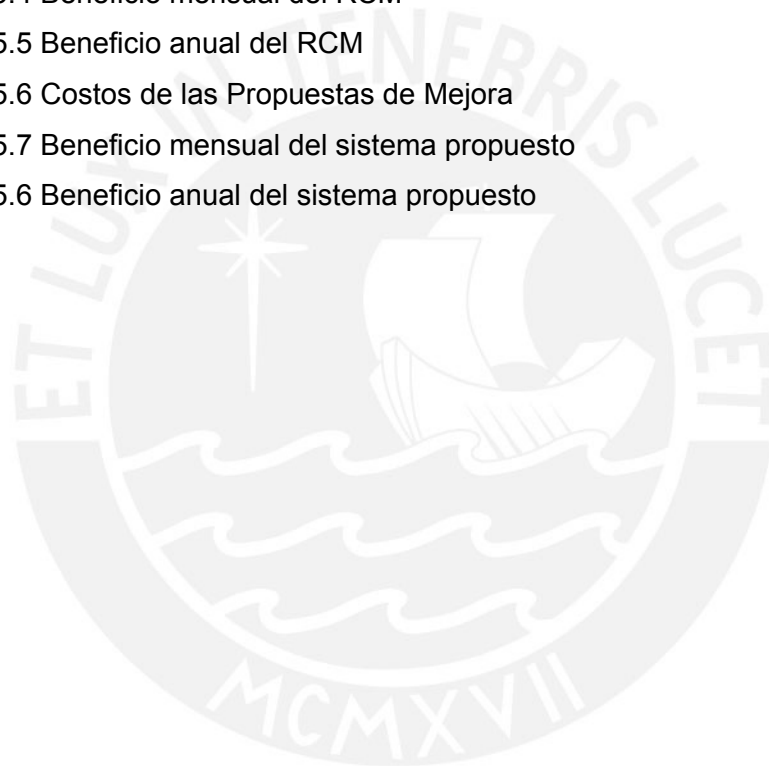
5.2.1 Evaluación económica del proyecto	89
5.2.2 Evaluación económica anual	90
Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones	91
Referencias Bibliográficas	93



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Símbolos de Flujograma	21
Tabla 1.2 Plantilla del Diagrama Analítico de Proceso	23
Tabla 2.1 Producción mensual por torno CNC	32
Tabla 2.2: Costos de Operación de CNC	34
Tabla 2.3 Costo de Oportunidad por mantenimiento de Reparación	34
Tabla 3.1: Parámetros Obtenidos	38
Tabla 3.2: Errores muestrales considerados	39
Tabla 3.3: Tamaño de muestra determinados	39
Tabla 3.4 Distribución de eventos mensuales	40
Tabla 3.5 Parámetros Estadísticos	41
Tabla 3.6 Semanas en las que se necesita mantenimiento por máquina y semestre	43
Tabla 3.7 Tabla ANOVA resultante	43
Tabla 3.8 Tabla de Contribuciones a la varianza total de medición	44
Tabla 3.9 Matriz de Transición	45
Tabla 3.10 Estados Estables	45
Tabla 3.11 Resultados de Primera Pasada	46
Tabla 3.12 Hoja de Operación del Pin de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½"	52
Tabla 3.13 Valoración de Relaciones de Actividades	54
Tabla 3.14 Tabla de ratios de cercanía total	55
Tabla 3.15 Secuencia de Colocación	55
Tabla 3.16 Ubicación relativa entre áreas – Primer Posicionamiento	56
Tabla 3.17 Ubicación relativa entre áreas - Segundo Posicionamiento	56
Tabla 3.18 Ubicación relativa entre áreas – Tercer Posicionamiento	56
Tabla 3.19 Ubicación relativa entre áreas – Cuarto Posicionamiento	56
Tabla 3.20 Ubicación relativa entre áreas – Posicionamiento Final	57
Tabla 3.21 Matriz de Influencia	61
Tabla 3.22 Cantidad de Insumos Utilizados	65
Tabla 3.23 Proveedores de Insertos	65
Tabla 3.24 Datos de Inventario	66
Tabla 3.25 Comparación de Sistemas de Revisión de Inventarios	68
Tabla 3.26 Modos de falla	70
Tabla 3.27 Clasificación de consecuencias de falla	74
Tabla 3.28 Mantenimiento a Aplicar	75
Tabla 4.1 Aporte de Herramientas	77

Tabla 4.2 Tabla de beneficios comparativos.	79
Tabla 4.3 Aporte del RCM	80
Tabla 4.4 Valoración de Aportes	81
Tabla 4.5 Aporte Totalizado	81
Tabla 4.6 Reducción de Esfuerzo de Máquina	82
Tabla 4.7 Influencia por Proceso	84
Tabla 4.8 Reducción de la incertidumbre en el desarrollo del producto	84
Tabla 5.1 Costo Mensual de la reparación	86
Tabla 5.2 Reducción de tiempos estimados de Mantenimiento	87
Tabla 5.3 Costos del RCM	87
Tabla 5.4 Beneficio mensual del RCM	88
Tabla 5.5 Beneficio anual del RCM	88
Tabla 5.6 Costos de las Propuestas de Mejora	89
Tabla 5.7 Beneficio mensual del sistema propuesto	89
Tabla 5.6 Beneficio anual del sistema propuesto	90



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de transición	5
Figura 1.2 Pasos principales en el diseño de una planta	6
Figura 1.3 Esquema de Estándares	9
Figura 1.4 Pasos para estandarizar	10
Figura 1.5 Ciclo del EstEVA	12
Figura 1.6 Nivel de Inventario en el modelo EOQ	15
Figura 1.7 Nivel de Inventario en el modelo EPQ	16
Figura 2.1 Localización de Pernito S.A.C.	24
Figura 2.2 Organigrama General de la Empresa	25
Figura 2.3 Organigrama del área de Operaciones	25
Figura 2.4 Layout de planta(Medidas en mm)	27
Figura 2.5 Esquema de Trabajo de Torno CNC	29
Figura 2.6 Diagrama Analítico de Procesos	30
Figura 2.7: Gráfica del nivel de producción	32
Figura 2.8: Gráfica de relación entre Pedidos y Tiempos de Mantenimiento	35
Figura 2.9 Área de maquinado en CNC	36
Figura 2.10 Línea de Tiempo de Trabajo	37
Figura 3.1: Distribución de cantidad de máquinas por semana	42
Figura 3.2 Distribución Actual de Planta	49
Figura 3.3 Carta de Ensamble del Pin de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½"	51
Figura 3.4 DOP del PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½"	53
Figura 3.5 Tablas de Relación de Actividades en números y en letras.	54
Figura 3.6 Distribución de Planta propuesta	57
Figura 3.7 Flujo de Procesos en tornos CNC	60
Figura 3.8 Procedimiento de Soporte de Procesos	62
Figura 3.9 Procedimiento de Inspección de Salida	63
Figura 3.10 Procedimiento de Reparación	63
Figura 3.11 Procedimiento de Operación Productiva	64
Figura 3.12 Procedimiento de Entrada y Salida de Insumos	64
Figura 4.1 Relación de aportes Distribución de Planta – Estandarización de Procesos	77
Figura 4.2 Relación de aportes Distribución de Planta – Determinación de la EOQ	78
Figura 4.3 Estandarización de Procesos – Determinación de la EOQ	78
Figura 4.4 Relación de aportes – RCM	80
Figura 4.5 Tendencia del tiempo invertido en el mantenimiento	83

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Principales Clientes de Pernito S.A.C	94
Anexo 2 Maquinaria con la que cuenta Pernito S.A.C.	98
Anexo 3 Materiales necesarios para la producción	100
Anexo 4 Hoja de ocurrencias	112
Anexo 5 Datos recopilados	113
Anexo 5 Datos clasificados por semana	115
Anexo 6 Secuencia de Cálculo del Estado Estable	117
Anexo 7 Ecuaciones de Primera Pasada ingresadas en <i>Lindo</i>	120
Anexo 8 Resultados de Primera Pasada obtenidos de <i>Lindo</i>	121
Anexo 9 Plano del Producto PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½" (Grd8)	123



Introducción

La competitividad de la actualidad obliga a las empresas a incrementar la diferencia entre la ganancia y el costo. Por un lado, el incremento de precios significa enfrentar al mercado, debiendo poder complementarlo con ofrecer un mayor valor agregado en los productos. Si bien esto es factible, se necesita una programación al mediano o largo plazo, ya que se deben considerar las tendencias de la demanda y de la oferta, es decir, las actitudes que tomarán nuestros clientes y las empresas del rubro del que nos encargamos para el futuro. Esto involucra muchos factores externos a la organización, los cuales son extremadamente variables, y causan un sesgo al que se debe dedicar un amplio período de tiempo para despejar o reducir.

Como alternativa al incremento de precios, se tiene la reducción de costos. Es tarea de las áreas de Operaciones, tales como Producción, Logística, Mantenimiento, Planeamiento y Calidad, encontrar oportunidades en los procesos que no agregan valor al producto elaborado. En la cadena de suministro, podemos extender esta responsabilidad a los proveedores con los cuales se debe estar continuamente alineado.

La oportunidad de mejora que se ha encontrado en el presente trabajo es la reducción de los tiempos de mantenimiento en el proceso principal, que es toda operación realizada en los tornos de CNC. Estos tiempos de mantenimiento generan un costo de oportunidad muy alto, al ser tiempos improductivos, en los cuales la línea tiene que parar, ya que no se tienen máquinas alternativas que posean el mismo grado de precisión y acabado que tienen los tornos CNC.

Antes de realizar las propuestas de mejora, se determinó la probabilidad de falla en estos tornos, para poder conocer con lo que se tendrá que lidiar. Se analizaron resultados históricos de fallas mediante cadenas de Markov, estados en los que las máquinas no están en funcionamiento, precisando estados críticos y el tiempo que tomará al sistema llegar a estos.

Se han encontrado cinco propuestas de mejora. La propuesta más fuerte es una nueva distribución de planta ya que los tornos CNC, al ser recientemente adquiridos, no poseen una ubicación previamente estudiada, sino que se han instalado en espacios disponibles, por la necesidad de continuar con la producción.

Una propuesta que, tanto como alcanzar nuestro propósito, ayudará a la organización a mantener sus procesos más uniformes es la estandarización de procesos. Se plantea un mapa de procesos simple que, sin embargo, propone una manera coherente de proceder en cada actividad, identificando a los responsables de cada tarea y los procesos que deben dejarse de lado.

Del lado de la Logística y el Planeamiento, los períodos de reposición de insumos de los tornos CNC no han sido analizados previamente, por lo cual se plantea dos maneras de realizar esta reposición, una con la revisión continua de inventarios y otra con la revisión periódica de inventarios. Esto, asociado a una buena comunicación con los proveedores, influiría en la manera de ver los inventarios de insumos, tanto como para los tornos CNC como para las demás máquinas con las que se cuenta en la planta.

Como herramienta de control se propone el mantenimiento centrado en la confiabilidad, elaborando cronogramas de revisiones y procedimientos de mantenimiento, así como identificando causas y efectos que se involucran en los fallos de los tornos CNC. Esto nos da a elegir sobre que tipo de mantenimiento aplicar a los tornos que se poseen, como el predictivo, preventivo, correctivo o el detectivo. De esta manera se tendrá la capacidad de explorar las consecuencias de un mal uso de los tornos CNC e identificar donde no se debe realizar sobreesfuerzos.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Cadenas de Markov

Un proceso de Markov es un proceso estocástico para el cual la ocurrencia de un estado futuro solo depende del estado inmediatamente anterior. Es decir es un proceso sin memoria.

Este proceso está caracterizado por estados discretos y los eventos por transiciones entre estados. Las transiciones de estado corresponden a cambios de un estado en otro.

Los procesos de Markov de estados discretos pero continuos en tiempo, son de gran aplicación en estudios de confiabilidad y las probabilidades de estado estable que se pueden obtener del proceso de Markov permite asociarlas a relaciones de estado estable para mediciones de desempeño.

1.1.1 Procesos Estocásticos

La sucesión de observaciones X_1, X_2, \dots es proceso estocástico o proceso aleatorio si estas son variables aleatorias cuyos valores se observan en ciertos puntos del tiempo. La primera observación X_1 se conoce como el estado inicial del proceso y para $n = 2, 3, \dots$, X_n es el estado del proceso en el tiempo n . En un proceso de este tipo los valores de las observaciones no pueden predecirse con precisión. Sin embargo, puede especificarse una probabilidad de observar determinado valor, asociada a una distribución de probabilidad, semejante a todas las variables de la sucesión.

En un proceso estocástico el estado varía en una forma aleatoria. Para describir el modelo de probabilidad es necesario especificar una probabilidad para cada uno de los posibles valores del estado inicial. También es necesario especificar para cada estado subsiguiente X_{n+1} todas las probabilidades condicionales de la forma siguiente:

$$P\{X_{n+1} = s_{n+1} / X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_N = s_n\}$$

Esto quiere decir que para todos los tiempos n , el modelo de probabilidad debe especificar la probabilidad condicional de que el proceso esté en el estado s_{n+1} en el

tiempo $n+1$, dado que en los tiempos $1, 2, \dots, n$; el proceso estuvo en los estados S_1, S_2, \dots, S_n .

1.1.2 Transición

Un proceso de Markov se identifica como sigue: Si $S_{i(n)}$ identifica al evento de que el sistema está en el estado i después de n transiciones, entonces:

$$P\{S_{i(n)} / S_{a(n-1)}, S_{b(n-2)}, \dots, S_{z(0)}\} = P\{S_{i(n)} / S_{b(n-1)}\}$$

Donde $p_{ij} = P\{S_{j(n)} / S_{i(n-1)}\}$ es la probabilidad condicional de que el sistema cambie a S_j , en el tiempo n , dado que estaba en S_i en el tiempo $n-1$ y $P_{i(n)} = P\{S_{j(n)}\}$ es la probabilidad de que el sistema está en el estado i en el tiempo n . En general debe cumplirse que: $0 \leq p_{ij} \leq 1$

En general, se considera una cadena de Markov con k estados posibles s_1, s_2, \dots, s_k y probabilidades estacionarias. Para $i = 1, 2, 3, \dots, k$ y $j = 1, 2, 3, \dots, k$ denotaremos por p_{ij} la probabilidad condicional de que el proceso estará en el estado s_j en un determinado momento si está en el estado s_i en el momento inmediatamente anterior. Entonces la matriz de transición de la cadena de Markov se define como una matriz de dimensiones $k \times k$, que llamamos P con elementos p_{ij} :

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{01} & \cdots & p_{02} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{12} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{kk} \end{pmatrix}$$

El elemento en la fila i , columna j , $p_{ij} = P\{X_n = s_j / X_{n-1} = s_i\}$, representa la probabilidad de transición de un paso, indican la probabilidad de pasar del estado i en el tiempo actual al estado j en el tiempo siguiente. Vemos que para todo i, j $0 \leq p_{ij}$ y que además la suma de estos valores en cada fila es igual a 1:

$$\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$$

La matriz de transición también puede ser representada gráficamente con un diagrama de transición, que consta de tres partes principales, el nodo, el arco y la probabilidad que se acota en este. Este es mostrado en la figura 1.1.

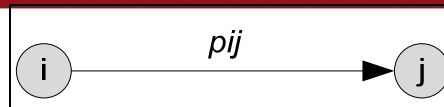


Figura 1.1 Diagrama de transición

Fuente: Winston, L. (2004)

Elaboración Propia

1.1.3 Condiciones de Estado Estable

Considere $\Pr(X_n = j)$, la cual es la probabilidad que después de una simulación de una cadena de Markov para n pasos, el estado alcanzado sea $X_n = j$.

Estas probabilidades pueden ser arregladas en un vector fila $\pi^{(n)}$ donde, por definición $\pi_j^{(n)} = \Pr(X_n = j)$. Cuando $n = 1$, vemos que

$$\Pr(X_1 = j) = \sum_{i \in \Omega} \Pr(X_1 = j, X_0 = i) = \sum_{i \in \Omega} \Pr(X_1 = j | X_0 = i) \Pr(X_0 = i)$$

Esto puede ser escrito en forma matricial como

$$\pi_j^{(1)} = \sum_{i \in \Omega} \pi_i^{(0)} P_{ij} \quad \text{o} \quad \underline{\pi}^{(1)} = \underline{\pi}^{(0)} \underline{\underline{P}} [0,1]$$

De manera similar

$$\underline{\pi}^{(n)} = \underline{\pi}^{(n-1)} \underline{\underline{P}}$$

Supongamos que se cumple que

$$\underline{\pi} = \underline{\pi} \underline{\underline{P}}$$

es decir, $\underline{\pi}$ es un vector propio izquierdo normalizado de la matriz $\underline{\underline{P}}$, ya que

$\sum_i \pi_i = 1$ y con valor propio 1. Entonces $\underline{\pi}$ es una distribución estacionaria para $\underline{\underline{P}}$

ya que si $\underline{\pi}^{(n)} = \underline{\pi}$ entonces $\underline{\pi}^{(n+1)} = \underline{\pi}^{(n)} \underline{\underline{P}} = \underline{\pi}$ también, es decir, una vez que la cadena está en la distribución $\underline{\pi}$ ésta se queda en esta distribución.

1.2 Distribución de Planta

La distribución de planta comprende el diseño de una instalación productiva, considerando la determinación de las instalaciones que se necesitan, dónde se ubicarán, que tamaño tendrán. Esto se determinará teniendo en cuenta la satisfacción de los objetivos corporativos. La distribución de planta está estrechamente relacionado con el manejo y almacenamiento de materiales, con lo cual, el criterio para evaluar el diseño de planta es el costo del manejo de materiales.

1.2.1 Pasos para el diseño de planta

Los pasos a seguir en el diseño de una planta, los cuales se esquematizan en la figura 1.2, son:

- Diseño del producto y determinación del volumen de producción del producto
- Proceso con el cual se elaborará el producto
- Análisis de la Mano de obra directa, la maquinaria y las instalaciones con las que se contará en la planta, así como de la relación que guardan entre sí.
- Los aspectos anteriores conllevan a una concepción general de la configuración de la planta, en la que se plantea la distribución de la maquinaria y los espacios de trabajo
- Finalmente se realiza el diseño del edificio

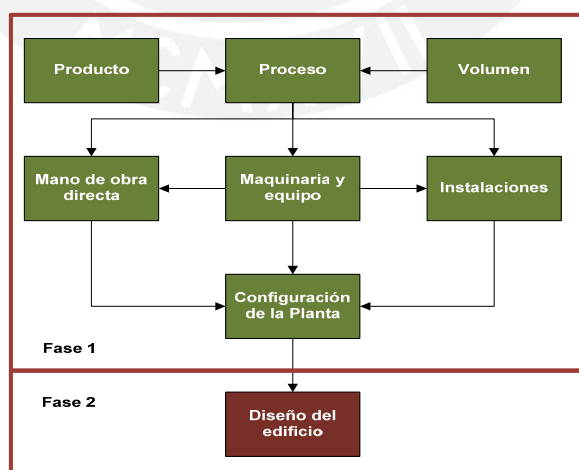


Figura 1.2 Pasos principales en el diseño de una planta

Fuente: Philip E. Hicks

Elaboración propia

La distribución abarca las tarjetas de producción, el control de inventarios, el manejo de materiales, la programación, el encaminamiento, el recorrido y el despacho del trabajo. Las condiciones de trabajo, al ser dinámicas la mayoría de casos, con frecuencia se tiene la oportunidad de hacer mejoras en la distribución de la maquinaria.

Se debe tomar en cuenta los hechos que influyen directa o indirectamente en la distribución, estos son:

- Volumen de ventas
- Cantidad de mano de obra
- Posiciones de operación (Sentado, de pie, sentado/de pie)
- Lugares de trabajo con actividad visual intensa
- Inventario actual de máquinas
- Condición de la maquinaria
- Cambios del diseño del producto
- Planos de fabricación o planta ya existentes
- Nivel de manejo de materiales

1.2.2 Tipos de distribución

Existen tres tipos básicos:

- Distribución de proceso: las máquinas con la misma función se sitúan en la misma área.
- Distribución por producto: las máquinas se sitúan de acuerdo con el uso en la fabricación del producto.
- Distribución por posición fija: mientras el producto permanece estacionado, las máquinas se mueven hacia el producto.

Recientemente se han identificado dos tipos de distribución adicionales:

- Celda de manufactura: se establece una secuencia de equipo requerido como una unidad de producción independiente y se repite tantas veces como sea necesario para obtener la información requerida.
- Celdas de tecnología de grupo: celdas que proporcionan capacidad de procesamiento para una familia de productos similares. Es un híbrido de un tipo genérico con la celda de manufactura.

1.2.3 Gráfica de relación de actividades

Se siguen tres pasos para elaborar una gráfica simple que represente las áreas con las que se cuenta en planta:

- Se comienza su elaboración con bloques de tamaños iguales
- Se acomodan según las relaciones y funcionalidades conjuntas que tienen las áreas representadas por los bloques.
- Se hace bloques de tamaños ajustados, con lo cual se tiene una mejor percepción física.

1.2.4 Enfoque básico

Para poder determinar la distribución deseada se deben seguir dos pasos fundamentales:

- Establecer soluciones opcionales
- Evaluar cada una de estas

El primer paso depende la situación y del problema que se trate, mas para el segundo se debe tener ciertas consideraciones:

- El alcance del problema de la distribución.
- Instalaciones de servicio que se encontrarán en la planta. Es útil emplear una hoja de rutas, la cual señala las actividades y equipos que requieren de estas instalaciones.
- Necesidades espacio para las instalaciones o actividades que se van a encontrar en la planta.
- Relaciones entre instalaciones o actividades a ubicar. Se debe recopilar información sobre la interrelación que tendrán las instalaciones para decidir la cercanía entre sus ubicaciones. Es útil emplear un Diagrama de Proceso de Productos Múltiples, un Diagrama Desde-Hacia, o un Diagrama de Relación de Actividades

1.3 Estandarización de Procesos

Si se quiere comprender que es la estandarización, previamente se debe conocer el concepto de estándar y para que se utiliza.

1.3.1 Estándar

Los estándares que se establecen en una empresa son documentos concisos que indican el fin, en lo referente a las especificaciones del producto, los recursos y los procesos como medios ineludibles para establecer las responsabilidades y los responsables, de modo que se cumpla con la calidad que se quiere lograr y, así mismo, promueve la mejora continua. Éstos se hallan al alcance de todos en la empresa, ya sea de manera específica o general.

Como lo compendia Deming en la figura 1.3, se puede mostrar a los estándares como un estabilizador de control en el proceso (cuña), en un plano inclinado, que simbolizaría el progreso (rueda) que se aspira lograr en la empresa. De este modo, la cuña que soporta a la rueda impide que el proceso retroceda, y más bien escale a lo largo del plano.

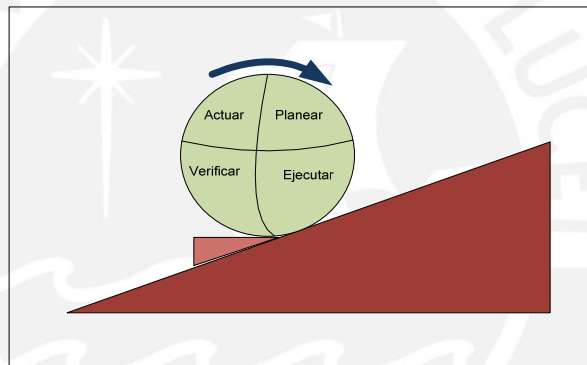


Figura 1.3 Esquema de Estándares

Fuente: Norma ISO 9001:2000

Elaboración propia

1.3.2 Estandarización

La estandarización permite poseer procesos de calidad ya que se plasma en un documento la mejor manera de realizarlos, así diferentes personas operan de la misma manera y se alcanzan resultados similares en cada operación. Con dicha documentación es posible examinar específicamente los procesos y hallar el procedimiento exacto donde puedan causarse las fallas, asimismo se identifican las áreas donde es posible ejecutar mejoras, todo esto es posible ya que los procesos están determinados. Entonces, la estandarización es la manera de tener control de los procesos y actividades de una empresa, de modo que se alcance la completa satisfacción del cliente.

1.3.3 Pasos para estandarizar los procesos

La estandarización es la realización de los procesos de una manera específica, donde se tienen que seguir parámetros, es decir, estándares, de modo que la calidad de los productos se encuentre siempre garantizada, y también se promueva la mejora continua en los mismos. Los pasos para esto se reflejan en la figura 1.4.

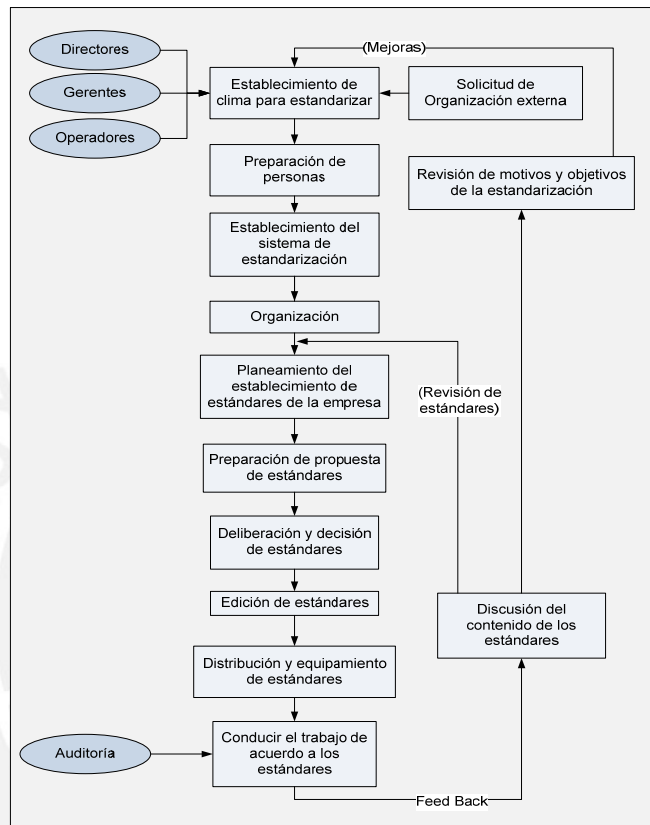


Figura 1.4 Pasos para estandarizar

Fuente: Falconi 1991:17-19 [3]

Elaboración propia

1.3.4 Pasos de preparación para la estandarización

Para iniciar la estandarización se debe crear un ambiente favorable, un clima en donde los directores, gerentes y operadores comprendan la necesidad de los estándares en la empresa. Así también se deben establecer las metas y los pasos a seguir para lograrlas.

El segundo paso a seguir es la preparación de las personas, lo cual significa instruir y entrenar a los responsables de la estandarización, así como también a aquellas que se encuentran a cargo de su promoción. Todos los involucrados en los procesos deben recibir la instrucción, y es importante que los supervisores dominen los sistemas de estándares de modo que sus operadores entiendan el procedimiento y la lógica de éstos.

1.3.5 Organización para Estandarizar

A través de la determinación y consenso sobre los procedimientos de estandarización, se forma el equipo de trabajo (organización).

La organización de estandarización cambiará de acuerdo a la magnitud de las actividades que realice la empresa, sin embargo, existen tres aspectos que se deben tomar en cuenta:

- La estandarización es la responsabilidad de la mayor autoridad de la empresa.
- El procedimiento de estandarización debe ser organizado.
- Las funciones que tenga dicho procedimiento deben ser dirigidos y controlados por algún agente interno

Estos aspectos nos indican que el proceso de estandarización es necesariamente administrado y controlado por miembros de la empresa, puesto que son ellos los interesados en que se desenvuelva óptimamente este proyecto y, asimismo son los que conocen a detalle cada uno de los procesos que se realizan en la empresa. Sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda contratar a terceros para que conformen esta organización, ya que éstos serán dirigidos y controlados por miembros internos en la empresa.

Lo primero que se debe establecer es el Comité de Dirección de Estandarización, el cual será un subcomité del comité de Calidad Total, en el caso que se esté llevando en la empresa.

1.3.6 Implementación de la estandarización

Para poder establecer la estandarización en una empresa se deben analizar los procesos y una manera recomendable para su correcta visualización e identificación de áreas críticas es el desarrollo y definición de flujogramas.

A partir de éstos se podrá evaluar los procesos y proponer las mejoras que éste necesite, asimismo se darán las especificaciones técnicas, es decir, los estándares técnicos del proceso estándar del sistema.

Los estándares planteados atraviesan por un proceso de selección y deliberación, donde se escogen los óptimos para la empresa.

Al implementarlos siempre se realiza una retroalimentación, de modo que se controle el desempeño de los estándares establecidos, para así replantearlos o continuar con los mismos.

Al igual que la herramienta PEVA (Planear, Ejecutar, Verificar, Actuar) que sirve para la solución de problemas específicos dentro de un mismo contexto, existe el EstEVA (Planear, Ejecutar, Verificar, Actuar), el cual es útil en la implementación de la estandarización, puesto que constantemente se verifica el desenvolvimiento de los estándares planteados para los procesos elegidos. La figura 1.5 muestra el sentido en que fluye esta herramienta.

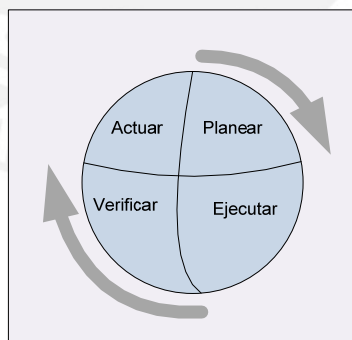


Figura 1.5 Ciclo del EstEVA

Fuente: Norma ISO 9001:200

Elaboración propia

El PEVA de estándares (EstEVA) consiste en la estandarización de la técnica del proceso, mediante los procedimientos operacionales, los cuales se plantearán de acuerdo a las especificaciones del cliente y proyecto del producto.

Luego se hará la ejecución de acuerdo a los estándares ya establecidos. La verificación se realizará para evitar o solucionar las reclamaciones de los clientes, y servirá con una inspección periódica de los estándares.

Por último actuar, es la aplicación de los estándares establecidos, de modo que se solucionen los problemas para eliminar las causas principales de las anomalías y no conformidades en los procesos.

Con el correcto uso de esta herramienta se puede garantizar la calidad de los procesos, y así generar procedimientos confiables y adecuados para lograr los objetivos planteados por la empresa.

A manera de resumen, los pasos más importantes a seguir para la implementación de procesos estandarizados son:

- **Flujograma:** donde se identifican los procesos.
- **Definir las tareas prioritarias:** tareas que se considera más importante estandarizar, puesto que son básicas para el desarrollo de los productos o servicios de la organización.
- **Procedimientos Estándares de Operación:** éstos se pueden realizar en todas las áreas, se tienen que centrar en las actividades críticas identificadas en los flujogramas u otras herramientas que cumplan con el mismo propósito. El objetivo de este paso es describir y analizar las actividades previamente escogidas. Es recomendable esquematizar dichos procedimientos de modo que se documenten y se obtenga una mejor visualización de los mismos.

1.4 Fundamentos del Control de Inventario

Aunque en la práctica son más comunes los sistemas de inventario con varias localizaciones o instalaciones, el estudio de los sistemas más simples referidos a un almacén ayuda a entender la esencia de los problemas de inventario y permite analizar con mayor facilidad los sistemas de inventario más complejos.

1.4.1 Variables de un Sistema de Inventario

Las variables que pertenecen a un sistema de inventario son:

a) Demanda

Las suposiciones que se hacen respecto a la demanda son las más importantes, ya que suelen ser las que determinan la complejidad del modelo:

- **Demanda determinística y estacionaria:** se asume que la demanda es constante y conocida.
- **Demanda determinística variable en el tiempo:** En este modelo, la cantidad demandada no es constante, sino que varía con el tiempo.
- **Demanda incierta:** Se dice que la demanda es incierta cuando no se pueden conocer a priori los valores exactos de la demanda, pero si se conoce la distribución de la demanda.
- **Demanda desconocida:** Cuando tampoco es posible conocer la distribución de la demanda, se dice que la demanda es desconocida.

b) Costes

Se suelen considerar los siguientes tipos de costes:

- Coste de mantenimiento: Representa el coste de almacenamiento de los productos.
- Coste de compra: Representa el precio por unidad del producto por la cantidad comprada.
- Coste de reposición: Es el coste asociado a un pedido.
- Coste de penalización o rotura: Representa el coste de reemplazar una pieza dañada durante la gestión logística.

c) Aspectos influyentes en el sistema

Estos aspectos son:

- Periodo de retardo: El periodo de retardo se define como el tiempo que transcurre desde que se realiza el pedido hasta que se recibe.
- Roturas: Cuando la demanda excede la cantidad existente en inventario.

- Proceso de revisión: Los tiempos entre revisiones, si el modo de verificar el nivel de inventarios es periódica o continua, dado que se procederá a reponer el stock dependiendo de esto.

1.4.2 Modelo EOQ

Las hipótesis del modelo EOQ son las siguientes:

- La demanda es conocida y constante, a una razón de d unidades por unidad de tiempo.
- La cantidad a pedir puede ser un número no entero, y no hay restricciones sobre su tamaño.
- Los costes no dependen de la cantidad de reposición, es decir, no hay descuentos dependiendo del tamaño del lote.
- Los costes no varían con el tiempo. Existe un coste de reposición, k , por pedido, y un coste de mantenimiento, h , por unidad mantenida a lo largo de cierta unidad de tiempo.
- Las reposiciones son instantáneas, es decir, el periodo de reposición es cero.
- No se permiten roturas.
- Todo el pedido se entrega al mismo tiempo.
- El horizonte de planificación es muy largo, es decir, se asume que los parámetros toman el mismo valor durante un largo periodo de tiempo.

Como el periodo de retardo es cero y la demanda es conocida, es evidente que sólo se debe realizar un pedido cuando el nivel de inventario llega a cero. Un gráfico del nivel de inventario puede verse en la figura 1.6.

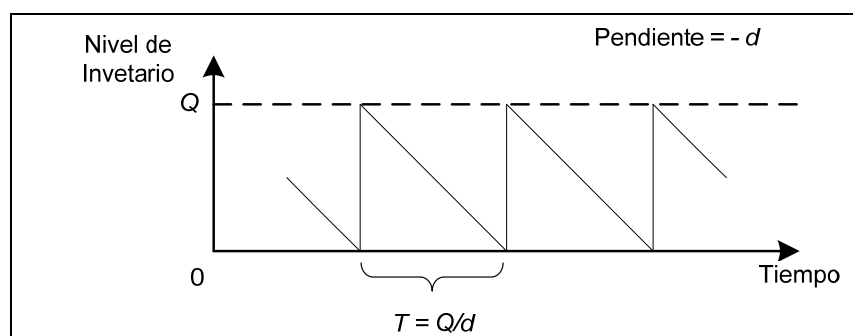


Figura 1.6 Nivel de Inventario en el modelo EOQ

Fuente: Chen F. (1998)

Elaboración Propia

Para este modelo la cantidad de reposición óptima, conocida como EOQ, (Economic Order Quantity), es

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dk}{h}}$$

Esta fórmula es uno de los primeros resultados y el más conocido de la Teoría de Inventarios. Se conoce como la fórmula de Harris (1913) o de Wilson (1934), ya que estos autores fueron los primeros que recogieron en sus respectivos trabajos dicha fórmula.

1.4.3 Modelo EPQ

Una extensión natural del modelo EOQ es el modelo EPQ (Economic Production Quantity). En el modelo EOQ, toda la cantidad pedida llega al mismo tiempo. Sin embargo, en el modelo EPQ el stock se produce a una razón finita de P unidades por unidad de tiempo, donde $P > d$. Entonces, el diagrama de la Figura 1.2 cambia a uno como el de la figura 1.7.

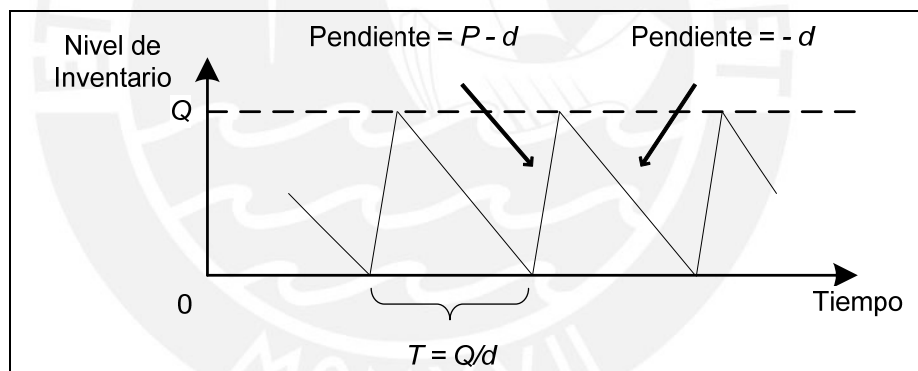


Figura 1.7 Nivel de Inventario en el modelo EPQ

Fuente: Chen F. (1998)

Elaboración Propia

1.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Se necesita una herramienta de control, con la cual poder comparar los resultados de la aplicación de las herramientas propuestas y llegar a una conclusión.

1.5.1 Definición

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), ó Reliability-centred Maintenance (RCM), permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

1.5.2 Conceptos del RCM

El RCM muestra que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocados. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:

a) El contexto operacional

Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo, objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

b) Funciones

El análisis de RCM comienza con la redacción de las funciones deseadas. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

c) Fallas funcionales o estados de falla

Las fallas funcionales ó estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.

d) Modos de falla

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la "causa raíz" de la falla.

e) Los efectos de falla

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El "efecto de falla" es un breve descripción de "qué pasa cuando la falla ocurre". Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.

f) Categoría de consecuencias

La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas
- Afectando al medio ambiente
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa
- Ninguna de las anteriores

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas.

Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente:

- Seguridad
- Medio ambiente
- Operacionales
- No operacionales

Esto con una previa separación entre fallas evidentes y ocultas. El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado. El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas.

g) Diferencia entre efectos y consecuencias de falla

El efecto de falla es una descripción de qué pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de 5 categorías, según el impacto que estas fallas tienen.

h) Diferencia entre falla funcional y modos de falla

La falla funcional identifica un estado de falla. No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas.

i) Fallas ocultas

Se puede estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. Este tipo de fallas se denominan fallas ocultas, dado que requieren de otra falla para volverse evidentes.

j) Distintos tipos de mantenimiento

Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- **El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición:** consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de falla potencial. Es decir, debe haber síntomas claros de que la falla está en el proceso de ocurrir.

- **El mantenimiento preventivo:** se refiere a aquellas tareas de sustitución o re trabajo hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. Debe tenerse mucho cuidado, al momento seleccionar una tarea preventiva, en no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacer.
- **El mantenimiento correctivo o trabajo a la rotura:** si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparará la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo de la falla (directos indirectos) es menor que el costo de la prevención, o cuando no puede hacerse ningún una tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo.
- **El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas:** consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. A este mantenimiento también se lo llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo cada el cual se realiza esta tarea se lo llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval).

k) ¿Cómo seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?

En el RCM, la selección de políticas de mantenimiento está gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.

- Para fallas con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección
- Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.
- Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

1.6 Herramientas a Utilizar

Se emplearán dos tipos de herramientas, de Calidad y de Métodos.






1.6.1 Herramientas del Control de la Calidad

a) Flujograma:

Es una herramienta que representa gráficamente un procedimiento hechos, situaciones, movimientos o relaciones de todo tipo por medio de símbolos.

Existen una gran gama de símbolos a emplear, sin embargo, se tienen algunos de uso común que se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Símbolos de flujograma

Denominación	Descripción	Figura
Conector	Líneas o conectores que señalan la secuencia o el flujo de información que se maneja en el procedimiento.	
Terminador	Señala el Inicio o el Fin del diagrama, es decir, de la situación representada. El símbolo es un rectángulo con lados izquierdo y derecho redondeados.	
Proceso	Señala un procedimiento realizado. Puede ser desde muy general hasta sumamente específico. El símbolo es un rectángulo.	
Decisión	Señala los momentos en los cuales el procedimiento se divide, y está sujeto a condiciones que de cumplirse se seguirán procesos determinados para cada una de estas. El símbolo es un rombo.	
Datos	señala los datos empleados para seguir con la secuencia de procesos. Pueden ser datos generados en el procedimiento o que entran desde fuera de este. El símbolo es un trapecio con lados paralelos.	

Fuente: Rumbaugh

Elaboración Propia

b) Muestreo:

Las técnicas de muestreo se utilizan para poder representar certeramente una población total de datos, con un nivel de confianza previamente definidos.

Existen diversas maneras de lograr una aproximación certera de los datos, para lo cual es útil ajustar la muestra definida a una distribución. Hay distribuciones continuas (en el cual existen infinitos valores entre cada valor) y discreta (en el cual existen valores concretos y secuenciales). Se cuenta con distribuciones conocidas de manejo general, de los cuales se encuentra el apropiado para nuestra muestra mediante un ajuste de bondad. En el caso que no se encuentre, se utiliza una distribución empírica.

Para el manejo de datos, se define una muestra, la cual tendrá propiedades similares al de la población total, sin embargo, existe un sesgo debido a que no se

manejan todos los datos en conjunto. Para definir esta muestra se toma en cuenta lo siguiente:

- Nivel de confianza $(1-\alpha)$: este nivel representa la probabilidad de que la muestra que se va a tomar posea el verdadero valor de los parámetros (media, varianza, etc) de la población.
- Error(d): es la diferencia que existe entre el verdadero parámetro y el parámetro muestral, es un error que se asume, el cual aumenta el tamaño muestral a medida que se reduce este error.
- Varianza(σ ó s): se consideran dos tipos de varianza, la varianza poblacional, que es el promedio de la distancia de los datos a la media. En el caso que no se conozca la varianza poblacional, se considera una varianza muestral, tomada de una muestra piloto.
- Estadístico $Z_{1-\alpha/2}$: es el estadístico normal, el cual relaciona el nivel de confianza con la varianza y el error asumido.

El tamaño de muestra, para la estimación de una media, se haya de la siguiente manera:

$$n_0 = \left(\frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \sigma^2}{d^2} \right)$$

Si es que se quiere estimar una proporción, se debe considerar como varianza la probabilidad cuya amplitud considere un tamaño de muestra sobredimensionado, es decir, una varianza de 0.25 (esto se logra considerando una proporción media de 0.5). Para poder hayar este tamaño de muestra se realiza la siguiente operación:

$$n_0 = \left(\frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \bar{p}(1-\bar{p})}{e^2} \right)$$

Tómese en cuenta que, a diferencia del caso anterior, el error muestral esta expresado como un porcentaje.

Este valor de n es el indicado si se tiene una población infinita, sin embargo, si se tiene una población finita, se realiza un ajuste a este tamaño de muestra de la siguiente manera:

- Si se estima una media:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

- Si se estima una proporción:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$$

Donde N es el tamaño de la población.

1.6.2 Herramientas del Estudio de Métodos

a) Diagrama de Análisis del Proceso

Es un diagrama de detalle, se realiza generalmente para un componente del producto, para un operario o una máquina. Este diagrama se aprecia en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Plantilla del Diagrama Analítico de Proceso

DIAGRAMA ANALITICO DE PROCESO							<input type="checkbox"/> Operación: _____ <input type="checkbox"/> Material: _____ <input type="checkbox"/> Hombre: _____		
PROCESO: _____									
METODO:		<input type="checkbox"/> Actual					<input type="checkbox"/> Propuesto		
DESCRIPCIÓN		Operación	Transporte	Inspección	Retraso	Almacenaje	Distancia en metros	Tiempo en minutos	OBSERVACIONES
		○	➔	□	D	▽			
RESUMEN	Cantidad						Diagramado por: _____		
	Tiempo						Fecha: _____	Hoja: ____ de: ____ hojas	

Fuente: José Villanueva H.

Elaboración Propia

Capítulo 2: Situación Actual de la empresa y Parámetros de Trabajo

2.1 Descripción de la Situación Actual

Se mostrará una descripción general del estado actual de la empresa en estudio.

2.1.1 Reseña histórica

Fundada en 1993 por cuatro socios: Yuri Poma, Fernando López, Juan Carlos Vilela y Juan Valdivia; de cuyos nombres se extrajeron las sílabas necesarias que conformaron Pernito S.A.C. Comenzó en una pequeña planta ubicada en la zona industrial del distrito de Santa Anita. La empresa fue desarrollándose, y fue en 1998 cuando cambiaron a la locación de la figura 2.1, con la que ahora cuentan: Avenida Industrial 3422, en la zona industrial del distrito de Independencia, de la ciudad de Lima, región Lima, país Perú.

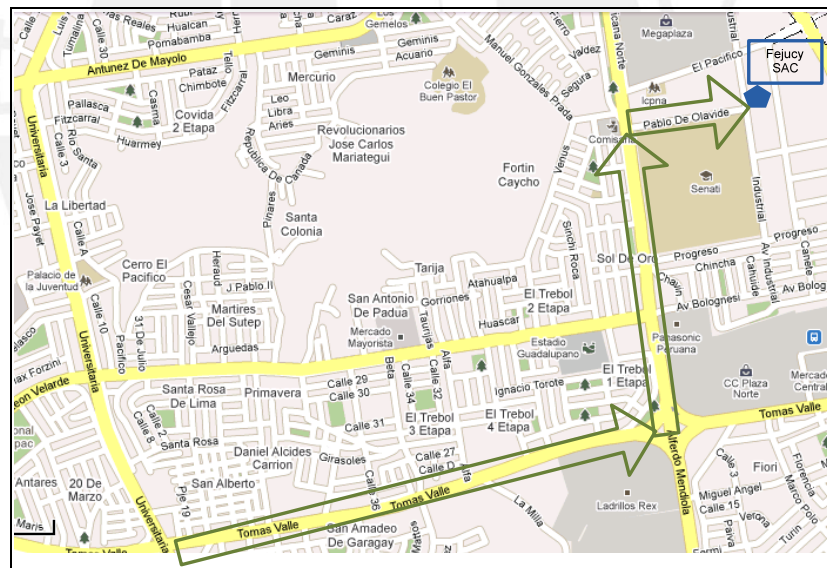


Figura 2.1 Localización de Pernito S.A.C.

Fuente: Google maps

Elaboración propia

2.1.2 Visión

Somos una empresa metalmecánica que fabrica, desarrolla y comercializa elementos de sujeción que generan valor para nuestros accionistas, empleados, clientes y nuestra comunidad.

2.1.3 Misión

Ser la empresa líder en fabricación, desarrollo y comercialización de elementos de sujeción en el Perú y América del Sur, brindando a nuestros clientes productos de garantía certificada además de un excelente servicio y asesoría; y colaborando con la comunidad industrial en la difusión de tecnología y prácticas adecuadas.

2.1.4 Organigrama de la Empresa

Se presenta el organigrama vigente de la empresa en la figura 2.2, seguida del organigrama del área en el que nos vamos a enfocar en la figura 2.3, el área de Operaciones:

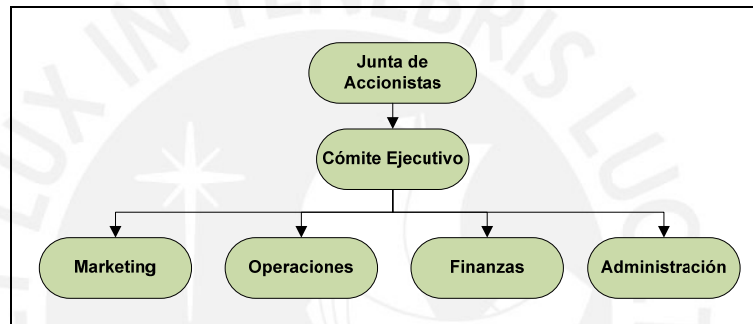


Figura 2.2 Organigrama General de la Empresa

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

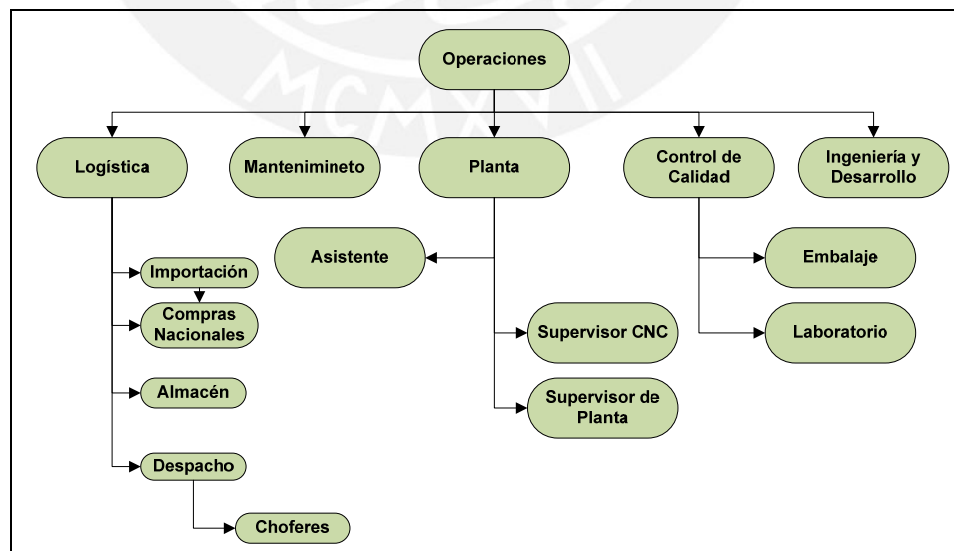


Figura 2.3 Organigrama del área de Operaciones

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

2.1.5 Principales Clientes

El cliente en Pernito S.A.C es la persona que solicita una cierta cantidad de productos, dependiendo de las necesidades que desee satisfacer. El cliente es contactado por la empresa (cartera de clientes) o se contacta con la empresa para poder solicitar los productos deseados. El cliente establece los parámetros del producto, en el caso que requiera uno en particular, que compete al área de ventas industriales, el producto se fabrica en la planta de producción, luego de que planificación decida de qué forma se producirá. De tenerse el producto en el inventario, pasa a ser vendido directamente en el área de ventas comerciales.

Existen dos tipos de clientes:

- **Cientes Comerciales:** realizan pedidos en cantidades moderadas, sin embargo estos se repiten cada cierto tiempo, es por esto que la empresa procura tener estos productos en el inventario, anticipándose. Generalmente pertenecen al rubro automotriz. Son empresas del sector automotriz generalmente, o del sector minero.
- **Cientes Industriales:** realizan pedidos únicos en cantidades considerables, algunos pedidos se encuentran en inventario, mas la mayoría de estos productos se realizan luego de concertar un plazo de entrega. Estos tipos de pedidos generalmente son realizados por empresas que están realizando algún tipo de construcción, en la cual la infraestructura requiera de materiales de sujeción. Se ha tenido un registro mayoritario de construcción de centros comerciales y de puentes viales.

Adicionalmente en el Anexo 1 se tiene un listado de los principales clientes.

2.1.6 Infraestructura Física y Equipo

Pernito cuenta con 1020 m², de los cuales 380 m² les corresponde al área de planta. De esta área disponible, 26 m² son para el almacén de materiales y 12.6 m² son para el almacén de materia prima.

Los 640 m² restantes, se dividen en 2 almacenes de productos terminados, 1 comedor para operarios, 1 baño para el personal, 1 vestidor y el área administrativa.

Se realizará el análisis de las actividades que se presentan en el área de planta. En la figura 2.4 se muestra la distribución que poseen las máquinas con las que se cuenta en la planta. Se tienen resaltadas de verde las máquinas CNC, en las cuales se enfoca el presente estudio.

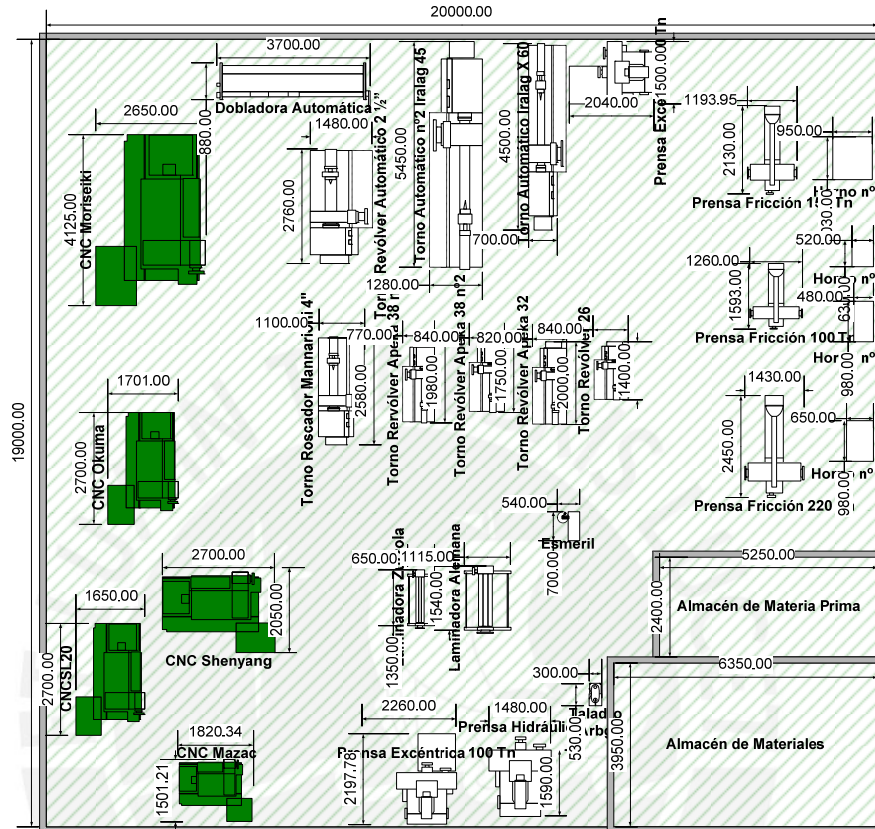


Figura 2.4 Layout de planta (Medidas en mm)

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

El equipo con el que se cuenta se enlista en el Anexo 2. Se tiene la maquinaria que se emplea en planta así como máquinas de prueba de resistencia en el área de Calidad, con lo cual se hacen demostraciones de torque necesario ideal para ajustar las piezas, tensión y presión máximas que pueden soportar las piezas y pruebas electrolíticas de corrosión.

La materia prima, en este caso el acero, al ser piezas de revolución, se obtiene en barras de distintos diámetros. Se denominan redondos. Adicionalmente, para piezas como tuercas y arandelas, se obtienen en planchas y en hexagonales. En el Anexo 3 se muestra la gama de materiales que se adquieren para elaborar la mayoría de las piezas, aunque en otros casos se necesita materiales específicos, en caso de pedidos puntuales o un nuevo ingreso en la cartera de clientes.

2.1.7 Recursos Humanos

En la empresa se tiene a la junta de accionistas como cabeza, conformado por los tres gerentes de la empresa y un accionista adicional. A nivel ejecutivo se tiene tres gerentes, uno ocupándose del área de Marketing, otro del área de Operaciones y otro del área de Finanzas. El área de Administración es un área de soporte de las demás, la cual interactúa con todas y provee las herramientas necesarias para facilitar la labor en la empresa.

Aparte de los gerentes, Pernito cuenta con 7 empleados en el área de Marketing, 13 empleados, 25 operarios y 2 choferes en el área de Operaciones, 8 empleados en el área de Finanzas y 6 empleados en el área de Administración.

Se tiene una supervisión de los operarios en el área de Operaciones, un encargado de pagos en el área de Finanzas y una asistente social en el área de Administración. Estos tres agentes son los pilares de la administración de los recursos humanos de la empresa.

Adicionalmente, el Comité Ejecutivo es el encargado de realizar la medición del desempeño laboral para poder evaluar el tema de compensaciones a los trabajadores.

2.1.8 Descripción del Proceso Principal

Se considera al proceso principal a todo proceso realizado en los tornos a control numérico computarizado (CNC). La secuencia de trabajo es la siguiente:

- a) Se selecciona cual de las 5 máquinas cumplen con los requisitos requeridos:
 - La capacidad de máquina
 - La potencia de cada motor
 - La fuerza de corte que puede ejercer.
- b) Se emite la orden de trabajo.
- c) Se entrega al operario de la máquina CNC seleccionada
- d) Se procede a la operación que se le ha señalado, con ayuda de un plano de mecanizado.
- e) Se prepara la máquina, buscando los accesorios que irá a utilizar (topes, portaherramientas, insertos, mordazas)
- f) Se calibran los puntos de referencia

- g) Se realiza un esbozo del programa
- h) Se pasa a programar la máquina, con ciertos ajustes durante la operación.
- i) Se sigue un ciclo de trabajo continuo, hasta terminar con el lote indicado.

Una vez terminado el lote se lleva al siguiente proceso, si es que se requiere, o al depósito de productos terminados.

En la figura 2.5 se muestra el esquema general de la secuencia de trabajo. Se toma en cuenta como tiempo adicional el mantenimiento, pues la empresa cuenta con este tiempo, necesario para dar soporte en caso de alguna eventualidad.

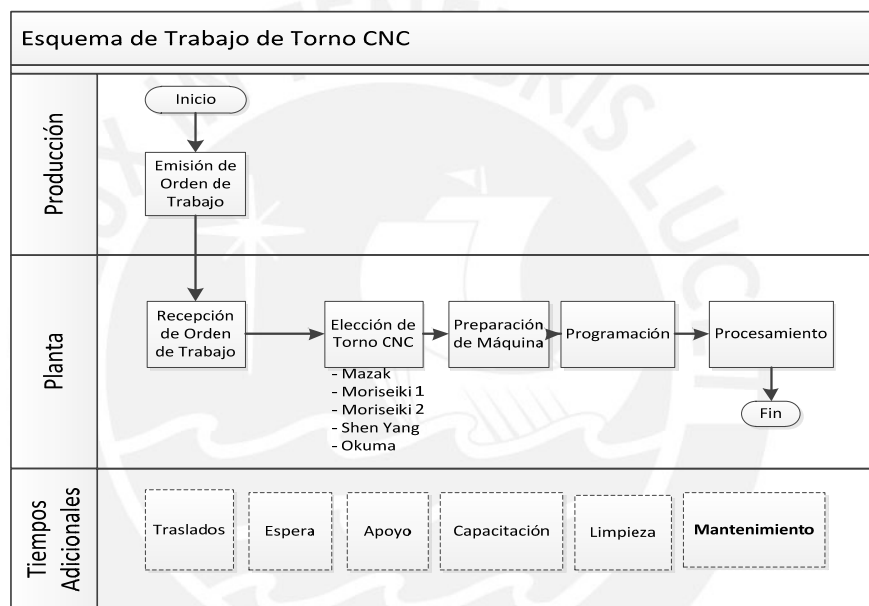


Figura 2.5 Esquema de Trabajo de Torno CNC

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

Para poder mostrar el proceder detallado de los operarios, se elaboró el diagrama analítico de proceso. Este diagrama se muestra en la figura 2.6.

DIAGRAMA ANALITICO DE PROCESO							<input checked="" type="checkbox"/> Operación: _____ <input type="checkbox"/> Material: _____ <input type="checkbox"/> Hombre: _____	
METODO:		<input checked="" type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto					
DESCRIPCIÓN	Operación	Transporte	Inspección	Retraso	Almacenaje	Tiempo en minutos	OBSERVACIONES	
Espera orden de trabajo	○	➡	□	◐	▽	60	Se tiene un tiempo promedio, pues la orden llega dependiendo del pedido.	
Ir a proceso anterior	○	➡	□	◐	▽	5		
Recoger producto en preparación	●	➡	□	◐	▽	5		
Ir a zona de trabajo	○	➡	□	◐	▽	5		
Verificar que mordazas se usaran	○	➡	■	◐	▽	10		
Búsqueda de mordazas	●	➡	□	◐	▽	10		
Rectificación de mordazas	●	➡	□	◐	▽	30	Esto se realiza en el caso que se necesite, lo cual sucede generalmente	
Verificar que plaquitas y portas se usarán	○	➡	■	◐	▽	10		
Ir a almacén	○	➡	□	◐	▽	5		
Solicitar plaquitas y portas	●	➡	□	◐	▽	5		
Ir a zona de trabajo	○	➡	□	◐	▽	5		
Instalar mordazas y portas con sus respectivas plaquitas	○	➡	■	◐	▽	15		
Plantear Programa	○	➡	■	◐	▽	20	Depende de la dificultad de proceso a realizar y de las características del producto	
Verificar Programa	○	➡	■	◐	▽	5		
Programación	●	➡	□	◐	▽	5		
Procesamiento	●	➡	□	◐	▽	95	Este tiempo depende de la cantidad de piezas a maquinar.	
Inspección de Producto	○	➡	■	◐	▽	10	A grandes rasgos, realizada por el operario	
Recoger Producto	●	➡	□	◐	▽	5		
Ir a proceso siguiente	○	➡	□	◐	▽	5		
Dejar Producto	●	➡	□	◐	▽	5		
Ir a zona de trabajo	○	➡	□	◐	▽	5		
Espera de orden de trabajo	○	➡	□	◐	▽	60		
RESUMEN	Cantidad	8	6	5	2	Diagramado por: Juan Valdivia		
	Tiempo	160	30	70	120	Fecha: 01/06/2010	Hoja: 1 de: 1 hojas	

Figura 2.6 Diagrama Analítico de Procesos

Elaboración Propia

2.1.8.1 Indicadores de Rendimiento

En la empresa se cuentan con tres indicadores de rendimiento principales para las operaciones en tornos CNC:

- a) Se registran los tiempos de operación en los cuales se busca establecer los tiempos muertos y diferenciarlos de los tiempos de maquinado y manipuleo. Se llega a registrar un 65% tiempo operativo.
- b) El tiempo operativo se compara con la cantidad de productos que se realizan durante una jornada diaria de trabajo, luego se comparan con los tiempos estándares obtenidos del estudio de tiempos. Se llega a registrar un 80% de eficiencia de dicho tiempo.
- c) Se tienen los tiempos de mantenimiento, los cuales, al compararse con los tiempos totales se obtiene una medida de la confiabilidad de la máquina. Se llega a registrar un 22% de este indicador. Adicionalmente estos se clasifican en:
 - Reparación: es el tipo de mantenimiento que se está analizando. Se realiza en el caso de una falla parcial o total de la máquina. Genera costos de oportunidad al no poderse producir durante este período. Es el que toma más tiempo y el que posee un método más complejo de proceder. Es el 47% del mantenimiento total, es decir, un 10.36% del tiempo total.
 - Verificación: se realiza mensualmente, excepto en los meses donde se ha realizado un mantenimiento por reparación. Se pone en funcionamiento la máquina, probando las distintas combinaciones de parámetros que posee. Es el 32% del mantenimiento total, es decir, un 7.04% del tiempo total.
 - Puesta a punto: al finalizar un período de no operatividad, no necesariamente por reparación, se realiza la preparación de la máquina para la operación. Se sigue un procedimiento similar al de la verificación. Es el 21% del mantenimiento total, es decir, un 4.6%

2.1.8.2 Niveles de Producción

Se tiene la data de la producción mensual por torno en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Producción mensual por torno CNC

Mes	CNCMAZ		CNCOKU		CNC SL20		CNCMORI		CNC SHEN		Total de Cant.	Total de Horas
	Cant.	Horas	Cant.	Horas	Cant.	Horas	Cant.	Horas	Cant.	Horas		
Enero	23443	248	44135	293	37342	217	33530	200	44642	278	183091	1236
Febrero	35813	194	41120	203	38443	232	31239	255	32207	279	178822	1162
Marzo	37614	233	33511	235	43868	268	25459	259	20283	258	160735	1254
Abril	40736	287	28240	231	42498	212	21454	228	36033	255	168961	1213
Mayo	26802	221	46868	214	31259	225	43592	221	32316	237	180837	1118
Junio	26754	241	44144	204	31202	235	33537	275	41370	217	177007	1172
Julio	39081	278	22371	288	32254	289	46995	266	36283	235	176984	1356
Agosto	42953	264	26634	246	34107	258	20234	224	30902	228	154831	1220
Septiembre	21148	261	32075	265	24665	219	34368	199	33522	246	145779	1189
Octubre	27367	258	23280	252	31918	261	27686	266	40272	217	150525	1254
Noviembre	20036	228	31326	271	28368	233	29799	254	37587	280	147116	1267
Diciembre	30783	272	33369	293	35901	265	25351	221	40457	203	165861	1253
Total general	372532	2984	407072	2996	411825	2912	373244	2870	425875	2931	1990549	14694

Fuente: Pernito S.A.C

Elaboración Propia

A la hora de buscar tendencia o estacionalidad, se elaboró la figura 2.7 para facilitar el análisis, lo cual muestra producción variable, dependiente de las propiedades de cada máquina.

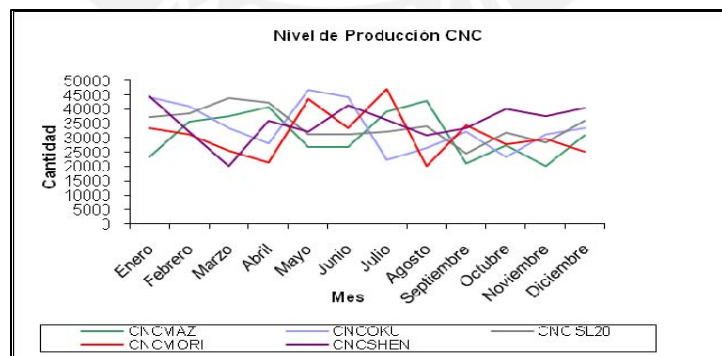


Figura 2.7: Gráfica del nivel de producción

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

2.1.8.3 Operaciones de Medición

Se realizan tres tipos de mediciones:

- Medición de planta: existen mediciones y controles constantes realizadas por el propio operario cada cierta cantidad de productos, mediante el uso de patrones de roscado o de herramientas de medición (Vernier, micrómetro, etc.)
- Medición de calidad: se realiza la verificación del cumplimiento de especificaciones, además de medir el efecto de los procesos en CNC sobre la resistencia de la pieza.
- Medición de mantenimiento: se realiza mensualmente, sirve para medir y controlar la funcionalidad de los tornos, poder prever los recursos necesarios para realizar la preparación de máquina.

2.1.8.4 Costos de Operación

En la tabla 2.2 se tienen costos por cada secuencia de trabajo, los cuales se describen a continuación:

- De preparación: se tiene gasto de mano de obra, la cual está en base al jornal del operario (S./ 31.82). Se tiene gasto de desgaste de herramienta, que incluye las piezas de ajuste, mordazas y topes. En insumos se tiene guaipe y aceite lubricante. Dura en promedio 20.8 horas mensuales por operario.
- De programación: se tiene solo gasto de mano de obra. Dura en promedio 15.6 horas mensuales por operario.
- De procesamiento: se tiene gasto de mano de obra, se tiene gasto de desgaste de herramienta, que incluye el portaherramientas, el chuck y el contrapunto. En insumos se tiene el inserto y aceite refrigerante. Cada inserto tiene un tiempo de vida de 1000 piezas. Dura un promedio de 245 horas semanales.
- De mantenimiento: se tiene gasto de mano de obra, la cual está en base al sueldo del técnico de mantenimiento (S./ 2500). Se tiene gasto de desgaste de herramienta, que incluye herramienta de calibración, herramienta de ajuste, herramienta de medición y herramienta de estabilización. En insumos se tiene aceite lubricante, aceite refrigerante (para pruebas sin pieza) y repuestos necesarios. Se consideró un costo promedio repuestos, ya que en

algunos meses se tiene un gasto considerable dado que se necesita repuestos compatibles con el modelo de máquina.

Tabla 2.2: Costos de Operación de CNC

Secuencia de Trabajo	Concepto	Costo	Unidades
Preparación	Mano de Obra	414	soles/mes
	Desgaste Herr	13	soles/mes
	Insumos	79	soles/mes
Programación	Mano de Obra	310	soles/mes
Procesamiento	Desgaste Herr	38	soles/mes
	Insumos	340	soles/mes
	Mano de Obra	3413	soles/mes
Mantenimiento	Mano de Obra	568	soles/mes
	Desgaste Herr	29	soles/mes
	Insumos	150	soles/mes

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

Se tiene adicionalmente un gran costo de oportunidad, estrechamente relacionado con los tiempos de mantenimiento por reparación, el cual se causa por rechazo de pedidos por falta de capacidad. En la tabla 2.3 se tiene este costo de oportunidad expresado en miles de soles, los pedidos no aceptados (estimados) y las horas de mantenimiento durante el período de actividad de los tornos CNC:

Tabla 2.3 Costo de Oportunidad por mantenimiento de Reparación

Mes	Dic 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	Jul 2009	Ago 2009	Sep 2009	9ct 2009	Nov 2009	Dic 2009	Ene 2010	Feb 2010	Mar 2010
Tiempos de reparación (horas)	65	58	40	43	37	45	47	39	30	22	21	22	19	24	27	26
Pedidos no aceptados (unidades)	41450	40350	37150	36100	32900	39300	38250	35000	33950	28600	27550	26450	25400	30750	31800	29650
Pedidos no aceptados (10 ³ soles)	116	113	104	101	92	110	107	98	95	80	77	74	71	86	89	83

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

La tendencia de este costo de oportunidad en el tiempo es lineal creciente, como muestra la figura 2.8.

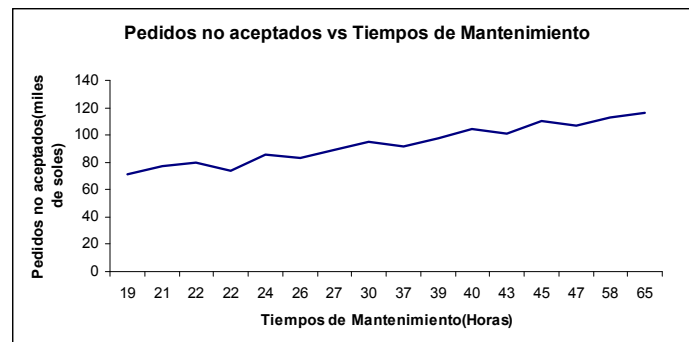


Figura 2.8: Gráfica de relación entre Pedidos y Tiempos de Mantenimiento

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

Adicionalmente se tiene un costo de oportunidad intrínseco por pérdida de captación de clientes, el cual no se encuentra cuantificado.

2.2 Parámetros de Trabajo

Se establecerán el espacio y el tiempo de trabajo en el cual se realizará el presente trabajo.

2.2.1 Espacio de Trabajo

El trabajo se localiza en la planta de producción de la empresa Pernito S.A.C. La propuesta de mejora se enfocará en el área de maquinado en CNC, que cuenta con 105 m², donde existe espacio de alimentación de materia prima, desplazamiento de operarios y almacenamiento de herramientas.

En este espacio, mostrado en la figura 2.9, es de donde se tomarán los datos para establecer la probabilidad de necesidad de mantenimiento.

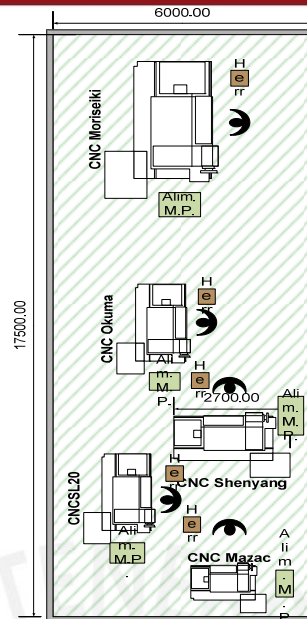


Figura 2.9 Área de maquinado en CNC

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

La aplicación de las herramientas se realizará en esta área productiva. Para cada una de éstas se tiene un espacio de trabajo adicional:

- Para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se tendrá la oficina del técnico de Mantenimiento como ambiente de estudio.
- Para la estandarización de los Procesos, se tendrá la oficina de Calidad como ambiente de estudio.
- Para la Distribución de Planta se tendrá a la oficina de Ingeniería y Desarrollo como ambiente de estudio.
- Para la Determinación de la Cantidad Económica de Pedido, se tendrá n a la oficina de Logística de Insumos, así como el Almacén de Insumos como ambientes de estudio.

2.2.2 Delimitación del Tiempo de Trabajo

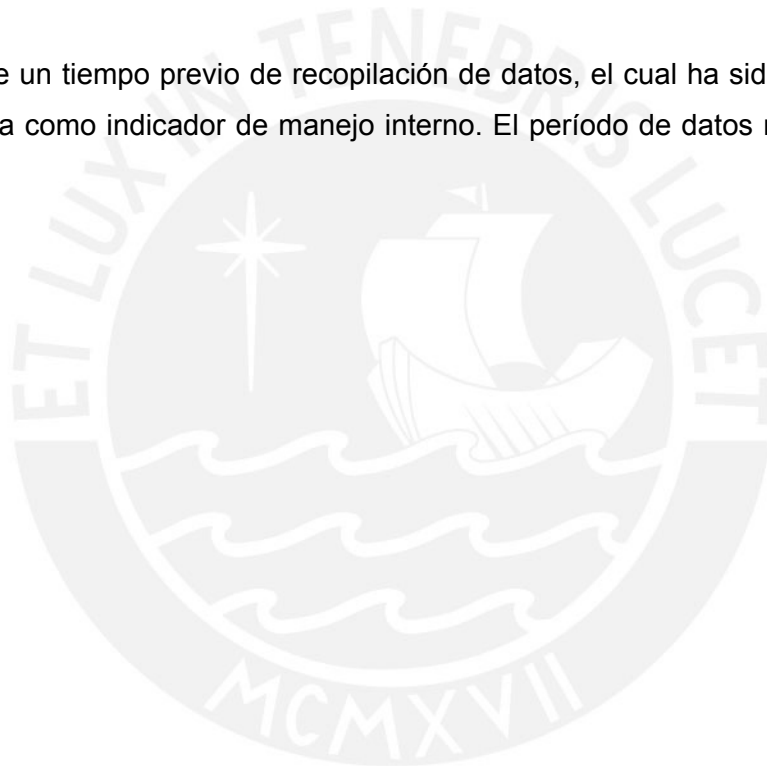
El trabajo tendrá una duración de seis meses, de los cuales, tres se invertirán en el establecimiento de parámetros para las herramientas y análisis de la necesidad de mantenimiento. Los cinco meses restantes se emplearán para la aplicación de las herramientas seleccionadas, la integración de estas herramientas, la comparación con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y la Evaluación Económica y Financiera.

Esta distribución del tiempo se refleja en la línea de tiempo presentada en la figura 2.10



Figura 2.10 Línea de Tiempo de Trabajo
Elaboración Propia

Se tiene un tiempo previo de recopilación de datos, el cual ha sido realizado por la empresa como indicador de manejo interno. El período de datos recopilados es de un año.



Capítulo 3: Desarrollo de la predicción de la necesidad de mantenimiento y aplicación de las herramientas propuestas

3.1 Determinación de la Probabilidad de la Necesidad de Mantenimiento

Se buscará determinar tanto la probabilidad de la necesidad de mantenimiento como el posible tiempo de llegada al estado crítico.

3.1.1 Descripción de la obtención de datos

Los datos fueron recolectados por la empresa durante el período de actividad simultáneo de los cinco tornos CNC, es decir, desde inicios del 2008. Sin embargo, estos datos se recolectaron de manera arbitraria, pues no se había definido este proceso como proceso principal. Es hasta diciembre del 2008 que se logra tener un sistema de obtención de eventos, en la cual se van registrando desde los productos realizados hasta los tiempos muertos que se van suscitando.

De esta hoja de ocurrencia, mostrada en el Anexo 4, se ha tomado la ocurrencia delimitada como “Reparación”, mas se ha determinado como período de estudio al año 2009, pues es en éste donde se encuentran datos totalmente definidos y clasificados. Se ha considerado una semana como período de transición, pues la variabilidad entre la cantidad de máquinas que requieren reparación de un día a otro es despreciable. (Dos eventos)

3.1.2 Confiabilidad de los tiempos tomados

Para determinar la confiabilidad de los tiempos tomados se aplica el concepto de tamaño de muestra, con un nivel de confianza del 95%. De los datos tomados, los cuales se presentan en el Anexo 5, se extrae una muestra aleatoria de 30 datos. Estos datos poseen los parámetros mostrados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Parámetros Obtenidos

	Variables Estimadas	
	Proporción	Media
Media	0.5	1.33333333
Desv. Est.	0.5	1.21295687
Z	1.96	1.96

Elaboración Propia

Al lado derecho de la tabla se encuentran los parámetros obtenidos de la estimación de la media de la Cantidad de Máquinas que necesitan Reparación. Al lado izquierdo de la tabla se encuentran los parámetros obtenidos de la estimación de la probabilidad de la Cantidad de Máquinas que Necesitan Reparación. La estimación de parámetros se ha realizado utilizando la media proporcional más grande que se puede considerar (0.5)

Adicionalmente a estos parámetros, se ha considerado un error muestral del 5%, el cual es de manejo interno por la empresa, y el cual tomaremos en nuestro análisis pues se quiere obtener resultados dentro del entorno en el que se encuentra Pernito. Para estimar la media se considera como error esta proporción multiplicada por la media, mientras que para la estimación de la proporción se considera solo este valor. Lo errores muestrales considerados se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Errores muestrales considerados

	Variables Estimadas	
	Proporción	Media
Error muestral	0.05	0.06666667

Elaboración Propia

Aplicando las fórmulas correspondientes al tamaño de muestra, expuestas en el marco teórico del presente informe, se obtienen los resultados de la tabla 3.3

Tabla 3.3: Tamaño de muestra determinados

	Variables Estimadas	
	Proporción	Media
n0	384.16	1271.70207
N	46.6812179	50.8795232

Elaboración Propia

Cabe mencionar que se tiene una población finita de datos, pues solo se pueden tomar 52 datos, número determinado por la cantidad de semanas en el año.

Nosotros hemos tomado una muestra del tamaño de la población, es decir, 52 datos, suficientes para abarcar el tamaño de muestra solicitado.

3.1.3 Restricciones de los tiempos tomados

Dentro de las restricciones de los tiempos tomados se tiene:

- La tendencia de los datos tomados es decreciente, lo cual podrá parcializar los resultados, distribuyendo mayor probabilidad de reparación al período inicial del año.
- No se tiene estudios anteriores de comparación, lo cual no nos permite tener un punto de referencia con el cual comparar nuestros resultados.
- Se tiene el sesgo de la recopilación de datos, pues se deja a criterio del operario clasificar el tipo de mantenimiento. Si bien se maneja un estándar de este criterio, determinando los puntos de inicio y fin de reparación, se podría tener confusiones al respecto.
- Se tiene el sesgo del traspase de datos. Se plantea la posibilidad de que los operarios “maquillen” los resultados, lo cual es improbable, pero se puede dar.
- El nivel de confianza tomado, pues con esto se tiene un error asumido tipo I, que representa la probabilidad de no poseer el verdadero valor de la variable que se desea determinar en nuestra muestra.
- El error muestral, pues con esto se tiene un error que afecta el tamaño de muestra, reduciéndolo. Nuestro resultado contendrá esta diferencia estadística con el verdadero valor.

3.1.4 Clasificación de Datos

La distribución mensual de datos se puede apreciar en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Distribución de eventos mensuales

Mes	Cant. De Máquinas que Necesitan reparación	Frecuencia relativa
Enero	14	16.09%
Febrero	8	9.20%
Marzo	9	10.34%
Abril	6	6.90%
Mayo	9	10.34%
Junio	12	13.79%
Julio	8	9.20%
Agosto	6	6.90%
Setiembre	4	4.60%
Octubre	3	3.45%
Noviembre	5	5.75%
Diciembre	3	3.45%
Totales	87	100%

Elaboración Propia

Los tiempos se clasifican en:

- Mes al que pertenecen
- Semana a la que pertenecen
- Cantidad de máquinas que necesitan reparación

Nótese que en la tabla 3.4 se ha distribuido por mes la cantidad de máquinas que se necesita, mas, para el análisis, se utilizó la distribución semanal, datos que se muestran en el anexo 6

3.1.5 Análisis Estadístico de Datos

Para poder tener una idea general de los datos, presentados en el Anexo 6, se realiza el cálculo de los parámetros Estadísticos generales. Como se observa en la Tabla 3.5, se tiene que la moda de los eventos recopilados es que no se tenga ninguna máquina con necesidad de reparación. El siguiente con la mayor frecuencia es tener dos máquinas a la vez con necesidad de reparación. Estos resultados podrían darnos una primera noción de cómo actuarán y se distribuirán los datos.

Tabla 3.5 Parámetros Estadísticos

Parámetro	Valor
Media	1.673
Desvest	1.368
Frecuencia 0	14
Frecuencia 1	10
Frecuencia 2	13
Frecuencia 3	10
Frecuencia 4	4
Frecuencia 5	1
p0	0.269
p1	0.192
p2	0.250
p3	0.192
p4	0.077
p5	0.019

Elaboración propia

Para poder tener una idea de la distribución de la cantidad de máquinas que necesitan reparación por semana, se ha realizado elaborado la figura 3.1.

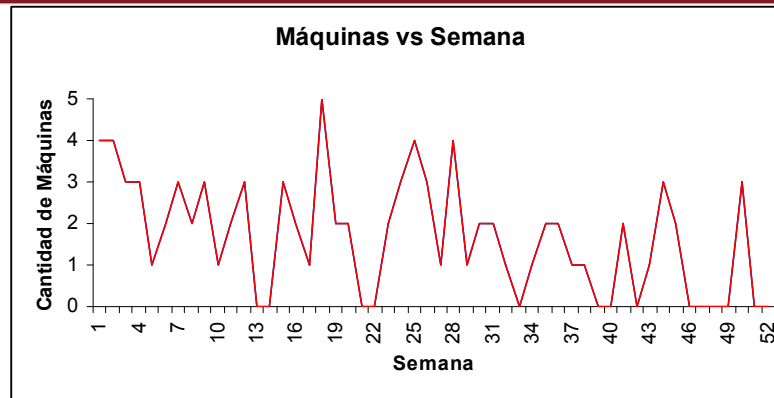


Figura 3.1: Distribución de cantidad de máquinas por semana

Elaboración Propia

En este gráfico se puede notar que no se tiene una tendencia definida, mas los picos van reduciéndose. Esto representa un pequeño sesgo producido por la variación en el tiempo.

3.1.6 Supuestos del Modelo

Para poder elaborar nuestro modelo se estableció un supuesto, el cual facilita el análisis y nos ayuda a acondicionar el sistema real, con las variables que ello implica, a un sistema teórico, con lo cual lograr una evaluación sistemática y comprensible.

El supuesto principal se enuncia de la siguiente manera:

a) Las cinco máquinas poseen similar probabilidad de requerir mantenimiento:

Se considerará, para poder establecer la probabilidad de requerir mantenimiento, que una máquina estará en las mismas condiciones que otra, con lo cual las máquinas tendrán la misma posibilidad de necesitar reparación.

Para poder demostrar esto se realizará una prueba Anova, asociada a los criterios de reproducibilidad (poder obtener los mismos resultados entre distintas entidades) y repetitibilidad (poder obtener los mismos resultados entre distintas pruebas)

Nosotros queremos estimar la reproducibilidad del sistema, mas se realizará una consideración adicional, definiéndola como obtener una similar cantidad de semanas en las que se requiere mantenimiento entre una máquina y otra.

En la tabla 3.6 se han agrupado los datos recopilados en los dos semestres del año, con el fin de reducir el efecto de la tendencia de la necesidad de mantenimiento

Tabla 3.6 Semanas en las que se necesita mantenimiento por máquina y semestre

	Semestre 1	Semestre 2
MAZAK	11	4
OKUMA	12	8
SL20	12	6
MORISEIKI	10	4
SHENYANG	13	7

Elaboración propia

De estos datos se obtiene:

Número de máquinas (an): 5

Número de semestres (me): 2

Número de muestras (mu): 1

A partir de los datos presentados, se utiliza la herramienta del programa *Excel* con la cual se realiza el análisis de datos, específicamente el *análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo*. De esto se obtienen los resultados presentados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Tabla ANOVA resultante

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados(SS)	Grados de libertad(gl)	Promedio de los cuadrados(MS)	F	Probabilidad
Máquinas	15.6	4	3.9	6.5	0.0486
Semestres	84.1	1	84.1	140.2	0.0003
Error	2.4	4	0.6		
Total	102.1	9			

Elaboración propia

De esta tabla ANOVA se obtienen los datos necesarios para obtener la contribución de cada factor en la varianza. Para esto se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Repetetibilidad = MS_{Error}$$

$$Reproducibilidad = (MS_{analista} - MS_{Error}) / (me \times mu)$$

$$\text{Varianza entre muestras} = (MS_{\text{muestra}} - MS_{\text{error}}) / (an \times me)$$

$$\text{Total Gage R \& R} = \text{Repetibilidad} + \text{Reproducibilidad}$$

Es así que se obtiene la tabla 3.8, de contribuciones a la varianza total de medición:

Tabla 3.8 Tabla de Contribuciones a la varianza total de medición

	Var	DesvEst	% Contrib
Total Gage R&R	1.26	1.1225	4.33%
Repetibilidad	0.6	0.7746	2.06%
Reproducibilidad	0.66	0.8124	2.27%
Entre muestras	27.83	5.2757	95.67%
Total	29.09	5.3938	100.00%

Elaboración propia

De esta tabla se observa, como resultado principal, el aporte de la reproducibilidad, de 2.27%. Por lo general se evalúa el Total Gage R&R, el cual debe ser menor al 10% (condición que se cumple) más nosotros emplearemos el porcentaje de contribución de la reproducibilidad, con lo cual, al ser menor que el 5 %, se considera que el supuesto se ha validado.

3.1.7 Definición de Estados

Se definen los siguientes estados:

- Ninguna máquina requiere reparación
- Una máquina requiere reparación
- Dos máquinas requieren reparación
- Tres máquinas requieren reparación
- Cuatro máquinas requieren reparación
- Cinco máquinas requieren reparación

3.1.8 Elaboración de la Matriz de Transición

Se utilizó una hoja de cálculo en la cual se fue definiendo los eventos que se fueron presentados en nuestro período de muestra, mostrada en el Anexo 6, la cual nos ayuda a estimar la probabilidad de estos eventos. La matriz de transición resultante se muestra en la tabla 3.9

Tabla 3.9 Matriz de Transición

De/a	0	1	2	3	4	5
0	0.5000	0.1429	0.2143	0.1429	0.0000	0.0000
1	0.2000	0.1000	0.3000	0.3000	0.1000	0.0000
2	0.1538	0.3077	0.2308	0.2308	0.0000	0.0769
3	0.2000	0.1000	0.4000	0.1000	0.2000	0.0000
4	0.0000	0.3333	0.0000	0.3333	0.3333	0.0000
5	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Elaboración Propia

De la matriz de transición se tiene una condición resultante, en la cual una vez que se tiene cinco máquinas con necesidad de reparación, al pasar el período de transición, se tendrá una máquina que necesitará reparación, lo cual resulta útil para fines comparativos de operación.

3.1.9 Determinación de los Estados Estables

Para poder obtener una idea de qué cantidad de máquinas a la vez requerirán reparación posee mayor probabilidad, se aplicará el concepto de estado estable.

A partir de la matriz de transición, empleando la función en *Excel* para multiplicar matrices (MMULT) se irá multiplicando la matriz por sí misma hasta lograr estabilizarla, en valores idénticos para todas las columnas. Este procedimiento se puede observar en el Anexo 7.

Finalmente se encuentran los estados estables en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Estados Estables

Estados	Probabilidad	%	Esperado a Largo Plazo
0	0.237852531	23.8	0
1	0.200475705	20.0	0.200475705
2	0.249575263	25.0	0.499150527
3	0.202174652	20.2	0.606523955
4	0.090723751	9.1	0.362895005
5	0.019198097	1.9	0.095990486
Totales	1	100	1.765035678

Elaboración Propia

Como resultado final se obtiene una cantidad de 1.76 máquinas que requerirán mantenimiento a largo plazo, probabilidad distribuida en el período que se desee analizar.

3.1.10 Determinación del Período Crítico

Para determinar el Período Crítico se ha utilizado el criterio de primera pasada, para lo cual se establece las variables definidas como M_{ij} , en donde i presenta el número de máquinas que requieren mantenimiento a la vez y j presenta el número de máquinas que requerirán mantenimiento a la vez luego del período de primera pasada, expresada en semanas.

Estas variables se despejan según la siguiente ecuación:

$$M_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} p_{ik} M_{kj}$$

Se tiene a p como la probabilidad de transición, definida en nuestra matriz de transición.

Para poder despejar estas variables se empleo el software *LINDO*, el cual facilitó el trabajo con los sistemas de ecuaciones que se encontraron.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, nótese de que se presentan solo aquellas variables que expresan un incremento en la cantidad de máquinas que requieren mantenimiento. En el Anexo 8 se tiene las ecuaciones planteadas en detalle y en el Anexo 9 los resultados del mismo. El resumen de resultados se muestra en la tabla 3.11

Tabla 3.11 Resultados de Primera Pasada

VARIABLE	Primera Pasada (semanas)
M01	4.906765
M02	4.052755
M03	5.022239
M04	16.972279
M05	42.106247
M12	3.766898
M13	4.104172
M14	14.976263
M15	42.360096
M23	4.459692
M24	16.431124
M25	39.147232
M34	13.84948
M35	42.155655
M45	43.119698

Elaboración Propia

Dentro de los resultados obtenidos, se resaltó aquel que expresa el tiempo estimado entre no tener ninguna máquina con necesidad de reparación a cinco máquinas con necesidad de reparación. El resultado es de aproximadamente 10

meses y medio, lo cual expresa que es probable que, en menos de un año, se pueda ir de un estado sin problemas, a un estado crítico y plenamente improductivo.

3.1.11 Consecuencias para la Empresa

Los resultados obtenidos, analizados desde el punto de vista actual de la empresa, representan las limitantes y las condiciones de trabajo actuales que se tienen.

También definen escenarios posibles que se podrían obtener, con lo cual elaborar un plan estructurado de acción.

Las consecuencias para la empresa, según cada resultado obtenido son:

- Obtener un 2.27% en la influencia sobre la varianza por considerar que las máquinas poseen igual condición de necesitar mantenimiento: esto le trae a la empresa una facilidad de análisis, puesto que solo bastaría realizar un ajuste sobre esta influencia para uniformizar el análisis, con lo cual se tendría una menor necesidad de recopilación de datos, mientras que se invertiría este tiempo en tomar acción.
- Obtener un 1.76 máquinas que necesitan reparación a la vez como esperado a largo plazo: esto le trae a la empresa poder saber cuál es el escenario más probable en el cuál se encontrará. Consecuentemente, este resultado trae consigo una oportunidad de mejora, en donde se podría emplear el procedimiento realizado para establecer un indicador, el cual al ser reducido parcial o totalmente lograría cambios significativos en la gestión del mantenimiento.
- Obtener un 42.1 semanas como período crítico desde no tener ninguna máquina a tener todas las máquinas con necesidad de reparación: con este resultado, adicionado a los demás tiempos de primera pasada, se puede establecer un cronograma de trabajo, con lo cual preparar anticipadamente el sistema para enfrentar las condiciones en que se encontraría al no tener estos recursos disponibles.

3.2 Aplicación de las Herramientas

Se aplican tres herramientas propuestas con el propósito de encontrar un método para reducir los tiempos de mantenimiento. Adicionalmente se aplica una herramienta de control para comparar y analizar el acierto de la propuesta.

3.2.1 Distribución de Planta

Se realizará la propuesta de una nueva distribución de planta.

3.2.1.1 Planeación Inicial de Instalaciones

La planta donde se realiza la elaboración de las piezas de sujeción posee una distribución por proceso. Para efectos del trabajo, se analizará un solo tipo de pieza, el cual es el PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½" (Grd8), ya que es una pieza compleja y podrá esquematizar mejor los procesos que afectan en mayor grado el flujo de material.

En la figura 3.2 se logra identificar 6 áreas principales:

- **Zona de Mecanizado Torno Revolver:** cuenta con 5 máquinas del tipo. Se pueden realizar procesos en paralelo mediante arranque de viruta. Se tiene un período muy largo de preparación. Se necesita un operario constante.
- **Zona de Mecanizado en Torno Automático:** cuenta con 3 máquinas del tipo. Se realizan piezas de revolución estándares, mediante arranque de viruta. No se pueden realizar procesos en paralelo. Se tiene un período largo de preparación. Se necesita un operario constante.
- **Zona de Mecanizado en Torno CNC:** cuenta con 5 máquinas del tipo. Se realizan piezas de revolución estándares a velocidades muy altas mediante arranque de viruta. Se tiene un período corto de preparación. Se necesita un operario solo para la preparación.
- **Zona de Prensado:** cuenta con 3 máquinas del tipo. Se da forma al cuerpo de la pieza con presión. Cada máquina cuenta con un horno adyacente donde se realiza un calentado de la pieza para que pueda ser más maleable. Se necesita un operario constante.
- **Zona de Marcado de Logo:** cuenta con 2 máquinas del proceso. Son utilizadas netamente para realizar el marcado de logo a la pieza. Se necesita un operario constante.

- **Zona de Laminado:** cuenta con 2 máquinas del tipo. Se da forma a la pieza mediante deformación de la pieza, haciéndola fluir. Se utiliza para realizar moletas y roscas. Se necesita un operario constante.

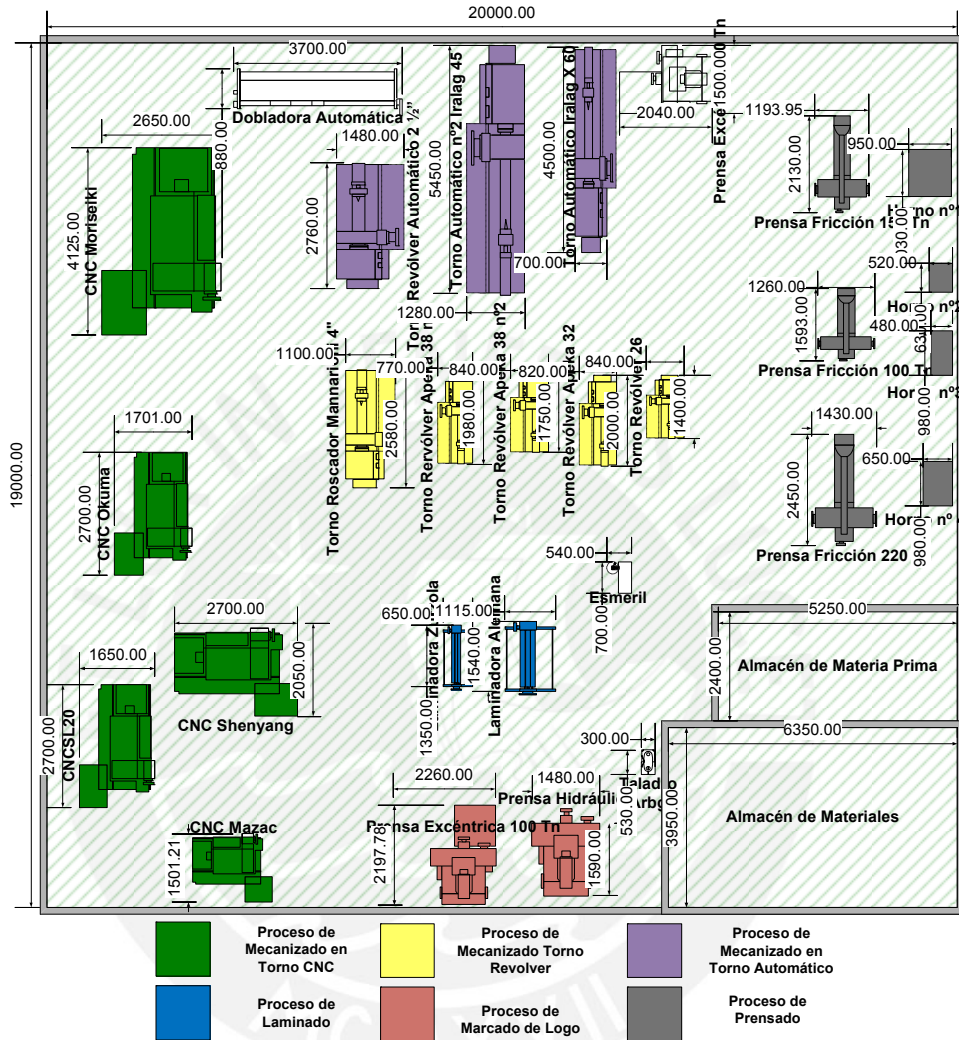


Figura 3.3 Distribución Actual de Planta

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

3.2.1.2 Plano del Producto

El plano de producto nos va a proveer las bases para el establecimiento de materiales, maquinaria y mano de obra. Los dibujos de etapas de procesamiento son útiles para el diseño y planeación del proceso en su conjunto, en caso de identificar alguna falla o incoherencia. También provee la información necesaria para el almacenamiento, basándonos en la política de inventarios que permitirá una mejora en la planeación del área para almacenamiento.

Como se señaló, se analiza el PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½" (Grd8), cuyo plano de producto se encuentra en el Anexo 10.

Este plano posee 4 partes, las cuales están diferenciadas por una codificación consecutiva, la cual guarda relación con el código del producto de manejo interno:

- **09341-1:** se presenta la pieza sobredimensionada, es decir, presenta un cilindro cortado de la materia prima con una longitud mayor a la deseada para que se pueda realizar modificaciones y compense el acortamiento producido por el prensado.
- **09341-2:** se presenta la pieza centrada, chaflanada y prensada. Posee la forma del cabezal de tope sobredimensionado, ya que se realizaran operaciones para mejorar el acabado. El chaflanado se realiza para un mejor contacto de entrada con la herramienta de arranque de viruta. El centrado se realiza para poseer un eje referencia por donde se hará girar a la pieza en los tornos.
- **09341-3:** se presenta la pieza luego de ser torneada. Se tienen las medidas de acabado finales, con las tolerancias y redondeos respectivos.
- **09341-4:** se presenta la pieza sólida y terminada, con los perfilados funcionales correspondientes. No se detalla dónde se marca el logo, ya que es un proceso implícito, distintivo de la empresa. Se añaden las piezas que se ensamblarán a esta para su embalaje, más cumplen funciones por separado, por lo cual no son parte de la pieza.

3.2.1.3 Carta de Ensamble

La carta de ensamble de la figura 3.3 muestra la secuencia en que las partes son ensambladas, lo cual esta directamente relacionado al flujo de partes deseable en la planta. Se establece el patrón de flujo de partes.

Si a esta carta se le añade las operaciones e inspecciones necesarias para proveer las piezas, se establece una carta de proceso. Si se agrega la maquinaria de ensamble en la cual la operación o inspección es desarrollada y el tiempo que se requiere, se establece no solo los requerimientos del proceso de la planta, sino la secuencia en la cual estos serán cubiertos.

Es por esto que definiremos la carta de ensamble, en base a la cuarta parte del plano del producto del Anexo 10. Se sabe de antemano que estas partes poseen un ensamble mecánico, por lo cual este no es permanente. Las piezas a ensamblar serán:

- Graseira 3/8" UNF: utilizada para controlar el flujo de grasa al interior del pin, con lo cual a la vez, gracias al perfil exterior del pin, facilita el contacto y la movilidad de la bocina con relación al pin.
- Bocina pin templador: herramienta de contención. Diseñada para mantener movilidad longitudinal con el pin, dejando un espacio funcional.
- Tuerca Castillo: limita la movilidad de la bocina con relación al pin. Es un tipo de tope móvil.
- PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 1/2": cumple la función de soporte y eje referencial de movilidad de la bocina.

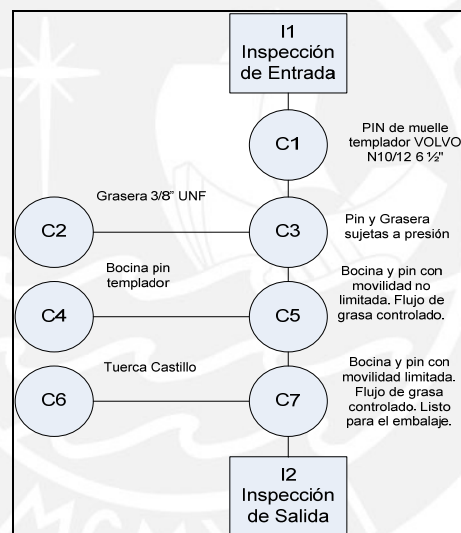


Figura 3.3 Carta de Ensamble del Pin de muelle templador VOLVO N10/12 6 1/2"

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

3.2.1.4 Hoja de Operación

La hoja de operación de la tabla 3.12 presenta dos datos importantes: la secuencia de operaciones necesarias para la realización de la pieza y cuanto tiempo toma cada operación.

Este tiempo depende del método de trabajo. Esta hoja también incluye los ensambles, inspecciones, el equipo necesario en cada actividad y el tiempo normal (estándar)

Tabla 3.12 Hoja de Operación del Pin de muelle templador VOLVO N10/12 6 1/2"

OPERACIÓN	INSTRUCCIONES	MATERIALES	MÁQUINA	TIEMPO POR PIEZA (MINUTOS)	PLANO DE REFERENCIA
Corte	Cortar a 227 mm +/- 0.5 mm	Matriz de corte	Prensa de Fricción	0.779	09341 - 1
		Punzón de 1 3/8"			
Centrado	Centrar con diámetro máximo de 5 mm.	Broca de centro	Torno Revolver	0.292	09341 - 2
Chaflán	Hacer chaflán 7mm x 45°.	Cuchilla de chaflanado	Torno Revolver	0.462	09341 - 2
Forjado	Forjar con tolerancia en la cabeza con diámetro 48.5 a 48 mm en frío y con una longitud total de 213 +/- 1mm.	Matriz de forja de 1 3/8" de pin muelle templador	Prensa de Fricción	1.415	09341 - 2
Desbarbado		Matriz de desbarbado de 1 3/8" de pinde muelle templador	Prensa de Fricción	0.856	09341 - 2
Mecanizado	Cilindrar a diámetro 24.1 longitud 35. Cilindrado diámetro 31.6 mm longitud 165 mm. Canal de lubricación paso 1 ln, radio 1mm, ancho 2 mm	Inserto de mecanizado	CNC	2.697	09341 - 3
		Topes			
		Portainsero			
Cilindrado	Cilindrar diámetro de la cabeza exterior 47 mm +/- 0.1mm	Inserto de cilindrado	CNC	0.821	09341 - 3
		Topes			
		Portainsero			
Laminado	Laminar diámetro 1" - 14 UNS- 2A 1 3/8"	Rodillo de laminado	Laminadora	0.472	09341 - 3
Perfilado Longitudinal	Taladrar a profundidad de 86 mm con un diámetro de 8.5 mm	Broca de centro	Torno Revolver	2.554	09341 - 3
Avellanado	Avellanar con diámetro 17 mm, profundidad 4 mm, profundidad total 6.5 mm	Broca de avellanado	Torno Revolver	0.754	09341 - 3
Roscado Interior	Roscar 3/8" - 34 UNF - 2B profundidad de rosca efectiva 12 mm	Inserto de roscado	Torno Revolver	0.954	09341 - 3
Perfilado Transversal 1	Perforar con diámetro de 31.6 mm, taladrar a diámetro 4.76 mm hasta intersectar agujero de diámetro 8.5 mm	Broca de perforado	Torno Automático	1.113	09341 - 3
Perfilado Transversal 2	Perforar en la rosca 1" 14 UNS - 2A, taladrar a diámetro 4.76 mm, agujero pasante.	Broca de perforado	Torno Automático	0.892	09341 - 3
Marcado de Logo		Matriz de Logo clase 10.9	Prensa Hidráulica	1.036	09341 - 4
Inspección 1	Revisar que las medidas cumplan con las tolerancias especificadas, en una muestra que sea compatible con las demás piezas de ensamble.	Vernier		5.000	
Ensamblado	Ensamblar a presión con la Grasera 3/8" UNF, la Bocina pin templador y la Tuerca Castillo			4.000	09341 - 4
Inspección 2	Revisar el ajuste de ensamble de una muestra.	Torquímetro		10.000	

Elaboración Propia

3.2.1.5 Método Systematic Layout Planning

Para poder establecer una distribución de planta correcta, es útil seguir una secuencia lógica. Es por esto que se empleará un planeamiento sistemático, el cual servirá para evaluar las relaciones de los procesos de manera organizada.

a) DOP

Primero es importante identificar la secuencia de procesos gráficamente, con lo cual se utilizará un DOP. El producto del cual se realizará el diagrama, mostrado en la figura 3.4, es el PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½":

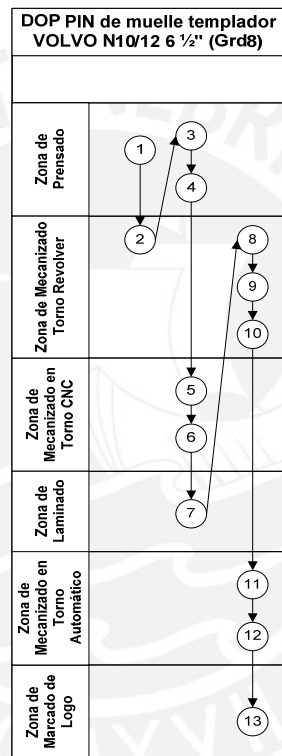


Figura 3.4 DOP del PIN de muelle templador VOLVO N10/12 6 ½"

b) TRA

Luego se necesitara determinar la magnitud de relación que posee un área con otra. Esto se realizará mediante una tabla de relación de actividades.

Para la elaboración de la tabla 3.13 se empleará una valoración de 10 para cada proceso consecutivo entre áreas. En el caso de que el proceso antecesor sea de arranque de viruta (Tornos) se dará un peso de 100%, mientras que si es de deformación (Prensado, Laminado y Marcado) se dará un peso de 50%. Esto se realiza debido a que uno cambia la masa del producto y el otro solo el volumen de

este. Luego se procederá a determinar los ratios de cercanía, haciéndolo proporcionalmente a una evaluación de 6 letras:

- A: Absolutamente necesaria (20)
- E: Especialmente importante (15)
- I: Importante (10)
- O: Ordinaria, no vital (5)
- U: Última prioridad, no importante (0)
- X: Indeseable (-5)

Tabla 3.13 Valoración de Relaciones de Actividades

De\A	Z. de Prensado	Z. de Mec. TR	Z. de Mec. CNC	Z. de Laminado	Z. de Mec. TA	Z. de Marc. de Logo
Z. de Prensado		5	5			
Z. de Mec. TR	10				10	
Z. de Mec. CNC				10		
Z. de Laminado		5				
Z. de Mec. TA						10
Z. de Marc. de Logo						

Elaboración Propia

Luego las relaciones de trayectoria se consolidan una única magnitud relacional, mostrada en la figura 3.5

TRA (NUMEROS)

Prensado					
TR	15	5			
CNC		5	10		
Laminado	10		10		
TA					
Logo	10				

TRA (LETRAS)

Prensado					
TR	E	O			
CNC		O	I		
Laminado	I		I		
TA					
Logo	I				

Figura 3.5 Tablas de Relación de Actividades en números y en letras.

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

c) Aplicación de un algoritmo para distribución de planta:

En este punto se aplicará un algoritmo de construcción, el cual agrega departamentos uno a uno hasta que todos han sido colocados. Se aplicará el algoritmo de Francis.

Primero se elabora la tabla 3.14, de ratios de cercanía total (RCT), usando las relaciones halladas en el TRA. Se asignan valores a cada relación: A=10000, E=1000, I=100, O=10, U=0, X=-10000

Tabla 3.14 Tabla de ratios de cercanía total

	Relaciones						Resumen						RCT
	Z. de Prensado	Z. de Mec. TR	Z. de Mec. CNC	Z. de Laminado	Z. de Mec. TA	Z. de Marc. de Logo	A	E	I	O	U	X	
Z. de Prensado		E	O	U	U	U	0	1000	0	10	0	0	1010
Z. de Mec. TR	E		U	O	I	U	0	0	100	10	0	0	110
Z. de Mec. CNC	O	U		I	U	U	0	0	100	0	0	0	100
Z. de Laminado	U	O	I		U	U	0	0	100	10	0	0	110
Z. de Mec. TA	U	I	U	U		I	0	0	200	0	0	0	200
Z. de Marc. de Logo	U	U	U	U	I		0	0	100	0	0	0	100

Elaboración Propia

Luego se elabora la secuencia de colocación de la tabla 3.15, colocando primero al de mayor RCT y después dando prioridad a la relación con su antecesor respectivamente:

Tabla 3.15 Secuencia de Colocación

ORDEN	ÁREA	MOTIVO
1°	PRENSADO	Mayor RCT
2°	TR	Tiene E con PRENSADO
3°	TA	Tiene I con TR
4°	LOGO	Tiene I con TA
5°	LAMINADO	Tiene mayor RCT que CNC
6°	CNC	

Elaboración Propia

Posteriormente se realiza la ubicación relativa entre áreas. Esto se realiza mediante posiciones adyacentes al área ya colocada, considerando el promedio ponderado con el área predecesora en orden.

De esta manera en la tabla 3.16 se tiene el orden del primer y segundo área:

Tabla 3.16 Ubicación relativa entre áreas – Primer Posicionamiento

10	9	8	7
1	TR I	Prensado U	6
2	3	4	5

Elaboración Propia

Se han anotado las relaciones que tienen con la siguiente área. En el caso de que la ubicación disponible sea adyacente por “borde” se le considera la valoración en un 100%, mientras que si es por “vértice” se le considera la valoración de 50%. El procedimiento se muestra en las tablas 3.17, 3.18 y 3.19.

Tabla 3.17 Ubicación relativa entre áreas - Segundo Posicionamiento

12	11	10	9	8
1	TA I	TR U	Prensado U	7
2	3	4	5	6

Elaboración Propia

Tabla 3.18 Ubicación relativa entre áreas – Tercer Posicionamiento

14	13	12	11	10	9
1	LOGO U	TA U	TR O	Prensado U	8
2	3	4	5	6	7

Elaboración Propia

Tabla 3.19 Ubicación relativa entre áreas – Cuarto Posicionamiento

16	15	14	13	12	11
1	LOGO U	TA U	TR U	Prensado O	10
2	3	4	LAMINADO I	8	9
		5	6	7	

Elaboración Propia

Con la colocación de la última área, se logra obtener un layout de bloques unitarios en la tabla 3.20, que de por sí nos delimita la ubicación física referencial que poseerán las áreas especificadas

Tabla 3.20 Ubicación relativa entre áreas – Posicionamiento Final

LOGO	TA	TR	Prensado
		LAMINADO	CNC

Elaboración Propia

En la figura 3.6 se muestra la distribución física de la planta de producción propuesta, acorde a los resultados del Systematic Layout Planning:

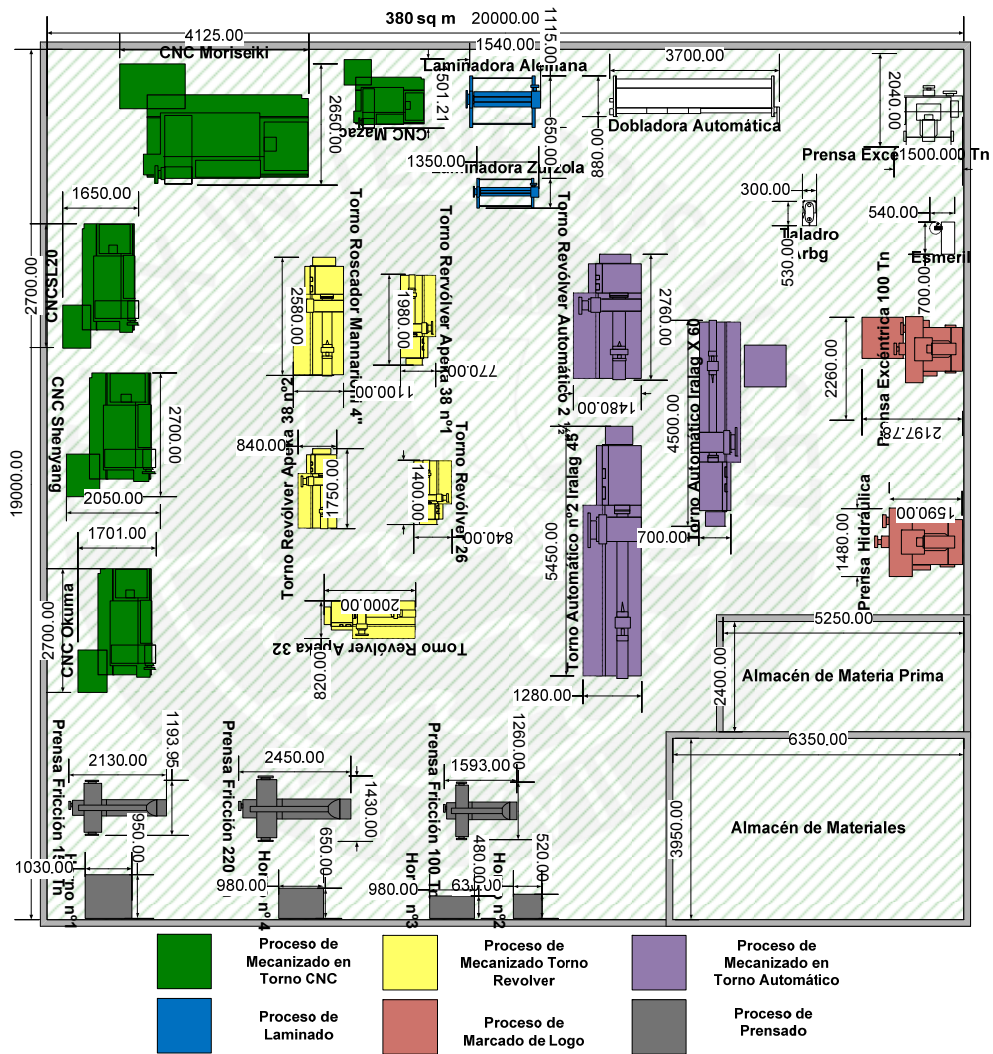


Figura 3.6 Distribución de Planta propuesta

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia

3.2.2 Estandarización de Procesos

Se realizará el procedimiento de la estandarización de los procesos de trabajo.

3.2.2.1 Preparación para la estandarización

Para poder alinear a las personas y concientizarlas con respecto a la importancia de estandarizar los procesos, se tiene que comenzar desde arriba de la escala jerárquica. Una vez que se ha convencido a la cabeza de la empresa, es más factible poder hacer entender al resto de trabajadores, pues se tiene el respaldo de quien ha dirigido el rumbo de la empresa, y ha decidido que la empresa posee una necesidad de identificar, analizar y mejorar sus procesos de trabajo.

Esta tarea se realizará mediante una serie de tres reuniones:

a) Primera Reunión:

Se presenta al Gerente General de la empresa la propuesta. Se inicia mostrando definiciones pertinentes y útiles para entender el proceso de estandarización. Se explica la importancia de la estandarización, haciendo énfasis en el rubro metalmecánico, en el que se encuentra la empresa. Se realiza una exposición de las ventajas competitivas que esto acarrearía:

- Procesos menos costosos: al tenerse procedimientos estándares para realizar las tareas, se tiene programado qué es lo que se debe y no se debe hacer. Al suprimir tiempos muertos, se reducen los tiempos de producción, con lo que se reduce costos. También, al poder prever la forma en que se procederá, se podrá estimar los costos, produciendo menor desfase entre lo invertido y lo gastado.
- Empresa más organizada: al tenerse una documentación de la forma de proceder, se puede enunciar y definir cómo es que la empresa va desarrollándose. Esto servirá para una futura acreditación de calidad, en la cual se necesite los procesos enunciados y definidos. Esto no solo aplicaría para el área de Operaciones, pues al tenerse una noción de gestión de calidad, se reducen los pasos para poder repetir la experiencia. Al largo plazo esto traería una diferenciación para la empresa, en las relaciones con otras empresas que son más rigurosas en sus especificaciones.

b) Segunda Reunión:

Se realiza con los jefes de las partes afectadas por la estandarización. El presente estudio se centra en el área de Operaciones, por lo que los cinco jefes de esta área deberán estar presentes:

- Jefe de Mantenimiento
- Jefe de Logística
- Jefe de Planta
- Jefe de Control de Calidad
- Jefe de Ingeniería y Desarrollo

En esta reunión se reforzará lo antes expuesto con detalles técnicos en cuanto al proyecto, la duración de éste, las tareas a realizar y los responsables que se tendrán que asignar por área. Se identificará las ventajas que significa la estandarización en cada uno de las áreas, partiendo desde las tareas prioritarias que cada una de estas aporta al proceso principal.

c) Tercera Reunión

Se realiza con los responsables asignados por cada jefe de área. La elección de estos responsables parte por la familiaridad con la que realizan el proceso, pues el hecho de conocer bien este facilitará la identificación de problemas y posibles soluciones. Se coordinará las tareas que se realizará, incentivando el compromiso que se tiene con el objetivo.

Finalmente, luego de estas tres reuniones, el programa será comunicado a la empresa por el Gerente General, recordando que para que la empresa pueda avanzar los trabajadores deben estar comprometidos con el programa para que este pueda dar verdaderos resultados, beneficiando a la empresa y a todos los que la conforman.

3.2.2.2 Identificación de los Procesos

Para realizar la adecuada identificación de procesos, es necesario realizar un diagrama de flujo, mostrado en la figura 3.7, en la que se expongan las operaciones que se realizan asociados a los tornos de Control Numérico Computarizado. Estos procesos se reparten entre las cinco áreas que conforman las Operaciones de la empresa.

En el caso del proceso de Soporte de Procesos, al ser este constante y suceder en cualquier parte del flujo de procesos, se encuentra aislado de este.

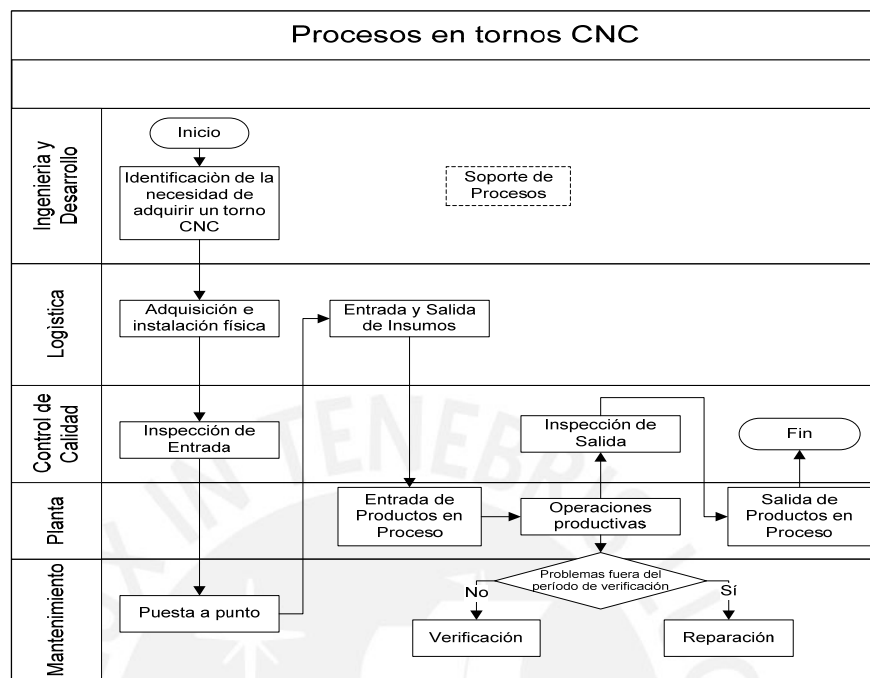


Figura 37 Flujo de Procesos en tornos CNC

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración propia

3.2.2.3 Definición de Tareas Prioritarias

Para definir estas tareas prioritarias se emplea una matriz de valoración, mostrada en la tabla 3.21, en la cual los criterios a clasificar son relacionados a la influencia que tienen estos procesos en el desarrollo del producto. Estos criterios son:

- a) **Tiempo:** la influencia que tiene el proceso en el tiempo de producción por pieza, considerando las piezas defectuosas.
- b) **Cantidad:** la influencia que tiene el proceso en la cantidad de productos terminados que se tienen, sin considerar las piezas defectuosas.
- c) **Características:** la influencia que tiene el proceso en un mejor cumplimiento de las especificaciones del cliente.
- d) **Costo:** la influencia que tiene el proceso en el costo de desarrollo del producto. Los costos de producción están relacionados al tiempo y la cantidad realizada, mas existen otros costos de gestión, mantenimiento, traslado, etc. Estos costos también se consideran en este criterio.

Se usará un rango de calificación de 1 a 5, en el cual las calificaciones significan:

- 1: Influencia muy baja o inexistente
- 2: Influencia baja
- 3: Influencia media.
- 4: Influencia alta
- 5: Influencia muy alta o imprescindible

Tabla 3.21 Matriz de Influencia

Áreas	Procesos	Influencia en el Desarrollo del Producto				Influencia Total
		Tiempo	Cantidad	Características	Costo	
Ingeniería y Desarrollo	Soporte de Procesos	4	3	3	5	15
	Identificación de la necesidad	3	3	4	4	14
Calidad	Inspección de Entrada	2	2	4	2	10
	Inspección de Salida	3	4	5	3	15
Mantenimiento	Puesta a Punto	4	3	3	4	14
	Verificación	4	3	3	4	14
	Reparación	5	5	4	5	19
Planta	Entrada Productos en Proceso	2	1	2	3	8
	Salida Productos en Proceso	1	2	2	3	8
	Operaciones Productivas	5	5	5	5	20
Logística	Entrada y Salida Insumos	3	4	4	4	15
	Adquisición e instalación Física	2	2	4	5	13

Elaboración Propia

Para efectos del análisis, se considerarán tareas prioritarias a aquellos procesos que poseen una influencia total mayor o igual que 15. Las tareas prioritarias por área son:

- Ingeniería y Desarrollo: Soporte de Procesos
- Calidad: Inspección de Salida
- Mantenimiento: Reparación
- Planta: Operaciones Productivas
- Logística: Entrada y Salida de Insumos

3.2.2.4 Definición de Procedimientos Estándares de Operación

Una vez identificadas las tareas prioritarias, se realizará la enunciación de estas, definiendo los parámetros y características que poseen, según la presente secuencia:

- Alcance: qué áreas de la empresa se verán afectadas.
- Responsables: qué personas realizan la tarea, así como quienes velan por su cumplimiento.

- **Definición:** en qué consiste la tarea.
- **Procedimiento:** cómo se representa la tarea mediante un diagrama de flujo de procesos.

a) Soporte de Procesos

- **Alcance:** las cinco áreas que conforman las Operaciones de la empresa.
- **Responsables:** Analista de Ingeniería y Desarrollo, Asistente de Mejora de Métodos.
- **Definición:** se realiza las acciones necesarias para poder identificar los problemas durante el proceso y aplicar una solución a corto, mediano, o largo plazo, dependiendo de la magnitud y de la complejidad de la solución.
- **Procedimiento:** se muestra en la figura 3.8.

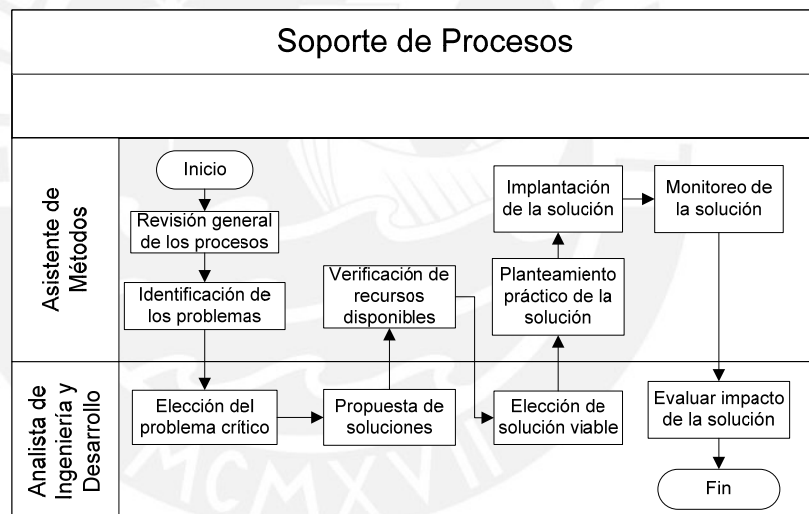


Figura 3.8 Procedimiento de Soporte de Procesos

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

b) Inspección de Salida

- **Alcance:** el área de Calidad y el área de Planta
- **Responsables:** Analista de Control de Calidad, Asistente de Muestreo.
- **Definición:** se toma una muestra de los productos realizados en los tornos CNC, antes de realizar el traspase al siguiente proceso, para poder verificar las características del producto, para poder determinar si el lote es defectuoso o no.

- **Procedimiento:** se muestra en la figura 3.9.

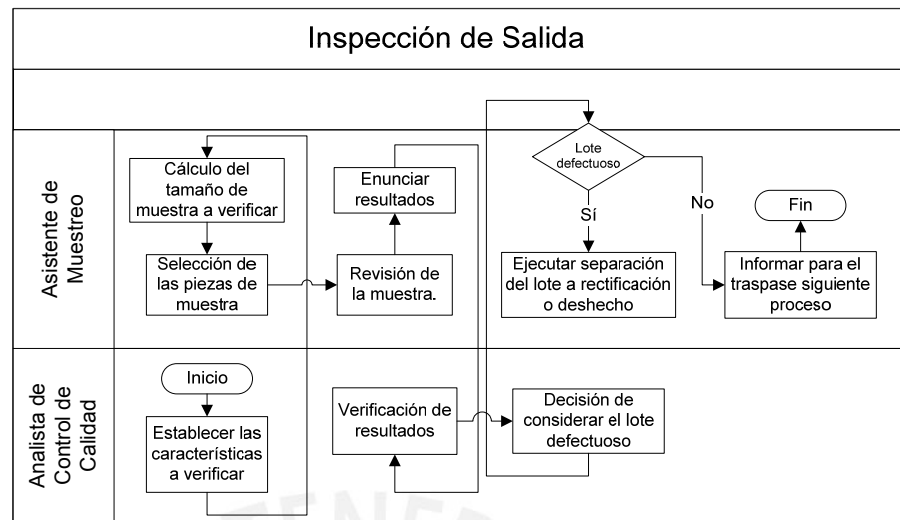


Figura 3.9 Procedimiento de Inspección de Salida

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

c) **Reparación**

- **Alcance:** el área de Mantenimiento, el área de Logística y el área de Planta
- **Responsables:** Técnico de Mantenimiento, Ayudante de Mantenimiento
- **Definición:** se realiza en el caso de una falla parcial o total de la máquina. Se procede a realizar una revisión de la máquina, diagnosticar y proceder a la solución del desperfecto.
- **Procedimiento:** se muestra en la figura 3.10

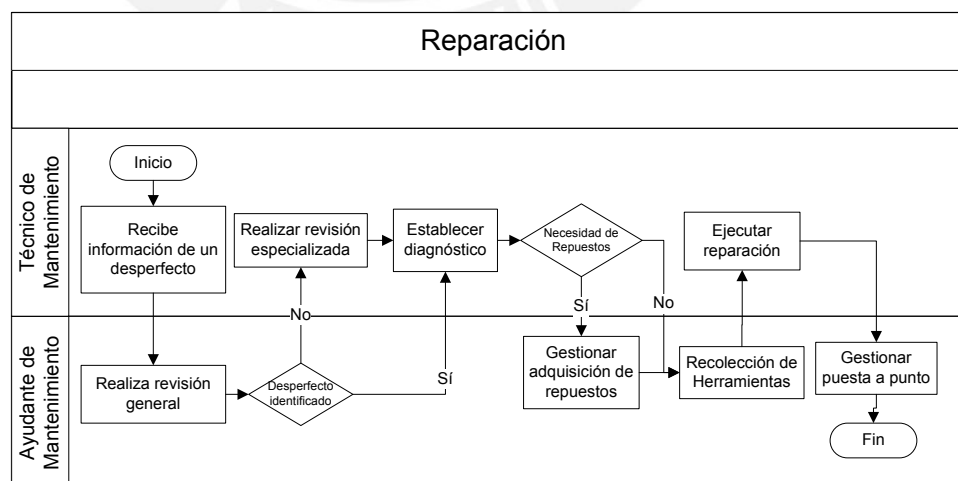


Figura 3.10 Procedimiento de Reparación

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

d) **Operaciones Productivas**

- **Alcance:** el área de Planta y el área de Logística
- **Responsables:** Operario de producción
- **Definición:** se realiza en el caso de una falla parcial o total de la máquina. Se procede a realizar una revisión de la máquina, diagnosticar y proceder a la solución del desperfecto.
- **Procedimiento:** se muestra en la figura 3.11

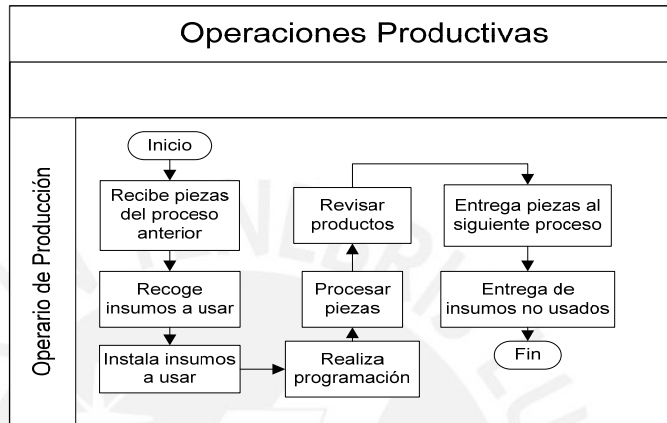


Figura 3.11 Procedimiento de Operación Productiva

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

e) **Entrada y Salida de Insumos**

- **Alcance:** el área de Planta y el área de Logística
- **Responsables:** Encargado de Almacén, Ayudante de Almacén
- **Definición:** se realiza en el caso de una falla parcial o total de la máquina. Se procede a realizar una revisión de la máquina, diagnosticar y proceder a la solución del desperfecto.
- **Procedimiento:** se muestra en la figura 3.12

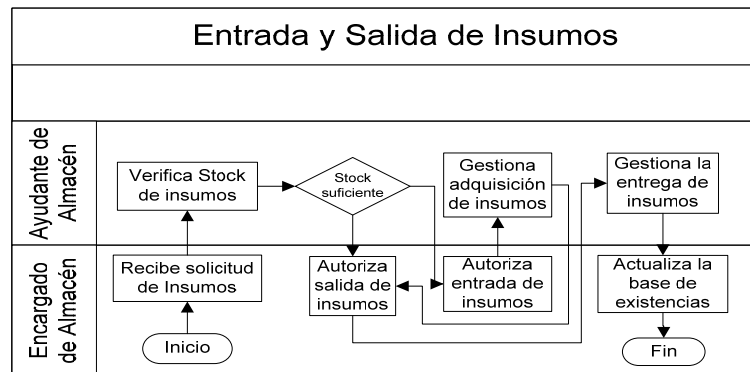


Figura 3.12 Procedimiento de Entrada y Salida de Insumos

Fuente: Pernito S.A.C.

Elaboración Propia

3.2.3 Determinación de la Cantidad Económica de Pedido

Para poder realizar un análisis adecuado del manejo de inventarios de los insumos que posee la empresa para producir, se tomará como referencia los insertos, los cuales tienen mayor influencia en el proceso productivo y consecuentemente en la necesidad del mantenimiento.

3.2.3.1 Cantidad de Insumos Utilizados

Para obtener una cantidad alineada a los anteriores resultados obtenidos, se utilizarán los niveles de producción con los que se trabajó. Se tiene que la duración promedio es de 6 horas/inserto. Las piezas producidas y los insertos utilizados son directamente proporcionales. Partiendo de estos datos se obtiene la tabla 3.22.

Tabla 3.22 Cantidad de Insumos Utilizados

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total general
Cantidad	183091	178822	160735	168961	180837	177007	176984	154831	145779	150525	147116	165861	1990549
Horas	1236	1162	1254	1213	1118	1172	1356	1220	1189	1254	1267	1253	14694
Insertos proporcionales	206	194	209	202	186	195	226	203	198	209	211	209	2449
Insertos usados	206	194	210	203	187	196	227	204	199	210	212	209	2457

Elaboración Propia

3.2.3.2 Identificación de Proveedores

Se tienen muchos proveedores de insertos, mas los seleccionados por la empresa por la facilidad de acceso y la variedad de insertos son los de la tabla 3.23.

Tabla 3.23 Proveedores de Insertos

NOMBRE	SERVICIO	Tipos de Inserto						
		Cilindrado	Roscado Interior	Roscado Exterior	Perforado	Centrado	Ranurado	Tronzado
COROIMPORT S.A.C.	INSERTOS SANDVICK	S/. 8.00	S/. 23.00	S/. 12.00	S/. 17.00	S/. 5.00	S/. 12.00	-
JUFRAVP S.R.L.	INSERTOS VALERY	S/. 6.00	S/. 25.00	S/. 10.00	-	S/. 5.00		S/. 11.00

Elaboración Propia

Los costos fluctúan de 5 a 25 soles. Para efectos del trabajo se considerará un precio promedio de 12 soles, con lo cual poder cubrir con los insertos necesarios para los procesos básicos de centrado, cilindrado y roscado interior.

3.2.3.3 Variables a Considerar

Para obtener los resultados necesarios para evaluar el mejor sistema de renovación de inventarios, se necesita considerar algunos datos, los cuales serán brindados por la empresa o serán calculados a criterio de los resultados previos. Estos datos son:

- **Costo de cada pedido(A):** costo relacionado con la gestión de compras de los productos y que no dependen de la cantidad comprada. Para el trabajo se utilizará el valor de S/.27.00
- **Demanda (D):** cantidad de productos que se van a adquirir. Para el trabajo se utilizará el valor de 2500
- **Precio (C):** valor de los productos a adquirir. Para el trabajo se utilizará el valor de S/12.00
- **Desviación estándar de consumo (σ):** la cantidad de insumos utilizados de más o de menos. Para el trabajo se utilizará el valor de 5
- **Nivel de servicio (k):** es la disposición de productos en el momento en el que el cliente lo requiera. Para el trabajo se utilizará el valor de 95%
- **Lead Time (Lt):** es el tiempo que transcurre desde la realización del pedido hasta la entrega del producto. Para el trabajo se utilizará el valor de 1 día y medio.
- **Tasa anual unitaria por posesión de inventario (i):** es el porcentaje del precio que considera la permanencia de los productos en inventario. Para el trabajo se utilizará el valor de 14%

3.2.3.4 Aplicación del Sistema de Revisión Continua de Inventarios

Tanto para evaluar este Sistema de renovación de inventarios como el siguiente se utilizarán los datos de la tabla 3.24

Tabla 3.24 Datos de Inventario

Dato	Valor
Costo de cada pedido(A)	27.0
Demanda (D)	2500.0
Precio(C)	12.0
Desviación estándar de consumo (σ)	5.0
Nivel de servicio (k)	95.0%
Lead Time (lt)	1.5
Zk	1.65
Tasa anual unitaria por posesión de inventario(i)	14.0%
Consumo promedio (Cp)	8.3

Elaboración Propia

En el caso del consumo promedio, este representa la demanda anual entre el número de días laborales en el año.

Primero hallamos el EOQ

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * A * D}{i * C}}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * 27 * 2500}{0.14 * 12}}$$

$$EOQ = 283.5$$

Luego hallamos el Stock de Seguridad, para esto utilizaremos un nivel de servicio de 95%, es decir un Z_k de 1.65

$$SS = Z_k * \sigma_{LT}$$

$$SS = 1.65 * 5 * \sqrt{1.5}$$

$$SS = 10.1$$

Con este Stock ya podemos hallar el punto de pedido:

$$R = C_p * Lt + SS$$

$$R = 8.3 * 1.5 + 10.1$$

$$R = 125.74$$

Entonces, para el Sistema Q, con una cantidad a pedir de 283.5 unidades y un punto de pedido de 125.74 unidades, el costo total será:

$$CT(q) = (D * C) + (D/q * A) + (q/2 + SS) * i * C$$

$$CT(q) = (2500 * 12) + (2500/283.5 * 27) + (283.5/2 + 10.1) * 0.14 * 12$$

$$CT(q) = 30493.20324$$

Esto quiere decir que para la demanda de 2500 unidades se tiene un costo unitario de 12.19 soles

3.2.3.5 Aplicación del Sistema de Revisión Periódica de Inventarios

Usamos el EOQ previamente hallado

$$EOQ = 283.5$$

Luego, hallamos el período entre revisiones

$$T = EOQ / D * 300$$

$$T = 283.5 / 2500 * 300$$

$$T = 34.02$$

Con este período entre revisiones calculamos el Stock de Seguridad

$$SS = Z_k * \sigma_{LT + T}$$

$$SS = 1.65 * 5 * \sqrt{1.5 + 34.02}$$

$$SS = 49.17$$

Este stock nos servirá para encontrar el nivel máximo para cubrir la demanda en el tiempo de revisión y de reabastecimiento

$$M = Cp*(T+Lt)+SS$$

$$M = 8.3*(34.02+1.5)+49.17$$

$$M = 343.986$$

Entonces para un sistema P, con un período entre revisiones de 34.02 días y un nivel máximo de 343.986 se tiene un costo total de:

$$CT(q) = (D \times C) + (D/q \times A) + (q/2 + SS) \times i \times C$$

$$CT(q) = (2500 \times 12) + (2500/283.5 \times 27) + (283.5/2 + 49.17) \times 0.14 \times 12$$

$$CT(q) = 30558.84084$$

Esto quiere decir que para la demanda de 2500 unidades se tiene un costo unitario de 12.22 soles

A modo de resumen tenemos la tabla 3.25.

Tabla 3.25 Comparación de Sistemas de Revisión de Inventarios

Sistema de Revisión de Inventarios	Stock de Seguridad	Costo Total	Costo Unitario
Continua	10.1	S/. 30,493.20	S/. 12.19
Periódica	49.17	S/. 30,558.84	S/. 12.22

Elaboración Propia

Estos resultados nos permiten concluir que la vía más económica de poder manejar los inventarios de insumos de los tornos CNC es el método de Revisión Continua.

Esto nos servirá para reducir los costos de reposición, sin embargo, también nos ayudará para poder tener mayor accesibilidad a estos insumos, reduciendo los tiempos aplicados a su refracción y mantenimiento.

3.2.4 Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

a) Funciones deseadas para el equipo que se está analizando

Las funciones que los tornos de Control Numérico Computarizado deben cumplir son:

- Realizar trabajos de precisión a altas velocidades de revolución
- Proceder de manera automática durante el mecanizado, sin intervención humana
- Mantener fija la pieza sin desviarla del eje horizontal
- Mantener la trayectoria acorde a los ejes referenciales
- Realizar un acabado uniforme
- Desarrollar la forma que se debió obtener con la programación ingresada
- Mantener las piezas en proceso en bajas temperaturas
- Mantener la vida útil de los insumos utilizados constante.

b) Estados de falla

Los estados indeseables de los tornos CNC son:

- No realiza trabajos de precisión a altas velocidades de revolución
- No procede de manera automática durante el mecanizado. Requiere de asistencia humana.
- No mantiene fija la pieza, la desvía del eje horizontal
- No mantiene la trayectoria acorde a los ejes referenciales
- No realiza un acabado uniforme
- No desarrolla la forma que se debe obtener con la programación ingresada
- No mantiene la pieza en proceso a bajas temperaturas
- No mantiene la vida útil de los insumos utilizados constante.

c) Causas de falla

Para cada estado de falla se tiene una gama de causas de falla, los cuales a veces son compartidos. Estas causas, por estado, se muestran en la tabla 3.26.

Tabla 3.26 Modos de falla

ESTADOS DE FALLA	MODOS DE FALLA
No desarrolla la forma que se debe obtener con la programación ingresada	Falta de calibración en el motor
	Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X
	Falta de resistencia en los husillos de bolas
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta
No mantiene fija la pieza, la desvía del eje horizontal	Falta de alineamiento de las carretas
	Falta de calibración de las mordazas
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de calibración de los rodamientos de los cabezales
	Falta de calibración del chuck
No mantiene la pieza en proceso a bajas temperaturas	Falta de ajuste de los dosificadores de refrigerante
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de dosificación de engrase
No mantiene la trayectoria acorde a los ejes referenciales	Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas
	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.
	Falta de rasquetado de la bancada
	Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta
No mantiene la vida útil de los insumos utilizados constante.	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.
	Falta de calibración de las mordazas
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de calibración del chuck
	Falta de calibración en el motor
No procede de manera automática durante el mecanizado. Requiere de asistencia humana.	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.
	Falta de calibración en el motor
	Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta
	Falta de un adecuado petroleado
No realiza trabajos de precisión a altas velocidades de revolución	Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas
	Falta de calibración en el motor
	Falta de dosificación de engrase
	Falta de resistencia en los husillos de bolas
No realiza un acabado uniforme	Falta de alineamiento de las carretas
	Falta de calibración de las mordazas
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de calibración del chuck
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta

Elaboración Propia

Las causas que ocasionan más fallas son cuatro, lo cual nos ayuda a identificar nuestra prioridad de identificación. Estas son:

- Falta de calibración de los insertos
- Falta de calibración en el motor
- Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X
- Falta de sincronización del transductor con la herramienta

d) Efectos de falla

Cada una de las fallas identificadas, las cuales son quince en total, poseen una consecuencia sobre la operación de los tornos CNC. Estos se han definido por modo de falla:

- **Falta de ajuste de los dosificadores de refrigerante:** al no tener un ajuste correcto del dosificador de refrigerante, el flujo de éste irá disminuyendo, permitiendo que tanto el inserto como la pieza empiecen a calentarse por fricción. Esto modifica parte de la composición de la pieza, haciéndola más frágil y deformándola.
- **Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas:** al no tener un ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas, la presión necesaria para tanto realizar la rotación como el movimiento horizontal y vertical no es suficiente. Esto causa una falta de sincronización que afecta los tiempos de producción.
- **Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros:** al no tener ajuste de los regles cónicos, el movimiento de giro se ve desalineado a los ejes referenciales. Al tenerse un movimiento de giro irregular, el contacto de los insertos con la pieza y los portaherramientas se ve afectado por la vibración, causando el desgaste acelerado de las mismas.
- **Falta de alineamiento de las carretas:** al no tener alineadas las carretas, el movimiento sobre el eje horizontal se hace accidentado, causando que el torno tienda a golpetear, tratando de cumplir con el eje referencial. El golpeteo ocasiona un mal arranque de viruta, al no tener un contacto uniforme con la pieza. Esto también es peligroso, ya que la máquina puede ceder y desalinearse totalmente, cayendo al piso o sobre el operario.
- **Falta de calibración de las mordazas:** al no tener calibradas las mordazas, no se puede ajustar la pieza para que esta realice el movimiento giratorio, preciso para obtener un acabado uniforme. Esto ocasiona que la vibración originada desgaste la pieza y a las mismas mordazas de forma acelerada. Se genera un peligro dentro de la cabina de la máquina ante la posibilidad de que la pieza se suelte.
- **Falta de calibración de los insertos:** al no tener calibrados los insertos, no se puede realizar un trabajo uniforme, al estar oscilando y golpeteando contra la pieza. El arranque de viruta se hace irregular. Aumenta la fricción con la pieza y acelera el desgaste de los mismos insertos.

- **Falta de calibración de los rodamientos de los cabezales:** al no tener calibrados los cabezales, no se puede establecer con claridad los ejes referenciales, provocando una mala sincronización de la posición de la pieza con el movimiento de la porta herramienta. Este desfase provoca daños a la forma del producto final.
- **Falta de calibración del chuck:** al no tener calibrado el chuck, no se puede calibrar correctamente las mordazas, tanto como no se puede mantener un movimiento circular correcto. Al no tener una rotación correcta de la pieza, la sincronización de los ejes se ve gravemente afectada. Se genera golpeteos fuertes, ya que soporta todo el sistema de giro y de contacto pieza con herramienta. Afecta el acabado de la pieza, haciendo la superficie irregular. Acelera el desgaste del mismo chuck y de los demás insumos.
- **Falta de calibración en el motor:** al no tenerse calibrado el motor, todo tipo de funcionamiento se ve afectado. No se pueden realizar movimientos ante altas velocidades de revolución, pues no se tiene suficiente potencia. Los paros son frecuentes, por lo cual el operario tiene que estar constantemente supervisando la operación de la máquina. Se tiene una falsa sincronización de mecanizado con programación, ya que el transductor obedece al tiempo de operación, mas no al número de revoluciones que posee el motor.
- **Falta de dosificación de engrase:** al no tener suficiente dosificación de engrase, se aumenta la fricción durante el giro, desacelerando el mismo. Al aumentar la fricción, aumenta la temperatura aplicada sobre los insumos y las piezas. Esto causa irregularidades sobre la pieza y un peligroso desalineamiento de la carreta.
- **Falta de rasqueteado de la bancada:** al no realizarse un rasqueteado adecuado de la bancada, las rebabas que se encuentran en este no permiten un movimiento uniforme. La carreta comienza a trastabillar, en algunos casos imperceptiblemente mas en otros más violentamente. Causa deformaciones sobre la pieza.
- **Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X:** al no realizarse un adecuado rectificado de la bancada, disminuye la precisión de operación. La sincronización de la programación con la operación no es adecuada, ya que los criterios ingresados necesitarán consideraciones adicionales para compensar este desfase. Produce constantes paradas para reprogramación de ajuste.

- **Falta de resistencia en los husillos de bolas:** al no tenerse resistencia en los husillos de bolas, el movimiento rotatorio del chuck se ve gravemente afectado. Se debe trabajar lentamente, afectando los tiempos de producción. Se tiene un desfase entre lo ingresado por la programación con lo obtenido luego del mecanizado, ya que se tiene que compensar la deficiencia de movimiento. Esto es peligro debido a la posibilidad de ruptura del husillo, lo cual causaría que la máquina cediera.
- **Falta de sincronización del transductor con la herramienta:** al no tener sincronizada la pieza con el transductor, la programación jamás considerada con la operación realizada. No se siguen ninguno de los ejes establecidos. Se necesitan constantes interrupciones para reprogramar y logra una coincidencia. La forma de la pieza se ve seriamente afectada, al necesitar constantes rectificaciones.
- **Falta de un adecuado petroleado:** al no realizarse un adecuado petroleado no se tiene suficiente recurso de alimentación. No se puede alcanzar la potencia adecuada para poder realizar las operaciones. Se tiene imprecisión y descoordinación a la hora del mecanizado, causando interrupciones para poder realimentar la máquina.

e) Consecuencias de falla

Los modos de falla se han clasificado por el tipo de consecuencias que acarrear. Existen cinco tipos de consecuencias:

- Operacional
- Medio ambiente
- Seguridad
- No operacional
- Oculta

Al tener mayor repercusión sobre los costos operativos o la seguridad de los trabajadores, solo se utilizarán dos tipos de consecuencias: Operacional y de Seguridad. Esta clasificación se muestra en la tabla 3.27.

Tabla 3.27 Clasificación de consecuencias de falla

Consecuencia	Modo de falla
Operacional	Falta de ajuste de los dosificadores de refrigerante
	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.
	Falta de calibración de las mordazas
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de calibración de los rodamientos de los cabezales
	Falta de calibración en el motor
	Falta de dosificación de engrase
	Falta de rectificación de la bancada, ejes Z y X
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta
	Falta de un adecuado petroleado
Seguridad	Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas
	Falta de alineamiento de las carretas
	Falta de calibración del chuck
	Falta de rasquetado de la bancada
	Falta de resistencia en los husillos de bolas

Elaboración Propia

Esta clasificación nos sirve como un criterio adicional para plantear que tipo de mantenimiento se aplicará. Como se puede notar en la tabla, se tiene un mayor efecto operacional sobre el desarrollo del producto, es decir, incrementan los costos o reducen el beneficio económico por producto.

f) Elección del tipo de mantenimiento

Teniendo en consideración lo previamente analizado, se toma la decisión de que tipo de mantenimiento aplicar.

Existen cuatro tipos de mantenimiento a aplicar:

- Correctivo
- Preventivo
- Predictivo
- Detectivo

Este último sugiere la prueba de sensores que detecten errores en los sistemas de operación, los cuales no se manejan en los tornos CNC. Por esta razón solo serán considerados los tres restantes. Los mantenimientos a aplicar por cada modo de falla se muestran en la tabla 3.28.

Tabla 3.28 Mantenimiento a Aplicar

Mantenimiento a Aplicar	Modo de falla
Correctivo	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.
	Falta de calibración de los rodamientos de los cabezales
	Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X
	Falta de un adecuado petroleado
Preventivo	Falta de rasqueteado de la bancada
	Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas
	Falta de resistencia en los husillos de bolas
	Falta de dosificación de engrase
Predictivo	Falta de ajuste de los dosificadores de refrigerante
	Falta de calibración de las mordazas
	Falta de calibración de los insertos
	Falta de calibración en el motor
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta
	Falta de alineamiento de las carretas
	Falta de calibración del chuck

Elaboración Propia

Con la tabla presentada, concluimos que el tipo de mantenimiento precisado a aplicar a la mayoría de modos de falla de los tornos CNC, según el método centrado en la confiabilidad, es el mantenimiento predictivo, es decir, un mantenimiento a condición.

Capítulo 4: Integración de las herramientas de mejora para la obtención del método óptimo

4.1 Identificar relaciones entre herramientas

Para poder establecer la relación entre herramientas se hará uso de un diagrama de aportes radial. Este diagrama comparará el efecto obtenido aplicando una herramienta, basándose en 6 aportes:

- **Calidad:** el efecto que se obtiene sobre el acabado del producto. Se percibe internamente mediante inspecciones y externamente mediante la entrega del producto.
- **Orden:** el efecto que se obtiene sobre la organización de trabajo y la coherencia del procedimiento. Se percibe mediante la facilidad con la que se identifican las operaciones o áreas útiles de procedimiento.
- **Costos:** el efecto que se obtiene sobre lo que se gasta por unidad de producto. Se percibe mediante los impactos en el precio final durante la salida y los costos de insumo en la entrada.
- **Tiempo:** el efecto que se obtiene sobre el tiempo de operación del producto y el tiempo de gestión. Se percibe mediante la reducción o incremento de los tiempos de espera y los tiempos muertos que se tienen en el sistema.
- **Ambiente de Trabajo:** el efecto que se obtiene sobre la comodidad de los trabajadores en las áreas de trabajo. Se percibe mediante las condiciones de los operarios, la limpieza de la zona de trabajo y la gestión de desperdicios.
- **Flexibilidad:** el efecto que se obtiene sobre la facilidad de realizar cambios en el procedimiento de trabajo y el acondicionamiento hacia otros productos no estándares. Se percibe mediante los tiempos de conversión y la reacción frente al cambio.

Para poder determinar la magnitud del aporte se considera una puntuación de 1 a 5, considerando las condiciones actuales y como se vería afectada la empresa de realizar un cambio sobre estas. La calificación cualitativa se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Aporte de Herramientas

Aportes	Herramientas		
	Distribución de Planta	Estandarización de Procesos	Determinación de la EOQ
Orden	4	4	2
Costos	3	3	4
Ambiente de Trabajo	4	2	1
Flexibilidad	4	2	2
Tiempo	3	4	4
Calidad	2	4	2

Elaboración Propia

Se establecen las relaciones de los aportes superponiendo los resultados gráficos entre las herramientas. Los gráficos resultantes poseen un área de efecto, el cual se complementa o refuerza con la herramienta en contraste. Esto podrá establecer a que deficiencias o aportes debemos prestar atención.

4.1.1 Distribución de Planta - Estandarización de Procesos

La relación de aportes se muestra en la figura 4.1.

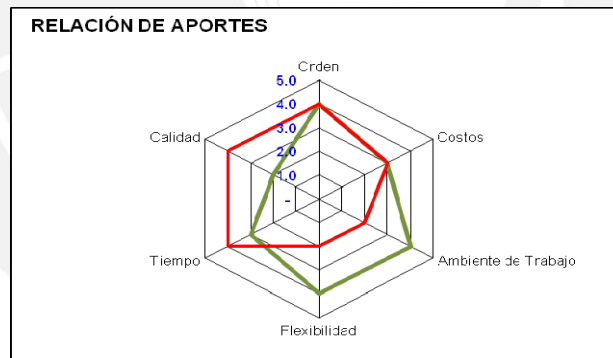


Figura 4.1 Relación de aportes Distribución de Planta – Estandarización de Procesos

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia

Se puede notar que el área de confluencia entre la distribución de planta y la estandarización de procesos se encuentra en el orden y costos. Esto se puede traducir en una administración mejor realizada de las operaciones, condicionando la gestión y el presupuesto hacia la mejora continua, buscando suplir las diferencias entre la secuencia de operaciones de un producto a otro con procesos intermedios de traslape.

4.1.2 Distribución de Planta – Determinación de la EOQ

La relación de aportes se muestra en la siguiente figura 4.2.

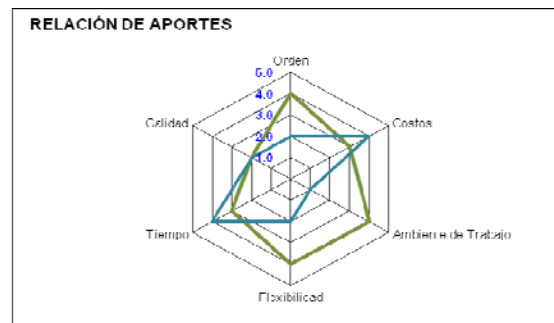


Figura 4.2 Relación de aportes Distribución de Planta – Determinación de la EOQ

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia

Se puede notar que el área de confluencia entre ambas herramientas se encuentra en el tiempo y costos. Eso se puede traducir en la mejora del procedimiento de trabajo, elaborando la misma cantidad de productos a un menor costo en un menor tiempo. Esto concentra los beneficios en el área de Operaciones, con lo cual la carga de trabajo se ve notablemente reducida.

4.1.3 Estandarización de Procesos – Determinación de la EOQ

La relación de aportes se muestra en la figura 4.3.

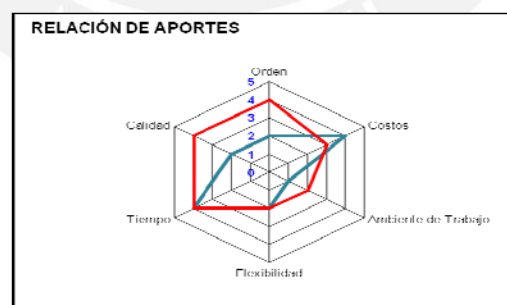


Figura 4.3 Estandarización de Procesos - Determinación de la EOQ

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia

Se puede notar que el área de confluencia se concentra en la reducción de tiempos. Esto se refleja en la disminución de la gestión debido a la estandarización de los procesos de solicitud y el establecer un cronograma de renovación de inventarios. Sin embargo, se deja una gran zona de aporte sin abarcar, en lo que respecta a flexibilidad y ambiente de trabajo. Esto repercute de manera negativa sobre la empresa, al no mantener en cuenta las mejoras que se pueden realizar en estos dos aspectos, dejando de lado las condiciones de trabajo y el acondicionamiento del flujo de material.

4.2 Definir Ventajas y Desventajas

La determinación de ventajas y desventajas se realiza de manera individual. Las relaciones resultantes van a ligarse más adelante con el beneficio de cada una de las herramientas, con lo cual obtener una solución integrada que no represente riesgos no controlables. Se comparan los beneficios en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Tabla de beneficios comparativos.

Herramientas	Ventajas	Relación con el Mantenimiento	Desventajas	Controlable
Distribución de Planta	Reducción de costos de manipulación de material	Directa	Costos altos de redistribución	Sí
	Reducción de tiempos de traslado	Directa	Tiempo de acondicionamiento	No
	Consecutividad de Operaciones	Indirecta	Poco compatible con piezas no estándares	Sí
	Reducción de gestión durante la operación	Indirecta		
	Reducción de sobreesfuerzo de máquina	Directa		
	Incremento de la utilización	Directa		
	Reducción de tiempos muertos	Directa		
Estandarización de Procesos	Reducción de tiempos de operación	Directa	Poco compatible con piezas no estándares	Sí
	Reducción de tiempo de consulta	Indirecta	Considerar errado procedimientos diferentes	No
	Facilidad de cambio en los procesos	Directa		
	Incremento de la organización de trabajo	Indirecta		
	Facilidad en la capacitación	Indirecta		
	Facilidad en asignación de trabajo	Directa		
	Reducción de sobreesfuerzo de máquina	Directa		
Determinación de la EOQ	Reducción de tiempos muertos	Directa		
	Reducción de costos de manipulación de material	Directa	Incompatible con demanda de gran variabilidad	No
	Incremento de la utilización	Directa	Costos de acondicionamiento administrativo	No
	Facilidad en la capacitación	Indirecta		
	Reducción de tiempos de operación	Directa		
	Consecutividad de Operaciones	Indirecta		
	Reducción de sobreesfuerzo de máquina	Directa		
	Determinación flexible del punto de compra	Indirecta		
Reducción de tiempos de gestión de materiales	Indirecta			

Elaboración Propia

Si bien se puede notar una mayor cantidad de desventajas en la aplicación de la distribución de planta, se puede mantener un control de esta. Sin embargo, en el caso de la Determinación de la EOQ se posee una variable externa que no puede manipularse de manera interna. Es entonces cuando determinamos a la demanda como nuestra mayor restricción para la aplicación de esta última herramienta.

4.3 Comparación con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Para realizar la comparación con esta herramienta se va a representar gráficamente el aporte del RCM sobre el procedimiento de trabajo. En la figura presentada se sombrea el área de efecto, con el fin de detallar donde se enfoca el aporte y como se acentuará en conjunto con otras herramientas, así como las deficiencias. Los aportes se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Aporte del RCM

Aportes	RCM
Orden	4
Costos	4
Ambiente de Trabajo	2
Flexibilidad	2
Tiempo	4
Calidad	2

Elaboración Propia

En la figura 4.4 se muestra la relación de aportes entre todas las herramientas.

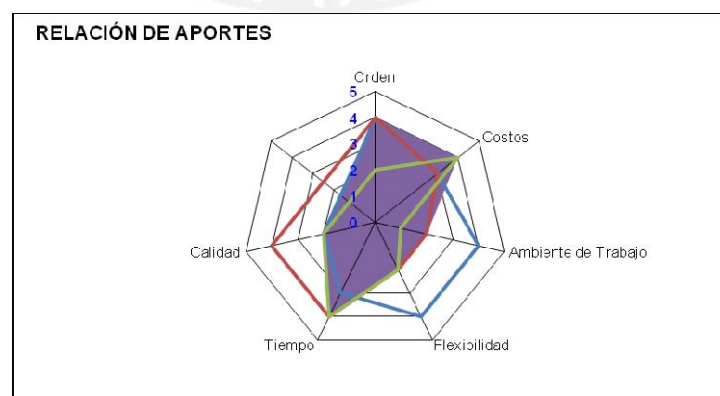


Figura 4.4 Relación de aportes – RCM

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia

Se muestra una condición de efecto parecida al de la Determinación del EOQ, teniendo esta relación como la más compatible entre las herramientas analizadas. Sin embargo, se puede notar que se dejan de lado otras áreas sin cubrir, no permitiendo desarrollar las condiciones de trabajo necesarias para reaccionar a cambios y soportar el bienestar laboral, que se busca en la aplicación de las herramientas.

4.4 Estudio de Resultados

Para realizar el estudio de resultados, calcularemos el verdadero efecto individual para cada uno de los aportes considerados. Esto se realizará asignando un valor porcentual del valor total a cada uno de estos, considerando en qué grado estos aspectos son importantes para la empresa. Se toman valores establecidos internamente, mostrados en la tabla 4.4

Tabla 4.4 Valoración de Aportes

Aportes	Valor
Orden	10.00%
Costos	25.00%
Ambiente de Trabajo	10.00%
Flexibilidad	15.00%
Tiempo	20.00%
Calidad	20.00%

Elaboración Propia

Consecuentemente, se calcula el aporte totalizado, considerando la previa asignación de magnitud de aportes. El aporte totalizado se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Aporte Totalizado

Aportes	Distribución de Planta	Estandarización de Procesos	Determinación de la EOQ	RCM
Orden	0.4	0.4	0.2	0.4
Costos	0.8	0.8	1.0	1.0
Ambiente de Trabajo	0.4	0.2	0.1	0.2
Flexibilidad	0.6	0.3	0.3	0.3
Tiempo	0.6	0.8	0.8	0.8
Calidad	0.4	0.8	0.4	0.4
Total	3.2	3.3	2.8	3.1

Elaboración Propia

De esta tabla se puede observar que las herramientas con más aporte son la Distribución de Planta y la Estandarización de Procesos.

Al observar el diagrama de aportes de ambas herramientas, se pudo observar que cubrían todos los campos de trabajo, obteniendo una solución sistemática e integrada con un gran impacto en la empresa.

Se puede notar que el menor aporte totalizado compete a la Determinación de la EOQ, con lo cual se puede considerar como poco conveniente su desarrollo, ya que la herramienta a comparar posee mayor aporte.

En cuanto al RCM, si bien su aporte totalizado es alto, si se contrasta con la integración de la Distribución de Planta y la Estandarización de Procesos, se puede concluir que resultará beneficioso pero en menor grado a lo propuesto.

4.5 Método Óptimo

El método óptimo es la aplicación de la distribución de planta y la estandarización.

4.5.1 Beneficios del Método Óptimo

a) Distribución de Planta

Para establecer el beneficio de aplicar la distribución de planta propuesta, estableceremos la relación de la reducción de distancias entre áreas de operaciones y el esfuerzo de máquina. Se ha establecido esta relación en función al efecto que posee la operación antecesora sobre la pieza. Los resultados se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Reducción de Esfuerzo de Máquina

Secuencia		Distancias(metros)		Reducción	Efecto en pieza	Reducción Real
De	A	Original	Mejora			
Prensado	TR	8.41	7.38	12.25%	50%	6.12%
TR	Prensado	8.41	7.38	12.25%	100%	12.25%
Prensado	CNC	14.97	9.28	38.01%	50%	19.00%
CNC	LAMINADO	6.22	5.56	10.61%	100%	10.61%
LAMINADO	TR	5.56	5.48	1.44%	50%	0.72%
TR	TA	6.33	5.78	8.69%	100%	8.69%
TA	LOGO	15.66	4.54	71.01%	100%	71.01%
Total		65.56	45.4	30.75%	79%	18.34%

Elaboración Propia

De este análisis se ha podido determinar que la reducción total del esfuerzo de máquinas en la planta fue de 18.34%.

Para la operación principal, el cual representa toda actividad realizada en torno CNC se ha obtenido dos reducciones de esfuerzo del 19% y del 10.61%, es decir, una reducción promedio de 14.81%. Esta reducción de esfuerzo representa se encuentra directamente relacionada a la reducción de la necesidad de mantenimiento, la cual se cuantificará en la reducción del tiempo invertido en el mantenimiento del torno.

Se tiene que desde agosto del 2009 las horas invertidas en mantenimiento han ido oscilando alrededor de un valor promedio, el cual se estima a partir de la figura 4.5

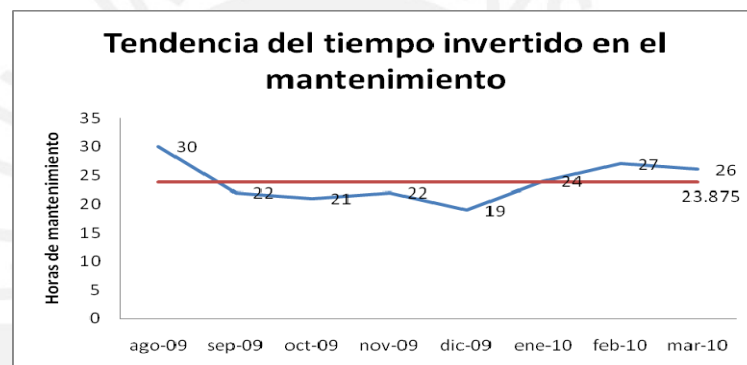


Figura 4.5 Tendencia del tiempo invertido en el mantenimiento

Fuente: Pernito SAC

Elaboración Propia.

Con esto estimamos un valor mensual de 23.875 horas mensuales de mantenimiento. Aplicando la reducción de esfuerzo de máquina estimada concerniente a los tornos CNC de 14.81%, obtenemos una reducción de 3.54 horas mensuales,

b) Estandarización de Procesos

Para establecer el beneficio de estandarizar los procesos, estableceremos la relación entre el tiempo invertido en el proceso y el efecto que tiene sobre el desarrollo del producto. Esto se realizará obteniendo el efecto en la pieza de cada proceso, obteniendo el porcentaje de influencia del total de procesos. La obtención de la influencia de las tareas prioritarias se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Influencia por Proceso

Áreas	Procesos	Influencia en el Desarrollo del Producto				Influencia Total	Tipo de Tarea	Influencia
		Tiempo	Cantidad	Características	Costo			
Ingeniería y Desarrollo	Soporte de Procesos	4	3	3	5	15	Prioritario	9.09%
	Identificación de la necesidad	3	3	4	4	14		8.48%
Calidad	Inspección de Entrada	2	2	4	2	10		6.06%
	Inspección de Salida	3	4	5	3	15	Prioritario	9.09%
Mantenimiento	Puesta a Punto	4	3	3	4	14		8.48%
	Verificación	4	3	3	4	14		8.48%
	Reparación	5	5	4	5	19	Prioritario	11.52%
Planta	Entrada Productos en Proceso	2	1	2	3	8		4.85%
	Salida Productos en Proceso	1	2	2	3	8		4.85%
	Operaciones Productivas	5	5	5	5	20	Prioritario	12.12%
Logística	Entrada y Salida Insumos	3	4	4	4	15	Prioritario	9.09%
	Adquisición e instalación Física	2	2	4	5	13		7.88%
	Total	38	37	43	47	165		100.00%

Elaboración Propia

Una vez obtenida la Influencia de la tareas Prioritarias, se enfrenta la reducción de Tiempo Promedio invertido en cada Proceso. El tiempo original es obtenido del histórico de los procesos, mientras que el tiempo estimado es obtenido de los cronogramas de trabajo establecidos internamente con la empresa una vez aplicada la estandarización.

En la tabla 4.8 se muestra la reducción del tiempo en porcentaje, mientras que la reducción real se obtiene de considerar el efecto en pieza de cada proceso.

Tabla 4.8 Reducción de la incertidumbre en el desarrollo del producto

Área	Proceso	Tiempo Promedio Original (Meses)	Tiempo Promedio Estimado (Meses)	Reducción	Efecto en pieza	Reducción Real
Ingeniería y Desarrollo	Soporte de Procesos	1.74	1.5	13.79%	9.09%	1.25%
Calidad	Inspección de Salida	0.3	0.24	20.00%	9.09%	1.82%
Mantenimiento	Reparación	0.17	0.14	17.65%	11.52%	2.03%
Planta	Operaciones Productivas	0.1	0.07	30.00%	12.12%	3.64%
Logística	Entrada y Salida Insumos	0.47	0.34	27.66%	9.09%	2.51%
Total						2.25%

Elaboración propia

La reducción real total obtenida es de 2.25 %, el cual se encuentra relacionada directamente a la reducción acumulada de los tiempos de mantenimiento. Aplicada a las 23.875 horas destinadas a mantenimiento, se obtiene una reducción de 0.54 horas mensuales de mantenimiento.

4.5.2 Aspectos a Mejorar

- Se debe considerar tiempos de trabajo uniforme, lo cual establece un parámetro diferente por cada producto fabricado. Solo se puede trabajar con aproximaciones al promedio o a las condiciones de elaboración del producto patrón.
- Se debe considerar espacios obtenidos mediante secuencias de crecimiento, dependientes de la evolución que ha tenido la planta de producción. Eso ha sucedido, más es una variable no considerada por el Systematic Layout Planning.
- Se debe considerar la adquisición de nuevo personal en la empresa. En lo documentado, no se considera el incremento en el rol de personal en la asignación de responsables de los procedimientos. Esta evolución, aparte de afectar la cantidad de responsables, incrementa la complejidad en sí de las operaciones.
- Se debe considerar la flexibilidad en el traslado de la ubicación de los almacenes de Insumos y de Materia Prima. Estos representan un área considerable de la planta, los cuales, al tomarse en cuenta, generan una secuencia ligeramente diferente de la propuesta. El traslado de materiales de almacén a secuencia de producción se dejan de lado por el Systematic Layout Planning.

Capítulo 5: Evaluación Económica Financiera

5.1 Evaluación de Resultados con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Para poder realizar un análisis mensual del proyecto, se usará el ahorro mensual causado por los métodos mencionados.

Este ahorro se aplicará sobre la estabilización del tiempo invertido mensualmente en el mantenimiento a las máquinas, el cual, según la tabla 5.1, se encuentra alrededor de 23.875 horas mensuales.

Tabla 5.1 Costo Mensual de la reparación

Mes	ago-09	sep-09	oct-09	nov-09	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	Promedio
Tiempos de reparación(horas)	30	22	21	22	19	24	27	26	23.875
Pedidos no aceptados (unidades)	33950	28600	27550	26450	25400	30750	31800	29650	29268.75
Pedidos no aceptados (10 ³ soles)	95	80	77	74	71	86	89	83	81.875

Elaboración Propia

Del cuadro, se obtiene un gasto promedio de 81.875 miles de soles mensuales invertidos en la reparación, lo que hace un gasto por hora de 3429.32 soles.

Esto se encuentra estrechamente relacionado con las piezas no fabricadas durante la reparación.

5.1.1 Evaluación económica del proyecto

El RCM, al ser una metodología, estimar los resultados de su beneficio se obtendrá relacionando el efecto del mantenimiento aplicado y las consecuencias en la reducción del tiempo al establecer un ciclo de inspecciones, con lo cual se estima la cantidad de tiempo invertido en las inspecciones mensuales. Para el Mantenimiento Correctivo, al no poderse anticipar con facilidad, se le asignará un efecto de 60%. Al Mantenimiento Preventivo, al tener un costo relacionado a la anticipación de fallas, se le asignará un efecto de 80%. El Mantenimiento Predictivo, al ser el tipo de mantenimiento elegido, se le asignará su valor total. Esto se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Reducción de tiempos estimados de Mantenimiento

Mantenimiento a Aplicar	Modo de falla	Tiempo Invertido Horas/mes	Tiempo Estimado Horas /Mes	Reducción	Efecto	Reducción Real
Correctivo	Falta de ajuste de los regles cónicos de los carros.	1.03	0.8	22.07%	60%	13.24%
	Falta de calibración de los rodamientos de los cabezales	2.12	1.5	29.41%	60%	17.64%
	Falta de rectificado de la bancada, ejes Z y X	1.77	1.5	15.10%	60%	9.06%
	Falta de un adecuado petroleado	1.48	1.3	12.18%	60%	7.31%
	Falta de rasqueteado de la bancada	1.29	1	22.44%	60%	13.46%
Preventivo	Falta de ajuste de los pulmones y torretas hidráulicas	2.29	2	12.74%	80%	10.19%
	Falta de resistencia en los husillos de bolas	1.12	1	10.88%	80%	8.71%
	Falta de dosificación de engrase	2.10	1.5	28.61%	80%	22.88%
	Falta de ajuste de los dosificadores de refrigerante	1.03	0.8	22.07%	80%	17.66%
Predictivo	Falta de calibración de las mordazas	1.17	1	14.52%	100%	14.52%
	Falta de calibración de los insertos	1.81	1.5	17.33%	100%	17.33%
	Falta de calibración en el motor	1.00	0.8	20.22%	100%	20.22%
	Falta de sincronización del transductor con la herramienta	2.03	1.8	11.30%	100%	11.30%
	Falta de alineamiento de las carretas	1.91	1.5	21.47%	100%	21.47%
	Falta de calibración del chuck	1.72	1.5	12.74%	100%	12.74%
Promedio de la Reducción Real						14.52%

Elaboración Propia

Al totalizar la reducción, se obtiene un promedio de 14.52%, cifra aproximada a la resultante por la distribución de planta.

Para poder cuantificar la reducción, aplicaremos este porcentaje al tiempo promedio mensual en el mantenimiento de 23.875 horas, obteniéndose una reducción de 3.46 horas mensuales en mantenimiento. Relacionándolo con el gasto por hora de 3429.32 se tendría un ahorro mensual de 11865.45 soles. En la tabla 5.3 se tienen los Costos en el Mantenimiento.

Tabla 5.3 Costos del RCM

Término	Tiempo	Costo/Hora	Costo Total
Soporte	4 horas/mes	54 soles/hora	216 soles/mes
Inspecciones	8 horas/mes	60 soles/hora	480 soles/mes
Insumos			45 soles /mes
Elaboración de Cronogramas	16 horas	46 soles/hora	736 soles
Reparaciones Estimadas	20.41 horas/mes	60 soles/hora	1224.6 soles/mes
Total			2701.6 soles/mes

Elaboración Propia

Encontramos el beneficio mensual al enfrentar el Costo mes a mes de aplicar la herramienta con el beneficio percibido al no tener 3.46 horas mensuales de tiempo improductivo. Evaluamos el promedio del beneficio percibido en todos los meses del año en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Beneficio mensual del RCM

Mes	Costo	Beneficio	Beneficio - Costo	% Beneficio
Enero	2701.6	11865.4	9163.8	77.23%
Febrero	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Marzo	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Abril	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Mayo	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Junio	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Julio	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Agosto	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Septiembre	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Octubre	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Noviembre	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Diciembre	1965.6	11865.4	9899.8	83.43%
Promedio	2026.9	11865.4	9838.5	82.92%

Elaboración Propia

5.1.2 Evaluación económica anual

Para obtener el beneficio anual acumulamos el costo y el beneficio de cada mes, evaluando cual es el beneficio resultante en el año. Así tenemos la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Beneficio anual del RCM

Año	Costo	Beneficio	Beneficio- Costo	% Beneficio
Año 1	24323.2	142384.8	118061.6	82.9%
Año 2	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 3	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 4	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 5	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 6	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 7	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 8	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 9	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Año 10	23587.2	142384.8	118797.6	83.4%
Total	236608	1423848	1187240.0	83.4%

Elaboración Propia

Se obtiene un beneficio neto de casi 1.2 millones de soles.

5.2 Evaluación de Resultados del sistema propuesto

Evaluaremos los resultados de la distribución de planta y la estandarización.

5.2.1 Evaluación económica del proyecto

En la tabla 5.6 se tienen los costos de las herramientas aplicadas. Se tiene que tomar en cuenta que los únicos costos en los que se incurrirán serán los de soporte, los demás permanecen constantes

Tabla 5.6 Costos de las Propuestas de Mejora

Mejora	Término	Tiempo	Costo/Hora	Costo Total
Distribución de Planta	Sopte	4 horas/mes	54 soles/hora	216 soles/mes
	Montacarga	16 horas	184 soles/hora	2944 soles
	Adecuamiento	24 horas	20 soles/hora	480 soles
	Tiempos Improductivos	22 horas	2700 soles/hora	59400 soles
Estandarización de Procesos	Sopte	12 horas/ mes	54 soles/hora	648 soles /mes
	Documentación	16 horas	36 soles/ hora	576 soles
	Adecuamiento	24 horas	28 soles/ hora	672 soles
	Integración	36 horas	30 soles / hora	1080 soles
Total				66016 soles

Elaboración Propia

Así, comparando el beneficio total en la tabla 5.7 obtenido por la aplicación de ambas herramientas a la vez de 4.08 horas mensuales con el costo por hora de 3429.32 soles por hora, se tiene un beneficio mensual de 13991.6 soles.

Tabla 5.7 Beneficio mensual del sistema propuesto

Mes	Costo	Beneficio	Beneficio - Costo	% Beneficio
Enero	66016.0	13991.6	-52024.4	-371.8%
Febrero	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Marzo	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Abril	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Mayo	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Junio	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Julio	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Agosto	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Septiembre	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Octubre	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Noviembre	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Diciembre	864.0	13991.6	13127.6	93.8%
Promedio	75520.0	167899.5	92379.5	55.0%

Elaboración Propia

5.2.2 Evaluación económica anual

Para obtener el comportamiento del beneficio anual, analizamos la tendencia del beneficio en un período de 10 años. Así tenemos la tabla 5.6

Tabla 5.6 Beneficio anual del sistema propuesto

Año	Costo	Beneficio	Beneficio - Costo	% Beneficio
Año 1	75520.0	167899.5	92379.5	55.0%
Año 2	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 3	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 4	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 5	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 6	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 7	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 8	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 9	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Año 10	10368.0	167899.5	157531.5	93.8%
Total	168832.0	1678995.1	1510163.1	89.94%

Elaboración Propia

Se obtiene un beneficio neto de casi 1.5 millones de soles .

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Al aplicarse la predicción de la necesidad del mantenimiento, se obtuvo resultados aplicables a la gestión del mantenimiento. Se tuvo un esperado de 42 semanas para llegar al punto más crítico, es decir, aproximadamente desde que la empresa está en sus óptimas condiciones, con ningún torno CNC inoperable, hasta que posee todos los tornos CNC con necesidad de mantenimiento.
- Se obtuvo un esperado de 1.76 máquinas como esperado de necesidad de mantenimiento, lo cual presenta a la empresa el riesgo de obtener cifras falsas por los tiempos de operación, pues se podrían asumir que las máquinas se malogran en períodos constantes de tiempo,
- Al obtenerse un beneficio de 14.81% al aplicarse la distribución de planta podemos apreciar que se tiene una amplia pérdida de capacidad de producción por no haber hecho un análisis previo a la instalación de la maquinaria.
- Al obtenerse un beneficio de 2.25% al aplicarse la estandarización de procesos se tiene que sin un adecuado levantamiento de información y documentación, se va a tener una desorganización en la realización de los procesos productivos, cayendo en la improvisación. Esto se ve reflejado en los costos de oportunidad asumidos.
- Si bien se obtiene un porcentaje de beneficio mayor al aplicar el RCM que con las propuestas de mejora en el período de un año, en la tendencia del beneficio anual nos percatamos que el propuesto va siendo superior, ya que hay un costo muy grande que solo se realiza una vez durante el año, que es el costo de implementación de las herramientas. Para cuantificar este mayor beneficio, consideramos un rango de 10 años, con lo cual tenemos 0.3 millones de soles más de beneficio neto con la estandarización de procesos y la distribución de planta, que con el RCM.

6.2 Recomendaciones

- Eso pone en peligro el ciclo de producción, pero a la vez genera una oportunidad de mejora, con lo cual poder sustentar un crecimiento obtenible con la aplicación de las propuestas.
- Relacionar el tiempo de mantenimiento invertido para poder ver tendencias asociadas al entorno de la empresa y la desorganización de los procesos.
- Esto presenta una capacidad de mejora a través del reordenamiento del flujo de material, haciendo más óptimo el ciclo de producción. La capacidad productiva se incrementará, creando un beneficio adicional al presentado, más no se encuentra en los criterios de análisis.
- Se presenta una capacidad de mejora a través del orden y de la manufactura esbelta. Al tener procesos estandarizados, a una capacidad de cambio en la empresa para poder integrarse a lo largo de la cadena de suministros, tanto por la identificación de los procesos, como por la calidad de los productos, los cuales crean un beneficio adicional al presentado, al causar mayor captación de clientes, mas no se encuentra en los criterios de análisis
- Si se logra integrar una mejora adicional que sea compatible con las propuestas, el beneficio será mayor. El mantenimiento centrado en la confiabilidad también se puede integrar, logrando que los beneficios se sumen, obteniendo 2.7 millones de soles en beneficio. Sin embargo, esta última herramienta se usa como control para fines del estudio, su implementación integrada no se encuentra en los criterios de análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abdul-Jalbar, B.

2004 *“Sistemas de Distribución: avances en la gestión de inventarios”* España: Universidad de la Laguna.

Anaya, J.

2006 *“Logística Integral”* España: ESIC.

Besterfield, D.

1994 *“Control de Calidad”* New Jersey: Pearson Prentice Hall Inc.

Chen, F.

1998 *“Stationary Policies in Multi-Echelon Inventory Systems with Deterministic Demand and Backlogging.”* New York: Columbia University.

Córdova, M.

2006 *“Estadística Aplicada.”* Perú: Moshera.

Chung, N.

2006 *“Aplicación de la herramienta PEVA para la documentación y mejora de los procesos de la carrera de ingeniería industrial de la UPC”* Perú: UPC

Duncan, A.

1990 *“Control de Calidad y Estadística Industrial”* México: Alfa y Omega.

Gordon, P.

1967 *“Cadenas Finitas de Markov y sus Aplicaciones.”* España: Hispano Europea, S.A.

Hillier, F.

1997 *“Investigación de Operaciones”* México: McGraw-Hill.

Martínez, M.

2006 *“Propuesta de distribución de planta para una organización dedicada a la fabricación de llanta tipo diagonal”* México: Instituto Politécnico Nacional.

Meyers, F.

2006 *“Diseño de las Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales”* New Jersey: Pearson Prentice Hall Inc.

Muther, R.

1977 *“Distribución de Planta”* España: Hispano Europea, S.A.

Perez, C.

2003 *“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Aplicación e Impacto”* México: 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento.

Vallhonrat, J. y Corominas, A.

1991 *“Localización, distribución en planta y manutención.”* España: Marcombo, S.A.

Winston, W.

2005 *“Investigación de Operaciones: aplicaciones y algoritmos”* México: Thomson.