TESIS
ID998
M8
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

" DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES DE UN TALLER DE RODILLOS DE LAMINADO EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA"

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

REALIZADO POR CARLOS A. MURACCIOLE SOLER

PROFESOR GUIA ING. ALICIA JUSTA

FECHA Caracas, 23 de Octubre de 1998.

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

" DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES DE UN TALLER DE RODILLOS DE LAMINADO EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA"

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: diez y seis (16) (*)

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Alicia Justa	Nombre: Xavier Arada	Nombre: Norma Pazos

REALIZADO POR	CARLOS A. MURACCIOLE SOLER
PROFESOR GUIA	ING. ALICIA JUSTA
FECHA	Caracas, 23 de Octubre de 1998.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar el más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización del presente trabajo especial de grado, y en especial a:

Sidetur Planta Antímano, por la confianza y trato que recibí de toda la gente que allí trabaja, porque realmente me hicieron sentir un miembro más de esta gran empresa.

Alicia Justa, Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial, por la incondicional orientación brindada y por la confianza que depositó en mi, al permitirme involucrarme en todo el proceso de laminación, lo cual facilitó considerablemente mi trabajo.

Armando Ramírez, Jefe del Taller de Rodillos, por su valiosa orientación, apoyo, paciencia y colaboración durante el presente trabajo, especialmente en todo lo relacionado con las actividades desarrolladas por el taller. A Santamaría por sus consejos, cooperación y su ayuda, para que todo saliera bien.

Al personal que labora en el Departamento de Ingeniería Industrial y de Control de Calidad, y en especial a Josefina Lettieri, Pedro Oropeza y Carlos Oses, quienes me brindaron parte importante de su tiempo, y estuvieron siempre dispuestos a facilitarme su ayuda.

A los profesores Diego Casañas y Francisco Arvelo por su colaboración en aquellos momentos en que sus conocimientos eran de gran ayuda para resolver los problemas planteados.

INDICE GENERAL

ETAPA PRELIMINAR **i**

Agradecimientos i
Indice General ii
Indice General de Tablas vii
Indice General de Tablas iv
Sinopsis v
Objetivos vi
Introducción vii

CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA **1**

1.1 Reseña Histórica de la Empresa 1
1.2 Estructura Organizativa Interna 2
1.3 Proceso Productivo 3

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO **7**

2.1 Dirección de las Operaciones 7
2.2 Producción 8
2.3 Demanda Independiente y Demanda Dependiente 9
2.4 Planificación 9
2.5 Laminación 10
2.6 Planificación y Control Del Taller De Trabajo 12

CAPITULO III: METODOLOGÍA **15**

3.1 FASE 1: Planteamiento del Problema 15
3.2 FASE 2: Observación y Levantamiento de la Información 15
3.3 FASE 3: Análisis de los Datos 16
3.4 FASE 4: Desarrollo del Sistema 16

CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN **18**

4.1 Taller de Rodillos 18
4.1.1 Funciones del Taller 18
4.1.2 Estándares de Aprovechamiento de calibres y vidas útiles de los rodillos 19
4.1.3 Obtención de los Calibres 22
4.2 Análisis de los Estándares 27
4.2.1 Actualización de los Estándares de duración de los calibres 27
4.2.2 Pruebas de Hipótesis 28
4.2.3 Tamaño de la Muestra en la Estimación de la Media 29

4.2.4 Metodología para la Implementación de la Técnica 30
4.2.5 Resultados del Muestreo 31
4.2.6 Verificación de los Estándares 34
4.2.7 Aplicación de la Prueba de los Signos 36
4.2.8 Resultados de las Pruebas de Hipótesis 37
4.2.9 Intervalos de Confianza para la Duración de los Calibres 38
4.2.10 Aprovechamiento Idóneo de los Calibres 40
4.3 Pronóstico de Producción vs. Producción Real 41
4.3.1 Tren Continuo 42
4.3.2 Tren Abierto 43
4.3.3 Efectos en los Cambios sobre el Pronóstico del Programa de Producción 44

CAPITULO V: DISEÑO DEL SISTEMA 46

5.1 Planificación 46
5.1.1 Planificación a Mediano Plazo 46
5.1.1.1. - Requerimiento de Juegos de Rodillos 46
5.1.1.2. - Inventario de Rodillos Laminadores 49
5.1.2 Planificación a Corto Plazo 52
5.1.2.1. - Cálculo de los requerimientos de calibre en el Tren de Laminación 53
5.1.2.2. - Cálculo de los requerimientos de calibres Finidores 54
5.1.2.3. - Cálculo de los requerimientos de calibres Laminadores 54
5.1.2.4. - Determinación de la Cantidad de Rodillos a Maquinar 55
5.1.2.5. - Programación de los Trabajos 56
5.1.2.6. - Cálculo de la Carga de Trabajo del Taller 57
5.1.2.7. - Establecimiento de la Secuencia y Rutas para la realización de los Trabajos 59
5.2 Control de Costos 59
5.2.1 Cálculo de la Depreciación de los Rodillos en Proceso 59
5.2.2 Costos de Maquinado de los Rodillos 60
5.3 Sistema Automatizado de Información 61

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66

6.1 Conclusiones 66
6.2 Recomendaciones 67

BIBLIOGRAFÍA 69

ANEXOS 70

INDICE GENERAL DE FIGURAS

Figura 1.1: Planta Antímano 1
Figura 1.2: Organigrama Estructural de la Gerencia de Planta Antímano 2
Figura 1.3: Organigrama Estructural de la Gerencia de Laminación 3
Figura 1.4: Descripción del Tren Continuo 4
Figura 2.1: Sistema de Producción 8
Figura 2.2: Partes de un Rodillo de Laminación 10
Figura 3.1: Desarrollo del Sistema 17
Figura 4.1: Grabado Sobre las Cabillas 21
Figura 4.2: Diagramas de Flujo del Taller de Rodillos 26
Figura 4.3: Zonas de Aceptación y Rechazo 36
Figura 4.4: Contraste de la Hipótesis 37
Figura 4.5: Diagrama Causa - Efecto de las Variaciones en el Pronóstico 45
Figura 5.1: Ciclo del Sistema de las Operaciones del Taller de Rodillos 52
Figura 5.2: Procedimiento QQDCCC – PQ 53
Figura 5.5: Pantalla Principal 58
Figura 5.6: Cuadro de Costos 62
Figura 5.7: Costos de Mano de Obra 62
Figura 5.8: Costos de Materiales y Costos Indirectos 62
Figura 5.9: Kárdex de rodillos 63
Figura 5.10 Estándares de Calibres 63
Figura 5.11: Estado Actual del Tren 63
Figura 5.12: Plan de Producción 64
Figura 5.13: Montajes de Rodillos 64
Figura 5.14: Orden de Trabajo 64

INDICE GENERAL DE TABLAS

Tabla 4.1: Estándares de Duración de los Calibres Laminadores 21
Tabla 4.2: Estándares de Duración para Calibres Finidores 22
Tabla 4.3: Tiempos de Torneado para Rodillos Nuevos y Usados 25
Tabla 4.4: Tiempos Estándares de Estriado para Rodillos Finidores 27
Tabla 4.5: Marcajes Típicos 27
Tabla 4.6: Tipos de Errores que Afectan la Aceptación o Rechazo de una Hipótesis 29
Tabla 4.7: Resultados de las Pruebas Piloto para los Calibres Laminadores 31
Tabla 4.8: Resultados de las Pruebas Piloto para los Calibres Finidores 32
Tabla 4.9: Cantidad de Datos Requeridos para Completar la Muestra (Laminadores) 33
Tabla 4.10: Cantidad de Datos Requeridos para Completar la Muestra (Finidores) 33
Tabla 4.11: Resultados Finales para Calibres Laminadores 33
Tabla 4.12: Resultados Finales para Calibres Finidores 34
Tabla 4.13: Resultados de las Pruebas de Hipótesis para Calibres Laminadores 37
Tabla 4.14: Resultados de las Pruebas de Hipótesis para Calibres Finidores 38
Tabla 4.15: Intervalos de Confianza para la duración Media de Calibres Laminadores 39
Tabla 4.16: Intervalos de Confianza para la duración Media de Calibres Finidores 40
Tabla 4.17: Duración Sugerida Calibres Laminadores 40
Tabla 4.18: Duración Sugerida Calibres Finidores 41
Tabla 5.1: Requerimiento de Juego de Rodillos Laminadores 47
Tabla 5.2: Requerimiento de Calibres Laminadores para los Castillos N° 10,12 y 14 47
Tabla 5.3: Requerimiento de Calibres Finidores para los Castillos N° 10,12,14 y 18 48
Tabla 5.4: Requerimiento de Juego de Rodillos Finidores 48
Tabla 5.5: Requerimientos Totales de Juegos de Rodillos 49
Tabla 5.6: Capacidad de Producción, Costos y Margen de Ganancias 51
Tabla 5.7: Compra de Juego de Rodillos 51
Tabla 5.8: Requerimiento Promedio de Rodillos en Un Mes 57

SINOPSIS

El presente trabajo especial de grado tiene la finalidad de diseñar un sistema que permita mejorar la planificación y control de las operaciones desarrolladas en el taller de rodillos de laminado de la Siderúrgica del Turbio Planta Antímano, este sistema debe servir como herramienta para la toma de decisiones en dicho taller.

Para ello se levantó la información relacionada con los procesos y se identificaron las variables relevantes que influyen en la gestión del taller. También se analizaron mediante técnicas estadísticas los datos históricos relacionados con la duración de los diferentes calibres en el tren, actualizando los estándares de aprovechamiento de los pases y creando así, la base estadística necesaria para la implantación del sistema junto con otros registros de interés.

El desarrollo del sistema se enfocó en varios módulos; el primero de ellos contempla la planificación del taller según el horizonte de tiempo para el cual aplica. La planeación de requerimientos de recursos a (1) un año se considera dentro de un período a mediano plazo, mientras que la planeación de las operaciones mensuales del taller a partir de un programa de producción mensual para cada producto terminado se ubican dentro de un período a corto plazo,. El control de los costos de maquinado y la depreciación de los rodillos forman parte del sistema conjuntamente con la elaboración de un programa que permite reunir lo anterior, ofreciendo flexibilidad al taller y soporte a las actividades desarrolladas.

Al implantar este sistema se puede mantener un mayor control sobre las existencia de rodillos laminadores en proceso, y se obtienen ahorros significativos en la adquisición de los rodillos según los requerimientos del tren de laminación, además los gastos asociados a los altos niveles de inventario quedan reducidos. Igualmente se permite programar de mejor forma la utilización de los recursos con los que cuenta el taller de rodillos y la base de datos relacionadas con la información relevante que se necesita para la implantación de todo sistema de planificación.

OBJETIVOS

- General:

- Diseñar un sistema que permita mejorar la planificación y control de las operaciones dentro del taller de rodillos para laminado, y que sirva como herramienta para la toma de decisiones.

- Específicos:

- Elaborar un sistema de control de inventarios de rodillos laminadores en proceso que se ajuste a las necesidades reales de los trenes de laminación.
- Desarrollar un sistema de planificación de las actividades operativas relacionadas a la gestión de los rodillos de laminación, para controlar los costos implicados y los tiempos de respuesta.
- Crear la base estadística necesaria para la implantación del sistema, en cuanto a la duración de los diferentes calibres, historial de proveedores, etc.
- Diseñar un sistema para el control de costos de producción en cuanto a: la depreciación de los rodillos en proceso, y el maquinado de rodillos.
- Crear una herramienta para la toma de decisiones en la gestión del taller.

ALCANCE

Con el Trabajo Especial de Grado se pretende desarrollar un sistema que mejore tanto la eficiencia de las operaciones del taller, como las actividades relacionadas con el tren de laminación. Para la elaboración del presente trabajo se consideraron como supuestos del diseño los siguientes:

1. Las rutinas de trabajo utilizadas para el maquinado de los rodillos, la distribución de las cargas de trabajo, y los tiempos de ejecución de las operaciones.
2. Una buena gestión por parte de la gerencia de laminación, en lo que se refiere al control de la producción y el manejo de las variables que influyen en el proceso.

La empresa hasta finales del mes de julio de 1998 utilizaba dos trenes de laminación para la manufactura de sus productos, estos son denominados Tren Continuo y Tren Abierto; pero a partir de esta fecha y como parte del esfuerzo por modernizar sus instalaciones, dedicó recursos para actualizar sólo el Tren Continuo por ser este más rentable, quedando habilitado para laminar todos los productos que se elaboraban en planta, incluyendo los del Tren Abierto. Es por eso que el presente estudio se enfoca en el diseño de un sistema que pueda satisfacer las necesidades del Tren Continuo, ya que será de ahora en adelante el único tren que lamine tanto cabillas para la construcción, como barras para herrería industrial o carpintería metálica, las cuales normalmente se elaboraban por el Tren Abierto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo está constituido por organizaciones que lograron adoptar con tiempo y con éxito los nuevos enfoques productivos imperantes en la industria, mientras que otras que desaprovecharon la opción, se ven inmersas en criterios y prácticas obsoletas de gestión que ponen en duda su permanencia en un mercando tan competitivo, donde indicadores como el precio, la confiabilidad, la calidad y los tiempos de respuesta son muy importantes.

La globalización es una nueva situación en el complejo y variable escenario internacional que obliga a afrontar procesos de cambios tecnológicos e institucionales. En el caso venezolano el conglomerado industrial se mueve bajo condiciones cambiantes y el entorno económico es bastante delicado. Específicamente en el sector siderúrgico, el escenario de hoy día es muy distinto al de un año atrás, la privatización de las empresas básicas como en el caso de la Siderúrgica del Orinoco, Sidor, la crisis asiática, la invasión de los productos de Europa oriental y la apertura comercial, entre otros, son muestra de ello. De este modo se hace evidente desarrollar aún más los procesos industriales de aquellos productos que sean verdaderamente rentables, demandando mejoras continuas en los sistemas productivos actuales.

La oportunidad de desarrollar un estudio que permita contribuir con el mejoramiento continuo de las actividades desarrolladas en la planta y con la necesidad de ser competitivos es el fin del presente trabajo especial de grado. Poner a la disposición del taller de rodillos un sistema que permita planificar y controlar sus operaciones, va a determinar en gran medida el aseguramiento de la calidad de los productos y la capacidad de respuesta ante los cambios en la demanda.

CAPITULO I

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

En Noviembre de 1948 se funda la Siderúrgica Venezolana S.A. "*SIVENSA*" dirigida a satisfacer la demanda de productos de acero para la industria de la construcción. Los primeros esfuerzos se dedican a adquirir en los Estados Unidos los equipos y maquinarias para la planta y a construir las instalaciones físicas en un terreno de Antímano, considerado en aquella época un suburbio de la zona metropolitana de Caracas (ver Figura 1.1). Es en 1950 cuando se inaugura la Acería Antímano, en la cual la empresa mantuvo centrada sus operaciones, sin avisos de diversificación hasta finales de la década, cuando en el país se hace un esfuerzo por reactivar la economía nacional. El desarrollo de Sivensa a través de sus cincuenta años de existencia permitió abarcar otras áreas industriales. Esta diversificación dio lugar a la creación de una estructura capaz de ubicar los procesos gerenciales de control lo más cerca posible de los centros de operaciones.

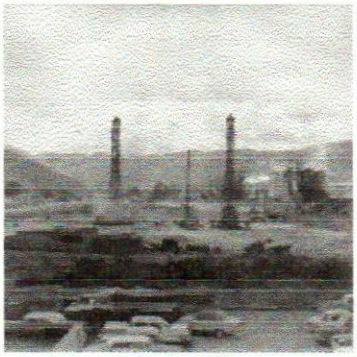


Figura 1.1: Planta Antímano

Es en el año de 1985 cuando las empresas Sivensa que desarrollan actividades siderúrgicas son agrupadas en la Siderúrgica del Turbiò S.A. "*SIDETUR*" filial de Sivensa, que centraliza las operaciones de las plantas de Antímano, Barquisimeto, Matanzas, Guarenas y Valencia, bajo la responsabilidad de la División Siderúrgica "*SIDETUR*", unidad estructural de Siderúrgica Venezolana S.A., coordinadora de actividades administrativas y de producción de las facilidades de Acería y de Laminación.

Sidetur, en consecuencia acoge en su estructura a las empresas Siderúrgicas del Turbio S.A., Siderúrgica del Caroní S.A. "*SIDECAR*" y Fior de Venezuela S.A., ésta última en sociedad accionaria con la Corporación Venezolana de Guayana quien posee el 40% del capital social. Sidetur Planta Antímano, es una empresa que elabora y comercializa productos siderúrgicos, tanto en el mercado nacional como en el internacional. Las familias de productos que se elaboran en Planta Antímano comprenden:

- Barras con resaltes para refuerzos, en diámetros desde 3/8" hasta 1" en el sistema inglés y/o su equivalente en sistema métrico.

- Barras de herrería industrial, cuadradas y redondas lisas desde 12mm y/o su equivalente en el sistema inglés.

Sidetur Planta Antímano a lo largo de su historia siempre se ha preocupado por la mejora de la calidad de sus productos y de la satisfacción de sus clientes. En el año de 1981 obtiene la Marca NORVEN (003) para las Barras con Resaltes para Refuerzos (COVENIN 316-95), y en este año recibió la certificación ISO 9002. Además busca satisfacer las necesidades de nuevos mercados, por lo cual comienza la exportación de sus productos en el año 1983. A partir de esta fecha los productos han penetrado en países como: Argelia, Canadá, Estados Unidos, Jamaica, Puerto Rico, China, Hong Kong, México, Colombia, entre otros.

1.2 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA INTERNA

Sidetur Planta Antímano está organizada de acuerdo a una estructura que le permite participar activa y eficientemente en un claro proceso de producción. En la Figura 1.2 se muestra la estructura organizativa interna de la empresa.

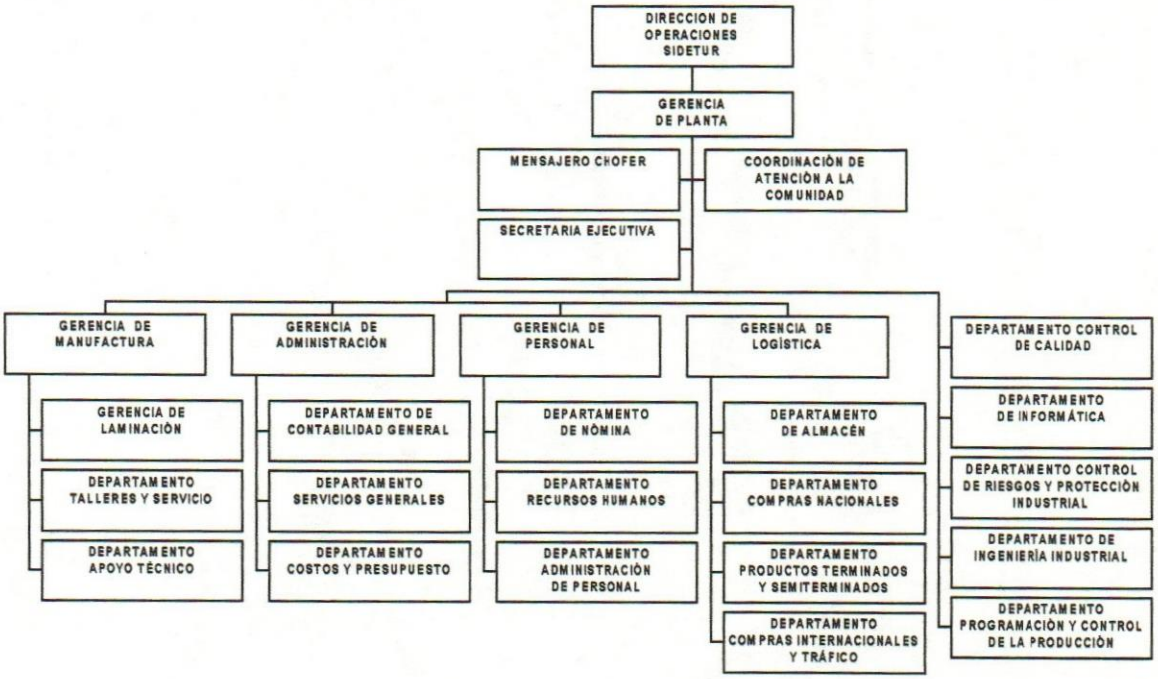


Figura 1.2: Organigrama estructural de la Gerencia de Planta Antímano

En la Figura 1.3 se aprecia la estructura organizativa de la Gerencia de Laminación. El Jefe del Taller de Rodillos reporta directamente al Gerente de Laminación y tiene a su cargo al analista de máquinas y herramientas.

Figura 1.3: Organigrama estructural de la Gerencia de Laminación

1.3 PROCESO PRODUCTIVO

Este proceso partiendo de los productos semi-elaborados (palanquillas y lingotes), consta para el Tren Continuo de las siguientes fases: Precalentamiento, Desbaste, Laminado, Enfriamiento, Empaque y Amarre.

a) *Precalentamiento*:

1. - El horno tiene una capacidad de 348 lingotes o 116 palanquillas, de aproximadamente 270 Kg. cada uno, y una temperatura de trabajo de 1150 a 1200 °C.

2. - Se carga el horno con las palanquillas o lingotes existentes en los patios del depósito de semi-elaborado, debidamente identificados con sus respectivos números de coladas y grado del material.

3. - Se introducen al horno los semiterminados de cada colada mediante la utilización de magnetos y un juego de empujadores hidráulicos. Se cargan siguiendo una secuencia de cola-punta-cola, para garantizar un paralelismo con el cabezal de los empujadores, a la vez que se colocan equitativamente en cada una de las líneas de deslizamiento, de forma que se permita la salida de cada colada del horno sin perder su identificación.

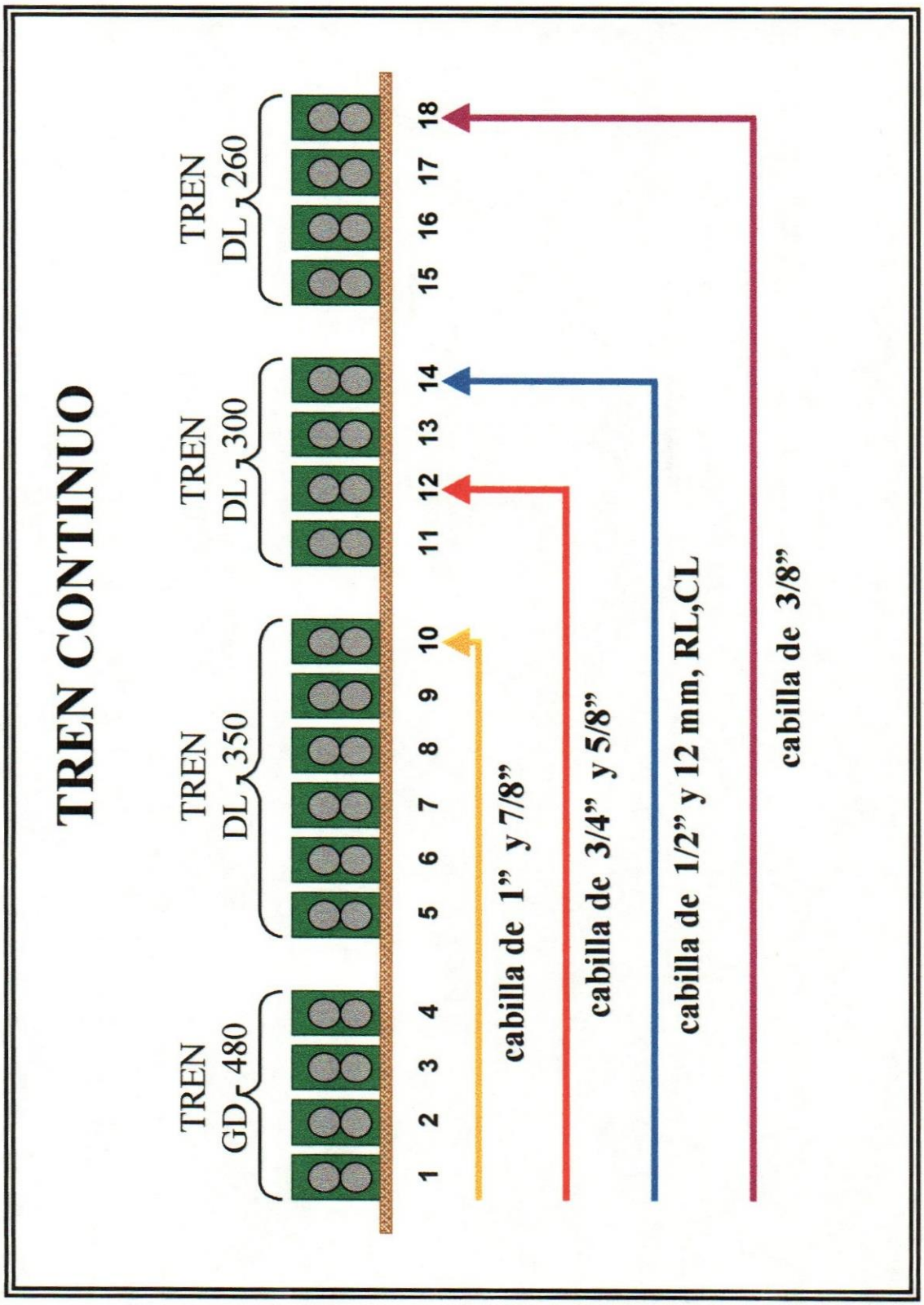
4. - Los semiterminados son empujados a través de las distintas zonas del horno (zona de recalentamiento y zona de igualación) hasta alcanzar la temperatura de laminado, y luego son deslizados por la rampa de salida del horno y trasladados por unos rodillos motrices hacia los molinos reductores.

5. -El semiterminado entra en un sector circular (tornamesa) que gira a 180° si el operador ve un lingote que viene de cola, lo cual permite colocar la punta orientada hacia el primer desbaste. En el caso de las palanquillas la tornamesa queda inmovilizada.

b) *Desbaste*:

1. - La sección del desbaste se extiende desde el castillo N°1, al castillo N°4 (también llamado *Tren GD-480*) y consta de 8 pasadas para lingotes, y de 4 pasadas para palanquillas (ver Figura 1.4).

Figura 1.4 : Descripción del Tren Continuo



2. - En las primeras cuatro pasadas el lingote se transforma en una barra cuadrada de 100x100 mm. (sección 10.000 mm^2).

3. - Por medio de unos brazos que operan automáticamente, la barra es descargada sobre unos rodillos que la trasladan hacia otros brazos llamados cargadores, y que la depositan en el canal de las siguientes cuatro pasadas donde la barra se transforma en otro cuadrado de 55x55 mm. (sección 3.025 mm^2). Las palanquillas utilizadas pasan directamente por las últimas pasadas, pues tienen una sección cuadrada 100x100 mm.

4. - Al salir del 8° pase del Tren 480 (4° pase para palanquillas), la barra pasa por la tijera 16, la cual se encarga de cortar la punta y cola de la misma, con el fin de eliminar cualquier malformación o enfriamiento de los extremos, y así evitar que la barra choque o se tranque en las siguientes pasadas.

c) *Laminado*:

1. - La primera sección del laminado se extiende desde el castillo N°5, al N°10 (también llamado Tren Semipreparador o *Tren DL-350*), el cual consiste de seis pases y en donde se comienza a laminar en dos hilos.

2. - Cuando la barra sale del último castillo de este tren, tiene una sección cuadrada de 18x18 mm. (sección 324 mm^2).

3. - El tren DL-350 es un finidor en el castillo N°10 para productos acabados de 7/8" y 1" redondo estriado. De ahora en adelante se hará distinción entre *castillos finidores* y *castillos laminadores*. Castillos finidores son los últimos en la secuencia de laminación de cierto producto y los castillos laminadores son los que lo anteceden.

4. - Al salir del último paso del Tren DL-350, la barra pasa por la tijera 27 que corta la punta y la cola para eliminar la zona fría y posible malformación de los extremos. Esta tijera en caso de que ocurra una emergencia, trocea la barra para evitar enredos o marañas en el tren.

5. - Una vez que la barra pasa por la tijera 27, entra en la segunda sección del laminado, que va desde el castillo N°11, al N°14 (también llamado *Tren DL-300*). El castillo N°12 además de laminador, es finidor para productos acabados de 5/8" y ¾" redondo estriado.

6. - El castillo N°14 es laminador de 3/8" y finidor para los productos acabados de; redondo y cuadrados lisos de 12mm, 12mm y ½" redondo estriado.

7. - Al salir del último pase del Tren DL-300, la barra pasa por la tijera 33, donde se cumple el mismo procedimiento de la tijera 27.

8. - Cuando el Tren DL-300 está operando como finidor, la tijera 33 corta la barra a medida de la cama de enfriamiento.

9. - La tercera y última sección de laminado se extiende desde el castillo N°15, al castillo N°18 (llamado también *Tren DL-260*), y donde al final se obtiene una barra de 3/8" redondo estriado, como producto final.

10. - Posterior al laminado, la barra pasa por la tijera 55 que da el corte a medida de la cama de enfriamiento.

d) *Enfriamiento*:

1. - Esta fase del proceso se origina en la cama de enfriamiento donde las barras van siendo depositadas ya como producto terminado, y en longitudes que dependen del programa de corte. Ej. : si el programa de producción es de atados de 6 o 12 m, la barra llega a la cama con una longitud de 24,5 m. Si el programa es a 9m, la barra llega de 27,5 m.

2. - La cama de enfriamiento cuenta con un sistema electrónico de conteo de barras, que garantiza el total de piezas que conforman los atados.

3. - Cada vez que el sistema de conteo detecta el número de barras programadas, éstas son transferidas a unos rodillos motrices que las llevan hacia la tijera CM 250.

e) *Empaque y Amarre*:

1. - La tijera CM 250 es la encargada de efectuar el corte de las barras exactamente a la medida o manteniendo las tolerancias establecidas por las normas para los cortes de 6,9 y 12 m de longitud.

2. - En el empaque del atado, cuando ya se tiene el número exacto de piezas que lo conforman, éstas son emparejadas para evitar barras salientes y luego se procede al flejado del atado.

3. - Previa aceptación por los inspectores de Control de Calidad, a los atados se les coloca una placa de identificación, donde se indica el diámetro, designación y grado del material, número de colada y turno en el cual fue laminado, longitud del atado y número de piezas que lo conforman.

CAPITULO II

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 DIRECCIÓN DE LAS OPERACIONES

La dirección de las operaciones puede definirse como la administración de los recursos directos necesarios para producir los bienes y servicios que ofrece una organización[1]. Dentro de este enfoque es el mercado el que da forma a la estrategia corporativa, ya que en él se basa la misión de la empresa y las decisiones en cuanto a la utilización de sus recursos y funciones (mercadeo, finanzas y operaciones) para lograr a sí una ventaja competitiva. La estrategia de operaciones define la manera de administrar la capacidad de producción para satisfacer la estrategia corporativa.

La dirección de operaciones trata con los recursos directos de producción los cuales pueden considerarse como las *cinco P de la dirección de operaciones*: Personas, Plantas, Partes, Procesos y Sistemas de Planificación y Control. La función de operaciones a su vez se relaciona con otras funciones de la organización y el entorno, las cuales son: el departamento de ventas, que es una parte de la función de mercadotecnia y se encarga de la recepción de pedidos; el departamento de compras, encargado de obtener los suministros y las materias primas necesarias; el departamento de finanzas, el cual provee el capital necesario para la adquisición de equipos; y el departamento de personal, encargado de conseguir la fuerza de trabajo necesaria para el desarrollo de las actividades corporativas. De este modo, para que la empresa pueda alcanzar sus objetivos es necesario que exista sinergia entre cada uno de ellos.

Los objetivos generales de la dirección de operaciones son producir un bien específico, a tiempo y a costos mínimos, sin embargo hay una tendencia a utilizar otros criterios como medidas para la evaluación del desempeño de las actividades internas, estos son: volumen de la producción, costos (materiales, fuerza de trabajo, entregas, desperdicios, etc.), utilización (equipos y fuerza de trabajo), calidad y confiabilidad del producto, entrega a tiempo, inversión (rendimiento sobre los activos), flexibilidad para cambios en el producto, y flexibilidad para cambios en el volumen. Sin embargo, es difícil lograr alcanzar el mismo grado de éxito en cada una de las medidas anteriores, y a veces hay que sacrificar algunas para cumplir con otras.

[1] R. Chase y N. Aquilano, "Dirección de la Producción y de las Operaciones", Editorial Irwin, sexta edición, 1995, pg. 5

2.2 PRODUCCIÓN

Se entiende por producción la adición de valor a un bien (producto o servicio) por efecto de una transformación. Producir es extraer o modificar los bienes con el objeto de volverlos aptos para satisfacer ciertas necesidades[2]. La palabra producción no sólo está asociada con la fabricación sino con varias actividades más, por lo tanto se puede hablar de producción de servicios y de producción de bienes materiales. La Figura 2.1 muestra el esquema de un sistema de producción, los elementos esenciales del mismo son; el insumo, el producto y las operaciones de transformación.

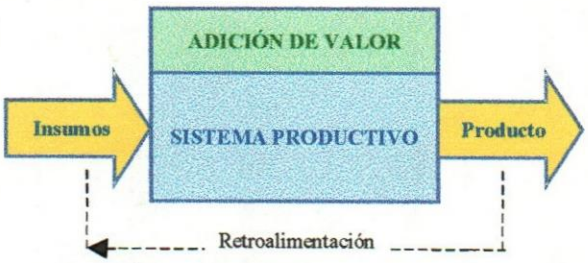


Figura 2.1:Sistema de Producción

Hablar de producción obliga a mencionar un termino que con mucha frecuencia se utiliza en todas las empresas: la **productividad**. Esta no es más que la relación existente entre los productos y los insumos, lo cual representa una de las metas más importantes, tratando de que se obtenga el mayor volumen de productos para determinada cantidad de insumos. Los productos representan los resultados esperados, mientras que los insumos son los recursos que se emplean para obtener dichos resultados. Tanto los insumos como los productos deben ser cuantificables para que puedan obtener relaciones de productividad que tengan sentido. Otro término muy utilizado es el de **eficacia**, el cual implica la obtención de los resultados deseados, esta puede ser percibida a través de elementos cuantificables o cualitativos. La **eficiencia** es alcanzar un resultado deseado con el mínimo de insumos. Hoy en día las empresas se ven en la necesidad de ser tanto eficaces como eficientes para poder ser competitivas, y así cumplir con las exigencias del mercado que vienen dadas por las expectativas del cliente. La necesidad de ser competitivos se traduce en el mejoramiento de las funciones internas.

Dentro de las funciones internas de toda empresa manufacturera, la planificación de las operaciones constituye una de las actividades más importantes, y determina en gran medida la capacidad del sistema para atender a los requerimientos primordiales de la organización.

[2] L. Tawfik y A.M. Chauvel, "Administración de la Producción", Editorial Interamericana, Primera edición, 1984, pg. 4.

2.3 DEMANDA INDEPENDIENTE Y DEMANDA DEPENDIENTE

Hay dos tipos de demandas claramente diferenciadas: la demanda independiente y la dependiente. La demanda independiente no está condicionada a la demanda de otros productos, mientras que la demanda dependiente si se debe a otros productos o servicios, esta última no requiere de pronósticos sino de tabulaciones. Cada una de ellas se maneja de manera distinta de acuerdo a su naturaleza. Cuando se habla de demanda independiente utilizamos distintos tipos de pronósticos (cualitativos, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación), no obstante, la demanda dependiente se calcula en base al número necesario de productos de mayor nivel donde se utilice.

Para clarificar lo anterior se puede citar el siguiente ejemplo; si una empresa tiene pensado fabricar doscientas motocicletas al mes, resulta lógico pensar que necesitaran cuatrocientos neumáticos, así el número de neumáticos depende de los niveles de producción y no se obtiene por separado, mientras que la demanda de motocicletas es independiente, pues surge de varias fuentes ajenas a la compañía y no forma parte de otros productos, así como tampoco se relaciona su demanda. Lo mismo sucede con los rodillos laminadores, la demanda de las cabillas y barras es independiente, mientras la demanda de calibres y rodillos depende de los niveles de producción estimados para esos productos.

2.4 PLANIFICACIÓN

La planificación es una etapa esencial que precede a los trabajos y engloba todas las previsiones vinculadas a la elaboración de planes de acción eficaces. La planificación se puede hacer a largo plazo, mediano plazo y corto plazo, así como a diferentes niveles del sistema de producción. Cada tipo de planificación responde a cierta necesidad de información y de control determinados. La planificación global define para un período determinado las orientaciones de la empresa en cuanto a la producción. Su función es determinar el conjunto de recursos materiales, humanos y financieros necesarios para las operaciones de producción, al más bajo costo posible, pudiendo satisfacer las demandas de dicho período. Su elaboración está sujeta a restricciones internas y externas. La planificación a largo plazo comienza con una declaración de los objetivos de la organización y de las metas para los próximos diez años.

La planificación a mediano plazo especifica los requisitos de producción por tipos de productos, ya sea en horas de trabajo necesarias o en unidades de producción por periodos mensuales, hasta 18 meses en el futuro. Sus entradas principales son los planes de producto y mercado y el plan de recursos.

La planificación a corto plazo determina las necesidades de partes o submontajes, así como el momento que se deben elaborar las órdenes de compra y de producción de cada parte para terminar a tiempo los productos. También proporciona un programa detallado de cuándo hay que ejecutar cada operación en un centro de trabajo y cuánto tardará el proceso. Igualmente se incluye la planificación y control de las entradas y salidas de materiales, el control de las actividades diarias de producción, y la planificación y control de las compras.

2.5 LAMINACIÓN

El proceso de laminación está basado en la propiedad que tienen los aceros de deformarse plásticamente, lo cual implica la deformación permanente producida por la aplicación de fuerzas sobre la superficie del metal. Esta técnica de conformado consiste en pasar al material a través de dos rodillos, que se encuentran girando a igual velocidad y en sentido contrario, con la finalidad de reducir sus dimensiones. En virtud del roce que existe entre la superficie de los cilindros y el material, éste ultimo es "mordido" y obligado a pasar entre los cilindros, disminuyendo su altura y alargándose. Los rodillos laminadores están constituidos como se muestra en la Figura 2.2 por:

Cuerpo: parte del rodillo que lamina el material.

Cuellos: lugar donde el cilindro asienta en los extremos.

Tréboles: lugar donde el cilindro recibe la fuerza motriz (torque) que le permite neutralizar la resistencia del material y deformarlo.

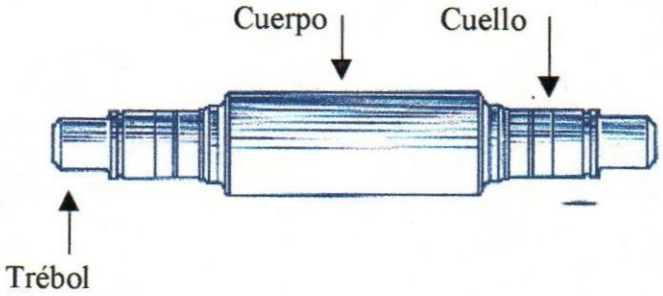


Figura 2.2: Partes de un Rodillo de Laminación

En Sidetur Planta Antímano se lamina el material a elevadas temperaturas, por lo que se realiza un *trabajo en caliente*. Un trabajo en caliente se define como la deformación plástica del metal a una temperatura superior a la de recristalización[3]. Durante un proceso de laminación de este tipo, el metal está recristalizando continuamente, por lo tanto, si se controla adecuadamente la temperatura el tamaño del grano final puede ser muy fino.

Este tipo de proceso presenta las siguientes ventajas y limitaciones:

1) Al no ocurrir endurecimiento durante la deformación por trabajo en caliente, la cantidad de deformación plástica que se pudiera obtener es casi ilimitada. Las primeras reducciones de área son bastante drásticas, y se realizan normalmente a temperaturas muy superiores a la de recristalización, aprovechando así la poca resistencia del material, mientras que el último paso en el proceso se efectúa justo por encima de la temperatura de recristalización.
2) El trabajo en caliente es apropiado cuando se conforman piezas grandes como en el caso de los semiterminados, ya que el material presenta bajo esfuerzo de fluencia y alta ductilidad a elevadas temperaturas.
3) Algunos defectos originales de la fundición en el metal pueden ser eliminados o minimizados sus efectos, gracias a este tipo de proceso.
4) Las propiedades finales en los metales trabajados en caliente pueden variar y ser menos uniformes, ya que los rodillos laminadores al estar a menores temperaturas que el metal, enfrían la superficie del material más rápidamente que el centro de la pieza, obteniéndose un grano más fino que en el centro.
5) El acabado superficial es pobre en comparación al obtenido por trabajos en frío.

Es importante destacar lo difícil de obtener alto grado de precisión con respecto a las dimensiones de la pieza, ya que en metal se contrae durante el enfriamiento, y por lo tanto se requiere cierto grado de sobredimensionamiento durante la deformación, para asegurar obtener las medidas deseadas, por eso es necesario mantener un control preciso de las temperaturas para lograr lo anterior.

[3] D. Askeland, "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Editorial Iberoamericana, 1987, pg. 140.

2.6 PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL TALLER DE TRABAJO

Un taller de trabajo es una organización funcional cuyos departamentos o centros de trabajo se organizan alrededor de ciertos equipos u operaciones, como serían taladrar, forjar, hilar montar. Los productos fluyen por los centros en las cantidades que correspondan a los pedidos individuales, ya sean pedidos para existencias o de los clientes[4].

Un programa de actividades es una lista de tiempos para realizar actividades, usar recursos o asignar instalaciones. El propósito de la programación de operaciones en el taller de trabajo es dividir al programa maestro de producción (fijo a corto plazo), en actividades que correspondan a fases semanales, diarias o por horas; es decir especificar con términos precisos la carga de trabajo planificada para el sistema productivo a muy corto plazo. Por otro lado, el control de las operaciones implica supervisar el avance de los pedidos de trabajo y cuando sea necesario, ajustar el procesamiento de las órdenes para poder asegurar el cumplimiento del programa maestro.

Al diseñar un sistema de este tipo, se deben de tomar en cuenta el buen rendimiento de las siguientes tareas:

1. Asignar pedidos, equipos y personal a los centros de trabajo u otros lugares determinados.
2. Determinar la secuencia de realización de los trabajos.
3. Iniciar las actividades del trabajo programado.
4. Controlar las actividades operativas, lo cual incluye lo siguiente:
   - Revisar el estado y controlar el avance de los pedidos que se realizan.
   - Expedir los pedidos atrasados y críticos.
5. Modificar el programa de actividades de acuerdo con los cambios en el estado de los pedidos.

Los siguientes seis elementos son de gran utilidad para determinar cuales deben de ser las reglas de prioridad que mejor se adapten a los procesos y estándares de rendimiento:

a) Patrones de llegadas de trabajos.

Los trabajos pueden llegar en lote o en intervalos de tiempo. Al primer patrón se le denomina estático y al segundo dinámico. Al hablar de llegadas estáticas se supone que los clientes no hacen sus pedidos en el mismo momento, sino que están sujetos a programarse juntos. Esta

[4] R. Chase y N. Aquilano, "Dirección de la Producción y de las Operaciones", Editorial Irwin, sexta edición, 1995, pg.756

acción puede ser realizada por el encargado del control de la producción una vez cada cierto tiempo (semanal, mensual, etc.).

b) Número y variedad de máquinas en el taller.

A medida que aumentan el número y la variedad de máquinas es más complejo el problema de la programación de actividades.

c) Relación entre trabajadores y máquinas en el taller.

Es importante saber si el sistema está limitado por máquinas (el número de trabajadores excede al número de máquinas), o está limitado por fuerza de trabajo (caso contrario). En estos últimos, es interesante estudiar la posibilidad de asignar un trabajador a varias máquinas y determinar la mejor manera de ubicar los trabajadores a las máquinas.

d) Patrón de flujo de los trabajos en el taller.

Es importante saber el tipo de flujo que siguen los distintos trabajos dentro del taller. Estos pueden ser totalmente aleatorios, si no tienen un patrón similar de movimiento de una máquina a otra, o tener un flujo normal presentando una secuencia específica de máquinas durante el recorrido. La mayoría de los sistemas son una combinación de los mismos.

e) Reglas de prioridad para asignar trabajos a las máquinas.

Las reglas de prioridades son las reglas que se utilizan para obtener la secuencia de trabajos. Entre las nueve más comunes tenemos:

- PEPS: primero en entrar, primero en salir, es decir, los pedidos se atienden en estricto orden de llegada al taller.
- MTO: menor tiempo operativo, ejecutar primero el trabajo con el menor tiempo de operación, luego el segundo más breve, etc.
- Fecha de entrega: primero se atiende al trabajo con la menor fecha de entrega.
- Fecha de inicio: se calcula como la diferencia entre la fecha de entrega y el tiempo de entrega normal, así se ejecuta el trabajo con la menor fecha inicial.
- THF. Tiempo de holgura faltante: es la diferencia entre el tiempo que falta para llegar a la fecha de entrega menos el tiempo de procesamiento que falta. Se ejecuta el trabajo con menor THF.
- RC: relación crítica: se calcula como la diferencia entre la fecha de entrega y la fecha actual, dividido entre el trabajo faltante. Se ejecuta el trabajo con menor RC.

- RCO: relación de cola; es igual al tiempo de holgura faltante del programa dividido entre el tiempo de cola planificado faltante. Se procesa primero al trabajo con menor RCO.
- UEPS: último en entrar, primero en salir
- Aleatorio.

f) Normas para la evaluación de programas.

Se utilizan las siguientes normas para la evaluación del rendimiento:

- Cumplir con las fechas de entrega.
- Minimizar el tiempo de flujo.
- Minimizar el trabajo en proceso.
- Minimizar el tiempo de inactividad de máquinas y trabajadores.

CAPITULO III

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

A continuación se presentan los diferentes pasos a seguir para llevar a cabo la investigación, la cual tendrá como propósito fundamental resolver los problemas prácticos que se presenten. Dicha investigación estará estructurada de la siguiente forma:

3.1 FASE I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El planteamiento del problema de una forma concreta y explícita, servirá para abordar el tema con criterios científicos. De igual forma un problema correctamente planteado ayuda a obtener mayores posibilidades de llegar a una solución satisfactoria, y da facilidades para que el mismo pueda ser entendido por otras personas.

La administración de las operaciones reúne un conjunto de actividades que aseguran la continuidad y el buen funcionamiento de un sistema productivo, estas actividades incluyen la planificación, coordinación y control de las operaciones, para poder así alcanzar los objetivos deseados.

Así, el problema planteado no es otro que:

"Diseñar un sistema que persiga la consecución de los calibres de laminación, con una calidad determinada, en cantidades suficientes para satisfacer su demanda, en el momento y lugar oportuno, a bajo costo. Este servirá para tomar decisiones acertadas en cuanto a las operaciones a ser emprendidas dentro del taller de rodillos".

Para poder alcanzar lo propuesto, es necesario elaborar planes e implantar controles que permitan en todo momento informar sobre el avance de las operaciones, y con ello poder asignar los recursos disponibles de la mejor forma.

3.2 FASE II: OBSERVACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Se llevó a cabo un proceso de observación sistemática de los diferentes procesos que se realizan en planta, delimitando el campo de observación para poder registrar en forma precisa las actividades allí emprendidas.

La observación está fundamentada en una investigación no experimental, ya que no se construyó ninguna situación, sino que se observaron situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente. En este caso no se manipularon de manera deliberada las variables

involucradas en los distintos procesos, sólo se estudió su comportamiento dada las situaciones en las que sucedieron. Dicho estudio se realizó en parte gracias a la medición de ciertos eventos y objetos; considerando como evento a todo resultado, consecuencia o producto dado. También se llevaron a cabo entrevistas con todo el personal involucrado en las áreas de estudio, esto incluyó reuniones con gerentes, jefes, supervisores y obreros, lo cual permitió clarificar ciertos conceptos y conocer los criterios bajos los cuales desarrollan sus respectivos trabajos, gracias a ellos se pudo conocer la forma como actualmente se maneja la información.

3.3 FASE III: ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Para analizar la información se utilizaron ciertas herramientas propias para organizar y estudiar datos numéricos en la resolución de problemas. Todas son muy usadas en la industria, y muchas de ellas han tenido un gran auge por su inclusión en las técnicas de mejora continua de procesos planteadas por los japoneses. Estas herramientas son: diagramas de flujo del proceso, diagramas de ejecución, histogramas, diagramas causa-efecto, técnicas de recopilación de datos, entre otros.

Esta fase de la investigación revela como ha sido la manera de actuar, y expone de manera clara el comportamiento de las variables de estudio y su influencia sobre el proceso, lo cual será muy útil para establecer posibles mejoras y estructurar un plan de acción para la administración de las operaciones del taller.

3.4 FASE IV: DESARROLLO DEL SISTEMA.

Esta fase contempla la elaboración del sistema como tal. El mismo se ha estructurado en tres partes como se muestra a continuación:

- Módulo de planificación.
- Módulo de costos
- Módulo del sistema automatizado de información.

De esta forma será más fácil atacar el problema propuesto, no obstante, en la integración de los mismos se encuentra la verdadera utilidad del sistema. Cada uno por separado aporta una solución parcial, de allí la necesidad de articularlos para lograr un verdadero efecto.

Así, se puede esquematizar el curso del trabajo de la siguiente forma (ver Figura 3.1):

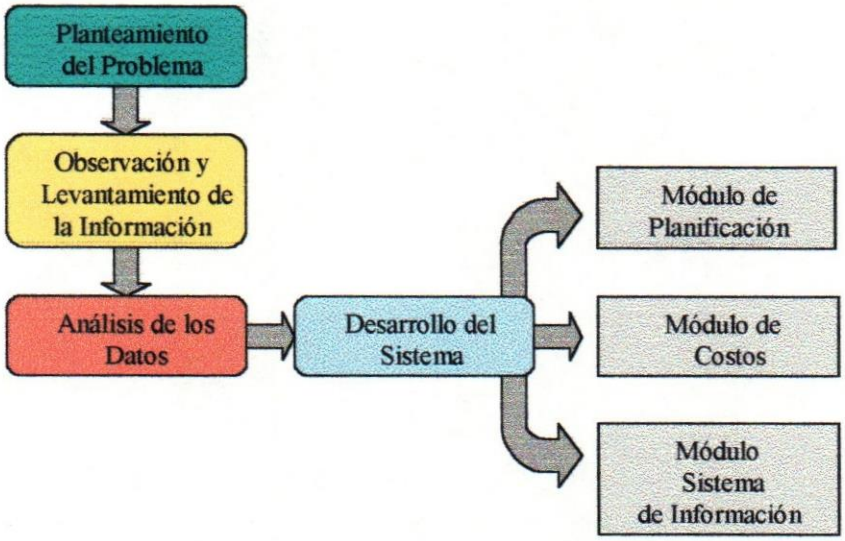


Figura 3.1: Desarrollo del Sistema

CAPITULO IV

CAPÍTULO IV: LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.1 EL TALLER DE RODILLOS

4.1.1 FUNCIONES DEL TALLER

La función del taller de rodillos dentro de la planta no es otra que producir la cantidad de *calibres* necesarios para satisfacer las necesidades del tren de laminación. Cuando se habla de calibres (o pases), se hace referencia a la forma que adquiere la barra cuando es introducida a través de los rodillos y es reducida en su área transversal. Dicha área adquiere las dimensiones establecidas por el calibre por la que la barra fue obligada a fluir.

El Taller además de proveer de rodillos laminadores previamente mecanizados a los trenes, se encarga de la fabricación y reparación de componentes de guiado, y la preparación de piezas de transmisión y soldadura en general, sin embargo estos son de menor relevancia y no tienen la importancia que poseen las actividades de obtención de calibres.

El taller de rodillos se surte de cierta cantidad de rodillos laminadores, estos originalmente son totalmente lisos, es decir, planos en su superficie, pero de esta forma no son útiles en los trenes, es por eso que el taller mediante un proceso maquinado, elabora los surcos (normalmente llamados calibres) grabados sobre dicha superficie.

Los rodillos que se montan en cada uno de los trenes son distintos entre sí, por ejemplo, los rodillos pertenecientes al tren GD-480 o tren desbastador, primero dentro de la secuencia de laminación, son más grandes que los usados para el tren DL-260, únicamente utilizado para laminar el producto de sección más fina (cabilla de 3/8" de pulgada), pero dentro de cada uno de los trenes son iguales, asió los castillos N°1 al castillo N°4 que forman parte del tren GD-480, tienen el mismo tipo de rodillo.

No todos los calibres son iguales y varían dependiendo del castillo en donde se localice un determinado rodillo. Para los rodillos ubicados en el tren de desbaste, los calibres utilizados son más grandes, ya que las dimensiones de la barra también lo son, no obstante, los calibres utilizados para laminar 3/8" de pulgada, son más pequeños dadas las dimensiones del producto.

En el Anexo 1 se exponen los tipos de calibres utilizados en los trenes de laminación, sus dimensiones, y para el tipo de producto (cabilla o barra) en el cual son requeridos. Esta diversidad de formas para los calibres contribuye a obtener una secuencia efectiva de

deformaciones plásticas en la barra, lo cual varía de cierto modo, dependiendo del tipo de producto terminado que se fabrique.

Es importante destacar el hecho de que el proceso de laminación a partir del castillo N°5 se desarrolla a dos hilos, lo cual significa que se utilizan dos calibres a la vez para laminar el producto que se desea. De esta forma, se obtiene una mayor productividad del tren, se contribuye a obtener un producto de mejor calidad, se tiene mayor flexibilidad para laminar, y se equilibran un poco las cargas sobre los rodillos.

Así es frecuente hablar de **pares de calibres**, haciendo referencia a los dos calibres que se utilizan en un rodillo para laminar. Por eso la tabla del rodillo está dividida físicamente en dos: una mitad se destina para los calibres pertenecientes al primer hilo (*hilo 1*), y otra mitad para los calibres pertenecientes al segundo (*hilo 2).*

4.1.2 ESTÁNDARES DE APROVECHAMIENTO DE CALIBRES Y VIDAS ÚTILES DE LOS RODILLOS.

Por cada calibre se puede pasar una cantidad determinada de barras, después de lo cual es necesario reemplazarlo, producto del desgaste que a sufrido a consecuencia del roce, lo cual distorsiona sus dimensiones originales, desequilibrando el proceso de laminado. Es práctica común controlar el aprovechamiento de los mismos por medio de estándares de duración, los cuales vienen dados no por la cantidad de barras que pasen por ellos, sino por el tonelaje laminado. Es importante destacar que dicho estándar se lleva para un calibre en particular sólo para los castillos N°1, 2, 3, y 4; de allí para adelante como se lamina por dos pases al mismo tiempo, el estándar se conserva para el *par de calibres* en conjunto. Lo anterior es más práctico, ya que al momento de cambiar de calibre se cambia el par completo, dado que a través de ellos a pasado una cantidad de barras muy parecidas, y sólo hay que parar una vez la línea de producción. De esta forma no se pierde tanto tiempo productivo del tren, lo cual sale muy costoso para la empresa.

Así se van cambiando los pares de calibres desgastados por pares nuevos, hasta que todos los pares de calibres contenidos en un determinado rodillo se hallan usado. En este momento los rodillos son desmontados de su respectivo castillo en el tren de laminación, y son puestos a la orden del taller de rodillo, el cual de acuerdo a las necesidades de producción y los requerimientos del tren, toma la decisión de "acondicionarlos" sometiéndolos a un proceso de

maquinado, el cual rebaja diametralmente su espesor y vuelve a tallar los calibres en él contenidos. Este proceso de rehabilitación de los rodillos puede efectuarse un determinado número de veces, dependiendo del castillo al que pertenezca, a esto se le denomina **vida útil del rodillo**. Por lo anterior, es lógico pensar que también se lleven estándares para este factor, el cual depende de; la utilización de los calibres en el tren, y del diámetro máximo y mínimo del rodillo.

La vida útil del rodillo puede variar según como se hallan utilizado los calibres en el tren, pues si se abusa de un par de calibres (laminar un tonelaje excesivo muy por encima del estándar), ocasiona que a la hora de reducir su diámetro se tenga que quitar mayor cantidad de material, ya que el desgaste producido sobre los calibres a incrementado considerablemente y se ha socavado un surco en su base.

Tanto las dimensiones de los bastidores o castillos, como el ajuste de las transmisiones, limitan los diámetros máximos y mínimos de los rodillos, porque sólo pueden adaptarse a ciertas medidas para que en el proceso de producción siempre se mantenga una línea de laminación constante, pues de lo contrario se afectaría el balance del sistema, y por tanto la eficiencia de la línea. Por eso, todos los rodillos tienen sus propias especificaciones en cuanto a tamaño, dureza, etc.

La forma de los calibres es muy variada, y sus dimensiones dependen sobre todo del tipo del castillo en que se localicen. Aunque el área de los calibres disminuye a medida que se avance aguas abajo por el tren, un pase tipo óvalo no tiene tanta profundidad o penetración sobre el rodillo como lo podría tener un pase cuadrado que se ubique más adelante. Por eso en el último se requiere quitar una cantidad considerable de material a lo largo del diámetro del rodillo, que en relación es mayor al otro.

Todos los rodillos tienen tratamientos térmicos, los cuales le conceden propiedades mecánicas particulares, por eso la dureza de los rodillos varía radialmente aumentando a medida que nos alejamos del centro. De esta forma se llega a un punto en el que la superficie del rodillo es muy blanda y no puede ser colocado en los trenes.

En la Tabla 4.1 se indican los estándares de aprovechamiento de los calibres o pares de calibres laminadores, según sea el caso; los milímetros por torneada que se quitan diametralmente en cada operación, la cantidad de calibres que se pueden distribuir a lo largo

de la tabla del rodillo y la vida útil de cada juego de rodillo, dependiendo del castillo al que pertenezcan.

Tabla 4.1: Estándares de duración de los calibres laminadores

Castillo	Estándar de duración como laminador (TM)	Milímetros por torneada	N° de calibres distribuidos en la Tabla	Vida útil
18 al 15	No aplica	3.5	12	10
14	3.000	4.6	17	11
13	1.500	4.0	13	12
12	1.500	5.0	13	10
11	1.500	5.0	9	10
10	3.000	4.0	7	12
9	3.000	5.0	7	9
8-7	5.000	5.0	5	9
6-5	5.000	6.0	3	7
4-3	10.000	12.0	4	8
2-1	10.000	12.0	3	8

Los calibres de los castillos N°1, 2, 3 y 4, tienen el mismo estándar de duración, pero se agrupan de esa manera en la tabla porque son puestos en marcha por un mismo motor. Por ejemplo, en el caso de los castillos N°1 y 2, la velocidad angular de ambos juegos de rodillos es la misma, por lo tanto, si se aumenta o disminuye la velocidad de cualquiera de ellos, el otro también se verá afectado y variará de la misma forma. Entonces, es conveniente mantener una misma velocidad tangencial entre ellos, pues de otra forma se pueden originar desequilibrios en la línea; por esta razón ambos juegos de rodillos se cambia a la misma vez, para así mantener una relación de diámetros constantes. Lo mismo ocurre con los castillos N°3 y 4, castillos N°5 y 6, y castillos N°7 y 8.

Los calibres finidores se manejan de forma distinta, pues en ellos finaliza el proceso de laminación manteniendo su forma como producto terminado. En el caso de las cabillas, estas poseen un dibujo especial el cual está conformado por: un *resalte* típico de este tipo de productos (forma de cruz), y un *código de producto* que depende de la calidad del acero, grosor de la cabilla que se lamine y mercado destino, tal como se muestra en la Figura 4.1.

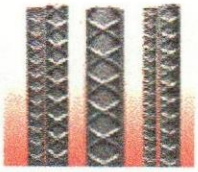


Figura 4.1

De igual forma el control de calidad sobre las barras y cabillas es mayor, dado que las normas ISO 9002 y las normas COVENIN exigen que se cumplan con ciertas especificaciones que le son impuestas. Algunas de estas especificaciones para las cabillas versan sobre la altura de los resaltes, su grosor, el ángulo que existe entre ellos, la claridad con que se distinga el código del producto, etc.; al igual sucede con las barras lisas en cuanto a las tolerancias de sus dimensiones, entre otras. Por eso hay que ser muy cuidadosos, y no se puede aceptar producir cabillas o barras que no cumplan con lo anterior. Así, a los pases finidores no se le saca tanto provecho como a los laminadores y sus estándares de duración están muy por debajo. Además, como la planta produce para los mercados internacionales, las exigencias de aquellos son aún más estrictas que las del mercado interno, por eso se tratan por separado a los productos de exportación y a los productos nacionales. En la Tabla 4.2 se muestran los estándares de duración para los calibres finidores dependiendo del mercado destino del producto.

Tabla 4.2: Estándares de duración para calibres finidores

Castillo finidor	Tipo de producto	Estándar de duración Nacional (TM)	Estándar de duración Exportación (TM)
18	3/8"	180	160
14	RL y CL	350	-
14	12mm	-	300
14	½"	350	300
12	5/8"	350	300
12	¾"	500	400
10	7/8"	600	500
10	1"	600	500

4.1.3 OBTENCIÓN DE LOS CALIBRES.

La manera de obtener dichos calibres difiere y por lo tanto, las rutinas de trabajo y los tiempos de operación son los mismos sólo para ciertos tipos de rodillos. Por lo general los calibres pertenecientes a rodillos finidores, tienen secuencias de operación iguales, sólo que pasan por máquinas distintas dependiendo del tamaño del rodillo que los contiene; al igual ocurre con aquellos calibres que están contenidos en rodillos laminadores.

A continuación se darán a conocer los recursos de maquinarias con los que cuenta el taller de rodillos, para así proceder a identificar los distintos procesos allí desarrollados y sus tiempos asociados.

El taller consta de las siguientes máquinas que sirven para realizar gran parte de su trabajo:

- Cinco (5) tornos
- Tres (3) fresadoras. - dos estriadoras y una fresadora-
- Una (1) rectificadora.
- Un (1) taladro.
- Un (1) cepillo
- Una (1) cizalla.
- Una (1) esmeriladora.
- Una (1) desintegradora de metales.
- Una (1) grúa puente.

De los anteriores, se explicarán sólo aquellos que están implicados directamente en el proceso de obtención de calibres, ellos son (ver Anexo 2):

TORNO WDK 400 (Torno Hércules Copiador):

Modelo: P300/400 x 3500

Serial No. 75640 1/90

Longitud de la bancada: 3500mm

Es un torno copiador que puede ser utilizado para realizar procesos de mecanizado de cualquier tipo de rodillos de los trenes de laminación. Generalmente se utiliza para rectificar el diámetro y los calibres a los rodillos desbastadores (castillos N°1,2,3,4) y los rodillos finidores de 1" y 7/8" (castillo N°10); de acuerdo a las especificaciones correspondientes, a fin de sustituir a los que se encuentran en operación. Este torno posee un visualizador óptico que permite tener un control del avance longitudinal y transversal de la herramienta de corte.

TORNO WD 275 X 2200 (Torno Hércules Pequeño)

Modelo WD 275 x 2200

Serial No. 54725/73

Longitud de bancada: 2200mm

Es un torno universal de bancada plana, que posee un visualizador óptico el cual le permite medir el avance longitudinal. Generalmente es utilizado para mecanizar rodillos finidores (castillos N°18, 14, 12), y antifinidores. Se llaman rodillos antifinidores a aquellos pertenecientes a los castillos N°15, 16, 17; los cuales son utilizados únicamente para laminar cabillas de 3/8" junto con su finidor (castillo N°18). Este torno no puede trabajar con rodillos finidores del castillo N°10, ya que su bancada es muy pequeña para la longitud de los mismos.

TORNO WDK 400 (Torno Hércules Grande)

Modelo WDK 400

Serial No. 26335/59

Longitud de bancada: 4000mm

Es un torno en el cual se pueden mecanizar cualquier tipo de rodillos, pero generalmente es utilizado para mecanizar rodillos laminadores desde el castillo N°5 al castillo N°17. Es el único de los tres que no tiene un calibrador de avance, por lo que no se utiliza para mecanizar rodillos finidores. Al no tener visualizador, no permite cuadrar perfectamente a los calibres del rodillo superior con los del rodillo inferior, laminando un producto terminado de baja calidad.

ESTRIADORA HERCULES

Modelo P-NF serial No. 766501/90

Diámetro máximo: 500mm

Longitud de la bancada: 3000mm

Es una talladora de estrías para los rodillos finidores, donde la profundidad de corte de la cuchilla se controla manualmente. En esta el mandril se encuentra en posición vertical.

ESTRIADORA PLANET

Modelo 2888268 Ge Ga-21

Diámetro máximo: 320mm

Longitud de la bancada: 1500mm

Esta fresadora tiene la finalidad de entallar las estrías en los pases de los rodillos finidores. La profundidad de corte de la cuchilla para obtener la forma de la estría es controlada automáticamente, y el mandril se encuentra en posición horizontal.

MARCADORA CAMMANN

Modelo C-96 RF

Serial No. 697

Esta marcadora está conformada por un electrodo de molibdeno de 110 mm de largo el cual sirve para desintegrar metales. Se usa en los calibres de los rodillos finidores para grabar el código del producto que se vaya a laminar.

En la Figura 4.2 se muestran los diagramas de flujo del proceso de elaboración de los diferentes calibres dentro del taller de rodillo. Como se puede apreciar, las rutinas de trabajo están conformadas por una serie de actividades, las cuales están registradas mediante ciertos símbolos que las caracterizan. Allí observamos que el proceso de obtención de calibres finidores difiere al de calibres laminadores por las operaciones de estriado y de marcaje, por lo demás todo es igual. En la Tabla 4.3 se muestran los tiempos estándares de torneado para rodillos nuevos y usados, agrupados de acuerdo al castillo al que pertenezcan. Estos tiempos son los que utiliza el taller como referencia para llevar a cabo sus operaciones. Dichos estándares fueron previamente verificados con en encargado del taller de rodillos y mediante estudios de tiempos pilotos:

Tabla 4.3: Tiempos de torneado para rodillos nuevos y usados

Tren	Castillo	Tiempo de torneado Rodillo Nuevo (horas)	Tiempo de torneado Rodillo Usado (horas)
GD-480	1, 2	13	9
	3, 4	13	9
DL-350	5, 6	9	7
	7, 8	9	7
	9	8	7
	10	8	7
DL-300	11	8	5
	12	8	5
	13	8	5
	14	8	5
DL-260	15,16,17	11	5
	18	8	5

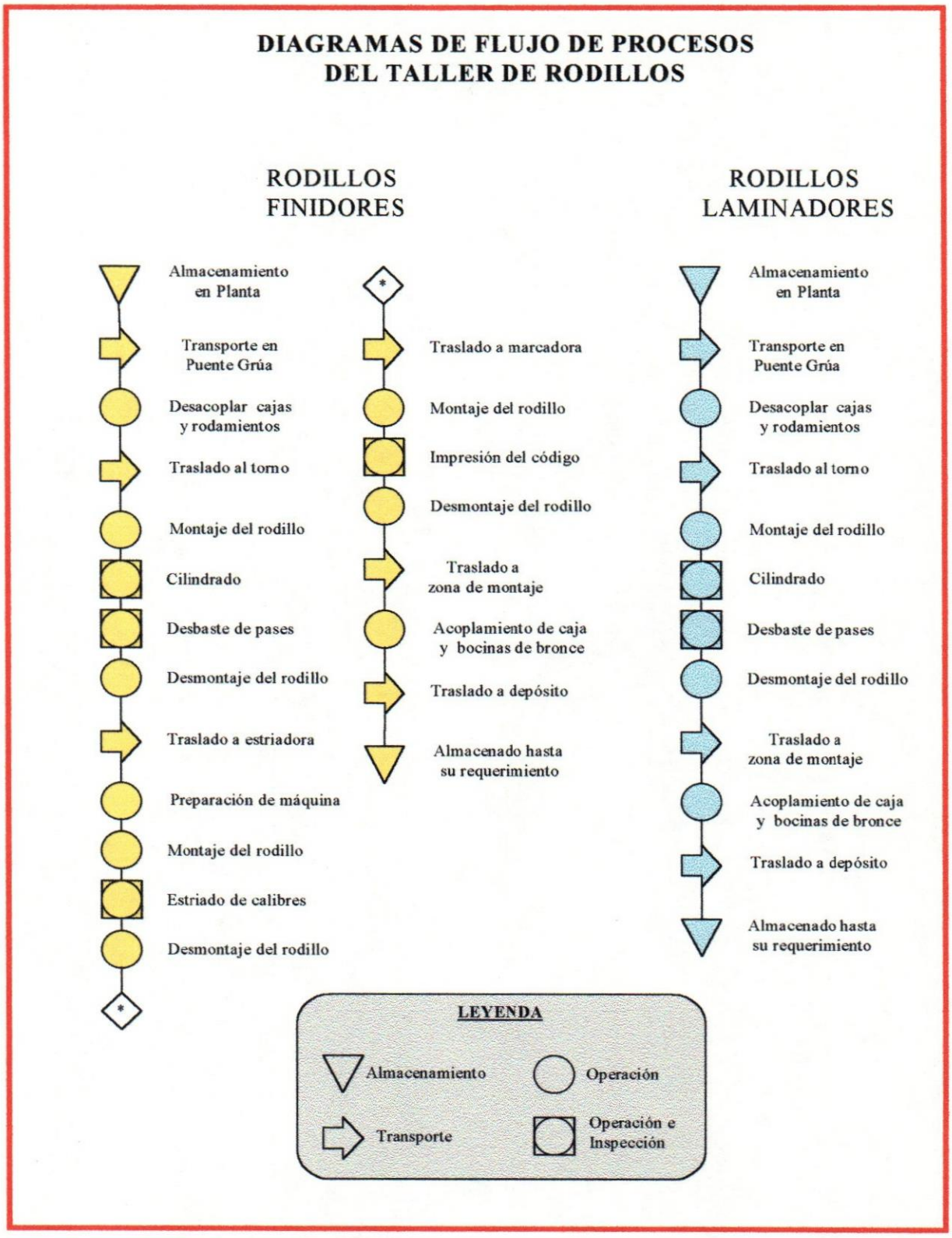


Figura 4.2: Diagramas de flujo del Taller de Rodillos

En la Tabla 4.4 se muestran los tiempos estándares de estriado para los rodillos finidores de los distintos productos con resalte. El tiempo de estriado de un solo calibre se refiere al tiempo requerido para hacer el grabado de un surco en un solo rodillo, por lo que se tendría que multiplicar por dos para conseguir el tiempo total necesario por juego de rodillos, ya que se debe hacer lo mismo con el rodillo pareja para completar el pase.

Tabla 4.4: Tiempos estándares de estriado para rodillos finidores

Castillo Finidor	Tipo de producto	Tiempo de estriado de un solo calibre (minutos)
18	3/8"	40
14	½"	60
12	5/8" y ¾"	60
10	7/8" y 1"	100

El tiempo necesario para imprimir un carácter (letra o número) en el calibre es de 3 min. Los caracteres se hacen en los espacios dejados por el grabado del pase. A continuación, en la Tabla 4.5 se muestran algunos ejemplos de los tipos de marcaje más comunes sobre las cabillas, dependiendo de si son para exportación o para el mercado nacional.

Tabla 4.5: Marcajes típicos

Mercado destino del producto	Tipo de Marcaje
Nacional	SV 3 N 60
Colombia	VNZ SV 3 W 60
Exportación	SV 3 N 60 VENEZUELA

4.2 ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES

4.2.1 ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE DURACIÓN DE LOS CALIBRES

Los estándares dentro de cualquier industria son de gran importancia, pues ellos especifican qué se hará, con cuáles recursos debe realizarse, su duración estimada, entre otras cosas. Los estándares permiten establecer controles para asegurar que los resultados sean satisfactorios. Su determinación es fundamental para saber cuales son los costos de calidad, el

funcionamiento, la seguridad y la confiabilidad del producto. A través de ellos se puede evaluar el cumplimiento entre el producto manufacturado y lo que se esperaba.

En el caso del taller de rodillos, los estándares de aprovechamiento de los distintos calibres juegan un papel muy importante, pues a través de ellos se puede determinar cuales son requerimientos reales de los trenes de laminación en cuanto a la cantidad pases necesarios para cumplir con la producción pautada. Si los estándares no se ajustan a la realidad, se corre el riesgo de perjudicar directamente a la línea de producción y afectar de una u otra forma el alcance de las metas propuestas.

Al no actualizar los estándares se pierde afinamiento en la planificación de las operaciones, lo cual incide en la flexibilidad y capacidad de producción que tenga la planta, lo cual trae como consecuencia no poder cumplir con las necesidades del cliente y quedar rezagado en cuanto a las exigencias del mercado.

Si se hace un seguimiento de la duración de los calibres en los distintos castillos de un tiempo para atrás, utilizando para ello datos históricos, se puede constatar que existen variaciones considerables con respecto a los estándares utilizados, por eso la necesidad de verificar dichos estándares y determinar si hay diferencias significativas con respecto a lo real.

4.2.2 PRUEBAS DE HIPÓTESIS

El problema como se ha dicho, es determinar si los estándares de duración para los calibres son representativos de la situación actual y si no es así, deben cambiarse. Para ello se hará uso de una de las herramientas más útiles dentro de la experimentación industrial, las pruebas de hipótesis estadísticas. Dichas pruebas son medios por los cuales se puede evaluar las condiciones reales. Estas pruebas permitirán formular un conjunto de reglas que conduzcan a una culminación de aceptación o rechazo de alguna aseveración o hipótesis acerca de cierta población.

Se define como una *hipótesis estadística* a una aseveración o conjetura relacionada con una a más poblaciones[1]. Es importante destacar que nunca se puede conocer exactamente la veracidad o falsedad de una hipótesis estadística, a menos que se revise a la población entera con la cual se trabaja. Lo que ocurre normalmente es que es muy difícil y a veces imposible llevar a cabo lo anterior, pues en ocasiones resulta muy costoso reunir a todos los elementos

[1] R. WALPOLE y R. MYERS R., "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", 3ª Edición, Interamericana, México 1990.

que forman parte de ella, o consume mucho trabajo. También se debe señalar que el hecho de aceptar una hipótesis estadística, demuestra la carencia de argumentos para rechazarla, y que aceptarla no necesariamente implica que esta sea verdadera.

De lo anterior es importante comprender que *rechazar una hipótesis significa concluir que es falsa, mientras que aceptar una hipótesis solamente implica que no se tiene suficiente información como para creer otra cosa*[2].

A la hipótesis que se tienen la esperanza de rechazar o que quiera probarse se le denomina **hipótesis nula (H_0)**. El rechazar la hipótesis nula conlleva a aceptar una **hipótesis alterna (H_1)**.

Un paso que acompaña al establecimiento de la hipótesis es la selección de un nivel de significación α. El valor escogido para α define la probabilidad de rechazar la hipótesis. Los valores más comunes son 0.05 y 0.01 (5% y 1%). A esto le acompaña la definición de los errores estadísticos, que son designados como del tipo I o del tipo II, como se muestra en la Tabla 4.6. Al error designado como de tipo I, en el cual se rechaza la hipótesis verdadera lo controla la selección de α. Si se quiere que una hipótesis verdadera sólo pueda ser rechazada una vez cada cien veces, el valor que debe tomar α es igual a 0.01, sin embargo de las 99 veces en 100 que se acepta la hipótesis, existe cierta posibilidad de que también se acepte una hipótesis que sea falsa, este es el error tipo II. Así existe un riesgo mayor de cometer un error del tipo II a medida que las muestras poseen un tamaño más pequeño.

Tabla 4.6: Tipos de errores que afectan la aceptación o rechazo de una hipótesis

DECISIÓN	ACEPTACIÓN	RECHAZO
Hipótesis verdadera	Decisión correcta	Error tipo I
Hipótesis falsa	Error tipo II	Decisión correcta

4.2.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA EN LA ESTIMACIÓN DE LA MEDIA

Las pruebas de hipótesis van a ser útiles para determinar si realmente la media de duración de los calibres concuerda con los estándares utilizados. Para saber cual es el valor de este

[2] R. WALPOLE y R. MYERS R., "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", 3ª Edición, Interamericana, México 1990.

parámetro se recurre a su estimación estadística, para ello se debe calcular el número de datos que se deben estudiar para que dicha estimación sea confiable. Para la buena comprensión de lo aquí expuesto se definen:

X = media de duración de los pases (poblacional).

x = media de duración de los pases (muestra).

S = varianza poblacional (grado de dispersión respecto a la media).

N = tamaño de la población.

n = tamaño de la muestra.

ε = error muestral (diferencia entre el valor del parámetro real y su estimado).

β = riesgo del muestreo (probabilidad de cometer un error mayor que el tolerable).

Por medio del teorema del límite central, se puede establecer que la media para la duración de los calibres sigue una distribución normal como esta:

$$X = x \rightarrow N\left(X; \frac{S^2}{n} \times \left(1 - \frac{n}{N}\right)\right) \qquad [1]$$

En base a lo anterior, se puede utilizar la fórmula siguiente para obtener el tamaño de muestra requerido:

$$n = \frac{Z^2{}_{\alpha/2} \times S^2}{\varepsilon^2} \qquad [2]$$

En el Anexo 3 se expone de forma detallada la obtención de dicha fórmula.

42.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

La metodología a seguir para determinar el tamaño de muestra necesario en base a la fórmula anterior es la siguiente:

1) Se toma una muestra piloto (**n_p**) de la duración de cierto calibre, dicha muestra es sacada de la data histórica disponible y su tamaño es arbitrario.
2) Con esa muestra se estima el valor de la varianza poblacional (S^2).

3) Una vez estimada la varianza poblacional, se calcula el valor de **n** con los niveles de confianza y exactitud deseados.
4) Si $\mathbf{n_p} < \mathbf{n}$, entonces se completa la muestra piloto hasta llegar a un tamaño de muestra igual a **n**. Si $\mathbf{n_p} > \mathbf{n}$, la muestra piloto que se tomó es suficiente y no hace falta completarla con más datos.

Una vez obtenido el tamaño de muestra final, se procede a sacar el promedio de los datos estudiados, y ese será el valor estimado de la media de la población (duración media de los pases). Este procedimiento se debe seguir para todos los calibres.

4.2.5 RESULTADOS DEL MUESTREO

Se procedió a aplicar la metodología antes mencionada tanto para los calibres finidores, como para los laminadores. La muestra piloto fue tomada al azar en todos los calibres, y el número de elementos que se recogieron fue determinado de forma arbitraria. En la Tabla 4.7 se aprecian los resultados de las muestras piloto para los calibres laminadores, y en la Tabla 5.8 los resultados para los calibres finidores. Todos son agrupados según el castillo al que pertenecen.

Es importante destacar que este análisis estadístico no se puedo llevar a cabo para los calibres finidores de redondo y cuadrado lisos, ¾" exportación, 7/8" y 1" exportación, por la ausencia de datos históricos, por lo cual se asumen por defecto los valores manejados hasta ahora.

Tabla 4.7: Resultados de las pruebas pilotos para los calibres laminadores

Castillo	Tamaño de la muestra	Media (TM)	Varianza (TM)	Desviación Estándar (TM)
1-2	23	9123.74	1044095.98	1021.81
3-4	23	9123.74	1044095.68	1021.81
5-6	49	4629.78	369931.57	608.22
7-8	49	4629.78	369931.57	608.22
9	85	2518.05	440776.49	663.91
10	82	2566.26	399032.26	631.69
11	118	1736.70	236555.78	486.37
12	82	2023.06	337561.00	581.00
13	98	1691.69	165860.71	407.26
14	38	2288.37	469759.45	685.39

Tabla 4.8: Resultados de las pruebas piloto para los calibres finidores

Castillo	Tipo de Producto	Mercado Destino	Tamaño de la muestra	Media (TM)	Varianza (TM)	Desviación Estándar (TM)
18	3/8"	Nacional	279	197.40	721.46	26.86
18	3/8"	Exportación	69	183.55	612.56	24.75
14	½"	Nacional	184	375.08	6783.17	82.36
14	½"	Exportación	36	337.62	11429.75	106.91
14	12mm	Exportación	28	322.33	11657.52	107.97
12	5/8"	Nacional	54	429.54	12654.00	112.49
12	5/8"	Exportación	30	435.91	19850.00	140.89
12	¾"	Nacional	8	568.42	20534.89	143.30
10	1"	Nacional	8	955.82	140580.00	374.94

Luego, con los datos mostrados anteriormente se calcularon los tamaños de muestra definitivos. Para ello se fijó un nivel de confianza del 95% (Z= 1.96). La estimación del valor del error muestral (ε), se hizo de la siguiente forma:

$$error\ relativo = \frac{|\varepsilon|}{X} \times 100\% \qquad [3]$$

Se establece un error relativo no mayor del 5% para la estimación de X, por lo tanto;

$$\varepsilon = (0.05)\ X \quad [4]$$

donde el valor de X será a su vez el estimado por la media calculada en la muestra piloto. Así tenemos que para cada caso, ε será calculado como:

De esta manera, al sustituir los valores de Z y ε en la formula [2] para calcular el tamaño de muestra, se encuentra el número total de elementos a tomar en consideración para que la estimación cumpla con los niveles de exactitud establecidos. En la Tabla 4.9 se muestran los resultados obtenidos, y la cantidad de elementos necesarios para completar la muestra, para los calibres laminadores. En la Tabla 4.10, se hace lo mismo con los calibres finidores.

Tabla 4.9: Cantidad de datos requeridos para completar la muestra (laminadores)

Castillo	Tamaño de la muestra piloto	Tamaño de muestra requerido	Número de datos adicionales
1-2	23	20	0
3-4	23	20	0
5-6	49	27	0
7-8	49	27	0
9	85	107	22
10	82	94	12
11	118	121	3
12	82	126	44
13	98	90	0
14	38	138	100

Tabla 4.10: Cantidad de datos requeridos para completar la muestra (finidores)

Castillo	Tipo de producto	Mercado Destino	Tamaño de la muestra piloto	Tamaño de muestra requerido	Número de datos adicionales
18	3/8"	Nacional	279	29	0
18	3/8"	Exportación	69	25	0
14	½"	Nacional	184	75	0
14	½"	Exportación	36	155	119
14	12mm	Exportación	28	173	145
12	5/8"	Nacional	54	106	52
12	5/8"	Exportación	30	161	131
12	¾"	Nacional	8	98	90
10	1"	Nacional	8	237	229

Es importante destacar que para ciertos calibres no se cuenta con la data suficiente, por lo que fue necesario calcular en estos casos un nuevo valor para el error relativo, para que así se adapte al nivel de 95% de confianza previamente establecido. Las Tablas 5.11 y 5.12 muestran los resultados finales después de completar las muestras:

Tabla 4.11: Resultados finales para calibres laminadores

Castillo	Tamaño de muestra final	Media (TM)	Desviación Estándar (TM)	Valor Máximo (TM)	Valor Mínimo (TM)	Nivel de Confianza	Margen de error
1-2	23	9123.74	1021.81	10672	7078	95%	4.6%
3-4	23	9123.74	1021.81	10672	7078	95%	4.6%
5-6	49	4629.78	608.22	5583	3005	95%	3.7%
7-8	49	4629.78	608.22	5583	3005	95%	3.7%
9	107	2607.12	687.63	3952	1133	95%	5.0%
10	94	2553.88	634.83	3952	1133	95%	5.0%
11	121	1730.92	483.68	3161	1031	95%	5.0%
12	128	2045.95	617.48	3901	1048	95%	5.2%
13	98	1691.69	407.26	2871	1048	95%	4.8%
14	75	2421.28	763.37	4000	1158	95%	7.1%

Tabla 4.12: Resultados finales para calibres finidores

Castillo	Tipo de Prod.	Mercado Destino	Tamaño de muestra	Media (TM)	Desviación Estándar (TM)	Valor Max. (TM)	Valor Min. (TM)	Nivel de Confianza	Margen de error
18	3/8"	Nacional	279	197.40	26.86	299.27	117.85	95%	1.6%
18	3/8"	Expor.	69	183.55	24.75	252.45	121.64	95%	3.2%
14	½"	Nacional	184	375.08	82.36	590.67	170.45	95%	3.2%
14	½"	Expor.	105	351.25	96.35	611.39	136.78	95%	5.2%
14	12mm	Expor.	63	341.32	97.63	611.39	153.31	95%	7.1%
12	5/8"	Nacional	74	421.63	106.57	716.31	164.28	95%	5.8%
12	5/8"	Expor.	66	424.26	120.84	708.24	213.89	95%	6.9%
12	¾"	Nacional	16	597.40	181.88	853.85	306.15	95%	14.9%
10	1"	Nacional	8	955.82	374.94	1418.8	422.28	95%	27.2%

4.2.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES

Una vez estimados los parámetros poblacionales (media y desviación estándar) de cada uno los calibres, se procede a verificar si los estándares con los que actualmente se trabajan son realmente representativos de la situación actual. De no ser así, deberán modificarse a los valores anteriormente calculados.

En el Anexo 4 se muestran los histogramas de frecuencia de los distintos calibres. Por inspección no se puede asegurar que cada una de las poblaciones de las cuales fueron extraídas las muestras sean normales, ya que la forma de los histogramas para ciertos calibres está alejada de dicho comportamiento. Por tal razón, suponer que las poblaciones son normales para todos los calibres no es correcta. Usualmente a los procedimientos de pruebas que se basan en la normalidad de las poblaciones se denominan *métodos paramétricos*. Sin embargo hay procedimientos alternativos de prueba denominados *métodos no paramétricos* o de *distribución libre*, que con frecuencia suponen un desconocimiento acerca de las correspondientes distribuciones poblacionales, excepto que son continuas.

Para verificar los estándares de cada uno de los calibres, se aplicará una de las pruebas no paramétricas más conocidas denominada **prueba de los signos**. Así, independientemente de cómo se distribuyan los diferentes datos, se puede probar una hipótesis nula de que $\mu = \mu_0$, contra una alternativa apropiada con base en una muestra aleatoria de tamaño n, donde se reemplace cada valor de la muestra que supere μ_0 con un signo *más* (+) y cada valor de la

muestra menor que μ_0 con un signo *menos* (-). Si la hipótesis nula es verdadera y la población es simétrica, la suma de los signos *más* debería ser aproximadamente igual a la de los signos *menos*, o lo que es lo mismo, el número de datos por encima del valor de μ_0 debe ser igual al número de datos que están por debajo.

El estadístico de prueba apropiado para la prueba de los signos es la variable aleatoria binomial **X**, que representa el número de signos *más* en la muestra aleatoria. Si la hipótesis nula $\mu = \mu_0$ es verdadera, la probabilidad de que un valor de la muestra resulte en un signo más o en un signo menos es igual a ½. Por esta razón, al probar la hipótesis nula $\mu = \mu_0$, en realidad se está probando la hipótesis nula de que el número de signos más es un valor de la variable aleatoria que tiene una distribución binomial con parámetro p = ½ (donde "p" es porcentaje de valores por encima de μ_0). Así, los valores de la variable aleatoria **P** para las alternativas, pueden ser calculados haciendo uso de la distribución binomial. Por ejemplo, se define:

$$\mathbf{H_0}: \mu = \mu_0$$

$$\mathbf{H_1}: \mu \neq \mu_0$$

en donde se rechaza $\mathbf{H_0}$ a favor de $\mathbf{H_1}$ cuando la porción de signos más es significativamente menor o mayor que ½. Por supuesto que esto es equivalente a que x sea suficientemente pequeño o grande. Por esta razón si x < n/2 y el valor calculado de **P** es:

$$\mathbf{P} = 2.P(\mathbf{X} \leq x \text{ cuando } p = ½)$$

es menor o igual que α, o si x > n/2 y el valor calculado de **P** es :

$$\mathbf{P} = 2.P(\mathbf{X} \geq x \text{ cuando } p = ½)$$

es menor o igual que α, se rechaza $\mathbf{H_0}$ a favor de $\mathbf{H_1}$.

En definitiva, el estadístico a utilizar es:

$$Z = \frac{p - 1/2}{\sqrt{1/2 \times 1/2}} \times \sqrt{n} \qquad [5]$$

lo cual se fundamenta en la aproximación de la distribución normal a la binomial.

4.2.7 APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE LOS SIGNOS

Para todos los calibres se quiere probar la siguiente hipótesis:

$$\mathbf{H_0}: \mu = \mu_{\text{estándar}}$$

$$\mathbf{H_1}: \mu \neq \mu_{\text{estándar}}$$

el nivel de confianza utilizado será de 95% en todos los casos, por lo tanto $\alpha = 0.05$. De esta forma la variable de decisión queda restringida a la zona donde caiga el estadístico de prueba, según como se muestra en la Figura 4.3. La prueba es de dos colas (o bilateral) porque la región crítica (de rechazo) está dividida en dos partes igualmente probables, ubicadas en cada cola de la distribución del estadístico de prueba.

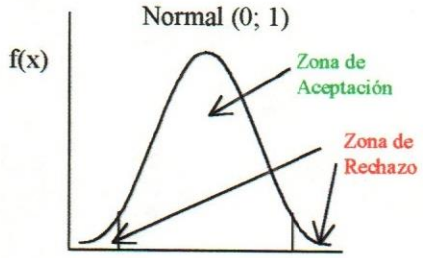


Figura 4.3: Zonas de Aceptación y Rechazo

Ejemplo de cálculo:

Para ser más ilustrativos, se procederá a verificar el estándar de duración de los calibres finidores del castillo N°18, como se muestra a continuación:

1) Lo primero que se plantea es la hipótesis que servirá de prueba:

$$\mathbf{H_0}: \mu = 180 \text{ TM}$$

$$\mathbf{H_1}: \mu \neq 180 \text{ TM}$$

2) Se elige un nivel de confianza determinado; en este caso 95%.

3) Se calcula el valor del estadístico de prueba a partir de los datos de la muestra. En este caso:

$$p = \frac{\textit{Suma de los signos más } (+)}{\textit{Tamaño de la muestra}} \qquad [6]$$

Se estima el valor de "p" como sigue:

donde p = 220 / 279 $\Rightarrow$ **p = 0.7885**

así, evaluando el estadístico, se tiene como resultado lo siguiente:

$$Z = \frac{0.7885 - 0.5}{\sqrt{0.5 \times 0.5}} \times \sqrt{279} = 9.6378$$

5) Se calcula el valor de los valores críticos en la curva normal estándar N(0,1);

Para un 95% de confianza en las tablas de la normal, el valor de Z = 1.96

6) Se contrasta la hipótesis por medio del estadístico "p", para ello se determina en que región a caído. Ver Figura 4.4:

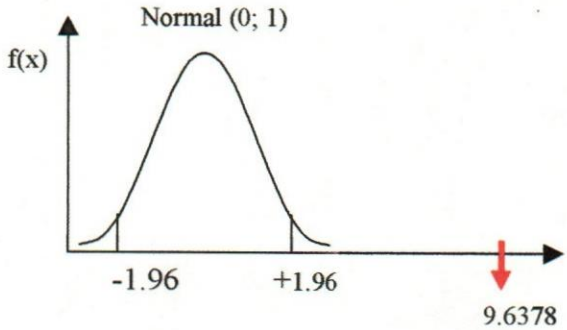


Figura 4.4: Contraste de la hipótesis

7) Decisión: Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, pues existe evidencia significativa para concluir que el valor de la duración actual de los pases del castillo N° 18 no corresponde con el estándar utilizado.

5.2.8 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó a todos los calibres en estudio. Los resultados obtenidos para los calibres laminadores se muestran en la Tabla 4.13, y en la Tabla 4.14 se muestran los resultados para los calibres finidores.

Tabla 4.13: Resultados de las pruebas de hipótesis para calibres laminadores

Castillo	Valor de "p"	Valor del Estadístico "Z"	Valor Crítico	Decisión
1-2	0.1739	-3.13	1.96	rechazar H_0
3-4	0.1739	-3.13	1.96	rechazar H_0
5-6	0.3265	-2.43	1.96	rechazar H_0
7-8	0.3265	-2.43	1.96	rechazar H_0
9	0.2804	-4.54	1.96	rechazar H_0
10	0.2447	-4.95	1.96	rechazar H_0
11	0.6446	3.18	1.96	rechazar H_0
12	0.7969	6.72	1.96	rechazar H_0
13	0.6429	2.83	1.96	rechazar H_0
14	0.2133	-4.97	1.96	rechazar H_0

Tabla 4.14: Resultados de las pruebas de hipótesis para calibres finidores

Castillo	Tipo de Producto	Mercado Destino	Valor de "p"	Valor de Estadístico "Z"	Valor Crítico	Decisión
18	3/8"	Nacional	0.7885	9.64	1.96	rechazar H_0
18	3/8"	Exportación	0.8116	5.18	1.96	rechazar H_0
14	½"	Nacional	0.5978	2.65	1.96	rechazar H_0
14	½"	Exportación	0.6571	3.22	1.96	rechazar H_0
14	12mm	Exportación	0.6984	3.15	1.96	rechazar H_0
12	5/8"	Nacional	0.7703	4.65	1.96	rechazar H_0
12	5/8"	Exportación	0.8333	5.42	1.96	rechazar H_0
12	¾"	Nacional	0.7500	2.00	1.96	rechazar H_0
10	1"	Nacional	0.7500	1.41	1.96	aceptar H_0

Como se puede observar, para los castillos laminadores del 1 al 10 la duración media de los pases es **significativamente** menor al estándar que actualmente se utiliza, pero para los castillos N°11, 12, y 13 la duración media de los pases es mayor. En cuanto a los calibres finidores, todos excepto el castillo N°10 tienen una duración media por encima de sus respectivos estándares, y para algunos el estadístico de prueba cae muy alejado de la zona de aceptación de la hipótesis, como es el caso de los calibres finidores de 3/8" nacional, 3/8" exportación y 5/8" exportación. En el caso particular del castillo N°10, la poca data que se encontró afectó los resultados esperados; el margen de error en la estimación de sus parámetros poblacionales fue el mayor de todos, y la prueba no demostró evidencia suficiente como para rechazar la hipótesis, por lo tanto, sólo para este caso el estándar de duración de los pases sigue siendo el especificado.

4.2.9 INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA DURACIÓN DE LOS CALIBRES

En vista de que los estándares no se corresponden con el aprovechamiento actual de los distintos calibres, se hace necesario fijar sus nuevos valores en base a los parámetros estimados anteriormente. Sin embargo será conveniente establecer los nuevos estándares como un intervalo dentro del cual se esperaría hallar el valor de la duración media de los pases, para ello se hace uso de los intervalos de confianza. Al igual que antes, se fijará un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) para su estimación. La validez de lo aquí expuesto se basa en el

teorema del límite central, según el cual es posible esperar que la distribución muestral de la media (X) este distribuida de manera más o menos normal, con media $\mu_x=\mu$ y desviación estándar $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n}$, independientemente si la población es o no normal para muestras de tamaño n>30. El intervalo de confianza del (1-α)100% para la media sería:

$$X: \quad x \pm Z_{\alpha/2} \times S\sqrt{1/n} \qquad [7]$$

Si n<30 para una muestra aleatoria tomada de una población con varianza desconocida σ^2, un intervalo de confianza del (1-α)100% para la media sería:

$$X: \quad x \pm t_{\alpha/2} \times S/\sqrt{n} \qquad [8]$$

donde "t" proviene de la distribución muestral T-Student, la cual se utiliza para muestra de pequeño tamaño.

La fórmula [8] se utilizará únicamente para los castillos N°1-2, 3-4 como laminadores, y para los castillos N°12 y 10 como finidores de ¾" y 1" respectivamente, ya que los tamaños de muestra no pasan de 30 observaciones.

De esta forma, en la Tabla 4.15 y la Tabla 4.16 se muestran las intervalos de confianza para los nuevos estándares de duración de los calibres laminadores y finidores, respectivamente.

Tabla 4.15: Intervalos de confianza para la duración media de los calibres laminadores

Castillo	Media (TM)	Límite Inferior (TM)	Límite Superior (TM)	Nivel de Confianza
1-2	9123.74	8681.88	9565.60	95%
3-4	9123.74	8681.88	9565.60	95%
5-6	4629.78	4459.48	4800.08	95%
7-8	4629.78	4459.48	4800.08	95%
9	2607.12	2476.83	2737.41	95%
10	2553.88	2425.54	2682.22	95%
11	1730.92	1644.74	1817.10	95%
12	2045.95	1938.98	2152.92	95%
13	1691.69	1611.06	1772.32	95%
14	2421.28	2248.51	2594.05	95%

Tabla 4.16: Intervalos de confianza para la duración media de los calibres finidores

Castillo	Tipo de producto	Mercado Destino	Media	Límite Inferior	Límite Superior	Nivel de Confianza
18	3/8"	Nacional	197.40	194.25	200.55	95%
18	3/8"	Exportación	183.55	177.71	189.39	95%
14	½"	Nacional	375.08	363.18	386.98	95%
14	½"	Exportación	351.25	332.82	369.68	95%
14	12mm	Exportación	341.32	317.21	365.43	95%
12	5/8"	Nacional	421.63	397.35	445.91	95%
12	5/8"	Exportación	424.26	395.11	453.41	95%
12	¾"	Nacional	597.40	500.48	694.32	95%
10	1"	Nacional	955.82	642.36	1269.28	95%

4.2.10 APROVECHAMIENTO IDÓNEO DE LOS CALIBRES.

En las Tablas 4.17 y 4.18 se muestran las funciones de distribución de probabilidades que mejor se ajusta a cada uno de los calibres, para dicha estimación se utilizó como herramienta el módulo de análisis de datos del simulador Arenas. También se indica el aprovechamiento sugerido en toneladas métricas para la duración de los pases, tomando en consideración un nivel de significancia del 95% de que duren esa cantidad.

Tabla 4.17: Duración sugerida calibres laminadores

Castillo	Distribución	Expresión	TM
1-2	Beta	7080 + 3590*Beta (1.16, 0.876)	10571,04
3-4	Beta	7080 + 3590*Beta (1.16, 0.876)	10571,04
5-6	Normal	N (4630, 602)	5620,20
7-8	Normal	N (4630, 602)	5620,20
9	Beta	1130 + 2820*Beta (1.67, 1.52)	3694,23
10	Beta	1130 + 2820*Beta (1.98, 1.95)	3584,26
11	Beta	1030 + 2130*Beta (1.08, 2.2)	2641.22
12	Erlang	1050 + Erlang (499, 2)	2730.00
13	Beta	1050 + 1820*Beta (1.26, 2.31)	2439.84
14	Beta	1158+2070*Beta(1.56, 2.01)	3517.72

Tabla 4.18: Duración sugerida calibres finidores

Castillo	Tipo de Producto	Mercado Destino	Distribución	Expresión	TM
18	3/8"	Nacional	Normal	N (197, 26.8)	241.08
18	3/8"	Exportación	Normal	N (184, 24.6)	224.46
14	½"	Nacional	Weibul	170 + Weibul (228, 2.48)	532.15
14	½"	Exportación	Beta	137 + 474*Beta (2.26, 2.74)	405.50
14	12mm	Exportación	Normal	N (341, 96.9)	500.39
12	5/8"	Nacional	Normal	N (422, 106)	596.35
12	5/8"	Exportación	Beta	214 + 494*Beta (1.31, 1.77)	633.77
12	¾"	Nacional	Beta	306 + 548 *Beta (0.669, 0.59)	848.31
10	1"	Nacional	Uniforme	U (422, 1420)	948.00

4.3 PRONÓSTICO DE PRODUCCIÓN VS. PRODUCCIÓN REAL.

El taller de rodillos debe satisfacer las necesidades de calibres del tren de laminación y debe tener suficiente flexibilidad para enfrentar los cambios en la solicitudes del mercado. Como se sabe, el taller obedece a una demanda dependiente porque está condicionada a la demanda de los distintos productos que se fabrican en el tren, por eso al taller se le tiene que dar a conocer lo que se va a producir en cierto período, para que éste pueda cumplir con los requerimientos.

La programación de la producción se efectúa una ves al mes, recolectando los pedidos que se hayan efectuado de un tiempo para atrás, y se despachan cuando se haya contado con todos los pedidos a partir de cierta fecha. Actualmente el Departamento de Programación y Control de la Producción (PCP) le hace llegar con una semana de anticipación al jefe del taller de rodillos el programa de producción del mes entrante, para determinar cuales son las necesidades de calibres y poder empezar con los trabajos que se requieran para comienzos del mes. No obstante, el pronóstico de producción que le llega al taller está sujeto a cambios, y no es extraño que se modifique en cualquier momento una vez que ha empezado la producción del tren, sin embargo estos cambios son notificados al taller sobre la marcha.

La decisión en cuanto a los requerimientos de calibres no solo debe tomarse por medio de elementos cuantitativos, sino que deben considerarse factores ajenos de orden cualitativo como fluctuaciones en la demanda, políticas de inventario, estacionalidad en los productos, entre otros, que afectan de manera considerable las cantidades a producir en el tren, y por ende los necesidades reales de rodillos preparados para satisfacer tal producción.

El propósito de este apartado es analizar que tanto varía lo que se produce realmente, respecto a los pronósticos de producción, ya que en ellos se basa el taller de rodillos para emprender su

trabajo. Para esto se cuenta con data histórica que procede de los sistemas de información que posee la planta, y específicamente el Departamento de Programación y Control. Los datos registrados corresponden a un período mayor de año y medio (noviembre de 1996 - julio de 1998). Para su análisis se estudió la tendencia de cada uno de los productos, diferenciados a su vez de acuerdo al tipo de mercado al cual son dirigidos (Nacional o Exportación). En el Anexo 5 se muestran las gráficas para cada uno de los calibres, dichas gráficas se agrupan en dos dependiendo del tipo de tren: 3/8", 12mm, ½", 5/8", ¾", 7/8" y 1" para el tren continuo, y ½", 5/8", ¾", 7/8", 1", Redondo Liso (RL) y Cuadrado Liso (CL) para el tren abierto.

4.3.1 TREN CONTINUO

Para las cabillas de 3/8" nacional, se puede apreciar que hay estacionalidad en su producción para los meses de diciembre, del mismo modo se puede apreciar que la producción planificada tiende a estar por debajo de la real, es decir, en la mayoría de los casos se produce más de lo previsto y dicha diferencia oscila entre 500 TM y 1000 TM. También hay la tendencia a producir por encima de las 7000 TM en los meses de marzo a julio, los cuales pueden ser los períodos de mayor demanda.

Para las cabillas de 3/8" exportación se observan algunos impulsos sistemáticamente más elevados, ejemplo de ellos es la situación mostrada en los meses de diciembre 96 y agosto del 97, sin embargo prevalece una tendencia a producir cada vez menos, esto puede asociarse con las metas de exportación establecidas por la empresa. En su mayoría las cantidades producidas a nivel nacional son mayores. Lo mismo se puede concluir para las cabillas de ½" exportación.

La producción de cabillas de ½" nacional al igual que para 3/8" nacional muestra estacionalidad en los meses de diciembre, y las cantidades laminadas tienden a crecer a medida que transcurre el tiempo, a su vez lo real tiende a ser algo mayor que lo pronosticado, sin embargo la diferencia entre ambos no suele exceder las 500 TM.

Para 5/8" nacional tanto el pronóstico como lo real es muy fluctuante y su diferencia aumenta respecto a los casos anteriores. El nivel de producción por lo general está 3000 TM por debajo de 3/8" y ½" nacional, los cuales son los productos líderes de la empresa. Tanto para 5/8" nacional como 5/8" exportación la producción para los meses de mayo, junio y julio de 1998 ha sido nula, lo cual puede ser que obedezca a la proximidad de la fecha en que se cerraron

ambos trenes, por lo que se dedicó ese tiempo a incrementar las cantidades producidas de 3/8"nacional y ½" nacional para aumentar los inventarios y mantener un colchón de seguridad. Las cabillas de ¾", 7/8" y 1" tanto para el mercado nacional como el de exportación, no son producidas por lo general en el tren continuo y sólo se perciben picos esporádicos que fluctúan entre 500 TM y 2000 TM en períodos de 2 hasta 14 meses de diferencia. La demanda de calibres para estos productos en el tren es nula y sólo se presentan desviaciones eventuales. Estos han sido laminados normalmente por el tren abierto, ya que su baja demanda en los mercado se adecua a la capacidad de producción de este último, que en comparación al tren continuo tiene una capacidad de producción muy baja.

Por último, en el caso de 12mm el comportamiento de lo real y lo pronosticado es impredecible. Hay ocasiones en que sólo se perciben picos cada dos meses de no más de 1000 TM, y luego se estabiliza la producción en ese valor durante seis meses. En este tipo de casos se ve que incertidumbre invade al Dpto. de Planificación y Control de la empresa y por supuesto, al taller de rodillos.

4.3.2 TREN ABIERTO

El tren abierto no está acondicionado para laminar cabillas de 3/8". Dicho tren sólo puede producir cabillas de ½" para arriba, y se dedicaba mayormente a fabricar cabillas de ¾" nacional y exportación, así como barras redondas y cuadradas lisas. Lo anterior se puede apreciar en las gráficas respectivas, donde las cantidades laminadas para ½", 5/8", 7/8" y 1" se rigen por períodos intensivos de hasta 2500 TM, seguidos de otros en su mayoría de producción nula.

El objeto de este análisis se basa en que las barras cuadradas y redondas lisas van a ser laminadas de ahora en adelante en el tren continuo, y la variación que han sufrido los pronósticos en esos casos puede servir como referencia para la proyección de meses venideros. En el caso de las barras redonda lisa su producción no excede las 1800 TM, y por lo general se mantiene en un rango de valores de 400 TM a 1000 TM. En los últimos seis meses es evidente una diferencia significativa entre la cantidad de toneladas laminadas reales y la cantidad pronosticada, esta diferencia aunque es relativamente baja (de 200 TM a 400 Tm) representa una variación a tomar en cuenta.

En cuanto a las barras cuadradas lisas, el promedio de producción se encuentra por encima del producto anterior, oscilando normalmente entre 1500 TM y 2500 TM. A partir de octubre de 1997 la producción real y la estimada han variado más que antes, y su diferencia ha ido en aumento, llegando a sobrepasar las 500 TM en el mes de junio de 1998.

4.3.3 EFECTOS EN LOS CAMBIOS SOBRE EL PRONÓSTICO DEL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN

De lo anterior se puede constatar que en la mayoría de los meses ocurren variaciones en el pronóstico del programa de producción, lo cual afecta de manera importante la gestión del taller de rodillos. Si la producción real supera la estimada, se corre el riesgo de no contar con la cantidad suficiente de calibres finidores o laminadores, y se tendría que trabajar bajo presión para poner a la disposición del tren los respectivos rodillos.

Es importante señalar que la magnitud de tales desviaciones afecta en mayor o menor grado a todos los tipos de calibre, sin embargo para algunos son más relevantes, ya que su duración en toneladas es bajo, tal es el caso para 3/8" nacional, donde es común tener variaciones de hasta 1000 TM por encima de lo pronosticado. En este caso la duración del par finidor es menor a las 200 TM, lo cual representa un aumento de aproximadamente 5 pares de calibres sobre lo estimado. Si en un rodillo se colocan 12 pares de calibres de 3/8", implica que se necesita un juego más de rodillos para satisfacer las necesidades del tren. Al igual ocurre con los calibres finidores de 3/8" exportación, ½" y 5/8" tanto nacional como exportación laminados en el tren continuo, y para redondo y cuadrado liso del tren abierto.

El resto de los calibres finidores se perjudican menos aunque exista cierta variación, ya que su aprovechamiento en toneladas producidas es mayor que para los anteriores, por lo tanto la relación diferencia de toneladas versus duración del pase disminuye. Lo mismo ocurre con los calibres finidores, pues su utilización en toneladas laminadas es bastante alta.

Las causas asignables a la variación entre el pronóstico y lo real pueden ser muy diversas, sin embrago se pueden agrupar a través de un diagrama de Ishikawa (o diagramas causa-efecto), como se muestra en la Figura 4.5. De este modo se presentan y organizan las categorías principales de las causas que producen el efecto estudiado tanto para el tren continuo como para el tren abierto.

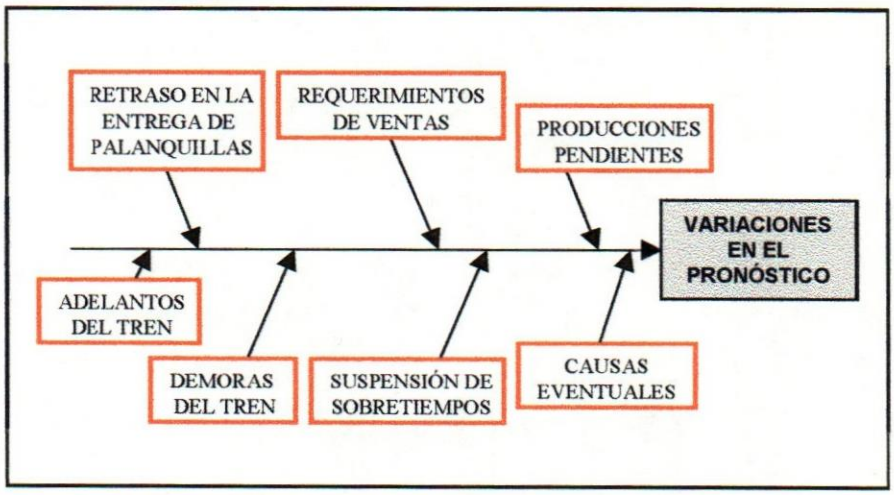


Figura 4.5: Diagrama Causa- Efecto de las variaciones en el pronóstico

CAPITULO V

CAPÍTULO V: DISEÑO DEL SISTEMA

5.1 PLANIFICACIÓN.

La planeación de la capacidad y requerimientos del taller de rodillos depende del horizonte de tiempo en el cual se lleve a cabo, para ello se requiere especificar varios niveles de acción que se puedan operar como un sistema, de esta forma se hace la distinción entre una planificación a mediano plazo y otra a corto plazo. La primera involucra decisiones en cuanto a las necesidad de mantener ciertos niveles de existencias para los rodillos laminadores y así satisfacer en buena forma las solicitudes del tren de laminación. La segunda se refiere a determinar los requerimientos de calibres finidores y laminadores para cubrir las necesidades de producción, y definir las secuencias de realización de los trabajos, estableciendo prioridades y controlando el avance de los pedidos. A continuación se desarrollan por separado cada una de ellas.

5.1.1 PLANIFICACIÓN A MEDIANO PLAZO.

5.1.1.1 REQUERIMIENTOS DE JUEGOS DE RODILLOS

Esta planificación acepta la condición actual de las instalaciones físicas del tren de laminación, así como del taller de rodillos. Tiene la finalidad de elaborar un plan de requerimientos a partir de un estimado de producción elaborado para un período de cuatro meses a un año. Tales requerimientos se traducen en la cantidad de rodillos por cada tren y castillo que debe poseer la empresa para operar en forma más eficiente. El cálculo de la cantidad de rodillos que se deben tener para trabajar en buena forma, se basa en el aprovechamiento que se haya obtenido de ellos en situaciones anteriores, para lo cual se utilizan los estándares de duración de los calibres como base. Para ello se hará uso de los estándares calculados en el capítulo anterior, los cuales están estadísticamente respaldados y tienen el nivel de confiabilidad requerido. Para determinar la cantidad de rodillos necesarios para el año entrante (1999), es preciso manejar por separado a los rodillos laminadores y los rodillos finidores, dado la forma como se utilizan. En el caso de los rodillos laminadores se debe calcular el total de toneladas que pueda procesar cada uno, dependiendo de la duración del pase, la distribución de los calibres sobre la tabla del rodillo, y el número de vidas útiles que se puedan tomar. Una vez calculado esto, se procede a determinar la cantidad de rodillos que se van a consumir en ese período, para lo cual

se utilizan los estimados de ventas y producción que le corresponden, dependiendo del tipo de producto. Los resultados de tal análisis para el año 1999 son expuestos en la Tabla 5.1, tomando en consideración un total de 245.382 TM a ser laminadas durante todo el año[1].

Tabla 5.1: Requerimiento de juegos de rodillos laminadores

		TONELADAS POR JUEGO SEGÚN EL TIPO DE CASTILLO						
		13	11	9	8-7	6-5	4-3	2-1
Producto	**TM/año**	**263905.20**	**155782.80**	**164248.00**	**208340.10**	**97225.38**	**291959.70**	**218969.80**
3/8"	72814	0.28	0.47	0.44	0.35	0.75	0.25	0.33
RL	6615	0.03	0.04	0.04	0.03	0.07	0.02	0.03
CL	16828	0.06	0.11	0.10	0.08	0.17	0.06	0.08
12mm	5300	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02
½"	69387	0.26	0.45	0.42	0.33	0.71	0.24	0.32
5/8"	32744		0.21	0.20	0.16	0.34	0.11	0.15
¾"	23682		0.15	0.14	0.11	0.24	0.08	0.11
7/8"	11162			0.07	0.05	0.11	0.04	0.05
1"	6850			0.04	0.03	0.07	0.02	0.03
n° de juegos		**0.65**	**1.46**	**1.49**	**1.18**	**2.52**	**0.84**	**1.12**

Los rodillos finidores se tratan de forma distinta, dado que todos menos los pertenecientes a los castillo N°15, 16, 17 y 18, se pueden utilizar como rodillos laminadores para algunos productos y como rodillos finidores para otros. Los cálculos se facilitan si se toma por separado la necesidad de calibres laminadores y finidores, calculando el número de estos que se necesitan para satisfacer la producción pautada, después de lo cual se sumarían para hallar la cantidad de juegos a utilizar, esto por medio de una tabulación. Los estimados de ventas y producción utilizados, son por lógica los mismos que los anteriores. Los resultados en cuanto a los requerimientos de calibres laminadores para los castillos N°10, 12 y 14 son como se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Requerimientos de calibres laminadores para los castillos N°10, 12 y 14

		TM POR PAR DE CALIBRE		
Producto	**TM/año**	**14**	**12**	**10**
3/8"	**72814**	30.07	35.59	28.51
RL	**6615**		3.23	2.59
CL	**16828**		8.23	6.59
12 mm	**5300**		2.59	2.08
½"	**69387**		33.91	27.17
5/8"	**32744**			12.82
¾"	**23682**			9.27
7/8"	**11162**			
1"	**6850**			
N° de calibres		**30.07**	**83.55**	**89.03**

[1] Las cifras de producción aquí citadas fueron multiplicadas por un factor con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos académicos.

Los resultados de requerimientos de los calibres finidores para los castillos N°10, 12, 14 y 18 se muestran en la Tabla 5.3, y en la Tabla 5.4 se calculan los requerimientos totales de calibres y de juegos de rodillos para ellos mismos:

Tabla 5.3: Requerimientos de calibres finidores para los castillos N°10, 12, 14, y 18

Producto	Mercado	TM/año	TM/ par cal.	18	14	12	10
3/8"	Nacional	46515	197.40	235.64			
3/8"	Exportación	26299	183.55	143.28			
RL	Nacional	6615	350.00		18.90		
CL	Nacional	16828	350.00		48.08		
12mm	Exportación	5300	341.32		15.53		
½"	Nacional	49509	375.08		132.00		
½"	Exportación	19878	351.25		56.59		
5/8"	Nacional	18094	421.63			42.91	
5/8"	Exportación	14650	424.26			34.53	
¾"	Nacional	15682	597.4			26.25	
¾"	Exportación	8000	400			20.00	
7/8"	Nacional	6312	600				10.52
7/8"	Exportación	4850	500				9.70
1"	Nacional	4000	600				6.67
1"	Exportación	2850	500				5.70
N° de calibres				**378.92**	**271.10**	**123.70**	**32.59**

Tabla 5.4: Requerimientos de juegos de rodillos finidores

	CASTILLO						
	18	14		12		10	
	Finidor	Finidor	Laminador	Finidor	Laminador	Finidor	Laminador
calibres necesarios	378.92	271.10	30.07	123.70	83.55	32.59	89.03
N° total de calibres	379	302		208		122	
N° de juegos	**1.05**	**1.61**		**1.60**		**1.45**	

Una vez que se calcula la cantidad de juegos de rodillos laminadores y finidores que se necesitan para cubrir la demanda del tren de laminación, se procede a integrar en una sola tabla los requerimientos totales. Es importante destacar que en la práctica todos los rodillos pertenecientes a los castillos N°15, 16, 17 y 18 son iguales en magnitud, y sus composiciones químicas y grado de dureza varían dentro de un mismo rango, esto ocurre también con todos los castillos del Tren DL-300. En el Tren DL-350 los castillos N°5 al 8 son iguales entre sí, mientras que los castillos N°9 y 10 son iguales entre ellos; lo mismo ocurre con todos los rodillos de tren GD-480. En el Anexo 6 se compararan las características de los rodillos dependiendo del tipo de tren y según su calidad, dureza y composición. Por lo tanto a la hora

de comprar rodillos, se emite la orden de acuerdo a la cantidad de juegos requerido por cada grupo antes señalado. En la Tabla 5.5 se muestran los requerimientos totales de juegos de rodillos según lo anteriormente descrito.

Tabla 5.5: Requerimientos totales de juegos de rodillos

	CASTILLOS										
	DL-260	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8-7**	**6-5**	**4-3**	**2-1**
Juegos por castillos	1.05	1.61	0.65	1.60	1.46	1.45	1.49	1.18	2.52	0.84	1.12
Juegos a consumir	2	2	1	2	2	2	2	2	3	1	2
Total juegos	**2**	**7**				**4**		**5**		**3**	
Cantidad de rodillos por juego	12	2				2		4		4	
Total nº de rodillos	**24**	**14**				**8**		**20**		**12**	

Es importante destacar que la cantidad de rodillos por juego para el Tren DL-260 es de doce (12), dado que para los castillos Nº 15, 16 y 17 se cuentan dos rodillos por cada uno, lo cual sumaría seis (6); sin embargo a estos les acompañan 3 juegos de dos (2) rodillos cada uno del castillo Nº 18, lo cual serían seis rodillos más para un total de doce (12). Esto se debe a que el desgaste de los primeros rodillos es considerablemente inferior al del finidor del castillo Nº 18, llegando a rendir hasta el triple sin tener que sustituirse. Para el resto de los grupos se toma en cuenta sencillamente que cada juego tiene dos rodillos.

5.1.1.2 INVENTARIO DE RODILLOS LAMINADORES

Los cálculos hasta ahora mostrados representan la cantidad exacta de juegos que se necesitan y por tanto el número de rodillos que se requieren para llevar a cabo la producción prevista, sin embargo la idea de mantener un inventario de rodillos nuevos o de aumentar el número de juegos con el que se deba trabajar, implica estudiar la influencia de ciertos factores que a primera vista pudiesen pasarse por alto, estos factores son: la frecuencia de ruptura de rodillos en el tren y la frecuencia de ruptura o tranca de los rodamientos.

En el Anexo 7 se muestran las estadísticas de pérdidas de rodillos en el tren continuo desde el año 1993 hasta la fecha. Como se puede apreciar la cantidad de roturas ha disminuido a lo largo de estos cinco años, resultando sólo dos rodillos rotos en el año 1997 y ninguno para lo que va de año. La mayoría de los casos han ocurrido en el tren DL-350, muy pocos en el DL-300 y GD-480, y ninguno en el DL-260. En cuanto a la frecuencia de ruptura o tranca de los rodamientos, en el Anexo 8 se muestran las estadísticas de los casos en los que hubo problemas con los mismos, ya sea porque estos se partieron o trancaron, y también se

incluyen los casos en los que se han sopleteados pases por quedar una barra atascada entre los rodillos por inconvenientes en el proceso de laminación. Como se puede apreciar, al igual que en el cuadro anterior la mayoría de los casos ocurrieron entre 1994 y 1995, disminuyendo en forma considerable para 1997 y 1998. La causa más importante de lo anterior es la calidad de la grasa que se utiliza en los rodamientos, la cual ha venido siendo modificada para mejorar el desempeño de los mismos.

Los factores anteriormente expuestos pudieran representar un problema importante a la hora de garantizar suficientes rodillos al tren de laminación, sin embargo tales imprevistos han sido disminuidos por la continua labor que se ha desarrollado en el taller en pro de mejorar el desempeño de los rodillos dentro de la línea de producción. Anteriormente, dado que la cantidad de paradas ocasionadas por tales causas eran muy frecuentes, era necesario comprar cantidades que duplicaban y hasta triplicaban los requerimientos reales del tren, lo cual incide considerablemente en el aumento del valor de los inventarios, acarreando costos importantes, e incurriendo en grandes desembolsos de dinero, tomando en cuenta que en promedio el precio de un rodillo se ubica entre $2000 y $2300. Hoy en día, pese a la disminución de estos inconvenientes, la empresa aún mantiene la política de adquirir el doble de los requerimientos con el fin de mantener como inventario mínimo la cantidad necesaria para cubrir la producción pautada, lo cual implica comprar una cantidad de rodillos bastante por encima de lo necesario.

En vista de lo anterior y dado que los tiempos de entrega de los proveedores está alrededor de los seis meses a partir de la fecha de emisión de la orden de compra, es preciso planear con especial cuidado el *cuando* y *cuantos* rodillos comprar. Lo más adecuado en este caso sería revisar trimestralmente como se han venido desarrollando las operaciones en el tren y llevar un seguimiento más intenso, de manera de poder prever con tiempo las variaciones normales que acompañan la elaboración de un pronóstico, ya sean estas por encima o por debajo de lo previsto. De esta forma se debe asegurar la existencia suficiente y no exagerada de rodillo para poder cumplir con los programas de producción, dentro de un plazo de seis meses, a partir del cual se pudiese determinar comprar más rodillos según sea requerido. Los pronósticos a cuatro meses y el ajuste a mitad del ejercicio sobre el pronóstico anual hecho en septiembre, servirían como herramientas para la toma de decisiones.

En la Tabla 5.6 se exponen las cifras que maneja actualmente la empresa respecto a su capacidad de producción, precio de venta promedio por tonelada de producto, costo promedio

por toneladas y margen de ganancias. En esta tabla se reflejan los altos costos de penalización por paradas del tren de laminación y el impacto que pudiese tener la falta de existencias de rodillos en el tren[2].

Tabla 5.6: Capacidad de producción, costos y margen de ganancias

Capacidad de producción	**42 TM/hora**
Precio de venta por tonelada	**213.940 Bs.**
Costos de producción por tonelada	**163.000 Bs.**
Margen de ganancias por tonelada	**50.940 Bs.**
Costos de producción por minuto	**114.100 Bs.**
Margen de ganancias por minuto	**35.658 Bs.**

De la tabla anterior se puede decir que los costos de paralización del tren son muy elevados, y las ganancias que se pudieran dejar de percibir son bastante altas. En un día de producción los costos superan los 164.304.000 Bs. mientras se obtienen ganancias por encima de los 50.000.000 Bs. En vista de ello y teniendo en cuenta lo expuesto en los anexos anteriores, sería recomendable mantener sólo para los castillos pertenecientes a los trenes DL-300 y DL-350 un stock igual a un juego adicional a lo requerido para cada uno de los castillos. En el tren DL-260 como en el tren GD-480 no se justifica igual trato dado lo improbable que ocurra un problema de este tipo. Así, en la Tabla 5.7 se muestran los resultados para la compra de rodillos del período 1998-1999 y el monto de la compra suponiendo un precio promedio de 2100 $ y una paridad monetaria de 580Bs. por dólar.

Tabla 5.7: Compra de juegos de rodillos

	CASTILLOS										
	DL-260	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8-7**	**6-5**	**4-3**	**2-1**
Juegos por castillos	1.05	1.61	0.65	1.60	1.46	1.45	1.49	1.18	2.52	0.84	1.12
Juegos a consumir	2	2	1	2	2	2	2	2	3	1	2
Total juegos	**2**	**7**				**4**		**5**		**3**	
Inventario mínimo de juegos	0	4				4		4		0	
Juegos en almacén	5	3				1		5		4	
Juegos por llegar	0	3				1		1		0	
Juegos a comprar	0	5				6		3		0	
Cantidad de rodillos por juego	12	2				2		4		4	
Total nº de rodillos	**0**	**10**				**18**		**12**		**0**	

Monto de la Compra	**48.720.000 Bs.**

[2] Estas cifras han sido multiplicadas por un factor a petición de la empresa.

La gerencia de laminación determinó comprar un total de 72 juegos de rodillos para el próximo año de ejercicio. Los cálculos involucran estándares desactualizados e incluso algunos muy por debajo de lo real, ampliando sin necesidad cualquier margen de error. El monto de la compra de rodillos alcanza de esta forma los Bs. 88.000.000, lo cual representa casi un 50% por encima de la cifra calculada anteriormente. Sin duda los excesos de estas políticas influyen de manera importante en al estructura de costo de la empresa.

5.1.2 PLANIFICACIÓN A CORTO PLAZO

La planificación a corto plazo contempla un período de tiempo igual a un mes, para trabajar así en forma conjunta con el Departamento de Programación y Control de la Producción del tren de laminación. Como cualquier centro operativo, el taller de rodillos está constituido por un conjunto de actividades que de forma ordenada se relacionan entre sí, para contribuir a alcanzar un determinado objetivo propuesto. Sin embargo ese conjunto de actividades deben articularse en buena forma, para que pueda llevarse a cabo el proceso de elaboración de calibres con la menor cantidad de contratiempos. Para lograr esto, se ha planteado un ciclo para el sistema en que se fundamenta el desarrollo de las operaciones del taller, según se muestra en la Figura 5.1, el cual se inicia con los estándares de actuación, posteriormente se ejecutan los trabajos definidos por la planificación cumpliendo con los estándares correspondientes, luego se realiza un análisis y control de los trabajos ejecutados, comparándolos con los planificados y haciendo las modificaciones en los estándares para

Figura 5.1: Ciclo del sistema de las operaciones del Taller de Rodillos

aquellas variaciones significativas que se presenten. Este ciclo servirá de base para un buen desempeño de las labores del taller.

Es importante resaltar la necesidad de llevar a la práctica tal diseño, y tratar de hacerlo lo más dinámico posible. Se debe hacer un esfuerzo por buscar nuevas mejoras en los procesos, dentro de un procedimiento sin fin de pequeños logros. No se trata de alcanzar mejoras sustanciales por saltos, sino avanzar poco a poco en su consecución.

Para facilitar la elaboración de un módulo de planificación, se utilizó un procedimiento denominado QQDCCC-PQ, nomenclatura cuyo significado es Qué, Quién, Donde, Cómo, Cuándo, Cuánto y Porqué (ver Figura 5.2), el cual es una herramienta de planificación para sistematizar ideas, de manera que se pueda entender la situación actual con precisión, ayudando a conocer aspectos poco conocidos e implicaciones no evidentes sobre la situación.

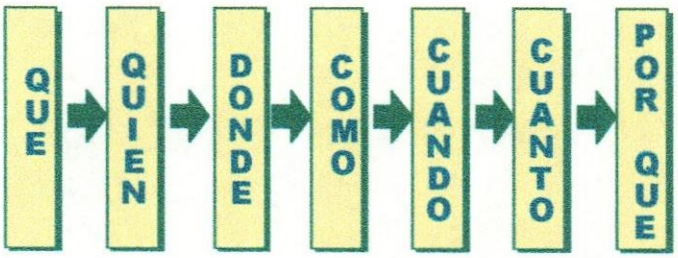


Figura 5.2: Procedimiento QQDCCC-PQ

Las decisiones en cuanto a la planificación de las actividades se basan en las necesidades de operación y rutas para cada uno de los trabajos, así como también influyen el estado de los trabajos existentes en las máquinas, la cola de trabajo para cada máquina, las prioridades de los trabajos, la disponibilidad de los materiales y las capacidades de las máquinas y trabajadores.

5.1.2.1 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIBRES EN EL TREN DE LAMINACIÓN.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el jefe del taller de rodillos recibe con una semana de anticipación aproximadamente, el pronóstico del programa de producción para el mes que viene, y en base a este selecciona y establece la secuencia de los trabajos a realizarse, así como las rutas de trabajo que se deben utilizar. Para saber que cantidad de calibres se necesitan para

poder sacar la producción en el tren de laminación, procede a realizar una serie de cálculos, para ello toma por separado a los calibres finidores y a los calibres laminadores como se muestra a continuación:

5.1.2.2 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIBRES FINIDORES.

En el caso de los calibres finidores, para cada uno de los pedidos que aparecen en el programa de producción, se dividen las toneladas métricas a laminar entre el estándar de duración del par de calibres, con lo cual se consigue el número de pares de calibres necesarios para su fabricación. En este cálculo se diferencian los distintos productos por el tipo de mercado destino que tengan, ya que el aprovechamiento de los pases no es el mismo. Al final se suman la cantidad de pares de calibres necesarios para cada tipo de producto y se le resta la cantidad de pases del mismo que están montados en el tren de laminación y que no se hayan utilizado, o que estén disponible en un rodillo en la zona de almacén y que contenga una cantidad de calibres importante por lo cual se pueda aprovechar.

Es importante destacar que el control de la situación de los rodillos en el tren no está bajo la supervisión del taller de rodillos, sino de un tercero quien es el jefe de control de cambios y reparaciones del tren de laminación. Él tiene la responsabilidad de llevar el seguimiento de los rodillos actualmente en uso y debe trabajar en conjunto con el jefe de taller para determinar los requerimientos reales de calibres.

5.1.2.3 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIBRES LAMINADORES.

Al igual que para los calibres finidores, según la cantidad de toneladas a laminar de cada tipo de producto y dependiendo del castillo por el cual se obtenga cada uno de ellos, habrá una necesidad de pases laminadores que deberá ser cubierta. Así por ejemplo, los castillos del N°1 al N°9 van a ser utilizados para laminar cualquier producto que se fabrique en el tren, por lo tanto la cantidad de toneladas que deben procesar será igual al total a producir entre todos los pedidos, en cambio el castillo N°10 es finidor de 7/8" y 1", por eso para determinar la cantidad de toneladas que debe batir se tienen que sumar sólo las cantidades a producir para aquellos productos por debajo de 7/8" (3/8", 12mm, ½", 5/8" y ¾"). Este procedimiento se debe llevar a cabo con cada uno de los castillos del tren, teniendo en cuenta por que castillos se producen cada uno de los productos que manufactura el tren.

Una vez que se conocen las toneladas a laminar en cada castillo, se procede a dividir esa cantidad entre el estándar de duración del pase, el cual fue verificado y actualizado anteriormente, esto arroja el número de calibres necesarios para cumplir con la producción planteada. Para determinar las necesidades reales del tren, se debe restar el número de pases disponibles en el mismo, sumado a la cantidad de calibres de aquellos rodillos que están almacenados temporalmente y tienen un número significativo de estos.

5.1.2.4 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RODILLOS A MAQUINAR.

Una vez calculados los requerimientos de calibres finidores y laminadores se debe establecer la cantidad de rodillos a ser maquinados, esa cantidad viene dada por la cantidad de pases que puede contener un rodillo en específico. Por ejemplo, si se requieren 18 pares de calibres para satisfacer la demanda del tren para producir cierta cantidad de toneladas de cabilla de 3/8", se deben maquinar dos juegos de rodillos finidores para el castillo N°18 (4 rodillos), pues en cada juego se pueden hacer hasta 12 pares de calibres solamente. Habitualmente se toma la decisión de hacer los 24 pares de calibres completos, es decir seis (6) por encima de lo estrictamente necesario, pues no representa un trabajo adicional, y los costos asociados son muy bajos. Es preferible excederse en cuanto a la cantidad de pases elaborados y que no exista déficit de los mismos, además estos pueden ser utilizados posteriormente. Siguiendo con el ejemplo anterior, es importante destacar que si en un caso hipotético la cantidad de pases requeridos fueran de 13 (uno más de lo que cabe exactamente en un rodillo), de igual forma se decide maquinar un nuevo rodillo con 12 pases más. Se puede pensar dada las circunstancias, que si se aprovechan un poco más los 12 pases contenidos en el primer rodillo, se pudiese cubrir la necesidad de un calibre más, sin embargo las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la programación de los cambios y reparaciones de calibres, así como los mantenimientos del tren, no aseguran que lo anterior resulte, corriendo el riesgo de que falten calibres en la línea de producción. Los costos operativos del tren de laminación son muy superiores a los que se incurren en el taller, por eso se debe tener mucho cuidado en no dejar en ningún momento al tren sin disponibilidad de calibres. Por lo anterior, el número de rodillos a ser maquinados en teoría, viene dado por el número de calibres necesarios para despachar la producción propuesta y por la cantidad de pases que pueden contener cada uno de los rodillos laminadores dependiendo del tipo de calibre.

Hay que dejar en claro que la toma de decisiones en cuanto a la cantidad de juegos de rodillos a maquinar queda en manos del jefe del taller, ya que existen factores cualitativos que influyen de manera importante, y que sólo se pueden controlar en el momento de llevar a cabo las operaciones. Sin embargo, en base al análisis hecho en el capítulo anterior en cuanto a las diferencias entre el pronóstico de las cantidades a producir y lo que realmente se produce, se infiere la necesidad de estudiar con mayor detenimiento los requerimientos para calibres finidores, y especialmente los vinculados a los productos de 3/8", ½" y 5/8" tanto nacional como exportación, sobre todo si se sabe que tales diferencias oscilan entre 500 TM y 1000 TM por encima de lo especificado.

5.1.2.5 PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Con la programación de los trabajos en el taller lo que se busca es optimizar el uso de los recursos de manera de alcanzar los objetivos globales. La programación involucra la asignación de fechas a trabajos específicos de una operación. Para ello se propone el uso de una programación hacia adelante, donde el desarrollo de las operaciones se inicia tan pronto como se conocen los requerimientos del tren y la cantidad de rodillos a maquinar. La lógica de esta técnica de dirección puede suponer una acumulación del inventario de calibres disponibles para su utilización lo cual no acarrea ningún tipo de costo, sino que beneficia de manera importante la flexibilidad del taller en su relación estrecha con la línea de producción, dado que las variaciones en los pronósticos de ventas ocasionan cambios en el programa de producción. De acuerdo a lo anterior, en la Figura 5.3 se proporciona un ejemplo para la programación del maquinado de un rodillo del castillo N°14, suponiendo que se estríen 15 pares de calibres para cabillas nacionales, en él los tiempos de ejecución de cada una de las

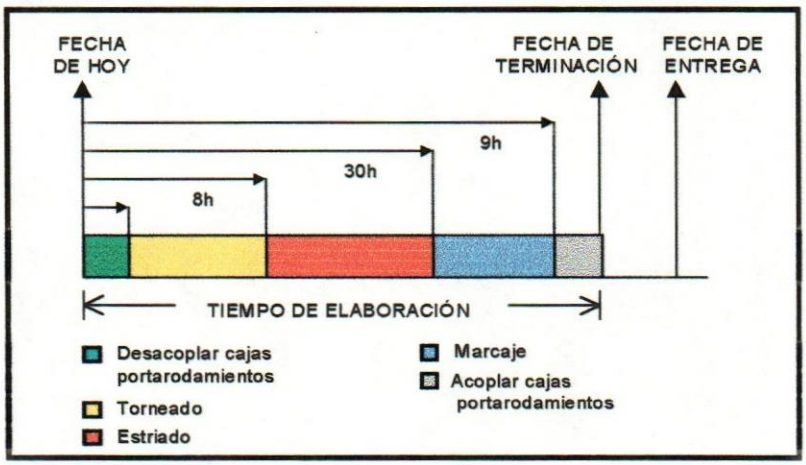


Figura 5.3: Programación hacia adelante

operaciones a ser realizadas se mide hacia delante a partir de la fecha actual o de hoy. Es importante destacar la posibilidad de requerir un juego de rodillos antes de la fecha de terminación, situación que sucede a menudo cuando ocurren cambios inesperados en la producción, en estos casos se tiene la opción de aumentar la capacidad de maquinado al recurrir a tiempo extra.

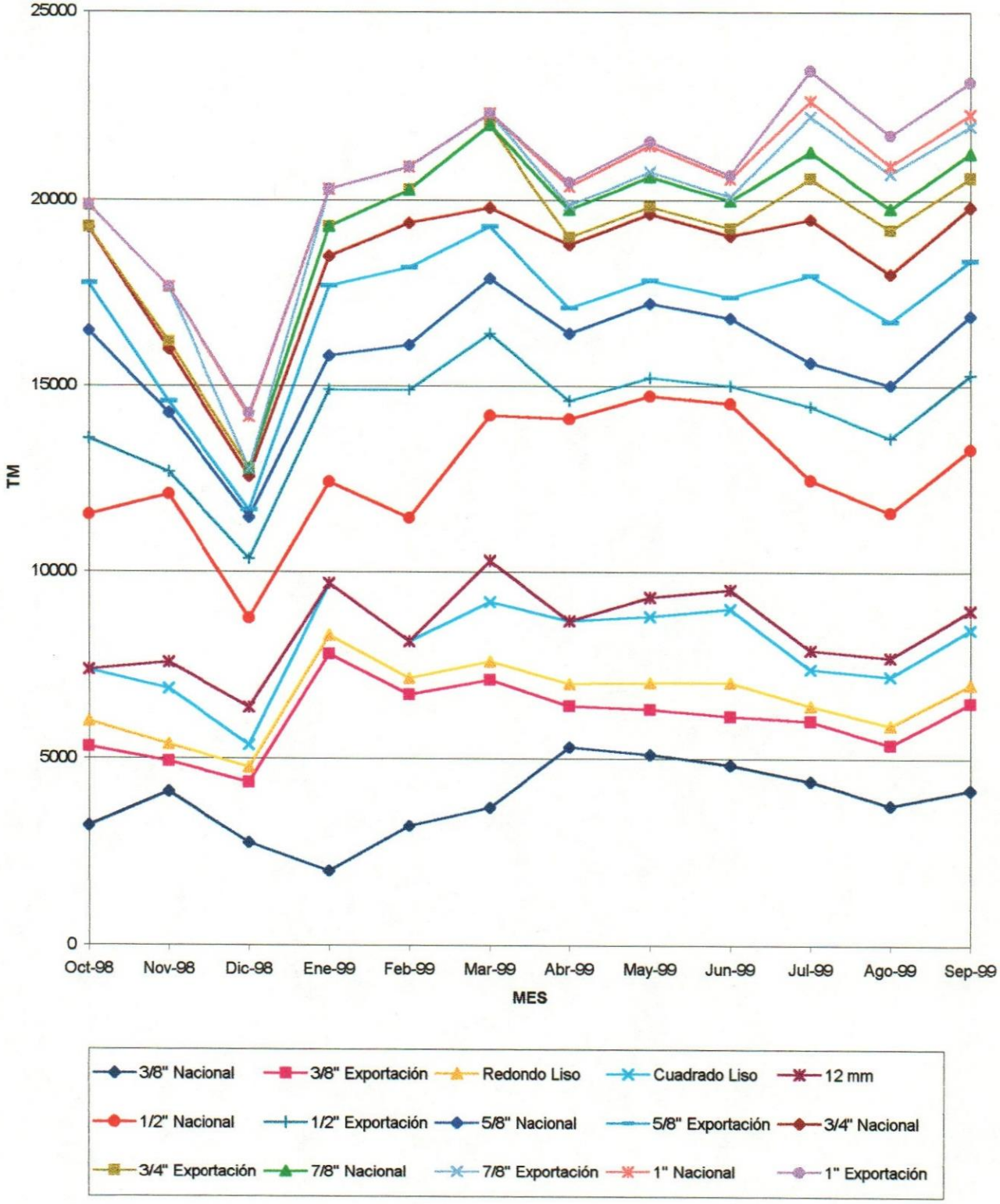
5.1.2.6 CÁLCULO DE LA CARGA DE TRABAJO DEL TALLER.

Para determinar las cantidades esperadas de trabajo y poder organizar su distribución en el taller, se recurre a los pronósticos de producción. Tomando como base estos pronósticos se calcula un promedio mensual de producción para cada tipo de producto, con lo cual se establece cuales serán los trabajos que requieren mayor demanda de las instalaciones del taller. En el Anexo 9 se aprecian los estimados de producción para el próximo ejercicio (Octubre 98-Septiembre 99), dichas proyecciones se pueden observar en la Figura 5.4. Basándonos en tales proyecciones se calculó un promedio mensual, a fin de determinar los requerimientos esperados para cada tipo de castillo. (ver la Tabla 5.8)

Tabla 5.8: Requerimiento promedio de rodillos en un mes

Castillo	Nº pases (Laminador)	Nº pases (Finidor)	Cantidad de calibres a distribuir en un rodillo	Nº de juegos de rodillos	Nº de rodillos
18		32	12	3	6
17	11		12	1	2
16	11		12	1	2
15	11		12	1	2
14	3	25	17	2	3
13	9		13	1	2
12	7	12	13	2	4
11	11		9	2	4
10	8	4	7	2	4
9	8		7	2	4
8	5		5	1	2
7	5		5	1	2
6	5		3	2	4
5	5		3	2	4
4	3		4	1	2
3	3		4	1	2
2	3		3	1	2
1	3		3	1	2

Figura 5.4 Pronosticos de Producción (1998- 1999)



Estos requerimientos tienen que ser cubiertos por el taller y se deben tomar en consideración para programar la distribución de los trabajos a corto plazo, sin embargo la cantidad de rodillos a maquinar depende además de la disponibilidad de calibres que tenga el tren, por lo que tales cifras sólo sirven como referencia para estimar las cargas de trabajo mes a mes. De esta forma se hace evidente realizar estos cálculos todos los meses y llevar un seguimiento de las variaciones de los programas de producción constantemente.

5.1.2.7 ESTABLECIMIENTO DE LA SECUENCIA Y RUTAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

El modo en que se debe determinar cuál será el primer trabajo que se inicie viene dado por una secuencia de prioridades. La regla de prioridad que rige al taller de rodillos es la *fecha de entrega*, donde primero se hace el juego de rodillos que se necesite con menor tiempo en el tren. Para saber las fechas en las cuales se necesitan los calibres, se debe recurrir al pronóstico del programa de producción; en ciertos períodos ocurre que un mismo tipo de producto se lamina en bloques a lo largo de todo un mes, así los primeros cuatro días se dedican a su producción y luego se vuelve a laminar a mediados o finales del mes. Dependiendo de las cantidades a producir en cada momento, se puede dar el caso de que con el maquinado de un solo juego de rodillos se cubran sus requerimientos, o se tengan que maquinar más rodillos para satisfacer cierta demanda.

Las rutas a seguir para la elaboración de los distintos calibres, se basa en lo expuesto en el capítulo 6, sin embargo en el Anexo 10 se muestran para cada uno ellos, dependiendo del rodillo que los contenga, cuales son las estaciones de trabajo por las que deben fluir y el orden de procesamiento para cada una de las operaciones.

5.2 CONTROL DE COSTOS.

5.2.1 CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN DE LOS RODILLOS EN PROCESO.

Una vez que se decide maquinar un rodillo para tornearlo y elaborar los respectivos calibres, se incurre en una depreciación del mismo. Todos los rodillos en existencia dentro de la planta son tomados como activos fijos de la empresa, y como tal comparten una partida contable que los agrupa dentro de los estados financieros, la cual se denomina depreciación de rodillos.

Mensualmente el taller de rodillos se ve obligado a pasar una notificación al departamento de contabilidad indicando el monto de la depreciación de los rodillos en el cual se a incurrido durante ese período, como producto de los trabajos allí realizados. Actualmente la depreciación se calcula de dos maneras diferentes: una en base a los milímetros removidos diametralmente a los rodillos, y otra en base a las toneladas laminadas.

La primera resta el diámetro inicial menos el diámetro final del rodillo, lo cual da la cantidad de milímetros de los cuales se puede sacar provecho al mismo. Es importante recordar que para todos los rodillos y dependiendo del castillo en el cual se ubiquen, se tienen fijadas tales dimensiones, lo cual depende de las características operativas de los bastidores y de las transmisiones, las que limitan a su vez el mantenimiento de la línea de laminación. Al dividir el precio del rodillo entre la cantidad total de milímetros utilizables, se obtiene el costo de por cada milímetro, que multiplicado a su vez por la cantidad de milímetros que se le quitó en el proceso, arroja el valor de la depreciación del rodillo consecuencia de su utilización en el tren.

El segundo de los cálculos divide el precio del rodillo entre el total de toneladas laminadas que por él se pudiesen obtener. De esta forma se obtiene el costo de uso del rodillo por tonelada procesada, que multiplicado por las toneladas laminadas en el tren para cierto período, da el valor de la depreciación del rodillo por su uso en el tren. No obstante este método es un tanto impreciso por la forma en que se lleva el seguimiento de la duración de los calibres. Al no actualizar los estándares, el estimado para las toneladas totales que pudiese laminar el rodillo no es el correcto, y si a eso se suman las variaciones en la utilización de los pases en los trenes, entonces se puede depreciar al rodillo más o menos de lo correcto.

El cálculo de la depreciación muchas veces se vuelve engorroso y genera errores, dada la forma como se lleva a cabo en la actualidad. Al llevar el registro de todos los rodillos de forma manual, conlleva a emitir reportes que pueden ser no confiables para su uso.

5.2.2 COSTOS DE MAQUINADO DE LOS RODILLOS.

Los costos asociados al maquinado de los rodillos dependen en primer lugar de la naturaleza de los mismos, ya sean estos finidores o laminadores. El tamaño que tenga, su dureza, el número de calibres que vayan a ser estriados y marcados según el mercado destino del producto, si es nuevo o no, la cantidad de vidas útiles que le faltan, entre los más importantes, son factores que también inciden en el costo del proceso.

La estructura de costo del proceso de maquinado se puede desglosar de la siguiente forma:

- Mano de Obra Directa.
- Materiales Directos.
- Costos indirectos.

Para calcular el costo de la mano de obra directa teniendo en cuenta se tomó en cuenta el sueldo básico por trabajador del taller, lo cual se multiplicó por un factor de 2.5 el cual incluye distintos beneficios como lo son; utilidades, vacaciones y bono vacacional, días feriados, prestaciones sociales, seguro social, paro forzoso, ley de política habitacional, caja de ahorro, entre otros. De allí se tomó el costo en horas-hombre, que será el mismo a utilizar para el cálculo de rodillos laminadores y finidores. Dicho costo es el que se incurre por el personal que labora directamente en la ejecución del proceso.

Los materiales directos utilizados en el proceso de maquinado son básicamente dos: los distintos tipos de cuchillas para el torneado y fresado de los rodillos, y los electrodos usados en el marcaje de códigos para los diferentes productos. Cada trabajo tiene sus especificaciones en cuanto a la calidad y porcentaje de utilización de cuchillas, así como del aprovechamiento de los electrodos en el grabado de caracteres.

Los costos indirectos de fabricación son asignables básicamente al sueldo del jefe del taller de rodillo, y al supervisor de máquinas y herramientas, además se incluye un prorrateo de los gastos generales de la planta por concepto de alquileres y seguros. Los gastos de electricidad, agua, aceite, entre otros, son cargados al tren de laminación, dada la proximidad entre ambos centros.

5.3 SISTEMA AUTOMATIZADO DE INFORMACIÓN.

Para brindar mayor calidad a la información que se maneja en el taller se diseñó una aplicación que se fundamenta en lo planteado anteriormente. Este programa va a servir como base para la toma de decisiones dentro del taller, incrementando de esta forma la flexibilidad en sus operaciones y proporcionando un método práctico de control. Este sistema está estructurado con una base de datos que posee una zona de **input** que contempla la actualización de estándares, especificaciones y zonas de criterio, además se utiliza como una base de cálculos de registros. La zona de **output** está constituida por reportes preprogramados que agilizan el manejo de la información y de las estadísticas actuales. A continuación se dará

una breve explicación de lo que hace el programa y de sus posibilidades. Este programa presenta una pantalla principal que muestra una barra de menús de opciones colocado en la parte superior de la misma (Figura 5.5). Las opciones mostradas son cinco: configuración, procesos, reportes, ventana y ayuda, cada una con un submenú particular que se explicará individualmente.

Figura 5.5: Pantalla Principal

OPCIÓN I: Configuración

En esta sección se renuevan constantemente los estándares de tiempo para la ejecución de los trabajos y los costos asociados al proceso de maquinado. En la Figura 5.6 se aprecia la ventana para la actualización de los estándares de costo de mano de obra directa, costos en materiales directos y los costos indirectos de maquinado. En ella se tiene la opción de modificar cuando se necesite a cualquiera de ellos. Oprimiendo los respectivos botones se muestran las ventanas para hacer estos cambios. La Figura 5.7 corresponde a los costos de mano de obra y la Figura 5.8 a los restantes.

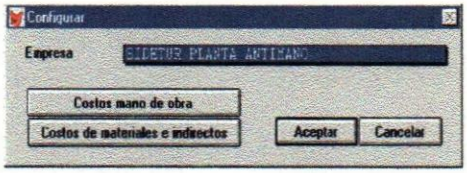


Figura 5.6: Cuadro de Costos

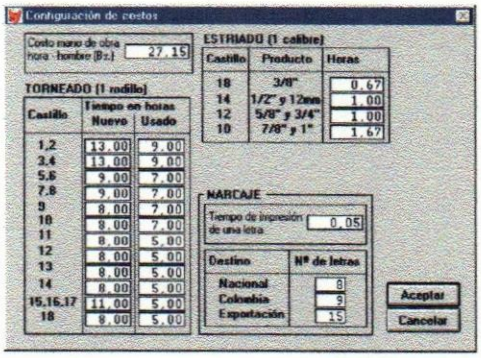


Figura 5.7: Costos Mano de Obra

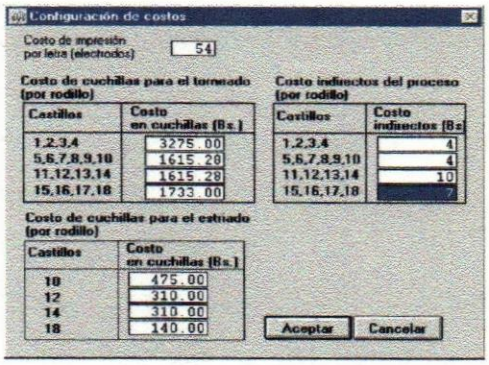


Figura 5.8: Costos de materiales y Costos indirectos

Dentro de *configuración* también se pueden ingresar al sistema rodillos nuevos o que estén por utilizarse, y se pueden enviar a una base de datos histórica aquellos rodillos que ya cumplieron

con su vida útil (ver Figura 5.9). Aquí se lleva el control de los inventarios de rodillos en procesos mediante archivos que se asemejan perfectamente a un Kárdex de rodillos de laminación. Para cada rodillo hay un archivo individual que lo identifica plenamente, y que contiene data como: código, rodillo compañero, tren y castillo al que se asignó, fabricante, calidad, dureza, dimensiones iniciales y finales, estándares de aprovechamiento, entre otros. Por medio de la barra ubicada en la parte superior, es posible buscar dentro de la base de datos el rodillo que interese, además se pueden aplicar filtros y búsquedas especiales dependiendo de lo amplio que sea la cantidad de registros.

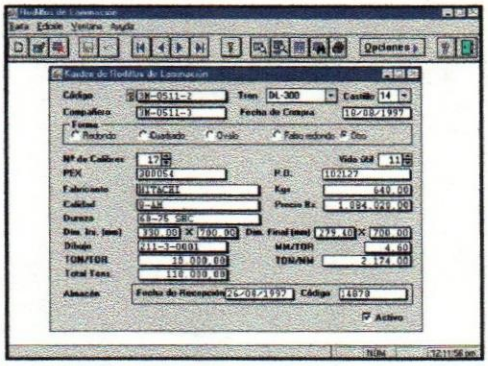


Figura 5.9: Kárdex de Rodillos

Mediante otra de las opciones del submenú *configuración* se pueden actualizar los estándares de duración para los calibres tanto finidores como laminadores, recurriendo al menú *configurar* y seleccionando la opción deseada. La Figura 5.10 muestra la ventana para ver y/o modificar tales estándares para el caso de los calibres finidores, agrupados según el castillo por el cual salen los distintos productos.

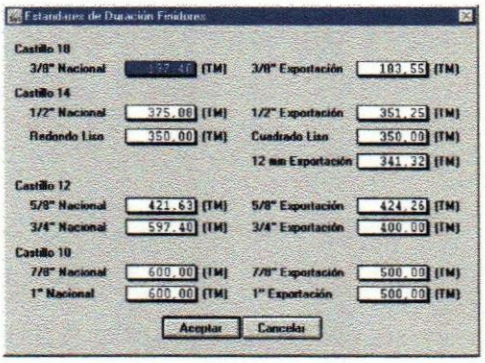


Figura 5.10: Estándares Calibres

En la Figura 5.11 se observa otra ventana del mismo estilo, sólo que aquí se mantiene la situación actual en cuanto a la cantidad de calibres disponibles para el tren, agrupados también según si son finidores o laminadores. Esta ventana corresponde al estado actual de los diferentes calibres laminadores en el tren o disponibles en almacenamiento, para un momento dado. Es importante destacar la necesidad

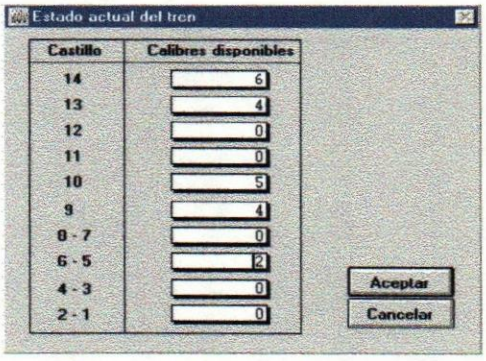


Figura 5.11: Estado Actual

de mantener al día toda esta información, tomando en consideración el ciclo del sistema de las operaciones del taller propuesto anteriormente, ofreciendo de esta manera su verdadero potencial.

OPCIÓN II: Procesos

La primera opción dentro de este submenú es el plan de producción .En esta ventana (ver Figura 5.12) se ingresan los diferentes programas de producción mensual, agregando las distintas órdenes dependiendo del tipo de producto, las toneladas a producir y la fecha de terminación de la producción. Una vez hecho esto se calculan automáticamente los pares de calibres finidores requeridos para laminar esas toneladas, lo cual sirve como base para determinar los requerimientos reales del tren. Estos datos servirán más adelante para hacer varios reportes gerenciales.

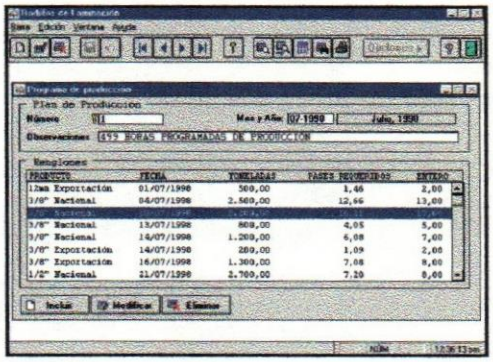


Figura 5.12: Plan de Producción

Dentro de *procesos* se va a manejar la base de datos para el historial de montajes de los diferentes rodillos, tales archivos se relacionan directamente mediante el código de cada rodillo con su correspondiente Kárdex, así en la Figura 5.13 se puede ver esa ventana con su correspondiente barra de herramientas de búsqueda. Los registros allí contenidos muestran los diferentes trabajos que se han hecho sobre un rodillo en particular, anotando la fecha de entrada y salida del taller, el diámetro final después del maquinado, las toneladas laminadas por torneada y el acumulado.

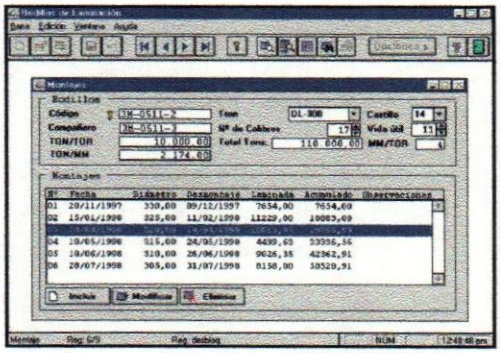


Figura 5.13: Montajes de Rodillos

Otras opciones del submenú *procesos* envían los rodillos ya usados al histórico, y permiten ver esa base de datos en opción consulta. Por último a través de la opción orden de trabajo, se pueden registrar todos los trabajos de maquinado que se lleven a cabo

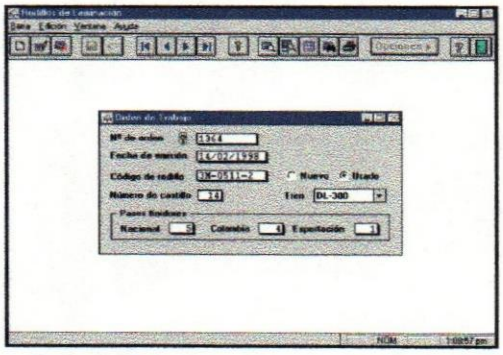


Figura 5.14: Orden de Trabajo

dentro del taller, indicando la fecha de emisión de la orden, el código del rodillo a ser procesado, el castillo y tren al que pertenece, y si es finidor la cantidad de pases que se van a dedicar al mercado nacional, de Colombia o exportación (ver Figura 5.14).

OPCIÓN III: Reportes

Este submenú genera cinco reportes distintos ellos son: existencias de rodillo, costos de maquinado, montajes/depreciación, requerimientos de calibres finidores y requerimientos de calibres laminadores. El primero genera un listado de existencias de rodillos basado en los registros de los Kárdex, donde se indican los datos más relevantes de cada uno. El segundo genera un a lista con las ordenes de trabajo emitidas dentro de un período tiempo determinado, indicando el número, fecha de emisión, código del rodillo, y los costos asociados a cada uno en cuanto a mano de obra, materiales e indirectos, los cuales van a servir como herramienta de control de las actividades emprendidas. El reporte montajes/depreciación emite también un listado de pero de los montajes efectuados en un lapso de tiempo, acompañado de los datos almacenados en la base de datos de montajes, como fecha de ingreso, diámetro final, fecha de desmontaje, toneladas laminadas y el acumulado, y se calcula la depreciación de los rodillos de forma automática, facilitando el hecho de hacer tales cálculos además de brindar mayor confiabilidad a los mismos.

Por último se tienen los reportes de requerimientos de calibres finidores y laminadores para un período dado, los cuales calculan las necesidades reales del tren de laminación tomando en consideración las cantidades a producir de cada producto terminado, los estándares actualizados de duración de los calibres, y el estado actual del tren o calibres disponibles. Todos los reportes mencionados se pueden ver en el Anexo 11.

OPCIÓN IV: Simplemente incluye una calculadora para sacar cualquier cuenta.

CAPITULO VI

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio reflejan que la forma actual de laborar es la misma desde que se iniciaron las actividades operativas en la planta, quedando el taller rezagado en cuanto a la implantación de nuevas tecnologías y en la adopción de filosofías modernas para la dirección y control de las operaciones. La implantación del sistema de planificación y control expuesto anteriormente va a servir como herramienta para la toma de decisiones y contribuirá notoriamente a mejorar la productividad, eficiencia y flexibilidad del taller de rodillos.

Mediante este sistema, se puede mantener control sobre las existencias de rodillos laminadores en proceso, garantizando una gestión que se ajuste a las necesidades reales del tren de laminación. También se obtienen ahorros significativos en cuanto a la adquisición de rodillos según los requerimientos a mediano plazo de la línea de producción. Actualmente los niveles de inventarios y los costos asociados a la política de compra son sumamente elevados. Con la adopción de las mejoras propuestas el monto destinado a la compra de los rodillos y los gastos asociados al pago de impuestos sobre activos descienden considerablemente, en un porcentaje cercano al 50%.

El sistema propuesto permite planificar con mayor cuidado el desarrollo de los trabajos de maquinado y el control sobre los costos implicados y los tiempos de ejecución. Mediante un esquema de planificación hacia adelante se puede confrontar con mayor cuidado posibles aumentos en la demanda de calibres del tren, disminuyendo la posibilidad de incurrir en altos costos de paralización y por tanto en grandes pérdidas de dinero.

Por otro lado, el método de depreciación de los rodillos que viene dado en milímetros es más exacto y confiable para fines contables que el calculado en base a las toneladas laminadas, ya que se saben las medidas exactas de aprovechamiento de los mismos, mientras que el total de toneladas a laminar viene dado por un promedio histórico de duración y no toma en consideración el rendimiento particular de cada rodillo en el tren, pudiendo sobrepasar los gastos acumulados de depreciación al precio de compra, no obstante mantener esta forma de cálculo puede ser útil como indicador del desempeño de los rodillos en el tren y como criterio de comparación entre los diferentes proveedores.

La revisión estadística de la duración de los calibres permite ajustar la planificación del taller a las operaciones del tren, logrando reducir el retrabajo e incrementando la eficiencia de las actividades desarrolladas. Los estándares calculados deben ser revisados periódicamente para asegurar el cumplimiento de lo anterior.

La creación de un sistema automatizado de información modular va a facilitar el procesamiento de los datos y hace más accesible los estados de rodillos laminadores, necesidades de calibres, montos de depreciación y costos de maquinado, a través de la emisión de una serie de informes operativos. Todo el sistema está sustentado en la creación de una base estadística confiable, que ofrece estándares actualizados conforme al desempeño último de la línea de producción.

6.2 RECOMENDACIONES

Es importante insistir en la necesidad de mantener actualizados los estándares de aprovechamiento de los calibres, los estándares de tiempo de ejecución de las operaciones y los estándares de costos asociados al proceso de maquinado. Una herramienta de gran ayuda que podría ser utilizada para los mejorar los dos últimos es la ingeniería de métodos, mediante la cual se puede aumentar la productividad del taller y en consecuencia disminuir los costos del proceso. El estudio de métodos persigue introducir mejoras para facilitar la realización de los trabajos directos e indirectos, permitiendo que se lleven a cabo en el menor tiempo posible. La búsqueda de posibles mejoras no puede ser algo temporal y se debe insistir el mejoramiento continuo de los centros de trabajo existentes, y mientras más completo sea el análisis, la necesidad de llevar a cabo otro será mayor. En este sentido se pueden citar los nuevos enfoques de manufactura que han puesto en práctica los japoneses, uno de ellos es el *Kaisen* (mejora), el cual conlleva a una importante reducción de costos sin tener que incurrir en grandes inversiones. Las compañías que han implantado exitosamente esa filosofía han logrado mejorar continuamente las maquinarias, materiales, utilización del material y métodos de trabajo por medio de la aplicación de sugerencias e ideas por parte de los integrantes de un equipos de trabajo. En el caso del taller, tal equipo estaría conformado por todas las personas que laboran allí, tomando en cuenta su experiencia y su labor diaria en cada centro de trabajo. El jefe del taller y los superiores tienen la responsabilidad de incentivar a la gente, valorando la calidad de sus propuestas y promoviendo la creación de grupos de trabajo siguiendo la idea de los círculos de calidad. Otro enfoque bastante útil para la gestión del taller es el de las *Cinco "S"*, el cual engloba el concepto de limpieza, orden y disciplina por medio de cinco

palabras que comienzan con la inicial S en japonés. Seiri (arreglar), separar las cosas necesarias de lo que no lo son, Seiton (ordenar), organizar en forma cronológica, alfabética o numérica las cosas para su fácil localización, Seiso (limpiar), que es mantener aseado el lugar de trabajo así como a los equipos, herramientas y demás ítems de uso diario, Seiketsu (pulcritud), conservar la higiene presonal, eliminar malos olores, y Shitsuke (disciplina), que es educación y entrenamiento para hacer las cosas bien.

Al estudio de métodos debe acompañar el correspondiente estudio de tiempos, el cual va a establecer los estándares permisibles para la realización de las tareas. Cabe destacar la importancia de analizar primero los métodos de trabajo y sus posibles mejores, y luego establecer los tiempos de ejecución.

De acuerdo a los resultados del presente trabajo se deben verificar los procesos emprendidos por Cambio y Reparaciones, pues son responsables de los cambios de calibres y rodillos en el tren de laminación, además de llevar el seguimiento de los mismos una vez que el taller a maquinado los rodillos requeridos. Se debe estudiar la posibilidad de establecer nuevos procedimientos y formas de trabajo para obtener el mayor rendimiento posible de los calibres dentro del rango de valores expuesto anteriormente en el presente informe. El trabajo en conjunto con el personal de mantenimiento implica ahorros considerables de dinero, no obstante se debe buscar siempre la manera de obtener mayores beneficios de los rodillos en el tren estableciendo las secuencias de cambio que mejor se ajusten a lo ideal.

Finalmente se recomienda el uso del programa aquí expuesto, considerando la posibilidad de mejorarlo en un futuro con el fin de enriquecerlo y adaptarlo aún más a las necesidades del taller.

BIBLIOGRAFÍA

- CHASE, Richard B. y AQUILANO, Nicholas J. "Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones". 6ª Edición, Editorial IRWIN, España 1995.

- RIGGS, James. "Sistemas de Producción". 1ª Edición, Editorial Limusa, México 1986.

- ASKELAND, Donald R. "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales". Grupo Editorial Iberoamérica, México 1987.

- NARASIMHAN, Sim ; McLEAVEY, Denis y BILLINGTON, Peter. "Planeación de la Producción y Control de inventarios". 2ª Edición, Prentice Hall, México 1996.

- WALPOLE R. E., MYERS R. H. "Probabilidad y Estadística para Ingenieros". 3ª Edición, Editorial Interamericana, México 1990.

- ARVELO Angel F. "La Capacidad de los Procesos Industriales". 1ª Edición, Publicaciones UCAB, Venezuela 1998.

- TAWFIK L. y CHAUVEL A.M. "Administración de la Producción". 1ª Edición en Español, Editorial Interamericana, México 1984.

- NIEBEL. "Ingeniería Industrial". 9ª Edición, Editorial Alfaomega, México 1996.

- FEIGENBAUM, Armand V. "Control Total de la Calidad". 3ª Edición, Editorial Cecsa, México 1995.

- SAMPIERI, Roberto; FERNANDEZ, Carlos; BAPTISTA, Pilar. "Metodología de la Investigación". 1ª Edición, McGrawHill, México 1991.